

LV-2011-086



Landsvirkjun



Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli

Fljótsdalsstöð

Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli

Fljótsdalsstöð



Desember 2011

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2011/086

Dags: 21.12.2011

Fjöldi síðna: 49

Upplag: 20

Dreifing:

- Birt á vef LV
- Opin
- Takmörkuð til

Titill: Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafla – Fljótsdalsstöð

Höfundar/fyrirtæki: EFLA verkfræðistofa

Verkefnisstjóri: Ragnheiður Ólafsdóttir

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: Starfsmenn Landsvirkjunar

Útdráttur: Í þessari skýrslu má finna niðurstöður mats á umhverfisáhrifum með aðferðarfræði vistferilsgreiningar fyrir raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð. Greiningin er gerð samkvæmt alþjóðlegu stöðlunum ISO 14040 og 14044 en niðurstöður hennar varpa ljósi á þá þætti í framkvæmd og rekstri stöðvarinnar sem helst valda neikvæðum umhverfisáhrifum. Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar sýna að helstu umhverfisáhrifin má rekja til byggingartímans og losunar gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum.

Lykilorð: Fljótsdalsstöð, Kárahnjúkavirkjun, kolefnisspor (*carbon footprint*), Landsvirkjun, raforka, umhverfisýfirlýsing (*EPD*), vatnsafl, vistferilsgreining (*LCA*), vistspor (*ecological footprint*)

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

SAMANTEKT

Meiri hluti raforku sem notuð er á Íslandi er unnin með vatnsafli. Á árinu 2010 var 96% af raforku Landsvirkjunar unnin í vatnsaflsvirkjunum og 4% í jarðvarmavirkjunum. Á síðustu árum hefur sjónum verið beint í ríkari mæli að umhverfisáhrifum raforkuvinnslu og aukin þörf hefur skapast fyrir greinargóðar og gagnsæjar upplýsingar um umhverfisáhrif mismunandi raforkukosta.

Umhverfisáhrif raforkuvinnslu með vatnsafli í Fljótsdalsstöð hafa nú verið metin með aðferðarfræði vistferilsgreiningar (e. *Life Cycle Assessment*). Vistferilsgreiningin var unnin skv. alþjóðlegum stöðlum um vistferilsgreiningar og í samræmi við alþjóðlegar reglur fyrir undirbúning umhverfisyfirlýsinga (EPD). Metin voru umhverfisáhrif við vinnslu á 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð. Á byggingartíma Fljótsdalsstöðvar var verkefnið nefnt Kárahnjúkavirkjun en það tekur til Fljótsdalsstöðvar og þess vatnasviðsins sem stöðin nýtir til orkuvinnslu.

Vistferilsgreining metur m.a. eftirfarandi umhverfisáhrif frá raforkuvinnslu: gróðurhúsaáhrif, súrt regn, eyðingu ósonlagsins, næringarefnaauðgun, virkni sólarljóss til myndunar ósons við yfirborð jarðar og auðlindanotkun. Niðurstöður vistferilsgreiningar lýsa heildar umhverfisáhrifum, eða svokölluðu *vistspori* (e. *ecological footprint*) raforkuvinnslu og er hægt að nýta þær sem grunn fyrir umhverfisyfirlýsingu fyrir raforkuvinnsluna. Einnig gefa upplýsingar um gróðurhúsaáhrifin upplýsingar um svokallað *kolefnisspor* (e. *carbon footprint*) raforkuvinnslunnar. Greiningin varpar ljósi á þá þætti í framkvæmd og rekstri virkjunarinnar sem helst valda neikvæðum umhverfisáhrifum.

Niðurstöður þessarar vistferilsgreiningar leiða í ljós að byggingartími Fljótsdalsstöðvar hefur mest áhrif á umhverfið og er það vegna notkunar á jarðefnaeldsneyti og steypu. Á rekstartímanum valda endurnýjun vél- og rafbúnaðar og viðhald steyptra mannvirkja mestum umhverfisáhrifum en við rekstur stöðvarhússins má rekja stærsta hluta umhverfisáhrifa til notkunar jarðefnaeldsneytis. Losun gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum hefur mikil áhrif á heildar gróðurhúsaáhrif í vistferli raforkuvinnslunnar.

Losun gróðurhúsalofttegunda, eða svokallað kolefnisspor, fyrir raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð reyndist vera 2,6 g CO₂-ígildi/kWst. Stærstur hluti þess er vegna losunar gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum (60%), og því næst vegna losunar á byggingartíma virkjunarinnar (37%) sem að stórum hluta má rekja til notkunar jarðefnaeldsneytis og steypu. Rekstur stöðvarinnar vegur einungis um 3% af kolefnissporinu. Til samanburðar má til dæmis geta þess að kolefnisspor fyrir raforkuvinnslu í kolakynntu orkuveri er á bilinu 800 – 1.250 g CO₂-ígildi/kWst.

Vistferilsgreiningin hefur varpað ljósi á þá þætti í framkvæmd og rekstri Fljótsdalsstöðvar sem helst valda neikvæðum umhverfisáhrifum. Þá þekkingu má nýta til að draga úr umhverfisáhrifum í rekstri Fljótsdalsstöðvar og annarra vatnsaflsvirkjana Landsvirkjunar en ekki hvað síst til að draga úr umhverfisáhrifum nýrra vatnsaflsvirkjana sem byggðar verða í framtíðinni. Niðurstöðurnar eru mikilvægar fyrir Landsvirkjun í allri vinnu við að upplýsa kaupendur orkunnar og aðra hagsmunaaðila um umhverfiseiginleika orkunnar. Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar nýtast einnig þriðja aðila, t.d. framleiðslu- og iðnfyrirtækjum við mat á umhverfisáhrifum vegna framleiðslu á eigin vöru. Nú hefur í fyrsta skipti hér á landi m.a. verið metið kolefnisspor við

vinnslu vatnsorku yfir allan vistferilinn sem gerir allan samanburð við aðra vinnslu vatnsorku erlendis og aðra orkugjafa mögulegan.

Umhverfisáhrif Fljótsdalsstöðvar voru borin saman við vistferilsgreiningar fyrir vatnsaflsvirkjanir, bæði á Norðurlöndunum og í Sviss, og reyndust umhverfisáhrifin vera af svipaðri stærðargráðu fyrir sambærilegar virkjanir.

Trúverðugleiki niðurstaðna við mat á umhverfisáhrifum með aðferðarfræði vistferilsgreiningar byggir mjög mikið á þeim upplýsingum sem lagðar eru til matsins. Þannig er nákvæm upplýsingaöflun og gagnsæi hennar einn af mikilvægustu þáttum vistferilsgreiningarinnar. Nálágast þarf sem mest af raungögnum frá framkvæmdum og rekstri til að niðurstöður vistferilsgreiningarinnar verði sem marktækastar. Í þessu verkefni hefur verið leitast við að nota raungögn fyrir alla þætti við framkvæmdir og rekstur Fljótsdalsstöðvar, en í einstaka tilfellum varð þó að áætla stærðir. Mikilvægt er að Landsvirkjun skrái í framtíðinni upplýsingum um magn og uppruna byggingarefna sem og úrgang frá framkvæmdum strax á framkvæmdatíma. Upplýsa þarf alla aðila sem að framkvæmdum koma um mikilvægi skráninga og fara fram á að þeir skili inn nauðsynlegum upplýsingum jafnóðum til að halda áfram þeirri vinnu við að meta umhverfisáhrif raforkuvinnslu Landsvirkjunar með aðferðarfræði vistferilsgreiningar.

EFNISYFIRLIT

Samantekt.....	i
Orðskýringar.....	v
1 Inngangur.....	1
1.1 Bakgrunnur.....	1
1.2 Tilgangur verkefnisins.....	1
1.3 Uppbygging skýrslunnar.....	2
2 Vistferilsgreiningar fyrir raforkuvinnslu.....	3
2.1 Vistferilsgreining.....	3
2.2 Umhverfisyfirlýsingar (EPD).....	4
2.3 Gróðurhúsaáhrif frá raforkuvinnslu.....	4
2.4 Umhverfisáhrif vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndunum og Sviss.....	5
3 Markmið og umfang vistferilsgreiningarinnar.....	7
3.1 Markmið vistferilsgreiningarinnar.....	7
3.2 Aðgerðareining vistferilsgreiningarinnar.....	7
3.3 Mörk kerfisins.....	8
3.3.1 Endingartími.....	9
3.4 Uppruni og gæði upplýsinga.....	9
3.5 Hugbúnaðurinn GaBi 4.4.....	10
3.6 Umhverfisáhrif.....	10
3.6.1 Lýsing á umhverfisáhrifum.....	11
4 Upplýsingasöfnun.....	13
4.1 Byggingartími.....	13
4.1.1 Undirbúningsverk.....	13
4.1.2 Byggingarframkvæmdir.....	15
4.1.3 Mannafli við framkvæmdir.....	15
4.1.4 Vél- og rafbúnaður.....	16
4.2 Rekstur.....	16
4.2.1 Ítrun.....	16
4.3 Losun frá lónum.....	16
4.4 Landbótasjóðir.....	17
5 Mat á umhverfisáhrifum með vistferilsgreiningu.....	18
5.1 Gróðurhúsaáhrif.....	19

5.1.1	Losun frá lónum	20
5.1.2	Byggingartími virkjunar	20
5.1.3	Rekstur	22
5.1.4	Eldsneytisnotkun.....	24
5.2	Súrt regn.....	24
5.2.1	Byggingartími virkjunar	25
5.2.2	Rekstur	27
5.2.3	Eldsneytisnotkun.....	28
5.3	Eyðing ósonlagsins	28
5.3.1	Byggingartími virkjunar	29
5.3.2	Rekstur	30
5.3.3	Eldsneytisnotkun.....	32
5.4	Næringarefnaauðgun.....	32
5.4.1	Byggingartími virkjunar	32
5.4.2	Rekstur	34
5.4.3	Eldsneytisnotkun.....	35
5.5	Virgni sólarljóss til myndunar ósons við yfirborð jarðar	36
5.5.1	Losun frá lónum	36
5.5.2	Byggingartími virkjunar	36
5.5.3	Rekstur	37
5.5.4	Eldsneytisnotkun.....	39
5.6	Önnur umhverfisáhrif.....	39
5.7	Umhverfisáhrif yfir vistferilinn	41
5.8	Landbætur.....	42
6	Umræður og samanburður við erlendar vistferilsgreiningar	43
7	Heimildaskrá	47
	Viðauki 1 - Upplýsingasöfnun.....	50
	Viðauki 2 – Niðurstöður	58
	Viðauki 3 – Umhverfisáhrif vatnsaflsvirkjana.....	61

ORÐSKÝRINGAR

CFC's	Klórflúorkolefni (<i>e. chlorofluorocarbon</i>)
DCB	Díklóróbensen (<i>e. Dichlorobenzene</i>)
EASA	Flugöryggisstofnun Evrópu (<i>e. European Aviation Safety Agency</i>)
EPD	Umhverfisyfirlýsing (<i>e. Environmental Product Declaration</i>)
GHL	Gróðurhúsalofttegundir
GWP	Hnattlýnunarmáttur (<i>e. Global Warming Potential</i>)
GWst	Gígavattstund
HAUST	Heilbrigðiseftirlit Austurlands
HCFC's	Vetnisklórflúorkolefni (<i>e. hydrochlorofluorocarbon</i>)
IAEA	Alþjóðakjarnokumálastofnunin (<i>e. International Atomic Energy Agency</i>)
IPCC	Milliríkjanefnd um loftslagsbreytingar (<i>e. Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
ISO	Alþjóðlegu staðlasamtökin (<i>e. International Standards Organisation</i>)
kWst	Kílóvattstund
LBHÍ	Landbúnaðarháskóli Íslands
LCA	Vistferilsgreining (<i>e. Life Cycle Assessment</i>)
MJ	Megajúl (<i>e. Megajoule</i>)
ODP	Ósoneyðingarmáttur (<i>e. Ozone Depletion Potential</i>)
PE	Persónueining, en ein persónueining samsvarar umhverfisáhrifum frá einum einstakling í Vestur Evrópu á einu ári fyrir hvern flokk umhverfisáhrifa
POCP	Virgni sólarljóss til myndunar ósons við yfirborð jarðar (<i>e. Photochemical Ozone Creation Potential</i>)
TWst	Teravattstund
VOC	Rokgjörn, lífræn efnasambönd (<i>e. Volatile Organic Compounds</i>)

1 INNGANGUR

1.1 BAKGRUNNUR

Á árinu 2010 var raforkuvinnsla á Íslandi í heildina rúmlega 17.000 GWst. Tæplega 73% raforkunnar var unnin með vatnsafli og 27% með jarðvarma, önnur raforkuvinnsla (< 0,02%) var með jarðefnaeldsneyti. Raforkuvinnsla Landsvirkjunar inn á flutningskerfi Landsnets árið 2010 nam 12.534 GWst. Þar af var hlutur vatnsafli 96% en jarðvarma 4%. Raforkuvinnsla í Fljótsdalsstöð var yfir 5.000 GWst það ár.

Hækkandi raforkuverð í Evrópu og aukin eftirspurn eftir umhverfisvænni orkugjöfum sem og krafa Evrópusambandsins um aukna hlutdeild endurnýjanlegrar raforku hefur opnað nýja möguleika fyrir Landsvirkjun. Í sífellt auknu mæli er kallað eftir upplýsingum um umhverfisáhrif orkuvinnslu og sammanburði á umhverfisáhrifum mismunandi orkugjafa. Því er mikilvægt fyrir framleiðendur raforku að geta sýnt fram á að raforkuvinnslan sé sannarlega umhverfisvæn og jafnvel betri kostur en vinnsla með öðrum orkugjöfum. Færst hefur í aukana á undanföllum árum að raforkuframleiðendur birti umhverfisýfirlýsingar fyrir vinnslu rafmagns. Með birtingu slíkra upplýsinga má veita kaupendum og notendum raforkunnar gagnsæjar upplýsingar um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar. Slíkar umhverfisýfirlýsingar byggja m.a. á vistferilsgreiningum (e. *Life Cycle Assessment, LCA*) sem gerir viðskiptavinum kleift að bera saman umhverfisáhrif frá mismunandi raforkuvinnslu hvar sem hún fer fram í heiminum.

Sem liður í aukinni upplýsingagjöf Landsvirkjunar til núverandi og framtíðar orkukaupenda var ráðist í það verkefni að meta umhverfisáhrif frá raforkuvinnslu fyrirtækisins með því að nota aðferðarfræði vistferilsgreiningar. Reiknuð eru heildar umhverfisáhrif við vinnslu rafmagns í stærstu og nýjustu vatnsafllandsvirkjun Landsvirkjunar. Mismunandi umhverfisáhrif eru metin fyrir öll ferli raforkuvinnslunnar og þannig er hægt að ákvarða hvar í vistferli raforkunnar ákveðin umhverfisáhrif myndast (t.d. gróðurhúsaáhrif, næringarefnaauðgun, eyðing ósonlagsins, virkni sólarljóss til myndunar ósons við yfirborð jarðar, súrt regn og fleiri þættir). Vistferli raforkuvinnslu má m.a. skipta upp í framleiðslu íhluta og byggingarefna, undirbúnings- og byggingartíma virkjunar, rekstur og viðhald stöðvarinnar o.s.frv. Niðurstöður greiningarinnar sýna því hvaða umhverfisáhrif hver þáttur í vistferlinum hefur í för með sér, en slíkar upplýsingar eru forsendur þess að draga megi úr heildar umhverfisáhrifum. Vistferilsgreiningin er þannig mikilvægt innlegg í umhverfisstjórnun og upplýsingagjöf Landsvirkjunar.

1.2 TILGANGUR VERKEFNISINS

Tilgangur þessa verkefnis er að nota aðferðarfræði vistferilsgreiningar til að meta umhverfisáhrif frá raforkuvinnslu Landsvirkjunar með vatnsafli. Umhverfisáhrif frá vinnslu rafmagns í Fljótsdalsstöð eru metin. Vistferilsgreiningin er gerð í samræmi við ISO 14040 og 14044 og notast er við hugbúnaðinn GaBi 4.4. Niðurstöður verkefnisins nýtast m.a. sem grunnur til að meta vistspor (e. *ecological footprint*) og kolefnisspor (e. *carbon footprint*) Landsvirkjunar og veita frekari upplýsingar um umhverfisáhrif orkuvinnslunnar. Þannig getur Landsvirkjun veitt raforkunotendum áreiðanlegar upplýsingar um umhverfisáhrif orkunnar sem hún vinnur.

1.3 UPPBYGGING SKÝRSLUNNAR

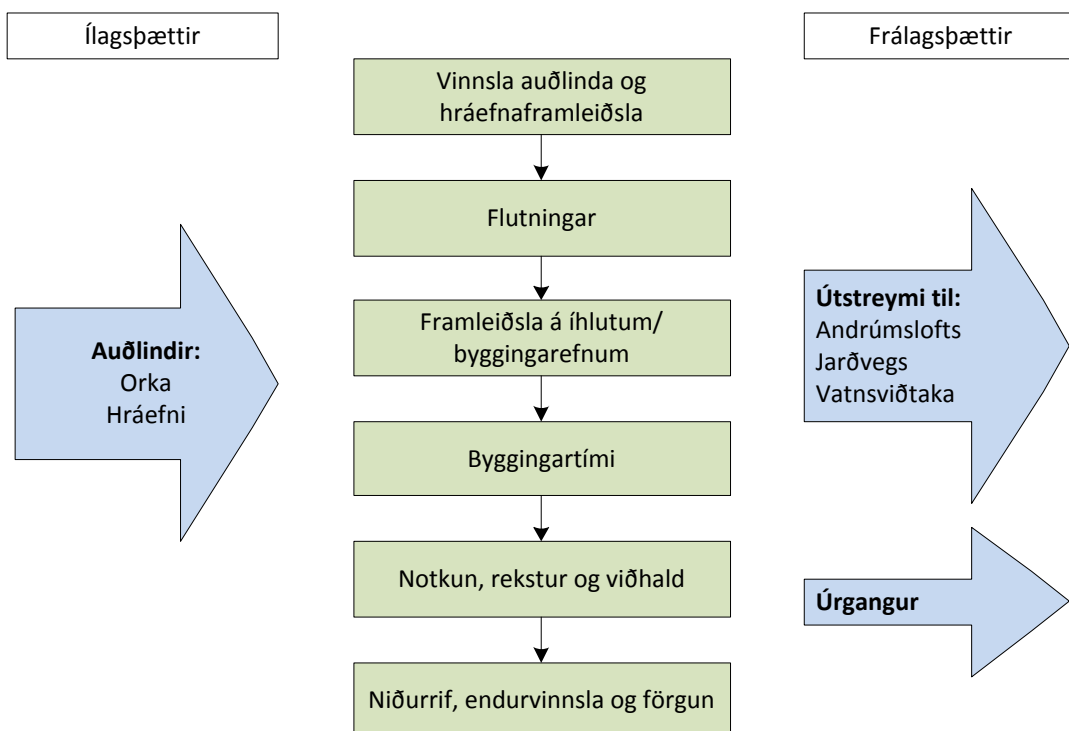
Skýrslunni er skipt í 7 kafla. Í 1. kafla er bakgrunni og markmiðum verkefnisins lýst. Í kafla 2 er aðferðarfræði vistferilsgreiningar lýst sem og notagildi niðurstaðna slíkra greininga. Kaflinn inniheldur einnig upplýsingar um umhverfisáhrif frá mismunandi raforkuvinnslu og frá vatnsaflsvirkjunum á Norðurlöndunum og í Sviss. Í 3. kafla er markmiðum og umfangi vistferilsgreiningarinnar sjálfrar lýst. Í kaflanum er skilgreindur sá reiknigrunnur sem greiningin byggir á, svokölluð aðgerðareining og skilgreint fyrir hvaða ferli greiningin er gerð og hvar mörk ferilsins liggja. Að auki eru gefnar upplýsingar um þann hugbúnað sem notaður er við greininguna. Í 4. kafla er fjallað um uppruna og gæði þeirra upplýsinga sem notaðar eru við greininguna. Í kafla 5 eru birtar niðurstöður vistferilsgreiningarinnar. Umræður um niðurstöðurnar og samanburð við niðurstöður vistferilsgreininga vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndunum og í Sviss er að finna í 6. kafla og að síðustu eru lokaorð í kafla 7. Að auki er að finna þrjá viðauka aftast í skýrslunni. Í viðauka 1 er upplýsingasöfnun fyrir vistferilsgreininguna lýst. Í viðauka 2 er tafla sem sýnir niðurstöður greiningarinnar, þ.e. helstu umhverfisáhrif sem og orku- og auðlindanotkun. Í viðauka 3 er ítarefni fyrir samanburð niðurstaðna vistferilsgreininga fyrir vatnsaflsvirkjanir á Norðurlöndunum og í Sviss.

2 VISTFERILSGREININGAR FYRIR RAFORKUVINNSLU

2.1 VISTFERILSGREINING

Vistferilsgreining er aðferðarfræði sem er notuð til þess að meta staðbundin og hnattræn umhverfisáhrif vöru, framleiðsluferils eða þjónustu. Greiningin nær yfir allan vistferil eða „lífsskeið“ vörunnar, þ.e. allt frá öflun hráefna, framleiðsluferli, notkunar og förgunar. Safnað er tölulegum upplýsingum um ílags- og frálagsþætti yfir allan vistferilinn, í þessu tilfelli vinnslu raforku með vatnsafli og umhverfisáhrif reiknuð út. Dæmi um ílagsþætti er notkun orku og auðlinda og frálagsþættir eru t.d. úrgangur og losun efna í andrúmsloft, jarðveg og vatnsviðtaka. Gæði upplýsinga skipta því megin máli til að fá fram marktækar niðurstöður. Vistferilsgreiningar eru unnar samkvæmt alþjóðlegu stöðlunum ISO 14040 og ISO 14044 um vistferilsgreiningar.

Niðurstöður útreikninga á umhverfisáhrifum eru birtar fyrir svokallaða aðgerðareiningu (e. *Functional unit*) sem er notuð til samanburðar á niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir sambærilegar vörur eða þjónustu. Dæmi um aðgerðareiningu er t.d. 1 kg af fullunninni vöru eða 1 kWst af raforku. Kerfismörk (e. *System Boundaries*) eru einnig skilgreind, en þau eru afmörkun þess kerfis sem taka á með í greiningunni, t.d. hvaða hlutar kerfisins eru skoðaðir og hvar mörk kerfisins eru dregin. Á mynd 2.1 má sjá dæmi um meginþætti í vistferli vöru.



Mynd 2.1: Lýsandi mynd af meginþáttum vistferils vöru, framleiðsluferlis eða þjónustu.

Vistferilsgreining gefur tölulegar upplýsingar um umhverfisáhrif og notkun auðlinda sem nýtast beint til ákvarðanatöku varðandi mismunandi valkosti og í upplýsingagjöf um umhverfiseiginleika vörunnar. Niðurstöður vistferilsgreiningar eru notaðar til þess að meta hvar í ferli hvernar vöru eða þjónustu mestu umhverfisáhrifin eiga sér stað. Í framhaldinu er hægt að meta hvernig haga megi hönnun og framleiðslu vörunnar þannig að umhverfisáhrifin séu lágþörfuð. Einnig eru niðurstöðurnar notaðar til að bera saman umhverfisáhrif sambærilegrar vöru eða þjónustu. Þá

getur vistferilsgreining verið gagnleg við ákvarðanatökur og við markaðssetningu, t.d. hvað varðar umhverfismerkingar og umhverfisyfirlýsingar sem og gefið neytendum haldgóðar upplýsingar um umhverfisáhrif vörunnar, sem ná yfir allan vistferil hennar.

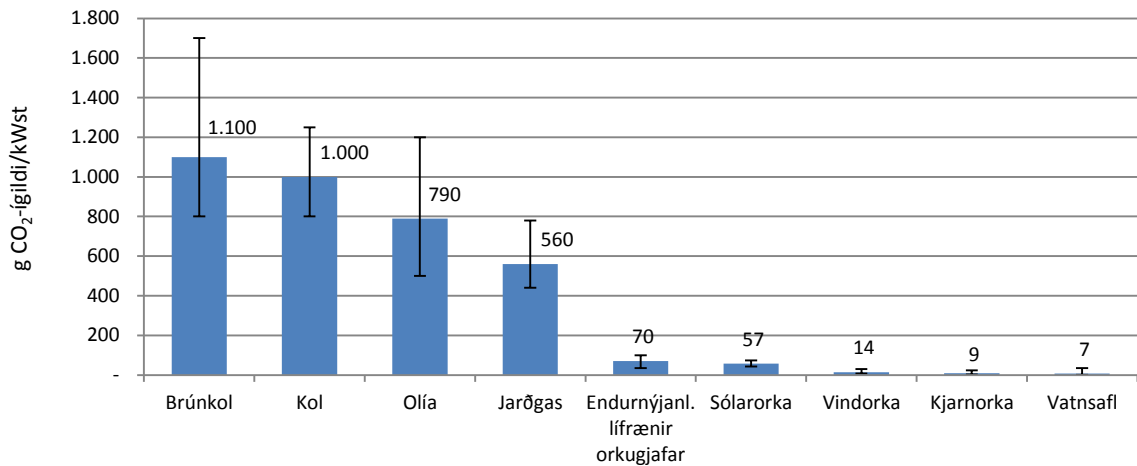
2.2 UMHVERFISYFIRLÝSINGAR (EPD)

Almenn aukin umhverfisvitund hefur leitt til þess að eftirspurn eftir upplýsingum um umhverfisáhrif ýmiss konar framleiðslu og þjónustu hefur aukist gríðarlega á síðastliðnum árum. Að sama skapi er mikill vilji fyrir því að bera saman umhverfisáhrif sambærilegra vöru- og þjónustuflokka. Umhverfisyfirlýsing (e. *Environmental Product Declaration, EPD*), í samræmi við ISO 14025 um umhverfismerkingar, er alþjóðleg stöðluð aðferðarfræði sem notuð er til að bera saman umhverfisáhrif sambærilegra vöru- og þjónustuflokka. Umhverfisyfirlýsingar auðvelda fyrirtækjum að miðla upplýsingum til neytenda um vörur sínar og þjónustu á trúverðugan og aðgengilegan hátt. Umhverfisyfirlýsingar byggja á niðurstöðum vistferilsgreininga auk annarra umhverfisupplýsinga. Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir Fljótsdalsstöð leggur grunn að umhverfisyfirlýsingu fyrir stóran hluta vatnsorkuvinnslu Landsvirkjunar.

2.3 GRÓÐURHÚSAÁHRIF FRÁ RAFORKUVINNSLU

Einn af mikilvægum eiginleikum vistferilsgreininga er að aðferðafærðin er stöðluð og gagnsæi upplýsinga er mikið. Niðurstöðurnar eru því samanburðarhæfar fyrir sömu aðgerðareiningu ákveðinnar vöru eða þjónustu, þ.m.t. raforkuvinnslu. Alþjóðakjarnorkumálastofnunin (e. *International Atomic Energy Agency, IAEA*) tók saman niðurstöður vistferilsgreininga sem gerðar voru á árunum 2000 - 2006 fyrir mismunandi raforkuvinnslu (mynd 2.2) (Weisser, 2007). Í þeirri samantekt er bent á mikilvægi þess að meta umhverfisáhrif vegna orkuvinnslu yfir allan vistferil orkuveranna. Ástæða þess er að umhverfisáhrif orkuvinnslunnar eru mismikil á mismunandi stigum orkuvinnslunnar (þ.e. á byggingartíma orkuvers, rekstri orkuvers o.s.frv.), fyrir mismunandi tegundir orkuvinnslu. Umhverfisáhrif raforkuvinnslu með notkun jarðefnaeldsneyta má t.d. að mestu leyti rekja til orkuvinnslunnar sjálfrar en eingöngu um 25% til byggingu orkuversins. Fyrir flest orkuver sem framleiða raforku með endurnýjanlegum orkugjöfum má hins vegar rekja um 90% áhrifanna til byggingar orkuvers og því einungis 10% til orkuvinnslunnar. Það er því mikilvægt að skilgreina í upphafi endingartíma orkuvera og kerfismörk til að niðurstöður séu samanburðarhæfar.

Samkvæmt skýrslu IAEA liggja gróðurhúsaáhrif raforkuvinnslu með vatnsafli á bilinu 1 – 34 g CO₂-ígildi á hverja framleidda kWst og að meðaltali 7 g CO₂-ígildi/kWst. Þennan mun má m.a. rekja til þess að ekki er alltaf um sambærileg kerfismörk að ræða, sem og að hér er bæði um að ræða rennslisvirkjanir og virkjanir með uppistöðulónum. Í virkjunum með uppistöðulónum er magn gróðurhúsalofttegunda sem losna m.a. háð stærð lóna, gerð og magni gróðurs og jarðvegs sem fer undir vatn, magni jarðefnaeldsneytis og sements sem notað er á byggingartíma orkuveranna auk fleiri þátta.



Mynd 2.2: Losun gróðurhúsalofttegunda við mismunandi raforkuvinnslu í g CO₂ ígilda á framleidda kWst (samantekt niðurstaðna frá vistferilsgreiningum, unnið frá Weisser, 2007). Synd er reiknuð meðallosun gróðurhúsalofttegunda fyrir mismunandi raforkuvinnslu.

Samkvæmt samantekt á niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir vatnsafl sem unnar hafa verið frá árinu 1980 til dagsins í dag og birt er í nýttkominni skýrslu milliríkjanefndar Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (e. *Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) liggur losun gróðurhúsalofttegunda fyrir vatnsafl á bilinu 4 – 14 g CO₂-ígildi/kWst (Kumar o.fl., 2011).

Samkvæmt ofangreindum samantektum má rekja stærsta hluta losunar gróðurhúsalofttegunda frá vatnaafsvirkjunum til byggingartíma þeirra. Hins vegar skal vakin athygli á því að í þessum samantektum er losun frá lónum ekki innifalin í kerfismörkum allra virkjana með uppistöðulón. Jafnframt skal á það bent að flestar rannsóknir á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum eru nýlegar og aðferðarfræði þar um er enn í mótun, því er töluverð óvissa tengd útreikningum á losuninni enn sem komið er (Kumar o.fl., 2011). Niðurstöður nýlegrar vistferilsgreiningar fyrir Vattenfall í Svíþjóð sýna að losun frá lónum veldur mestri losunar gróðurhúsalofttegunda, eða rúmlega 60% heildarlosunar ef ekki er tekið tillit til dreifingar raforkunnar (Vattenfall, 2008).

Eftirtektarvert er að gróðurhúsaáhrif vegna raforkuvinnslu við brennslu jarðefnaeldsneytis er á bilinu 80 – 160 sinnum meiri en frá vatnsafla miðað við meðaltalsgildi (sjá mynd 2.2). Ef eingöngu er litið til raforkuvinnslu með endurnýjanlegum orkugjöfum er meðallosun gróðurhúsalofttegunda lægst fyrir vatnsafl, en meðal losun gróðurhúsalofttegunda vegna annarra endurnýjanlegra orkugjafa er á bilin 1,3 – 10 sinnum hærri.

2.4 UMHVERFISÁHRIF VATNSAFLSVIRKJANA Á NORÐURLÖNDUNUM OG SVISS

Orkufyrirtækin Vattenfall í Svíþjóð og Statkraft í Noregi hafa gefið út umhverfisyfirlýsingu (EPD) fyrir vatnsaflsvirkjanir sínar. Einnig hefur Axpo AG í Sviss gefið út umhverfisyfirlýsingu fyrir tvær rennslisvirkjanir. Umhverfisyfirlýsingarnar byggja allar á aðferðarfræði vistferilsgreininga fyrir vinnslu raforkunnar og ná yfir allan vistferil orkuvinnslunnar.

Niðurstöður útreikninga fyrir umhverfisáhrif orkuvinnslu með vatnsafl hjá Vattenfall í Svíþjóð er kynnt sem meðaltal fyrir orkuvinnslu frá 14 vatnsaflsvirkjunum í átta mismunandi ám, þar af einni í Finnlandi. Samanlagt vinna þessar aflstöðvar um 31% af því rafmagni sem framleitt er með vatnsafl hjá Vattenfall og framleiða þær allt frá 10 til 2.298 GWst á ári. Heildarumhverfisáhrif má

að mestu rekja til byggingartíma orkuveranna og viðhalds á stíflum og stöðvarhúsum. Rekstur virkjana stuðlar að um 1% af heildarumhverfisáhrifunum. Losun gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum er tekin með í greiningunni, en þeir útreikningar byggja á áætluðu magni kolefnis sem bundið er í jarðvegi (Vattenfall, 2008).

Statkraft í Noregi lét gera vistferilsgreiningu fyrir Trollheim vatnsaflsvirkjunina sem var gangsett árið 1968. Virkjunin vinnur um 805 GWst á ári sem er eingöngu lítill hluti af heildar vinnslu Statkraft. Líkt og hjá Vattenfall í Svíþjóð eru mestu umhverfisáhrifin rakin til byggingartíma virkjunarinnar, en við mat á umhverfisáhrifum virkjana Statkraft var ekki tekið tillit til losunar gróðurhúsalofttegunda frá lónum vegna skorts á upplýsingum (Statkraft, 2010).

Axpo AG í Sviss á og rekur rennslisvirkjanirnar Wildegg-Brugg sem vinnur um 300 GWst á ári og Au-Schönenberg sem vinnur tæplega 6 GWst árlega. Líkt og fyrir norrænu vatnsaflsvirkjanir sýna niðurstöður vistferilsgreininganna að stærstan hluta umhverfisáhrifa raforkuvinnslunnar má rekja til byggingartíma orkuveranna (Axpo, 2010; Elaqua, 2011).

Helstu niðurstöður vistferilsgreininga þessara þriggja fyrirtækja má sjá í töflu 2.1, en umhverfisáhrif vegna flutnings orkunnar eru ekki meðtalin. Val á kerfismörkum í öllum tilfellunum eru í samræmi við alþjóðlegar reglur fyrir undirbúning umhverfisýfirlýsingar, þeim sömu og farið er eftir í þessari skýrslu (sjá kafla 3).

Tafla 2.1: Umhverfisáhrif frá vinnslu á 1 kWst í vatnsaflsvirkjunum í Svíþjóð, Noregi og Sviss.

Umhverfisáhrif	eining/kWh	Vatnsaflsvirkjanir með lónum		Rennslisvirkjanir	
		Vattenfall	Statkraft	Axpo – Sviss	
		Svíþjóð	Noregur	Wildegg-Brugg	Au-Schönenberg
Gróðurhúsaáhrif	g CO ₂ -ígildi (100 ár)	4,5	0,61*	3,1	5,2
Eyðing ósonlagsins	g R 11-ígildi	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
Súrt regn	g SO ₂ -ígildi	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$
Virgni sólarljóss til myndunar ósons	g C ₂ H ₄ -ígildi	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Næringarefnaauðgun	g PO ₄ -ígildi	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$
Jarðefnaeldsneyti	MJ	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$

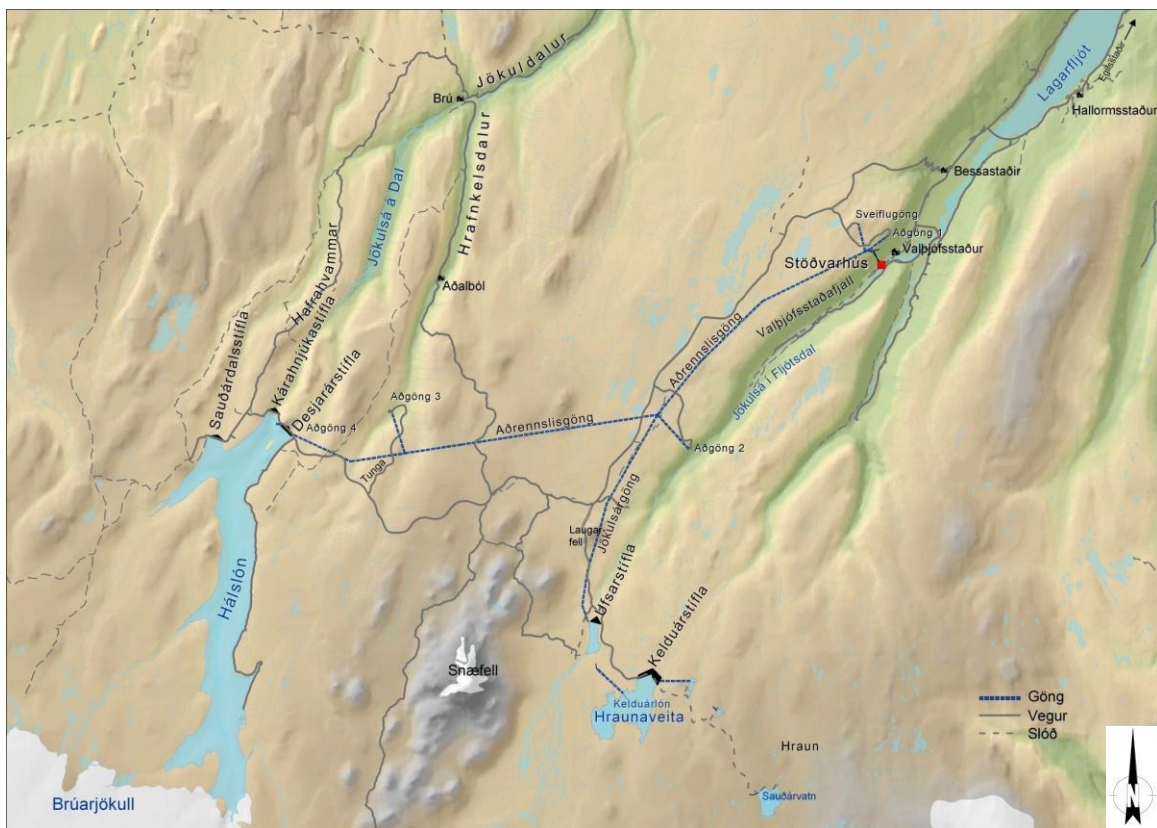
* Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum ekki innan kerfismarkna

3 MARKMIÐ OG UMFANG VISTFERILSGREININGARINNAR

Vistferilsgreiningin er unnin í samræmi við ISO 14040, ISO 14044 og alþjóðlegar reglur fyrir undirbúning umhverfisyfirlýsinga í samræmi við ISO 14025 staðal um tegund III¹ umhverfismerkinga (International EPDsystem, 2007). Val á aðgerðareiningu, kerfismörkum og söfnun upplýsinga er í samræmi við fyrrnefndar reglur og er lýst í eftirfarandi köflum.

3.1 MARKMIÐ VISTFERILSGREININGARINNAR

Markmið vistferilsgreiningarinnar er að meta umhverfisáhrif vegna raforkuvinnslu í íslenski vatnsaflsvirkjun með alþjóðlegri staðlaðri aðferðarfræði svo að hægt sé að veita raforkunotendum/kaupendum haldbærar upplýsingar um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar. Metin eru umhverfisáhrif raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð, aflmestu vatnsaflsvirkjun Landsvirkjunar. Fljótsdalsstöð er stærsta einstaka aflstöð landsins með 690 MW uppsett afl. Áætluð meðalorkuvinnsla Fljótsdalsstöðvar er metin 4.950 GWst á ári til lengri tíma. Yfirlitskort yfir virkjanasvæði og stöðvarhús má sjá á mynd 3.1.



Mynd 3.1: Yfirlitskort yfir Kárahnjúkasvæðið og Fljótsdalsstöð.

3.2 AÐGERÐAREINING VISTFERILSGREININGARINNAR

Mikilvægt er að hægt sé að bera saman niðurstöður vistferilsgreiningarinnar við aðrar greiningar sem gerðar eru fyrir raforkuvinnslu. Því er aðgerðareiningin valin til samræmis við alþjóðlegar reglur um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu við undirbúning umhverfisyfirlýsinga.

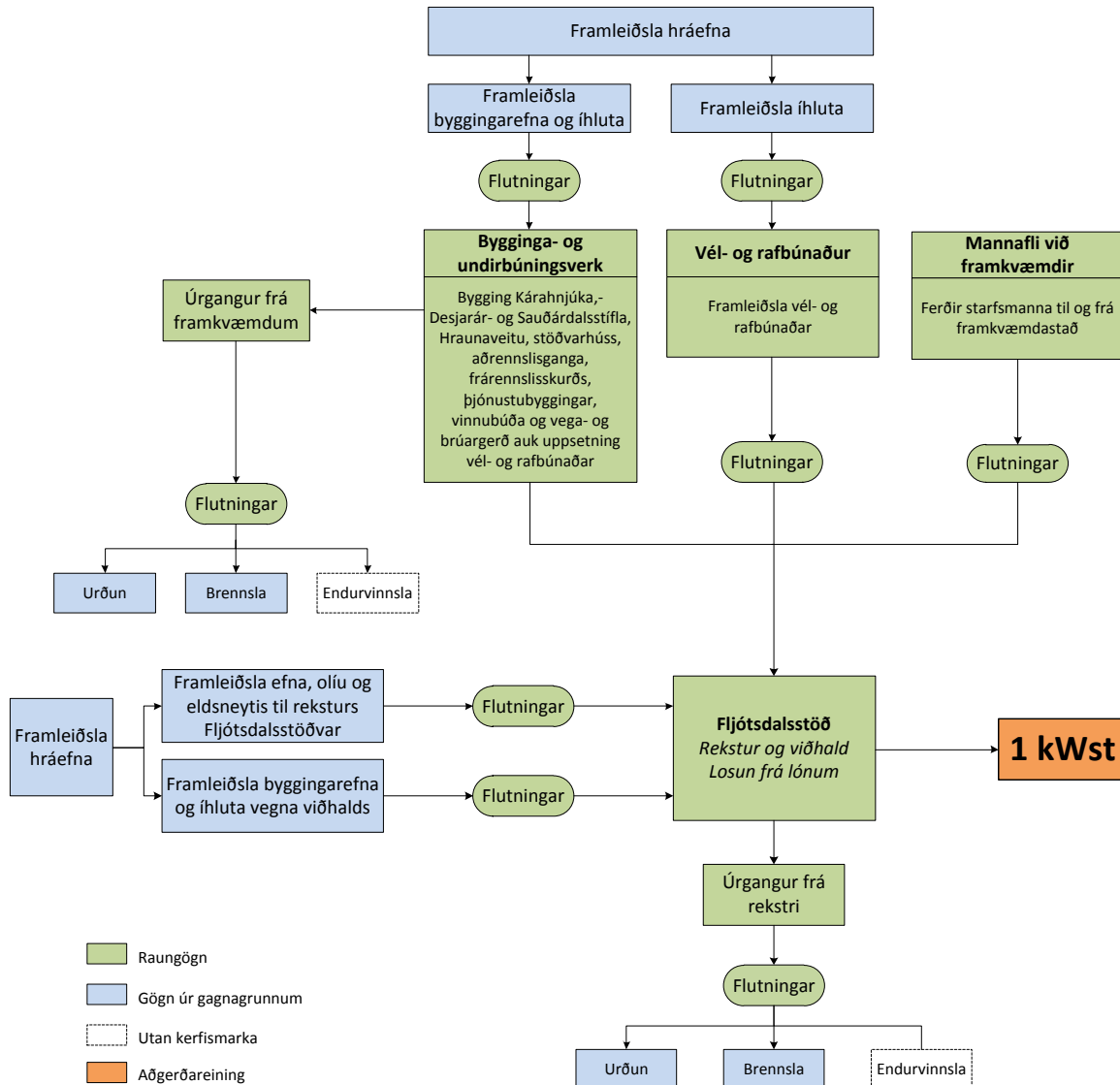
¹ Tegund III umhverfismerkinga tekur tillit til umhverfisáhrifa yfir allan vistferil ákveðinnar vöru eða þjónustu með notkun aðferðarfræði vistferilsgreiningar. Niðurstöður vistferilsgreiningar eru rýndar og samþykktar af þriðja aðila.

Aðgerðareining vistferilsgreiningarinnar er:

1 kWst rafmagns sem unnin er í Fljótsdalsstöð

3.3 MÖRK KERFISINS

Greiningin nær til hráefnanotkunar, losunar efna í andrúmsloftið, jarðveg og vatn, sem og úrgangs sem myndast á meðan á byggingu, rekstri og viðhaldi stöðvarhúss og stífla stendur yfir. Greiningin inniheldur ekki flutning raforkunnar né niðurrif mannvirkja þar sem endingartími virkjunarinnar er mjög langur. Kerfismörk greiningarinnar má sjá á mynd 3.2.



Mynd 3.2: Kerfismörk vistferilsgreiningarinnar ásamt upplýsingum um uppruna upplýsinga um ílagþætti greiningarinnar.

Byggingartími Fljótsdalsstöðvar felur í sér undirbúningsverk, byggingarframkvæmdir, framleiðslu, aðflutninga og uppsetningu vél- og rafbúnaðar sem og ferðir starfsmanna til og frá framkvæmdastað. Undirbúningsverk fela í sér lagningu og endurbætur vega (tæplega 100 km), byggingu tveggja brúa og uppsetningu vinnubúða á Kárahnjúkasvæðinu. Umhverfisáhrif frá

vegagerð vegna virkjunarframkvæmda eru tekin með við mat á umhverfisáhrifum raforkuvinnslunnar en þar sem vegirnir þjóna einnig öðrum tilgangi þ.e. eru nú hluti af hinu almenna vegakerfi landsin er rekstur og viðhald þeirra hins vegar ekki innan kerfismarkna.

Innan byggingarframkvæmda falla Kárahnjúka-, Sauðárdals- og Desjarárstíflur auk aðrennslisganga, stöðvarhús og frárennslisskurðir, þjónustubygging, uppsetning vél- og rafbúnaðar auk allra verka Hraunaveitu. Greiningin felur einnig í sér flutninga mannafla verktaka, eftirlitsaðila og starfsmanna Landsvirkjunar til og frá byggingasvæði. Vinnsla hráefna og framleiðsluferlar byggingarefna auk flutninga á byggingarstað eru meðtaldir. Framleiðsla gangabora, þungavinnuvéla, farartækja, steypustöðva og annarra tækja er ekki innifalin í greiningunni, eingöngu er tekið tillit til orkunotkunar þessara tækja.

Framleiðsla vél- og rafbúnaðar fyrir Fljótsdalsstöð eru innifalin í greiningunni. Tekið er tillit til framleiðslu hráefna og íhluta fyrir búnaðinn, auk framleiðslu, orkunotkunar, flutninga og uppsetningu búnaðar á Íslandi.

Við rekstur Fljótsdalsstöðvar er tekið tillit til orku- og olíunotkunar, ferða starfsmanna vegna starfsemi stöðvarinnar, úrgangsmyndunar auk förgunar og flutnings úrgangs. Einnig er viðhald á stíflum og vél- og rafbúnaði innifalið í rekstri stöðvarinnar. Viðmiðunarár fyrir rekstur Fljótsdalsstöðvar er árið 2009. Flutningar úrgangs til förgunar og förgun hans (urðun og brennsla) eru innifalin í vistferilsgreiningunni en einungis er tekið tillit til flutnings úrgangs til endurvinnslu eða endurnotkunar. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum á rekstrartíma er tekin með í greininguna.

Bygging virkjunarinnar hefur haft í för sem sér skerðingu og rýrnun gróðurlendis en töluvert gróðurlendi tapast varanlega undir uppistöðulón virkjunarinnar. Í greiningunni er einnig skoðuð binding gróðurhúsalofttegunda vegna uppgræðslu lands. Landbótasjóðir Norður-Héraðs og Fljótsdalshrepps eru kostaðir af Landsvirkjun og vinna að uppgræðslu lands til móts við það gróðurlendi sem tapast vegna Fljótsdalsstöðvar.

3.3.1 ENDINGARTÍMI

Gert er ráð fyrir að endingartími mannvirkja (þ.e. stíflur, stöðvarhús, aðrennslisgöng og skurðir) sé 100 ár. Endingartími vél- og rafbúnaðar í stöðvarhúsi (hverflar, rafalar o.s.frv.) er áætlaður 60 ár. Ekki er líklegt að stíflur, göng og stöðvarhús verði rifin á endingartímanum því er aðeins gert ráð fyrir viðhaldi á þessum mannvirkjum eftir byggingu þeirra en ekki niðurrif og förgun. Viðhaldið felur í sér viðhald á steiptum mannvirkjum og fulla endurnýjun vélbúnaðar stöðvarhúss einu sinni á þessum 100 árum. Ekki er gert ráð fyrir viðhaldi á jarðvegstíflum, göngum og skurðum og því felur viðhaldið ekki í sér notkun sprengiefna eða eldsneytis til frekari jarðvegsvinnu.

3.4 UPPRUNI OG GÆÐI UPPLÝSINGA

Við gerð vistferilsgreininga er fyrst og fremst leitast við að nota raungögn fyrir hráefni og orkunotkun þeirra ferla sem teknir eru til skoðunar. Þegar gögn liggja ekki fyrir eru gögn frá samsvarandi ferlum úr gagnabönkum notuð eða upplýsingar úr öðrum vistferilsgreiningum. Til eru gagnabankar sem innihalda upplýsingar um ýmis ferli, hráefni, orku o.s.frv. sem hægt er að nýta í vistferilsgreiningar.

Í þessu verkefni var leitast við að nota raungögn fyrir hráefni og orkunotkun við gerð líkans fyrir byggingar- og rekstrarferla stöðvarinnar. Upplýsingar um magntölur byggingarframkvæmda Fljótsdalsstöðvar var safnað úr lokaskýrslum framkvæmdaefirlits eða fengnar beint frá verktökum auk þess sem starfsmenn Landsvirkjunar söfnuðu öðrum upplýsingum. Raungögn fengust fyrir helstu þætti byggingarframkvæmdanna, framleiðslu vél- og rafbúnaðar og rekstur stöðvarinnar. Notast var við magntölur í útboðslýsingum fyrir undirbúningsverk en ekki voru fánleg raungögn fyrir öflun og framleiðslu hráefna (byggingarefna o.s.frv.), förgun alls úrgangs, og bindingu kolefnis vegna landbóta. Fyrir þá ferla sem raungögn lágu ekki fyrir var notast við gagnagrunna og nýlegar rannsóknarniðurstöður. Við útreikninga á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum var notast við niðurstöður mælinga og rannsókna sem fram hafa farið hérlendis á undanförunum árum. Upplýsingaöflun fyrir alla ferla greiningarinnar er lýst nánar í kafla 4 og viðauka 1.

3.5 HUGBÚNAÐURINN GABI 4.4

Umhverfisáhrif frá byggingu og rekstri Fljótsdalsstöðvar í 100 ár voru reiknuð með hugbúnaðinum GaBi 4.4. Hugbúnaðurinn er frá PE International í Þýskalandi og er einn mest notaði hugbúnaður fyrir vistferilsgreiningar á markaðnum í dag. Mögulegt er að setja upp líkón fyrir flókna framleiðsluferla og meta umhverfisáhrif vöru eða þjónustu sem heild en einnig er hægt að skoða áhrif vegna einstakra framleiðsluþátta. Flæði efna, orku og losun til andrúmsloftsins eru rakin og skilgreind í tilheyrandi flokk umhverfisáhrifa.

Þeir gagnagrunnar sem notaðir eru í þessu verkefni eru grunnar PE International, ELCD, Worldsteel og Plastics Europe í GaBi auk gagnagrunns í eigu EFLU.

3.6 UMHVERFISÁHRIF

Við vistferilsgreininguna var notast við CML 2001 aðferðina við mat á umhverfisáhrifum. Aðferðin var þróuð af Háskólanum í Leiden í Hollandi. Umhverfisáhrifin sem þessi vistferilsgreining nær m.a. yfir og eru mikilvæg í tengslum við raforkuvinnslu eru:

- Gróðurhúsaáhrif
- Súrt regn
- Eyðing ósonlagsins
- Næringarefnaauðgun
- Virkni sólarljóss til myndunar ósons við yfirborð jarðar
- Auðlindanotkun
- Eituráhrif á fólk
- Visteiturhrif

Í þessu verkefni er ekki lagt mat á efnahagsleg og félagsleg áhrif auk umhverfisáhrifa vegna mögulegra óhappa, bilana og leka. Að auki er ekki tekið tillit til áhrifa virkjunarinnar á landslag og landnotkun eða áhrifa á dýralíf (líffræðilegan fjölbreytileika). Þess ber þó að geta að Landsvirkjun í samstarfi við Alcoa Fjarðaál setti á laggirnar sjálfbærni-verkefni í tengslum við Fljótsdalsstöð og byggingu og rekstur álvers í Reyðarfirði. Í verkefninu er unnið að því að meta og þróa tölulega vísa fyrir samfélagsleg-, umhverfis- og efnahagsleg áhrif vegna byggingar og reksturs virkjunarinnar og álversins á Austurlandi. Þeir umhverfisvísar sem þar eru teknir fyrir og ekki er

mögulegt að gera grein fyrir í tölulegum niðurstöðum vistferilsgreiningar eru m.a. áhrif á rennsli fossa, rof árbakka, uppsöfnun aurs í Háslóni, skerðing víðerna, áhrif á dýralíf auk annarra umhverfis-, samfélags- og efnahagsvísa en upplýsingar um verkefnið má finna á heimasíðu þess (www.sjalbbaerni.is).

3.6.1 LÝSING Á UMHVERFISÁHRIFUM

Hér að neðan er farið yfir þá flokka umhverfisáhrifa sem vistferilsgreiningin nær yfir og hver flokkur útskýrður í stuttu máli (European Commission, 2011; BRE Group, 2011; Hauschild og Wenzel, 1997).

3.6.1.1 GRÓÐURHÚSAÁHRIF

Gróðurhúsaáhrif valda breytingu á meðalhita jarðarinnar sem rekja má til losunar gróðurhúsalofttegunda (t.d. koltvísýrings (CO_2), metans (CH_4), brennisteinshexaflúoríðs (SF_6) auk annarra lofttegunda) af manna völdum. Það er álit alþjóðasamfélagsins að aukin losun þessara lofttegunda hafi merkjanleg áhrif á loftslag jarðarinnar. Búist er við að hækkun meðalhita jarðar muni m.a. hafa í för með sér miklar breytingar á loftslagi, valda eyðimerkurmyndun (e. *desertification*), hækkun á yfirborði sjávar og aukningu í útbreiðslu sjúkdóma. Gróðurhúsaáhrif eru reiknuð sem hnatthlúnunarmáttur (e. *Global Warming Potential, GWP*) fyrir 100 ár og gefin upp í grömmum CO_2 ígilda. Gróðurhúsaáhrif eru einnig metin sem kolefnisspor, en kolefnisspor er mælikvarði sem notaður er til að sýna áhrif athafna mannsins á loftslagsbreytingar.

3.6.1.2 SÚRT REGN

Súrt regn myndast er regn hvarfast við mengandi lofttegundir í andrúmsloftinu. Þær lofttegundir sem helst valda myndun súrs regns eru ammoníak (NH_3), köfnunarefnisoxíð (NO_x) og brennisteinstvíoxíð (SO_2). Þar sem súrt regn fellur til jarðar, oft 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, í vötnum og á mannvirkjum. Súrt regn er reiknað í grömmum SO_2 ígilda. Við útreikninga er ekki tekið tillit til hvar súra regnið kemur til með að falla né hve viðkvæmt mögulegt vistkerfi er gagnvart súru regni.

3.6.1.3 EYÐING ÓSONLAGSINS

Eyðing ósons í heiðhvolfinu eða „ósonlagsins“ stafar af völdum klór- og brómsambanda sem berast upp í heiðhvolfið. Þau efnasambönd sem helst valda eyðingunni eru klórflúorkolefni (CFCs), halónar og vetnisklórflúorkolefni (HCFCs). Eyðing ósonlagsins dregur úr getu þess til að draga úr útfjólubláum (UV) geislum í gufuhvolfi jarðar sem veldur aukinni geislun krabbameinsvaldandi UVB geisla á yfirborði jarðar. Ósoneyðingarmáttur (e. *Ozone Depletion Potential, ODP*) er reiknaður í grömmum R11 ígilda.

3.6.1.4 NÆRINGAREFNAAUÐGUN

Nítröt og fosföt eru nauðsynleg öllu lífi, hins vegar getur hár styrkur næringarefna í vatni valdið óhóflegum þörungavexti sem leiðir af sér lækkaðan styrk súrefnis í vatninu. Næringarefnaauðgun getur valdið miklum skaða í vatnavistkerfum með aukinni dánartíðni vatnalífvera og lífverur sem krefjast lágs styrks næringarefna geta horfið. Losun ammoníaks, nítrata, nituroxíða og fosfórs í andrúmsloft og vötn geta valdið næringarefnaauðgun. Næringarefnaauðgun er reiknaður í grömmum PO_4 ígilda.

3.6.1.5 VIRKNI SÓLARLJÓSS TIL MYNDUNAR ÓSONS VIÐ YFIRBORÐ JARÐAR

Í andrúmslofti sem inniheldur köfnunarefnisoxíð og rokgjörn, lífræn efnasambönd (VOCs) getur óson myndast fyrir tilstilli sólarljóss. Þrátt fyrir að óson sé mjög mikilvægt í efri lofthjúpum er aukinn styrkur ósons í andrúmsloftinu óæskilegur og getur m.a. valdið uppskerubresti sem og aukið tíðni asma og annarra lungnasjúkdóma hjá mönnum. Útreikningar fyrir virkni sólarljóss til myndunar ósons við yfirborð jarðar eru gefin upp í grömmum C₂H₄ ígilda.

3.6.1.6 EYÐING AUÐLINDA

Hér er átt við eyðingu auðlinda (e. *virgin materials*), þ.e. jarðefnaeldsneytis og ólífrænna auðlinda. Hér er um að ræða notkun á óendurnýjanlegum auðlindum (t.d. íblöndunarefni, fylliefni, málmgrýti, steinefna og jarðefnaeldsneytis), sem verða því ekki til taks fyrir komandi kynslóðir. Eingöngu er hér átt við eyðingu auðlindanna, en ekki þau umhverfisáhrif sem tengja má við vinnslu og notkun þeirra. Notkun jarðefnaeldsneytis er gefin upp í Megajúlum (MJ) en aðrar auðlindir í kg ígilda frumefnisins antímon (Sb), þ.e. hlutfallið milli þess heildarmagns sem unnið er af viðkomandi auðlind og alheimsforða hennar, samanborið við sama hlutfall fyrir frumefnið antímon (Oers o.fl., 2002).

3.6.1.7 EITURÁHRIF Á FÓLK

Þessi flokkur umhverfisáhrifa lýsir áhrifum eiturfna á manninn (e. *human toxicity potential*). Það er, að hve miklu leyti eiturfni kalla fram neikvæð áhrif á fólk sem komast í snertingu við viðkomandi efni. Eituráhrif eru reiknuð í grömmum DCB (díklóróbensen) ígilda.

3.6.1.8 VISTEITURHRIF

Visteiturhrif lýsa eituráhrifum frá t.d. eiturfnum, sigvatni eða rokgjörnum lofttegundum á lífverur. Visteiturhrif geta m.a. haft í för með sér breytta tegundasamsetningu vistkerfa og geta ógnað tilveru viðkvæmra tegunda innan vistkerfa. Visteiturhrif eru reiknuð í grömmum DCB (díklóróbensen) ígilda.

4 UPPLÝSINGASÖFNUN

Vistferilsgreiningin felur í sér söfnun upplýsinga (ílags- og frálagsþátta) sem eiga við um byggingarframkvæmdir Fljótsdalsstöðvar, undirbúningsverk, mannafla á framkvæmdatímanum, vél- og rafbúnað, rekstur Fljótsdalsstöðvar og losun frá uppistöðulónum. Við útreikninga á notkun hráefna, orku og annarra ílagsþátta er heildarnotkun deilt niður á aðgerðareiningu greiningarinnar (1 kWst). Líkt og fram kemur í kafla 3.3.1 er gert er ráð fyrir 100 ára endingartíma mannvirkja en endingartími vél- og rafbúnaðar er áætlaður 60 ár. Raforkuvinnsla Fljótsdalsstöðvar á endingartímanum miðað við 4.950 GWst árlega vinnsla er:

Raforkuvinnsla Fljótsdalsstöðvar	TWst
100 ár	495
60 ár	297

Upplýsingasöfnuninni er lýst hér að neðan en úrvinnsla gagna er lýst nánar í viðauka 1.

4.1 BYGGINGARTÍMI

4.1.1 UNDIRBÚNINGSVERK

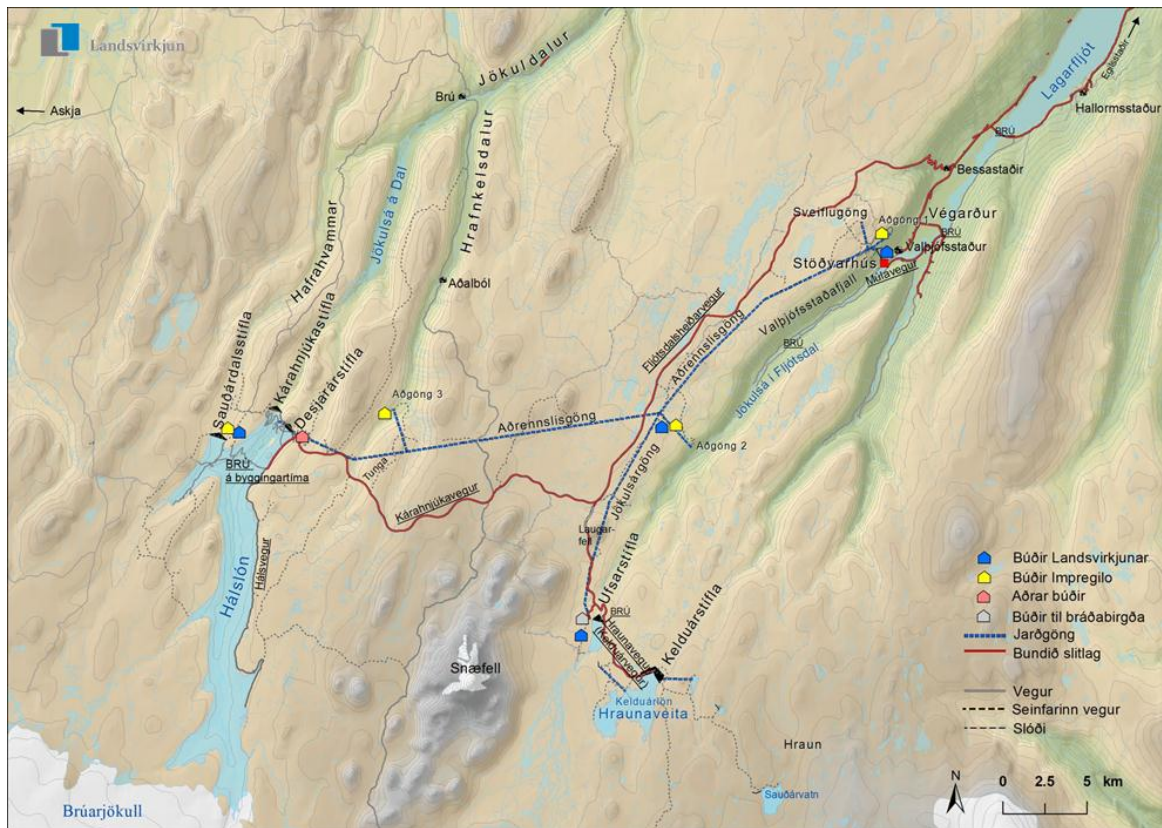
Undirbúningsverk vegna Fljótsdalsstöðvar fela í sér vega- og brúargerð og uppsetningu og rekstur vinnubúða sem féllu undir verksamninga KAR 04, 91 - 93. Upplýsingar um uppsetning raforkudreifikerfis fengust ekki og er því ekki tekin með í greininguna.

4.1.1.1 VEGAGERÐ

Umhverfisáhrif eru metin vegna lagningar varanlegra vega í tengslum við byggingu, rekstur og viðhald Fljótsdalsstöðvar. Þeir vegir sem um ræðir má sjá í töflu 4.1 og mynd 4.1. Ekki eru metin umhverfisáhrif vegna tímabundinna vinnuvega og slóða. Upplýsingum um magn byggingarefna og eldsneytisnotkun frá framkvæmdum við vegagerð var ekki haldið til haga á framkvæmdatímum. Því var nauðsynlegt að meta umhverfisáhrifin út frá magntölum í útboðsgögnum sem ekki eru eins nákvæm og ef raunveruleg notkun lægi fyrir.

Tafla 4.1: Varanlegir vegir byggðir í tengslum við byggingu, rekstur og viðhald Fljótsdalsstöðvar sem umhverfisáhrif eru metin fyrir.

Vegur	Lengd	Slitlag
Kárahnjúkavegur	23,5 km	Bundið slitlag
Fljótsdalsheiðarvegur	35 km	Bundið slitlag
Múlavegur um Langhús	2,3 km	Malarslitlag
Hálsvegur (Sandfell - Litla Sauðá)	18 km	Malarslitlag
Hólsufsarvegur	2,8 km	Malarslitlag
Hraunavegur (Kelduárvegur)	13 km	Malarslitlag



Mynd 4.1: Kort yfir framkvæmdasvæðið sem sýnir staðsetningu vinnubúða, vega og brúa.

Niðurstöður vistferilsgreininga sem gerðar hafa verið fyrir vegi með áætlaðan 100 ára endingartíma sýna að notkun hráefna og lagning vega veldur um helmingi umhverfisáhrifa á endingartímanum en rekstur og viðhald hinum helmingnum (Harpa Birgisdóttir, 2005). Framleiðsla biks sem notað er í malbik og klæðingar er stór þáttur í að skapa neikvæð umhverfisáhrif en umhverfisáhrif frá vegum má að mestu leyti rekja til eldsneytisnotkunar tengdri vinnslu biks og malarefna (Harpa Birgisdóttir, 2004). Þar sem vegir á Fljótsdalsheiði eru nú í rekstri Vegagerðarinnar eru umhverfisáhrif frá rekstri og viðhaldi veganna á endingartímanum ekki tekin með í greininguna. Umhverfisáhrif eru metin fyrir vinnslu malarefna í varanlega vegi og þar sem Fljótsdalsheiðarvegur og Kárahnjúkavegur eru báðir með bundið slitlag eru umhverfisáhrif vegna framleiðslu klæðingar fyrir þessa vegi einnig metin. Framkvæmdir við Fljótsdalsheiðarveg og Múlaveg um Langhús fólust í endurbótum og endurbyggingu vegkaflanna, aðrar vegframkvæmdir fólu í sér gerð nýrra vega.

4.1.1.2 BRÚARGERÐ

Tvær brýr voru byggðar, ein yfir Jökulsá á Dal og önnur yfir Jökulsá í Fljótsdal. Upplýsingar frá framkvæmdunum liggja ekki fyrir þannig að notast var við helstu magntölur úr útboðsgögnum. Upplýsingar úr útboðsgögnum voru m.a. notkun steypu og steypustyrktarstáls, stálvirki og timbur.

4.1.1.3 VINNUBÚÐIR

Upplýsingar um vinnubúðir voru fengnar frá Landsvirkjun. Fyrir vinnubúðir sem staðsettar voru við Kárahnjúka-, Desjarár- og Sauðárdalsstíflur fengust upplýsingar um magn steypu, steypustyrktarjárna og timburs auk úrgangs sem til féll frá vinnubúðunum (óflokkaður úrgangur, seyra og timburúrgangur), sjá staðsetningu vinnubúða á mynd 4.1. Fyrir vinnubúðir staðsettar

við stöðvarhús og aðgöng 1 – 3 fengust ekki magntölur að undanskyldu úrgangsmagni (seyra og timburúrgangur). Aðrar magntölur fyrir vinnubúðir við stöðvarhús og aðgöng voru því metnar út frá magntölum vinnubúða við stíflur. Matið byggir á stærð vinnubúðanna, en heildarflatarmál vinnubúða við stíflur var um helmingi stærra að flatarmáli en búðirnar við stöðvarhúsið (Landsvirkjun, 2002). Upplýsingar um vinnubúðir við Hraunaveitu eru inni í samtölum fyrir heildarframkvæmdir Hraunaveitu.

4.1.2 BYGGINGARFRAMKVÆMDIR

Upplýsingum um hráefna- og orkunotkun auk úrgangs á framkvæmdatímanum var safnað úr lokaskýrslum verksamninga virkjunarinnar. Þær upplýsingar sem ekki fengust úr lokaskýrslum var safnað saman af starfsmönnum Landsvirkjunar eða fengnar beint frá verktökum. Upplýsingasöfnun og gagnavinnslu fyrir verksamninga byggingarframkvæmda er lýst nánar í viðauka 1.

4.1.2.1 STÍFLUR, STÖÐVARHÚS, GÖNG OG SKURÐIR

Magntölur frá byggingarframkvæmdum við Kárahjúka-, Sauðárdals- og Desjarárstíflur auk aðrennslisganga, stöðvarhúss og frárennsliskurða (verksamningar KAR 11 - 16) voru fengnar úr lokaskýrslum framkvæmdaefirlits sem og upplýsingar um eldsneytisnotkun verktaka og eftirlits. Eldsneytisnotkun verktaka við verksamninga KAR 12 og 13 fengust frá Suðurverki hf.

4.1.2.2 ÞJÓNUSTUBYGGING

Eingöngu fengust upplýsingar um magn steypu og steypustyrktarjárns fyrir byggingu þjónustubyggingar og verkstæðis (verksamning KAR 17). Upplýsingar um önnur byggingarefni, t.d. gler, timbur, gólfefni o.s.frv. auk upplýsinga um eldsneytisnotkun og úrgang fengust ekki. Vistferilsgreiningin tekur því eingöngu yfir stál og steypu sem fóru í bygginguna.

4.1.2.3 HRAUNAVEITA

Upplýsingar um magn byggingarefna, úrgangs og eldsneytis fyrir Hraunaveitu (verksamningar KAR 21 – 25) fengust úr lokaskýrslum framkvæmdaefirlits.

4.1.2.4 UPPSETNING VÉL- OG RAFBÚNAÐAR

Upplýsingar um magn byggingarefna, eldsneytis og úrgangs við uppsetning vél- og rafbúnaðar í Fljótaldsstöð (verksamningar KAR 30 – 37) fengust úr lokaskýrslum framkvæmdaefirlits. Upplýsingar um magn stáls í stálfóðrun þrýstiganga fengust frá Landsvirkjun en magn timburs var áætlað (sjá viðauka 1).

4.1.3 MANNAFLI VIÐ FRAMKVÆMDIR

Upplýsingum var safnað saman um mannafla verktaka, framkvæmdaefirlits og eftirlitsstofnanna ásamt upplýsingum um ferðir á vegum starfsfólks Landsvirkjunar. Upplýsingar um fjölda starfsmanna verktaka, framkvæmdaefirlits og eftirlitsstofnana voru fengnar frá Landsvirkjun ásamt upplýsingum um tíðni ferða starfsmanna til og frá vinnusvæði. Flugfélag Íslands útvegaði upplýsingar um ferðir starfsmanna Landsvirkjunar milli Reykjavíkur og Egilsstaða á framkvæmdatímanum auk annarra nauðsynlegra gagna er varða innanlandsflug. Hvað varðar mannafla þá eru það eldsneytisnotkun vegna ferða starfsmanna til og frá vinnustað sem skipta mestu máli við mat á umhverfisáhrifum.

4.1.4 VÉL- OG RAFBÚNAÐUR

Upplýsingar um framleiðslu vél- og rafbúnaðar fengust frá framleiðendum búnaðarins. Gert er ráð fyrir að spennar, túrbínur, rafalar og annar búnaður hafi 60 ára endingartíma og því er búnaðurinn endurnýjaður einu sinni á endingartíma virkjunarinnar. Umhverfisáhrif vegna framleiðslu búnaðarins er því deilt á 60 ár. Ekki er gert ráð fyrir að skipta þurfi út stöðvarhússkrönum á endingartímanum og eru umhverfisáhrifum frá framleiðslu og flutningum krananna því deilt á 100 ára endingartíma.

Við endurnýjun vél- og rafbúnaðar Landsvirkjunar er gamli búnaðurinn ýmist afhentur til förgunar hjá viðurkenndum förgunaraðilum eða seldur sérstaklega sem brotamálmur. Hér er gert ráð fyrir að við endurnýjun búnaðar að 60 árum liðnum sé 80% af stáli búnaðarins endurunnið.

4.2 REKSTUR

Upplýsingar um rekstur Fljótsdalsstöðvar fengust frá starfsmönnum stöðvarinnar auk þess sem upplýsingar um ferðir vegna starfssemi stöðvarinnar fengust frá reikningshaldi Landsvirkjunar. Stuðst var við grænt bókhald Landsvirkjunar fyrir árið 2009 hvað varðar magn úrgangs frá stöðinni og upplýsingar um förgun og endurvinnslu fengnar frá viðeigandi förgunaraðilum. Rekstrartölur vistferilsgreiningarinnar byggja á rekstrartölum ársins 2009 og eru framreiknaðar fyrir 100 ára endingartíma. Upplýsingum hefur verið safnað um magn úrgangs og förgun hans, rafmagnsnotkun, losun brennisteinshexaflúors (SF₆) frá rafbúnaði og notkun eldsneytis.

4.2.1 ÍTRUN

Við útreikninga á losun lofttegunda er valda neikvæðum umhverfisáhrifum vegna raforkunotkunar við rekstur stöðvarinnar var í upphafi notast við norskar upplýsingar úr GaBi forritinu þar sem ekki lágu fyrir niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir íslenska vatnsaflsvirkjun. Því voru niðurstöðurnar ítraðar með niðurstöðum íslensku vistferilsgreiningarinnar til að leiðrétta niðurstöður vegna raforkunotkunar í Fljótsdalsstöð og fá réttari mynd af heildar umhverfisáhrifum frá raforkuvinnslunni.

4.3 LOSUN FRÁ LÓNUM

Losun gróðurhúsalofttegunda til andrúmslofts má meðal annars rekja til losunar gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum vatnsaflsvirkjana. Við mat á umhverfisáhrifum er því tekið tillit til þessarar losunar frá lónum Fljótsdalsstöðvar (Hálslón, Kelduárlón, Ufsárlón og Grjótárlón). Magn gróðurhúsalofttegunda sem losna út í andrúmsloftið er háð ýmsum þáttum, m.a. aldri lónsins, landnotkun áður en land fór undir vatn og loftslagi. Losun gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum til lengri tíma hefur ekki verið rannsökuð til hlítar en alþjóðlegar rannsóknir standa nú yfir þar sem markmiðið er að þróa aðferðarfræði til að meta þessa losun (IPCC, 2006).

Kanadískar, finnskar, íslenskar, norskar, sænskar og bandarískar rannsóknir sýna að lón ýmist binda eða losa CO₂ í andrúmsloftið og að helst má vænta losunar metans (CH₄) í lónum þar sem vatnsborð er mjög breytilegt (Kumar o.fl., 2011). Rannsóknirnar hafa einnig sýnt að lón á mismunandi svæðum með lík vistkerfi framleiða svipað magn gróðurhúsalofttegunda. Enn fremur hafa rannsóknir í Kanada bent til þess að losun sé töluverð fyrstu árin eftir myndun lóna

en eftir það dregur úr losun og er áætlað að losun verði stöðug um það bil 10 árum eftir að land fer undir vatn (Tremblay o.fl., 2010). Íslenskar rannsóknir á Gilsárlóni benda hins vegar til þess að þar sé enn sé töluverð losun, 15 árum eftir að landið fór undir vatn (Landsvirkjun, 2008). Því er ljóst að ekki er hægt að yfirfæra niðurstöður rannsókna í t.d. Kanada beint yfir á lón á Íslandi.

Við mat á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Fljótsdalsstöðvar var notast við niðurstöður úr íslenskum rannsóknum (sjá viðauka 1). Landbúnaðarháskóli Íslands (LBHÍ) hefur unnið að mælingum á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Landsvirkjunar frá árinu 2003 (Landsvirkjun, 2008).

4.4 LANDBÓTASJÓÐIR

Bygging og rekstur Fljótsdalsstöðvar hefur í för sem sér skerðingu og rýrnun gróðurlendis jafnframt sem töluvert gróðurlendi tapaðist varanlega undir uppistöðulón. Til að vinna markvisst að því að græða upp land til móts við það gróðurlendi sem tapast vegna virkjunarinnar voru stofnaðir landbótasjóðir í sveitarfélögunum Norður-Hérað (nú hluti Fljótsdalshéraðs) og Fljótsdalshreppi. Sjóðirnir eru kostaðir af Landsvirkjun. Í þessu verkefni er skoðuð binding gróðurhúsalofttegunda í gróðri og jarðvegi á uppgræðsluvæðunum. Meginmarkmið sjóðanna er annars vegar að græða upp land að minnsta kosti til jafns við það gróðurlendi sem tapaðist undir Háslón, 32 km², og hins vegar uppgræðsla og landbætur innan Fljótsdalshrepps með áherslu á gróðurstyrkingu og rofvarnir. Miðað er við að uppgræðslustarfinu ljúki á 15 árum. Landbótasjóður Norður-Héraðs hóf uppgræðslustarf árið 2003 (Stefán Skaftason o.fl., 2003) en Landbótasjóður Fljótsdalshrepps veitti styrki til uppgræðslu í fyrsta skipti árið 2007.

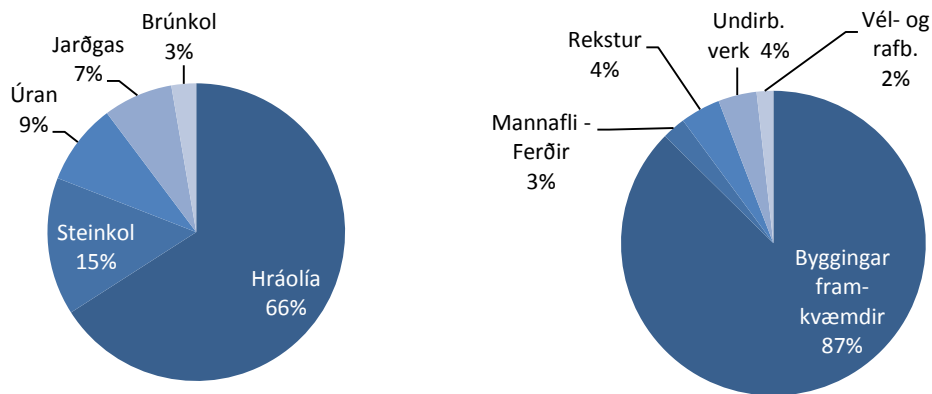
5 MAT Á UMHVERFISÁHRIFUM MEÐ VISTFERILSGREININGU

Með vistferilsgreiningunni er mat lagt á auðlindanotkun og umhverfisáhrif sem verða við vinnslu á 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð. Yfirlit yfir helstu umhverfisáhrif og auðlindanotkun má sjá í töflu 5.1, ítarlegri upplýsingar um umhverfisáhrif og auðlindanotkun við vinnsluna má sjá í viðauka 2. Ef litið er til auðlindanotkunar (sbr. massa hráefna) er langstærsti hluti óendurnýjanlegra efnislegra auðlinda stein- og jarðefni sem notuð eru við stíflugerð og vegagerð í undirbúningsverkum (107 g/kWst). Kalksteinn sem notaður er við framleiðslu sements er næst stærsti hluti auðlindanotkunar (0,15 g/kWst) auk járngrýtis við stálframleiðslu (0,064 g/kWst). Af notkun járngrýtis til stálframleiðslu má rekja 25% til framleiðslu stálfóðrunar í þrýstigöng virkjunarinnar og 28% til framleiðslu vél- og rafbúnaðar.

Tafla 5.1: Helstu umhverfisáhrif við vinnslu á 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð. Í viðauka 2 má sjá ítarlegra yfirlit um umhverfisáhrif og auðlindanotkun.

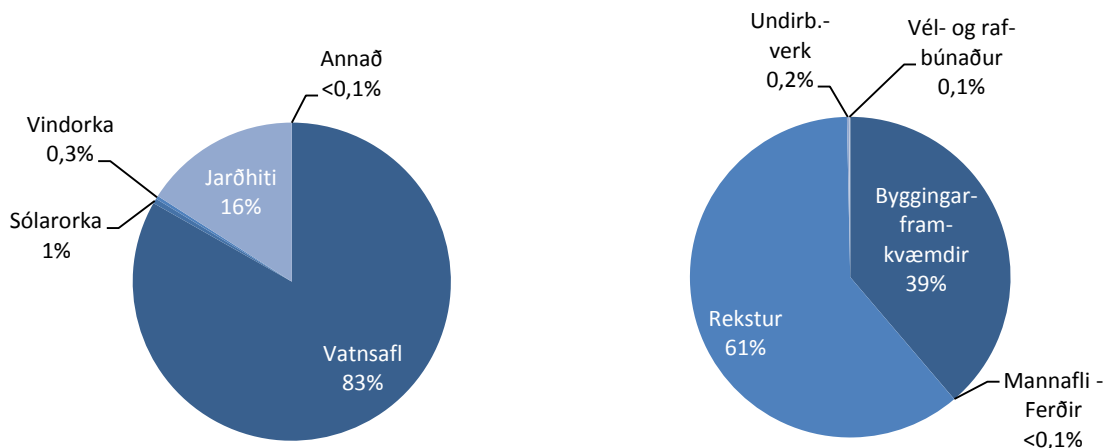
ÍLAG				
Auðlindanotkun	Eining/ kWst	Framkvæmdir	Rekstur og viðhald	Samtals
<i>Óendurnýjanlegar efnislegar auðlindir</i>				
Stein- og jarðefni	g	107	7,7E-02	107
Kalksteinn	g	0,15	1,2E-03	0,15
Járngrýti	g	5,5E-02	9,2E-03	6,4E-02
<i>Óendurnýjanlegir orkugjafar</i>				
	MJ	1,5E-02	5,6E-04	1,5E-02
<i>Endurnýjanlegir orkugjafar</i>				
	MJ	4,1E-03	6,3E-03	1,0E-02
FRÁLAG				
Umhverfisáhrif	Eining/ kWst	Framkvæmdir	Rekstur og viðhald	Samtals
Gróðurhúsaáhrif	g CO ₂ - ígildi	1,0	1,6	2,6
Súrt regn	g SO ₂ - ígildi	5,6E-03	1,8E-04	5,7E-03
Næringarefnaauðgun	g PO ₄ ³⁻ - ígildi	6,7E-04	2,6E-05	6,9E-04
Virkni sólarljóss til myndunar ósons	g C ₂ H ₄ - ígildi	4,3E-04	2,1E-04	6,4E-04
Eyðing ósonlagsins	g R11 - ígildi	4,2E-08	7,7E-10	4,3E-08

Heildar orkunotkun við vinnslu á 1 kWst í Fljótsdalsstöð er 0,025 MJ/kWst (0,0069 kWst/kWst). Þar af er 60% notkun óendurnýjanlegra orkugjafa og 40% notkun endurnýjanlegra orkugjafa. Af óendurnýjanlegum orkugjöfum er hráolía (þ.e. notkun dísilolíu og bensíns) sá orkugjafi sem mest er notað af, eða 66% af allri notkun óendurnýjanlegra orkugjafa við vinnslu á 1 kWst raforku (mynd 5.1). Aðrir óendurnýjanlegir orkugjafar eru steinkol (15%), úran (9%), jarðgas (7%) og brúnkol (3%) sem notuð eru erlendis við framleiðslu aðfanga. Mestan hluta notkunar óendurnýjanlegra orkugjafa má rekja til byggingarframkvæmda, eða rúmlega 87%. Aðra notkun má rekja til reksturs og viðhalds stöðvarinnar, eða rúm 4% og önnur 4% til undirbúningsverka, tæplega 3% til flutnings mannafla og tæp 2% við framleiðslu vél- og rafbúnaðar.



Mynd 5.1: Hlutfallsleg notkun óendurnýjanlegra orkugjafa við vinnslu 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð skipt eftir orkugjafa annars vegar og verkþáttum hins vegar.

Notkun endurnýjanlegra orkugjafa er aðallega vegna eigin notkunar (vatnsafl) við rekstur og viðhald Fljótsdalsstöðvar á 100 árum (mynd 5.2). Notkun vatnsafls og jarðhita er einnig vegna rafmagnsnotkunar við byggingarframkvæmdir. Risaborar sem notaðir voru við gangagerð voru m.a. knúnir með rafmagni. Aðrir endurnýjanlegir orkugjafar eru m.a. sólarorka og vindorka sem notaðir eru erlendis við framleiðslu aðfanga. Ef skoðuð er heildarnotkun endurnýjanlegra orkugjafa kemur í ljós að um 61% orkunotkunarinnar má rekja til reksturs og viðhalds og um 39% til byggingarframkvæmda. Í eftirfarandi köflum (5.1– 5.7) er farið nánar yfir niðurstöður vistferilsgreiningarinnar fyrir vinnslu rafmagns í Fljótsdalsstöð.

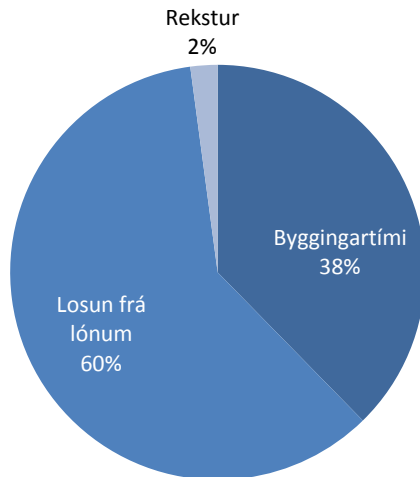


Mynd 5.2: Hlutfallsleg notkun endurnýjanlegra orkugjafa við vinnslu 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð skipt eftir orkugjafa annars vegar og verkþáttum hins vegar.

5.1 GRÓÐURHÚSAÁHRIF

Heildar losun gróðurhúsalofttegunda (GHL) við vinnslu rafmagns í Fljótsdalsstöð er 2,6 g CO₂-ígildi á hverja framleidda kWst (mynd 5.3). Rekja má um 60% heildarlosunarinnar til losunar frá uppistöðulónum virkjunarinnar, 38% til byggingartíma og 2% til reksturs og viðhalds stöðvarinnar á 100 ára endingartíma. Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda er fyrst og fremst vegna losunar koltvísýrings (CO₂) og metans (CH₄). Losun metans má að stærstum hluta rekja til losunar frá lónum en losun koltvísýrings til notkunar jarðefnaeldsneytis og framleiðslu sements í steypu.

Heildarlosun GHL



	g CO ₂ -ígildi/kWst
Byggingartími	1,0
Losun frá lónum	1,6
Rekstur	0,06
Heildarlosun GHL	2,6

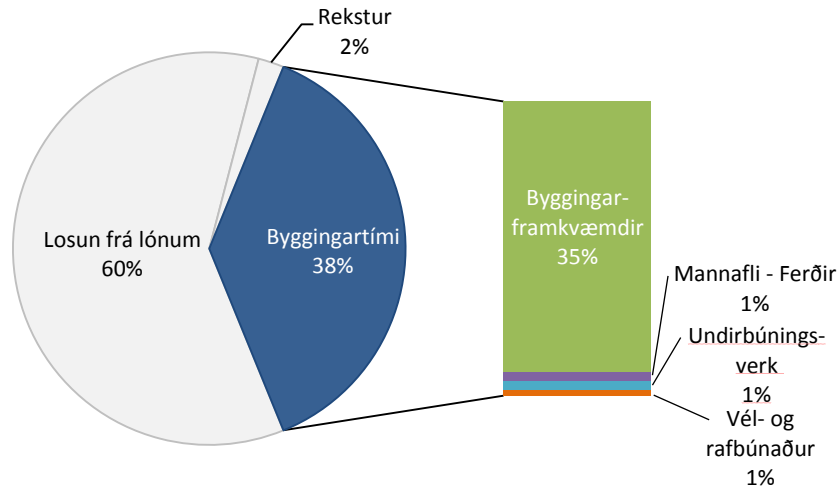
Mynd 5.3: Hlutfallsleg heildarlosun gróðurhúsalofttegunda (g CO₂-ígildi/kWst) við vinnslu 1 kWst í Fljótsdalsstöð.

5.1.1 LOSUN FRÁ LÓNUM

Stærsti hluti losunar gróðurhúsalofttegunda við vinnslu á 1 kWst í Fljótsdalsstöð er vegna losunar frá miðlunarlónum. Um helming losunar gróðurhúsalofttegunda má rekja til losunar koltvísýrings en hinn helminginn til losunar metans. Að setja land undir vatn ásamt þeim gróðri sem þar er veldur breytingu í jafnvægi á upptöku og losun koltvísýrings á landsvæðinu, þ.e. breytingar verða á ferlum nýmyndunar og niðurbroti lífrænna efna. Breytingar vegna myndunar lóna má einkum rekja til þriggja þátta, í fyrsta lagi færast ljóstillífunin að mestu yfir á þörunga og í flestum tilvikum dregur úr nýmyndun lífræns efnis (einkum ef svifaur er mikill) og þar með dregur úr bindingu koltvísýrings. Í öðru lagi verður í og við botn nánast loftfirrt umhverfi sem veldur því að við niðurbrot lífrænna efna myndast metan (CH₄) og hláturgas (N₂O). Í þriðja lagi þá er metan illleysanlegt í vatni og losnar hluti þess því með loftbólum í andrúmsloft og sleppur þannig við oxun (Landsvirkjun, 2008). Losun frá lónum var reiknuð út frá mælingum og gögnum LBHÍ um magn kolefnis í lónsstæðum líkt og lýst er í viðauka 1.

5.1.2 BYGGINGARTÍMI VIRKJUNAR

Af heildarlosun gróðurhúsalofttegunda má rekja 38% til byggingartíma virkjunarinnar. Þar af má rekja 35% losunarinnar til byggingarframkvæmdanna, 1% til undirbúningsverka (vega- og brúargerð auk uppsetningu vinnubúða) og 1% til flutninga starfsmanna til og frá virkjanasvæðinu (mynd 5.4 og tafla 5.2). Framleiðsla og flutningar vél- og rafbúnaðar veldur einnig um 1% af heildarlosun gróðurhúsalofttegunda.



Mynd 5.4: Hlutfallsleg losun gróðurhúsalofttegunda frá byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

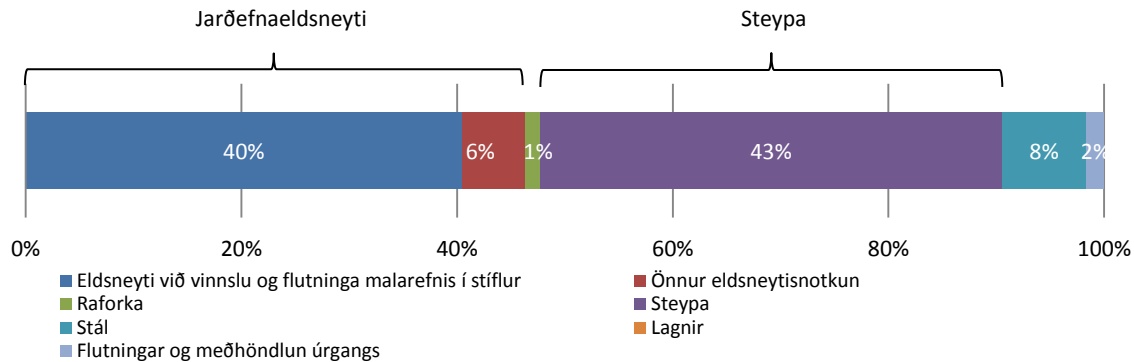
Tafla 5.2: Losun gróðurhúsalofttegunda (g CO₂-ígildi/kWst) frá byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

	g CO ₂ -ígildi/kWst
Vél- og rafbúnaður	0,018
Undirbúningsverk	0,033
Mannafli – Ferðir	0,027
Byggingarframkvæmdir	0,92
Losun GHL á byggingartíma	1,0

Á byggingartíma virkjunarinnar eru það byggingarframkvæmdirnar sem valda mestri losun gróðurhúsalofttegunda. Á mynd 5.5 og í töflu 5.3 má sjá hlutfall losunar frá mismunandi þáttum byggingarframkvæmda Fljótsdalsstöðvar, þ.e. eingöngu er litið til losunar frá byggingarframkvæmdunum. Lang stærsti hluti losunar gróðurhúsalofttegunda tengist eldsneytisnotkun (46%) sem m.a. má rekja til olíunotkunar verktaka, flutningum aðfanga á byggingarsvæði sem og flutninga og vinnslu malarefna í stíflustæði. Vinnsla og flutningar malarefnis í stíflur valda 40% losunar en önnur notkun eldsneytis veldur 6% losunar. Enn fremur veldur framleiðsla steypu stórum hluta losunar gróðurhúsalofttegunda eða tæplega 43%. Er hér átt við steypu í steypa kápu Kárahnjúkastíflu, öll steypa mannvirki, alla sprautusteypu sem og steypuefju. Vistferilsgreiningar fyrir íslenska steypu sýna að meira en tveir þriðju hlutar af losun gróðurhúsalofttegunda má rekja til framleiðslu og flutninga sements í steypuna, hvort sem notað er íslenskt eða erlent sement (EFLA, 2009). Við framleiðslu sements myndast CO₂ á tvennan hátt. Annars vegar í efnahvarfinu þegar kalksteinn er hitaður og kalsíum oxíð (CaO) myndast ásamt CO₂ en hins vegar við orkunotkun framleiðsluferilsins þar sem notuð eru kol og olía í ferlinu. Framleiðsla stáls í m.a. steypustyrktarstál og bergbolta eru einnig stór þáttur losunar gróðurhúsalofttegunda frá byggingarframkvæmdum eða 8% og flutningar og meðhöndlun úrgangs 2%.

Eftirtektarvert er að raforkunotkun við byggingarframkvæmdir veldur rétt rúmlega 1% losunar gróðurhúsalofttegunda frá framkvæmdunum, en m.a. voru gangaborar sem notaðir voru til að bora um 50 km af göngum knúnir endurnýjanlegri orku, þ.e. orku af landsnetinu (jarðvarmi og vatnsafl). Metið var hve mikið var dregið úr losun gróðurhúsalofttegunda við það að knýja bora með raforku í stað hefðbundinnar gangagerðar, þ.e. að bora og sprengja. Heildarlengd ganga er

um 72 km, þar af voru um 50 km boraðir en um 22 km gerðir með hefðbundnum hætti. Ef öll göng hefðu verið gerð með hefðbundnum hætti hefði losun gróðurhúsalofttegunda frá gangagerðinni aukist um 40 - 70%, eða um 500 - 820 tonn CO₂-ígilda. Þetta samsvarar því að komið hafið verið í veg fyrir brennslu á rúmlega 6 milljónum lítra af olíu. Þetta sýnir hvað ein breyting getur haft mikil áhrif þrátt fyrir að breyta ekki stóru myndinni.



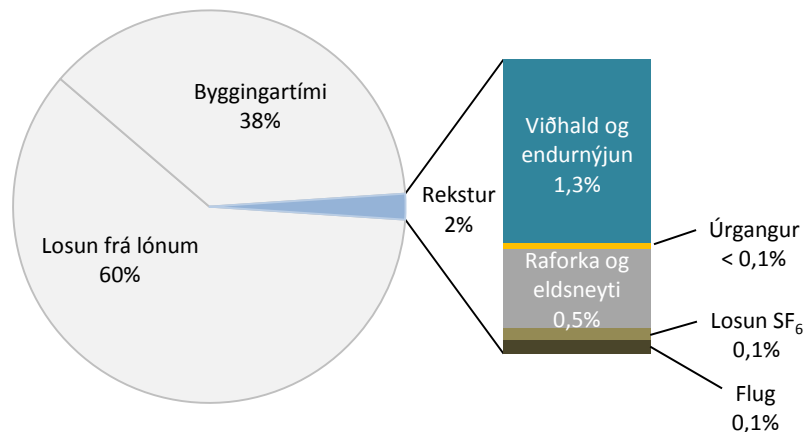
Mynd 5.5: Skipting losunar gróðurhúsalofttegunda frá byggingarframkvæmdum.

Tafla 5.3: Losun gróðurhúsalofttegunda (g CO₂-ígildi/kWst) frá byggingarframkvæmdum.

Byggingarframkvæmdir	g CO ₂ -ígildi/kWst
Notkun jarðefnaeldsneytis	
Eldsneyti við vinnslu og flutninga malarefnis í stíflur	0,37
Önnur eldsneytisnotkun	5,4E-02
Raforkunotkun	
Raforka	1,3E-02
Framleiðsla og flutningar byggingarefna	
Lagnir	9,3E-05
Stál	7,2E-02
Steypa	0,39
Úrgangur	
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	1,5E-02
Samtals:	0,92

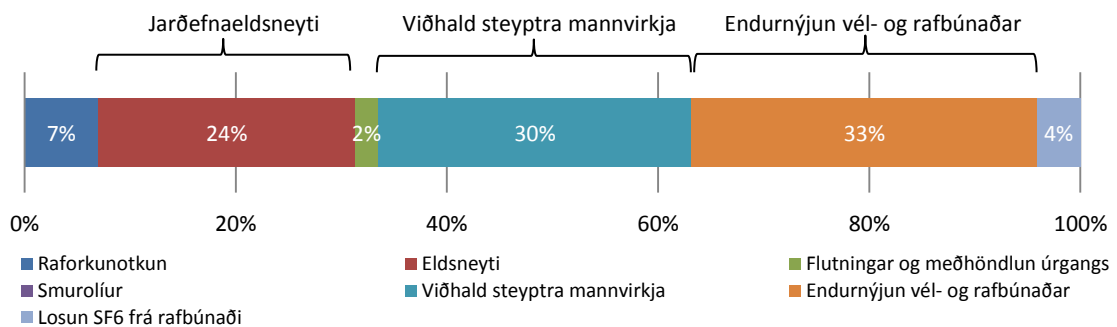
5.1.3 REKSTUR

Af heildarlosun gróðurhúsalofttegunda má rekja 2% til reksturs Fljótsdalsstöðvar. Þar af má rekja 1,3% losunarinnar til viðhalds steyptra mannvirkja og endurnýjunar vél- og rafbúnaðar (mynd 5.6). Við viðhald steyptra mannvirkja er það fyrst og fremst framleiðsla og flutningar sements sem veldur losuninni en losun við endurnýjun búnaðar í stöðvarhús má rekja til losunar við framleiðslu stáls og annarra málma. Orku og eldsneytisnotkun í Fljótsdalsstöð veldur 0,5% heildarlosunar. Aðra losun má rekja til flugferða vegna reksturs stöðvarinnar, losunar SF₆ frá rafbúnaði og flutninga og förgunar úrgangs.



Mynd 5.6: Hlutfallsleg losun gróðurhúsalofttegunda frá rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Á mynd 5.7 og í töflu 5.4 má sjá nánar orsakir losunar gróðurhúsalofttegunda ef litið er eingöngu til reksturs Fljótsdalsstöðvar. Endurnýjun vél- og rafbúnaðar veldur 33% losunar gróðurhúsalofttegunda og viðhald steyptra mannvirkja veldur 30%. Notkun jarðefnaeldsneytis við rekstur stöðvarinnar og samgöngur valda 24% losunar á rekstrartímanum. Raforkunotkun í Fljótsdalsstöð á rekstrartíma veldur 7% losunar, losun SF₆ frá rafbúnaði 4% og meðhöndlun og förgun úrgangs 2%.



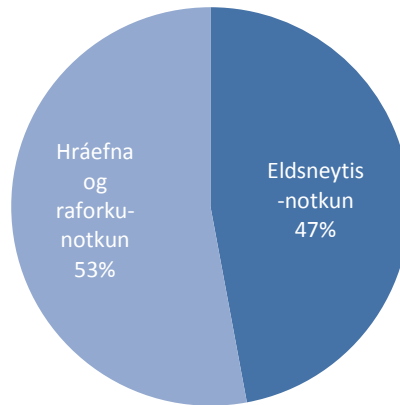
Mynd 5.7: Hlutfall losunar gróðurhúsalofttegunda frá mismunandi þáttum í rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Tafla 5.4: Losun gróðurhúsalofttegunda (g CO₂-ígildi/kWst) frá rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Rekstur	g CO ₂ -ígildi/kWst
Orka og eldsneyti	
Raforkunotkun	3,9E-03
Eldsneyti (samgöngur, vélar og tæki)	1,4E-02
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	1,2E-03
Smurolíur	4,6E-05
Viðhald og endurnýjun	
Viðhald steyptra mannvirkja	1,7E-02
Endurnýjun vél- og rafbúnaðar	1,8E-02
Losun frá rafbúnaði	
Losun SF ₆ frá rafbúnaði	2,3E-03
Samtals:	5,6E-02

5.1.4 ELDSNEYTISNOTKUN

Ef ekki er tekið tillit til losunar gróðurhúsalofttegunda frá lónum, heldur eingöngu litið til byggingartíma og reksturs Fljótsdalsstöðvar, má sjá að rekja má 47% losunar gróðurhúsalofttegunda til beinnar notkunar jarðefnaeldsneytis. Hér er þá átt við beina notkun verktaka, eftirlitsaðila og Landsvirkjunar auk flutninga aðfanga á framkvæmdar- og rekstartíma (mynd 5.8). Losun gróðurhúsalofttegunda vegna raforkunotkunar auk öflunar og framleiðslu aðfanga valda 53% losunar.

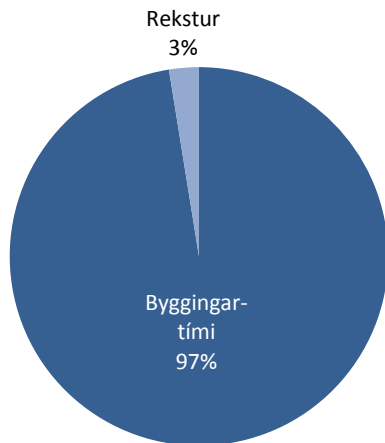


Mynd 5.8: Hlutfall losunar gróðurhúsalofttegunda sem rekja má til beinnar notkunar jarðefnaeldsneytis annars vegar og raforku, vinnslu og öflunar hráefna hins vegar. Undanskilin er losun frá lónum.

5.2 SÚRT REGN

Heildarlosun lofttegunda sem valda súru regni (AP) við vinnslu á 1 kWst af raforku er $5,7 \cdot 10^{-3}$ g SO₂-ígildi (mynd 5.9). Losunina má fyrst og fremst rekja til losunar brennisteinstvíoxíðs (SO₂), nitur oxíða (NO_x) og brennisteinsvetnis (H₂S) á byggingartíma. Aðal uppsprettur losunar þessara lofttegunda eru brennsla jarðefnaeldsneytis, framleiðsla og flutningur á steypu og raforkunotkun. Alls má rekja 97% losunar til byggingartíma og 3% til rekstartíma. Ekki er um að ræða losun lofttegunda er valda súru regni frá miðlunarlónum virkjunarinnar.

Heildarlosun lofttegunda er valda súru regni

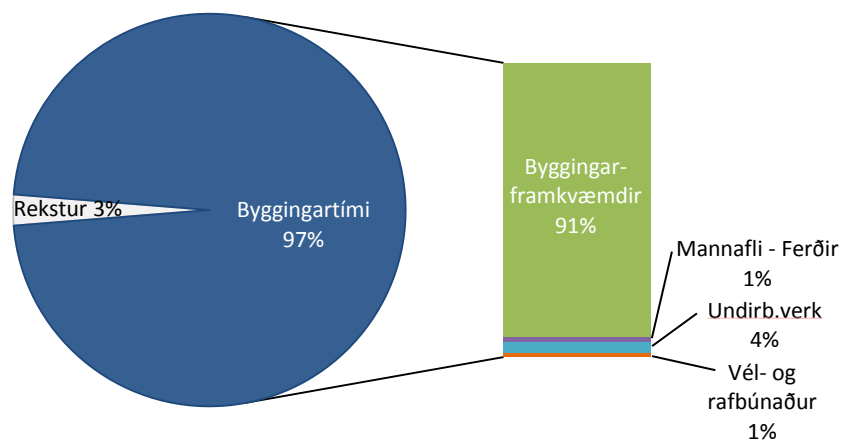


	g SO ₂ -ígildi/kWst
Byggingartími	5,6E-03
Rekstur	1,4E-04
Heildarlosun: súrt regn	5,7E-03

Mynd 5.9: Losun lofttegunda sem valda súru regni (g SO₂-ígildi/kWst) við vinnslu á 1 kWst í Fljótsdalsstöð.

5.2.1 BYGGINGARTÍMI VIRKJUNAR

Stærsti hluti lofttegunda er valda súru regni losna á byggingartíma virkjunarinnar. Á mynd 5.10 og töflu 5.5 má sjá til hvaða þátta á byggingartímanum má helst rekja losun lofttegunda sem valda súru regni. Af heildarlosun valda byggingarframkvæmdirnar sjálfar 91% af losun þessara lofttegunda og má þá helst nefna SO₂, NO_x og H₂S frá notkun jarðefnaeldsneytis, steypu framleiðslu og raforkunotkun líkt og áður er nefnt.

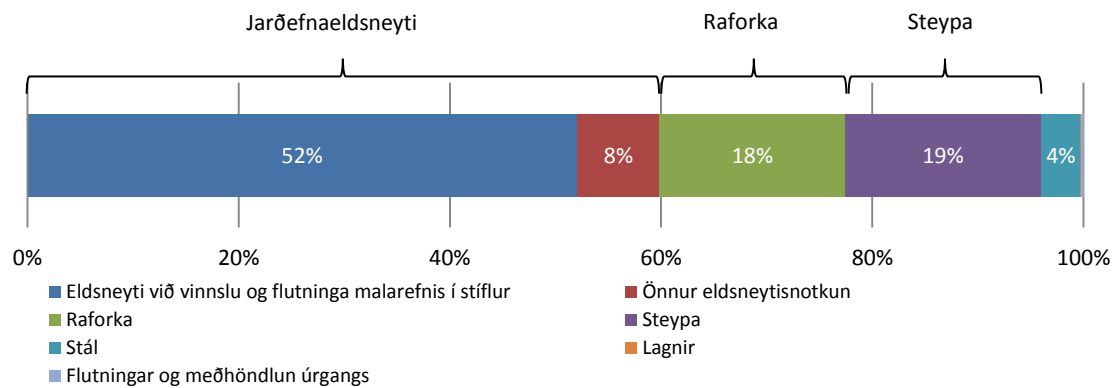


Mynd 5.10: Hlutfallsleg losun lofttegunda sem valda súru regni á byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

Tafla 5.5: Losun lofttegunda er valda súru regni (g SO₂-ígildi/kWst) frá byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

	g SO ₂ -ígildi/kWst
Vél- og rafbúnaður	6,6E-05
Undirbúningsverk	2,2E-04
Mannafli - Ferðir	8,1E-05
Byggingarframkvæmdir	5,2E-03
Losun á byggingartíma	5,6E-03

Ef litið er eingöngu á losun frá byggingarframkvæmdunum (mynd 5.11 og tafla 5.6) má sjá að stærsti hluti losunar er vegna notkunar jarðefnaeldsneytis við vinnslu og flutninga malarefna í stíflur (52%) auk framleiðslu og flutninga steypu (19%) og raforkunotkunar við byggingarframkvæmdir (18%). Fyrir steypuna má rekja stærsta hluta losunar lofttegunda er valda súru regni til framleiðslu sements. Önnur notkun jarðefnaeldsneytis og aðflutningar aðfanga valda einnig töluverðri losun (8%) sem og framleiðsla stáls (4%).



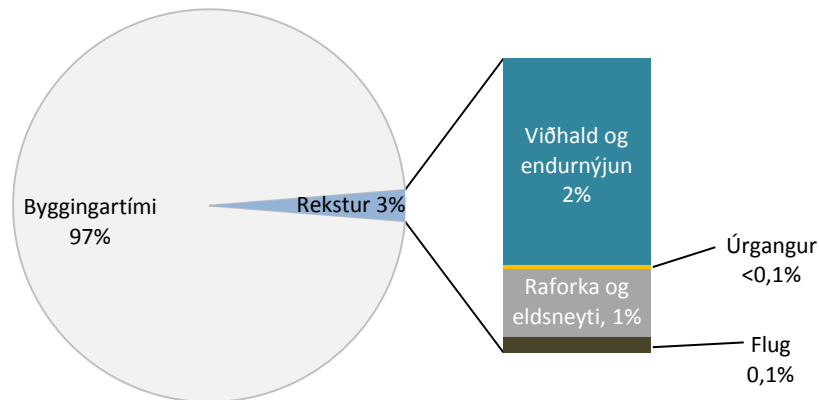
Mynd 5.11: Hlutfall losunar lofttegunda frá mismunandi verkþáttum er valda súru regni við byggingarframkvæmdir.

Tafla 5.6: Losun lofttegunda er valda súru regni (g SO₂-ígildi/kWst) frá byggingarframkvæmdum.

Byggingarframkvæmdir	g SO ₂ -ígildi/kWst
Notkun jarðefnaeldsneytis	
Eldsneyti við vinnslu og flutninga malarefnis í stíflur	2,7E-03
Önnur eldsneytisnotkun	4,0E-04
Raforkunotkun	
Raforka	9,0E-04
Framleiðsla og flutningar byggingarefna	
Steypa	9,6E-04
Stál	1,9E-04
Lagnir	2,2E-07
Tímbur	1,4E-07
Úrgangur	
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	1,3E-05
Samtals:	5,2E-03

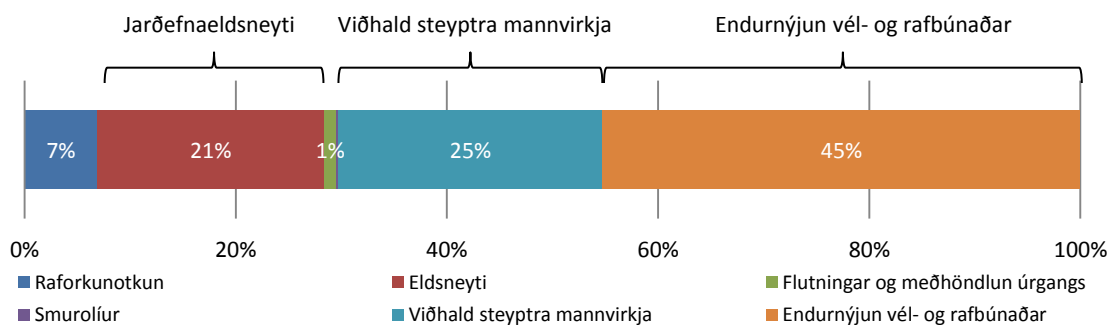
5.2.2 REKSTUR

Af heildarlosun lofttegunda er valda súru regni eru 3% rakin til reksturs Fljótsdalsstöðvar. Við rekstur stöðvarinnar má rekja mestan hluta losunar lofttegunda er valda súru regni til losunar SO₂ og NO_x. Þar er aðallega um að ræða áætlaða losun vegna viðhalds steyptra mannvirkja og endurnýjun vél- og rafbúnaðar, samanlagt um 2% af heildarlosun. Orku- og eldsneytisnotkun veldur 1% heildarlosunar og flugferðir starfsmanna og flutningar og meðhöndlun úrgangs á rekstrartímanum undir 1% (mynd 5.12).



Mynd 5.12: Hlutfall losunar lofttegunda sem valda súru regni frá rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Ef litið er eingöngu til losunar við rekstur stöðvarinnar (mynd 5.13 og tafla 5.7) má sjá að eldsneytisnotkun og samgöngur starfsmanna Fljótsdalsstöðvar á rekstrartímanum valda 21% losunar og raforkunotkun 7%. Losun vegna flutninga og meðhöndlunar úrgangs á rekstrartímanum er rétt um 1% af heildarlosun á rekstrartímanum.



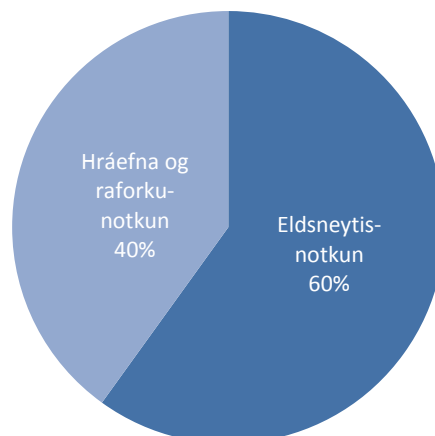
Mynd 5.13: Hlutfall losunar lofttegunda er valda súru regni frá mismunandi þáttum í rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Tafla 5.7: Losun lofttegunda er valda súru regni (g SO₂-ígildi/kWst) frá rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Rekstur	g SO ₂ -ígildi/kWst
Orka og eldsneyti	
Eldsneyti (samgöngur, vélar og tæki)	3,1E-05
Raforkunotkun	9,9E-06
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	1,7E-06
Smurólíur	2,7E-07
Viðhald og endurnýjun	
Viðhald steypra mannvirkja	3,6E-05
Endurnýjun vél- og rafbúnaðar	6,5E-05
Samtals:	1,4E-04

5.2.3 ELDSNEYTISNOTKUN

Ef litið er á heildarlosun lofttegunda er valda súru regni sem rekja má til beinnar notkunar jarðefnaeldsneytis verktaka, eftirlitsaðila og Landsvirkjunar á byggingar- og rekstrartíma má sjá að sú notkun veldur 60% af heildarlosun. Losun vegna raforkunotkunar sem og framleiðslu og flutninga hráefna er 40% af heildarlosun (mynd 5.14).

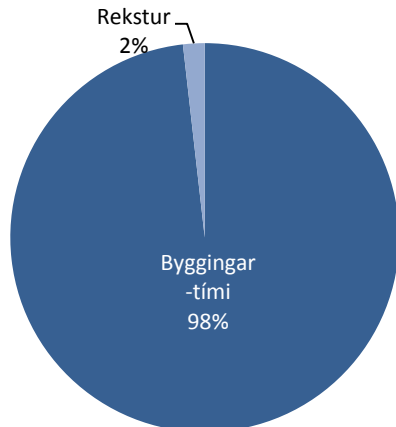


Mynd 5.14: Hlutfall losunar lofttegunda er valda súru regni sem rekja má til beinnar notkunar jarðefnaeldsneytis annars vegar og öflunar og vinnslu hráefna hins vegar.

5.3 EYÐING ÓSONLAGSINS

Losun lofttegunda sem valda eyðingu ósonlagsins má fyrst og fremst rekja til byggingartíma virkjunarinnar, eða rúmlega 98% og tæplega 2% til reksturs Fljótsdalsstöðvar (mynd 5.15). Hér er um að ræða losun á halógen efnunum út í andrúmsloft. Heildarlosun þessara efna við vinnslu á 1 kWst í Fljótsdalsstöð er $4,3 \cdot 10^{-8}$ g R11-ígildi.

Heildarlosun lofttegunda sem valda eyðingu ósonlagsins

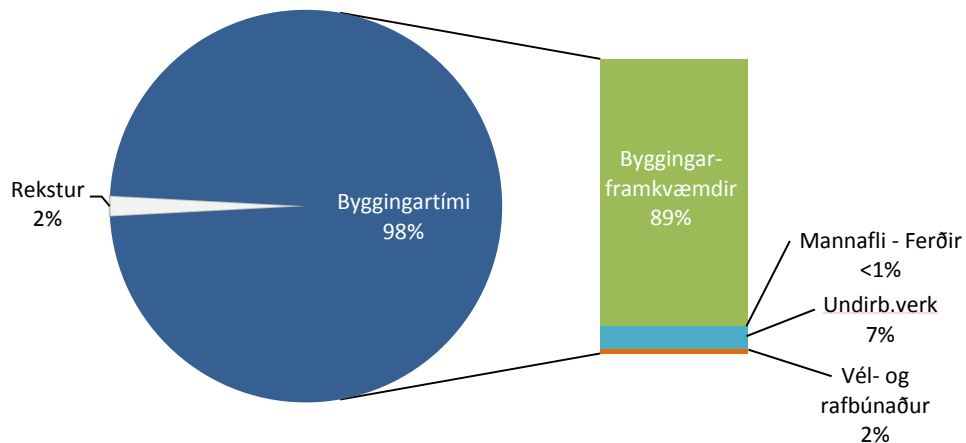


	g R11-ígildi/kWst
Byggingartími	4,2E-08
Rekstur	7,2E-10
Heildarlosun: eyðing ósonlagsins	4,3E-08

Mynd 5.15: Losun lofttegunda sem valda eyðingu ósonlagsins (g R11-ígildi/kWst) við vinnslu á 1 kWst í Fljótsdalsstöð.

5.3.1 BYGGINGARTÍMI VIRKJUNAR

Mynd 5.16 og tafla 5.8 sýna að losun lofttegunda sem valda eyðingu ósonlagsins má fyrst og fremst rekja til byggingartíma virkjunarinnar. Þar af valda byggingarframkvæmdirnar 89% losunarinnar og undirbúningsverk 7%. Framleiðsla vél- og rafbúnaðar veldur 2% heildarlosunar og flutningar mannafla til og frá vinnusvæði valda innan við 1% losunar.

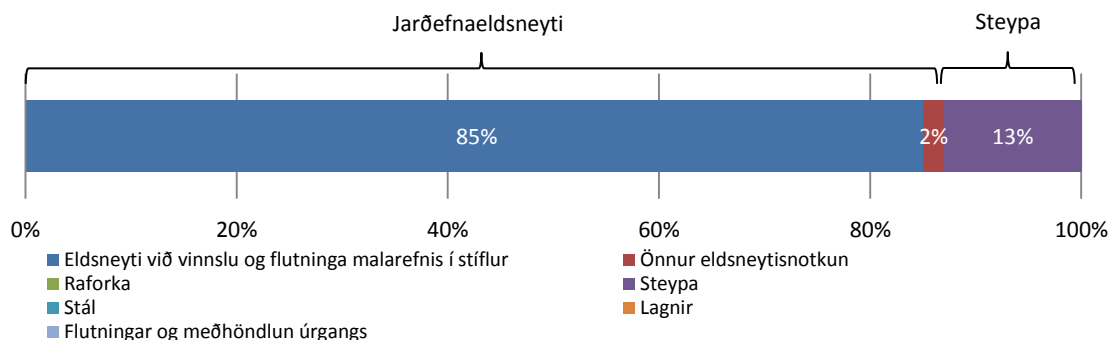


Mynd 5.16: Hlutfall losunar lofttegunda sem valda eyðingu ósonlagsins á byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

Tafla 5.8: Losun lofttegunda er valda eyðingu ósonlagsins (g R11-ígildi/kWst) frá byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

	g R11-ígildi/kWst
Vél- og rafbúnaður	6,8E-10
Undirbúningsverk	3,2E-09
Mannafli - Ferðir	4,2E-11
Byggingarframkvæmdir	3,8E-08
Losun á byggingartíma	4,2E-08

Á mynd 5.17 og í töflu 5.9 má sjá hvernig losun þeirra efna er valda eyðingu ósonlagsins deilist á milli mismunandi framkvæmdabátta við byggingarframkvæmdir. Stærsta hluta losunar frá byggingarframkvæmdum má rekja til notkunar jarðefnaeldsneytis við vinnslu og akstur fyllingarefna í stíflur (85%). Við brennslu jarðefnaeldsneytis losnar hláturgas, en hláturgas veldur eyðingu ósonlagsins og er nú sú lofttegund sem veldur hvað helst eyðingu ósons í heiðhvoli lofthjúpsins (Ravishankara o.fl., 2009). Aðra losun lofttegunda er valda súru regni má rekja til framleiðslu steypu (13%) sem og eldsneytisnotkunar og aðflutninga aðfanga við byggingarframkvæmdir sem valda 2% losunar. Aðrir þættir byggingarframkvæmda valda óverulegri losun.



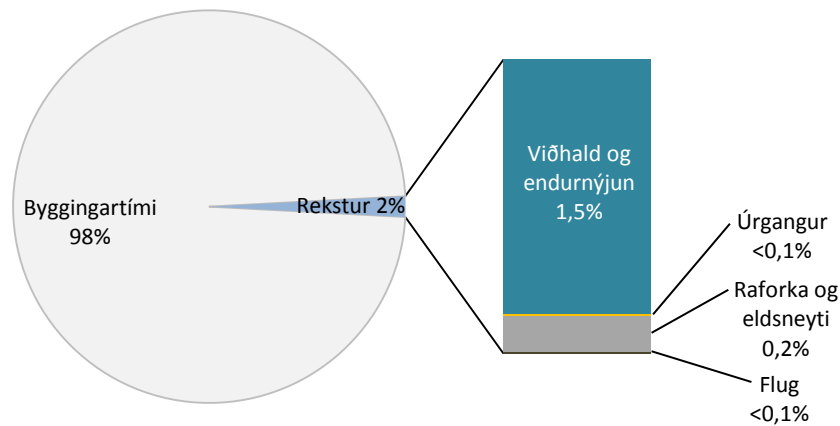
Mynd 5.17: Hlutfall losunar lofttegunda er valda eyðingu ósonlagsins frá mismunandi þáttum við byggingarframkvæmdir.

Tafla 5.9: Losun lofttegunda er valda eyðingu ósonlagsins (g R11-ígildi) frá byggingarframkvæmdum.

Byggingarframkvæmdir	g R11-ígildi/kWst
Notkun jarðefnaeldsneytis	
Eldsneyti við vinnslu og flutninga malarefnis í stíflur	3,2E-08
Önnur eldsneytisnotkun	7,4E-10
Raforkunotkun	
Raforka	3,5E-11
Framleiðsla og flutningar byggingarefna	
Steypa	4,9E-09
Stál	1,8E-10
Timbur	2,8E-12
Lagnir	1,2E-12
Úrgangur	
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	4,5E-11
Samtals:	3,8E-08

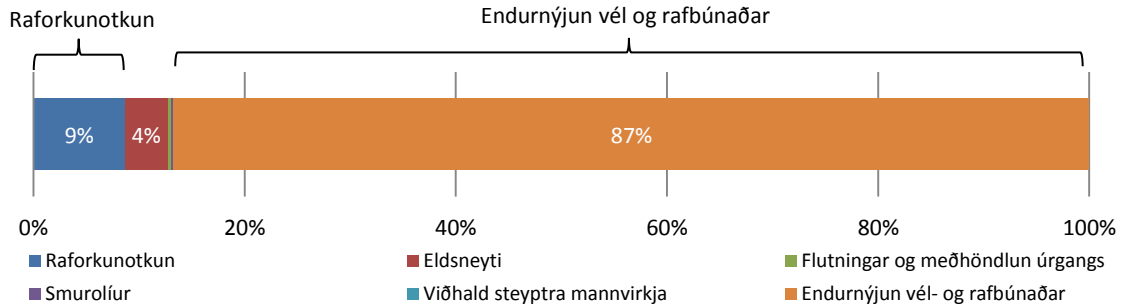
5.3.2 REKSTUR

Af heildarlosun lofttegunda er valda eyðingu ósonlagsins eru tæplega 2% rakin til reksturs Fljótaldsstöðvar. Eins og sjá má á mynd 5.18 er það losun ósoneyðandi efna við viðhald og endurnýjun sem veldur mestri losun við rekstur stöðvarinnar (1,5%). Þau ósoneyðandi efni sem hér um ræðir eru fyrst og fremst tvö klórflúorkolefni (CFCs); R11 (tríklóróflúormetan) og R114 (díklóróflúoretan) sem losna við framleiðslu búnaðarins í Þýskalandi og Ungverjalandi og við hráefnavinnslu. Orku- og eldsneytisnotkun veldur 0,2% losunar en aðrir þættir valda óverulegri losun.



Mynd 5.18: Hlutfall losunar ósoneyðandi efna frá rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Ef litið er eingöngu á losun ósoneyðandi efna vegna reksturs stöðvarinnar (mynd 5.19 og tafla 5.10) má sjá að endurnýjun vél- og rafbúnaðar veldur stærstum hluta losunarinnar (87%). Þessa losun má að mestu rekja til raforkunotkunar við framleiðslu búnaðarins í Þýskalandi og Ungverjalandi sem og framleiðslu málma (stáls, kopars og áls) í vél- og rafbúnað. Raforkunotkun í Fljótsdalsstöð (9%) auk eldsneytisnotkunar og samgangna starfsmanna (4%) valda einnig nokkurri losun, samtals 13%. Aðrir þættir í rekstri losa lítið magn ósoneyðandi efna eða undir 1% af losuninni.



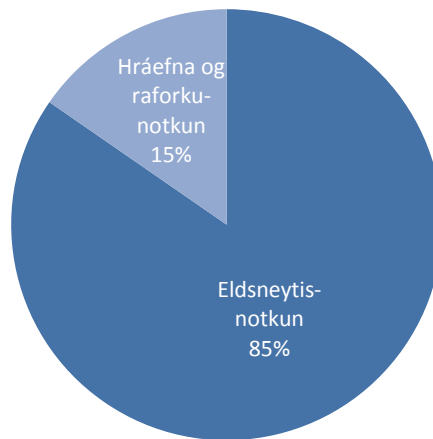
Mynd 5.19: Hlutfall losunar ósoneyðandi efna frá mismunandi þáttum í rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Tafla 5.10: Losun ósoneyðandi efna (g R11-ígildi/kWst) frá rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Rekstur	g R11-ígildi/kWst
Orka og eldsneyti	
Raforunotkun	6,2E-11
Eldsneyti og samgöngur	2,9E-11
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	2,5E-12
Smuroliur	1,5E-12
Viðhald og endurnýjun	
Endurnýjun vél- og rafbúnaðar	6,2E-10
Viðhald steyptra mannvirkja	0
Samtals	7,7E-10

5.3.3 ELDSNEYTISNOTKUN

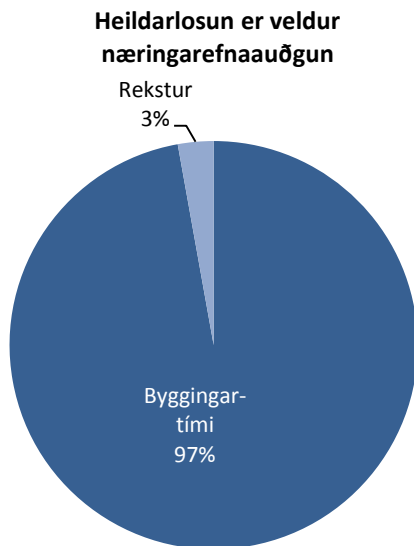
Af heildarlosun lofttegunda er valda eyðingu ósonlagsins má rekja 85% til beinnar notkunar eldsneytis, þ.e. notkun verktaka, eftirlitsaðila, Landsvirkjunar eða við flutninga aðfanga. Einungis 15% losunar er vegna raforkunotkunar sem og framleiðslu og notkunar hráefna (mynd 5.20)



Mynd 5.20: Hlutfall losunar lofttegunda er valda eyðingu ósonlagsins sem rekja má til beinnar notkunar jarðefnaeldsneytis annars vegar og raforkunotkunar, framleiðslu og flutninga hráefna hins vegar.

5.4 NÆRINGAREFNAAUÐGUN

Efni sem valda næringarefnaauðgun við vinnslu 1 kWst rafmagns í Fljótsdalsstöð eru í heild $6,9 \cdot 10^{-4}$ g fosfat-ígildi (mynd 5.21). Losunina má fyrst og fremst rekja til losunar á NO_x á byggingartíma virkjunarinnar, eða 97% og 3% til reksturs Fljótsdalsstöðvar.

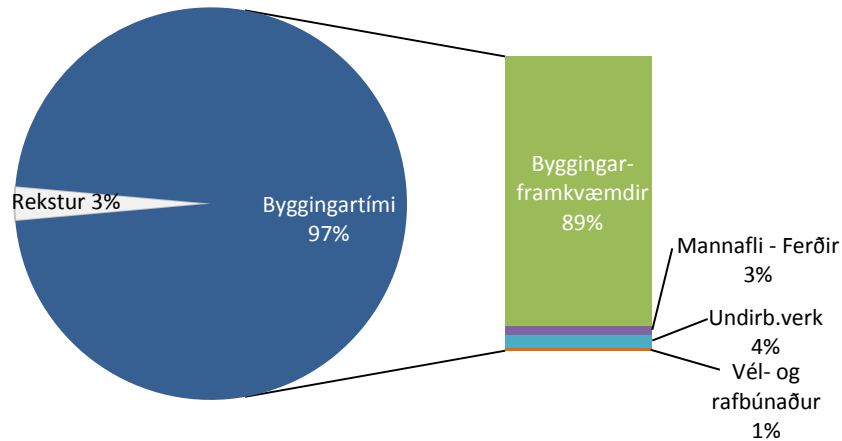


	g PO_4^{3-} -ígildi/kWst
Byggingartími	6,7E-04
Rekstur	1,9E-05
Heildarlosun: næringarefnaauðgun	6,9E-04

Mynd 5.21: Losun efna er valda næringarefnaauðgun (g fosfat (PO_4^{3-})-ígildi/kWst) við vinnslu á 1 kWst í Fljótsdalsstöð.

5.4.1 BYGGINGARTÍMI VIRKJUNAR

Á mynd 5.22 og töflu 5.11 má sjá að rekja má 89% heildarlosunar efna er valda næringarefnaauðgun til byggingarframkvæmdanna. Aðra losun á byggingartíma má rekja til undirbúningsverka (4%), flutninga starfsfólks á vinnusvæði (3%) og framleiðslu vél- og rafbúnaðar (1%).

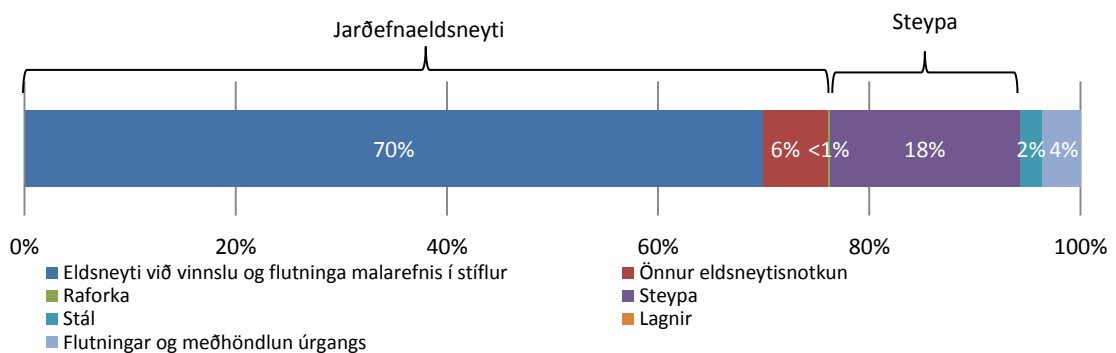


Mynd 5.22: Hlutfall losunar efna sem valda næringarefnaauðgun á byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

Tafla 5.11: Losun efna er valda næringarefnaauðgun (g fosfat (PO_4^{3-})-ígildi/kWst) frá byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

	g PO_4^{3-} -ígildi/kWst
Vél- og rafbúnaður	5,2E-06
Undirbúningsverk	3,1E-05
Mannafli - Ferðir	1,8E-05
Byggingarframkvæmdir	6,1E-04
Losun GHG á byggingartíma	6,7E-04

Ef litið er eingöngu til losunar við byggingarframkvæmdir (mynd 5.23 og tafla 5.12) má sjá hvernig losun efna er valda næringarefnaauðgun skiptist. Vinnsla og akstur með fyllingar í stíflur valda 70% losunar frá byggingarframkvæmdunum sem má að mestu rekja til brennslu jarðefnaeldsneytis. Framleiðsla og flutningar steypu valda 18% losunarinnar. Líkt og áður er það sementsframleiðslan sem orsakar stærsta hluta losunar vegna steypuframleiðslu. Aðrir þættir hafa í för með sér minni losun, en notkun eldsneytis og aðflutninga aðfanga valda 6% losunar, flutningar og meðhöndlun úrgangs 4% og framleiðsla stáls 2%.



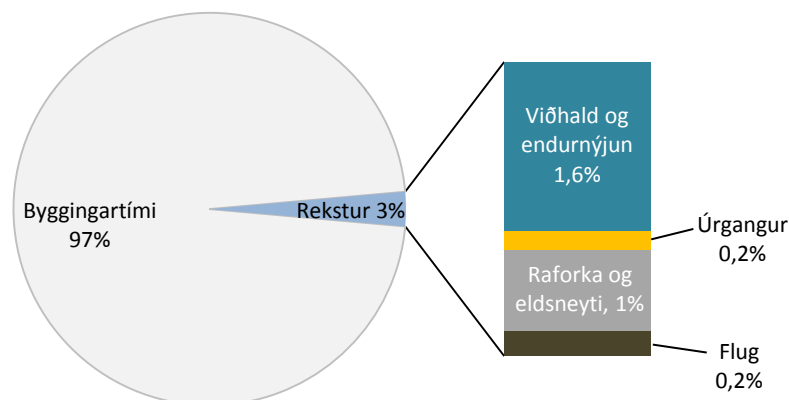
Mynd 5.23: Hlutfall losunar efna er valda næringarefnaauðgun frá mismunandi þáttum byggingarframkvæmda.

Tafla 5.12: Losun efna sem valda næringarefnaauðgun (g fosfat(PO_4^{3-})- ígildi/kWst) frá byggingarframkvæmdum.

Byggingarframkvæmdir	g fosfat (PO_4^{3-})-í gildi/kWst
Notkun jarðefnaeldsneytis	
Eldsneyti við vinnslu og flutninga malarefnis í stíflur	4,3E-04
Önnur eldsneytisnotkun	3,8E-05
Raforkunotkun	
Raforka	9,9E-07
Framleiðsla og flutningar byggingarefna	
Steypa	1,1E-04
Stál	1,3E-05
Lagnir	1,9E-08
Timbur	2,5E-08
Úrgangur	
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	2,2E-05
Samtals:	6,1E-04

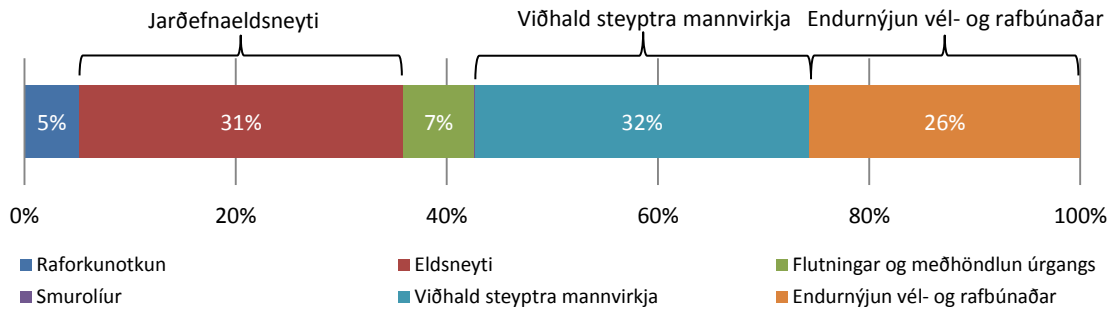
5.4.2 REKSTUR

Af heildarlosun efna er valda næringarefnaauðgun má rekja 3% til rekstur Fljótsdalsstöðvar. Við rekstur stöðvarinnar er áætlað að viðhald steyptra mannvirkja auk endurnýjun vél- og rafbúnaðar valdi stærstum hluta losunar efna er valda næringarefnaauðgun, tæplega 2% af heildarlosun. Orku og eldsneytisnotkun veldur einnig töluverðri losun (1%) (mynd 5.24). Aðrir þættir valda óverulegri losun.



Mynd 5.24: Hlutfallsleg losun efna er valda næringarefnaauðgun frá rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Á mynd 5.25 og í töflu 5.13 má sjá nánar hvað veldur losun efnasambanda er valda næringarefnaauðgun ef litið er eingöngu til rekstur Fljótsdalsstöðvar. Á rekstartímanum veldur viðhald steyptra mannvirkja 32% losunar, eldsneytisnotkun og samgöngur starfsmanna 31%, endurnýjun vél- og rafbúnaðar 26%, flutningar og meðhöndlun úrgangs 7% og orkunotkun 5%.



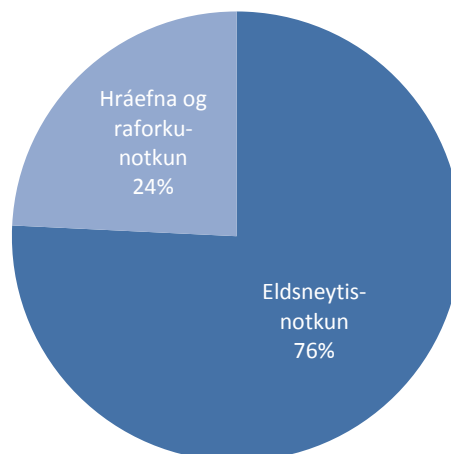
Mynd 5.25: Hlutfall losunar efna er valda næringarefnaauðgun frá mismunandi þáttum í rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Tafla 5.13: Losun efna er valda næringarefnaauðgun (g fosfat (PO_4^{3-})-ígildi/kWst) frá rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Rekstur	g fosfat (PO_4^{3-})-ígildi/kWst
Orka og eldsneyti	
Eldsneyti og samgöngur	5,9E-06
Raforkunotkun	1,0E-06
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	1,3E-06
Smurolíur	1,4E-08
Viðhald og endurnýjun	
Viðhald steyptra mannvirkja	6,1E-06
Endurnýjun vél- og rafbúnaðar	5,0E-06
Samtals	2,5E-05

5.4.3 ELDSNEYTISNOTKUN

Losun lofttegunda er valda næringarefnaauðgun má að stærstum hluta rekja til beinnar notkunar jarðefnaeldsneytis, eða 76%. Tæplega fjórðung losunarinnar má rekja til framleiðslu og flutninga hráefna sem og raforkunotkunar (mynd 5.26).

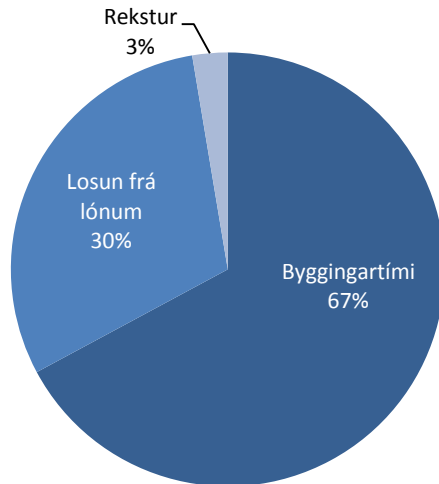


Mynd 5.26: Hlutfall losunar efna sem valda næringarefnaauðgun sem rekja má til notkunar jarðefnaeldsneytis annars vegar og framleiðslu og flutninga hráefna og raforkunotkunar hins vegar.

5.5 VIRKNI SÓLARLJÓSS TIL MYNDUNAR ÓSONS VIÐ YFIRBORÐ JARÐAR

Möguleikar á myndunar ósons við yfirborð jarðar (POCP) eru $6,4 \cdot 10^{-4}$ g etýlen (C_2H_4)-ígildi fyrir vinnslu á 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð (mynd 5.27). Byggingartími virkjunarinnar veldur 67% umhverfisáhrifanna, losun metans frá lónum 30% og rekstur og viðhald 3%.

Virgni sólarljóss til myndunar ósons



	g C_2H_4 - ígildi/kWst
Byggingartími	4,3E-04
Losun frá lónum	1,9E-04
Rekstur	1,7E-05
Heildarlosun: POCP	6,4E-04

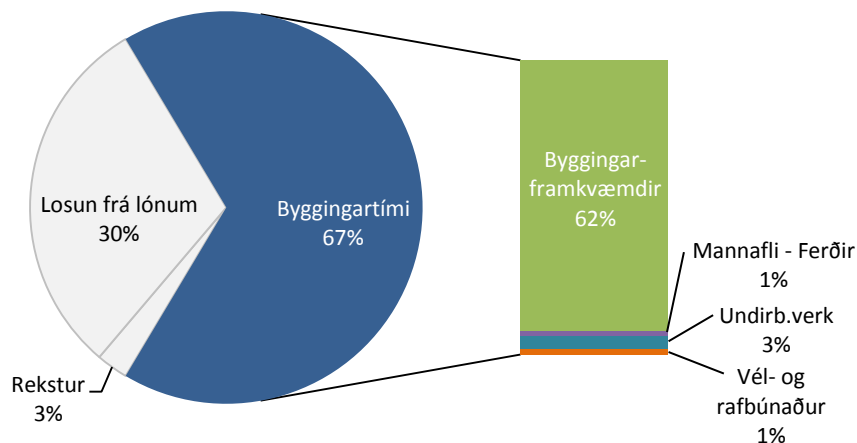
Mynd 5.27: Hlutfallsleg losun efna sem valda möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar (g etýlen (C_2H_4)-ígildi/kWst) við vinnslu á 1 kWst í Fljótsdalsstöð.

5.5.1 LOSUN FRÁ LÓNUM

Losun metans frá uppistöðulónum veldur rúmlega 30% af aukinni myndun ósons við yfirborð jarðar.

5.5.2 BYGGINGARTÍMI VIRKJUNAR

Byggingartími virkjunarinnar veldur 67% af aukinni myndun ósons við yfirborð jarðar við vinnslu á 1 kWst í Fljótsdalsstöð. Það má að mestum hluta rekja til byggingarframkvæmdanna (62%), 3% til undirbúningsverka, 1% til framleiðslu vél- og rafbúnaðar og tæplega 1% til flutninga mannafla til og frá framkvæmdasvæðinu (mynd 5.28 og tafla 5.14).

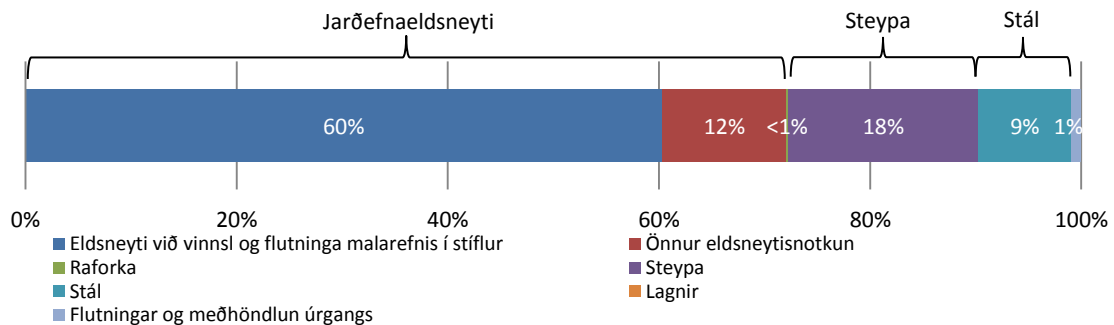


Mynd 5.28: Hlutfallsleg losun efna sem valda möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar á byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

Tafla 5.14: Losun efna er valda mögulega myndunar ósons við yfirborð jarðar (g etýlen (C₂H₄)- ígildi/kWst) frá byggingartíma Fljótsdalsstöðvar.

	g C ₂ H ₄ -ígildi/kWst
Vél- og rafbúnaður	8,3E-06
Undirbúningsverk	1,9E-05
Mannaflí - Ferðir	6,6E-06
Byggingarframkvæmdir	3,9E-04
Losun á byggingartíma	4,3E-04

Ef litið er eingöngu á umhverfisáhrif frá byggingarframkvæmdunum (mynd 5.29 og tafla 5.15) má sjá að stærsta hluta losunarinnar má rekja til notkunar jarðefnaeldsneytis við vinnslu og akstur fyllingarefna í stíflur (60%). Önnur eldsneytisnotkun og flutningar aðfanga valda 12% af losun frá byggingarframkvæmdum. Enn fremur veldur framleiðsla steypu 18% losunar við byggingarframkvæmdir. Framleiðsla sements sem og blöndun, flutningar og útlagning steypunnar eru þeir þættir sem valda hér mestri losun. Framleiðsla stáls veldur 9% losunar við framkvæmdir en aðrir þættir hafa óveruleg áhrif.



Mynd 5.29: Hlutfall losunar er veldur möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar frá mismunandi þáttum byggingarframkvæmda.

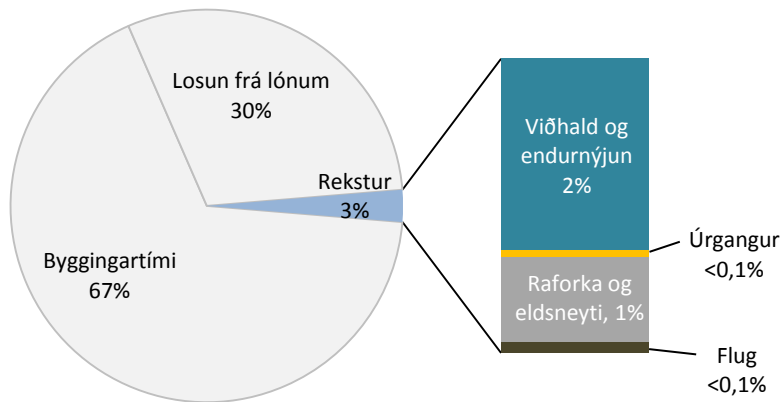
Tafla 5.15: Losun sem veldur möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar (g etýlen (C₂H₄) - ígildi/kWst) frá byggingarframkvæmdum.

Byggingarframkvæmdir	g C ₂ H ₄ -ígildi/kWst
Notkun jarðefnaeldsneytis	
Eldsneyti við vinnslu og flutninga malarefnis í stíflur	2,4E-04
Önnur eldsneytisnotkun	4,7E-05
Raforkunotkun	
Raforka	6,0E-07
Framleiðsla og flutningar byggingarefna	
Steypa	7,1E-05
Stál	3,5E-05
Lagnir	2,9E-08
Timbur	4,6E-08
Úrgangur	
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	3,7E-06
Samtals:	3,9E-04

5.5.3 REKSTUR

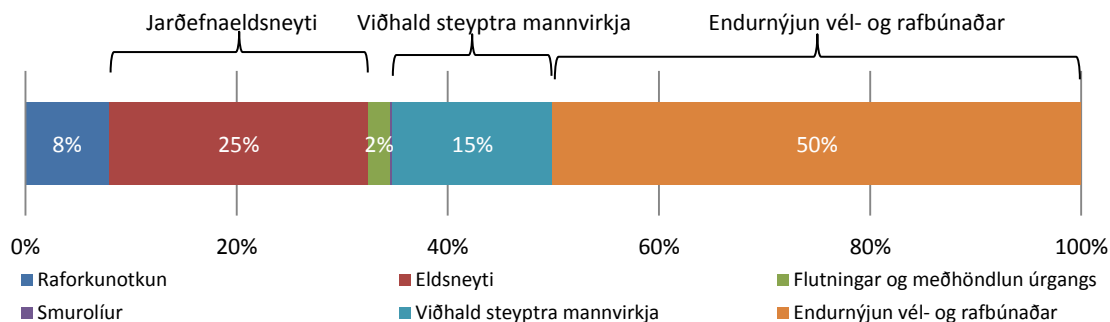
Rekstur Fljótsdalsstöðvar veldur 3% af heildarlosun efna er valda möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar. Við rekstur stöðvarinnar er áætlað að rekja megi stærsta hluta losunar til viðhalds steyptra mannvirkja og endurnýjunar vél- og rafbúnaðar (2%) sem og orku- og

eldsneytisnotkun (1%). Flugferðir á vegum starfsmanna stöðvarinnar sem og akstur og förgun úrgangs valda innan við 1% af umhverfisáhrifunum (mynd 5.30).



Mynd 5.30: Hlutfallsleg losun efna er valda möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar við rekstur Fljótsdalsstöðvar.

Ef litið er nánar á losun vegna rekstrars stöðvarinnar (mynd 5.31 og tafla 5.16) má sjá að áætluð endurnýjun vél- og rafbúnaðar veldur stærstum hluta losunar frá rekstrinum (50%). Eldsneytisnotkun í stöðinni og samgöngur valda 25% losunar, viðhald steyptra mannvirkja (15%), orkunotkun 8% og flutningar og meðhöndlun úrgangs 2%.



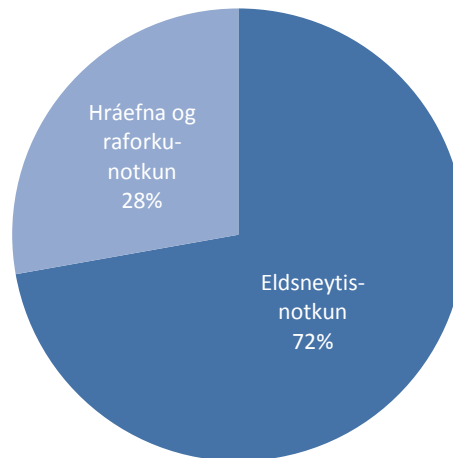
Mynd 5.31: Hlutfall losunar efna sem valda möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar frá mismunandi þáttum í rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Tafla 5.16: Losun er efna er valda möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar (g etýlen (C₂H₄)-ígildi/kWst) frá rekstri Fljótsdalsstöðvar.

Rekstur	g C ₂ H ₄ -ígildi/kWst
Orka og eldsneyti	
Eldsneyti (samgöngur, vélar og tæki)	4,1E-06
Raforkunotkun	1,3E-06
Flutningar og meðhöndlun úrgangs	3,4E-07
Smurolíur	3,6E-08
Viðhald og endurnýjun	
Endurnýjun vél- og rafbúnaðar	8,4E-06
Viðhald steyptra mannvirkja	2,5E-06
Samtals:	1,7E-05

5.5.4 ELDSNEYTISNOTKUN

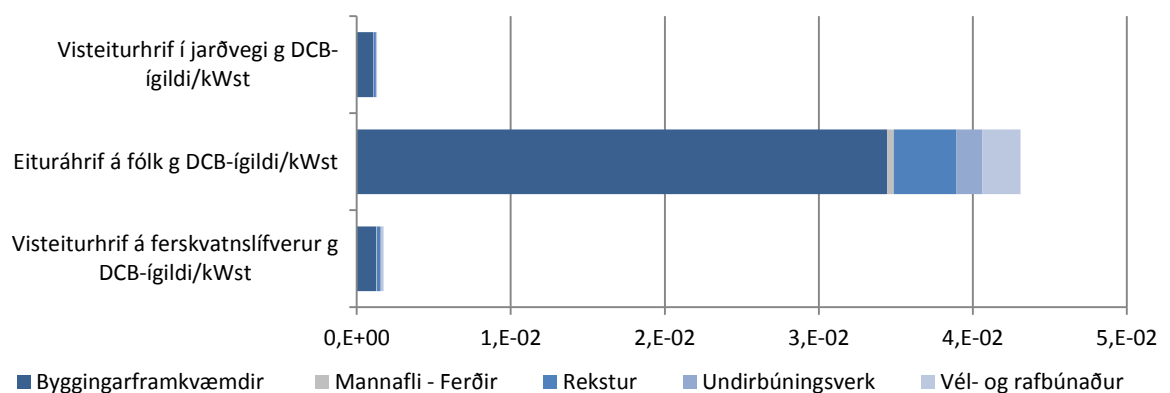
Af heildarlosun efna á byggingartíma og frá rekstri er valda möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar má rekja 72% til bruna jarðefnaeldsneytis. Framleiðsla og flutningar hráefna sem og raforkunotkun valda um 28% losunar (mynd 5.32).



Mynd 5.32: Hlutfall losunar efna er valda möguleika á myndun ósons við yfirborð jarðar sem rekja má til notkunar jarðefnaeldsneytis annars vegar og framleiðslu og flutninga hráefna og raforkunotkun hins vegar.

5.6 ÖNNUR UMHVERFISÁHRIF

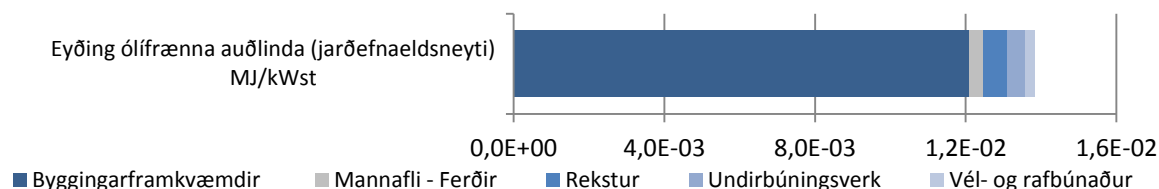
Aðferðarfræði vistferilsgreiningar leggur mat á fleiri umhverfisáhrif en hefur verið fjallað um hér að ofan. Þar má m.a. nefna eyðingu ólífæna auðlinda (e. *abiotic resource depletion potential*) og er hér átt við eyðingu jarðefnaeldsneytis sem og vinnslu annarra náttúruauðlinda. Einnig eru metin eituráhrif á fólk (e. *human toxicity potential*), visteiturhrif í jarðvegi (e. *terrestrial ecotoxicity potential*) og visteiturhrif á ferskvatnslífverur (e. *freshwater aquatic ecotoxicity potential*). Á myndum 5.33 til 5.35 má sjá niðurstöður vistferilsgreiningarinnar fyrir önnur umhverfisáhrif.



Mynd 5.33: Visteiturhrif í jarðvegi og á ferskvatnslífverur sem og eituráhrif á fólk (g DCB-ígildi/kWst).

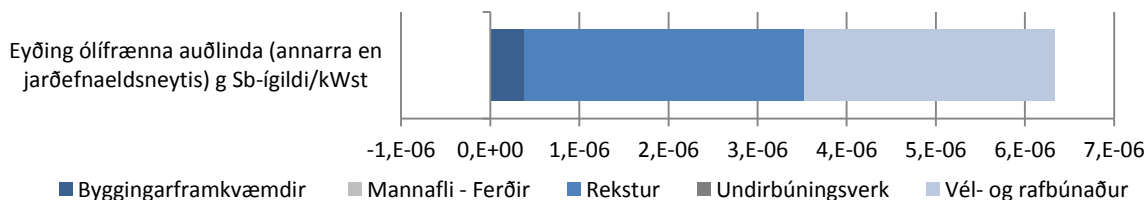
Á mynd 5.33 má sjá niðurstöður fyrir visteiturhrif í jarðvegi og á ferskvatnslífverur sem og eituráhrif á fólk (g DCB-ígildi/kWst). Visteiturhrif eru reiknuð í grömmum DCB (díklóróbensen) ígilda, sem má að mestu leyti rekja til losunar þungmálma og klór kolvetna (e. chlorinated hydrocarbons) vegna framleiðslu og flutnings megin hráefna á byggingartíma (byggingarefna) sem og við rekstur Fljótsdalsstöðvar. Ekki var safnað sérstaklega upplýsingum um efnanotkun á byggingar- og rekstrartíma. Niðurstöður eituráhrifa og visteiturhrifa verður því að líta á með þeim fyrirvara að þessum upplýsingum var ekki safnað sérstaklega, en þau eituráhrif sem birt eru hér má að mestu leyti rekja til framleiðslu byggingarefna, epoxy málningar í fallgöngum og brennslu jarðefnaeldsneytis. Leiða má líkur að því að þessi umhverfisáhrif séu hér vanmetin þar sem efnavörunotkun voru ekki gerð nákvæm skil í greiningunni.

Á mynd 5.34 má sjá að eyðing jarðefnaeldsneytis er mest á byggingartíma virkjunarinnar, líkt og fram hefur komið. Rúmlega 87% heildar jarðefnaeldsneytisnotkunar má rekja til byggingarframkvæmda virkjunarinnar. Önnur notkun jarðefnaeldsneytis í raforkuvinnslunni er í undirbúningsverkum (4%), rekstri stöðvarinnar (4%), ferðum mannafla (3%) og framleiðslu og flutningi vél- og rafbúnaðar (2%).



Mynd 5.34: Eyðing jarðefnaeldsneytis (MJ/kWst).

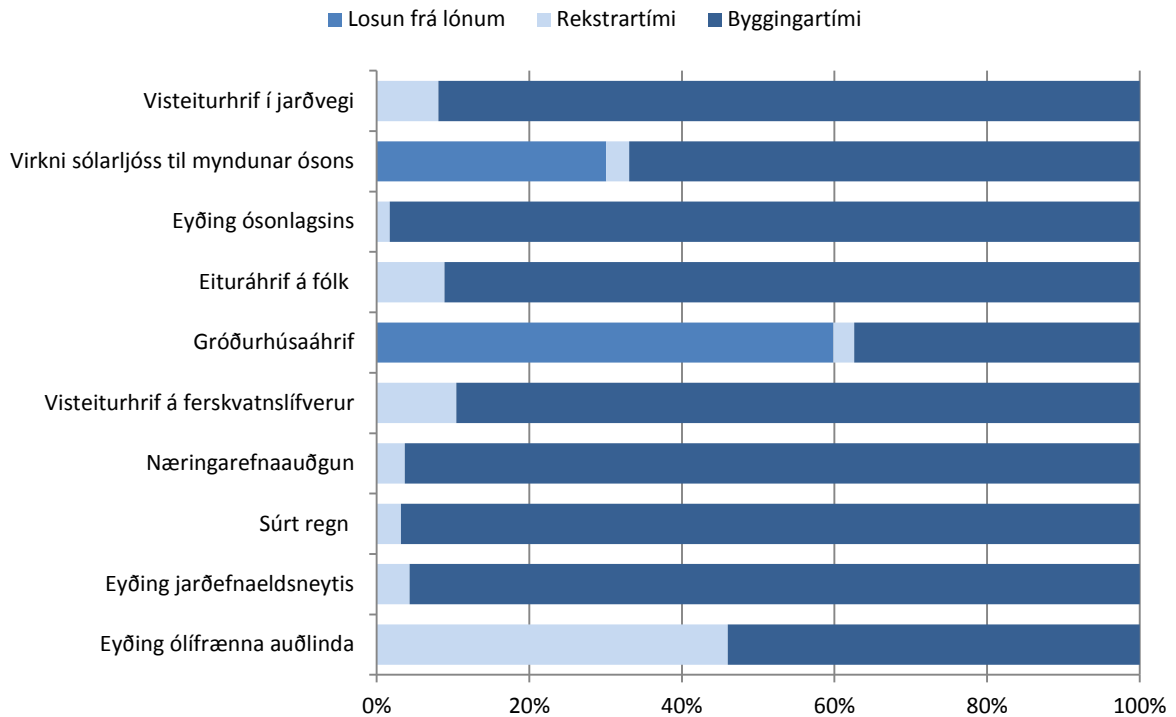
Á mynd 5.35 má sjá umhverfisáhrif vegna eyðingar ólífræna náttúruauðlinda annarra en jarðefnaeldsneytis. Umhverfisáhrif vegna eyðingar þessara auðlinda eru gefin upp í ígildum frumefnisins antímon (Sb) (sjá nánar kafla 3.6.1). Ekki er um að ræða línulegt samband á milli magns óendurnýjanlegra hráefna sem unnin eru og umhverfisáhrifa sem eyðing þeirra veldur sett fram sem Sb-ígildi. Mesta magn ólífræna náttúruauðlinda er notkun á stein- og jarðefnum. Hins vegar eru umhverfisáhrifin sem tengjast þessari notkun ekki ýkja mikil miðað við t.d áhrif vegna notkunar járngrýtis við framleiðslu á vél- og rafbúnaði, þar sem í þessu tilviki er alheimsforði stein- og jarðefna miklu stærri en fyrir járngrýti.



Mynd 5.35: Eyðing ólífræna auðlinda annarra en jarðefnaeldsneytis (g Sb-ígildi/kWst).

5.7 UMHVERFISÁHRIF YFIR VISTFERILINN

Allar niðurstöður vistferilsgreiningarinnar voru umreiknaðar í hlutfallslegt umfang hvers umhverfisflokks fyrir sig. Ekki er hægt að segja til um hvaða flokkur umhverfisáhrifa veldur mestum umhverfisáhrifum þar sem hver flokkur fyrir sig hefur áhrif á mismunandi þætti umhverfisins. Mynd 5.36 sýnir hlutfallslegt framlag mismunandi þátta í vistferli raforkuvinnslunnar til mismunandi flokka umhverfisáhrifa. Hver þáttur er umreiknaður í 100%.



Mynd 5.36: Hlutfallslegt framlag þátta í vistferli orkuvinnslu til mismunandi umhverfisáhrifa.

Greinilegt er að byggingartíminn er sá hluti af vistferlinum sem veldur hlutfallslega mestum umhverfisáhrifum þegar litið er yfir alla flokka umhverfisáhrifa með einni undantekningu, en losun frá lónum veldur hlutfallslegri mestri losun gróðurhúsalofttegunda. Helstu áhrif er tengjast byggingartímanum eru eyðing ósonlagsins, súrt regn, næringarefnaauðgun, eyðing jarðefnaeldsneytis, visteiturhrif í jarðvegi, eituráhrif á fólk og visteiturhrif á ferskvatnslífverur. Umhverfisáhrifin á byggingartíma má helst rekja til notkunar jarðefnaeldsneytis eins og áður hefur komið fram sem m.a. valda losun gróðurhúsalofttegunda og losun lofttegunda sem valda súru regni. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum valda hlutfallslega mestum gróðurhúsaáhrifum í vistferli orkuvinnslunnar. Einnig veldur losun frá lónum hlutfallslega stóru útslagi í losun efna sem hafa áhrif á virkni sólarljóss til myndunar ósons við yfirborð jarðar. Rekstrartíminn veldur hlutfallslega litlum umhverfisáhrifum í öllum flokkum umhverfisáhrifa fyrir utan flokkinn eyðing ólífrænna auðlinda vegna endurnýjunar á vél- og rafbúnaði og öðru viðhaldi á rekstrartímanum.

5.8 LANDBÆTUR

Binding gróðurhúsalofttegunda á endingartíma virkjunarinnar er metin 2 g CO₂-ígildi/ kWst miðað við að varanleg gróðurþekja hafi myndast á uppgræddum svæðum (sjá nánar í kafla 4.7 og viðauka 1). Óvissu í mati á kolefnisbindingu má m.a. rekja til þess að útreikningarnir eru byggðir á stuðlum en ekki beinum mælingum. Niðurstöður frá mælingum liggja ekki fyrir en áætlað er að fyrstu niðurstöður á kolefnismælingum á uppgræðslusvæðum liggja fyrir á árinu 2012. Annar óvissuþáttur við útreikninga á bindingu kolefnis á uppgræðslusvæðum má rekja til þess að gert er ráð fyrir að þekja gróðurs við uppgræðslu haldist óbreytt eftir að uppgræðslutímabili lýkur. Hins vegar má leiða líkur að því að gróðurþekjan breytist í framtíðinni. Binding kolefnis vegna landbóta kemur ekki til frádráttar frá gróðurhúsaáhrifum (kafla 5.1) m.a. vegna þess að um er að ræða landbætur til að koma til móts við það gróðurlendi sem tapast vegna virkjunarinnar, m.a. undir uppistöðulónum.

6 UMRÆÐUR OG SAMANBURÐUR VIÐ ERLENDAR VISTFERILSGREININGAR

Samkvæmt niðurstöðum vistferilsgreininga sem framkvæmdar hafa verið erlendis má að mestu leyti rekja umhverfisáhrif vegna raforkuvinnslu endurnýjanlegra orkugjafa til byggingartíma orkuveranna. Um og yfir 90% gróðurhúsaáhrifa tengjast byggingartíma og um 10% raforkuvinnslunni sjálfri og rekstri orkuvera (Weisser, 2007). Á þetta jafnt við um vatnsafl, sólar- og vindorku sem og endurnýjanlega lífræna orkugjafa, en þessu er ekki eins farið með raforkuvinnslu með jarðefnaeldsneyti þar sem umhverfisáhrif á rekstrartíma eru ríkjandi. Þessar niðurstöður eru í takt við þá niðurstöðu sem fæst úr vistferilsgreiningu fyrir raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð ef litið er framhjá gróðurhúsaáhrifum vegna losunar frá lónum á rekstrartíma.

Upplýsingaöflun er mjög stór þáttur vistferilsgreiningarinnar. Ákveðnar nálganir þurfti að gera við söfnun upplýsinga án þess að þær hafi áhrif á megin niðurstöður vistferilsgreiningarinnar. Upplýsingum hefur verið safnað fyrir þá þætti sem valda hvað helst neikvæðum umhverfisáhrifum. Fyrir byggingu Fljótsdalsstöðvar voru teknar saman upplýsingar um magn byggingarefna, magn úrgangs og eldsneytisnotkun. Við upplýsingasöfnunina kom í ljós að ákveðnar upplýsingar vantaði fyrir nokkra mikilvæga liði framkvæmdarinnar. Því var lagst í þá vinnu að safna þessum upplýsingum, ýmist frá Landsvirkjun, verktökum eða byrgjum. Hluti upplýsinga fékkst ekki og skapaðist því ákveðin óvissa í niðurstöðunum vegna þessa. Má þar m.a. nefna raungögn um magn timburs í byggingarframkvæmdum. Auk þess fengust ekki fyrir alla verksamninga upplýsingar um magn úrgangs. Þá var gerð sú nálgun að mest allur vél- og rafbúnaður væri eingöngu gerður úr stáli. Þegar litið er til þeirrar nálgunar sem gerð er fyrir vél- og rafbúnað þá eru þær í samræmi við það sem gert var í vistferilsgreiningu m.a. fyrir Statkraft (Vold og Nyland, 2002). Niðurstöðurnar vistferilsgreiningarinnar sýna að umhverfisáhrif vegna timburs sem og flutningar og förgun úrgangs frá byggingarframkvæmdum eru ekki stór hluti heildar umhverfisáhrifa. Því má gera ráð fyrir að þær nálganir sem gerðar eru séu ásættanlegar og valdi ekki skekkju á niðurstöðum greiningarinnar.

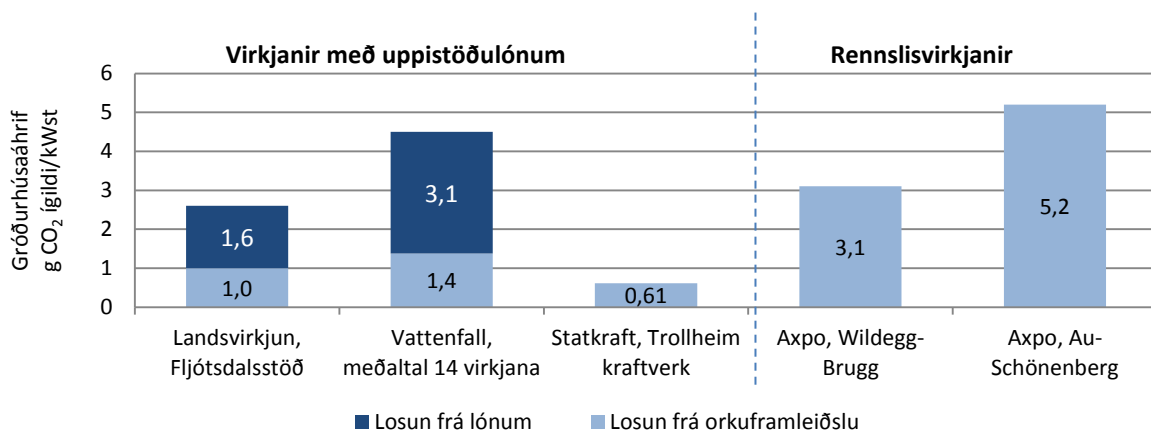
Ekki er hægt að segja til um hvaða flokkur umhverfisáhrifa veldur mestum umhverfisáhrifum þar sem hver flokkur fyrir sig hefur áhrif á mismunandi þætti umhverfisins. Hins vegar er notkun jarðefnaeldsneytis á byggingartíma virkjunarinnar einn af þeim þáttum sem valda miklum umhverfisáhrifum. Áhrifaríkasta leiðin til að draga úr þessum áhrifum er því að draga eins mikið og hægt er úr notkun jarðefnaeldsneytis á byggingartíma. Ákjósanlegast er að nýta umhverfisvænni og endurnýjanlega orkugjafa eins og kostur er. Dæmi um aðgerðir til að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis var sú ráðstöfun að heilbora göng og knýja bora með raforku af landsnetinu. Við mat á hve mikið var dregið úr losun gróðurhúsalofttegunda við það að knýja borana með raforku í stað hefðbundinnar gangagerðar kom í ljós að komið var í veg fyrir bruna á rúmlega 6 milljónum lítra af olíu. En í heild var komið í veg fyrir losun á 500 – 820 tonnum af CO₂ ígildum í andrúmsloftið. Þessar niðurstöður draga fram mikilvægi einstakra ákvarðana. Framleiðsla og notkun steypu veldur einnig töluverðum umhverfisáhrifum. Umhverfisáhrif af völdum steypu má að stærstum hluta rekja til framleiðslu sements.

Á hundrað ára rekstrartíma Fljótsdalsstöðvar eru það væntanleg endurnýjun vél- og rafbúnaðar sem og viðhald steyptra mannvirkja sem valda helst neikvæðum umhverfisáhrifum. Við rekstur stöðvarhússins veldur brennsla jarðefnaeldsneytis hvað mestum umhverfisáhrifum. Beinast

liggur því við að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis svo framast er unnt svo draga megi úr þessum neikvæðu áhrifum á umhverfið.

Við gerð vistferilsgreiningarinnar er farið eftir alþjóðlegum leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu. Þetta eru sömu leiðbeiningar og notaðar hafa verið við gerð vistferilsgreininga fyrir orkufyrirtækin Vattenfall, Statkraft og Axpo. Skilgreining aðgerðareiningar og kerfismarkna sem og upplýsingaöflun er því með sama hætti í vistferilsgreiningunum fyrir raforkuvinnslu fyrirtækjanna.

Umhverfisáhrif vegna raforkuvinnslu í Fljótisdalsstöð eru sambærileg við niðurstöður þeirra greininga sem gerðar hafa verið fyrir raforkuvinnslu í vatnsaflsvirkjunum í Svíþjóð, Noregi og Sviss (myndir 6.1 – 6.3).



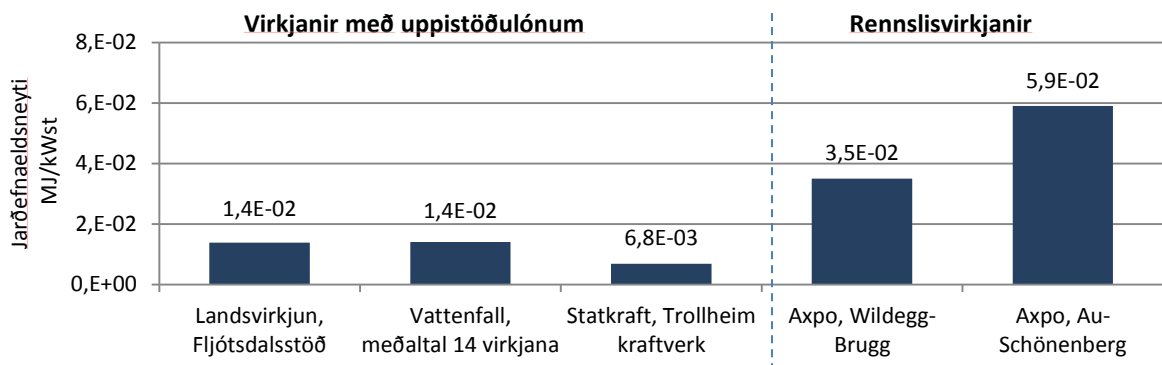
Mynd 6.1: Losun gróðurhúsalofttegunda (g CO₂-ígili/kWst) við raforkuvinnslu með vatnsafla á Norðurlöndunum og í Sviss. Landsvirkjun og Vattenfall taka tillit til losunar frá lónum en ekki Statkraft. Virðjanir Axpo eru rennslisvirðjanir án uppistöðulóna.

Á mynd 6.1 má sjá losun gróðurhúsalofttegunda frá raforkuvinnslu í Fljótisdalsstöð, meðaltal losunar frá 14 vatnsaflsvirkjunum Vattenfall á Norðurlöndunum, losun frá einni vatnsaflsstöð Statkraft (Trollheim) í Noregi og tveimur rennslisvirðjunum í Sviss. Vistferilsgreiningarnar fyrir raforkuvinnsluna á Norðurlöndum er fyrir vatnsaflsvirðjanir með uppistöðulónum en virðjanirnar tvær í Sviss eru rennslisvirðjanir án uppistöðulóna. Fyrir virðjanir með uppistöðulónum voru metin umhverfisáhrif vegna losunar frá lónum virðjana Vattenfall og Fljótisdalsstöðvar. Niðurstöður Statkraft taka hins vegar ekki tillit til losunar frá lónum.

Kolefnisspor raforkuvinnslunnar í Fljótisdalsstöð er metið með aðferðafræði vistferilsgreiningar 2,6 g CO₂-ígili á hverja framleidda kWst að meðtalinni losun frá lónum. Samsvarandi niðurstöður fyrir virðjanir Vattenfall eru 4,5 g CO₂-ígili/kWst. Ef litið er á losun gróðurhúsalofttegunda vatnsaflsvirðjananna að undanskilinni losun frá lónum má sjá að losun frá Fljótisdalsstöð og Vattenfall er að sömu stærðargráðu meðan losun frá Trollheim/Statkraft er um helmingi minni. Þetta má að hluta skýra með mun minni eldsneytisnotkun sem reiknað er með við byggingu og rekstur Trollheim stöðvarinnar, enda er um litla virðjun að ræða. Losunin er hins vegar töluvert hærri frá rennslisvirðjununum. Eftirtektarvert er að raforkuvinnsla í öllum virðjunum með uppistöðulónum veldur minni gróðurhúsáhrifum en rennslisvirðjanir Axpo. Má það m.a. rekja til töluvert meiri notkunar jarðefnaeldsneytis og steypu á hverja framleidda kWst raforku (sjá mynd 6.2).

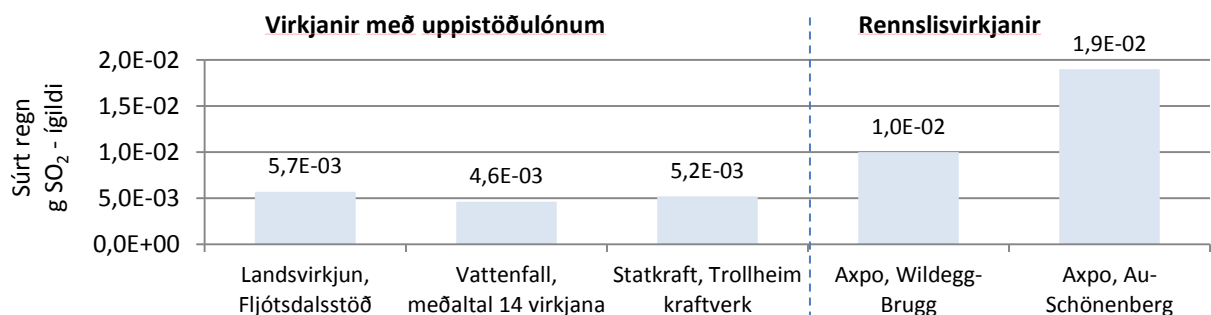
Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Fljótsdalsstöðvar er í samræmi við niðurstöður Vattenfall í Svíþjóð. Losun frá lónum Fljótsdalsstöðvar valda í heild 60% af heildar gróðurhúsaáhrifum en eru 68% af heildar gróðurhúsaáhrifum frá vatnsaflsvirkjunum Vattenfall.

Notkun jarðefnaeldsneytis fyrir vinnslu 1 kWst raforku í vatnsaflsvirkjununum má sjá á mynd 6.2. Notkun jarðefnaeldsneytis er töluvert meiri í rennslisvirkjununum tveimur (Wildeg-Brugg og Au-Schönenberg) og áberandi minnst við raforkuvinnslu Statkraft í Trollheim virkjuninni. Notkun jarðefnaeldsneytis er hins vegar nánast sú sama fyrir raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð og í vatnsaflsvirkjunum Vattenfall. Myndir 6.1 (losun gróðurhúsalofttegunda frá raforkuvinnslu) og 6.2 sýna greinilega fylgni á milli losunar gróðurhúsalofttegunda og notkunar á jarðefnaeldsneyti.



Mynd 6.2: Notkun jarðefnaeldsneytis (MJ/kWst) við raforkuvinnslu með vatnsafl á Norðurlöndunum og í Sviss

Fyrir Fljótsdalsstöð og stöðvar Vattenfall og Statkraft má sjá að heildarlosun lofttegunda er valda súru regni er nánast sú sama. Líkt og fyrir losun gróðurhúsalofttegunda er losun lofttegunda er valda súru regni mun hærra fyrir rennslisvirkjanirnar en virkjanirnar með uppistöðulónum sem m.a. má rekja til framleiðslu múrsteina (e. *clinker bricks*), en framleiðsla þeirra felur í sér brennslu kola.



Mynd 6.3: Losun lofttegunda er valda súru regni (g SO₂ – ígildi/kWst) við raforkuvinnslu með vatnsafl á Norðurlöndunum og í Sviss

Í viðauka 3 má sjá samanburð annarra umhverfisáhrifa vatnsaflsvirkjananna sem skoðaðar eru hér að ofan. Þar má sjá sömu tilhneigingu og hér fyrir framan að umhverfisáhrif eru í flestum tilfellum lægri fyrir raforkuvinnslu frá vatnsaflsvirkjunum með uppistöðulón en fyrir rennslisvirkjanirnar.

Eins og áður hefur komið fram má rekja 60% af losun gróðurhúsalofttegunda til losunar frá uppistöðulónum Fljótsdalsstöðvar. Upplýsingar um raunverulega losun frá lónum til lengri tíma er því mikilvægur hlekkur í að meta raunveruleg heildar umhverfisáhrif frá raforkuvinnslu vatnsaflsvirkjana. Landsvirkjun hefur í samstarfi við LBHÍ unnið að því undanfarin ár að mæla og reikna losun frá lónum fyrirtækisins. Ennþá vantar mikilvægar upplýsingar um það hvernig losun frá lónum breytist yfir tíma, en rannsóknir benda til þess að það dragi verulega úr losun frá lónum með tímanum, en í þessari greiningu er reiknað með að helmingur þess kolefnis sem bundið er í jarðvegi sem fer undir vatn losni á 100 árum (Svensson, 2005).

7 HEIMILDASKRÁ

Axpo (2010) *Wildegg-Brugg run-of-river Power Plant*. Environmental Product Declaration.

EFLA (2009) *LCA á byggingarefnum. Burðarvirki og gólfplötur*. EFLA verkfræðistofa.

Elaqua (2011) *Au-Schönenberg Small-Scale Hydro Power Plant*. Environmental Product Declaration.

European Aviation Safety Agency (2009) *Survey on Standard Weights of Passengers and Baggage*. Sótt:

<http://www.easa.europa.eu/rulemaking/docs/research/Weight%20Survey%20R20090095%20Final.pdf>

European Commission (2011) *Joint Research Centre. Life Cycle Thinking and Assessment*. Institute for the Environment and Sustainability. Sótt af: http://ict.jrc.ec.europa.eu/index_jrc

Guðmundur Halldórsson og Jóhann Þórsson (2010) *Kolefnisbinding við landgræðslu*. Landgræðsla ríkisins. Sótt 11. janúar 2011: <http://www.skogur.is/media/fagrastefna-2010/Gudm-Halldorss-25.3.-Kolefnisbinding-landgraedslu.pdf>.

Hauschild, M. og Wenzel, H (1998) *Environmental Assessment of Products. Volume 2: Scientific background*. University Press, Cambridge.

Harpa Birgisdóttir (2005) *Life Cycle Assessment Model for Road Construction and Use of Residues from Waste Incineration*. Institute of Environment and Resources, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark.

Harpa Birgisdóttir (2004) *Livscyklusvurderingsværktøj for vejbygning. Livscyklusvurdering af asfalt som vejbygningsmateriale*. Nordisk vejteknisk forbund – Udvalg 33.

IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 7: Wetlands*.

ÍST EN ISO 14040 (2006) Umhverfisstjórnun – Lífsferilsmat – Grunnreglur og reglurammi.

ÍST EN ISO 14044 (2006) Umhverfisstjórnun – Lífsferilsmat – Kröfur og leiðbeiningar.

Kumar, A., T. Schei, A. Ahenkorah, R. Caceres Rodriguez, J.-M. Devernay, M. Freitas, D. Hall, Å. Killingtveit, Z. Liu (2011) *Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. Von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Landsvirkjun (2011) *Ársskýrsla 2010*. Sótt af:

http://www.landsvirkjun.is/media/2011/LV_arsskyrsla_2011.pdf

Landsvirkjun (2009) *Vistheimt Landsvirkjunar og umhverfislegur ávinningur í kjölfar virkjana*. Hugrún Gunnarsdóttir, Landsvirkjun, skýrsla nr. LV-2009/109.

Landsvirkjun (2008) *Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna – rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006*. Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, Landsvirkjun, skýrsla nr. LV-2008/028.

Landsvirkjun (2002) *Kárahnjúkavirkjun, fyrri áfangi. Vegir, aðstaða verktaka, námur og haugsvæði*. Ingvar Björnsson, Landsvirkjun, skýrsla nr. LV-2002/054.

Max Kingsley-Jones (2009) *6,000 and counting for Boeing's popular little twinjet*. Flight international, Reed Business Information, 22. apríl.

NN. 2006. *Landbótasjóður Norður-Héraðs, Ársskýrsla 2006*.

Oers, L., Koning, A., Guinée, J.B. og Huppés, G. (2002) *Abiotic Resource Depletion in LCA*. Road and Hydraulic Engineering Institute, Leiden University.

Ravishankara, A.R., Daniel, J.S. og Portmann, R.W. (2009) Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. *Science* 326, 123.

Samtal við Frakvæmdastjóra vörustýringarsviðs Húsasmiðjunnar, mars 2011.

Statkraft (2010) *Vannkraft fra Trollheim kraftverk*. Environmental Declaration ISO 14025.

Stefán Skaftason, Þór Þorbergsson og Arnór Benediktsson (2003) *Ársskýrsla Landbótasjóðs Norður-Héraðs 2003*.

Strand, Mikael, EPD Process Owner - Vattenfall (2011) *GHG emissions from inundated land*. Tölvupóstsamskipti.

Svensson, Björn (2005) *Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs: A Global Perspective*. Sótt 20. júní 2011: <http://www.rheoconsult.com/Exp/Rio2005.pdf>.

The International EPD Consortium (IEC) (2007) *Product Category Rules (PCR) for preparing an Environmental Product Declaration (EPD) for electricity, steam and hot and cold water generation and distribution*. Sótt af: www.environdec.com

Tremblay, A., Bastien, J., Bonneville, M-C., Giorgio, P., Demarty, M., Garneau, M., Hélie, J-F., Pelletier, L., Prairie, Y., Poulet, N., Strachan, I. og Teodoru, C. (2010) *Net Greenhouse Gas Emissions at Eastmain 1 Reservoir, Québec, Canada*. World Energy Congress, Montréal, 12. – 16. September.

Umhverfisstofnun (2009) *Helstu gróðurhúsalofttegundir*. Sótt 2. febrúar 2011: <http://www.ust.is/Mengunarvarnir/Hnattrænmengun/Grodurhusaahrifin/Grodurhusalofttegundir/>

Valgeir Valgeirsson, Sigursteinn Hjartarson, Theodór Guðfinnsson og Ásbjörn Jóhannesson (2003) *Viðhaldsaðferðir*. BUSL – samstarf um rannsókn- og þróunarverkefni í vega- og gatnagerð, skýrsla S-11.

Vattenfall (2008) *Vattenfall AB Generation Nordic Certified Environmental Product Declaration EPD® of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower*. Environmental Declaration ISO 14025.

Vold, Mie og Nyland, Cecilia A. (2002) *Dokumentasjon av data og metodiske problemstillinger og svakheter, Miljødeklarasjon Type III, Trollheim. Østfoldforskning.*

Weisser, D. (2007) *A Guide to Life-Cycle Greenhouse Gas (GHG) emissions from electric supply technologies. Energy 32, 1543 – 1559.*

VIÐAUKI 1 - UPPLÝSINGASÖFNUN

Úrvinnslu gagna frá upplýsingasöfnun er lýst hér að neðan fyrir alla þætti vistferilsgreiningarinnar; undirbúningsverk, mannafla, byggingarframkvæmdir, vél- og rafbúnað, rekstur Fljótsdalsstöðvar, losun frá uppistöðulólum virkjunarinnar og landbótasjóði.

Byggingartími

Undirbúningsverk

Til undirbúningsverka falla vegagerð, brúargerð og vinnubúðir.

Vegagerð

Gert er ráð fyrir að klæðing Fljótsdalsheiðarveggar og Kárahnjúkavegar sé 20 mm að þykkt. Upplýsingar um magn þunnbiks eru fengnar frá útboðsgögnum og gert er ráð fyrir að magn steinefna í klæðingu sé 15 kg/m^2 í hvoru lagi klæðingar (Valgeir Valgeirsson o.fl., 2003). Vinnsla malarefna úr námum og akstur í vegstæði er áætlaður út frá útboðsgögnum. Við vinnslu efna úr námum er notast við gögn úr gagnabanka ELCD/PE í GaBi fyrir námuvinnslu og akstur malarefna í vegstæði. Ekki er gert ráð fyrir að malarefni úr skeringum sé flutt en miðað er við að malarefni úr námum sé flutt að meðaltali $0,7 \text{ km/m}^3$ unnið efni. Meðaltalið er reiknað út frá meðalvegalegd á flutningi malarefnis úr útboðsgögnum fyrir yfirlögn og viðhalds axla Kárahnjúkavegar (KAR 04m), í öðrum verksamningum var meðal flutningsvegalegd ekki gefin upp. Að sama skapi er miðað við að 1 m^3 malarefnis vegi 2 tonn líkt og gert er í fyrrgreindum útboðsgögnum fyrir KAR 04m. Fyrir framleiðslu ræsalagna, ýmist úr stáli og plasti, er gert ráð fyrir að skipta þurfi lögnum út einu sinni á endingartímanum. Gert er ráð fyrir að ræsalagnir séu að hluta til unnar úr endurunnu efni og þegar lögnum er skipt út er 80% af úrgangs lögnum endurunnar.

Brúargerð

Fyrir steinsteypu er gert ráð fyrir að 1 m^3 steypu vegi 2.365 kg sem er í samræmi við þær forsendur sem eru gefnar upp í GaBi 4.4. Styrkleikaflokkur steypunnar er C35 samkvæmt útboðsgögnum og við mat á umhverfisáhrifum er notast við útreikninga EFLU á framleiðslu steypu með íslensku Portland sementi (sementsmagn 400 kg/m^3) (EFLA, 2009). Yfirbygging úr timbri er gefin upp í flatarmáli brúargólfs og er miðað við að notast sé við tveggja tommu timburborð með eðlisþyngd, $\rho = 550 \text{ kg/m}^3$ (Húsasmiðjan, 2011). Timbur og stál er flutt til Reyðarfjarðar sem lausafarmur frá Finnlandi (timbur) og Lettlandi (stál). Innflutt aðföng eru að síðustu flutt frá höfn í Reyðarfirði á vinnusvæði, 130 km að meðaltali. Gert er ráð fyrir að ökutæki fyrir aðföng keyri tóm til baka.

Byggingarframkvæmdir

Byggingarframkvæmdir fela í sér byggingu stífla, stöðvarhúss, þjónustubyggingar, ganga, skurða og Hraunaveitu. Upplýsingar um vegalengdir vegna aðflutninga byggingarefna og annarra aðfanga til byggingarframkvæmda voru að mestu áætluð. Áætlunin byggði m.a. á upplýsingum um uppruna byggingarefna í lokaskýrslum, samtali við innflutningsaðila byggingarefna á Íslandi og upplýsingum frá Samskip.

Umhverfisáhrif vegna steypu í öllum verksamningum byggingarframkvæmda voru metin samkvæmt útreikningum EFLU á framleiðslu steypu með íslensku eða dönsku Portland sementi ($300\text{--}450\text{ kg/m}^3$) eftir því sem við á (EFLA, 2009). Notast var við fimm mismunandi styrkleika af steypu (C20–C40) og er áætluð eðlisþyngd steypunnar fyrir alla styrkleikaflokka 2.365 kg/m^3 samkvæmt GaBi gagnagrunni.

Stíflur, stöðvarhús, göng og skurðir

Hér er farið yfir vinnslu gagna fyrir stíflur, stöðvarhús, göng og skurði, verksamninga KAR 11–16. Fyrir sprautusteypu og efju var eingöngu reiknað með framleiðslu og flutningum sements. Vistferilsgreiningar fyrir steypu hafa sýnt að mestu umhverfisáhrifin má rekja til framleiðslu sementsins. Magn sement í sprautusteypu var $480\text{--}550\text{ kg/m}^3$ en um 950 kg/m^3 fyrir efju.

Eingöngu fundust upplýsingar um heildarfjölda bergbolta. Nálgun á lengd og þyngd boltanna var gerð út frá upplýsingum í lokaskýrslu stöðvarhúss Fljótsdalsstöðvar (verksamningur KAR 15). Meðalþyngd bergbolta var fundin sem 11 kg og var sú tala notuð við útreikninga á magni stáls við framleiðslu og flutninga bergbolta í öllum verksamningum byggingarframkvæmda.

Fyrir verksamning KAR 11 var eldsneytisnotkun verktaka eingöngu tiltæk fyrir árin 2006 og 2007. Heildar eldsneytisnotkun fyrir árin 2003 – 2008 var metin út frá meðaltölum áranna 2006 og 2007. Upplýsingar um magn timburs sem notað var á byggingartíma lágu ekki fyrir. Magn timburúrgangs var notað sem ílagsþáttur fyrir magn timburs í framkvæmdum í þeim verksamning það sem þær upplýsingar lágu fyrir. Ekki fengust þó upplýsingar um magn úrgangs fyrir alla verksamninga.

Raforkunotkun á framkvæmdatíma var fengin frá Landsvirkjun. Raforka af íslenska dreifikerfinu var notuð við framkvæmdir, m.a. til að knýja gangabora o.fl.

Hraunaveita

Hraunaveitur féllu undir verksamninga KAR 21–25. Þyngd stáls í bergbolta var reiknað út líkt og lýst er hér að ofan út frá upplýsingum frá verksamningi KAR 15. Að sama skapi var magn timburs sem byggingarefnis áætlað á sama hátt og lýst er hér að ofan, þ.e. byggingartimbur er sett jafnt magni timburúrgangs. Fyrir sprautusteypu var aðeins reiknað fyrir framleiðslu og flutninga sements líkt og í verksamningum KAR 11 – 16. Meðalmagn sements í sprautusteypu var 500 kg/m^3 .

Mannafli við framkvæmdir

Undir mannafla falla ferðir starsmanna verktaka, eftirlitsaðila og Landsvirkjunar til og frá byggingarstað.

Eftirlit

Starfsmenn eftirlits voru í mismunandi úthöldum. Íslenskir eftirlitsmenn við verksamning KAR-15 unnu flestir 5 daga og fóru heim um helgar, um það bil 20 manns unnu að meðaltali við þetta eftirlit. Íslenskir eftirlitsmenn með öllum öðrum samningum unnu yfirleitt í 10 daga og voru 4 daga í frí. Erlendir eftirlitsmenn unnu 21 dag og voru 7 daga í frí. Áætlað var að 25 íslenskir og 25 erlendir eftirlitsmenn hafi verið að störfum að meðaltali. Helstu eftirlitsstofnanir voru fyrst og fremst : Vinnueftirlitið, Umhverfisstofnun og Heilbrigðiseftirlit Austurlands (HAUST). Eftirlitsmenn frá Vinnueftirlitinu komu óreglulega. Hér er áætlað að einn maður hafi komið tvisvar í mánuði frá

Egilsstöðum. Eftirlitsmenn frá Umhverfisstofnun komu sömuleiðis óreglulega, áætlað er að einn maður hafi komið einu sinni í mánuði að meðaltali frá Reykjavík. Einn maður koma að meðaltali vikulega frá HAUST á Egilsstöðum.

Við útreikninga er gert ráð fyrir að starfsmenn eftirlits ferðist samkvæmt neðangreindu:

Gert var ráð fyrir að starfsmenn eftirlitsstofnana sem staðsettar eru á Egilsstöðum (Austurlandi) ferðist á dísil knúinni bifreið frá Egilsstöðum að framkvæmdasvæðinu, 115 km í hverri ferð, eða 230 km báðar leiðir. Íslenskir starfsmenn framkvæmdaefirlits og eftirlitsstofnana sem staðsettar eru á höfuðborgarsvæðinu ferðist í samræmi við starfssamning með innanlandsflugi milli Reykjavíkur og Egilsstaða (381 km). Einnig er gert ráð fyrir ferð starfsmanns með dísil knúinni bifreið frá Egilsstöðum að framkvæmdasvæðinu (fram og til baka). Áætlað var að erlendir starfsmenn framkvæmdaefirlits hafi ferðast í samræmi við starfssamninga með flugi milli Íslands og Evrópu (2.200 km). Einnig er gert ráð fyrir ferð starfsmanns með dísil knúinni bifreið frá Keflavík til Reykjavíkur og frá Egilsstöðum að framkvæmdasvæðinu eins og lýst er að ofan fyrir íslenska eftirlitsaðila. Í töflu (i) má sjá upplýsingar vegna flugferða starfsmanna.

Tafla (i): Upplýsingar vegna flugferða starfsmanna á Kárahnjúkasvæðinu

	Vegalengd [km]	Eldsneytiseyðsla [l/klst.]	Meðalþyngd farþega [kg]*	Meðalnýting [%]
Fokker 50	381	700	100	68
Boeing 737	2.200	-	100	80

*(European Aviation Safety Agency (EASA), 2009)

Allar upplýsingar um Fokker 50 vélar Flugfélags Íslands eru fengnar beint frá flugfélaginu. Boeing 737 farþegaþotur voru valdar fyrir farþegaflugið, þar sem greiningin nær yfir hundruðir fluga víðsvegar um heiminn, en Boeing 737 er mest selda farþegaþota í heiminum (Kingsley-Jones, 2009).

Landsvirkjun

Upplýsingar um ferðir starfsmanna Landsvirkjunar á framkvæmdatímanum voru fengnar frá Flugfélagi Íslands (FÍ). Samkvæmt þeim upplýsingum voru farnar 5.848 ferðir á vegum Landsvirkjunar milli Reykjavíkur og Egilsstaða, í heild 2.228.088 km á meðan framkvæmdum stóð. Sömu forsendur vegna flugvéla innanlands (Fokker 50) eru notaðar hér og fyrir ferðir eftirlits hér að ofan sem og akstur frá Egilsstöðum að framkvæmdasvæðinu.

Verktakar

Upplýsingar um fjölda starfsmanna verktaka á framkvæmdatímanum voru fengnar frá Landsvirkjun. Gert var ráð fyrir að erlendir starfsmenn verktakanna hafi unnið í 6 mánuði og fengið 1 mánuð í frí en innlendir starfsmenn verktaka hafi unnið í 10 daga og fengið 4 í frí. Erlendum starfsmönnum verktaka var skipt eftir uppruna sem Evrópubúar eða sem utan Evrópu. Flestir starfsmenn sem flokkast sem Evrópubúar voru Pólverjar, Ítalir og Portúgalir. Vegalengd sem starfsmenn innan Evrópu ferðast frá heimkynnum til vinnustaðar er því reiknað sem meðaltalið yfir vegalengdir milli Póllands, Ítalíu og Portúgals til Íslands (2.900 km). Vegalengd sem starfsmenn sem flokkaðir eru utan Evrópu ferðast frá heimkynnum til vinnustaðar er 7.900 km (vegalengd milli Íslands og Kína). Að meðaltali voru 21% starfsmanna verktaka við byggingarframkvæmdina Íslendingar, 43% Evrópubúar og 36% utan Evrópu, með samtals 79% starfsmanna af erlendum uppruna.

Fyrir íslenska starfsmenn verktaka var gert ráð fyrir að starfsmaður ferðaðist í samræmi við starfssamning með innanlandsflugi milli Reykjavíkur og Egilsstaða (381 km). Einnig var gert ráð fyrir ferðum allra starfsmanna með dísil knúinni farþegabifreið frá Egilsstöðum að framkvæmdasvæðinu.

Fyrir erlenda starfsmenn verktaka var gert ráð fyrir að starfsmaður ferðaðist í samræmi við starfssamning með flugi milli Íslands og Evrópu (2.900 km) eða milli Íslands og Kína (7.900 km). Einnig er gert ráð fyrir ferðum starfsmanna með dísil knúinni farþegabifreið frá Keflavík til Reykjavíkur og frá Egilsstöðum að framkvæmdasvæðinu sem og innanlandsflugi milli Reykjavíkur og Egilsstaða.

Vél- og rafbúnaður

Allar vél- og rafbúnaður Fljótsdalsstöðvar ásamt stöðvarhússkrönum og strengjum falla undir flokkinn vél- og rafbúnaður.

Spennar

Framleiðendur spenna Fljótsdalsstöðvar, CG Electric Systems Hungary (áður Ganz Transelektro Rt.) í Ungverjalandi veittu upplýsingar um framleiðslu spennanna. Í heild eru 6 spennar í Fljótsdalsstöð, framleiddir í Ungverjalandi og fengust upplýsingar um orku- og hráefnanotkun við framleiðsluna. Ekki var notast við endurunnid efni við framleiðslu spenna. Heildarþungi spenna, spennaolíu og annarra íhluta sem flutt var til Íslands var 925 tonn.

Spennar voru fluttir frá framleiðslustað í Tápiószele í Ungverjalandi til Rotterdam í Hollandi um 1.500 km vegalengd með fljótabát. Spennarnir voru svo fluttir sjóleiðis frá Rotterdam til Reyðarfjarðar (2.000 km) og síðustu 75 km frá Reyðarfirði að Fljótsdalsstöð var farið á flutningabíl með dráttarvagni. Sérstakur flutningabíll auk dráttarvagns var fluttur frá Hollandi til Íslands til að flytja spennana á Íslandi. Þar sem flutningabíll og dráttarvagn voru eingöngu fluttir til landsins í þeim tilgangi að flytja spennana var flutningur þeirra til og frá landinu tekinn með í greininguna.

Hverflar, gangráðar, lokar og annar vélbúnaður

Upplýsingar um hverfla, gangráða, loka, rafala og annan vélbúnað fengust frá framleiðendum búnaðarins í Þýskalandi (Andritz Hydro GmbH áður VA Tech Escher Wyss GmbH). Búnaðurinn var að lang mestum hluta framleiddur úr ýmiss konar stál hlutum og var hér gerð sú einföldun að taka eingöngu með í greininguna það stál sem notað var auk orkunnar sem þarf til framleiðslunnar. Allt stál til framleiðslunnar er nýtt efni (*e. virgin material*). Umhverfisáhrif við flutninga búnaðarins frá framleiðenda til Fljótsdalsstöðvar voru einnig metin. Heildarþungi vélbúnaðar framleiddur í Þýskalandi og Austurríki og fluttur til Íslands var í heild 1.329 tonn.

Búnaðurinn var fluttur frá framleiðslustað í Ravensburg (Þýskalandi) og Graz (Austurríki) til Rotterdam í Hollandi, að meðaltali 800 km með landflutningum. Sjóflutningar frá Rotterdam til Reyðarfjarðar voru 2.000 km og að síðustu var búnaðurinn fluttur með landflutningum 75 km leið að Fljótsdalsstöð.

Strengir

Upplýsingar um strengi sem liggja í strengjagöngum frá stöðvarhúsi að tengivirki voru unnar úr upplýsingum frá framleiðendum kaplanna. Heildarlengd strengja var 23.874 m og þyngd strengja var 9,1 kg/m eða í heild 217 tonn. Þar við bætast tromlur (37,8 tonn) og strengjahillur úr stáli (17,5 tonn). Framleiðsla á strengjum og strengjahillum voru teknar með í greininguna auk flutnings á strengjum, hillum og tromlum. Gert er ráð fyrir að tromlur séu sendar aftur til framleiðenda tómar.

Kaplar voru framleiddir í Frakklandi og voru fluttir 700 km til hafnar í Rotterdam. Þaðan voru kaplarnir fluttir sjóleiðis til Reyðarfjarðar (2.000 km) og svo á flutningabílum (75 km) að Fljótisdalsstöð.

Stöðvarhússkrani

Upplýsingar um stöðvarhússkrana fengust frá Andritz Hydro GmbH líkt og fyrir vélbúnaðinn. Gerð var sú einföldun að stöðvarhússkrana séu eingöngu gerðir úr stáli þar sem mjög lítt hluti krananna er úr öðrum hráefnum. Þrjár kranar voru framleiddir í Bergen í Noregi sem vega í heildina 48,5 tonn. Ekki er gert ráð fyrir að skipta þurfi um stöðvarhússkrana á 100 ára endingartímanum.

Búnaðurinn var fluttur frá Bergen til Reyðarfjarðar með sjóflutningum 1.120 km og með landflutningum frá Reyðarfirði til Fljótisdalsstöðvar 75 km.

Rekstur

Undir rekstur Fljótisdalsstöðvar fellur orkunotkun, úrgangsmyndun, förgun og akstur til förgunar og endurvinnslu, losun SF₆, viðhald steyptra mannvirkja og endurnýjun vél- og rafbúnaðar auk ferða á vegum starfsmanna stöðvarinnar. Tilvísunarár fyrir rekstur stöðvarinnar er árið 2009.

Orkunotkun

Upplýsingar um rafmagns- og eldsneytisnotkun fengust frá starfsmönnum Fljótisdalsstöðvar og úr umhverfisskýrslu Landsvirkjunar. Heildarnotkun eldsneytis árið 2009 var 20.248 lítrar og er m.a. dísilolía á farartæki, vélar og varaafli og bensín á slátturorf, notkun smurólíu var 293 lítar og rafmagns 7.182.656 kWst. Rafmagnsnotkun er því um 820 kW að meðaltali, en veitunni var breytt á árinu 2009 og sett í endanlegt horf síðla árs 2010.

Úrgangur

Magntölur fyrir úrgang ársins 2009 frá Fljótisdalsstöð fengust frá starfsmönnum stöðvarinnar og úr grænu bókhaldi Landsvirkjunar. Upplýsingar um förgun og endurvinnslu úrgangs frá Fljótisdalsstöð eru fengnar frá Íslenska gámafélaginu. Sagaplast ehf. sér um söfnun og förgun spilliefna frá Fljótisdalsstöð, og fengust viðeigandi upplýsingar beint frá fyrirtækjunum. Úrgangurinn er ýmist urðaður, brenndur, endurunninn eða notaður í moltugerð. Fyrir úrgang sem fer í endanlega förgun þ.e. brennslu eða urðun eru umhverfisáhrif reiknuð fyrir þau ferli en fyrir úrgang sem fer til endurvinnslu eru umhverfisáhrif metin fyrir flutninga til endurvinnslustöðvar. Frekari vinnslu endurvinnanlegs úrgangs er ekki fylgt eftir hér. Í töflu (ii) hér að neðan má sjá hvað verður um úrgang frá stöðinni. Heildarmagn úrgangs árið 2009 frá Fljótisdalsstöð eru 7.446 kg, þar af eru spilliefni 207

kg. Upplýsingar um hve ört úrgangur er sóttur fengust frá sorphirðu fyrirtækjum en spilliefni eru sótt eftir pöntun um það bil tvisvar sinnum á ári að meðaltali.

Tafla (ii): Magn úrgangs frá Fljótsdalsstöð árið 2009 og förgunarleiðir.

Úrgangur	Magn [kg]	Förgun/ endurvinnsla	Förgunarstaður
Almennur óflokkaður úrgangur	2.702	Urðun	Ísland
Eldhúsúrgangur - lífrænn úrgangur	188	Moltugerð	Ísland
Málmur og ýmiss búnaður	2.480	Endurvinnsla	Bretland
Pappír, pappi og umbúðir	211	Endurvinnsla	Holland
Ómálað timbur	1.540	Urðun	Ísland
Plast	88	Brennsla	Ísland
Annað	14	Urðun	Ísland
Flúrperur - raftæki	16	Urðun/ saltnámur	Ísland/ Danmörk
<i>Úrgangur samtals:</i>	7.239		
Spilliefni			
Olíuúrgangur	8	Brennsla og endurvinnsla	Ísland/ Bretland
Leysiefni	2	Brennsla	Ísland
Lífræn spilliefni	47	Brennsla og urðun	Ísland
Rafgeymar	144	Brennsla og endurvinnsla	Svíþjóð
Rafhlöður	4	Urðun og endurvinnsla	Ísland/ Danmörk
Önnur spilliefni	2	Brennsla	Ísland
<i>Spilliefni samtals:</i>	207		
<i>Heildarmagn:</i>	7.446		

Losun brennisteinshexaflúoríðs (SF₆)

Losun brennisteinshexaflúoríðs (SF₆) í andrúmsloft orsakast m.a. af leka við viðgerðir. Upplýsingar um magn SF₆ sem var notað í stöðinni árið 2009 eru fengnar frá starfsmönnum Fljótsdalsstöðvar. Losunin er mæld út frá skráningu á áfyllingu á rafbúnað en samtals var 0,5 L notaður á spenna það ár og er miðað við að það sé það magn sem losnar í andrúmsloft árlega á endingartímanum. Vert er að taka fram að hnatthlúnunarmáttur (GWP) SF₆ er mjög hár, eða 23.900 kg koltvísýringsígildi miðað við 100 ár og hefur 3.200 ára líftíma í andrúmslofti (UST, 2009).

Viðhald

Ekki er gert ráð fyrir niðurrifi á Fljótsdalsstöð eftir 100 ár í rekstri, heldur að ákveðin uppfærsla og viðhald hafi átt sér stað á þessum 100 árum. Að loknum 100 árum er því gert ráð fyrir því að Fljótsdalsstöð sé fullkomlega starfhæft orkuver. Það felur í sér að vél- og rafbúnaður hafi verið uppfærður að fullu auk þess sem steyptr mannvirki hafi verið endurnýjuð að því sem nemur 50% af upphaflegu magni steypu í steyptra kápu Kárahnjúkastíflu. Endingartími vél- og rafbúnaðar er áætlað sem 60 ár og því er skipt einu sinni um þann búnað á 100 árum. Gert er ráð fyrir að ekki þurfi að endurtaka graftar- og sprengivinnu og gerð stíflna. Að sama skapi er ekki gert ráð fyrir að skipta þurfi út stöðvarhússkrana.

Vegna viðhalds steyptra mannvirkja eru notaðar upplýsingar um magn steypu við byggingarframkvæmdirnar og er áætlað að við viðhald þurfi að nota helming magns þeirrar steypu sem notuð var í upphafi við gerð steyptrar kápu Kárahnjúkastíflu. Fyrir vél- og rafbúnað er notaðar framangreindar upplýsingar frá framleiðendum búnaðarins við mat á endurnýjun búnaðar að loknum 60 árum.

Flug vegna starfsemi Fljótsdalsstöðvar

Við útreikninga á flugferðum starfsmanna Fljótsdalsstöðvar vegna reksturs stöðvarinnar voru ferðir ársins 2009 lagðar til grundvallar. Fjöldi ferða var framreiknaður fyrir 100 ár og umreiknaður á aðgerðareiningu greiningarinnar.

Eins og áður var gert ráð fyrir að hver flugfarþegi ásamt farangri vegi samtals 100 kg að meðaltali. Fjöldi flugferða innanlands árið 2009 voru 117 en ferðir erlendis voru alls fimm, fjórar til Evrópu og ein til Bandaríkjanna. Gert var ráð fyrir að allar ferðir innanlands væru flug milli Egilsstaða og Reykjavíkur, 381 km hver ferð. Vegalengdir í millilandaflugi voru reiknaðar sem meðaltalsvegalengd þessara 5 ferða, eða 2.900 km. Flugfélag Íslands notast við Fokker 50 vélar milli Reykjavíkur og Egilsstaða og við útreikninga fyrir farþegaflugvélar í millilandaflugi er notast við upplýsingar um Boeing 737 farþegarflugvélar líkt og gert er í útreikningum um mannafla.

Losun frá lónum

Við útreikninga á losun gróðurhúsalofttegunda var notast við rannsóknir Landbúnaðarháskóla Ísland (LBHÍ) varðandi magn kolefnis í jarðvegi uppistöðulóna Landsvirkjunar (tafla (iii)). Til samræmis við útreikninga Vattenfall (Strand, 2011) og viðmiða til útreikninga gróðurhúsalofttegunda frá lónum er gert ráð fyrir að á 100 árum hafi 50% kolefnis í jarðvegi lónsstæðis verið losað í andrúmsloft (Svensson, 2005). Þar sem vatnsborð Háslóns er mjög breytilegt innan ársins má gera ráð fyrir að losun metans, en það er í samræmi við mælingar LBHÍ á losun frá Blöndulóni, Gilsárlóni og lónum á Þjórsár/Tungnár svæðinu. Samkvæmt þeim mælingum losnar um 10% af gróðurhúsalofttegundum frá lónum sem metan og um 90% sem koltvísýringur (CO₂). Miðað er við þetta hlutfall í útreikningum vistferilsgreiningarinnar.

Tafla (iii): Heildarmagn kolefnis (C) í uppistöðulónum Fljótsdalsstöðvar.

Lón	Kg C á fermetra lónstæðis	Stærð lóns [km ²]	Kg C í lóni
Háslón	3,27	56,6	185.082.000
Kelduárlón	6,42	6,8	43.656.000
Ufsárlón	7,51	1,1	8.261.000
Grjótárlón	2,06	0,09	185.400
Samtals:			237.184.400

Landbótasjóðir

Upplýsingar um starfsemi Landbótasjóða Norður-Héraðs og Fljótsdalshrepps eru fengnar úr ársskýrslum og frá Landgræðslu ríkisins en í heild hefur verið borið á 45,7 km² svæði, en er þá ekki tekið tillit til svæða þar sem áburði og fræjum hefur verið dreift á oftast en einu sinni, en að jafnaði er gert ráð fyrir að dreift sé á hvert uppgræðslusvæði þrisvar sinnum (Landsvirkjun, 2009). Ekki hefur verið tekið saman að svo stöddu stærð þess lands sem grætt hefur verið upp jafnframt sem starfinu er ekki lokið. Hér er því gert ráð fyrir að í heildina muni hvor landbótasjóður græða upp og bæta 32 km² lands á 15 árum, eða í heild 64 km².

Við uppgræðslustarf hefur tilbúnum áburði verið dreift með dráttavélum, að meðaltali um 160 kg/ha fyrir Norður-Hérað og 236 kg/ha í Fljótsdalshreppi. Einnig hefur grasfræi verið dreift hjá báðum sjóðum, að meðaltali 929 kg/ári í Norður-Héraði og 265 kg/ári í Fljótsdalshreppi.

Landgræðsla ríkisins vinnur að landsúttekt á kolefnisbindingu í landgræðslu og er fyrsta mælitímabil úttektarinnar árin 2007 - 2011. Fyrstu niðurstöður frá bindingu í mældum reitum eru notaðar hér við útreikninga á bindingu kolefnis vegna landbóta á vegum ofanefndra landbótasjóða. Gert er ráð fyrir að binding sé 2 tonn CO₂/ha/ári (Guðmundur Halldórsson og Jóhann Þórsson, 2010).

Framleiðsla áburðar og grasfræja er ekki innan kerfismarka þessara vistferilsgreiningar, eingöngu flutningar frá framleiðendum. Gert er ráð fyrir að áburður og grasfræ séu flutt frá framleiðenda í Reykjavík til Egilsstaða með flutningabíl 1 sinni á ári í þau 15 ár sem unnið er að uppgræðslu og landbótum. Áburði er dreift með dráttarvélum og er gert ráð fyrir að dreifarinn taki 2,4 tonn af áburði í hverri ferð og hafi 34 metra vinnslubreidd (NN, 2006).

VIÐAUKI 2 – NIÐURSTÖÐUR

Hér að neðan er tafla (iv) sem sýnir helstu niðurstöður vistferilsgreiningarinnar. Taflan inniheldur upplýsingar um helstu notkun auðlinda sem og umhverfisáhrif frá vinnslu á 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð.

Tafla (iv): Helstu niðurstöður vistferilsgreiningarinnar (notkun auðlinda og umhverfisáhrif)

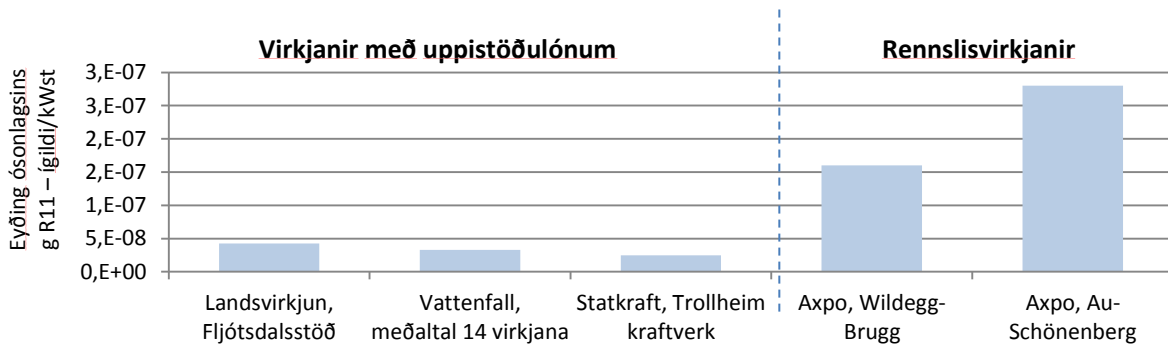
ÍLAG				
Auðlindanotkun	Eining/ kWst	Framkvæmdir	Rekstur og viðhald	Samtals
<i>Óendurnýjanlegar efnislegar auðlindir</i>				
Stein- og jarðefni	g	107	7,7E-02	107
Kalksteinn (CaCO ₃)	g	1,5E-01	1,2E-03	1,5E-01
Járngrýti	g	5,5E-02	9,2E-03	6,4E-02
Kopar - gull - silfur málmgrýti	g	2,8E-02	2,8E-02	5,7E-02
Gifs (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	g	9,0E-03	-1,4E-05	9,0E-03
Sink - kopar málmgrýti	g	3,3E-03	3,3E-03	6,6E-03
Leir	g	5,8E-03	4,3E-05	5,8E-03
Sink - blý - kopar málmgrýti	g	2,5E-03	2,5E-03	5,0E-03
Kopar málmgrýti	g	2,1E-03	2,0E-03	4,1E-03
Dólómít CaMg(CO ₃) ₂	g	1,2E-03	1,2E-04	1,3E-03
Báxít	g	6,6E-04	1,8E-04	8,4E-04
Mór	g	7,4E-04	5,5E-06	7,5E-04
Barít (þungspat, BaSO ₄)	g	5,6E-04	1,8E-05	5,7E-04
Mangan málmgrýti	g	3,4E-04	8,5E-05	4,3E-04
Nikkel málmgrýti	g	2,4E-04	1,5E-04	3,9E-04
Títan málmgrýti	g	2,5E-04	3,4E-08	2,5E-04
Bentónít	g	2,2E-04	6,6E-06	2,3E-04
Salt (NaCl)	g	1,3E-04	8,0E-05	2,1E-04
Mólýbden (Mo)	g	1,4E-05	4,0E-08	1,4E-05
Króm málmgrýti	g	4,2E-06	3,3E-07	4,5E-06
Flúrspat (CaF ₂)	g	1,9E-06	1,2E-06	3,1E-06
Ólivín ((Mg, Fe) ₂ SiO ₄)	g	8,6E-10	6,2E-10	1,5E-09
Brennisteinn	g	1,8E-10	8,7E-11	2,6E-10
Feldspat	g	2,4E-20	2,3E-20	4,7E-20
<i>Óendurnýjanlegir orkugjafar</i>				
Hráolía	MJ	9,8E-03	3,2E-04	1,0E-02
Steinkol (Hard coal)	MJ	2,1E-03	1,6E-04	2,3E-03
Úran	MJ	1,3E-03	2,4E-05	1,4E-03
Jarðgas	MJ	1,1E-03	5,0E-05	1,2E-03
Brúnkol (Lignite)	MJ	4,0E-04	1,1E-05	4,1E-04
<i>Endurnýjanlegir orkugjafar</i>				
Vatnsafl	MJ	2,3E-03	6,3E-03	8,7E-03
Sólarorka	MJ	4,9E-05	3,7E-06	5,3E-05
Vindorka	MJ	3,3E-05	1,0E-06	3,4E-05
Jarðhiti	MJ	1,7E-03	6,0E-08	1,7E-03
Aðrir endurnýjanlegir orkugjafar	MJ	1,8E-07	8,6E-08	2,6E-07
Lífmassi	MJ	5,1E-08	4,8E-08	9,9E-08
Viður	MJ	7,7E-09	1,2E-09	8,9E-09
Orka frá sjávarföllum	MJ	1,5E-10	1,4E-10	2,9E-10

Vatnsnotkun				
Grunnvatn		29	0,1	29
Vatn, uppruni þekktur		1,5	6,6E-02	1,6
Vatn, uppruni óþekktur	g	3,5E-01	6,0E-05	3,5E-01
Sjór		9,4E-02	9,5E-03	1,0E-01
FRÁLAG				
Umhverfisáhrif	Eining/ kWst	Framkvæmdir	Rekstur og viðhald	Samtals
Gróðurhúsaáhrif	g CO ₂ - ígildi	1,0	1,6	2,6
Súrt regn	g SO ₂ - ígildi	5,6E-03	1,8E-04	5,7E-03
Næringarefnaauðgun	g PO ₄ ³⁻ - ígildi	6,7E-04	2,6E-05	6,9E-04
Virgni sólarljóss til myndunar ósons	g C ₂ H ₄ - ígildi	4,3E-04	2,1E-04	6,4E-04
Eyðing ósonlagsins	g R11 - ígildi	4,2E-08	7,7E-10	4,3E-08
Losun efna í andrúmsloft er valda ofangreindum umhverfisáhrifum				
Koltvísýringur (CO ₂)		9,6E-01	8,8E-01	1,8
Metan (CH ₄)		1,5E-03	3,2E-02	3,4E-02
Köfnunarefnisoxíð (NO _x)		4,8E-03	1,9E-04	5,0E-03
Kolmónoxíð (CO)		2,3E-03	2,2E-04	2,5E-03
Brennisteinstvíoxíð (SO ₂)		1,8E-03	7,0E-05	1,9E-03
Brennisteinsvetni (H ₂ S)		5,7E-04	4,2E-07	5,7E-04
Rokgjörn, lífræn efnasambönd önnur en metan (NMVOC)		4,2E-04	1,2E-05	4,3E-04
Vetnisklórið (HCl)		2,2E-05	4,5E-07	2,2E-05
Tvíköfnunarefnisoxíð (hláturgas) (N ₂ O)		1,6E-05	6,4E-07	1,7E-05
Rokgjörn, lífræn efnasambönd (VOC)	g	7,7E-06	5,6E-07	8,3E-06
Ammóníak (NH ₃)		6,1E-06	1,6E-07	6,3E-06
Vetniskolefni		1,8E-06	1,6E-06	3,4E-06
Köfnunarefnistvíoxíð (NO ₂)		1,7E-06	1,3E-06	3,0E-06
Vetnisflúoríð (HF)		1,8E-06	8,7E-08	1,9E-06
Brennisteinsýra (H ₂ SO ₄)		5,2E-07	5,2E-07	1,0E-06
Brennisteinshexaflúoríð (SF ₆)		9,4E-11	1,0E-07	1,0E-07
Ammóníum (NH ₄ ⁺)		6,9E-10	7,0E-11	7,6E-10
Brómsýra (HBr)		4,1E-10	1,1E-11	4,2E-10
Köfnunarefnismónoxíð (NO)		5,8E-11	8,7E-11	1,5E-10
Lífræn klórsambönd		9,8E-13	4,5E-13	1,4E-12
Ammóníumnítrat (NH ₄ NO ₃)		3,3E-13	2,3E-13	5,6E-13
Losun efna í vatn				
Klórið		4,24E-04	3,7E-05	4,6E-04
Súlfat		1,30E-04	2,2E-05	1,5E-04
Natríum (+I)		1,40E-04	4,1E-06	1,4E-04
Járn		8,82E-05	3,3E-06	9,2E-05
Karbónat		6,92E-05	3,1E-06	7,2E-05
Flúoríð	g	3,40E-05	5,9E-06	4,0E-05
Kalsíum (+II)		2,58E-05	7,5E-07	2,7E-05
Súlfíð (SO ₃)		8,56E-06	3,4E-07	8,9E-06
Olía		4,43E-06	5,9E-07	5,0E-06
Ammóníum/ammoníak (NH ₄ ⁺ / NH ₃)		4,23E-06	3,5E-07	4,6E-06
Nítrat (NO ₃)		2,46E-06	9,8E-08	2,6E-06
Fjölarómatísk vetniskolefni (PAH)		1,88E-06	3,0E-07	2,2E-06

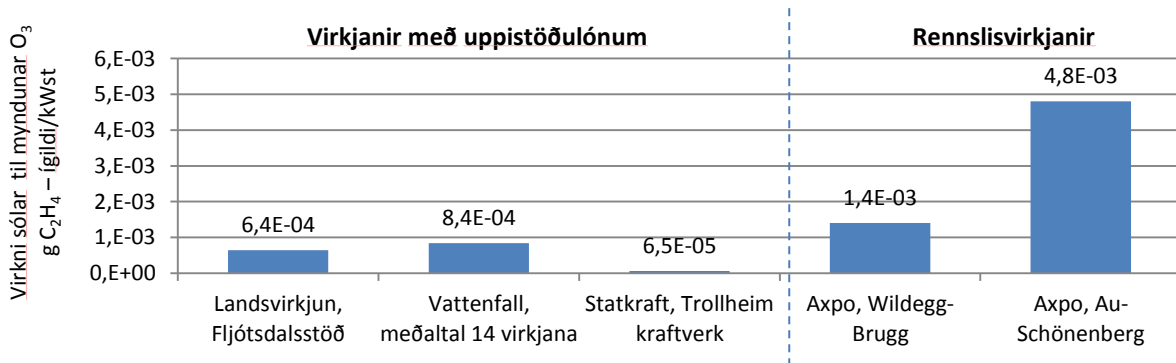
<i>Losun efna í jarðveg</i>					
Ammoníak (NH ₃)		4,05E-05	1,52E-06	4,2E-05	
Kalsíum (+II)		2,10E-05	4,06E-06	2,5E-05	
Klóríð		1,30E-05	6,34E-07	1,4E-05	
Kalíum (+I)		8,71E-06	1,28E-06	1,0E-05	
Strontíum (Sr)		7,14E-06	2,18E-07	7,4E-06	
Súlfíð (SO ₃)	g	5,61E-06	1,07E-06	6,7E-06	
Natríum (+I)		5,43E-06	6,79E-07	6,1E-06	
Fosfór		3,47E-06	1,59E-07	3,6E-06	
Magnesíum (+III)		2,30E-06	5,51E-07	2,8E-06	
Súlfat (SO ₄)		9,34E-07	1,78E-07	1,1E-06	
Olía		3,02E-07	2,81E-08	3,3E-07	
<i>Úrgangur</i>					
Úrgangur til förgunar		1,3,E-02	8,1,E-04	1,4E-02	
Úrgangur til endurvinnslu	g	1,1,E-02	5,7,E-04	1,1E-02	
Annar úrgangur		3,1,E-03	3,5,E-04	3,5E-03	
Hættulegur úrgangur		1,5,E-03	4,2,E-05	1,5E-03	

VIÐAUKI 3 – UMHVERFISÁHRIF VATNSAFLSVIRKJANA

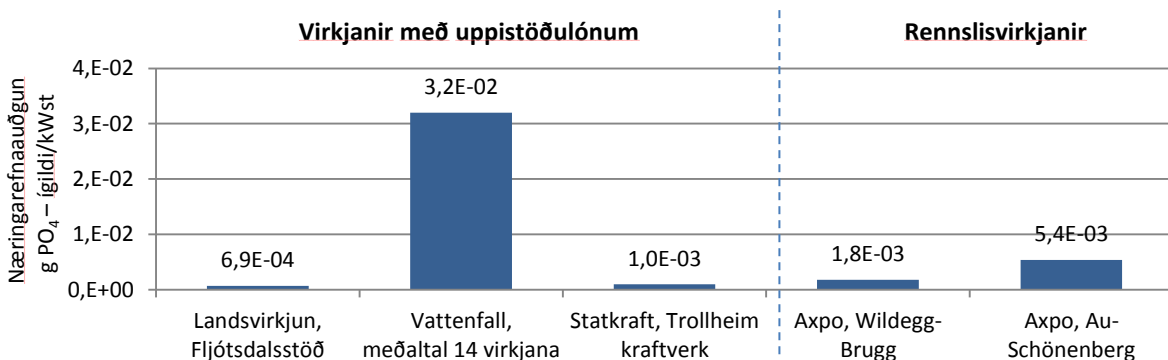
Samanburður umhverfisáhrifa við vinnslu 1 kWst raforku í vatnsaflsvirkjunum Landsvirkjunar, Vattenfall, Statkraft og rennslisvirkjunum Axpo í Sviss má sjá á myndum (i) – (iii). Umhverfisáhrif vegna rennslisvirkjananna í Sviss er hærri en fyrir virkjanir með uppistöðulón í öllum tilfellum nema fyrir næringarefnaauðgun. Næringarefnaauðgun er langsamlega hæst fyrir virkjanir Vattenfall. Ástæður þess má m.a. rekja til þess að uppistöðulón Vattenfall eru ferskvötn þar sem ljóstillífun á sér stað, en við það að land fari undir vatn losna næringarefni í jarðvegi sem geta valdið næringarefnaauðgun. Miðlunarlón Fljótsdalsstöðvar myndast frá jökulám sem í er mikið magn aurs og næringarefni í mjög takmörkuðu magni.



Mynd (i): Losun lofttegunda er valda eyðingu ósonlagnsins (g R11 ígildi/kWst) við raforkuvinnslu með vatnsafla á Norðurlöndum og í Sviss



Mynd (ii): Losun lofttegunda er valda virkni sólar til myndunar ósons við yfirborð jarðar (g C₂H₄ ígildi/kWst) við raforkuvinnslu með vatnsafla á Norðurlöndum og í Sviss



Mynd (iii): Losun lofttegunda er valda næringarefnaauðgun (g PO₄ ígildi/kWst) við raforkuvinnslu með vatnsafla á Norðurlöndum og í Sviss