



Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli

Búðarhálsstöð

Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli

Búðarhálstöð

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2018-048

Dags: 09.07.2018

Fjöldi síðna: 52

Upplag:

Dreifing:

- ☐ Birt á vef LV
☒ Opin
☐ Takmörkuð til

Titill: Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsaflí. Búðarhálstöð.

Höfundar/fyrirtæki: EFLA verkfræðistofa: Gyða M. Ingólfssdóttir, Friðrik K. Gunnarsson, Helga J. Bjarnadóttir

Verkefnisstjóri: Ragnheiður Ólafsdóttir

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Markmið verkefnisins er greining og mat á umhverfisáhrifum frá raforkuvinnslu í Búðarhálstöð með aðferðarfræði vistferilsgreiningar. Metin eru umhverfisáhrif frá framleiðslu og flutningum byggingarefna, framleiðslu og flutningum vél- og rafbúnaðar, orkunotkun og úrgangi frá framkvæmdum og rekstri stöðvarinnar á 100 ára tímabili. Niðurstöður greiningarinnar sýna að í sex flokkum umhverfisáhrifa af sjö eru það framleiðslu- og framkvæmdafasi sem veita þyngra en rekstrarfasi m.v. 100 ára líftíma. Kolefnisspor raforkuvinnslu í stöðinni er lágt, 1,5 g CO₂ ígildi/kWst. Landsvirkjun hefur tækifæri til að draga úr umhverfisáhrifum í framtíðar vatnsaflsvirkjunum fyrirtækisins, t.d. við innkaup þar sem gerðar eru kröfur til birgja um að uppfylla skilyrði er varða umhverfisáhrif vörunnar eða ábyrga umhverfisstjórnun, huga að ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis og velja lónstæði þar sem jarðvegur er kolefnisrýr.

Lykilorð: Vistferilsgreining, LCA, kolefnisspor, vatnsorka, Búðarhálstöð

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

SAMANTEKT

Markmið þessa verkefnis er greining og mat á umhverfisáhrifum frá raforkuvinnslu í vatnsaflsstöð Landsvirkjunar, Búðarhálsstöð sem hóf rekstur árið 2014. Verkefnið er liður í að meta umhverfisáhrif aflstöðva í eigu Landsvirkjunar. Matið er framkvæmt með aðferðarfræði vistferilsgreiningar í samræmi við staðlana ISO 14040 og ISO 14044 og Evrópustaðalinn EN 15804 um sjálfbærni í byggingariðnaði. Einnig er stuðst við leiðbeiningar um gerð vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisyfirlýsinga (e. *Environmental Product Declaration*). Niðurstöður verkefnisins getur Landsvirkjun m.a. notað til að veita raforkunotendum áreiðanlegar upplýsingar um umhverfisáhrif frá vinnslu orkunnar og sem öflugt verkfæri í virkri umhverfisstjórnun fyrirtækisins þar sem stöðugt er leitað leiða til úrbóta.

Aðgerðareining greiningarinnar er 1 kWst raforka unnin í Búðarhálsstöð. Metin eru umhverfisáhrif frá framleiðslu og flutningum byggingarefna, framleiðslu og flutningum vél- og rafbúnaðar, orkunotkun og úrgangi vegna framkvæmda, ferðum starfsmanna verktaka ásamt rekstri stöðvarinnar á 100 ára tímabili. Þar með talið er mat á losun frá lóni virkjunarinnar. Gögnin sem vistferilsgreiningin byggir á eru góð. Þau eru fengin úr gögnum verktaka, úr framkvæmda- og lokaskýrslum framkvæmda, frá framleiðendum búnaðar og notaðar eru rauntölur frá rekstri aflstöðva Landsvirkjunar á Þjórsársvæðinu. Mat á losun frá uppistöðulónum er byggt á rannsóknnum Háskóla Íslands, Landgræðslu ríkisins og Landbúnaðarháskóla Íslands.

Í sex af sjö flokkum umhverfisáhrifa eru það framleiðslu- og framkvæmdafasi við Búðarhálsstöð sem vega þýngst á 100 ára líftíma stöðvarinnar. Umhverfisáhrif frá framleiðslu- og framkvæmdafasa má að stærstum hluta rekja til framleiðslu á steypu sem og framleiðslu og brennslu jarðefnaeldsneytis. Almennir vegir rekstur stöðvarinnar minna í heildarumhverfisáhrifum í hverjum flokki, en þó er mikilvægt að huga að skynsamlegri notkun jarðefnaeldsneytis við rekstur og steypunotkun í viðhaldsverkefnum. Þá má draga úr umhverfisáhrifum með endurvinnslu úrgangs frá rekstri og við endurnýjun á búnaði. Kolefnisspor Búðarhálsstöðvar er lágt, 1,5 g CO₂ ígildi/kWst. Þar af er 1,0 g CO₂ ígildi/kWst vegna framleiðslufasa, flutninga á verkstað og framkvæmda en 0,5 g CO₂ ígildi/kWst vegna losunar á rekstartíma yfir 100 ár sem stafar aðallega af losun frá lónum, efnisnotkun við viðhald og jarðefnaeldsneytisnotkun.

Ýmsir möguleikar eru fyrir hendi til að draga úr umhverfisáhrifum í framtíðar vatnsaflsvirkjunum Landsvirkjunar sem og við rekstur núverandi stöðva. Við innkaup er hægt að setja kröfur á birgja um að uppfylla ákveðin skilyrði er varða ábyrga umhverfisstjórnun í starfsemi fyrirtækisins eða að setja kröfur um ákveðna umhverfiseiginleika viðkomandi vöru eða þjónustu, hvoru tveggja til að lágmarka umhverfisáhrif. Slík skilyrði eru í samræmi við kröfur sem gerðar eru í ISO 14001:2015 staðlinum er varða það að huga að umhverfisáhrifum yfir alla virðiskeðju starfseminnar. Nefna má fleiri tækifæri til að draga úr umhverfisáhrifum s.s. að huga að því að velja lónstæði þar sem jarðvegur sem fer undir vatn er kolefnisrýr. Þá er mikilvægt að huga að ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis við framkvæmdir og hvort mögulegt sé að draga úr notkuninni, t.d. með orkunýtnari vélum og tækjum; og tækjum sem ganga fyrir umhverfisvænum orkugjöfum.

Greining á orkubúskap stöðvarinnar leiðir í ljós að orkuarðsemi stöðvarinnar er 263, þ.e. stöðin framleiðir á líftíma sínum 263 sinnum meiri orku en þarf til að byggja og reka hana. Þá er endurgreiðslutími orku 0,38 ár, þ.e. að eftir um fimm mánaða rekstur er Búðarhálsstöð búin að vinna jafnmikla orku og hún þarf yfir líftíma sinn. Niðurstöður greiningarinnar eru tölulegar upplýsingar um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar. Landsvirkjun getur fengið þessar upplýsingar vottaðar af þriðja aðila, t.d. fyrir útgáfu umhverfisyfirlýsingar raforkuvinnslu. Þannig eru upplýsingarnar viðurkenndar inn í alþjóðlega gagnabanka sem nýtist í markaðslegu samhengi og í gerð loftslagsbókhalds viðskiptavina Landsvirkjunar.

SUMMARY

The objective of this project is to assess the environmental impacts of electricity generation in Búðarháls Station, Landsvirkjun's hydropower plant, which started operation in 2014. The project is a part of an ongoing assessment of environmental impacts of the company's electricity generation. The methodology used, Life Cycle Assessment (LCA), is in accordance with the international standards ISO 14040 and ISO 14044 as well as the European standard EN 15804 on sustainability of construction works. Additionally, Product Category Rules according to ISO 14025 for Type III environmental declarations have been taken into consideration. The results of the assessment can be used to provide customers with reliable information on the environmental performance of the electricity generation, and is a powerful tool for the company's environmental management system.

The functional unit is 1 kWh of electricity, generated in the Búðarháls Station. The environmental impacts are assessed for the production and transport of construction materials and electromechanical equipment, the use of energy and waste management during the construction process, the transport of personnel and the operation of the power station for 100 years. The assessment includes the estimated emissions from the hydropower reservoir. The inventory data for the analysis is robust and obtained directly from the contractors, the final construction reports, the manufacturers of the station's equipment and actual figures from the operations of Landsvirkjun's power stations in the Thjorsa area. An estimate of emissions from the reservoir are based on researches carried out by the University of Iceland, The Soil Conservation Service of Iceland and the Agricultural University of Iceland.

In six out of the seven analysed impact categories for the Búðarháls Station, the product- and construction process stages are dominating during the 100-year lifetime. The main contributors of environmental impacts during product- and construction process stages are the production of concrete and the refinement and combustion of fossil fuels. Although the usage stage has less overall environmental impacts than other stages in most categories, it is important to consider alternatives that improve the use of fossil fuels and the use of concrete for maintenance. In addition, recycling of waste in all life cycle stages reduces the overall impact in each impact category. The carbon footprint for electricity generation in Búðarháls Station is small, 1.5 g CO₂ eq./kWh. 1.0 g CO₂ eq./kWh is due to production and construction process stages and 0.5 g CO₂ eq./kWh is due to 100 years of operation, mainly caused by emissions from the reservoir, maintenance work and fossil fuels.

There are opportunities to reduce the environmental impacts of Landsvirkjun's current and future hydroelectric power plants. In procurement, the suppliers can be required to comply with operational environmental management requirements and require certain environmental performance of the products and services. This would comply with ISO 14001:2015 where environmental impacts are to be considered throughout the whole value chain. Further improvement opportunities include selection of reservoir sites where minimum organic carbon content is in the soil. Finally, improved or reduced use of fossil fuels during construction should also be considered, e.g. more energy-efficient machinery and equipment and choose equipment that relies on environmentally friendly energy sources.

The power station's energy return on investment is 263 and the payback time is 0,38 years (5 months). This means that the power station generates 263 times more energy over a 100 year lifetime than is required to construct and operate the station during the same period. The energy used to build and operate the station is generated in only 5 months operation. The results of the analysis give numerical information on the environmental impact of electricity generation. Landsvirkjun can get the results certified by a third party, e.g. to publish a verified Environmental Product Declaration for electricity generation. Subsequently, the results would be recognized in international data banks, therefore being useful in marketing context and in the preparation of a corporate greenhouse gas accounting for Landsvirkjun's customers.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	1
SUMMARY	2
EFNISYFIRLIT	3
MYNDASKRÁ	4
TÖFLUSKRÁ	5
ORÐSKÝRINGAR	6
1 INNGANGUR	7
1.1 Bakgrunnur verkefnisins	7
1.2 Búðarhálsstöð	8
2 VISTFERILSGREINING FYRIR BÚÐARHÁLSSTÖÐ	10
2.1 Markmið og umfang	10
2.2 Aðgerðareining og líftími	10
2.3 Kerfismörk	10
2.4 Umhverfisáhrif	12
3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA	13
3.1 Framleiðslufasi og framkvæmdafasi (A1-A5)	13
3.2 Rekstrarfasi (B1-B6)	18
3.3 Endurvinnsla úrgangs (D)	21
4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR	23
4.1 Umhverfisáhrif á vistferli Búðarhálsstöðvar (A-D)	23
4.2 Vægi umhverfisáhrifaflokka í evrópsku samhengi	24
4.3 Umhverfisáhrif á mismunandi fösum vistferils	25
4.4 Kolefnisspor	28
4.5 Eyðing jarðefnaeldsneytis	31
4.6 Súrnun lands og vatns	33
4.7 Önnur umhverfisáhrif	35
4.8 Yfirlit yfir umhverfisáhrif á vistferli Búðarhálsstöðvar	36
4.9 Orkubúskapur	38
5 UMRÆÐUR	40
5.1 Gæði gagna	40
5.2 Samanburður á losun frá lónum	40
5.3 Hvar losna gróðurhúsalofttegundirnar?	41
5.4 Kolefnisspor orkugjafa	42
5.5 Tækifæri til úrbóta	44
6 LOKAORÐ	46
7 HEIMILDIR	48

MYNDASKRÁ

Mynd 1	Á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár eru sex vatnsaflsstöðvar. _____	8
Mynd 2	Yfirlitsmynd af virkjunarsvæði Búðarhálsstöðvar. _____	9
Mynd 3	Langsnið í vatnsvegi Búðarhálsstöðvar. _____	9
Mynd 4	Einfölduð mynd af kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar. _____	11
Mynd 5	Umhverfisáhrif frá vinnslu á 1 kWst raforku í Búðarhálsstöð. _____	23
Mynd 6	Myndin sýnir innbyrðis vægi sjö flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum _____	24
Mynd 7	Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti _____	25
Mynd 8	Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti í rekstri Búðarhálsstöðvar _____	26
Mynd 9	Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti við endurvinnslu úrgangs _____	27
Mynd 10	Kolefnisspor Búðarhálsstöðvar er 1,5 g CO ₂ ígildi fyrir hverja unna kílóvattstund í stöðinni. _____	29
Mynd 11	Gróðurhúsáhrif einstakra þátta í kolefnisspori Búðarhálsstöðvar _____	30
Mynd 12	Áhrif einstakra þátta á eyðingu jarðefnaeldsneytis í vistferli Búðarhálsstöðvar _____	32
Mynd 13	Áhrif einstakra þátta á súrnun lands og vatns í vistferli Búðarhálsstöðvar _____	34
Mynd 14	Framleiðsla rafbúnaðar, rafala, spenna og túrbína _____	36
Mynd 15	Heildarorkuvinnsla og orkuþörf á 100 ára líftíma Búðarhálsstöðvar _____	38
Mynd 16	Birtar niðurstöður fyrir orkuarðsemi mismunandi orkugjafa [16] _____	39
Mynd 17	Birtar niðurstöður endurgreiðslutíma orku fyrir mismunandi orkugjafa [16] _____	39
Mynd 18	Myndin sýnir hvernig losun gróðurhúsalofttegunda á vistferli Búðarhálsstöðvar skiptist _____	42
Mynd 19	Losun gróðurhúsalofttegunda frá vinnslu raforku með mismunandi orkugjöfum _____	43
Mynd 20	Myndin sýnir samhengi kolefnisspors _____	47

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1	Hlutar vistferils raforkuvinnslu í Búðarhálssstöð sem liggja innan kerfismarka	11
Tafla 2	Verkpættir sem heyra undir aðstöðusköpun.	14
Tafla 3	Lykiltölur fyrir aðstöðusköpun.	14
Tafla 4	Verkpættir sem heyra undir verkhlutana: Sporðöldustífla, aðrennslisgöng og stöðvarhús.	15
Tafla 5	Lykiltölur fyrir byggingu aflstöðvar.	15
Tafla 6	Lykiltölur yfir magn efna notuð í framleiðslu	16
Tafla 7	Ferðir starfsmanna verktaka og eftirlitsaðila.	17
Tafla 8	Lykiltölur fyrir úrgang við byggingu aflstöðvar.	18
Tafla 9	Orkunotkun við aðstöðusköpun og byggingu aflstöðvar.	18
Tafla 10	Lykiltölur fyrir rekstur Búðarhálssstöðvar í 100 ár.	19
Tafla 11	Skipting gróðurþekju og magn kolefnis í lónstæði Sporðöldulóns.	21
Tafla 12	Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá Sporðöldulóni á 100 árum.	21
Tafla 13	Reiknuð súrefnisupptaka vegna losunar CO ₂ í andrúmsloft frá lónum.	21
Tafla 14	Lykiltölur fyrir flokkaðan úrgang við byggingu og rekstur Búðarhálssstöðvar í 100 ár.	22
Tafla 15	Forsendur útreikninga fyrir endurvinnsluhlutfall í greiningunni.	22
Tafla 16	Hlutfallsleg skiptingu áhrifa (%) í metnum flokkum umhverfisáhrifa	37
Tafla 17	Orkubúskapur Búðarhálssstöðvar á 100 ára líftíma.	38
Tafla 18	Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum á hverja unna kWst.	41
Tafla 19	Samanburður á áætlaðri losun Sporðöldulóns við áætlaða losun frá lónum	41
Tafla 20	Kolefnisspor vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum.	43

ORÐSKÝRINGAR

Aðgerðareining	(<i>e. Functional unit</i>). Viðmiðunareining vistferilsgreiningar. Notuð til samanburðar á niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir sambærilega vöru eða þjónustu.
Endurgreiðslutími orku	(<i>e. Energy payback time</i>). Sá tími sem líður þangað til að hlutföll verða 1:1 milli heildarorkuvinnslu aflstöðvar og orkuþarfar á líftíma (sjá neðar).
Kerfismörk	(<i>e. System boundaries</i>). Afmörkun þess kerfis sem taka á með í vistferilsgreiningunni.
Kolefnisspor	(<i>e. Carbon footprint</i>). Mælikvarði á gróðurhúsaáhrifum, þ.e. á heildarlosun koltvísýrings (CO ₂) og annarra gróðurhúsalofttegunda sem rekja má til athafna mannsins og hefur áhrif á loftslagsbreytingar. Kolefnisspor er gefið upp í CO ₂ -ígildum.
LCIA	Niðurstöður vistferilsgreiningar (<i>e. Life Cycle Impact Assessment</i>).
Orkuarðsemi	(<i>e. Energy return on investment, EROI, eða Harvest factor</i>). Hlutfall milli heildarorkuvinnslu aflstöðvar og orkuþarfar hennar á líftíma. Stærðin er notuð til að bera saman þá orku sem nýtist samfélaginu með orkuvinnslu við þá orku sem þarf til að geta nýtt hana
Orkuþörf á líftíma	(<i>e. Primary energy demand, PED, eða Cumulative energy demand, CED</i>). Samanlögð orkuþörf aflstöðvar í öllum vistferli eða á líftíma 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

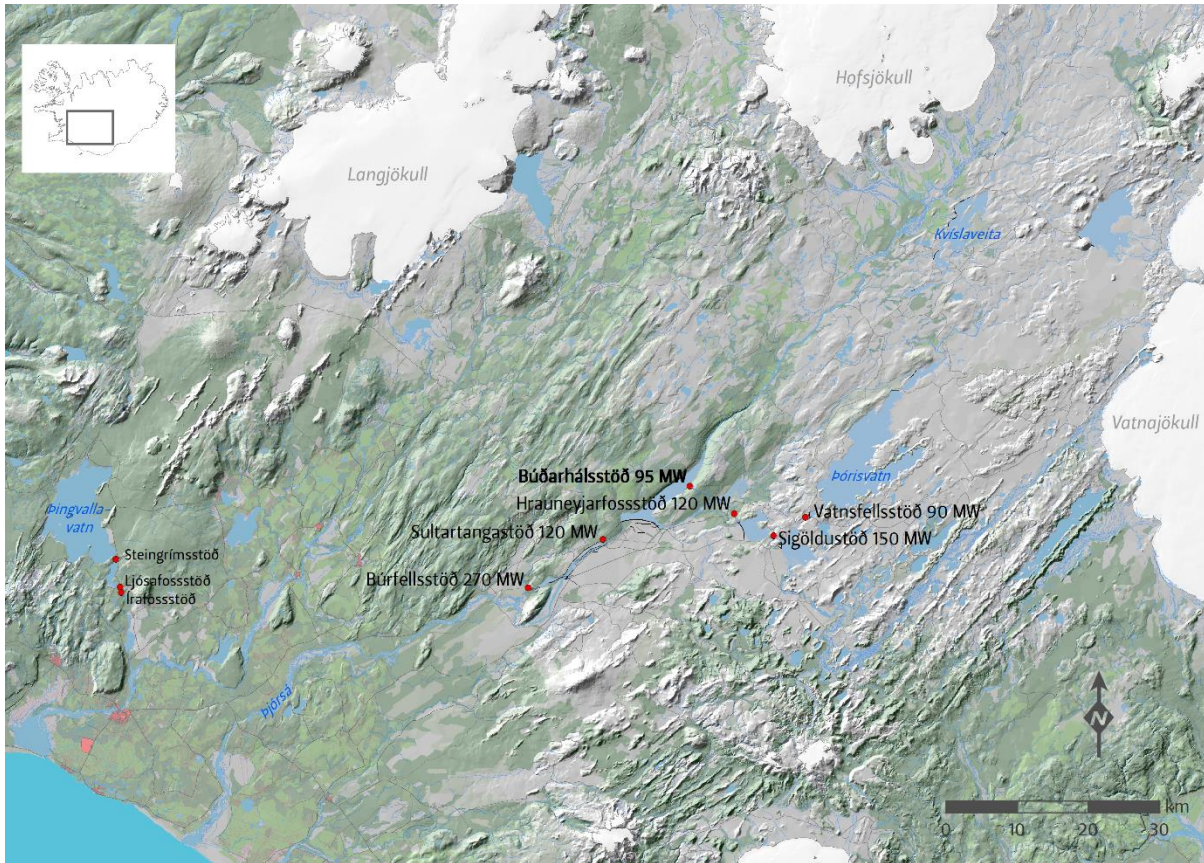
Markmið verkefnisins er greining og mat á umhverfisáhrifum og eyðingu auðlinda við raforkuvinnslu í vatnsaflsstöð Landsvirkjunar, Búðarhálsstöð en byggingu hennar lauk árið 2014. Verkefnið er liður í að meta umhverfisáhrif vatnsaflsvirkjana í eigu Landsvirkjunar. Matið er framkvæmt með aðferðarfræði vistferilsgreiningar (e. *Life Cycle Assessment, LCA*) í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 [1] og ISO 14044 [2].

Vistferilsgreining er aðferðarfræði sem er notuð til þess að meta staðbundin og hnattræn umhverfisáhrif vöru, framleiðsluferils eða þjónustu frá vöggum til grafar. Greiningin nær yfir allan vistferil vörunnar, og tekur þar með tillit til öflunar hráefna, framleiðsluferla, notkunar og förgunar. 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 því má jafnframt nýta niðurstöður til samanburðar á sambærilegri vöru eða þjónustu. Niðurstöður vistferilsgreininga eru tölulegar upplýsingar um umhverfisáhrif. Þær eru birtar fyrir ákveðna aðgerðareiningu (e. *Functional unit*) svo að samanburður á niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir sambærilegar vörur eða þjónustu sé raunhæfur. Skilgreind eru kerfismörk (e. *System Boundaries*) sem afmarka það kerfi sem greiningin nær yfir.

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

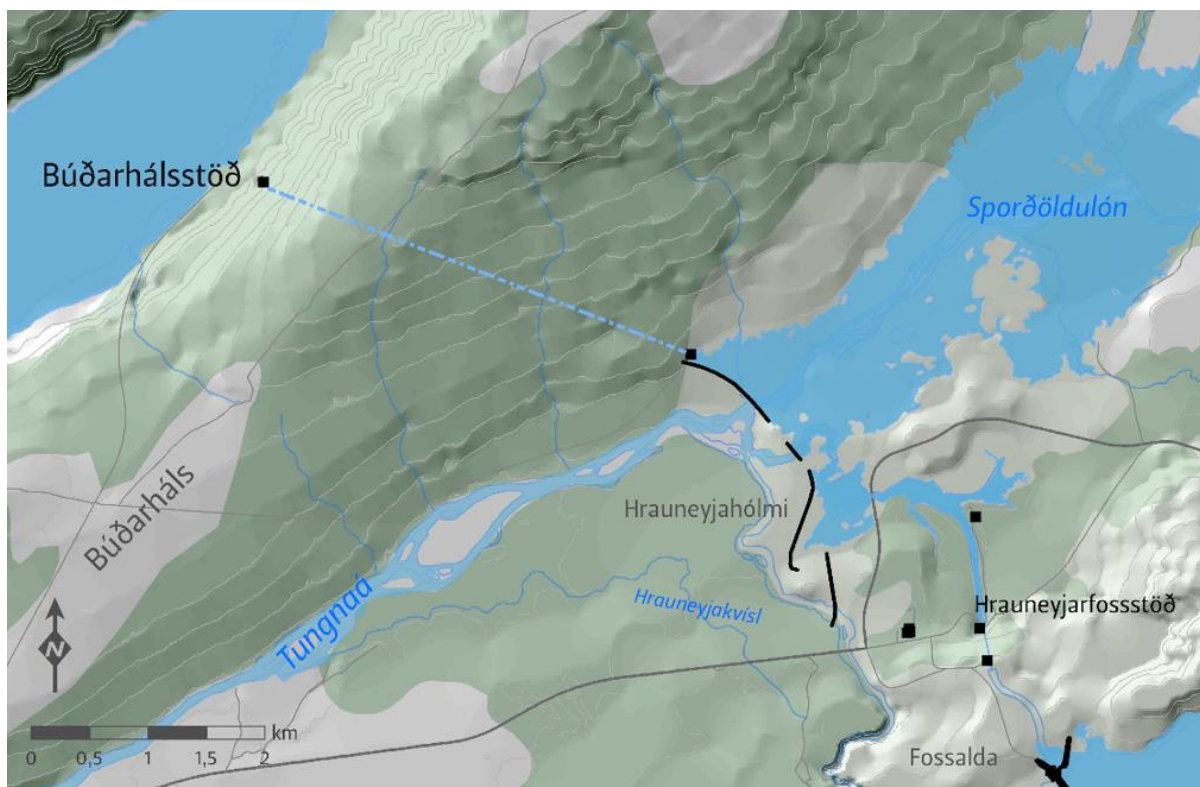
1.2 Búðarhálssstöð

Búðarhálssstöð er staðsett á Þjórsárvæðinu. Yfirlitskort yfir vatnsaflsstöðvar á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár má sjá á mynd 1 þar sem sex vatnsaflsstöðvar eru í eigu Landsvirkjunar.

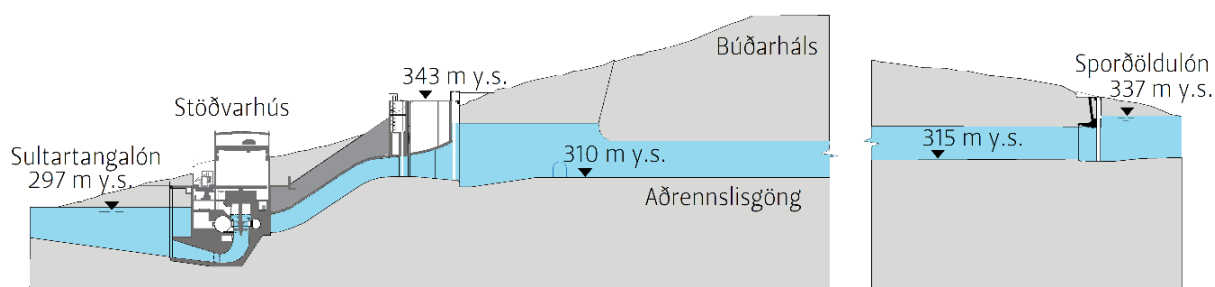


MYND 1 Á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár eru sex vatnsaflsstöðvar.

Framkvæmdir vegna Búðarhálssstöðvar hófust árið 2001 með aðstöðusköpun sem fól meðal annars í sér jarðvinnu og vegagerð, og stóð sú vinna yfir til loka árs 2002. Árið 2009 voru vinnubúðir settar upp og jarð- og fjarskiptastrengur lagðir frá Hrauneyjafossstöð. Aðrar byggingaframkvæmdir fóru fram á árunum 2010-2014 og var stöðin gangsett í mars 2014. Uppsett afl Búðarhálssstöðvar er 95 MW og er lón stöðvarinnar, Sporðöldulón, myndað með tveimur jarðvegsstíflum. Frá lóninu liggja fjögurra kílómetra löng jarðgöng sem leiða vatnið gegnum Búðarhál og að tveimur vélum stöðvarinnar í stöðvarhúsi. Yfirlitsmynd yfir stöðvarsvæðið má sjá á mynd 2 og langsnið í vatnsveg Búðarhálssstöðvar á mynd 3.



MYND 2 Yfirlitsmynd af virkjunarsvæði Búðarhálsstöðvar.



MYND 3 Langsnið í vatnsvegi Búðarhálsstöðvar.

2 VISTFERILSGREINING FYRIR BÚÐARHÁLSSTÖÐ

2.1 Markmið og umfang

Markmið vistferilsgreiningarinnar er að meta umhverfisáhrif og notkun auðlinda við vinnslu raforku í Búðarhálstöð. Vistferilsgreiningin nær til vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og vélbúnaðar, flutningsferla, byggingu aflstöðvarinnar sem og til reksturs og viðhalds hennar. Ekki er tekið tillit til niðurrifs í greiningunni.

Greiningin er unnin í samræmi við staðlana ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga. Einnig er stuðst við leiðbeiningar um framkvæmd vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisýfirlýsinga (e. *Environmental Product Declaration*) til að tryggja að niðurstöðurnar séu samanburðarhæfar við sambærilegar greiningar sem meðal annars hafa verið gerðar á Norðurlöndunum [3]. Þá er einnig unnið í samræmi við Evrópustaðalinn EN 15804 um sjálfbærni í byggingariðnaði [4].

2.2 Aðgerðareining og líftími

Aðgerðareining vistferilsgreiningarinnar er skilgreind sem **1 kWst raforka unnin í Búðarhálstöð**. Umhverfisáhrif og notkun auðlinda við vinnslu raforkunnar eru reiknuð fyrir hverja unna kWst í stöðinni. Reiknað er með 100 ára líftíma stöðvarinnar [3]. Orkuvinnslugeta stöðvarinnar er 585 GWst á ári. Á 100 ára líftíma er því reiknað með að orkuvinnslan sé 58,5 TWst.

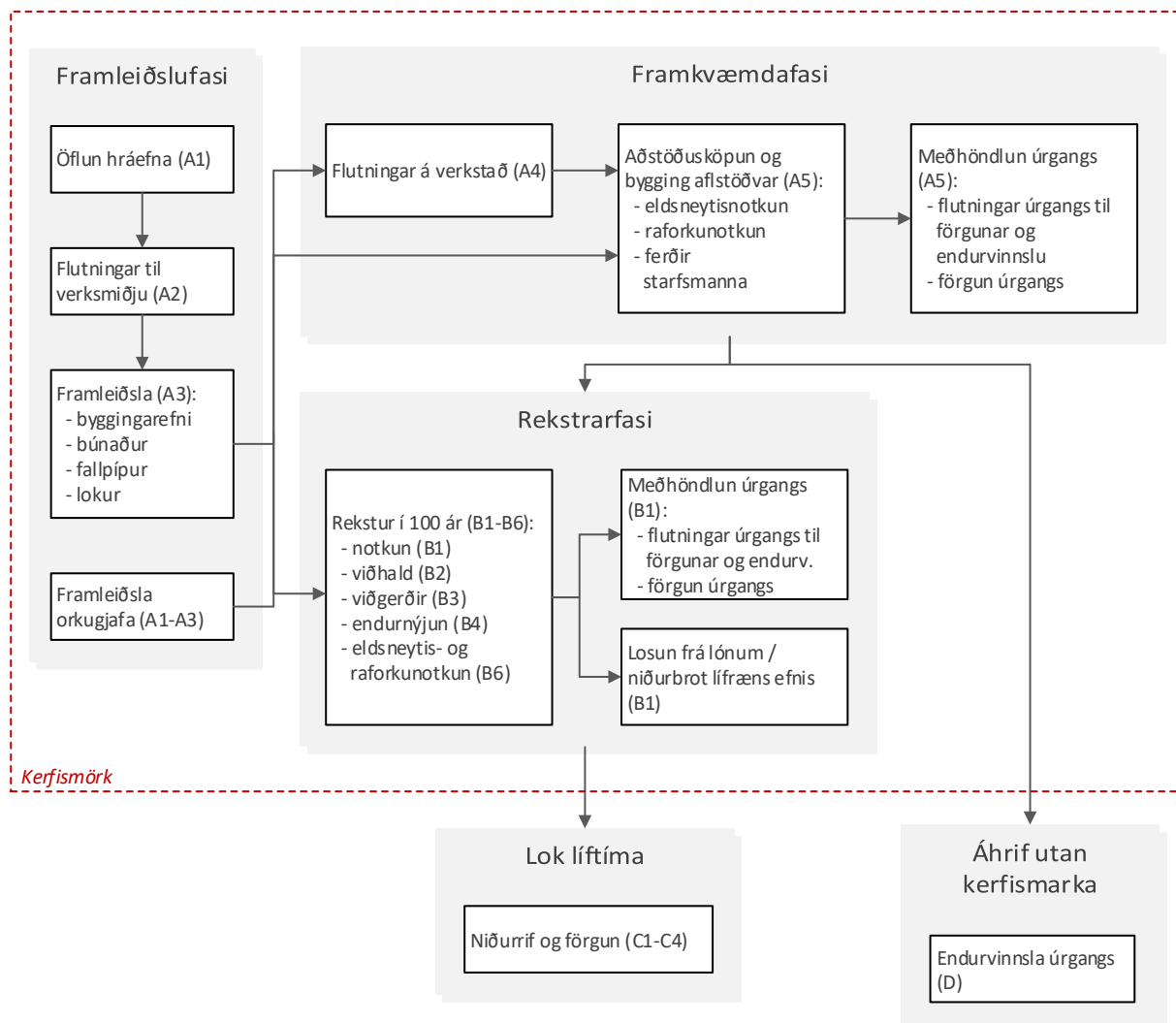
2.3 Kerfismörk

Kerfismörk vistferilsgreiningarinnar fela í sér vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og búnaðar, flutninga hráefna, byggingarefna, búnaðar og úrgangs, byggingu Búðarhálstöðvar 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 [3]. 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 15804. Þá er einfölduð mynd af kerfismörkun vistferilsgreiningarinnar sýnd á mynd 4.

TAFLA 1 Hlutar vistferils raforkuvinnslu í Búðarhálsstöð sem liggja innan kerfismarka og flokkun samkvæmt EN 15804.

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	Niðurriif	Flutningur til förgunar	Meðhöndlun úrgangs	Förgun	Endurnotkun, endurheimt orku, endurvinnsla
Flokkur skv. EN 15804	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 4 Einfölduð mynd af kerfismörkun vistferilsgreiningarinnar. Greiningin felur í sér vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og búnaðar, flutninga hráefna, byggingarefna, búnaðar og úrgangs, byggingu Búðarhálsstöðvar 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 EN 15804. 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 líftíma (e. *Primary energy demand*, *PED*, eða *Cumulated energy demand*, *CED*), orkuarðsemi (e. *Harvest factor* eða *Energy return on energy invested*, *EROI*) og endurgreiðslutími orku (e. *Energy payback time*), sjá kafla 4.9.

3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA

Notaður var hugbúnaðurinn GaBi við gerð vistferilsgreiningarinnar. Við líkangerð voru notaðar magntölur frá verktökum eða upplýsingar sem unnar voru upp úr lokaskýrslum framkvæmda, auk þess sem upplýsingar um framleiðslutölur fengust frá framleiðendum búnaðar og upplýsingar um rekstur aflstöðvarinnar voru fengnar frá Landsvirkjun. Vegna framleiðslu hráefna, staðbundinnar orkuvinnslu fyrir framleiðslu byggingarefna, flutninga, ýmissa vinnsluferla o.fl. var stuðst við bakgrunnsgögn úr alþjóðlegum gagnabanka frá GaBi. Einnig var losun frá uppistöðulónum virkjunarinnar metin.

3.1 Framleiðslufasi og framkvæmdafasi (A1-A5)

Í þessu verkefni eru framleiðslufasi og framkvæmdafasi vegna Búðarhálssstöðvar skilgreindir sem:

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

3.1.1 Framleiðsla og flutningar byggingarefna (A1-A4)

Magntölum var safnað fyrir framleiðslu og flutninga byggingarefna og heildarmagn jarðefna vegna aðstöðusköpunar sem fram fór á árunum 2001-2002 og árið 2009 og fyrir byggingu aflstöðvarinnar, en þær framkvæmdir fóru fram á árunum 2010-2014. Lykiltölur fyrir annarsvegar magn byggingarefna fyrir aðstöðusköpun og hins vegar byggingu aflstöðvar má sjá hér að neðan skipt eftir verkhlutum. Við mat á umhverfisáhrifum fyrir framleiðslu byggingarefna fyrir Búðarhál er miðað við evrópska framleiðslu. Við flutninga byggingarefna frá framleiðanda á byggingarstað var reiknað með landflutningum í framleiðslulandi, sjóflutningum frá framleiðslulandi til hafnar í Reykjavík og landflutningum innanlands að Búðarhálsi. Við landflutninga á Íslandi er gert ráð fyrir að ökutæki aki tóm til baka. Nánari upplýsingar um upprunastað og flutningsvegalengdir má finna í viðauka B. Upplýsingar um orkunotkun við framkvæmdir er að finna í kafla 3.1.5 *Orkunotkun við framkvæmdir*.

3.1.1.1 Aðstöðusköpun (A1-A3)

Aðstöðusköpun fól í sér jarðvinnu, vegagerð, brúarsmíði og uppsetningu vinnubúða. Yfirlit yfir þá verkþætti sem heyra undir þá vinnu má sjá í töflu 2. Magntölur byggingarefna og jarðefna fyrir aðstöðusköpun voru unnar upp úr lokaskýrslu framkvæmdaeftirlits og starfsmenn Landsvirkjunar tóku saman upplýsingar um þá jarðvinnu sem fylgdi uppsetningu vinnubúða. Lykiltölur fyrir aðstöðusköpun má sjá í töflu 3.

TAFLA 2 Verkpættir sem heyra undir aðstöðusköpun.

AÐSTÖÐUSKÖPUN
Aðrennslisskurður (viðbótarverk II)
Stöðvarhúsgryfja (gröftur)
Sveifluþró og fallpípuskurður
Aðkomuvegur
Tengivegur
Brú á Tungnaá
Jarðvinna fyrir vinnubúðir
Flutningar vinnubúða

TAFLA 3 Lykiltölur fyrir aðstöðusköpun.

	MAGNTÖLUR
Sprengiefni	181 tonn
Bergboltar	733 stk.
Sprautusteypa	499 m ³
Steinsteypa	766 m ³
Steypustyrktarstál	137 Tonn
Brúarstál	97 Tonn
Bergskeringar	403.733 m ³
Skeringar	55.701 m ³
Jarðefni, vinnubúðir	420 m ³
Fyllingarefni (jöfnunarlag), vinnubúðir	250 m ³
Fyllingarefni í vegi	172.381 m ³
Efni í burðarlög vegar	73.938 m ³
Klæðing	36.920 m ²

3.1.1.2 Bygging aflstöðvar (A1-A3)

Bygging aflstöðvar fól í sér þrjá verkhluta; gerð Sporðöldustíflu, gerð aðrennslisganga og byggingu stöðvarhúss. Hver verkhluti felur auk þess í sér marga verkþætti og má sjá lista yfir þá í töflu 4. Upplýsingar um magn byggingarefna og jarðefna fyrir verkhlutann voru fengnar frá verktökum og voru teknar saman af starfsmönnum Landsvirkjunar. Lykiltölur fyrir byggingarefni og jarðefni eru í töflu 5.

Sporðöldustífla er jarðvegsstífla í tveimur hlutum, 1.100 m og 170 m löngum, og er stíflan hæst um 25 metrar. Aðrir verkþættir sem heyra undir Sporðöldustíflu eru bygging hjáveitu á framkvæmdatíma, bygging yfirfalls og flóðvars sem og ýmis vegagerð á svæðinu. Aðrennslisgöng aflstöðvarinnar voru sprengd og þau styrkt. Göngin eru skeifulaga, tæpir 15 metrar á hæð, rúmir 11 m á breidd og 4 km að lengd. Aðrir verkþættir sem heyra undir aðrennslisgöng eru bygging inntaks við gangamunna, lagfæringar og styrkingar á jöfnunarþró sem og stutt aðkomugöng. Síðasti verkhlutinn felst í byggingu

stöðvarhúss og inntaksmannvirkja ásamt greftri frárennisskurðar. Aðrir verkþættir eru m.a. útvegur og uppsetning á öllum húskerfum og yfirborðsfrágangur.

TAFLA 4 Verkþættir sem heyra undir verkhlutana: Sporðöldustífla, aðrennslisgöng og stöðvarhús.

SPORÐÖLDUSTÍFLA	AÐRENNSLISGÖNG	STÖÐVARHÚS
Hjáveita Köldukvíslar	Aðrennslisskurður	Vatnsöflun
Hjáveita Sporðöldukvíslar	Inntak í aðrennslisgöng	Gröftur fyrir mannvirki og frárennisskurði
Norðvesturstífla í farvegi Köldukvíslar	Vegir og plön	Inntak
Suðausturstífla í farvegi Sporðöldukvíslar	Aðrennslisgöng	Þrýstipípur
Yfirfall á Sporðöldulóni	Sveifluþró	Stöðvarhús
Tungnaárveita yfir í Sporðöldulón	Aðkomugöng í sveifluþró	Vegir og plön
Vegir og plön	Stækkun á framkvæmdarsvæði	
Hækkun brúar á vegi 26 og önnur jarðvinna á stíflusvæði		

TAFLA 5 Lykiltölur fyrir byggingu aflstöðvar.

	EINING	SPORÐÖLDUSTÍFLA	AÐRENNSLISGÖNG	STÖÐVARHÚS	ALLS
Jarðefni	m ³	1.458.101	927.180	239.247	2.624.528
Sprengiefni	tonn	43	1.844	199	2.085
Bergboltar	stk	856	34.629	1.747	37.232
Sprautusteypa	m ³	630	47.189	958	48.777
Steypa	m ³	4.791	2.390	31.118	38.299
Steypustyrktarstál	tonn	194	270	2.437	2.901
Stáltrefjar og stálnet	tonn	17	958	39	1.014
Smíðajárn	tonn	5	5	1.116	1.126
Jarðvegisdúkur	m ²	13.300		562	13.862
Sement fyrir grautun	tonn	362	478	27	867
Íblöndunarefni (grautun)	tonn	1	11	0,4	12
Fyllingarefni í vegagerð	m ³	31.831			31.831
Bik	tonn	36			36
Repjuolía	tonn	3			3
Viðloðunarefni, vegagerð	tonn	0,3			0,3
Pípa, plast	m	60	55	3.511	3.626
Pípa, stál	m		17	24	41
Timbur	m ³	25			25
Stokkur fyrir strengi (PEH)	m	1.068			1.068

3.1.2 Framleiðsla og flutningar búnaðar, fallpípa og loka (A1-A4)

Um er að ræða framleiðslu á eftirfarandi búnaði:

- hverflum
- rafölum
- stöðvarhússkrana
- rafkerfi
- stjórnbúnaði
- vélaspennum
- aflstrengjum
- fallpípum
- lokum

Upplýsingar um framleiðslu búnaðar fyrir Búðarhálsstöð og flutninga til Íslands voru fengnar frá framleiðendum hans. Í öllum tilfellum fengust upplýsingar um heildarmagn hráefna sem þarf til

framleiðslunnar og flutninga til Íslands, þá fengust upplýsingar um orkunotkun í flestum tilfellum en mjög ítarlegar upplýsingar voru veittar um framleiðslu vélaspenna. Flutningar búnaðar á Íslandi, frá höfn og upp á Búðarháls var áætlaður af skýrsluhöfundum. Nánari upplýsingar um flutningsvegalengdir fyrir allan búnað má finna í viðauka B. Hverflar, rafalar, stjórnþúnaður, rafkerfi, vélaspenningar og aflstrengir eru áætluð hafa 60 ára líftíma og er gert ráð fyrir að sá búnaður sé endurnýjaður að þeim tíma liðnum. Stöðvarhússkrani, fallpípur og lokur er ekki endurnýjað á 100 ára líftíma. Tekið er tillit til endurnýjunar á rekstrartíma aflstöðvarinnar.

3.1.2.1 Hverflar, rafalar, stöðvarhússkrani, rafkerfi og stjórnþúnaður

Voith Hydro er framleiðandi hverfla, rafala, stöðvarhússkrana auk stjórnþúnaðar og rafkerfa. Upplýsingar voru fengnar frá Voith Hydro um heildarmagn hráefna og flutninga þeirra til framleiðanda auk flutninga alls búnaðar frá framleiðanda til Íslands. Auk þess fengust upplýsingar um orkunotkun við framleiðslu hverfla. Lykiltölur fyrir magn efna fyrir framleiðslu búnaðar fyrir Búðarhálsstöð má sjá í töflu 6.

TAFLA 6 Lykiltölur yfir magn efna notuð í framleiðslu hverfla, rafala, stöðvarhússkrana, rafkerfa, stjórnþúnaðar, spenna, aflstrengja, fallpípa og loka fyrir Búðarhálsstöð

	EINING	HVERFLAR	RAFALAR	KRANI	RAFKERFI	STJÓRNÞÚNAÐUR	SPENNAR	STRENGIR	FALLPÍPUR	LOKUR	ALLS
Stál	tonn	737	251	126	20	11	148	-	545	425	2.264
Kopar	tonn	-	20	-	34	2	22	2	-	-	80
Ál	tonn	-	-	-	16	-	-	2	-	-	18
Plast	tonn	-	-	2	-	8	-	8	-	-	18
Spennaolía	tonn	-	-	-	-	-	37	-	-	-	37
Annað	tonn	5	4	-	16	0,2	25	0	2	-	52
Samtals	tonn	743	275	128	86	22	232	12	547	425	2.469

3.1.2.2 Vélaspenningar

Tveir vélaspenningar eru í Búðarhálsstöð. Framleiðandi spennanna er Efacec í Portúgal. Upplýsingar um framleiðslu spennanna voru fengnar beint frá framleiðanda sem veitti upplýsingar um orkunotkun, kaup og flutninga hráefna, úrgang, fráveituvatn og losun í andrúmsloft við framleiðsluna. Báðir spennarnir í Búðarhálsstöð eru með olíu til einangrunar, ekki er því um að ræða neina losun á SF₆ gasi í andrúmsloft.

3.1.2.3 Aflstrengir

Aflstrengir sem liggja frá Búðarhálsstöð að tengivirki Landsnets, alls 1.830 metrar, voru framleiddir hjá ILJIN í Suður Kóreu. Upplýsingar um hráefnanotkun og flutninga hráefna til framleiðanda voru fengnar frá ILJIN ásamt flutningsvegalengdum frá framleiðanda og á Búðarháls.

3.1.2.4 Fallpípur

Íslenskir aðalverktakar sáu um smíði og uppsetningu fallpípa og veittu upplýsingar um orkunotkun og magn og flutninga hráefna fyrir vistferilsgreininguna.

3.1.2.5 Lokur

Lokur og lokubúnaður Búðarhálssstöðvar voru keyptar af Alstom Hydro og fór framleiðsla þeirra að mestu fram hjá fyrirtækinu Pemel í Portúgal. Upplýsingar fengust fyrir heildarmagn stáls í lokur og lokubúnað og flutningsvegalengdir (höfn í höfn) frá framleiðendum til Íslands. Aðrar flutningsvegalengdir voru áætlaðar af skýrsluhöfundum.

3.1.3 Ferðir starfsmanna (A4)

Upplýsingar um ferðir starfsmanna á byggingartíma voru fengnar hjá Landsvirkjun. Við aðstöðusköpun var áætlað að um 15 ársverk væri að ræða en fyrir byggingu aflstöðvarinnar var í heildina um 850 ársverk að ræða og var áætlað að ferðir starfsmanna og eftirlits frá heimili og á byggingarstað væri samkvæmt upplýsingum í töflu 7. Gert var ráð fyrir að ferðir starfsfólks væru með sama hætti við aðstöðusköpun og við byggingu aflstöðvar.

TAFLA 7 Ferðir starfsmanna verktaka og eftirlitsaðila.

STARFSMENN	FERÐATILHÖGUN	ÖKUTÆKI*
Iðnaðarmenn og verkamenn verktaka	60% starfsmanna ferðuðust 2x150 km, 25x á ári	40 manna rúta (dísil), 12-14 tonn að þyngd með 6 tonna burðargetu
Eftirlitsaðilar og stjórnendur hjá verktaka	15% starfsmanna ferðuðust 2x150 km, 50x á ári	Dísilknúinn bíll, vélasterð > 2L
Verkstjórar verktaka og aðrir innlendir verktakar	15% starfsmanna ferðuðust 2x150 km, 25x á ári	Dísilknúinn bíll, vélasterð > 2L
Erlendir starfsmenn	5% starfsmanna ferðuðust 2x200 km, 3x - 4x á ári	Dísilknúinn bíll, vélasterð > 2L
Erlendir starfsmenn	5% starfsmanna ferðaðist 2x2000 km, 3x - 4x á ári með flugi	Farþegaflug í vél sambærilegri og Airbus A330

* Miðað er við Euro 2 ökutæki í aðstöðusköpun og Euro 4 ökutæki við byggingu aflstöðvar

3.1.4 Úrgangur frá byggingu aflstöðvar (A5)

Upplýsingum um úrgangsmýndun við byggingu aflstöðvarinnar var safnað af verktaka á framkvæmdatíma og voru þær upplýsingar fengnar frá Landsvirkjun. Ekki fengust upplýsingar um magn úrgangs við aðstöðusköpun. Óflokkuðum úrgangi var safnað og gert er ráð fyrir að hann sé fluttur á urðunarstað. Flokkuðum úrgangi var safnað og hann fluttur til endurvinnslu (sjá kafla 3.3) og hættulegum úrgangi og seyru var fargað hjá viðurkenndum förgunaraðila. Heildarmagn úrgangs frá framkvæmdum á árunum 2010–2014 má sjá í töflu 8. Frekari upplýsingar um samsetningu, meðhöndlun og förgun úrgangs frá framkvæmdum má sjá í viðauka B.

TAFLA 8 Lykiltölur fyrir úrgang við byggingu aflstöðvar.

MAGNTÖLUR		
Óflokkaður úrgangur	202	tonn
Flokkaður úrgangur	1.245	tonn
Spilliefni	21	tonn

3.1.5 Orkunotkun við framkvæmdir (A5)

Upplýsingar um orkunotkun við aðstöðusköpun og orkunotkun verktaka og undirverktaka við byggingu aflstöðvar á árunum 2011-2014 voru fengnar frá verktökunum og Landsvirkjun. Við aðstöðusköpun er gert ráð fyrir að ökutæki og vélar við Búðarháls uppfylli Euro 2 mengunarstaðal en við byggingu aflstöðvar er reiknað með Euro 4 mengunarstaðal. Þessir mengunarstaðlar skilgreina viðmiðunarmörk fyrir útblástur mengandi efna frá ökutækjum sem seld eru í Evrópu, þar sem Euro 2 staðall fyrir vörubíla tók gildi árið 1998 og Euro 4 árið 2005. Fyrir raforkunotkun við framkvæmdir er reiknað með notkun vatnsafls, en lagður var strengur frá Sigöldu sem sá framkvæmdastað fyrir rafmagni. Upplýsingar um orkunotkun má sjá í töflu 9.

TAFLA 9 Orkunotkun við aðstöðusköpun og byggingu aflstöðvar.

	EINING	AÐSTÖÐUSKÖPUN	BYGGING AFLSTÖÐVAR	ALLS
Dísilolía	L	1.219.678	5.371.184	6.590.862
Bensín	L	230		230
Raforka	GJ		129.831	129.831
Smurolíur	L	250		250

3.2 Rekstrarfasi (B1-B6)

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

- meðhöndlun úrgangs frá almennum rekstri (B1)
- losun frá uppistöðulóni (B1)
- viðhald og viðgerðir mannvirkja (B2-B3)
- endurnýjun búnaðar (B4)
- eldsneytis- og raforkunotkun (B6)
- endurvinnsla eldri búnaðar (D)

3.2.1 Rekstur aflstöðvar (B1-B6)

Búðarhálsstöð hóf rekstur á árinu 2014 og til að áætla magn úrgangs og orkunotkun á 100 ára líftíma stöðvarinnar var notast við meðaltöl fyrir aflstöðvar á Þjórsársvæðinu. Reiknað var með meðal eldsneytisnotkun, raforkunotkun og úrgangi fyrir árin 2013 til 2016 í Búrfellsstöð, Sultartangastöð, Hrauneyjafosstöð, Sigöldustöð og Vatnsfellsstöð þar sem Búðarhálsstöð bættist inn í meðaltalið árið 2014. Upplýsingar um móttökuaðila og meðhöndlun úrgangs og spilliefna á Þjórsársvæðinu voru fengnar úr skýrslu Landvirkjunar um úttekt á sorpmálum á aflstöðvum fyrirtækisins [5].

TAFLA 10 Lykiltölur fyrir rekstur Búðarhálssstöðvar í 100 ár.

ÁÆTLAÐAR REKSTRARTÖLUR FYRIR 100 ÁRA REKSTUR		
Orkunotkun:		
Dísilolía	568.722	L
Bensín	6.300	L
Raforkunotkun	397	GWst
Úrgangur:		
Óflokkaður úrgangur	76.801	kg
Flokkaður úrgangur	172.663	kg
Hættulegur úrgangur (spilliefni)	20.111	kg
Viðhald:		
Steypa	2.390	m ³
Sprautusteypa	43.498	m ³
Steypustyrktarstál	1.219.260	Kg
Endurnýjum vélbúnaðar:		
Hverfill	2	stk
Rafall	2	stk
Spennar	2	stk
Rafbúnaður	1	stk
Stýribúnaður	1	stk
Strengir	1	stk
Endurvinnsla vegna endurnýjunar búnaðar:		
Stál	1.166	tonn
Kopar	80	tonn
Plast	17	tonn
Ál	17	tonn
Viður	12	tonn
Olía	37	tonn

Gert er ráð fyrir að endurnýja þurfi hverfla, rafala, spenna, rafbúnað, stýribúnað og strengi að 60 árum liðnum. Því þarf að framleiða nýjan búnað í stað þess búnaðar sem skipt er út og er notast við sömu upplýsingar fyrir þá framleiðslu og lýst er hér að framan í kafla 3.1.2. Einnig er gert ráð fyrir að málmar úr úreltum búnaði séu endurunir, sjá kafla 3.3. Að auki er gert ráð fyrir viðahaldi mannvirkja í samræmi við leiðbeiningar um gerð vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisyfirlýsinga [3], þ.e. að öll steypa og tilheyrandi steypustyrktarstál í aðrennslisgöngum og sveifluþró sé endurnýjað á 100 ára líftíma. Áætlaðar lykiltölur fyrir rekstur Búðarhálssstöðvar í 100 ár má sjá í töflu 10.

3.2.2 Losun frá lónum (B1)

Gerð uppistöðulóna vatnsaflsvirkjana breytir upphaflegri landnotkun svæðisins þar sem lónstæðið er valið. Það land fer undir vatn og rennsli vatns á svæðinu kann að breytast. Þessari landnotkun fylgir losun og/eða upptaka gróðurhúsalofttegunda. Í lónstæði uppistöðulóns Búðarhálssstöðvar, Sporðöldulóns, voru bæði grónin og ógrónin svæði. Gróin svæði voru annars vegar graslendi, gjarnan með mosa, stinnastör og smárunnum og hins vegar sandbleytuvotlendi, en melar einkenndu ógróíð land [6]. Þegar vistkerfi eru sett undir vatn verða breytingar á þeim ferlum sem tengjast losun og upptöku gróðurhúsalofttegunda, sem m.a. leiðir af sér minni upptöku koltvísýrings (CO₂) og stærstur hluti niðurbrots lífræns efnis verður við loftfirrtar aðstæður, sem leiðir af sér aukna myndun metans (CH₄) og losun út í vatnsbolinn. Vegna þess hve CH₄ er illeysanlegt í vatni leitar það í loftfasa. Þar sem

aðstæður eru til myndunar loftbóla losnar metan úr vatninu inn í loftbólurnar. Slíkar aðstæður eru t.d. undir gróðurþekju, torflagi eða ís. Það fer svo eftir hve öflug fyrirstaðan er hve stórar þessar bólur verða áður en þær losna og fljóta upp að yfirborði þar sem innihaldi losnar. Umtalsverður hluti metanlosunar getur verið á þessu formi. Hluti þess metans sem er uppleystur í vatni getur einnig oxast yfir í CO₂ áður en það nær upp að yfirborði lónsins þar sem það losnar í andrúmsloftið [7].

Þeir þættir sem helst eru taldir hafa áhrif á magn gróðurhúsalofttegunda sem losna út í andrúmsloftið frá lónum eru: heildarmagn lífræns efnis í jarðvegi og gróðri sem fer undir vatn, jarðvegsgerð í lónstæðunum, styrkur súrefnis í vatnsbolnum, lögun lóna og þá einkum dýpi þeirra, hitastig, veðurlag, kolefnisbúskapur og næringarefnastaða þeirra vistkerfa sem fara undir vatn. Á Íslandi fer mun minna af grónu landi undir lón en víða erlendis, en íslenskur jarðvegur er að stærstum hluta eldfjallajörð (Andosol) og getur innihaldið meira lífrænt efni en aðrar ólífrænar (e. mineral) jarðvegsgerðir [8]. Þessi mikli forði af lífrænu efni í jarðvegi getur haft áhrif á hversu lengi gróðurhúsaáhrif vegna myndunar uppistöðulóna vara. Lágur hiti lóna getur einnig lengt niðurbrotstíma þess efnis sem fer undir vatn [7]. Einnig getur nýmyndun lífræns efnis og aðburður viðhaldið losun.

3.2.2.1 Mat á losun gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulóni Búðarhálsstöðvar

Við mat á losun gróðurhúsalofttegunda frá Sporðöldulóni var notast við niðurstöður rannsóknar Háskóla Íslands og Landgræðslu ríkisins sem fór fram í lónsstæði Sporðöldulóns í september árið 2013. 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) og endurspegla mælingarnar því hraðaða losun miðað við núverandi umhverfisaðstæður. Niðurstöður rannsóknarinnar leiddu í ljós að eftir 365 daga í lokuðu kerfi var samanlögð losun kolefnis um 10% af heildarkolefni jarðvegsins. Því er reiknað með að 10% þess kolefnis sem fyrir finnst í lónstæðinu losni á 100 ára líftímanum [6].

Heildarmagn kolefnis í lónsstæðinu var því næst áætlað út frá mælingum á kolefnisbirgðum í efstu 30 cm hvers borkjarna. Mælingar á kolefnisbirgðum voru gerðar í ofangreindri rannsókn, en áætlað magn kolefnis í efstu 30 cm var unnið af skýrsluhöfundum. Tekið var vegið meðaltal sem byggði á mismunandi gróðurþekju lónstæðisins og var notuð sama skilgreining á þekju og Landbúnaðarháskóli Íslands notar við skil til Loftslagssamnings Sameinuðu þjóðanna (tafla 11). Skiptist lónsstæðið í gróið land og land sem var að mestu ógróið. Þá var hluti lónstæðisins, 11% af heildarflatarmálinu, þakið vatni fyrir framkvæmdir og þeim hluta lónstæðis fylgir því ekki losun þar sem er ekki um að ræða breytta landnotkun. Þetta er í samræmi við skil Landbúnaðarháskólans til Loftslagssamningsins og á við á fleiri stöðum á landinu.

Þá er gert ráð fyrir að 10% af kolefninu sem losnar úr jarðveginum losni sem metan (CH₄) og 90% losni sem koltvísýringur (CO₂) (Jón Guðmundsson, LBHÍ, óútgefið efni, 5. febrúar 2018). Þetta er í samræmi við mat Landbúnaðarháskóla Íslands á árlegri losun frá lónum Landsvirkjunar sem birt er í grænu bókhalda Landsvirkjunar. Samkvæmt ofangreindu er árleg losun gróðurhúsalofttegunda frá Sporðöldulóni metin 94 tonn CO₂ ígildi og því er heildarlosun metin rúmlega 9.400 tonn CO₂ ígildi á 100 árum (tafla 12).

TAFLA 11 Skipting gróðurþekju og magn kolefnis í lónstæði Sporðöldulóns.

TEGUND ÞEKJU Í LÓNSTÆÐI	STÆRÐ (KM ²)	MAGN KOLEFNIS Í EFSTU 30 CM (KG C/M ²)
Að mestu ógróið land	4,3	1,03
Gróið land	2,3	4,24
Land þakið vatni	0,8	-
Samtals:	7,4	1,92*

* Vegið meðaltal

TAFLA 12 Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá Sporðöldulóni á 100 árum.

LÓN	LOSUN CO ₂ (TONN)	LOSUN CO ₂ /KWST (g)	LOSUN CH ₄ (TONN)	LOSUN CH ₄ /KWST (g)
Sporðöldulón	4.687	0,08	189	0,003

3.2.2.2 Næringarefnaauðgun og myndun ósons við yfirborð vegna Sporðöldulóns

Þegar lífrænt efni í lónsstæðum brotnar niður, binst kolefni við súrefni sem er til staðar í vatninu og losnar út í andrúmsloftið sem CO₂. Jafnvægið í vistkerfi vatnsins raskast við þetta sem getur haft í för með sér næringarefnaauðgun sem getur leitt til súrefnisskorts í lóninu. Í vistferilsgreiningunni er tekið tillit til áhrifa losunar kolefnis sem CO₂ á styrk súrefnis í lóninu, í samræmi við leiðbeiningar um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu [3]. Súrefnisupptakan er gefin upp sem 2,67 g COD fyrir hvert gramm kolefnis sem losnar sem CO₂ frá lóninu í andrúmsloft. Í töflu 13 má sjá reiknaða súrefnisupptöku. Ekki var tekið tillit til hugsanlegrar losunar fosfórs í lónið sem gæti valdið næringarefnaauðgun sbr. leiðbeiningar um gerð umhverfisýfirlýsinga [3].

TAFLA 13 Reiknuð súrefnisupptaka vegna losunar CO₂ í andrúmsloft frá lónum.

REIKNUÐ SÚREFNISUPPTAKA	MAGN
tonn COD	3.413
g COD/kWst	0,06

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 Sporðöldulóni áhrif á myndun ósons við yfirborð jarðar. Það hefur því ekki eingöngu jákvæð áhrif fyrir gróðurhúsaáhrif að draga úr losun metans frá lónunum.

3.3 Endurvinnsla úrgangs (D)

Úrgangur til endurvinnslu myndast í mismunandi þáttum vistferils Búðarhálssstöðvar á 100 ára líftíma hennar. Hér er gert ráð fyrir að úrgangur fari í endurvinnslu frá framleiðslu spenna og fallpípa, þá er gert ráð fyrir flokkuðum úrgangi til endurvinnslu frá framkvæmdum, hefðbundnum rekstri aflstöðvarinnar og þegar búnaður er endurnýjaður að 60 árum liðnum. Heildarmagn úrgangs til endurvinnslu á líftíma stöðvarinnar má sjá í töflu 14.

TAFLA 14 Lykiltölur fyrir flokkaðan úrgang við byggingu og rekstur Búðarhálssstöðvar í 100 ár.

MAGNTÖLUR		
Framleiðsla búnaðar:		
Stál	88	tonn
Kopar	0,3	tonn
Plast	0,6	tonn
Pappír og pappi	8	tonn
Timbur	10	tonn
Bygging aflstöðvar:		
Málmar	292	tonn
Plast	8	tonn
Pappír og pappi	20	tonn
Timbur	657	tonn
Úrgangur frá almennum rekstri:		
Málmar og ýmis búnaður	53	tonn
Pappír og pappi	16	tonn
Plast	0,04	tonn
Timbur	71	tonn
Endurvinnsla vegna endurnýjunar búnaðar:		
Stál	1.166	tonn
Kopar	80	tonn
Plast	17	tonn
Ál	17	tonn
Timbur	12	tonn

Aðferðin sem hér er notuð til að meta jákvæð áhrif vegna endurvinnslu gengur út á að með endurvinnslu efna er komið í veg fyrir að framleiða þurfi ný hráefni í önnur vörukerfi, með tilheyrandi námuvinnslu og orkunotkun. Úrgangur til endurvinnslu er hér því skilgreindur sem möguleg auðlind til notkunar í framtíðinni. Markaðsverð endurunnins stáls og áls sem hlutfall af verði nýrra hráefna er notað til að reikna jákvæð áhrif endurvinnslu, þ.e. umhverfisáhrif sem komið er í veg fyrir í öðru vörukerfi [9, 10]. Þessi aðferð er talin er 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 [11, 12, 13] og við brennslu timburs og olíu erlendis var gert ráð fyrir orkuheimt í sorpbrennslustöð [9] (tafla 15).

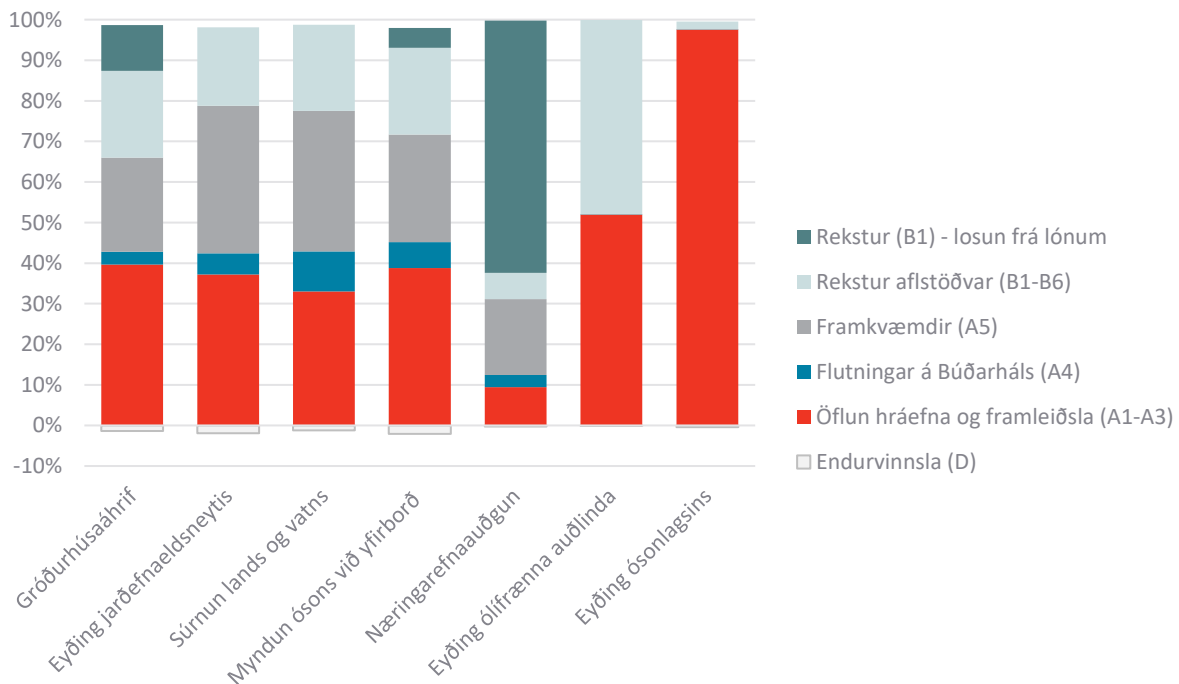
TAFLA 15 Forsendur útreikninga fyrir endurvinnsluhlutfall í greiningunni.

EFNI TIL ENDURVINNSLU	ENDURVINNSLUHLUTFALL
Stál	37% [9]
Ál	69% [9]
Kopar	81% [11]
Plast	75% [13]
Pappír	78% [12]
Timbur	Orkuheimt [9]
Olía	Orkuheimt [9]

4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR

4.1 Umhverfisáhrif á vistferli Búðarhálssstöðvar (A-D)

Hér eru birtar niðurstöður vistferilsgreiningarinnar (e. Life Cycle Impact Assessment, LCIA) fyrir vinnslu á 1 kWst af raforku í Búðarhálssstöð. Á mynd 5 má sjá hvernig umhverfisáhrif fyrir alla sjö flokka umhverfisáhrifa skiptast á milli mismunandi stiga vistferilsins á 100 ára líftíma. Í sex flokkum er það öflun hráefna og framleiðsla íhluta aflstöðvarinnar sem og framkvæmdirnar sem vega þýngst í vistferlinum. Undantekning er næringarefnaauðgun sem á sér að stærstum hluta stað á rekstrartíma stöðvarinnar þegar lífrænt efni brotnar niður sem verður til þess að kolefni losnar úr jarðvegi lönsins og gengur í samband við súrefni úr vatnsbolnum (sjá kafla 3.2.2.2).

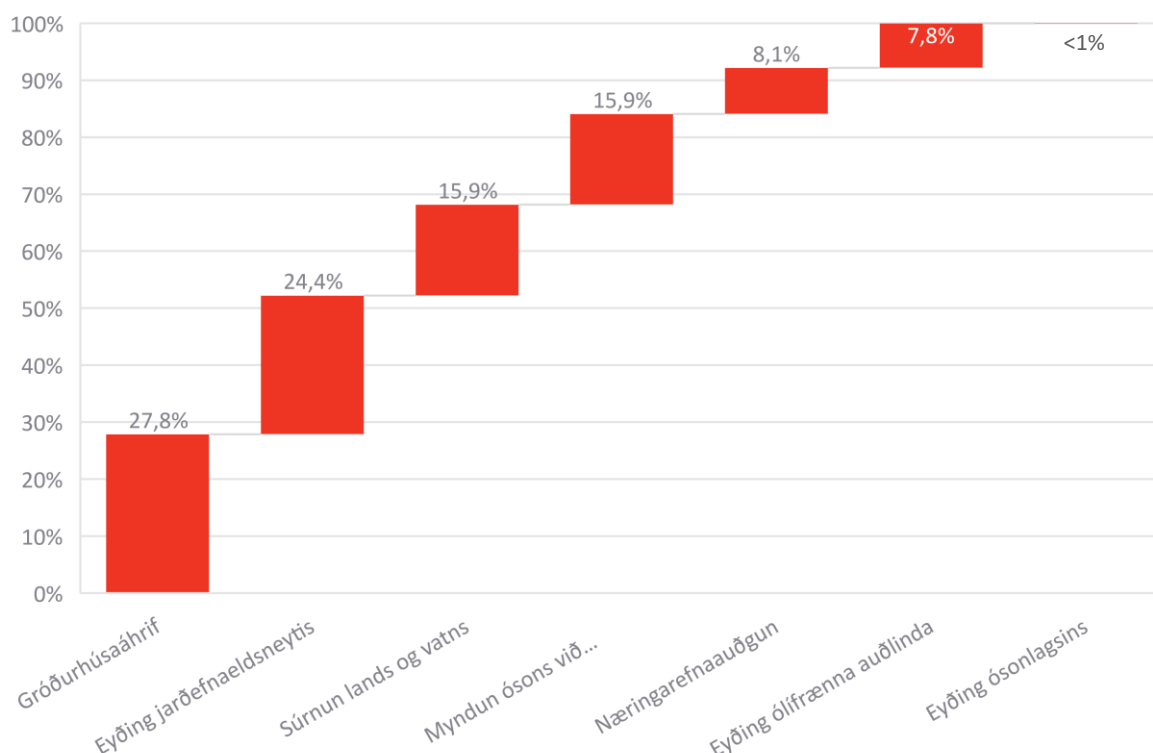


MYND 5 Umhverfisáhrif frá vinnslu á 1 kWst raforku í Búðarhálssstöð. Á myndinni sést hlutdeild mismunandi þátta vistferils aflstöðvarinnar á 100 ára líftíma fyrir hvern flokk umhverfisáhrifa.

4.2 Vægi umhverfisáhrifaflokka í evrópsku samhengi

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar eru birtar fyrir sjö mismunandi flokka umhverfisáhrifa sem allir hafa mismunandi einingar. Til að greina vægi mismunandi flokka er framkvæmd svokölluð stöðlun og vigtun niðurstaða, en inn í þá aðgerð kemur m.a. inn mannlegt mat á mikilvægi flokka. Því er ekki æskilegt að líta einungis á staðlaðar og vigtaðar niðurstöður þegar túlka á niðurstöðurnar. Við stöðlun eru niðurstöðurnar settar í samhengi við umhverfisáhrif vegna mannlegra athafna sem verða í heiminum eða á ákveðnu svæði, t.d. Evrópu, á einu ári. Vigtun byggir á því að hver flokkur umhverfisáhrifa hefur skilgreint ákveðið vægi sem getur t.d. verið byggt á pólitískum markmiðum um lækkun eða á skoðunum sérfræðinga [14].

Hér var notast við viðurkennda aðferðarfræði CML 2001 og við stöðlunina eru niðurstöðurnar settar í samhengi við árlega heildarlosun vegna mannlegra 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 Búðarhálsstöð, þ.e. innbyrðis vægi þeirra sjö flokka sem hér eru metnir, má sjá á mynd 6. Framlag Búðarhálsstöðvar til umhverfisáhrifa í Evrópu er hlutfallslega mest í flokkunum gróðurhúsaáhrif, eyðing jarðefnaeldsneytis og súrnun lands og vatns samkvæmt þessari aðferðarfræði. Í ljósi þessara niðurstaða er umhverfisáhrifaflokkum raðað í sömu röð í öllum myndum í þessum kafla frá vinstri til hægri, þ.e. frá því að hafa mest vægi skv. stöðlun og vigtun í að hafa minnst vægi. Fjallað er um þá þrjá flokka sem mest vægi hafa í köflum 4.4 - 4.6, og um aðra umhverfisáhrifaflokka í kafla 4.7.



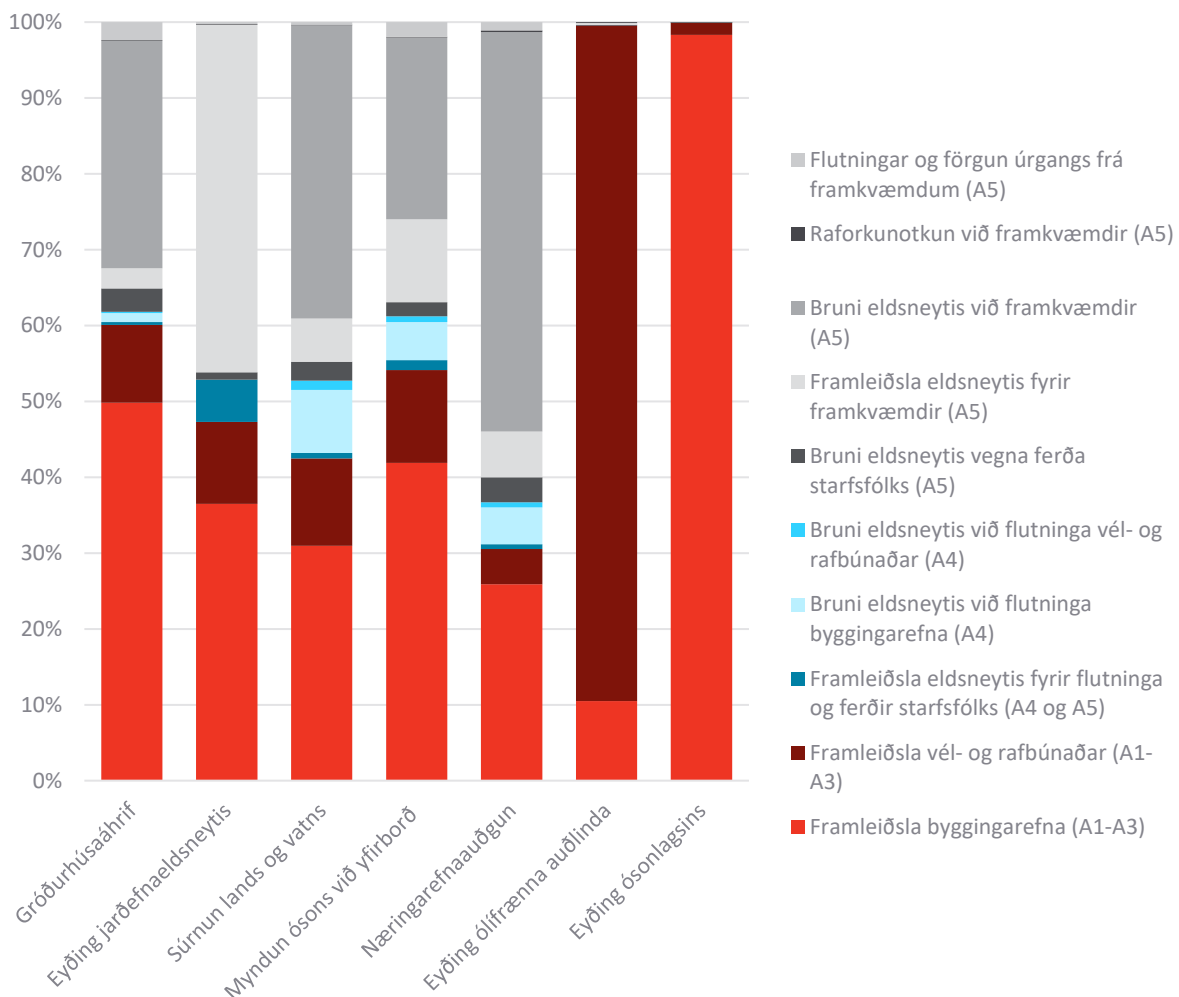
MYND 6 Myndin sýnir innbyrðis vægi sjö flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum við vinnslu raforku í Búðarhálsstöð yfir 100 ára líftíma. Hér hafa niðurstöður verið staðlaðar og vigtaðar m.v. meðaláhrif vegna mannlegra athafna í Evrópu skv. CML aðferðinni.

4.3 Umhverfisáhrif á mismunandi fösum vistferils

4.3.1 Framleiðslufasi og framkvæmdafasi (A1-A5)

Mynd 7 sýnir umhverfisáhrif frá framleiðslu- og framkvæmdafasa Búðarhálsstöðvar skipt eftir mismunandi þáttum: framleiðslu byggingarefna, framleiðslu vél- og rafbúnaðar, framleiðslu eldsneytis; bruna eldsneytis vegna flutninga byggingarefna, starfsfólks verktaka og búnaðar frá framleiðendum á Búðarháls; bruna eldsneytis og raforkunotkun við framkvæmdir og flutninga og förgun úrgangs. Ávinningur vegna endurvinnslu úrgangs frá framkvæmdum er sýndur sérstaklega í kafla 4.3.3.

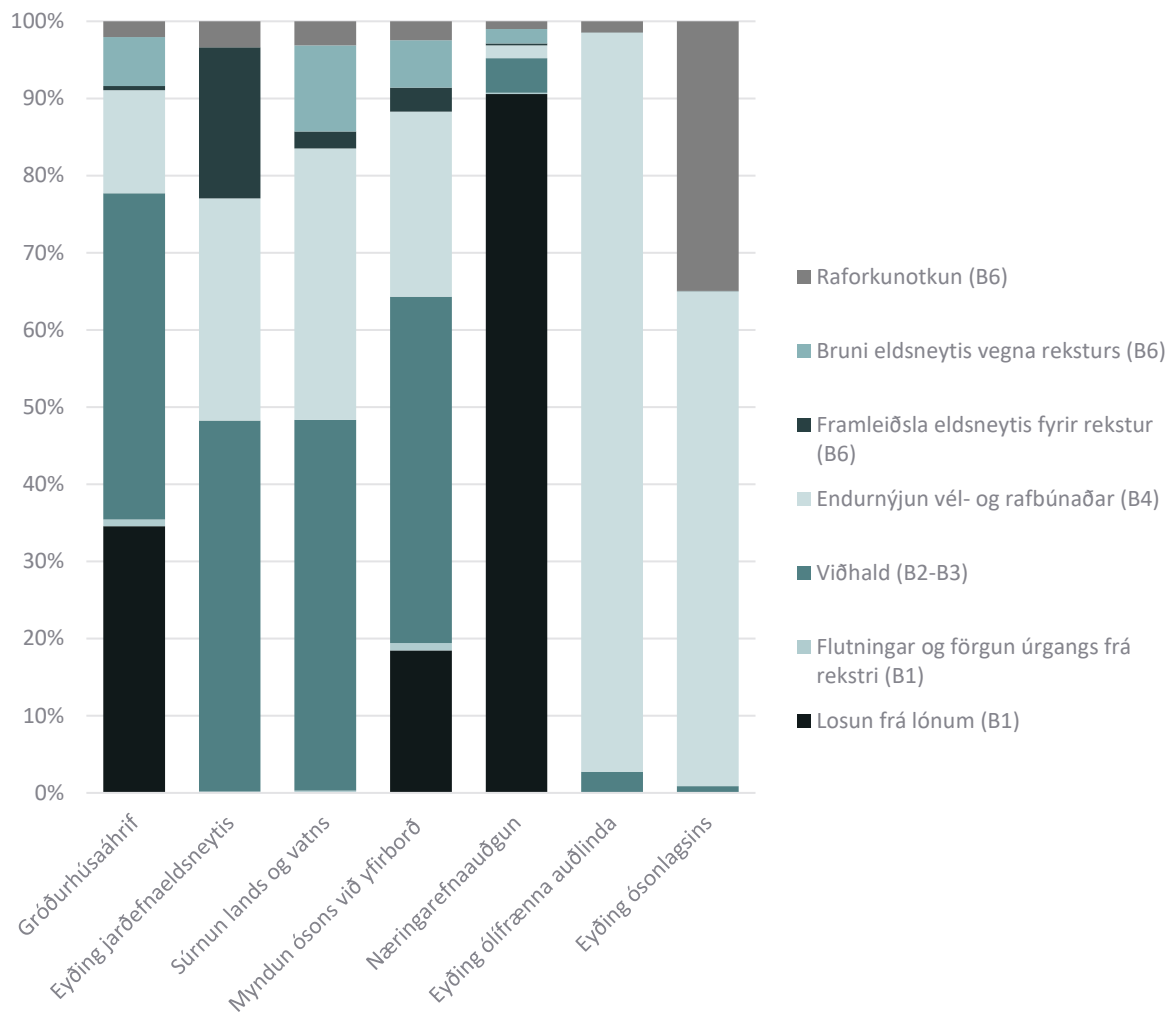
Af myndinni má sjá að umhverfisáhrif frá framleiðslu- og framkvæmdafasa má helst rekja til framleiðslu byggingarefna og bruna eldsneytis á framkvæmdastað. Framleiðsla vél- og rafbúnaðar veldur stærstum hluta áhrifa í flokknum eyðing ólífræna auðlinda vegna námuvinnslu málma fyrir búnaðinn. Þá veldur framleiðsla eldsneytis tæplega helmingi áhrifa í flokknum eyðing jarðefnaeldsneytis, en þar er tekið tillit til vinnslu olíu úr jörðu sem og meðhöndlun í olíuhreinsistöð.



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

4.3.2 Rekstrarfasi (B1-B6)

Umhverfisáhrif frá rekstri Búðarhálssstöðvar, þ.e. mismunandi þáttum í rekstri aflstöðvarinnar má sjá á mynd 8. Rekstur aflstöðvarinnar felur í sér losun frá lónum, flutninga og förgun úrgangs, viðhald mannvirkja og endurnýjun búnaðar, framleiðslu og bruna eldsneytis og eigin raforkunotkun aflstöðvarinnar. Ávinningur vegna endurvinnslu úrgangs frá rekstri er ekki sýndur hér, heldur sýndur sérstaklega í kafla 4.3.3.

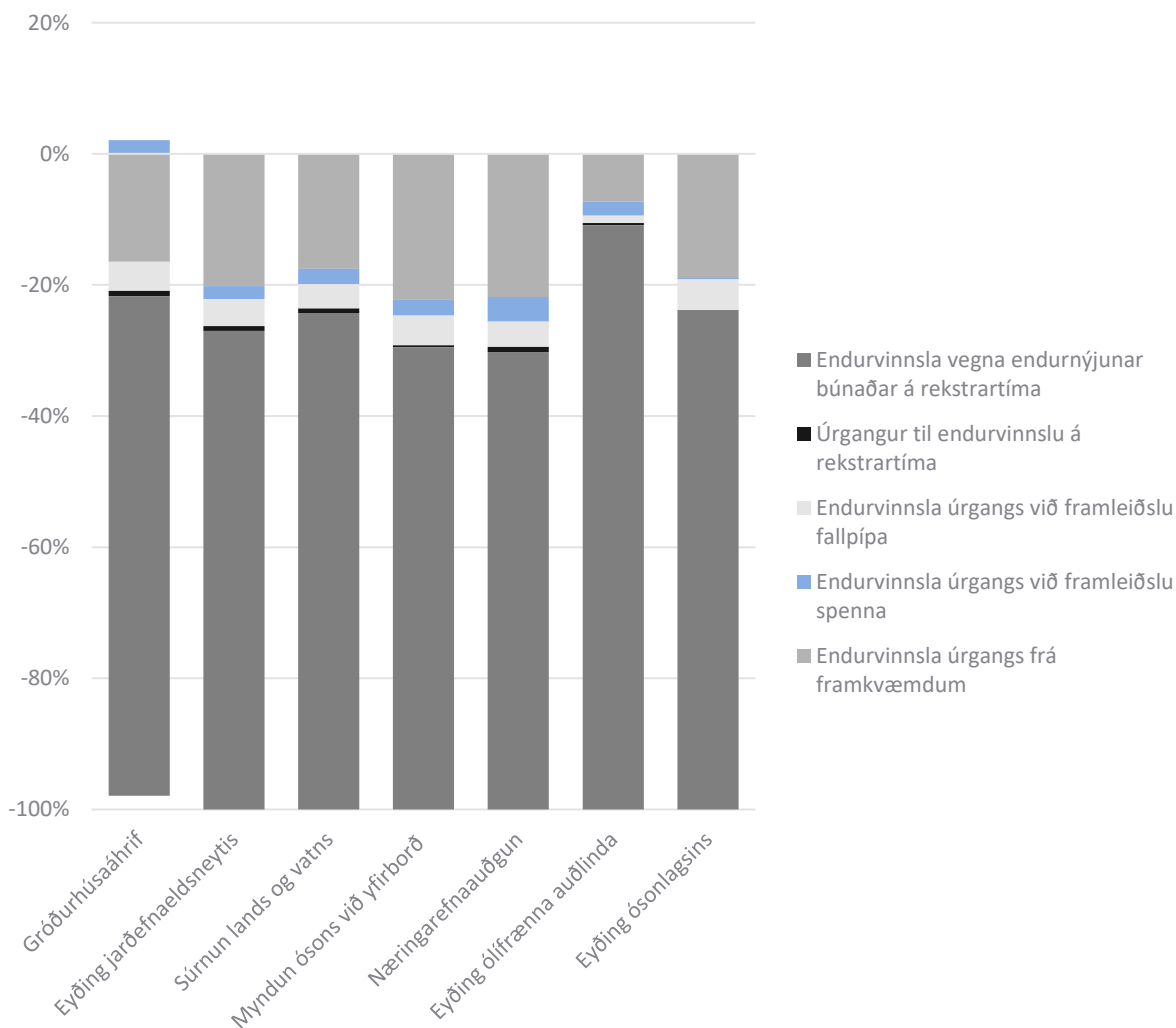


MYND 8 Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti í rekstri Búðarhálssstöðvar (B1-B6) m.v. vinnslu á 1 kWst raforku. Á myndinni má sjá niðurstöður fyrir þá 7 flokka umhverfisáhrifa sem reiknað er fyrir á 100 ára líftíma

Á rekstartíma er það viðhald mannvirkja á líftímanum og endurnýjun búnaðar eftir 60 ár í rekstri sem vega hvað þýngst þegar litið er til allra flokka umhverfisáhrifa. Hvað varðar viðhald mannvirkja veldur framleiðsla sements í steypu stærstum hluta áhrifanna en fyrir endurnýjun búnaðar skiptir mestu máli framleiðsla á stáli í nýjar túrbínur sem og vinnsla kopars fyrir rafbúnað, spenna og rafala. Þá hefur losun frá lónum þó nokkur áhrif í flokkunum gróðurhúsáhrif og mikil áhrif í flokknum næringarefnaauðgun. Fjallað er sérstaklega um áhrif vegna losunar frá lónum í kafla 5.2.

4.3.3 Endurvinnsla (D)

Með endurvinnslu er dregið úr heildarumhverfisáhrifum í öllum sjö flokkum umhverfisáhrifa, á bilinu 0,1 - 2,2% (mynd 5) allt eftir því hvaða flokkur áhrifa er skoðaður. Í öllum flokkum vegur þýngst endurvinnsla málma á rekstrartíma, þegar búnaður er endurnýjaður eftir 60 ár. Á mynd 9 má sjá umhverfisáhrif endurvinnslu mismunandi þátta. Í flokknum gróðurhúsaáhrif er dregið úr heildaráhrifum um 1,4% með endurvinnslu¹, sem samsvarar 1.200 tonnum af CO₂ ígildum á líftíma Búðarhálsstöðvar. Þetta samsvarar því að komið sé í veg fyrir losun gróðurhúsalofttegunda sem nemur losun vegna rúmlega 5.600 ferða um hringveginn á meðalfólksbíl (bensínbíl).



MYND 9 Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti við endurvinnslu úrgangs frá framkvæmdum og rekstri sem og framleiðslu og endurnýjun búnaðar á 100 ára líftíma.

¹ Í gróðurhúsaáhrifum eru nettó áhrif frá endurvinnslu við framleiðslu spenna jákvæð tala sem rekja má til brennslu timburs. Í þessu tilfelli er dregið úr heildaráhrifum vegna framleiðslunnar með endurvinnslu málma þó brennsla timburs gefi hlutfallslega hátt útslag. Mikilvægt er að hafa í huga að í öðrum flokkum er um umhverfislegan ávinning að ræða.

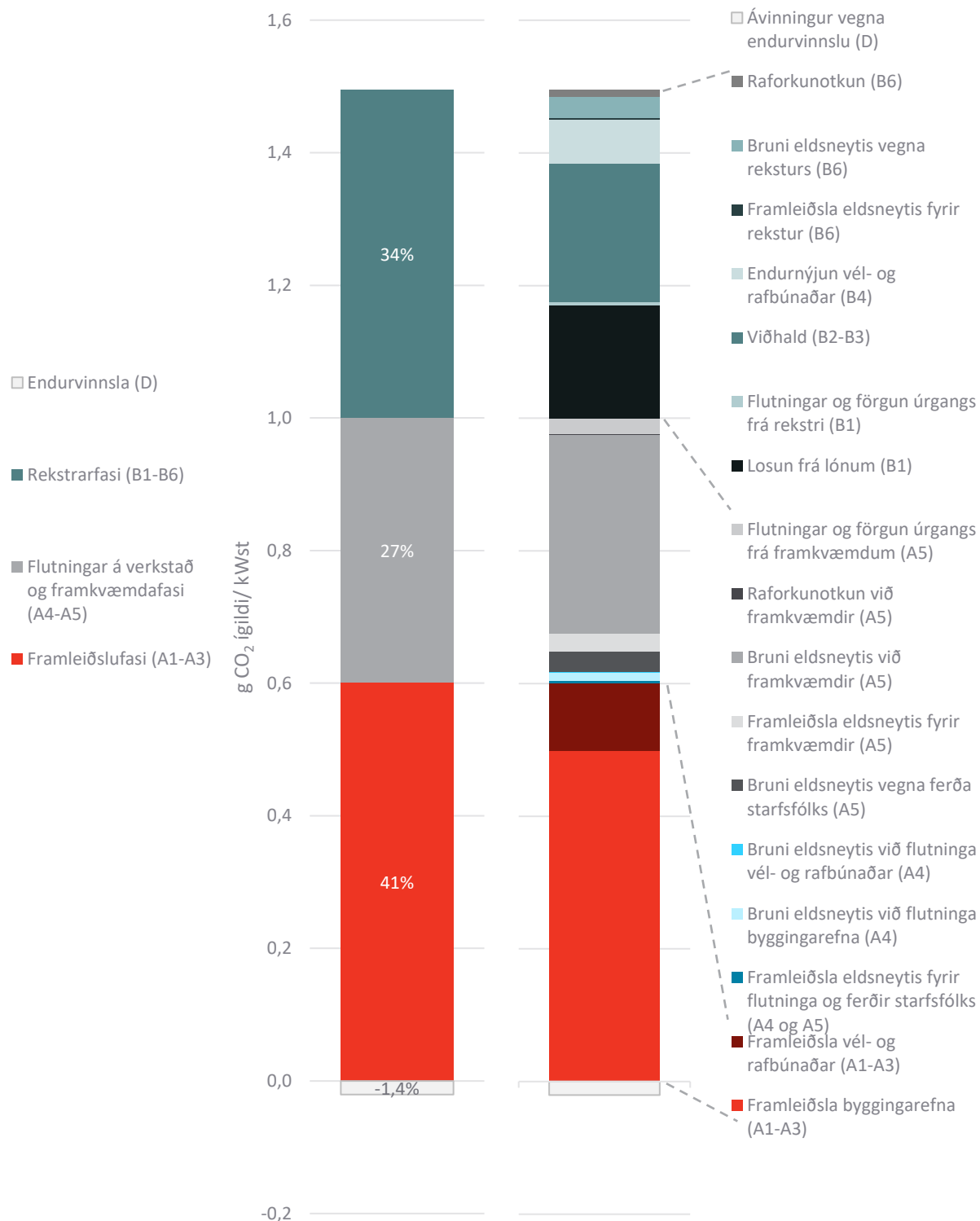
4.4 Kolefnisspor

Kolefnisspor fyrir vistferil Búðarhálssstöðvar miðað við 100 ára líftíma er 86.229 tonn CO₂ ígildi, sem samsvarar 1,5 g CO₂ ígilda á hverja unna kWst. Sjá má hvernig kolefnisspor Búðarhálssstöðvar skiptist á milli framleiðslufasa, framkvæmdafasa og rekstrarfasa á mynd 10. Kolefnisspor vegna framleiðslu byggingarefna og búnaðar og framkvæmda á virkjanasvæðinu er 1,0 g CO₂ ígildi á hverja unna kWst og kolefnisspor frá rekstri aflstöðvarinnar í 100 ár er 0,5 g CO₂ ígildi/kWst. Þá er dregið úr kolefnissporinu um 1,4% vegna endurvinnslu á líftímanum.

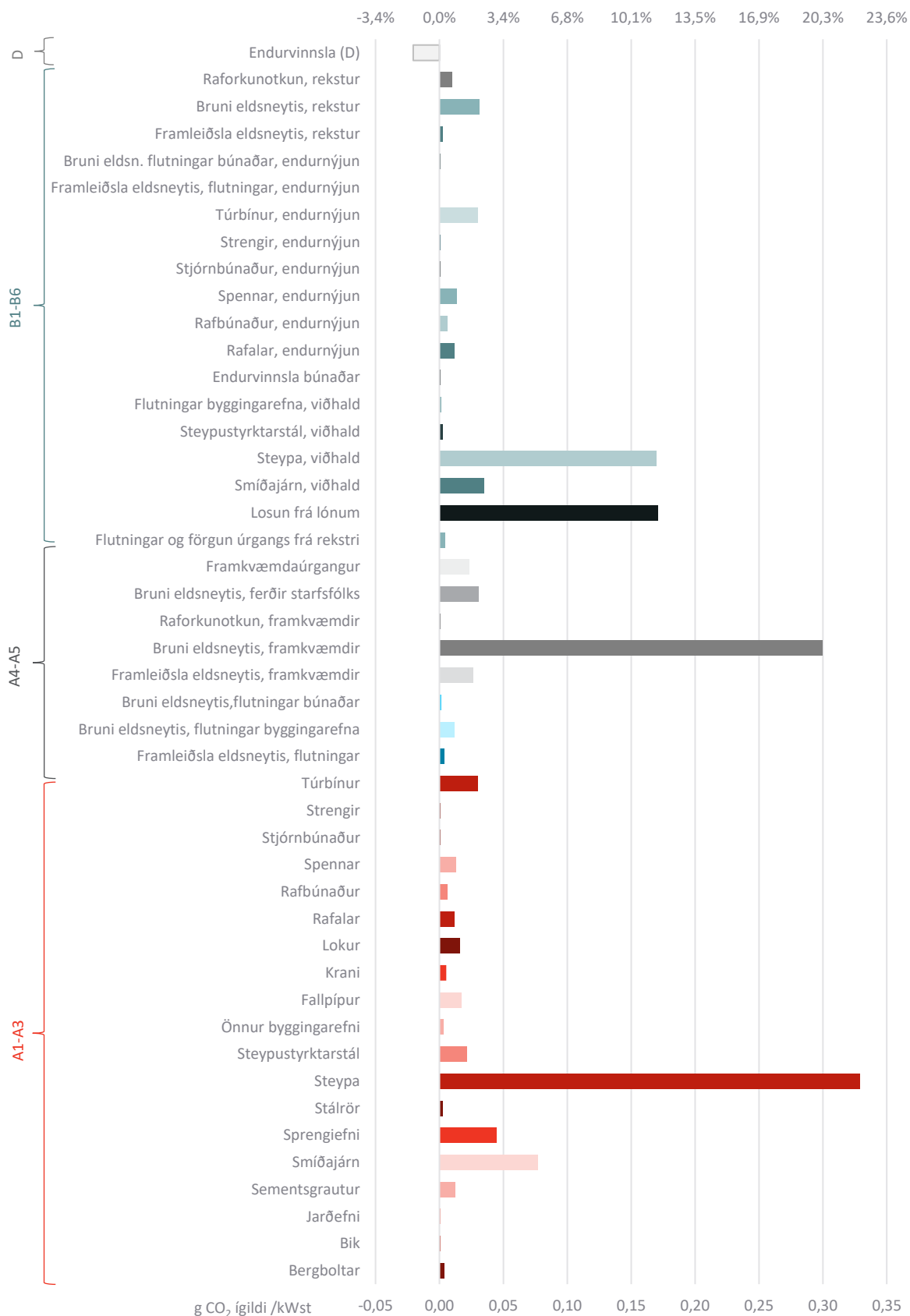
Kolefnisspor mismunandi þátta í vistferli Búðarhálssstöðvar má sjá á mynd 11 sem og hlutdeild þeirra í heildarkolefnisspori aflstöðvarinnar. Framleiðsla byggingarefna, bruni eldsneytis við framkvæmdir, viðhald og losun frá lónum eru þeir þættir sem vega þyngst í kolefnissporinu.

Tveir þættir valda stærstum hluta gróðurhúsaáhrifa á framleiðslu- og framkvæmdastigi; framleiðsla steypu og sprautusteypu (22%), aðallega vegna framleiðslu sements, og brennsla jarðefnaeldsneytis vegna byggingar aflstöðvar (20%). Aðrir þættir vega hlutfallslega minna og má nefna að framleiðsla annarra byggingarefna vega samtals rúmlega 11% af kolefnissporinu, að mestu vegna framleiðslu smíðajárns, sprengiefna og steypustyrktarstáls. Framleiðsla og flutningar búnaðar aflstöðvar vega samtals um 7% af gróðurhúsaáhrifunum, þar af vegur framleiðsla túrbína þyngst.

Í rekstrarfasa aflstöðvarinnar er það losun koltvísýrings og metans frá lónum (12%) og framleiðsla sements í steypu fyrir viðhald mannvirkja sem veldur stærstum hluta áhrifa. Þá veldur framleiðsla smíðajárns fyrir viðhald, brennsla jarðefnaeldsneytis og framleiðsla nýrra túrbína að 60 árum liðnum einnig nokkrum áhrifum á losun gróðurhúsaáhrifa við rekstur stöðvarinnar.



MYND 10 Kolefnisspor Búðarhálsstöðvar er 1,5 g CO₂ ígildi fyrir hverja unna kílóvattstund í stöðinni. Myndin til vinstri sýnir skiptingu kolefnissporsins milli fasa vistferils (A-D) og til hægri er nánari skipting í einstaka þætti innan hvers fasa. Neikvætt gildi (mínustala) fyrir endurvinnslu táknar að dregið sé úr umhverfisáhrifum, þ.e. umhverfislegan ávinning.



MYND 11 Gróðurhúsaáhrif einstakra þátta í kolefnisspori Búðarhálssstöðvar og hlutdeild þeirra í kolefnissporinu.

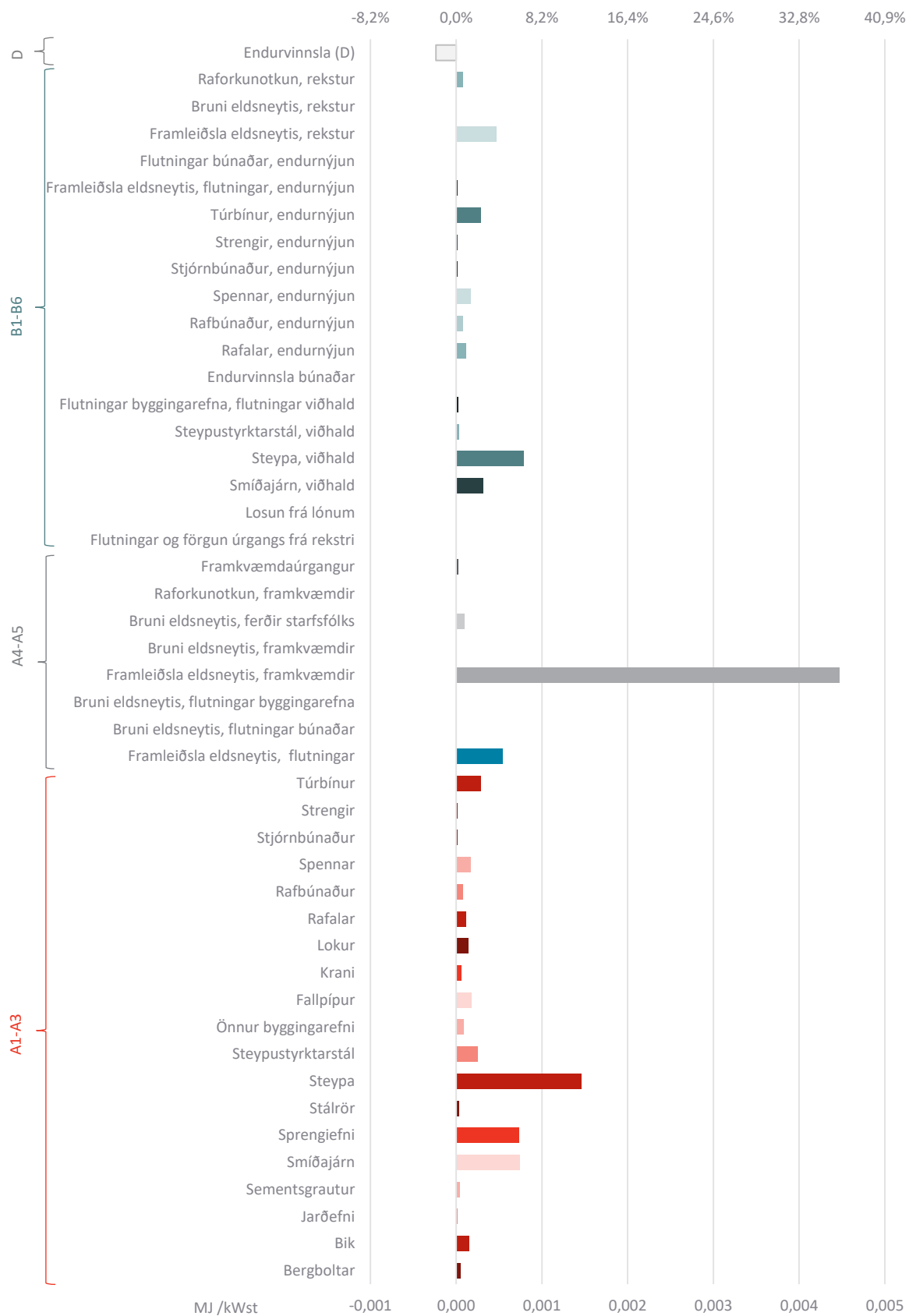
4.5 Eyðing jarðefnaeldsneytis

Í flokknum eyðing jarðefnaeldsneytis er tekin saman öll framleiðsla og notkun jarðefnaeldsneytis á vistferlinum, hvort sem um er að ræða beina brennslu í ökutækjum á framkvæmdastað eða raforkunotkun sem unnin er með kolum eða olíu og notuð er við framleiðslu byggingarefna eða búnaðar erlendis.

Fyrir umhverfisáhrifaflokkinn er hlutdeild eldsneytis sem notað er við framkvæmdir á Búðarhálsi ráðandi í heildaráhrifum flokksins á vistferlinum (38%) (mynd 12). Framleiðsla steypu veldur einnig stórum hluta áhrifa innan flokksins, 12% fyrir framkvæmdir og 7% vegna viðhalds mannvirkja, sem má meðal annars rekja til notkunar kola við framleiðslu sements. Framleiðsla vél- og rafbúnaðar á framleiðslufasa veldur samtals um 9% af áhrifum vegna eyðinga jarðefnaeldsneytis frá vistferlinum. Þá er hlutdeild framleiðslu sprengiefna og smíðajárns þó nokkur (6% hvor). Við framleiðslu sprengiefna má rekja áhrifin til orkufrekrar framleiðslu á ammóníum nítrati, en í heild voru notuð tæplega 2.300 tonn af sprengiefnum við framkvæmdina. Framleiðsla eldsneytis fyrir flutninga byggingarefna, búnaðar og starfsfólks til og frá framkvæmdastað valda um 5% losunar í flokknum.

Í rekstrarfasa er hlutdeild framleiðslu steypu vegna viðhalds töluverður, eins og áður er nefnt, sem og framleiðsla smíðajárns. Þá veldur eldsneytisnotkun í ökutækjum og vélum við rekstur aflstöðvarinnar um 4% af heildaráhrifum í flokknum á vistferlinum. Framleiðsla á stáli fyrir túrbínur, spenna og rafala veldur töluverðum hluta á eyðingu jarðefnaeldsneytis á rekstartíma þegar búnaður er endurnýjaður (6%).

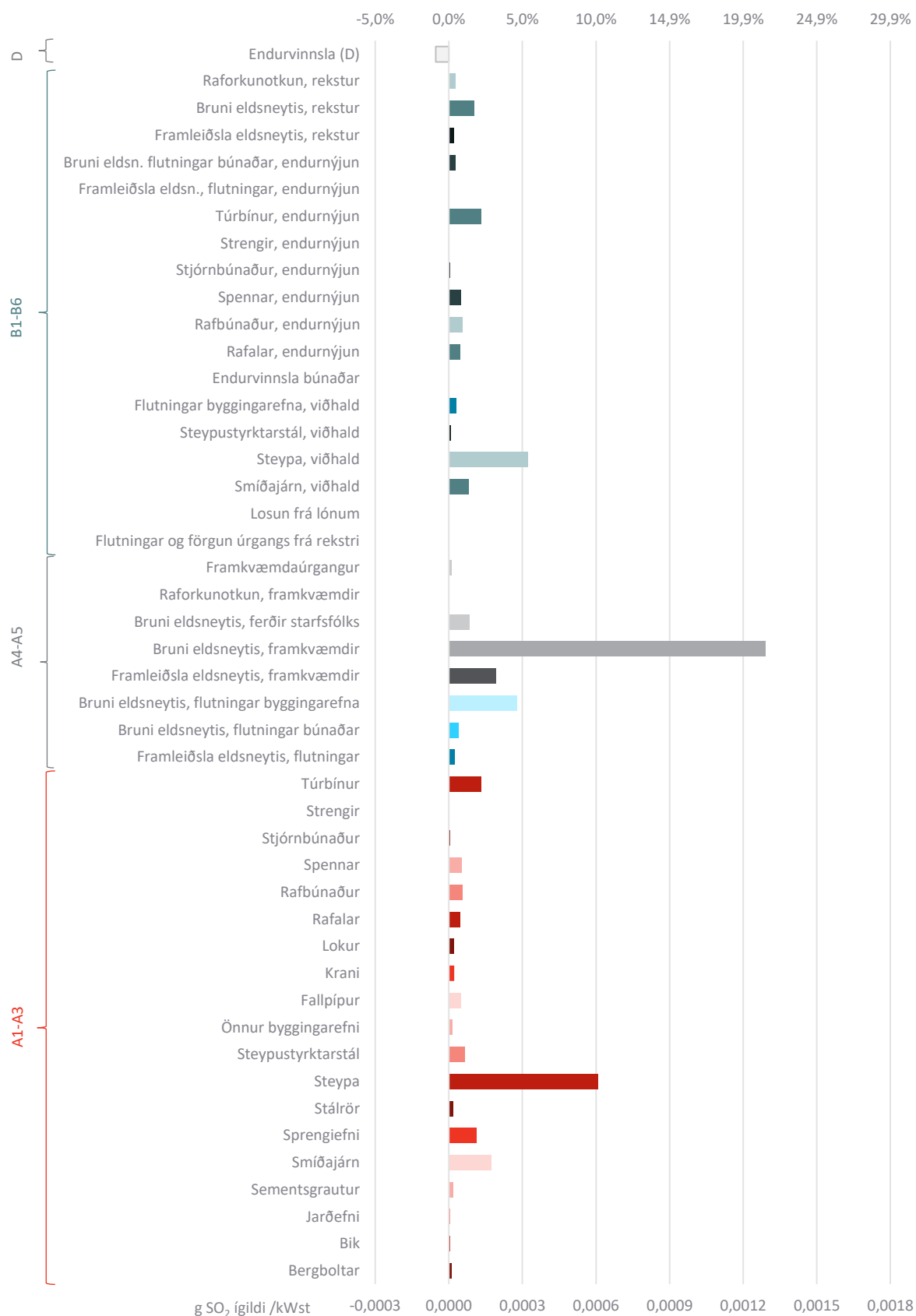
Með endurvinnslu á vistferlinum er dregið úr áhrifum í flokknum um 2%, en það er mun orkufrekara að vinna ný hráefni frá grunni en að nota endurunnin efni til framleiðslu hráefna.



MYND 12 Áhrif einstakra þátta á eyðingu jarðefnaeldsneytis í vistferli Búðarhálssstöðvar og hlutdeild þeirra í flokknum.

4.6 Súrnun lands og vatns

Eldsneytisnotkun er sá þáttur sem hefur mest áhrif í floknum súrnun lands og vatns. Áhrifin má að stærstum hluta rekja til bruna jarðefnaeldsneytis á verkstað (31%) og flutninga byggingarefna á Búðarháls (7%). Steypan er það byggingarefni sem veldur mestum áhrifum í floknum vegna framleiðslu sements (15%), en losun í andrúmsloftið af lofttegundum sem valda súrnun má rekja til losunar frá hráefnum og kolum sem brennd eru í sementsofni. Þá má rekja umhverfisáhrif í floknum til framleiðslu stáls í smíðajárn (4%) og framleiðslu stáls og kopars fyrir framleiðslu og endurnýjun búnaðar (samtals um 15%). Raforkunotkun við framkvæmdir og rekstur stöðvarinnar hefur lítil áhrif í floknum þar sem aðeins er notast við vatnsafl en ekki raforku af íslenska raforkukerfinu þar sem jarðvarmi er fjórðungur raforkunnar.



MYND 13 Áhrif einstakra þátta á súrnun lands og vatns í vistferli Búðarhálssstöðvar og hlutdeild þeirra í flokknum.

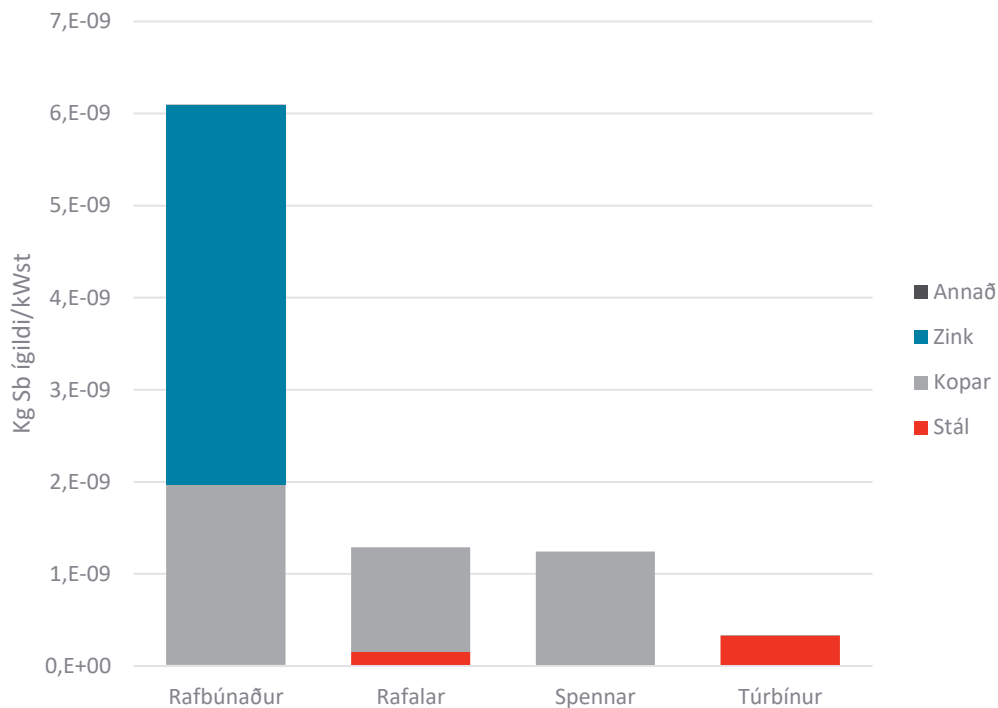
4.7 Önnur umhverfisáhrif

Hér á undan hefur verið fjallað um þá þrjá umhverfisáhrifaflokka sem eru metnir hafa mest vægi samkvæmt stöðlun og vigtnun niðurstaðanna (sjá kafla 4.2). Einnig er áhugavert að greina frá því hvað það er sem skiptir mestu máli fyrir hina fjóra umhverfisáhrifaflokkana á vistferlinum, þ.e. myndun ósons við yfirborð jarðar, næringarefnaauðgun, eyðingu ólífrænna auðlinda og eyðingu ósonlagsins. Samantekt á hlutdeild ólíkra þátta innan hvers áhrifaflokks má sjá í töflu 16, kafla 4.8.

Í flokknum **myndun ósons við yfirborð** er það eldsneytisnotkun við framkvæmdir (26%) sem hefur mest áhrif sem og framleiðsla steypu til framkvæmda (17%) og vegna viðhalds (9%). Í flokknum **næringarefnaauðgun** má rekja helstu áhrifin til losunar frá lónum (63%), þ.e. þegar lífrænt efni brotnar niður sem verður til þess að kolefni losnar úr jarðvegi lónsins og gengur í samband við súrefni úr vatnsbolnum. Einnig hefur jarðefnaeldsneyti sem brennt er á framkvæmdastað (16%) og til flutninga byggingarefna, búnaðar og starfsfólks merkjanleg áhrif í flokknum (3%). Framleiðsla byggingarefna eru ráðandi í flokkunum **eyðing ósonlagsins**. Skiptir þar mestu framleiðsla jurtaolíu í svokallað slurry sprengiefni (80%) sem og framleiðsla repjuolíu (14%) fyrir bundið slitlag í vegagerð. Hafa má í huga að notkun á ósoneyðandi efnum hefur verið bönnuð og því hefur dregið mjög úr notkun þeirra, því getur losun fyrir einstaka þætti vistferilsins gefið hlutfallslega hátt útslag.

Umvhverfisáhrif í flokknum **eyðing ólífrænna auðlinda** má að stærstum hluta rekja til framleiðslu vél- og rafbúnaðar. Aðrir þættir vega um 8% af áhrifunum í flokknum. Í þessum flokki er verið að skoða hráefnanotkun, þ.e. vinnslu hráefna úr jörðu annarra en jarðefnaeldsneytis. Útreikningar á eyðingu auðlinda byggja á hlutfalli milli þess magns auðlindarinnar sem notuð er í framleiðslunni og forða auðlindar á jörðinni. Forði auðlindarinnar er skilgreindur sem það magn auðlindarinnar sem er þekkt og er hagkvæmt að nýta. Forði er stærð sem breytist yfir tíma eftir því sem tæknilegar og efnahagslegar forsendur breytast. Niðurstöðurnar vísa því til þeirra auðlinda sem helst er gengið á við framkvæmdirnar.

Í framleiðslufasa er það við framleiðslu rafbúnaðar, rafala, spenna og túrbína sem hvað helst er gengið á forða ákveðinna takmarkaðra auðlinda. Á mynd 14 má sjá hvaða hráefni, sem þarf til framleiðslunnar, valda helst eyðingu auðlinda. Eyðingu auðlindanna má helst rekja til námuvinnslu á kopar og zinki, en einnig að hluta til vinnslu járn í stál. Áætla má að miðað við nýtingarhraðann árið 2016 og skilgreindan forða auðlindarinnar meggi gera ráð fyrir að forði kopargrýtis muni duga í um í 37 ár [15]. Þá er gengið á forða gulls í sinknámum, en miðað við sömu forsendur og fyrir kopar má áætla að forði gulls endist í 18 ár [15]. Við framleiðslu túrbína er meðal annars gengið á forða mólýbdens vegna vinnslu á járn fyrir stál. Áætlað er að alheimsforði mólýbdens komi til með að fullnægja þörfum heimsins í nánustu framtíð [15].



MYND 14 Framleiðsla rafbúnaðar, rafala, spenna og túrbína er það sem helst veldur því að gengið er á takmarkaðan forða óendurnýjanlegra auðlinda. Hér má sjá vinnslu þeirra auðlinda sem helst valda áhrifum í flokknum á framleiðslufasa (A1-A3).

4.8 Yfirlit yfir umhverfisáhrif á vistferli Búðarhálstöðvar

Samantekt á hlutfallslegri skiptingu áhrifa frá vistferli Búðarhálstöðvar má sjá í töflu 16. Við framleiðslu byggingarefna má sjá að það er framleiðsla sprengiefna og steypu sem veldur hvað mestum umhverfisáhrifum þegar litið er til allra flokka. Þá hefur framleiðsla á stáli og jurtaolím töluverð áhrif innan ákveðinna áhrifaflokka. Eldsneytisnotkun, þ.e. framleiðsla og bruni eldsneytis í vélum og tækjum við byggingu aflstöðvarinnar og aðstöðusköpun vegur þungt í fimm flokkum. Viðhald mannvirkja, endurnýjun búnaðar og losun frá lónum eru þeir þættir sem hafa mest áhrif á rekstrartímanum. Jákvæð áhrif vegna endurvinnslu koma fram í öllum flokkum. Tölulegar niðurstöður fyrir alla flokka má sjá í viðauka C.

TAFLA 16 Hlutfallsleg skiptingu áhrifa (%) í metnum flokkum umhverfisáhrifa frá vistferli Búðarhálssstöðvar (A-D). Þættir sem hafa meira en 15% áhrif í einstaka flokki eru skáletraðir **rauðir**. (Prósentur sem birtast sem 0,0 eru < 0,1%).

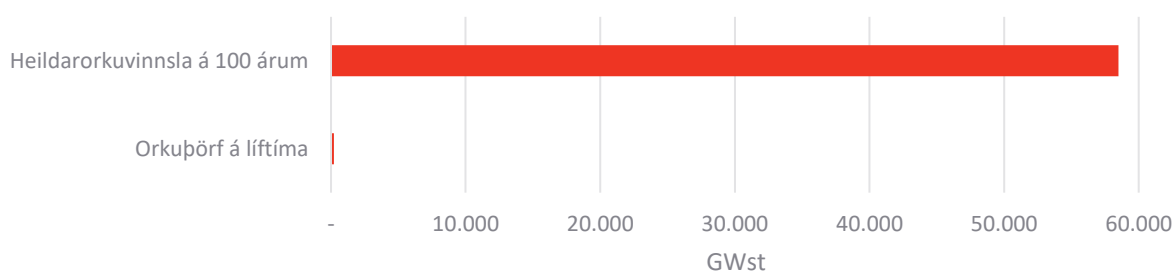
	50-100%	5-50%	0-5%	GRÓÐUR- HÚSAAHRIF	EYÐING JARÐFNA- ELDSNEYTIS	SÚNNUN LANDS OG VATNS	MYNDUN ÓSONS VIÐ YFIRBÖÐ	NÆRINGAR- EFNA- AUGUN	EYÐING ÓLÍFRÆNNA AUÐLINDA	EYÐING ÓSON- LAGSINS
Framleiðsla byggingarefna										
A 1-3	Bergboltar			0,3	0,4	0,3	0,5	0,1	0,0	0,0
	Bik			0,1	1,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
	Repjuolía			0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	14,0
	Sement í sementsgraut			0,9	0,4	0,5	0,6	0,1	0,1	0,0
	Smíðajárn			5,3	6,3	4,2	7,4	0,9	0,5	1,2
	<i>Sprengiefni</i>			3,0	6,2	2,7	2,1	1,6	1,4	79,9
	Stálror			0,2	0,3	0,4	0,2	0,1	0,8	0,0
	<i>Steypa</i>			22,3	12,3	14,5	16,9	4,7	2,6	0,2
	Steypustyrktarstál			1,5	2,1	1,5	2,8	0,3	0,0	0,0
	Önnur byggingarefni			0,2	0,7	0,3	0,4	0,1	0,0	1,6
Framleiðsla vél- og rafbúnaðar										
A 1-3	Fallpípur			1,2	1,5	1,2	1,8	0,3	0,0	0,4
	Krani			0,4	0,5	0,5	0,5	0,1	0,6	0,0
	Lokur			1,1	1,2	0,5	0,6	0,1	0,0	0,0
	Rafalar			0,8	1,0	1,1	1,1	0,1	6,5	0,0
	<i>Rafbúnaður</i>			0,4	0,6	1,3	0,7	0,1	30,8	0,0
	Spennar			0,9	1,4	1,2	1,2	0,2	6,3	1,2
	Stjórnubúnaður			0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,7	0,0
	Strengir			0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Túrbínur			2,1	2,4	3,2	3,1	0,5	1,7	0,0
Flutningar á framkvæmdastað (framleiðsla og bruni eldsneytis)										
A 4	Framleiðsla eldsneytis			0,3	4,6	0,5	1,0	0,2	0,0	0,0
	Flutningar búnaðar			0,1	0,0	1,0	0,6	0,2	0,0	0,0
	Flutningar byggingarefna			0,8	0,0	6,6	3,8	1,5	0,0	0,0
	Ferðir starfsfólks			2,1	0,8	2,0	1,4	1,0	0,0	0,0
Framkvæmdir										
A 5	<i>Framleiðsla eldsneytis</i>			1,8	37,5	4,6	8,2	1,9	0,1	0,0
	<i>Eldsneytisnotkun</i>			20,4	0,0	30,7	17,9	16,4	0,0	0,0
	Raforkunotkun			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Úrgangur framkvæmdir			1,6	0,2	0,3	1,5	0,3	0,0	0,0
Rekstur										
B1	Flutningar og förgun úrgangs			0,3	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0
	<i>Losun frá lónum</i>			11,6	0,0	0,0	5,1	62,6	0,0	0,0
Viðhald og viðgerðir										
B2-3	Flutningar byggingarefna			0,1	0,2	0,7	0,4	0,2	0,0	0,0
	Smíðajárn			2,4	2,6	1,9	2,8	0,4	0,0	0,0
	Steypa			11,5	6,6	7,7	8,7	2,5	1,3	0,0
	Steypustyrktarstál			0,2	0,3	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0
Endurnýjun búnaðar eftir 60 ár										
B4	Endurvinnsla búnaðar			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Framleiðsla eldsneytis			0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Flutningar búnaðar			0,1	0,0	0,7	0,4	0,1	0,0	0,0
	Rafalar			0,8	1,0	1,1	1,1	0,1	6,5	0,0
	<i>Rafbúnaður</i>			0,4	0,6	1,3	0,7	0,1	30,8	0,0
	Spennar			0,9	1,4	1,2	1,1	0,2	6,3	1,2
	Stjórnubúnaður			0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,7	0,0
	Strengir			0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Túrbínur			2,1	2,4	3,2	3,1	0,5	1,7	0,0
Orkunotkun á rekstartíma										
B6	Framleiðsla eldsneytis			0,2	3,9	0,5	0,9	0,2	0,0	0,0
	Eldsneytisnotkun			2,1	0,0	2,4	1,7	1,3	0,0	0,0
	Raforkunotkun			0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
D	Endurvinnsla			-1,4	-2,0	-1,3	-2,2	-0,3	-0,1	-0,5

4.9 Orkubúskapur

Orkuþörf á líftíma (PED, Primary Energy Demand) er samanlögð orkuþörf Búðarhálsstöðvar á líftíma 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 Búðarhálsstöðvar á 100 ára líftíma er 304 GWst.

Heildarorkuvinnsla Búðarhálsstöðvar á 100 ára líftímanum er 58.500 GWst. Orkuarðsemi (e. *Harvest factor/EROI*) er hlutfallið milli heildarorkuvinnslu og orkuþarfar á líftíma og er í tilfelli Búðarhálsstöðvar 263. Búðarhálsstöð vinnur m.ö.o. 263 sinnum meiri orku á líftíma sínum en þarf fyrir framkvæmd hennar og rekstur (mynd 15). Til samanburðar þá liggur orkuarðsemi vatnsaflsstöðva á heimsvísu á bilinu 6 – 280 (mynd 16) [16].

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



MYND 15 Heildarorkuvinnsla og orkuþörf á 100 ára líftíma Búðarhálsstöðvar

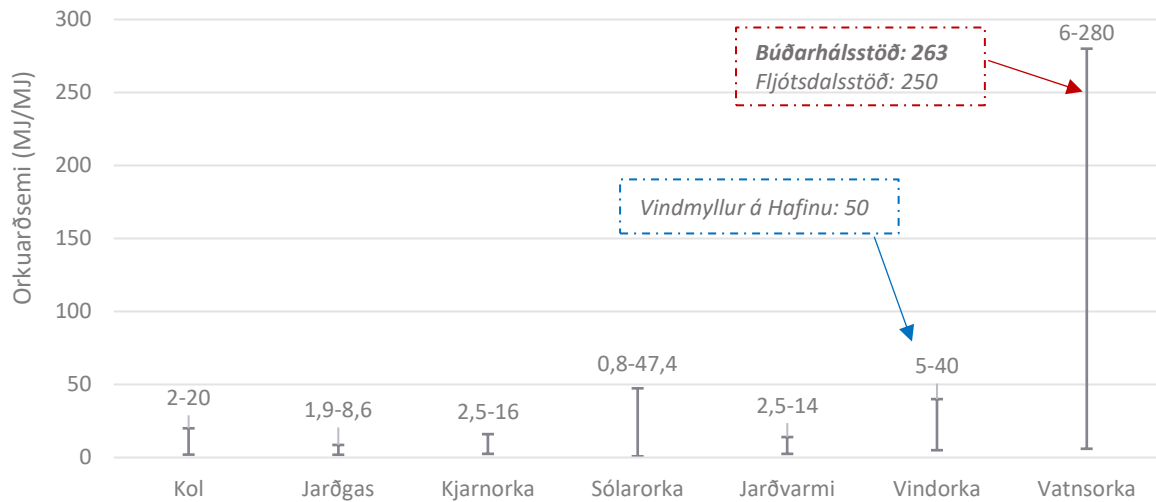
Endurgreiðslutími orku (e. *Energy payback time*) er sá tími sem líður áður en að hlutföllin verða 1:1 milli orkuvinnslu aflstöðvar og orkuþarfar á líftíma. Endurgreiðslutími orku er í tilfelli Búðarhálsstöðvar tæplega 5 mánuðir (0,38 ár), þ.e. að þessum tíma loknum í rekstri er aflstöðin búin að vinna jafnmikla orku og hún þarf yfir líftíma 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 [16].

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

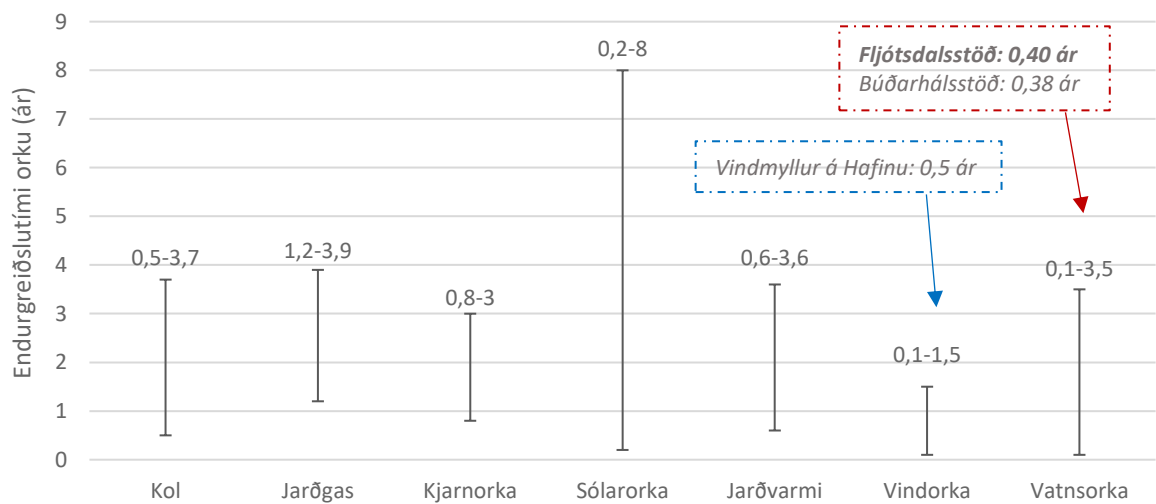
TAFLA 17 Orkubúskapur Búðarhálsstöðvar á 100 ára líftíma.

Orkuþörf á líftíma	223	GWst
Heildarorkuvinnsla á 100 árum	58.500	GWst
Orkuarðsemi	263	
Endurgreiðslutími orku	5	mánuðir

Birtar niðurstöður fyrir endurgreiðslutíma orku sýna að neðri mörk endurgreiðslutíma vatns-, vind- og sólarorku er styttri en fyrir aðra orkugjafa, sjá á mynd 17. 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 16 Birtar niðurstöður fyrir orkuarðsemi mismunandi orkugjafa [16]



MYND 17 Birtar niðurstöður endurgreiðslutíma orku fyrir mismunandi orkugjafa [16]

5 UMRÆÐUR

5.1 Gæði gagna

Gæði gagna sem safnað var og notuð voru við gerð vistferilsgreiningarinnar eru metin góð. Upplýsingar um framkvæmd og rekstur Búðarhálsstöðvar eru byggðar á upplýsingum frá verktökum, úr framkvæmda- og lokaskýrslum Búðarhálsstöðvar, frá framleiðendum vél- og rafbúnaðar og rauntölum frá rekstri aflstöðva á Þjórsársvæðinu. Fyrir mat á losun frá lónum liggja til grundvallar mælingar á magni kolefnis í lónstæði Sporðöldulóns frá Landbúnaðarháskólanum og mælingar á losun kolefnis úr jarðvegi lónstæðisins frá Háskóla Íslands og Landgræðslunni. Því er um að ræða bestu fáanlegu gögn um mögulega losun úr lónstæðinu á líftímanum. Ákveðin óvissa ríkir í útreikningum varðandi nokkra þætti í vistferli Búðarhálsstöðvar. Má þar nefna áætlaðan líftíma, umfang viðhalds á rekstartíma, þörf fyrir endurnýjun búnaðar sem og endurvinnslu.

5.2 Samanburður á losun frá lónum

Umhverfisáhrif vegna myndunar Sporðöldulóns koma fram í þremur flokkum áhrifa: 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. Jarðvegur í lónstæði Sporðöldulóns er kolefnisrýr og því heppilegur fyrir myndun lóns að því leyti að sú aðgerð veldur ekki mikilli losun gróðurhúsalofttegunda.

Í töflu 18 má sjá samanburð á reiknaðri losun frá Sporðöldulóni, lónum Fljótisdalsstöðvar [17] og útgefinni losun frá lónum vatnsaflsvirkjana í Svíþjóð [18] og Noregi [19, 20]. Losun frá Sporðöldulóni á hverja unna kWst er mun lægri en losun í samanburðarlöndum samkvæmt töflu 18. Taka skal fram að losun frá lónum Vattenfall er ekki byggð á rannsóknnum heldur reiknaðferð sem gefin er út í leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga [3], en 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. Gögn sem notuð eru til að reikna losun frá lónum Búðarhálsstöðvar byggja hins vegar á niðurstöðum, sem eru sértækar fyrir Sporðöldulón. Þá byggja niðurstöður fyrir losun frá lónum Fljótisdalsstöðvar á rannsóknnum og mælingum [17].

Í töflu 19 má sjá samanburð á áætlaðri losun gróðurhúsalofttegunda frá Sporðöldulóni við áætlaða losun frá lónum Fljótsdalsstöðvar, melda losun frá lónum í norðurhluta Svíþjóðar [21, 22] og Sviss [23] sem og áætlaða meðallosun frá lónum sem staðsett eru á norðlægum slóðum [24]. Samanburður er hér gerður á losun koltvísýrings og metans á hvern m^2 lónstæðis á dag. Lónin í Svíþjóð eru öll staðsett á svipaðri breiddargráðu og Sporðöldulón og meðal árshitastig og úrkoma eru sambærileg fyrir öll lón sem borin eru saman. Lónin í Sviss eru staðsett í svissnesku Ölpunum. Áætluð losun CO_2 frá Sporðöldulóni er mun lægri en losun frá þessum samanburðarlónum.

Í töflum 18 og 19 má sjá að áætluð losun frá Sporðöldulóni er nokkuð lægri en áætluð losun frá lónum Fljótsdalsstöðvar. Ástæðan fyrir þessum mun er kolefnisinnihald í jarðvegi lónstæðanna. Meðal kolefnisinnihald jarðvegs í lónstæði Sporðöldulóns er $1,92 \text{ kg C/m}^2$ en vegið meðaltal fyrir kolefni í jarðvegi í lónstæðum lóna Fljótsdalsstöðvar er $3,65 \text{ kg C/m}^2$.

TAFLA 18 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum á hverja unna kWst.

Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum g CO_2/kWst	
Búðarhálsstöð	0,2
Fljótsdalsstöð	0,3
Vattenfall, Svíþjóð*	7,1
Statkraft, Noregi	1,2
Agder Energy AS, Noregi	1,9

* Meðaltal 14 vatnsaflsvirkjana í eigu Vattenfall

TAFLA 19 Samanburður á áætlaðri losun Sporðöldulóns við áætlaða losun frá lónum Fljótsdalsstöðvar, melda losun frá lónum í norður Svíþjóð og svissnesku Ölpunum og áætlaða losun frá lónum sem staðsett eru á norðlægum slóðum

	Losun CO_2	Losun CH_4	Breiddar- gráða	Meðal árshitastig	Meðal ársúrkoma
	mg $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{d}$	mg $\text{CH}_4/\text{m}^2/\text{d}$	°N	°C	mm
Sporðöldulón	19	1	64	1,5	726
Lón Fljótsdalsstöðvar	33	1,3	64	-1	800
Svíþjóð, meðaltal*	128		62 - 66	1,2 - 3,5	490 - 674
Skinmuddselet (N-Svíþjóð)**	1.095		64	1,2	603
Sviss, meðaltal***	1.030	0,2	46 - 50	-1,3 - 7,9	739 - 1870
Meðallosun frá norðlægum slóðum****	753	9,1	~ 50 - 70	-	-

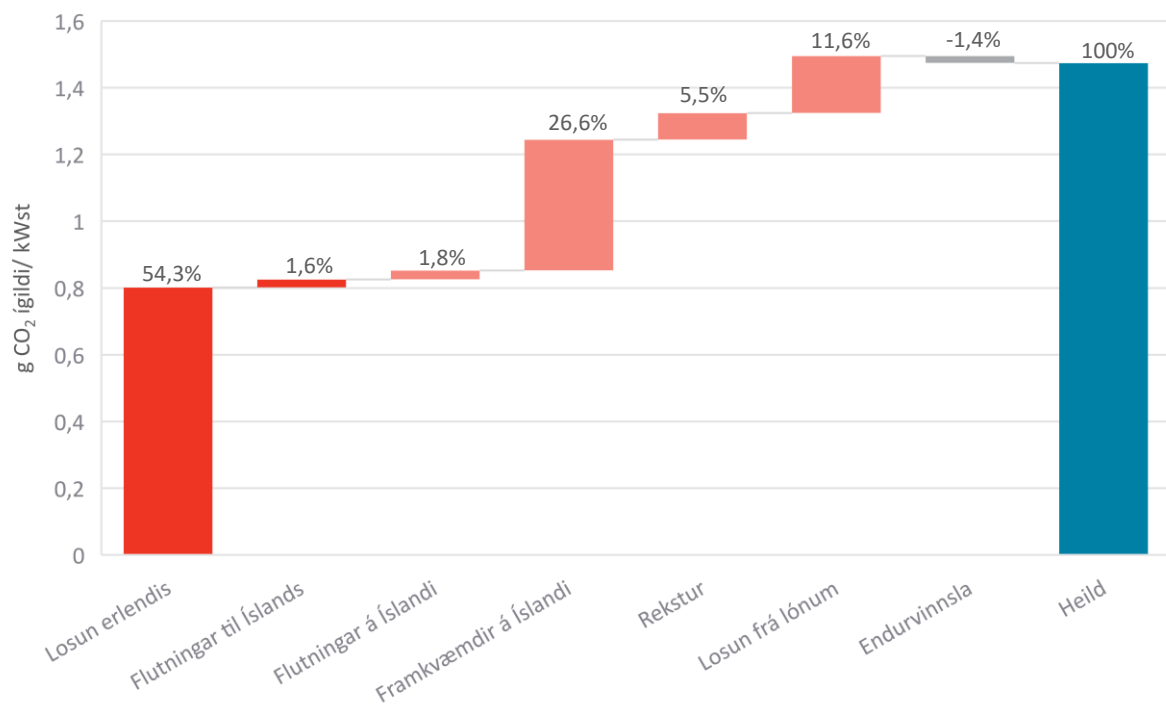
* Meðaltal frá 7 lónum í norður Svíþjóð þar sem losunin liggur á bilinu $45 - 250 \text{ mg CO}_2/\text{m}^2/\text{d}$ [21], ** Liggur ekki inni í meðaltalinu frá Svíþjóð ([22]), *** Meðaltal frá 11 lónum ([23]), **** [24].

5.3 Hvar losna gróðurhúsalofttegundirnar?

Áhugavert er að líta til þess hvar losun gróðurhúsalofttegunda á sér stað á vistferli aflstöðvarinnar. Á mynd 18 má sjá að 54% losunarinnar verður erlendis, tæp 2% við flutninga til landsins og tæplega 46% losunar gróðurhúsalofttegunda á sér stað á Íslandi. Þá dregur endurvinnsla úr losun um 1,4% á vistferlinum miðað við þær forsendur sem reiknað er með í greiningunni.

Rúmlega helmingur losunarinnar á sér stað utan Íslands við framleiðslu byggingarefna, vél- og rafbúnaðar og eldsneytis sem notað er við framkvæmdir og rekstur hérlandis. Þá má sjá að sú losun

sem rekja má til flutninga á aðföngum og starfsfólki á Búðarháls og flutningar úrgangs frá svæðinu á framkvæmdar- og rekstrarfasa veldur aðeins rúmlega 3% losunarinnar. Framkvæmdafasinn á Íslandi veldur 27% af heildarlosuninni. Að stærstum hluta er þar um að ræða brennslu á jarðefnaeldsneyti, en framleiðsla eldsneytisins fellur undir losun erlendis. Sá hluti losunar sem á sér stað á rekstrartíma hérlandis er vegna losunar frá lónum (12%) og svo frá almennum rekstri (5,4%). Við almennan rekstur er um að ræða orkunotkun og förgunar úrgangs. Framleiðsla byggingarefna til viðhalds og framleiðsla nýs búnaðar vegna endurnýjunar verður að stærstum hluta erlendis. Tekið skal fram að gróðurhúsaáhrif eru hnattræn umhverfisáhrif og því hefur losun gróðurhúsalofttegunda ekki einungis áhrif á þeim stað þar sem losun þeirra á sér stað.



MYND 18 Myndin sýnir hvernig losun gróðurhúsalofttegunda á vistferli Búðarhálsstöðvar skiptist á milli losunar erlendis, við flutninga og á Íslandi.

5.4 Kolefnisspor orkugjafa

Kolefnisspor Búðarhálsstöðvar er mjög lítið líkt og kolefnisspor sem reiknuð hafa verið fyrir byggingu og rekstur vatnsaflsstöðva í Svíþjóð [18], Noregi [19, 20] og Fljótsdalsstöð [17] (tafla 20). Kolefnisspor raforkuvinnslu með óendurnýjanlegum orkugjöfum (kol, gas og lífmassi og kol saman) er mun stærra en vinnsla með endurnýjanlegum orkugjöfum. Á mynd 19 má sjá samanburð á kolefnisspori mismunandi orkugjafa [25]. Gögnin sem myndin byggir á eru fyrir hvern orkugjafa frá a.m.k. fimm mismunandi vistferilsgreiningum raforkuvinnslu og sýnir miðgildi, há- og lággildi hvers orkugjafa. Miðgildi losunar fyrir vatnsafl er 24 g CO₂ ígildi/kWst² og er kolefnisspor Búðarhálsstöðvar mun minna eða 1,5 g CO₂ ígildi/kWst. Kolefnisspor fyrir vatnsafl er mjög háð aðstæðum á hverjum stað fyrir sig og hefur losun á vistferli orkuvinnslu í vatnsaflsstöðvum verið metin liggja á bilinu 1 – 2.200 g CO₂

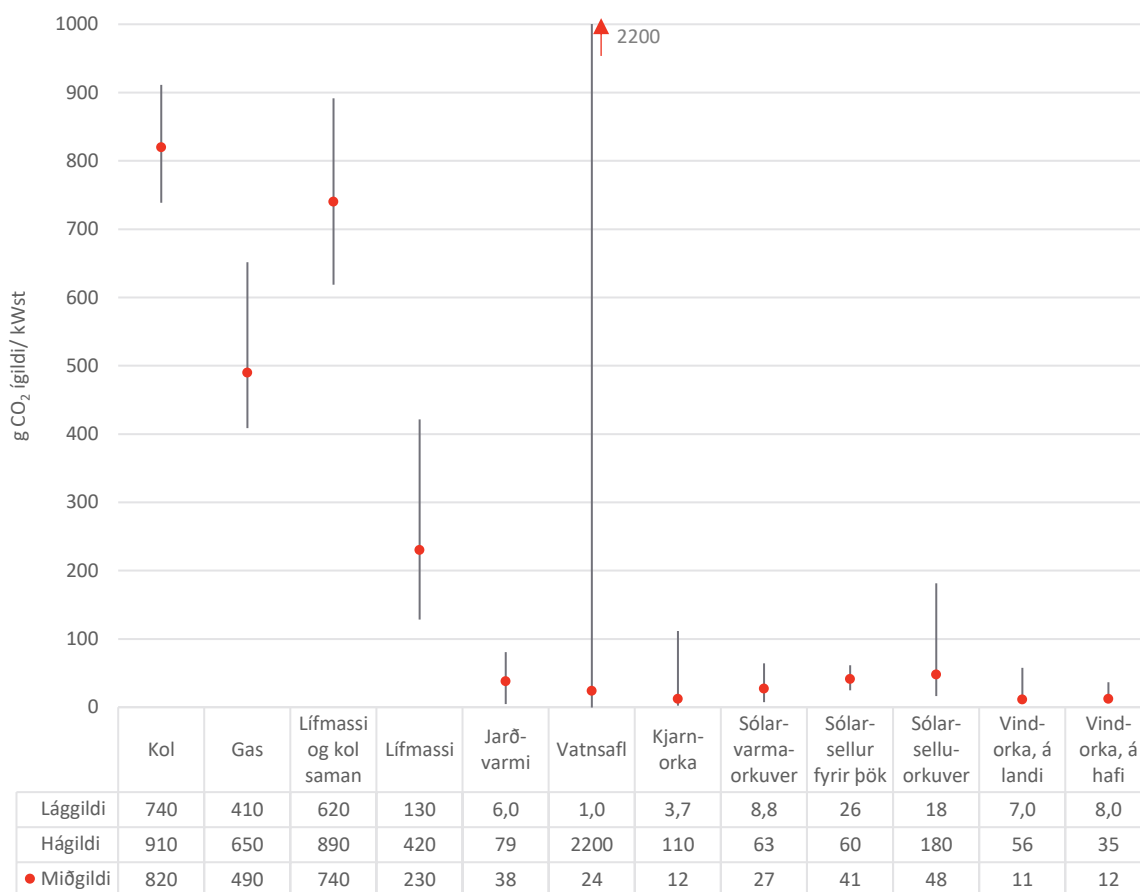
² Hér er aðeins reiknað með losun metans (CH₄) frá lónum, en engri losun koltvísýrings (CO₂).

ígildi/kWst. Það sem vegur þýngst í stærð kolefnissporsins er 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 g CO₂ ígilda/kWst [26]. Rekja má birta losun upp á rúmlega 2.000 g CO₂ ígildi/kWst til lóna aflstöðva í hitabeltislöndum með mjög stórt yfirborðsflatarmál og hlutfallslega litla orkuvinnslu [27, 28, 29]. Af þeim orkugjöfum sem hér eru skoðaðir má sjá að vindorka, sólarorka, kjarnorka og vatnsorka geta unnið raforku með kolefnisspori sem er minna en 5% af kolefnisspori raforkuvinnslu með kolum [25].

TAFLA 20 Kolefnisspor vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum.

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

* Meðaltal 14 vatnsaflsvirkjana í eigu Vattenfall



MYND 19 Losun gróðurhúsalofttegunda frá vinnslu raforku með mismunandi orkugjöfum í g CO₂ ígilda fyrir unna kWst. Myndin sýnir miðgildi (rauður punktur), há- og lággildi frá niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir hvern orkugjafa [25]. Kolefnisspor Búðarhálsstöðvar er 1,5 g CO₂ ígildi/kWst.

5.5 Tækifæri til úrbóta

Niðurstöður vistferlisgreiningarinnar sýna að í sex af sjö flokkum umhverfisáhrifa eru það framleiðslu- og framkvæmdafasi sem vega þyngra en rekstrarfasi stöðvarinnar á 100 ára líftíma hennar. Má rekja áhrifin að mestu til framleiðslu byggingarefna, og þá sérstaklega vegna framleiðslu sements í steypu sem og framleiðslu jarðefnaeldsneytis og bruna þess í vélum og ökutækjum.

5.5.1 Eldsneyti

Mikilvægt er að huga að ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis á framkvæmda- og rekstrartíma, en eldsneytisnotkun á vistferlinu veldur allt að 41% áhrifa innan hvers áhrifaflokks (tafla 16). Ábyrg notkun felur m.a. í sér að slökkt sé á tækjum þegar þau eru ekki í notkun, að komið sé í veg fyrir lausagang, að biðtími sé lágmarkaður t.d. í námum og að kappkostað sé að tæki sem valin eru séu orkunýtin. Þá er mikilvægt að fylgjast með framþróun í tækjakosti t.d. er varðar notkun véla og tækja sem knúin eru umhverfisvænni orkugjöfum. Einnig er vert að skoða hvort umhverfisleg hagkvæmni fáið með notkun annarra orkugjafa, t.d. lífdísil, í þeim tækjum og ökutækjum sem nú eru í notkun.

5.5.2 Innkaup

Val byggingarefna er mikilvægur þáttur í að draga úr umhverfisáhrifum, þá aðallega hvernig staðið er að vali á steypu með tilliti til sementsinnihalds. Hvað varðar innkaup, hvort sem er á byggingarefnum eða vél- og rafbúnaði, er mikilvægt að litið sé til þess að framleiðandinn hafi ábyrga umhverfisstjórnun í starfsemi sinni. Dæmi um ábyrga umhverfisstjórnun er t.d. rekstur með vottað umhverfisstjórnunarkerfi (t.d. ISO 14001) og útgáfa framleiðanda á umhverfisyfirlýsingum (ISO 14025 EPD) fyrir vörur og búnað sem gefur upplýsingar um umhverfisáhrif vörunnar yfir allt vistferlið. Með slíkum upplýsingum er hægt að bera saman mismunandi valkosti út frá umhverfisáhrifum. Hægt er að hugsa sér að óskað verði t.d. eftir umhverfisyfirlýsingum frá sementsframleiðendum og innkaupum haga þannig að umhverfisáhrif séu lágörkuð. Framleiðendur á sementi vinna nú að því að draga úr gróðurhúsaáhrifum frá framleiðslu sinni, en sementsframleiðsla notar nú um 7% af allri orku sem notaður er í iðnaði á heimsvísu [30]. Sérstaklega mætti 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.

5.5.3 Viðhald og endurnýjun á rekstrartíma

Rekstur stöðvarinnar vegur almennt minna í heildarumhverfisáhrifum í hverjum flokki heldur en framleiðslu- og framkvæmdafasi (2%-48%), að undanskildum flokknum næringarefnaauðgun (69%). Ábyrg starfsemi skiptir þó miklu máli til að lágmarka umhverfisáhrif á líftímanum. Í flestum tilvikum er það viðhald mannvirkja og framleiðsla á nýjum búnaði vegna áætlaðrar endurnýjunar sem skiptir mestu máli innan hvers flokks. Af því má sjá að gott viðhald og lengri endingartími búnaðar skiptir verulegu máli til að draga úr umhverfisáhrifum. Áætluð viðhalds- og endurnýjunarþörf í vistferilsgreiningunni byggir á leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu [3] en ekki reynslutölum Landsvirkjunar. Því eru ekki fjallað frekar um viðhald og rekstur hér. Dregið er úr

umhverfisáhrifum í öllum flokkum með endurvinnslu vegna endurnýjunar búnaðar og því mikilvægt að huga að því þegar kemur að endurnýjun í aflstöðvum.

5.5.4 Mat og val á lónstæði fyrirhugaðra virkjunarkosta

Alþjóðabankastofnunin (World Bank Group) hefur gefið út skýrslu þar sem er að finna tillögur varðandi losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsframkvæmda í undirbúningi [31]. Þar er lagt til að mat sé lagt á losun gróðurhúsalofttegunda frá fyrirhuguðum lónum sem hluti af mati á umhverfisáhrifum framkvæmda. Í skýrslunni er einnig að finna tillögu að því hvernig slíkt mat fer fram, t.a.m. með notkun líkans (G-res Tool) sem gefið hefur verið út af UNESCO og IHA, en Landsvirkjun studdi þróun líkansins [32, 33]. Megintilgangur með slíku mati er að skera úr um hvaða fyrirhuguðu lónstæði eru líkleg til að valda óverulegri losun.

Fyrir framtíðar virkjunarkosti Landsvirkjunar er því tækifæri til að draga úr umhverfisáhrifum með því að huga að því snemma að velja lónstæði þar sem jarðvegur sem fer undir vatn er kolefnisrýr og gróðurþekja er í lágmarki. Þá mætti einnig skoða hvort umhverfislega hagkvæmt er að fjarlægja lífrænan hluta jarðvegs í fyrirhuguðum lónstæðum.

6 LOKAORÐ

Umhverfisáhrif frá raforkuvinnslu í Búðarhálsstöð hafa verið metin og er kolefnisspor raforkuvinnslunnar mjög lítið samanborið við aðra raforkuvinnslu, hvort sem litið er til raforkuvinnslu með vatnsafla eða öðrum orkugjöfum. Orkubúskapur stöðvarinnar er sömuleiðis hagkvæmur þar sem stöðin vinnur 263 sinnum meiri orku en fer í byggingu og rekstur aflstöðvarinnar. Aðeins tók um 5 mánuði að vinna orku sem samsvarar orkuþörf stöðvarinnar yfir 100 ára líftíma. Greiningin gefur rauntölur fyrir umhverfisáhrif orkuvinnslunnar og gefur upplýsingar um það hvar á vistferlinum er mesti ávinningurinn af því að vinna að úrbótum. Niðurstöðurnar sína að orkuvinnslan er umhverfislega hagkvæm, en þó eru ýmis tækifæri til að gera betur.

Landsvirkjun hefur möguleika á að draga úr umhverfisáhrifum í byggingu og rekstri vatnsaflstöðva sinna. Sem dæmi, þá er hægt að draga úr gróðurhúsaáhrifum orkuvinnslunnar með því að huga vel að vali á byggingarefnum fyrir framkvæmdir og búnaði stöðvarinnar sem og að huga vel að ábyrgri notkun á eldsneyti.

Mögulegt er að setja kröfur á birgja um að uppfylla ákveðin skilyrði er varða ábyrga umhverfisstjórnun í starfsemi sinni sem lið í því að lágmarka umhverfisáhrif. Dæmi um ábyrga umhverfisstjórnun er t.d. rekstur með vottað umhverfisstjórnunarkerfi eða útgáfa umhverfisyfirlýsinga (e. Environmental Product Declaration, EPD) fyrir vörur og þjónustu. Slík skilyrði eru í samræmi við kröfur sem gerðar eru í umhverfisstjórnunarstaðlinum sem Landsvirkjun starfar eftir, ISO 14001:2015, er varðar skyldur fyrirtækja til að huga að allri sinni vinnslu og þjónustu út frá vistferilshugsun. Það þýðir með öðrum orðum, að fyrirtæki skulu hafa allan vistferil vöru sinnar í huga á öllum stigum, þ.e. allt frá þróun, hönnun, framkvæmd, rekstri og þar til líftíma vöru líkur. Nefna má fleiri tækifæri til að draga úr umhverfisáhrifum fyrirhugaðra virkjunarkosta s.s. að huga að því að velja lónstæði þar sem jarðvegur sem fer undir vatn er kolefnisrýr og gróðurþekja er í lágmarki.

Nýta má niðurstöður þessarar greiningar sem grunn til frekari rannsókna. Áhugavert væri að skoða frekar næmni niðurstaðna vistferilsgreiningarinnar. Sem dæmi, mætti skoða áhrif breytts líftíma og athuga hvaða áhrif styttri eða lengri líftími hefði á t.d. kolefnisspor og orkuarðsemi aflstöðvarinnar. Einnig mætti nota reynslu Landsvirkjunar þegar kemur að viðhaldi mannvirkja vatnsaflstöðva, en hér var reiknað með viðhaldi sem mælt er með í leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu [3]. Þá mætti einnig taka saman reynslu fyrirtækisins þegar kemur að endurnýjun

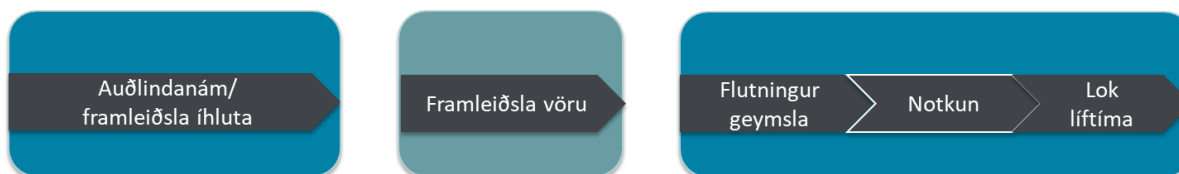
búnaðar, en báðir þessir þættir, þ.e. viðhald og endurnýjun, hafa töluverð umhverfisáhrif á rekstrartíma stöðvarinnar. Með því að stuðla að lengri endingartíma er hægt að draga úr umhverfisáhrifum. Einnig ber að nefna að lágmörkun, flokkun og endurvinnsla úrgangs sem og flokkun og viðurkennd förgun spilliefna á framkvæmda- og rekstrartíma dregur úr umhverfisáhrifum og er því mikilvægur þáttur í umhverfisstjórnun og samfélagsábyrgð Landsvirkjunar.

Þá liggja nú fyrir niðurstöður sem má nota til að leggja fram loftslagsbókhald fyrir framleiðslu vörunnar (raforkunnar) sbr. Greenhouse Gas Protocol fyrir vörur, og til að sækjast eftir vottun fyrir vinnslu rafmagns með vatnsafla í Búðarhálsstöð, þ.e. fá vottun þriðja aðila á niðurstöðum greiningarinnar (mynd 20) [34]. Vottun niðurstaða vistferilsgreiningarinnar er grundvöllur að því að kaupendur raforkunnar geti nýtt sér tölur Landvirkjunar í eigin loftslagsbókhaldi (umfang 2 og 3 skv. Greenhouse Gas Protocol) og vistferilsgreiningum fyrir sínar vörur eða þjónustu [35, 34, 36]. Slíkar vottaðar tölur eru einnig gjaldengar inn í gagnabanka fyrir vistferilsgreiningar. Þessi vistferilsgreining nýtist þannig Landvirkjun bæði sem öflugt verkfæri í virkri umhverfisstjórnun og sem innlegg í markaðssetningu raforkunnar sem endurnýjanlegur orkugjafi með lítið kolefnisspor.

Kolefnisspor Landsvirkjunar á ársgrundvelli



Kolefnisspor raforkuvinnslu Landsvirkjunar sem birta má í vottaðri umhverfisfyrirlysingu



- Umfang 1 og 2 skv. GHG protocol - fyrirtækjastaðlinum
- Umfang 3 sem er krafa skv. GHG protocol, umfang 3 staðlinum
- Losun yfir vistferli vöru sbr. GHG staðal um vöru

MYND 20 Myndin sýnir samhengi kolefnisspors rekstrar Landsvirkjunar á ársgrundvelli annars vegar og raforkuvinnslu hins vegar. Tölur fyrir kolefnisspor rekstar Landsvirkjunar má finna í [Grænu bókhaldi](#) [37] en kolefnisspor raforkuvinnslunnar CO₂ íglidi/Kwt, eru reiknaðar með aðferðarfræði vistferilsgreiningar (mynd aðlöguð úr GHG Protocol [35]).

7 HEIMILDIR

- [1] ISO, *ISO 14040: 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*, International Organization for Standardization, Second edition, 2006.
- [2] ISO, *ISO 14044: 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*, International Organization for Standardization, First edition, 2006.
- [3] 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.
- [4] ÍST EN 15804:2012, *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*, CEN/TC 350, 2012.
- [5] Sandra Dögg Arnardóttir , „Úrgangur og spilliefni. Úttekt á sorpmálum í aflstöðvum Landsvirkjunar.“ Landsvirkjun, óútgefið.
- [6] 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.
- [7] Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, *Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna – rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006*, Landsvirkjun, 2008.

- [8] RALA, ÝMIR. *Rannsóknaverkefni tileinkað íslenskum jarðvegi*, Rannsóknastofnun landbúnaðarins, 2002.
- [9] Thinkstep AG, *GaBi databases*, 2017.
- [10] RecycleNet Corporation, „SCRAPindex.com,“ [Á neti]. Available: <http://www.scrapindex.com>.
- [11] 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.
- [12] Confederation of European paper industries, *Resource efficiency in the pulp and paper industry. Making more from our natural resources.*, Brussels: CEPI.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] U.S. Geological Survey, *Mineral commodity summaries 2017*, U.S. Geological Survey, 2017.
- [16] Sathaye, J; O. Lucon; A. Rahman; J. Christensen; F. Denton; J. Fujino; G. Heath; S. Kadner; M. Mirza; H. Rudnick; A. Schlaepfer; A. Shmakina, „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.
- [17] EFLA verkfræðistofa hf, *Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Fljótsdalsstöð - uppfærðar niðurstöður*, Landsvirkjun 2018/xxx, 2018.
- [18] Vattenfall, *EPD of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower*, The International EPD System, 2018.
- [19] Agder Energi AS, *Environmental Product Declaration. Hydroelectricity from Skjerka power station*, The Norwegian EPD Foundation, 2016.

- [20] Statkraft, *Hydroelectricity from Trollheim Power Station*, The Norwegian EPD Foundation, 2013.
- [21] Bergström AK, Algesten G, Sobek S, Tranvik L, Jansson M, *Emission of CO₂ from hydroelectric reservoirs in northern Sweden*, Archiv fur hydrobiologie, 2004.
- [22] 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. Skinnmuddselet) in northern Sweden.*, Water Research (38) 531-538, 2003.
- [23] Diem T, Koch S, Schwarzenbach S, Wehrli B, Schubert CJ, *Greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄ and N₂O) from perialpine and alpine hydropower reservoirs*, Biogeoscience Discuss, 5, 3699-3736, 2008.
- [24] Li S, Zhang Q, *Carbon emission from global hydroelectric reservoirs revisited.*, Environmental Science and Pollution Research 21: 13636-13641, 2014.
- [25] 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.
- [26] H. EG, „Addressing Biogenic Greenhouse Gas Emissions from Hydropower in LCA,” *Environmental Science & Technology*, b. 47, pp. 9604-9611, 2013.
- [27] 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.
- [28] K. A, B. Forsberg og J. Melack, „Methane release below a tropical hydroelectric dam,” *Geophysical Research Letters*, b. 34, 2007.
- [29] K. A, B. Forsberg og J. Melack, „CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil),” *Journal of Geophysical Research*, b. 116, 2011.
- [30] 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.

- [31] World Bank Group, *Greenhouse Gases from Reservoir Caused by Biogeochemical Processes*, World Bank Group, 2017.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, *Greenhouse Gas Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard.*, USA: WRI & WBCSD, 2011.
- [35] World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, *Greenhouse Gas Protocol. Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*, USA: WRI & WBCSD, 2011.
- [36] World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, *The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition*, USA: WRI & WBCSD, 2004.
- [37] Landsvirkjun, „Ársskýrsla Landsvirkjunar 2017 - Grænt bókhald,“ 2017. [Á neti]. Available: <https://arsskyrsla2017.landsvirkjun.is/umhverfi/graent-bokhald>. [Skoðað 08 06 2018].
- [38] 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.
- [39] 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].
- [40] NASA Ozone Watch, „National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center,“ 17 October 2016. [Á neti]. Available: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history_SH.html. [Skoðað 2 July 2018].
- [41] Umhverfisstofnun, „Óson,“ [Á neti]. Available: <https://www.ust.is/einstaklingar/loftgaedi/oson/>. [Skoðað 2 July 2018].

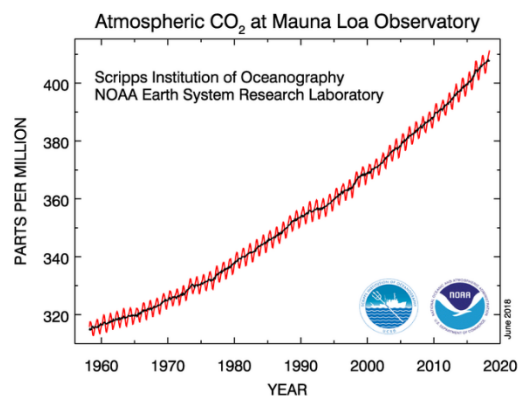
- [42] Simon Glöser, Marcel Soulier, Luis A. Tercero Espinoza, „Dynamic Analysis of Global Copper Flows. Global Stocks, Postconsumer Material Flows, Recycling Indicators, and Uncertainty Evaluation.,“ *Environmental Science & Technology*, b. 47, pp. 6564-6572, 2013.
- [43] European Paper Recycling Council, *Monitoring Report 2016. European Declaration on Paper Recycling 2016-2020.*, EPRC, 2016.

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 [14] og ILCD Handbook. International Reference Life Cycle Data System. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European Context [38].

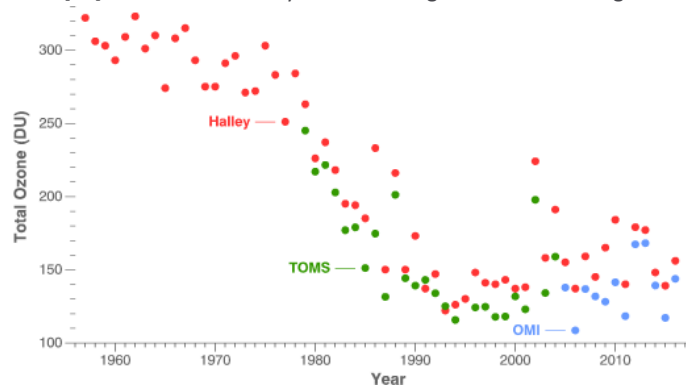
Gróðurhúsaáhrif valda breytingu á meðalhita jarðarinnar sem rekja má til losunar gróðurhúsalofttegunda af manna völdum, t.d. koltvísýrings (CO_2), metans (CH_4) og brennisteinshexaflúoríðs (SF_6). Búið er við að hækkun meðalhita jarðar muni m.a. hafa í för með sér miklar breytingar á loftslagi og veðurfari, valda eyðimerkurmyndun (e. Desertification), hækkun á yfirborði sjávar og aukningu í útbreiðslu sjúkdóma. Styrkur CO_2 í andrúmslofti hefur verið mældur á Mauna Loa í Hawaii frá árinu 1958 og sýnir greinilega aukinn styrk lofttegundarinnar í lofthjúpnunum [39]. Grafið að neðan sýnir styrk CO_2 í andrúmslofti sem fall af tíma.

Gróðurhúsaáhrif (e.
Global warming, GWP
100 years)



Eyðing ósons í heiðhvolfinu eða eyðing ósonlagsins stafar af völdum klór- og brómsambanda sem berast upp í heiðhvolfið, sem er í um 10 – 50 km hæð yfir yfirborði jarðar. Þau efnasambönd sem helst valda eyðingunni eru klórflúorkolefni (CFCs), halónar og vetnisklórflúorkolefni (HCFCs). Eyðing ósonlagsins dregur úr getu þess til að draga úr útfjólubláum (UV) geislum í gufuhvolfi jarðar sem veldur aukinni geislun krabbameinsvaldandi UVB geisla á yfirborði jarðar. Mælingar á styrk ósons í heiðhvolfinu yfir Suðurskautslandinu hafa verið gerðar frá árinu 1956. Árið 1985 fóru mælingar að sýna töluverða lækkun á styrk ósons, í kjölfarið var undirrituð s.k. Montreal bókun um efni sem valda rýrnun ósonlagsins þar sem kveðið er á um að horfið verði frá notkun ósoneyðandi efna [40]. 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 loftþjúpum 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 [41].
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_3), köfnunarefnisoxíð (NO_x) og brennisteinstvíoxíð (SO_2). Þar sem súrt regn fellur til jarðar, oft töluverða vegalengd frá uppsprettu mengunarinnar, veldur það oft á tíðum verulegum skemmdum á vistkerfum. Skaðinn er mismunandi eftir gerð vistkerfa, en súrt regn getur valdið miklum skaða í skóglendi, á dýralífi, vötnum og mannvirkjum.
Næringarefnaauðgun (e. eutrophication)	Næringarefnaauðgun getur átt sér stað í vatni eða í jarðvegi. Nítröt og fosföt eru nauðsynleg öllu lífi, hins vegar getur hár styrkur næringarefna, t.d. í vatni valdið óhóflegum þörungavexti sem leiðir af sér lækkaðan styrk súrefnis í vatninu. Næringarefnaauðgun getur valdið miklum skaða í vistkerfum með aukinni dánartíðni lífvera og lífverur sem krefjast lágs styrks næringarefna geta horfið úr vistkerfinu. Losun ammoníaks, nítrata, nitroxíða og fosfórs í andrúmsloft og vötn geta valdið næringarefnaauðgun. Næringarefnaauðgun veldur staðbundnum umhverfisáhrifum og dæmi um slík áhrif eru t.d. næringarefnaauðgun í Mývatni sem rekja má til ófullnægjandi hreinsunar á fráveituvatni sem losað er í vatnið.
Eyðing auðlinda (e. resource depletion)	Hér er átt við eyðingu auðlinda, svo sem málmgryti, hráolíu og önnur hráefni sem unnin eru úr námum og eru óendurnýjanleg. Þessi flokkur umhverfisáhrifa tekur tillit til minnkunar á forða óendurnýjanlegra hráefna sem verður við vinnslu þeirra og notkun. Forði auðlindar er skilgreindur sem það magn auðlindarinnar sem er þekkt og er hagkvæmt að nýta.
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, brúkol og úran annars vegar, og orka frá vatni, vindi, sól og lífmassa hins vegar.

VIÐAUKI B UPPLÝSINGAÖFLUN

Framkvæmdir:

Flutningsvegalengdir við flutninga **byggingarefna** frá framleiðendum og á byggingarstað við Búðarháls sem reiknað var með í vistferilsgreiningunni má sjá í töflunni hér að neðan.

	FRAMLEIÐSLUSTAÐUR	LANDFLUTNINGAR Í FRAMLEIÐSLULANDI	SJÓFLUTNINGAR	LANDFLUTNINGAR Á ÍSLANDI *
Sprengiefni	Skandinavía	100 km	2200 km	150 km
Bergboltar	Kína	100 km	20400 km	150 km
Sement	Noregur/Danmörk	100 km	1900 km	150 km
Sement	Akranes	-	-	190 km
Jarðvegsdúkur	Holland	100 km	2250 km	150 km
Steypustyrktarjárn	Hvíta Rússland	500 km	3000 km	150 km
Smíðajárn	Pólland	100 km	2784 km	150 km
Timbur	Finnland/ Eystrasaltslönd	100 km	3200 km	150 km
Repjuolía	Danmörk	100 km	1900 km	150 km
Íblöndunarefni	Þýskaland	100 km	2336 km	150 km
Bik	Svíþjóð	100 km	3200 km	150 km
Viðloðunarefni	Svíþjóð	100 km	3200 km	150 km
Stálrör	Holland	100 km	2250 km	150 km
Steypa	Ísland			8 km

* Ökutæki á Íslandi aka tóm til baka sömu vegalengd

Meðhöndlun og förgun úrgangs sem myndast við **byggingu aflstöðvar** sem miðað var við í vistgerilsgreiningunni má sjá í eftirfarandi töflu.

	MEÐHÖNDLUN	STAÐSETNING	ATHUGASEMD
Óflokkaður úrgangur	Urðun	Álfsnes	
Flokkaður úrgangur:			
Pappír	Endurvinnsla	Holland	1 kg af endurunnum pappír kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,78 kg af nýjum pappír
Málmar	Endurvinnsla	Bretland	1 kg af endurunnum málmi kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,37 kg af nýjum málmi
Timbur*	Jarðgerð (yfirlag á urðunarstaði)	Álfsnes	
Lífrænn úrgangur	Moltugerð	Selfoss	
Endurvinnanlegur úrgangur	Endurvinnsla plasts	Holland	1 kg af endurunnu plasti kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,75 kg af nýju
Grófur úrgangur	Endurheimt málmluta og urðun	Álfsnes	
Seyra frá rotþróum	Urðun	Sótt af viðurkenndum förgunaraðila	
Hættulegur úrgangur (spilliefni):			
Úrgangsolía	Brennsla	Kolka (Reykjanes)	
Önnur spilliefni	Brennsla	Danmörk og Svíþjóð	Orkuheimt

* Timbur sem fellur til við framleiðslu búnaðar erlendis fer til brennslu og er miðað við orkuheimt í þeim ferli, sjá kafla 3.3.

Flutningsvegalengdir við flutninga **búnaðar** frá framleiðendum og á byggingarstað við Búðarháls sem reiknað var með í vistferilsgreiningunni má sjá í töflunni hér að neðan.

	FRAMLEIÐSLUSTAÐUR	LANDFLUTNINGAR Í FRAMLEIÐSLULANDI	SJÓFLUTNINGAR	LANDFLUTNINGAR Á ÍSLANDI *
Hverflar	Þýskalandi	550 km	2350 km	150 km
Rafalar	Svíþjóð	400 km	2250 km	150 km
Stöðvarhússkrani	Þýskalandi	100 km	2350 km	150 km
Rafkerfi	Þýskalandi	100 km	2350 km	190 km
Stjórnþúnaður	Þýskalandi	100 km	2350 km	150 km
Vélaspenningar	Portúgal	13 km	3923 km	150 km
Aflstrengir	Suður Kórea	400 km	20000 km	150 km
Fallpípur	Ísland			150 km
Lokur	Portúgal	100 km	3923 km** 4800 km*** 2200 km****	150 km

* Ökutæki á Íslandi aka tóm til baka sömu vegalengd, ** Porto til Reykjavíkur (312 tonn), *** Lyon til Reykjavíkur (2 tonn),
**** Rotterdam/aðrar hafnir til Reykjavíkur (110 tonn)

Rekstur:

Meðhöndlun og förgun úrgangs sem myndast á 100 ára rekstrartíma Búðarhálsstöðvar má sjá í eftirfarandi töflu.

	MEÐHÖNDLUN	STAÐSETNING	ATHUGASEMD
Óflokkaður úrgangur	Urðun	Álfarnes	
Flokkaður úrgangur			
Lífrænn úrgangur	Moltugerð	Selfoss	
Málmar	Endurvinnsla	Bretland	1 kg af endurunnum málmum kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,37 kg af nýjum málmum
Pappír, pappi og umbúðir	Endurvinnsla	Holland	1 kg af endurunnum pappír kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,8 kg af nýjum pappír
Plast	Endurvinnsla	Holland	1 kg af endurunnu plasti kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,75 kg af nýju plasti
Timbur	Jarðgerð (yfirlag á urðunarstað)	Álfarnes	
Hættulegur úrgangur (spilliefni)			
Úrgangsolía	Brennsla	Kolka (Reykjanesi)	
Önnur spilliefni	Brennsla	Danmörk og Svíþjóð	Orkuheimt

Meðhöndlun og förgun úrgangs sem myndast við **endurnýjun búnaðar** eftir 60 ár í stöðinni má sjá í eftirfarandi töflu.

ENDURVINNSLA VEGNA ENDURNÝJUNAR BÚNAÐAR	MEÐHÖNDLUN	STAÐSETNING	ATHUGASEMD
Stál	Endurvinnsla	Bretland	1 kg af endurunnu stáli kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,37 kg af nýju stáli
Kopar	Endurvinnsla	Bretland	1 kg af endurunnum kopar kemur í veg fyrir notkun á 0,37 kg af nýjum kopar
Plastefni	Endurvinnsla	Holland	1 kg af endurunnu plasti kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,75 kg af nýju plasti
Ál	Endurvinnsla	Bretland	1 kg af endurunnu áli kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,75 kg af nýju áli
Tímber	Brennsla	Evrópu	Orkuheimt
Olía (spennaolía)	Brennsla	Kolka (Reykjanesi)	

VIÐAUKI C TÖLULEGAR NIÐURSTÖÐUR

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

	EINING/KWST	ALLS	ÖFLUN HRÁEFNA OG FRAMLEIÐSLA (A1-A3)	FLUTNINGAR Á BÚÐARHÁLS (A4)	FRAMKVÆMDIR (A5)	REKSTUR AFLSTÖÐVAR (B1-B6)	REKSTUR LOSUN FRÁ LÖNUM (B1)	ENDURVINNSLA (D)
Gróðurhúsaáhrif	g CO2 ígildi	1,5,E-03	6,0,E-04 41%	4,8,E-05 3%	3,5,E-04 24%	3,2,E-04 22%	1,7,E-04 12%	-2,1,E-05 -1%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	1,2,E-02	4,6,E-03 39%	6,4,E-04 5%	4,5,E-03 38%	2,4,E-03 20%	0,0,E+00 0%	-2,4,E-04 -2%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	4,2,E-06	1,4,E-06 34%	4,2,E-07 10%	1,5,E-06 36%	9,1,E-07 22%	0,0,E+00 0%	-5,3,E-08 -1%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	3,8,E-07	1,6,E-07 40%	2,6,E-08 7%	1,1,E-07 28%	8,6,E-08 22%	1,9,E-08 5%	-8,3,E-09 -2%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	2,0,E-06	2,0,E-07 10%	6,0,E-08 3%	3,9,E-07 19%	1,3,E-07 7%	1,3,E-06 62%	-5,4,E-09 0%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	2,0,E-08	1,0,E-08 52%	3,1,E-12 0%	4,0,E-11 0%	9,5,E-09 48%	0,0,E+00 0%	-1,5,E-11 0%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	3,6,E-13	3,6,E-13 98%	1,3,E-18 0%	2,3,E-16 0%	7,1,E-15 2%	0,0,E+00 0%	-1,6,E-15 0%

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

	Eining/kWst	Alls	Framleiðsla byggingarefna (A1-A3)	Framleiðsla vél- og rafbúnaðar (A1-A3)	Framleiðsla eldsneytis fyrir flutninga og ferðir starfsfólks (A4 og A5)	Flutningar byggingarefna (A4)	Flutningar vél- og rafbúnaðar (A4)	Ferðir starfsfólks (A4)	Framleiðsla eldsneytis fyrir framkvæmdir (A5)	Bruni eldsneytis við framkvæmdir (A5)	Raforkunotkun (A5)	Flutningar og förgun úrgangs (A5)
Gróðurhúsaáhrif	g CO2 ígildi	1,0E-03	5,0E-04 34%	1,0E-04 7%	3,8E-06 0%	1,2E-05 1%	1,6E-06 0%	3,1E-05 2%	2,7E-05 2%	3,0E-04 20%	9,1E-07 0%	2,4E-05 2%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	9,8E-03	3,6E-03 30%	1,1E-03 9%	5,4E-04 5%	0,0E+00 0%	0,0E+00 0%	9,6E-05 1%	4,5E-03 38%	0,0E+00 0%	7,3E-06 0%	2,3E-05 0%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	3,3E-06	1,0E-06 25%	3,8E-07 9%	2,3E-08 1%	2,8E-07 7%	4,1E-08 1%	8,3E-08 2%	1,9E-07 5%	1,3E-06 31%	2,6E-09 0%	1,2E-08 0%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	2,9E-07	1,2E-07 31%	3,5E-08 9%	3,8E-09 1%	1,4E-08 4%	2,1E-09 1%	5,3E-09 1%	3,1E-08 8%	6,9E-08 18%	2,4E-10 0%	5,6E-09 1%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	6,4E-07	1,7E-07 8%	3,0E-08 1%	4,1E-09 0%	3,1E-08 2%	4,4E-09 0%	2,1E-08 1%	3,9E-08 2%	3,4E-07 16%	1,3E-09 0%	7,0E-09 0%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	1,0E-08	1,1E-09 5%	9,2E-09 46%	2,9E-12 0%	0,0E+00 0%	0,0E+00 0%	2,0E-13 0%	2,7E-11 0%	0,0E+00 0%	1,2E-11 0%	2,9E-13 0%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	3,6E-13	3,5E-13 97%	5,9E-15 2%	1,1E-18 0%	0,0E+00 0%	0,0E+00 0%	1,2E-19 0%	9,0E-18 0%	0,0E+00 0%	2,3E-16 0%	3,1E-19 0%

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

	EINING/KWST	ALLS	FLUTNINGAR OG FÖRGUN ÚRGANGS FRÁ REKSTRI (B1)	LOSUN FRÁ LÖNUM (B1)	VIÐHALD (B2-3)	ENDURNÝJUN VÉL- OG RAFBÚNAÐAR (B4)	FRAMLEIÐSLA ELDSNEYTIS FYRIR REKSTUR (B6)	BRUNI ELDSNEYTIS VEGNA REKSTURS (B6)	RAFORKUNOTKUN (B6)
Gróðurhúsaáhrif	g CO2 ígildi	4,9,E-04	4,4,E-06 1%	1,7,E-04 35%	2,1,E-04 42%	6,6,E-05 13%	2,8,E-06 1%	3,1,E-05 6%	1,0,E-05 2%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	2,4,E-03	4,4,E-06 0%	0,0,E+00 0%	1,2,E-03 48%	6,9,E-04 29%	4,7,E-04 20%	0,0,E+00 0%	8,1,E-05 3%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	9,1,E-07	2,5,E-09 0%	0,0,E+00 0%	4,4,E-07 48%	3,2,E-07 35%	2,0,E-08 2%	1,0,E-07 11%	2,9,E-08 3%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	1,1,E-07	9,9,E-10 1%	1,9,E-08 18%	4,7,E-08 45%	2,5,E-08 24%	3,3,E-09 3%	6,4,E-09 6%	2,6,E-09 2%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	1,4,E-06	2,4,E-09 0%	1,3,E-06 91%	6,3,E-08 4%	2,3,E-08 2%	4,1,E-09 0%	2,6,E-08 2%	1,4,E-08 1%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	9,5,E-09	5,5,E-14 0%	0,0,E+00 0%	2,6,E-10 3%	9,1,E-09 96%	2,8,E-12 0%	0,0,E+00 0%	1,3,E-10 1%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	7,1,E-15	5,8,E-20 0%	0,0,E+00 0%	6,3,E-17 1%	4,6,E-15 64%	9,4,E-19 0%	0,0,E+00 0%	2,5,E-15 35%

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

	EINING/KWST	ALLS	ENDURVINNSLA ÚRGANGS FRÁ FRAMKVÆMDUM	ENDURVINNSLA ÚRGANGS VIÐ FRAMLEIÐSLU SPENNA	ENDURVINNSLA ÚRGANGS VIÐ FRAMLEIÐSLU FALLPÍPA	ÚRGANGUR TIL ENDURVINNSLU Á REKSTRARTÍMA	ENDURVINNSLA VEGNA ENDURNÝJUNAR BÚNAÐAR Á REKSTRARTÍMA
Gróðurhúsaáhrif	g CO2 ígildi	-2,1,E-05	-3,5,E-06 0,002389	4,5,E-07 0%	-9,6,E-07 0%	-1,8,E-07 0%	-1,6,E-05 -1%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	-2,4,E-04	-4,8,E-05 0%	-4,7,E-06 0%	-9,7,E-06 0%	-1,8,E-06 0%	-1,7,E-04 -1%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	-5,3,E-08	-9,3,E-09 0%	-1,3,E-09 0%	-2,0,E-09 0%	-3,9,E-10 0%	-4,0,E-08 -1%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	-8,3,E-09	-1,9,E-09 0%	-2,0,E-10 0%	-3,8,E-10 0%	-2,5,E-11 0%	-5,9,E-09 -2%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	-5,4,E-09	-1,2,E-09 0%	-2,0,E-10 0%	-2,1,E-10 0%	-4,2,E-11 0%	-3,8,E-09 0%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	-1,5,E-11	-1,1,E-12 0%	-3,2,E-13 0%	-1,7,E-13 0%	-4,8,E-14 0%	-1,3,E-11 0%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	-1,6,E-15	-3,1,E-16 0%	-5,5,E-18 0%	-7,7,E-17 0%	-1,0,E-19 0%	-1,3,E-15 0%



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

