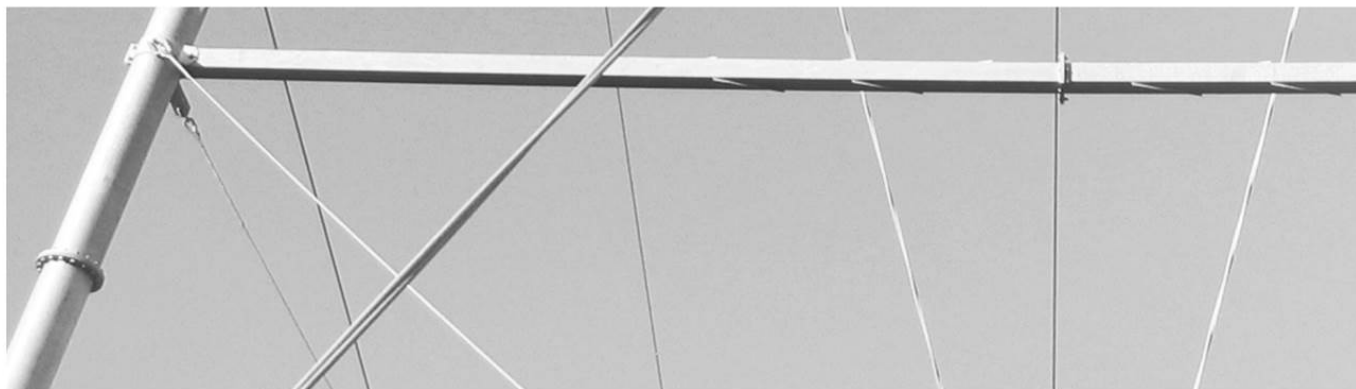




VISTFERILSGREINING FYRIR FLUTNINGSKERFI RAFORKU

Uppfærð greining fyrir flutning raforku á 220 kV, 132 kV og 66 kV spennu

10.01.2025



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ**SKJALALYKILL**

103643-SKY-01

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

01/70

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUÐA

Engilráð Ósk Einarsdóttir

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Alexandra Kjeld

LYKILORÐ

Vistferilsgreining, Life Cycle Assessment (LCA), kolefnisspor, flutningskerfi raforku

STAÐA SKÝRSLU

- ☐ Í vinnslu
☐ Drög til yfirlustrar
☒ Lokið

DREIFING

- ☐ Opin
☒ Dreifing með leyfi verkkaupa
☐ Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Vistferilsgreining fyrir flutningskerfi raforku. Uppfærð greining fyrir flutning raforku á 220 kV, 132 kV og 66 kV spennu

VERKHEITI

Vistferilsgreining fyrir flutningskerfi raforku

VERKKAUÐI

Landsnet

HÖFUNDAR

Alexandra Kjeld, Eldar Máni Gíslason, Eva Yngvadóttir, Helga J. Bjarnadóttir

ÚTDRÁTTUR

Markmið þessa verkefnis er að greina og meta umhverfisáhrif raforkuflutnings í flutningskerfi Landsnets með aðferðafræði vistferilsgreiningar. Fyrstu niðurstöður greiningar voru birtar árið 2018 en hér er á ferð uppfærð greining miðað við nýrri forsendur. Greiningin byggir á öllum meginflutningslínunum raforku reknar á 66 kV, 132 kV og 220 kV spennu. Metin voru umhverfisáhrif fyrir 8 megin flokka umhverfisáhrifa og eru niðurstöður reiknaðar fyrir flutning á 1 kWst raforku í flutningskerfinu. Áhrifin eru reiknuð fyrir allan vistferilinn, þ.e. frá öflun hráefna yfir í framleiðslu byggingarhluta flutningskerfisins og lagningu lína, rekstur kerfisins í 60 ár og að lokum yfir í uppgröft jarðstrengja eða niðurrif lína. Öflun hráefna og framleiðsla á byggingarhlutum kerfisins veldur mestum umhverfisáhrifunum í flestum flokkum umhverfisáhrifa. Kolefnisspor flutningskerfisins er 0,75 g CO₂-ígildi/kWst og má rekjarúmlega fjórðung gróðurhúsaáhrifa til flutningstapa á rekstartíma. Greiningin nýtist í umhverfisstjórnun, vistvænni hönnun og innkaupum, upplýsingamiðlun og sem grunnur fyrir frekari greiningar.

SAMANTEKT

Orkuvinnsla og orkunotkun er valdur að u.þ.b. þremur fjórðu heildarlosunar gróðurhúsalofttegunda á heimsvísu, auk annarra áhrifa á borð við aukningu í svifryki, súru regni, næringarefnaauðgun og eyðingu auðlinda. Markmið þessa verkefnis er að greina og meta umhverfisáhrif raforkuflutnings í flutningskerfi raforku hjá Landsneti með aðferðafræði vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Assessment, LCA). Greiningin er unnin í samræmi við staðlana ISO 14040 og ISO 14044 og Evrópustaðalinn EN 15804 um sjálfbærni í byggingariðnaði, auk þess sem stuðst er við leiðbeiningar um framkvæmd vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisýfirlýsinga. Niðurstöðurnar draga fram hvar í vistferli flutningskerfisins greina megi mestu áhrifin í hverjum umhverfisáhrifaflokki, hvernig umhverfisáhrif verða til á hverjum stað í vistferlinum, auk þess sem hægt er að meta stærðir á borð við kolefnisspor raforkuflutnings.

Árið 2018 var gefin út skýrsla með niðurstöðum vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi raforku á Íslandi. Frá því að skýrslan var gefin út hafa ýmsar forsendur breyst, t.d. hefur flutningskerfið stækkað, Landsnet hefur sett sér loftslagsmarkmið og skilgreint aðgerðaráætlun og hefur þegar náð töluverðum árangri í að draga úr losun vegna rekstrar. Þá eru vistferilsgreiningar lifandi verkfæri sem þarf að uppfæra samhliða því að nýjar og betri upplýsingar koma fram. Fyrri niðurstöður vistferilsgreiningarinnar á kerfinu, líkanið og einstakir hlutar hennar hafa þegar nýst í ýmsum tilgangi, m.a. til þess að meta kolefnisspor sviðsmynda í kerfisáætlun, meta ávinning af nýjum tengivirkisbúnaði og til þess að bera saman kolefnisspor nýrra mannvirkja, og eru þetta eingöngu nokkur dæmi um hagnýtingu á niðurstöðum.

Niðurstöður greiningarinnar eru reiknaðar fyrir flutning á 1 kWst raforku í flutningskerfinu. Byggir greiningin á öllum flutningslínunum raforku sem voru í eigu og rekstri Landsnets í ársbyrjun 2023 og reknar eru á 220 kV, 132 kV og 66 kV spennu. Kerfið samanstendur af um 3.600 km af loftlínunum og jarðstrengjum, auk tengivirkja, sem flytja að meðaltali um 19 TWst árlega. Miðað er við 60 ára líftíma flutningskerfisins og er á þessum tíma m.a. gert ráð fyrir endurnýjun jarðstrengja og hluta loftlína og rafbúnaðar tengivirkja. Metin eru umhverfisáhrif sem eiga sér stað á öllum stigum vistferilsins, þ.e. frá því hráefni á borð við málma, plastefni og steypu eru unnin og önnurbyggingarefni flutningskerfisins eru framleidd, að meðtöldum flutningum, þangað til línur eru lagðar, kerfið rekið á 60 ára líftíma og uns loftlínur eru teknar niður, jarðstrengir grafnir upp og hráefni endurunnin eða þeim fargað. Við greininguna var stuðst við magntölur, mælingar og áætlanir frá Landsneti, framleiðendum og verktökum, og eru gæði gagnanna sem vistferilsgreiningin byggir á talin góð.

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar sýna að öflun hráefna til flutningskerfisins og framleiðsla á byggingarhlutum þess, einkum framleiðsla mastra og leiðara, veldur mestu umhverfisáhrifunum í flestum umhverfisáhrifaflokkum. Bygging kerfisins vegur töluvert í heildina í þremur flokkum, og í öllum áhrifaflokkum skilar endurvinnsla efna ávinningi að loknum líftímanum, þ.e. dregur úr umhverfisáhrifum. Kolefnisspor flutningskerfisins er 0,75 g CO₂-ígildi/kWst. Flutningstöp á rekstrartíma valda rúmlega fjórðungi áhrifanna eða samanlagt 28%. Þetta má að stærstum hluta rekja til losunar CO₂ frá vinnslu raforku með jarðvarma á Íslandi. Gasleki (SF₆) í tengivirkjum er um 18% kolefnissporsins og af þeim byggingarhlutum sem mynda flutningskerfið eiga leiðarar stærstu hlutdeild í kolefnissporinu eða 17%. Aðrir byggingarhlutar sem valda töluverðum hluta heildarlosunar gróðurhúsalofttegunda eru möstur (7%) og tengivirki (8%). Með endurvinnslu á stáli í möstrum og áli í leiðurum í lok líftíma má minnka kolefnisspor um 10% miðað við forsendur þessarar greiningar.

Miðað við skýrslur vísindanefndar Sameinuðu þjóðanna um loftslagsmál (IPCC) er orðið ljóst hversu brýnt er að draga stórkostlega úr losun gróðurhúsalofttegunda með öllum tiltækum ráðum áður en það verður um seinan og hlýnun jarðar fer yfir 1,5°C. Öll fyrirtæki geta lagt sitt af mörkum og í uppbyggingu og rekstri flutningskerfisins felast mörg tækifæri til að draga úr umhverfisáhrifum, ekki síst losun gróðurhúsalofttegunda, t.d. með því að halda flutningstöpum í lágmarki og að draga úr SF₆ leka í kerfinu eins og kostur er. Draga má úr gróðurhúsáhrifum leiðara, mastra og jarðstrengja með vistvænni innkaupum, þ.e. með því að próa aðferðir til þess að styðja val á framleiðendum vara sem eru með og geta sýnt fram á lægra kolefnisspor vöru sinnar en sambærilegra vara á samkeppnismarkaði. Einnig eru tækifæri til að draga úr kolefnissporinu með ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis og/eða notkun á umhverfisvænni orkugjöfum á öllum vistferlinum, sérstaklega þegar byggingarframkvæmdir eiga sér stað. Að lokum sést vel í þessari greiningu hvernig öll endurvinnsla hráefna að líftíma loknum skilar sér í ávinningi fyrir umhverfið.

Vistferilsgreininguna má nota með beinum hætti sem verkfæri í umhverfisstjórnun, meðal annars til ákvarðanatöku um aðgerðir til að draga úr umhverfisáhrifum raforkuflutnings, hvort sem um er að ræða í hönnun, undirbúningi framkvæmda, við innkaup eða í rekstri. Vistferilsgreining er undirstaða loftslagsstýringar, sem fellur undir umhverfisstjórnun. Með því að áætla kolefnisspor framkvæmdarverkefna á áætlunar- og hönnunarstigi má t.a.m. skilgreina markmið og verkferla til þess að draga úr áhrifum frá frumhönnun yfir í fullnaðarhönnun, frá útboði og til loka framkvæmdaverks.

Greiningin er auk þess grunnur fyrir frekari kannanir á borð við samanburð valkosta í kerfisáætlun, samanburð á byggingarhlutum eða mannvirkjum með tilliti til efnismagns og hönnunar, eða næmnigreiningar á flutningstöpum og leiðaravali, svo einhver dæmi séu nefnd. Allt eru þetta greiningar sem má beita með það fyrir augum að draga úr umhverfisáhrifum kerfisins. Niðurstöðurnar má einnig nýta í upplýsingamiðlun um umhverfisáhrif til hagsmunaaðila og almennings.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	3
EFNISYFIRLIT	5
MYNDASKRÁ	6
TÖFLUSKRÁ	
ORÐSKÝRINGAR	8
1 INNGANGUR	9
1.1 Bakgrunnur verkefnisins	9
1.2 Tilgangur og markmið vistferilsgreiningar	10
1.3 Flutningskerfi Landsnets í ársbyrjun 2023	11
1.4 Uppfært líkan og niðurstöður	13
2 VISTFERILSGREINING FLUTNINGSKERFIS RAFORKU	14
2.1 Aðgerðareining og líftími	14
2.2 Kerfismörk	15
2.3 Umhverfisáhrif	16
3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA	17
3.1 Öflun hráefna og framleiðsla (A1-A3)	17
3.2 Flutningar og bygging (A4-A5)	24
3.3 Rekstur og viðhald (B1-B6)	26
3.4 Niðurrif og förgun (C1-C4)	29
3.5 Endurvinnsla (D)	29
4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR	30
4.1 Umhverfisáhrif á vistferli flutningskerfis Landsnets	30
4.2 Vægi umhverfisáhrifaflokka í evrópsku samhengi	33
4.3 Niðurstöður fyrir hvern fasa vistferilsins	35
4.4 Kolefnisspor flutningskerfisins	40
5 UMRÆÐUR	44
5.1 Gæði gagna og notkun á niðurstöðum	44
5.2 Uppfært kolefnisspor og helstu breytingar	44
5.3 Samanburður við erlendar greiningar	45
5.4 Nýting á niðurstöðum vistferilsgreininga	46
6 HEIMILDASKRÁ	51
VIÐAUKI A UMhverfisáhrifaflokkar og aðferðir	56
VIÐAUKI B NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR	59

MYNDASKRÁ

MYND 1.1	Flutningskerfi Landsnets í ársbyrjun 2023. _____	11
MYND 1.2	Flutningskerfi Landsnets í ársbyrjun 2023, hlutfall lína á hverju spennustigi af heildarlínulengd. _____	12
MYND 2.1	Einfölduð mynd af kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar fyrir flutningskerfi Landsnets, ásamt helstu ílags- og frálagsþáttum. _____	15
MYND 3.1	Reising háspennumasturs. Ljósmynd EFLA. _____	19
MYND 3.2	Steypastyrktarjárn í undirstöðum. Ljósmynd EFLA. _____	20
MYND 3.3	Einangrar á leiðara sem tengdur er inn í tengivirki. Ljósmynd EFLA. _____	21
MYND 3.4	Dæmigerður 220 kV álstrengur með mikla flutningsgetu [24]. _____	22
MYND 3.5	Tengivirki í Fljótsdal. Á myndinni sjást Fljótsdalslínur 3 og 4, ásamt Kröflulínu 2, tengjast tengivirkinu. Ljósmynd EFLA. _____	23
MYND 3.6	Frá byggingu tengivirkis á Bakka veturinn 2016-2017. Ljósmynd Landsnet. _____	24
MYND 3.7	Lagning 132 kV Nesjavallalínu 2 árið 2009 í hefðbundinn opinn skurð [24]. _____	25
MYND 4.1	Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets. Hlutdeild mismunandi þátta vistferilsins má sjá fyrir mismunandi flokka umhverfisáhrifa. _____	31
MYND 4.2	Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets. Hlutdeild þriggja megin spennustiga flutningskerfisins, 220 kV, 132 kV og 66 kV, í heildaráhrifum hvers flokks umhverfisáhrifa. _____	33
MYND 4.3	Myndin sýnir innbyrðis vægi allra flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum við flutning raforku í flutningskerfi Landsnets. _____	34
MYND 4.4	Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir öflun hráefna og framleiðslu byggingarhluta (A1-A3) í flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöðum er skipt upp eftir öllum byggingarhlutum flutningskerfisins. _____	35
MYND 4.5	Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöðum er skipt upp eftir flutningum allra byggingarhluta til landsins og byggingu flutningskerfisins (A4-A5). _____	36
MYND 4.6	Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöðum er skipt upp eftir öllum rekstrarþáttum flutningskerfisins (B1-B6) yfir 60 ára líftíma þess. _____	37
MYND 4.7	Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöður eru sýndar fyrir lok líftíma flutningskerfisins, þ.e. niðurrif og förgun (C1-C4/D). _____	38
MYND 4.8	Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöðum er skipt upp eftir þeim ávinningi sem hlýst af endurvinnslu málma í lok líftíma kerfisins (D). _____	39
MYND 4.9	Kolefnisspor flutningskerfisins, rekið á 220 kV, 132 kV og 66 kV spennu. _____	40
MYND 4.10	Kolefnisspor flutningskerfis raforku, sem rekið er á 220 kV, 132 kV og 66 kV spennustigi. Niðurstöður eru birtar í koldíoxíðsígildum (g CO ₂ -ígildi) fyrir flutning á 1 kWst í flutningskerfinu öllu. _____	41
MYND 4.11	Kolefnisspor raforkuflutningskerfisins á hvern km innan hvers spennustigs; 220 kV, 132 kV og 66 kV. _____	42
MYND 4.12	Kolefnisspor raforkuflutningskerfisins á hverja flutta kWst innan hvers spennustigs; 220 kV, 132 kV og 66 kV. _____	43
MYND 5.1	Kolefnisspor framleiðslu, byggingu og niðurrif mannvirkja fyrir mismunandi valkosti í kerfisáætlun 2020-2029 (2020) [66]. Gefin eru upp töluleg gildi í þúsundum tonna (Gg) CO ₂ ígilda fyrir hvern valkost. Styrking meginflutningskerfisins á Vestfjörðum er ekki inn í útreikningum. Valkostir í kerfisáætlun taka reglubundnum breytingum eftir því sem kerfið þróast og valkostir eru metnir. _____	47

MYND 5.2	Samanburður á kolefnisspori fjögurra ólíkra tegunda tengivirkisbúnaðar sem byggð eru fyrir 132 kV spennustig (minnisblað EFLA, 2022) [67].	48
MYND 5.3	Dæmi um kolefnisspor loftlínu á frumhönnunarstigi. Kolefnisspor ólíkra valkosta úr línuleið fyrir Holtavörðuheidiðarlínu 1, sett fram sem tonn CO ₂ -ígilda fyrir hvern valkost [71].	49

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1.1	Loftlínur og jarðstrengir ásamt flutningsvegalengdum í flutningskerfi Landsnets. Miðað er við allar línur í ársbyrjun 2023 [10]. Í ársbyrjun 2024 voru heildarlínur innan 66 kV kerfisins 1060,5 km en 132 kV, 33 kV og 220 kV kerfin óbreytt frá árinu áður [11]	12
TAFLA 2.1	Áætlaður líftími mismunandi hluta flutningskerfisins	14
TAFLA 2.2	Yfirlit yfir mismunandi hluta í vistferli flutningskerfi Landsnets sem liggja innan kerfismarka og flokkun samkvæmt EN 15804+A2.	15
TAFLA 2.3	Umhverfisáhrifaflokkar í samræmi við staðal EN 15804+A2 og PEF.	16
TAFLA 3.1	Efnismagn loftlína í flutningskerfi Landsnets.	18
TAFLA 3.2	Helstu tölur fyrir jarðstrengi í kerfi Landsnets, reknir á 220 kV, 132 kV og 66 kV spennu.	22
TAFLA 3.3	Magntölur fyrir tengivirki á hverju spennustigi í flutningskerfinu.	23
TAFLA 3.4	Eldsneytisnotkun vegna jarðvinnu og slóðagerðar í 132 kV og 220 kV loftlínukerfunum.	25
TAFLA 3.5	Eldsneytisnotkun vegna lagningar jarðstrengja og reisingu loftlína.	25
TAFLA 3.6	Heildarleki SF ₆ hjá Landsneti á árunum 2016-2022.	26
TAFLA 3.7	Flutningur og flutningstöp í kerfi Landsnets. Heildartölur um flutning og flutningstöp byggja á meðaltali árána 2010-2014.	27
TAFLA 3.8	Losunarstuðlar Umhverfisstofnunar (6. útgáfa 2024) sem notaðir eru til að meta losun vegna flutningstapa [33].	28
TAFLA 4.1	Hlutfallsleg skipting áhrifa (%) í metnum umhverfisáhrifaflokkum, þar sem öllum niðurstöðum vistferilsgreiningar er skipt upp eftir mismunandi stigum vistferils (A-D).	32
TAFLA 4.2	Kolefnisspor raforkuflutningskerfisins á hvern km innan hvers spennustigs; 220 kV, 132 kV og 66 kV. Gefnar eru upp meðaltölur innan hvers fasa vistferilsins, út frá greiningu á núverandi raforkuflutningskerfi Landsnets.	42
TAFLA 4.3	Kolefnisspor raforkuflutningskerfisins á hverja flutta kWst innan hvers spennustigs; 220 kV, 132 kV og 66 kV. Gefnar eru upp meðaltölur innan hvers fasa vistferilsins, út frá greiningu á núverandi raforkuflutningskerfi Landsnets.	43
TAFLA 5.1	Gróðurhúsaáhrif vegna flutningstapa í 220 kV flutningskerfi Landsnets, norska flutningskerfinu (Jorge & Hertwich, 2013), breska flutningskerfinu (Harrison et al., 2010), og gríska flutnings- og dreifikerfinu (Orfanos et al., 2019)	46

ORÐSKÝRINGAR

Aðgerðareining	(e. Functional unit). Viðmiðunareining vistferilsgreiningar. Notuð til samanburðar á niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir sambærilega vöru eða þjónustu.
EPD	Umhverfisyfirlýsing (e. Environmental Product Declaration).
GHL	Gróðurhúsalofttegundir.
GWP	Hnatthlýunarmáttur (e. Global Warming Potential), sjá einnig Kolefnisspor.
IPCC	Milliríkjanefnd um loftslagsbreytingar (e. Intergovernmental Panel on Climate Change).
ISO	Alþjóðlegu staðlasamtökin (e. International Standards Organisation).
Kerfismörk	(e. System boundaries). Afmörkun þess kerfis sem taka á með í vistferilsgreiningunni.
Kolefnisspor	(e. Carbon footprint). Mælikvarði á gróðurhúsaáhrifum, þ.e. á heildarlosun koldíoxíðs (CO ₂) og annarra gróðurhúsalofttegunda sem rekja má til athafna mannsins og hefur áhrif á loftslagsbreytingar. Kolefnisspor er gefið upp í CO ₂ -ígildum.
LCA	Vistferilsgreining (e. Life Cycle Assessment), sjá skilgreiningu hér að neðan.
LCIA	Niðurstöður vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Impact Assessment).
Umhverfisáhrifaflokkur	(e. Impact category). Flokkur sem vísar til tegundar umhverfisáhrifa. Dæmi um umhverfisáhrifaflokk eru gróðurhúsaáhrif, eyðing auðlinda, svifryk, visteiturhrif og næringarefnaauðgun. Sjá viðauka A þessarar skýrslu fyrir nánari skýringar á þeim aðferðum sem ILCD handbókin mælir með að nota innan hvers flokks (JRC-IEC, 2011).
Umhverfisyfirlýsing	(e. Environmental Product Declaration, EPD). Yfirlýsing eða skjal um umhverfisáhrif vöru. Við gerð umhverfisyfirlýsinga er reglum um viðeigandi vörflokk fylgt (e. Product Category Rules) og er skjalið tekið út af þriðja aðila skv. staðli (ISO 14025). Skjalið gefur ekki til kynna að varan eða þjónustan sé umhverfisvæn, heldur veitir eingöngu gagnsæjar og samanburðarhæfar upplýsingar um umhverfisáhrif vöru.
Vistferilsgreining	(e. Life Cycle Assessment, LCA). Aðferðafræði til þess að meta umhverfisáhrif vöru eða þjónustu yfir allan vistferil hennar, á skilgreindum líftíma. Aðferðin er stöðluð og því má nýta niðurstöður til samanburðar við sambærilega vöru eða þjónustu. Undanfari vistferilsgreiningar er gagnasöfnun (e. Life Cycle Inventory, LCI). Í framhaldinu er lagt mat á umhverfisáhrif vöru eða þjónustu í mismunandi flokkum umhverfisáhrifa (e. Life Cycle Impact Assessment, LCIA).
VOC	Rokgjörn, lífræn efnasambönd (e. Volatile Organic Compounds).

1 INNGANGUR

1.1 Bakgrunnur verkefnisins

Orkugeirinn, þ.e. orkuvinnsla- og orkunotkun, er ábyrgur fyrir u.þ.b. þremur fjórðu heildarlosunar gróðurhúsalofttegunda á heimsvísu [1]. Losunin hefur aukist um u.þ.b. 50% frá árinu 1990 [2], og gert er ráð fyrir að heildarlosunin muni hafa náð sögulegu hámarki árið 2024. Aukningin hefur hægt verulega á sér síðastliðin ár og binda menn vonir við að losun fari lækkandi á allra næstu árum. Enn er þó langt í land áður en við náum markmiðum Parísarsamkomulagsins um að ná núlllosun árið 2050 og þörfin aldrei brýnni á hröðum og umfangsmiklum breytingum á heimsvísu. Umhverfisáhrif orkugeirans eru ekki eingöngu bundnar við hlýnun jarðar, heldur getur losun efna vegna orkuvinnslu og -flutnings í hina ýmsu viðtaka; loft, vatn eða jörð, valdið öðrum neikvæðum umhverfisáhrifum á borð við aukningu í svifryki, súrnun, næringarefnaauðgun vatna, eituráhrifum á vistkerfi og fólk o.fl. Vitundarvakning hefur orðið á þessum málum undanfarna áratugi og er sjálfbær orka nú meðal sautján heimsmarkmiða um sjálfbæra þróun sem Sameinuðu þjóðirnar settu fram fyrir 193 aðildaríki sín undir lok árs 2015.

Ísland lögfesti markmið um kolefnishlutleysi fyrir árið 2040 á Alþingi árið 2021 og hefur sett markmið um 55% samdrátt heildarlosunar gróðurhúsalofttegunda fyrir árið 2030 miðað við árið 1990 [3]. Landsnet ber ábyrgð á flutningskerfi raforku á Íslandi og hefur það hlutverk að tryggja afhendingaröryggi ásamt því að lágmarka umhverfisáhrif kerfisins.

Árið 2012 hóf Landsnet vinnu við að meta umhverfisáhrif frá flutningskerfi sínu með aðferðafræði vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Assessment, LCA). Í slíkri greiningu má meta umhverfisáhrif yfir allan vistferilinn, þar sem tekið er mið af öflun hráefna, vinnslu þeirra, framleiðslu, flutningi, notkun og að lokum förgun. Í upphafi vinnunnar voru áhrif 220 kV loftlínuflutningskerfisins greind, en síðar bættust 132 kV og 66 kV spennustigin við [4] sem og jarðstrengir [5] í kerfi Landsnets, og hafa niðurstöður verið kynntar á alþjóðlegri ráðstefnu Alþjóðaráðsins um stór raforkukerfi, CIGRÉ.

Niðurstöður vistferilsgreiningar voru teknar saman í skýrslu og fyrst birtar árið 2018 og var liður í að afla upplýsinga um helstu losunarpætti í starfsemi fyrirtækisins. Frá því að sú skýrsla birtist hefur Landsnet unnið að frekari kortlagningu losunarpátta í rekstri, sett sér stefnu um kolefnishlutlausan rekstur árið 2030 og hefur ennfremur þróað aðgerðaráætlun sem þegar hefur skilað árangri. Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir uppfærðum forsendum greiningar og niðurstöður birtar með heildrænum hætti, auk þess sem gerð er grein fyrir umbótastarfi í rekstri Landsnets.

1.2 Tilgangur og markmið vistferilsgreiningar

Tilgangur þessarar vistferilsgreiningar er að **greina og meta umhverfisáhrif flutnings raforku í flutningskerfi Landsnets fyrir ólíka flokka umhverfisáhrifa**. Markmið greiningarinnar er að auðkenna þá þætti vistferilsins sem valda mestum umhverfisáhrifum og meta mikilvægar stærðir á borð við kolefnisspor raforkuflutnings. Niðurstöður vistferilsgreiningar eru einnig notaðar til að bera saman umhverfisáhrif sambærilegrar vöru eða þjónustu eða í þessu tilviki sambærileg kerfi.

Umhverfisáhrifin sem eru metin með vistferilsgreiningu eru bæði staðbundin og hnattræn og ná yfir áhrif á menn, vistkerfi, andrúmsloft, vatn og jörð. Aðferðin gefur tölulegar niðurstöður fyrir mismunandi flokka umhverfisáhrifa og því tekur aðferðafræðin ekki til ýmissa þátta sem teknir eru fyrir í lögbundnu ferli mats á umhverfisáhrifum, s.s. til sjónrænna áhrifa. Vistferilsgreiningin er unnin í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 [6] og ISO 14044 [7] þar sem áhersla er lögð á gæði og gagnsæi upplýsinga. Greiningin er auk þess unnin í samræmi við Evrópustaðalinn EN 15804 um sjálfbærni í byggingariðnaði [8], og í samræmi við leiðbeiningar um framkvæmd vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisýfirlýsinga (e. Product Category Rules, PCR) [9].

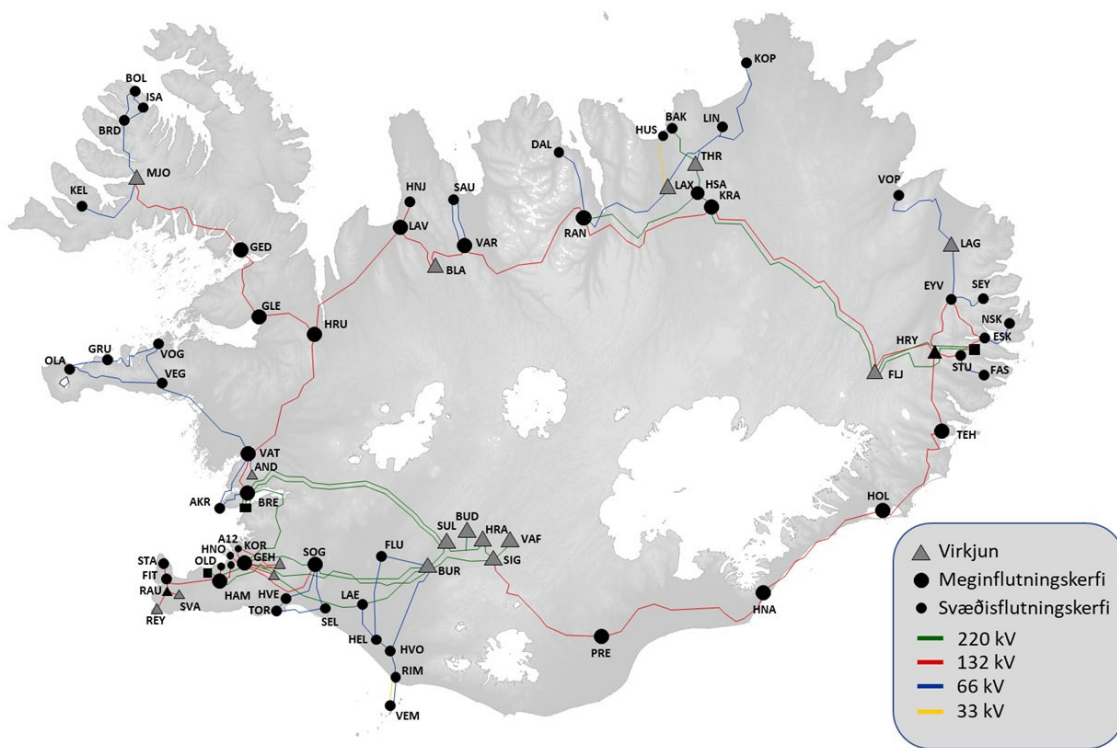
Greiningin nær yfir allan vistferil eða „lífsskeið“ kerfisins sem er til skoðunar og má segja að umhverfisáhrifin séu metin frá „vöggum til grafar“. Umhverfisáhrif eru þannig metin allt frá vinnslu auðlinda úr jörðu til fullunninna hráefna, framleiðslu vörunnar, notkun hennar og að endingu förgun hennar. Niðurstöður vistferilsgreiningar gefa tölulegar upplýsingar um umhverfisáhrif og notkun auðlinda sem nýtast beint til ákvarðanatöku varðandi mismunandi valkosti og í upplýsingagjöf um umhverfiseiginleika vörunnar. Niðurstöðurnar eru notaðar til þess að meta hvar í ferli hvernar vöru eða þjónustu mestu umhverfisáhrifin eiga sér stað og nýtast þannig við umhverfisstjórnun í fyrirtækinu, við byggingu nýrra loftlína, jarðstrengja eða tengivirkja, við þróun kerfisáætlunar og við rekstur núverandi kerfis. Í framhaldinu er hægt að meta hvernig haga megir hönnun og framleiðslu þannig að umhverfisáhrifin séu lágmörkuð.

Niðurstöður geta einnig verið gagnlegar við markaðssetningu, t.d. hvað umhverfismerkingar varðar. Notkun og útgáfa svokallaðra umhverfisýfirlýsinga (e. Environmental Product Declaration, EPD) hefur færst í vöxt á undanförunum árum, en undanfari slíkra ýfirlýsinga er vistferilsgreining. Með slíkum ýfirlýsingum fá notendur og neytendum haldgóðar og samanburðarhæfar upplýsingar um

umhverfisáhrif vörunnar yfir allan vistferil hennar. Orkuframleiðendur verða t.a.m. að veita upplýsingar um raforkuflutning þeirrar orku sem þeir vinna, ætli þeir að uppfylla framangreindar kröfur.

1.3 Flutningskerfi Landsnets í ársbyrjun 2023

Flutningskerfi Landsnets flytur raforku frá framleiðendum til dreifiveitna og stórnotenda. Allar megin flutningslínur raforku á Íslandi eru í eigu og rekstri Landsnets og samanstendur kerfið af loftlínunum og jarðstrengjum. Á mynd 1.1 má sjá yfirlit yfir flutningskerfið í upphafi árs 2023. Á þeim fimm árum frá því að seinasta greining var unnin hafa bæst við alls 268 km af línunum í kerfinu og má þar telja innan 220 kV kerfisins Þeistareykjalínu, Hólasandslínur 2 og 3, Kröflulínur 3 og 4 og Lækjartúnslínu 1, en einnig hefur hluti loftlína í 66 kV færst úr lofti ofan í jörðu.

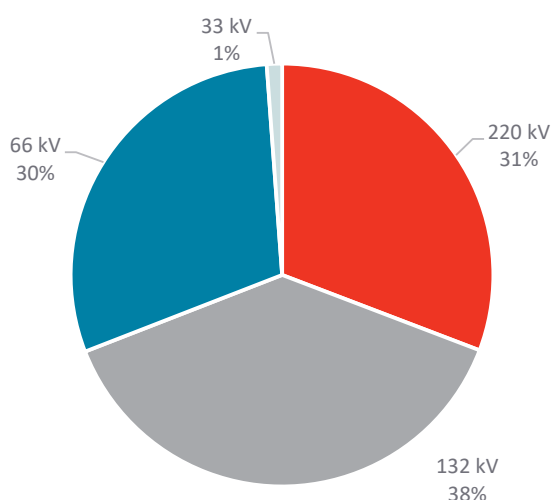


MYND 1.1 Flutningskerfi Landsnets í ársbyrjun 2023.

Flutningskerfið á Íslandi samanstendur af öllum megin tengivirkjum á landinu og þeim flutningslínunum sem eru með 66 kV spennu og hærri, auk nokkurra 33 kV lína. Hæsta spennu í rekstri íslenska flutningskerfisins er 220 kV, en á síðustu árum hafa nokkrar línur verið byggðar sem 400 kV línur til þess að gefa þeim möguleika á spennuhækkun í framtíðinni þegar þörf verður á aukinni flutningsgetu. Hærri spennustigin, þ.e. 132 kV og 220 kV, teljast til meginflutningskerfisins, sem tengir saman vinnsluaðila og notendur, hvort sem um er að ræða dreifiveitur (almenna notkun) eða notkun stórnotenda sem tengdir eru beint inn á kerfið á hærri spennu.

TAFLA 1.1 Loftlínur og jarðstrengir ásamt flutningsvegalengdum í flutningskerfi Landsnets. Miðað er við allar línur í ársbyrjun 2023 [10]. Í ársbyrjun 2024 voru heildarlínur innan 66 kV kerfisins 1060,5 km en 132 kV, 33 kV og 220 kV kerfin óbreytt frá árinu áður [11]

SPENNUSTIG	LOFTLÍNUR	JARÐSTRENGIR	LÍNUR ALLS	% Í HEILDARLÍNUKERFI
	km	km	km	
220 kV ¹	1102,1	10,0	1112,1	31%
132 kV	1272,7	110,6	1383,3	38%
66 kV ²	850,2	223,9	1074,1	30%
33 kV ³	25,9	16,1	42	1%
Alls	3250,9	360,6	3611,5	100%



MYND 1.2 Flutningskerfi Landsnets í ársbyrjun 2023, hlutfall lína á hverju spennustigi af heildarlínulengd.

Í heildina er 66, 132 og 220 kV flutningskerfi Landsnets um 3.560 km að lengd og flytur að meðaltali 19.050 GWst árlega miðað við árin 2018-2022, en þetta er töluvert meiri flutningur en meðaltal árána 2010-2014, 17.055 GWst árlega. Meðalflutningstöp hafa á sama tíma aukist í beinu hlutfalli við flutninginn og eru 378 GWst á ári að meðaltali fyrir árin 2018-2022, eða 2,0% af heildarflutningi, sjá nánar í kafla 3.3.2. Bent skal á að línulengd innan kerfa (tafla 1.1 og mynd 1.2) er ekki í hlutfalli við raforkuflutning innan kerfa (tafla 3.7), en um 80% fluttrar raforku fer um 220 kV kerfið, sem telur um

¹ Jarðstrengshluti Hólasandslínu 3 (9,6 km) samanstendur af tveimur strengsettum og tekið var tillit til þess í greiningunni.

² Vestmannaeyjalína 3, sæstrengur, er hér meðtalinn (alls 16 km) en hann liggur utan marka þessarar greiningar.

³ 33 kV kerfið liggur utan kerfismarka vistferilsgreiningarinnar. Kerfið samanstendur af tveimur sæstrengjum (Vestmannaeyjalínu 1 og 2, og einni landlínu, Húsavíkurlínu 1 (26 km).

31% af heildarlínulengd. Hluti þeirrar raforku sem fer um 220 kV spennustigið fer einnig um 132 kV kerfið, en einnig er hluti framleiddrar orku sem fer beint inn á 132 kV án þess að fara um 220 kV spennustigið.

Íslenska flutningskerfið er þriggja fasa, og eru því þrír samhliða leiðarar (rafmagnsvírar) sem flytja raforkuna. Burðarvirki nær allra 66 og meirihluta 132 kV loftlína er úr timbri á meðan í 220 kV flutningskerfinu (og háspennulínum byggðum fyrir 400 kV) er nánast undantekningalaust um að ræða möstur úr stáli á steypum undirstöðum. Gler- eða postulínseinangrar eru notaðir til að einangra leiðara frá burðarvirkjum. Aðrir mikilvægir þættir háspennulína eru m.a. tengi- og stagbúnaður auk jarðvírs efst í mastri til að taka við eldingum og verja endabúnað í tengivirki með því að leiða eldingarnar um burðarvirki til jarðar. Jarðstrengir eru grafnir í jörðu og er því eingöngu um einangraða leiðara eða jarðstrengskapla að ræða fyrir jarðstrengina. Tengivirkin eru mannvirki þar sem raforka er sett inn á eða tekin út af kerfinu. Helsti búnaður tengivirkja eru aflspennar, aflrofar, skilrofar, jarðblöð, mælaspennar, varnarbúnaður, launaflsbúnaður og hjálparbúnaður.

1.4 Uppfært líkan og niðurstöður

Vistferilsgreiningar eru lifandi verkfæri og niðurstöður slíkra greininga taka breytingum eftir því sem vörur eða kerfi þróast og eftir því sem forsendur í rekstri breytast. Þá eiga sér einnig stað reglubundnar uppfærslur á bæði bakgrunnsgögnum fyrir vistferilsgreiningar sem og á aðferðafræði til útreikninga. Frá því að niðurstöður vistferilsgreiningar voru birtar fyrst árið 2018 hafa einmitt slíkar breytingar átt sér stað. Í þriðja kafla þessarar skýrslu er farið ítarlega yfir þær forsendur úr bæði eignasafni sem og rekstri Landsnets sem liggja til grundvallar þessarar uppfærðu greiningar.

Samantekið felast helstu breytingar frá greiningunni 2018 og uppfærslur í eftirfarandi þáttum;

- Breytingar á eignasafni (sjá kafla 3.1);
 - ný tengivirki
 - nýjar háspennulínur
 - nýir jarðstrengir
- Uppfærðar forsendur um rekstur (sjá kafla 3.3)
 - þróun í losun SF₆ frá tengivirkjum
 - ítarlegri gögn um rekstur og viðhald vegna bætts loftslagsbókhalds
 - uppfærð gögn um losun vegna orkuvinnslu á Íslandi, til mats á flutningstöpum
- Uppfærðir bakgrunnsferlar í LCA gagnagrunni, þ.e. meðallosun vegna framleiðslu- og flutnings, t.d. fyrir stál, steypu, ál og aðra efnisflokka.
- Uppfært val á umhverfisáhrifaflokkum og aðferðafræði til útreikninga í samræmi við uppfærðar leikreglur fyrir PEF (Product Environmental Footprint) og nýjustu uppfærslur (A2) á staðli EN15804

2 VISTFERILSGREINING FLUTNINGSKERFIS RAFORKU

2.1 Aðgerðareining og líftími

Aðgerðareining (e. functional unit) vistferilsgreiningarinnar er **flutningur á 1 kWst raforku í flutningskerfi Landsnets** sem rekið er á 66 kV, 132 kV og 220 kV spennu. Gert er ráð fyrir 60 ára líftíma flutningskerfisins almennt, en til viðbótar er gert ráð fyrir að jarðstrengir og ýmis vél- og rafbúnaður hafi skemmri endingartíma, sjá töflu 2.1. Umhverfisáhrifin eru reiknuð fyrir 60 ár og er því gert ráð fyrir endurnýjun jarðstrengja og rafbúnaðar tengivirkja á rekstrartímanum eins og við á.

Í skýrslu EFLU verkfræðistofu um kostnaðarsamanburð jarðstrengja og loftlína á 220 kV spennu [12] eru teknar saman heimildir um ólíka líftíma jarðstrengja og loftlína. Algengast er í heimildum að gert sé ráð fyrir að nýir strengir séu með endingartíma um 40 ár. Meiri reynsla er af rekstri loftlína, bæði hérlandis og erlendis, og eru elstu starfandi íslensku loftlínur reknar á 66 kV spennu t.a.m. orðnar tæplega 70 ára. Val á líftíma ólíkra eininga kerfisins er því bundið óvissu en ætla má að valið sé almennt varfærið.

TAFLA 2.1 Áætlaður líftími mismunandi hluta flutningskerfisins, sem byggður er á skýrslu um kostnaðarsamanburð jarðstrengja og loftlína [12] og upplýsingum úr vottuðum umhverfisýfirlýsingum (EPD) frá framleiðendum [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

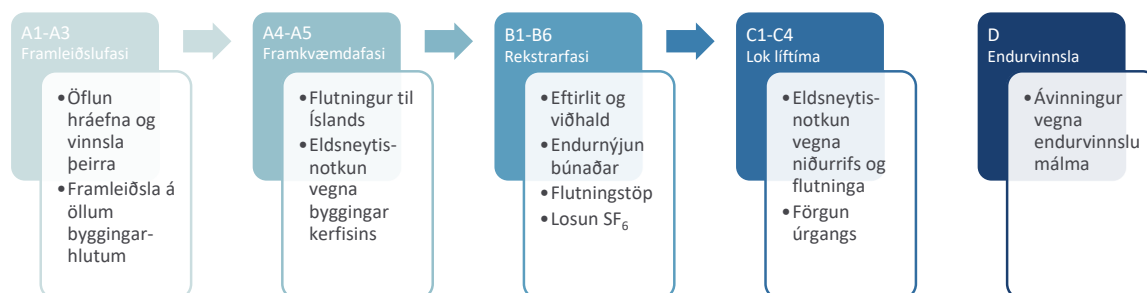
HLUTI FLUTNINGSKERFIS	ÁÆTLAÐUR ENDINGARTÍMI
Loftlínur	60 ár
Jarðstrengir	40 ár
Spennar	35 ár
Aflrofar	40 ár
Skilrofar	40 ár
Stjórnþúnaður	25 ár
GIS rofareitir	40 ár

2.2 Kerfismörk

Vistferilsgreiningin nær yfir allan vistferil flutningskerfisins í rekstri hjá Landsneti, þar með talið yfir öflun og vinnslu hráefna, framleiðslu allra eininga innan kerfisins, byggingar kerfisins, reksturs og viðhalds þess, auk niðurrifs og förgunar. Einfölduð mynd af kerfismörkum þessarar greiningar má sjá í töflu 2.2 og á mynd 2.1. Nánari upplýsingar um upplýsingaöflun fyrir hvert stig vistferilsins má sjá í kafla 3.

TAFLA 2.2 Yfirlit yfir mismunandi hluta í vistferli flutningskerfi Landsnets sem liggja innan kerfismarka og flokkun samkvæmt EN 15804+A2.

Fasar í vistferli	Framleiðslufasi			Framkvæmdafasi		Rekstrarfasi							Lok líftíma				Áhrif utan kerfismarka
	Öflun hráefna	Flutningur til verksmiðju	Framleiðsla vöru	Flutningur á verkstað	Byggingarframkvæmd	Rekstur	Viðhald	Viðgerðir	Endurnýjun	Endurbætur	Orkunotkun í rekstri	Vatnsnotkun í rekstri	Niðurrif	Flutningur til förgunar	Meðhöndlun úrgangs	Förgun	Endurnotkun, endurheimt orku, endurvinnsla
Flokkur skv. EN 15804	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Liggur innan kerfismarka	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x



MYND 2.1 Einfölduð mynd af kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar fyrir flutningskerfi Landsnets, ásamt helstu ílags- og frálagsþáttum.

Loftlínur og strengir í eigu Landsnets sem reknir eru á 33 kV spennu falla utan þessarar greiningar, en línulengd innan þess spennustigs er ekki nema 1% af heildarlínulengd flutningskerfisins. Bakgrunnsgögn um öflun og vinnslu hráefna eru fengin úr sérhæfðum gagnagrunni, sjá kafla 3.1. Þó að flutningskerfið hafi byggst upp á rúmum 40 árum miða öll bakgrunnsgögn við nútímaframleiðsluaðferðir.

2.3 Umhverfisáhrif

Við mat á umhverfisáhrifum í ólíkum flokkum eru lagðar til grundvallar aðferðir sem Sameiginleg rannsóknarmiðstöð Evrópu (EC-JRC) mælir með að notaðar séu fyrir hverja tegund umhverfisáhrifa [21, 22], sem eru í samræmi við leikreglur fyrir PEF (Product Environmental Footprint) [23] og nýjustu uppfærslur (A2) á staðli EN15804 [8], sjá töflu 2.3.

TAFLA 2.3 Umhverfisáhrifaflokkar í samræmi við staðal EN 15804+A2 og PEF.

UMHVERFISÁHRIFAFLOKKUR	EINING
Gróðurhúsaáhrif - heild	[kg CO ₂ íg.]
Gróðurhúsaáhrif - jarðefnaeldsneyti	[kg CO ₂ íg.]
Gróðurhúsaáhrif - lífrænt	[kg CO ₂ íg.]
Gróðurhúsaáhrif – landnotkun og breyting á landnotkun	[kg CO ₂ íg.]
Eyðing ósonlagsins	[kg CFC 11 íg.]
Súrnun lands og sjávar	[mól H ⁺ íg.]
Næringarefnaauðgun í ferskvatni	[kg PO ₄ íg.]
Næringarefnaauðgun í sjó	[kg N íg.]
Næringarefnaauðgun á landi	[mól N íg.]
Myndun ósons við yfirborð jarðar	[kg NMVOC íg.]
Eyðing auðlinda	[kg Sb íg.]
Eyðing jarðefnaeldsneytis	[MJ, nettó varmagildi]
Vatnsskortur	[m ³ heims íg. svipt]

Þessum flokkum er nánar lýst í viðauka A. Á niðurstöðugröfum í kafla 4 birtast þessir áhrifaflokkar í tíu súlum þar sem gróðurhúsaáhrif eru sett fram í heild sinni og næringarefnaauðgun er sett fram í þrennu lagi. Í viðauka B eru settar fram tölulegar niðurstöður fyrir hvern þessara þrettán flokka umhverfisáhrifa, sk. umhverfisvísar (e. Impact category indicator).

3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA

Í þessum kafla er að finna tölulegar upplýsingar um ílags- og frálagsþætti yfir allan vistferilinn. Þessar upplýsingar eru notaðar til að stilla upp líkani og reikna umhverfisáhrif flutningskerfisins. Dæmi um ílagsþætti er notkun orku og auðlinda og frálagsþættir eru t.d. úrgangur og losun efna í andrúmsloft, jarðveg og vatnsviðtaka. Gæði niðurstaða eru háð gæðum þeirra upplýsinga sem aflað er, en í þessari greiningu er að mestu um að ræða raungögn frá Landsneti, framleiðendum eða gögn úr útboðsgögnum.

Vegna framleiðslu hráefna, staðbundinnar orkuvinnslu, flutninga, ýmissa vinnsluferla o.fl. er stuðst við reglulega uppfærð bakgrunnsgögn úr alþjóðlegum gagnabanka frá Sphera (áður GaBi) sem og úr gagnabanka frá EFLU verkfræðistofu. Stuðst er við evrópumeðaltal raforkunotkunar (EU-27) þegar um raforkunotkun vegna framleiðslu byggingarhluta og búnaðar er að ræða.

3.1 Öflun hráefna og framleiðsla (A1-A3)

3.1.1 Loftlínur

Helstu forsendur við hönnun mastra og val á byggingarefni eru háðar spennustigi háspennulínunnar, vindaálagi og ísingarhættu. Hæð mastra ákvarðast að mestu leyti af spennustigi línunnar og eru háspennumöstur fyrir 220 kV og hærri spennustig nánast án undantekninga stálmöstur. Á lægri spennustigum, þ.e. 132 kV og 66 kV, er að mestu leyti um að ræða timburstaura úr fúavörðu timbri (e. creosote poles), að undanskildum nokkrum steypum möstrum og fáeinum stálmöstrum á erfiðum fjallaleiðum og í nokkrum nýlegum línunum. Stálmöstrin og steypu möstrin hvíla á undirstöðum úr járnbentri steypu.

Gerð er grein fyrir upplýsingasöfnun innan hvers spennustigs fyrir sig hér að neðan og í töflu 3.1 er að finna samantekt á heildar efnismagni vegna loftlína.

TAFLA 3.1 Efnismagn loftlína í flutningskerfi Landsnets.

		66 KV	132 KV	220 KV
Möstur				
Stálmöstur	kg/km	46	3.068	21.440
Timburstaurar	kg/km	10.329	11.082	
Stálfestingar timburstaura	kg/km	334	358	
Steypt möstur - steypa	kg/km		225	
Steypt möstur - stál	kg/km		6	
Undirstöður				
Undirstöður - steypa	kg/km		2.940	24.321
Undirstöður - stál	kg/km		235	2.281
Stagfestur - steypa	kg/km	7.657	4.568	1.805
Stagfestur - stál	kg/km	431	265	
Rekstaurar - timbur	kg/km		216	
Bergboltar	kg/km			65
Leiðarar				
Ál í leiðara	kg/km	1.195	2.720	9.066
Stál í kjarna	kg/km	171	338	886
Kopar	kg/km	176		
Stálkefli	kg/km	135	144	1.245
Jarðvír				
Stál	kg/km		28	1.895
Ál	kg/km		10	
Einangrar				
Gler/ postulín	kg/km	195	355	600
Steypujárn	kg/km	110	201	299
Stál	kg/km	56	101	74
Sement	kg/km	40	73	
Tengibúnaður	kg/km			555
Stagvír – stál	kg/km	190	186	929
Stagteinar – stál	kg/km		22	
Jarðskaut				
Stál	kg/km			1.044
Sink	kg/km			37



MYND 3.1 Reising háspennumasturs. Ljósmynd EFLA.

3.1.1.1 66 kV

Upplýsingar um fjölda og gerð staura voru fengnar úr stauralistum og var þyngd stauranna áætluð af EFLU verkfræðistofu. Ítarleg gögn um framleiðslu tréstauro og stálmastra fengust beint frá framleiðendum sem Landsnet hefur nýlega átt viðskipti við. Heildarlengd línuleiða í 66 kV kerfinu var tekin saman hjá Landsneti og magntölur, þ.e. heildarlengd lína, fjöldi fasa og þyngd og samsetning leiðara voru teknar saman hjá EFLU. Ekki lágu fyrir upplýsingar um fjölda einangra í 66 kV kerfinu og áætluðu starfsmenn EFLU að magn einangra í 66 kV kerfinu í hverri stæðu sé 55% þess magns sem er í 132 kV kerfinu. Samkvæmt upplýsingum frá Landsneti var gert ráð fyrir að 20% tréstauro séu stagaðir og hafi steypar og járnbentar stagfestur og ekki var gert ráð fyrir neinum jarðskautum né jarðvír.

3.1.1.2 132 kV

Upplýsingar um fjölda, gerð og þyngd staura voru að stærstum hluta fengnar úr stauralistum og framkvæmdaskýrslu fyrir nýjan hluta Kröflulínu 2. Það sem upp á vantaði var áætlað af EFLU verkfræðistofu auk upplýsinga um þyngd stálfestinga tréstauro. Umhverfisáhrif vegna framleiðslu tréstauro og stálmastra voru reiknuð líkt og fyrir 66 kV kerfið með upplýsingum frá framleiðendum. Fyrir steypst mörstur voru umhverfisáhrifin metin út frá magni steypu og steypustyrktarjárns. Upplýsingar um gerð og þyngd undirstaðna voru teknar saman hjá Landsneti og EFLU. Starfsmenn

Landsnets tóku saman upplýsingar um heildarlengd leiðara, fjölda fasa, þyngd og samsetningu leiðara auk upplýsinga um gerð og þyngd einangra, jarðvíra og stagvíra. Upplýsingar um fjölda stagteina fengust frá Landsneti, en starfsmenn EFLU verkfræðistofu áætluðu heildarþyngd þeirra.



MYND 3.2 Steypustyrktarjárn í undirstöðum. Ljósmynd EFLA.

3.1.1.3 220 kV

Fyrir 220 kV kerfið var öllum upplýsingum um möstur, undirstöður, leiðara, einangra, jarðvíra, stagvíra og jarðskaut safnað fyrir byggingu Búrfellslínu 3B. Gert er ráð fyrir að hún sé dæmigerð fyrir 220 kV háspennulínur Landsnets og magn byggingarefna fyrir Búrfellslínu 3B því framreiknað fyrir allt kerfið sem byggt er fyrir 220 kV spennu. Fyrir þann hluta kerfisins sem byggður hefur verið fyrir spennuhækkun upp í 400 kV var öllum upplýsingum um möstur, undirstöður, leiðara, einangra, jarðvíra, stagvíra og jarðskaut safnað fyrir byggingu Sultartangalínu 3. Gert er ráð fyrir að hún sé dæmigerð fyrir háspennulínur Landsnets af þessum toga og magn byggingarefna fyrir Sultartangalínu 3 því framreiknað fyrir allt kerfið sem byggt hefur verið fyrir spennuhækkun.



MYND 3.3 Einangrar á leiðara sem tengdur er inn í tengivirki. Ljósmynd EFLA.

3.1.2 Jarðstrengir

Upplýsingar um magn og gerð hráefna í jarðstrengjum byggja á vistferilsgreiningum og gögnum frá framleiðendum, sjá töflu 3.2. Dæmigerða uppbyggingu á 220 kV jarðstreng má sjá á mynd 3.4. Jarðstrengir sem notaðir eru hér á landi eru flestir þannig upp byggðir að leiðarinn er framleiddur úr áli (erlendis er koparleiðari einnig notaður), einangrun úr XLPE hitaþolnu plasti, og skermur úr kopar eða plasti (PE og PVC). Til einföldunar er hér gert ráð fyrir að allir strengir hafi sömu uppbyggingu, þ.e. álleiðarar með kopar í skermi, þó að vitað sé að brot jarðstrengja í kerfi Landsnets sé með ál í skermi.

Jarðstrengir í kerfi Landsnets eru á bilinu 150 mm² til 400 mm² á 66 kV spennustiginu en á bilinu 240 mm² til 1600 mm² á 132 kV spennustiginu. Jarðstrengir í 220 kV kerfinu samanstanda að mestu leyti af jarðstrengshluta Hólasandslínu 3 (9,6 af 10,0 km) sem er 1600 mm² og byggja því allir útreikningar á 220 kV jarðstrengjakerfinu á þeirri línu. Hráefnatap í framleiðslu er innifalið í útreikningum. Framleiðsla á lokum og tengibrunnum er ekki innifalin í líkaninu. Lengsti jarðstrengurinn í núverandi flutningskerfi er í 66 kV kerfinu og er 28 km langur (Selfosslína 3).



MYND 3.4 Dæmigerður 220 kV álstrengur með mikla flutningsgetu [24].

TAFLA 3.2 Helstu tölur fyrir jarðstrengi í kerfi Landsnets, reknir á 220 kV, 132 kV og 66 kV spennu.

Magntölurnar byggja á eignaskrá Landsnets, tæknilegum skýrslum, upplýsingablöðum og hráefnalistum [25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32]. Allar einingar eru í kg/km, þrír fasar í hverjum km.

	220 KV (1600 MM ²)		132 KV (240 – 1600 MM ²)		66 KV (150 – 400 MM ²)	
	kg/km (þrír fasar)	tonn alls	kg/km (þrír fasar)	tonn alls	kg/km (þrír fasar)	tonn alls
Leiðari úr áli	13.357	262	5.988	662	1.812	377
Álfilma	1.903	37	848	94	267	56
Svart litarefni (carbon black)	1.149	23	540	60	155	32
Koparrammi	2.407	47	1.256	139	1.072	223
PEX pólýetýlen	12.621	247	5.742	635	2.784	579
HD pólýetýlen	12.795	251	5.712	632	1.908	397
Pólýprópýlen	276	5	143	16	126	26
Alls hráefni í jarðstreng	44.507	872	20.229	2.237	8.124	1.689

3.1.3 Tengivirki

Hjá Landsneti voru teknar saman upplýsingar um allan búnað tengivirkja sem er í eigu fyrirtækisins og honum skipt eftir spennustigum (66, 132 og 220 kV). Upplýsingum um umhverfisáhrif vegna framleiðslu, niðurrifs og förgunar búnaðar voru teknar úr umhverfisýfirlýsingum (EPD) frá framleiðanda slíks búnaðar [20, 19, 16, 17, 18, 15, 14, 13]. Flutningar búnaðar frá framleiðendum og notkun hans var aðlöguð að íslenskum aðstæðum eins og við átti.

Upplýsingum um magn byggingarefna í tengivirkishús og undirstöður var að hluta til safnað frá nýlegum verkefnum á vegum Landsnets, en einnig var notast við meðaltalstölur um magn byggingarefna (steypu, stál, einangrunarefni) per m² hús. Sjá má samantekt á magntölum vegna tengivirkja í kerfi Landsnets í töflu 3.3.

TAFLA 3.3 Magntölur fyrir tengivirki á hverju spennustigi í flutningskerfinu.

		66 KV	132 KV	220 KV
Spennar:	stk	3	19	17
Aflrofar (AIS)	stk	117	91	38
Skilrofar og jarðrofar	stk	239	699	88
Eldingavarar	stk	187	150	111
Stjórnbúnaður	stk	16	22	44
GIS rofareitur	stk		43	65
Tengivirkishús				
Steypa	tonn	19.731	25.705	27.448
Steypustyrktarstál	tonn	640	857	914
Stálbitar	tonn	53	81	
Einangrun	tonn	28	24	
Undirstöður:				
Steypa	tonn	1.553	2.125	
Steypustyrktarstál	tonn	67	107	

**MYND 3.5** Tengivirki í Fljótsdal. Á myndinni sjást Fljótsdalslínur 3 og 4, ásamt Kröflulínu 2, tengjast tengivirkinu. Ljósmynd EFLA.



MYND 3.6 Frá byggingu tengivirkis á Bakka veturinn 2016-2017. Ljósmynd Landsnet.

3.2 Flutningar og bygging (A4-A5)

3.2.1 Flutningar

Gert er ráð fyrir að allur búnaður og allir byggingarhlutar séu fluttir frá meginlandi Evrópu, og er gert ráð fyrir lestarflutningum erlendis, sjóflutningum til Íslands með flutningaskipi og vörubílaflutningum hérlendis.

3.2.2 Jarðvinna og slóðagerð

Upplýsingum um jarðvinnu og slóðagerð var safnað hjá Landsneti, þ.e. lengd og umfang jarðvinnu og slóðagerðar á hverju spennustigi. Jarðvinna felur m.a. í sig undirbúning undirstaða fyrir möstur.

Eldsneytisnotkun við jarðvinnu og slóðagerð var áætluð af EFLU verkfræðistofu 7.000 L/km háspennulínu út frá lokaskýrslum framkvæmda fyrir Búrfellslínu 3A og Búrfellslínu 3B. Magn jarðefna fyrir jarðvinnu og slóðagerð var framreiknað fyrir allt kerfið sem rekið er á 132 kV og 220 kV spennu, þar með taldar línur sem byggðar eru fyrir spennuhækkun í framtíðinni. Engir slóðar eru í 66 kV flutningskerfinu og því á ofangreind eldsneytisnotkun eingöngu við 132 kV og 220 kV flutningskerfin.

TAFLA 3.4 Eldsneytisnotkun vegna jarðvinnu og slóðagerðar í 132 kV og 220 kV loftlínukerfunum.

UMHVERFISÞÁTTUR	EINING	MAGN
Jarðvinna og slóðagerð fyrir loftlínur (132 kV, 220 kV)	L/km	7.000

3.2.3 Lagning/reising

Eldsneytisnotkun byggingarverktaka við byggingu loftlína var áætluð hjá Landsneti og er miðað við 760 lítra á hvern km háspennulínu á öllum spennustigum.

Vegna lagningar jarðstrengja er miðað við eldsneytisnotkun verktaka vegna tveggja framkvæmda, lagningar Hellulínu 2 og Fitjalínu 2 sumarið 2015, eða vegið meðaltal 6.500 lítrar á hvern km.

TAFLA 3.5 Eldsneytisnotkun vegna lagningar jarðstrengja og reisingu loftlína.

UMHVERFISÞÁTTUR	EINING	MAGN
Reising loftlína (66 kV, 132 kV, 220 kV)	L/km	760
Lagning jarðstrengja (66 kV, 132 kV, 220 kV)	L/km	6.500

Heildareldsneytisnotkun vegna jarðvinnu, slóðagerðar og reisingar var metin á meðan á byggingu Búðarháslínu 1 stóð yfir, en alls var þar um að ræða 7.790 lítra á hvern km sem kemur heim og saman við fyrri áætlun Landsnets um eldsneytisnotkun vegna byggingar loftlína (töflur 3.4 og 3.5).

**MYND 3.7** Lagning 132 kV Nesjavallalínu 2 árið 2009 í hefðbundinn opinn skurð [24].

3.3 Rekstur og viðhald (B1-B6)

Í þessum kafla er gerð grein fyrir þeim upplýsingum sem notaðar voru til að áætla umhverfisáhrif rekstrar flutningskerfisins, þ.e. upplýsingar um losun SF₆ vegna leka, áætlaðan flutning og flutningstöp, eldsneytisnotkun vegna flugs og notkun véla og bifreiða við viðhald og eftirlit, sem og áætlaða endurnýjun búnaðar á 60 ára líftíma kerfisins.

Frá því að vinna hófst fyrst við vistferilgreiningu hjá Landsneti hefur fyrirtækið unnið og bætt eigið loftslagsbókhald vegna reksturs. Hafa þar með bæst við ýmsar upplýsingar um t.d. árlega úrgangsmýndun og -meðhöndlun, sem og um rafmagnsnotkun og eldsneytisnotkun fyrirtækisins. Stærstu einstöku losunarpættirnir í árlegu loftslagsbókhaldi fyrirtækisins eru losun vegna flutningstapa, vegna losunar SF₆ frá tengivirkisbúnaði og eldsneytisnotkun, annars vegar vegna notkunar bíla og tækja, hins vegar vegna varaafslnotkunar.

Í þeim köflum sem hér á eftir koma er gerð grein fyrir losun SF₆ frá tengivirkisbúnaði, raforkuflutningi og tilheyrandi flutningstöpum, flugferðir og eldsneytisnotkun vegna viðhalds, eftirlits og endurnýjun búnaðar. Þess skal sérstaklega getið að ekki er hér gert ráð fyrir rekstri varaafslstöðva í þessari greiningu þar sem ekki er með góðu móti hægt að áætla þörf á notkun þeirra yfir skilgreindan 60 ára líftíma kerfisins. Um er að ræða notkun sem er mjög breytileg milli ára og er háð náttúrufari, óvæntum bilunum í kerfinu og fleiri þáttum sem fyrirtækið getur illmögulega ráðið við.

3.3.1 Losun SF₆

Áætlað magn SF₆ gass sem losnar í andrúmsloft vegna leka eða við viðgerðir á búnaði tengivirkja á 60 ára líftíma kerfisins byggir á reynslutölum Landsnets á árunum 2018-2024, sjá töflu 3.6. Að meðaltali er um að ræða um 0,37% leka á þessu tímabili. Ekki liggur fyrir skipting lekans milli spennustiga við gerð þessarar skýrslu, og til þess að skipta heildarlekanum á milli þeirra er stuðst við fjölda GIS og AIS rofa innan hvers spennustigs (sjá kafla 3.1.3).

TAFLA 3.6 Heildarleki SF₆ hjá Landsneti á árunum 2018-2024.

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	MEÐALTAL 2018-2024
SF ₆ gasleki (kg)	142,85	87,4	136,9	114	85,1	66,6	60,1	99,0
Hlutfall leka af heildarmagni í búnaði (%)	0,55%	0,33%	0,52%	0,41%	0,36%	0,19%	0,20%	0,37%

3.3.2 Raforkuflutningur og flutningstöp

Í vistferilsgreiningunni er tekið tillit til umhverfisáhrifa vegna vinnslu þeirrar raforku sem tapast í flutningskerfinu. Bætt er fyrir þá raforku sem tapast með því að vinna meiri raforku á Íslandi. Töp má

fyrst og fremst rekja til innra viðnáms í leiðurum, en í jarðstrengjum bætast einnig við töp vegna einangrunar og skermtapa. Töp eru öllu jafna í öfugu hlutfalli við stærð (þvermál) leiðara. Flutningstöp hafa yfirleitt verið svipuð milli ára síðastliðin ár, eða að meðaltali 2,02% af heildarinnmötun raforku (2013-2022).

Raforkuflutningar og flutningstöp innan hvers spennustigs voru greind af starfsmönnum EFLU og Landsnets og byggir á mælingum Landsnets og meðaltali áráanna 2010-2014. Í töflu 3.7 má sjá hvernig raforkuflutningum og töpum í kerfinu skiptist á milli spennustiga á þessu tímabili. Ekki er hægt að leggja saman flutning í mismunandi spennustigum þar sem hluti þeirrar orku sem flyst t.d. um 220 kV kerfið flyst einnig um 132 kV kerfið.

Í þessari greiningu er gert ráð fyrir sömu hlutfallslegu skiptingu flutnings og tapa milli spennustiga og fram kemur í töflu 3.7, en heildarraforkuflutningur uppfæririst úr meðalflutningi 17.055 GWst/ári (2010-2014) yfir í 19.051 GWst/ári (2018-2022). Flutningstöp í 220 kV jarðstrengjum eru metin útfrá eiginleikum 1600 mm² XLPE jarðstrengs með flutningsgetu upp á 275 MVA líkt og jarðstrengur Hólasandslínu 3. Tapútreikningar byggja á útreikningum á leiðaratöpum, töpum í einangrun og skermtöpum og eru töpin metin 0,32 GWst/km/ári.

TAFLA 3.7 Flutningur og flutningstöp í kerfi Landsnets. Heildartölur um flutning og flutningstöp byggja á meðaltali áráanna 2010-2014. Skipting milli spennustiga og milli loftlína og jarðstrengja byggir á mælingum á 220 kV flutningskerfinu og á 132 kV og 66 kV jarðstrengjaflutningskerfinu. Stuðst er við sömu hlutfallslegu skiptingu flutnings og tapa milli spennustiga í þessari greiningu út frá meðalflutningi 19 TWst/ári (2018-2022).

SPENNUSTIG	FLUTNINGUR (GWST/ÁRI)			FLUTNINGSTÖP (GWST/ÁRI)				
	Meðaltal 2010- 2014	% af heildar- flutningi LN	Þar af í jarðstrengjum	Alls	% af töpum LN	% töp af heildar- flutningi LN	Loftlínur	Jarðstrengir
220 kV	13.644	80%	-	294	85,2%	1,7%	294	-
132 kV	4.264	25%	2132	26	7,5%	0,2%	17,4	8,5
66 kV	1.919	11%	1279	19	5,5%	0,1%	6,5	13
Alls flutt	17.055			345		2,02%		

Til að meta losun vegna vinnslu rafmagns hér á landi er stuðst við losunartölur frá losunarbókhaldi Íslands sem Umhverfisstofnun gefur út ár hvert [33]. Meðaltal áráanna 2018-2022 er 7,79 gCO₂íg/kWst, sjá töflu 3.8. Raforka á Íslandi er unnin er fyrst og fremst úr endurnýjanlegum orkugjöfum, vatnsafli 70% og jarðvarma 30% [34]. Þess skal hér getið að losunarstuðlar Umhverfisstofnunar endurspeglar árlega losun frá raforkuvinnslu á Íslandi miðað við framleiddar kílóvattstundir, en ekki kolefnisspor raforkuvinnslunnar á grundvelli aðferðafræði vistferilsgreiningar. Helsti munurinn er sá að losunarstuðlar UST endurspeglar ekki framleiðslu og byggingu mannvirkja, né heldur reksturs og viðhalds þeirra. Til þessa hafa verið gerðar vistferilsgreiningar fyrir fjórar vatnsaflsstöðvar og tvær jarðvarmavirkjanir, og hefur kolefnisspor verið reiknað á bilinu 1 – 20 gCO₂íg/kWst fyrir vatnsafl [35, 36, 37, 38] og 11 – 14 gCO₂íg/kWst fyrir jarðvarma [39, 40]. Þegar þetta er ritað hefur ekki verið reiknað

kolefnisspor heildarraforkuvinnslu á Íslandi með aðferðafræði vistferilsgreiningar, en með hliðsjón af framangreindu kolefnisspori og hlutfallslegri skiptingu orkukosta hér á landi má ætla að kolefnisspor raforkuvinnslu sé af sambærilegri stærðargráðu og losunarstuðlar Umhverfisstofnunar gefa til kynna. Þetta er breyting frá áætlaðri losun sem reiknað var með í skýrslu frá 2018, þar sem hvorki lágu fyrir jafnmargar niðurstöður vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu, né útgefnir losunarstuðlar Umhverfisstofnunar.

TAFLA 3.8 Losunarstuðlar Umhverfisstofnunar (6. útgáfa 2024) sem notaðir eru til að meta losun vegna flutningstapa [33].

RAFORKUNOTKUN	2018	2019	2020	2021	2022	MEÐALTAL 2018-2022
Losunarstuðull gCO ₂ íg/kWst	7,50	7,86	6,97	8,09	8,54	7,79

Þess skal einnig getið að miðað er hér við raungögn um gróðurhúsaáhrif vinnslu einnar kílóvattstundar á Íslandi, en ekki við upprunavottaða raforku, sem byggir á viðskiptakerfi með upprunaábyrgðir á evrópskum orkumarkaði sbr. reglugerð nr. 757/2012. Íslensk fyrirtæki sem framleiða raforku geta selt upprunaábyrgðir bæði til innlendra og evrópskra aðila. Þegar innlend upprunaábyrgð er seld til Evrópu þarf seljandi á móti að taka við heildarsamsetningu orkuvinnslunnar eins og hún er í Evrópu [41]. Notendur rafmagns geta keypt upprunaábyrgðir hjá sínum söluaðila samhliða orkukaupunum. Landsnet kaupir rafmagn frá íslenskum raforkuframleiðendum til að mæta flutningstapi í raforkukerfinu.

3.3.3 Flug

Ferðir starfsmanna Landsnets með flugi innanlands og erlendis voru áætlaðar út frá meðaltali árána 2018-2022 og má sjá í ársskýrslum Landsnets. Skipting umhverfisáhrifa eftir spennustigum var áætluð út frá skiptingu flutningstapa í kerfinu.

3.3.4 Viðhald, eftirlit og endurnýjun búnaðar

Rekstur flutningskerfisins felur í sér endurnýjun búnaðar, viðhald og eftirlit á 60 ára líftíma. Starfsmenn Landsnets áætluðu viðhaldspörf kerfisins en olíu- og eldsneytisnotkun vegna viðhalds- og eftirlitsferða er tekin úr bókhaldi Landsnets fyrir árið 2018-2022 og má sjá í ársskýrslum Landsnets.

Eingöngu var gert ráð fyrir raforkunotkun búnaðar í tengivirkjum (B6), og var miðað við tölur úr umhverfisyfirlýsingum (EPD) frá framleiðendum búnaðar. Ekki var tekið mið af raforku- eða vatnsnotkun tengivirkishúsanna til kyndingar eða loftræstingar, né heldur af raforkunotkun höfuðstöðva fyrirtækisins.

Gert er ráð fyrir að 20% steyptra undirstaða séu endurnýjuð á 60 ára líftíma kerfisins, 5% stálmastra, steyptra mastra, leiðara og jarðvíra og 10% stagvíra. Ætla má að viðhaldspörf sé í raun minni en hér er

gert ráð fyrir. Gert er ráð fyrir 0,1% endurnýjun trémastra árlega. Þörf á endurnýjun leiðara og einangra er metin lítil og gert ráð fyrir árlegri endurnýjun 0,01% leiðara og 0,005% einangra. Spennar og annar tengivirkisbúnaður er endurnýjaður á 60 ára líftímanum, sbr. upplýsingar frá framleiðendum.

3.4 Niðurrif og förgun (C1-C4)

Gengið var út frá því að um sömu eldsneytisnotkun væri að ræða við byggingu og niðurrif eða uppgröft flutningskerfisins, þ.e. 760 lítrar á hvern km loftlínu á öllum spennustigum og 6.500 lítrar á hvern km jarðstrengs (sjá töflu 3.5).

3.5 Endurvinnsla (D)

Á öllum spennustigum er gert ráð fyrir endurvinnslu stálmastra, stálfestinga trémastra, stálstyrkingu leiðara, jarðvíra, stagvíra og stagteina að loknum 60 ára líftíma kerfisins. Miðað er við 70% endurvinnsluhlutfall stáls, sem er varfærið mat miðað við markaðinn í dag [42], en það er áætlað endurvinnsluhlutfall byggingarstáls í Evrópu árið 2011 [43]. Að sama skapi var gert ráð fyrir endurvinnslu áls frá leiðurum og jarðvír á öllum spennustigum. Reiknað var með 90% endurvinnsluhlutfalli áls [44], sem er einnig nokkuð varfærið þar sem endurvinnsluhlutfallið getur verið hátt fyrir hreina leiðara. Sem dæmi þýðir þetta að 1 kg af áli úr loftlínuleiðurum sem kemur til endurvinnslu kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,9 kg af nýju áli skv. forsendum þessarar greiningar.

Á öllum spennustigum er gert ráð fyrir að allt gler og postulín frá einangrum sé urðað og/eða notað í landmótun samkvæmt upplýsingum frá förgunaraðila. Ekki er tekið tillit til umhverfisáhrifa vegna förgunar eða endurnotkunar timburstaura og steyptra mastra eða steyptra undirstaða, eingöngu til eldsneytisnotkunar vegna niðurrifs þeirra.

Endurvinnsla efna úr jarðstrengjum felur í sér tætingu og aðgreiningu efna með segli, og er því endurvinnsluhlutfallið lægra en ef um hreinan loftleiðara er að ræða. Vegna endurvinnslu áls úr jarðstrengjum var stuðst við endurvinnsluhlutfallið 58%, sem markaðsvirði brotajárns gagnvart hreinu áli [45]. Reiknað er með 43% endurvinnsluhlutfalli kopars út frá samantekt alþjóðlega auðlindaráðs Sameinuðu þjóðanna [43].

Upplýsingar um umhverfisáhrif vegna förgunar búnaðar tengivirkja voru fengnar úr vottuðum umhverfisyfirlýsingu (EPD) frá framleiðanda. Ekki voru um aðgreindar upplýsingar að ræða, þ.e. frá annars vegar meðhöndlun úrgangs og förgun hans (C) og hins vegar frá endurvinnslu (D) og er í niðurstöðum því sýnd samanlögð tala (C-D) fyrir förgun tengivirkisbúnaðar.

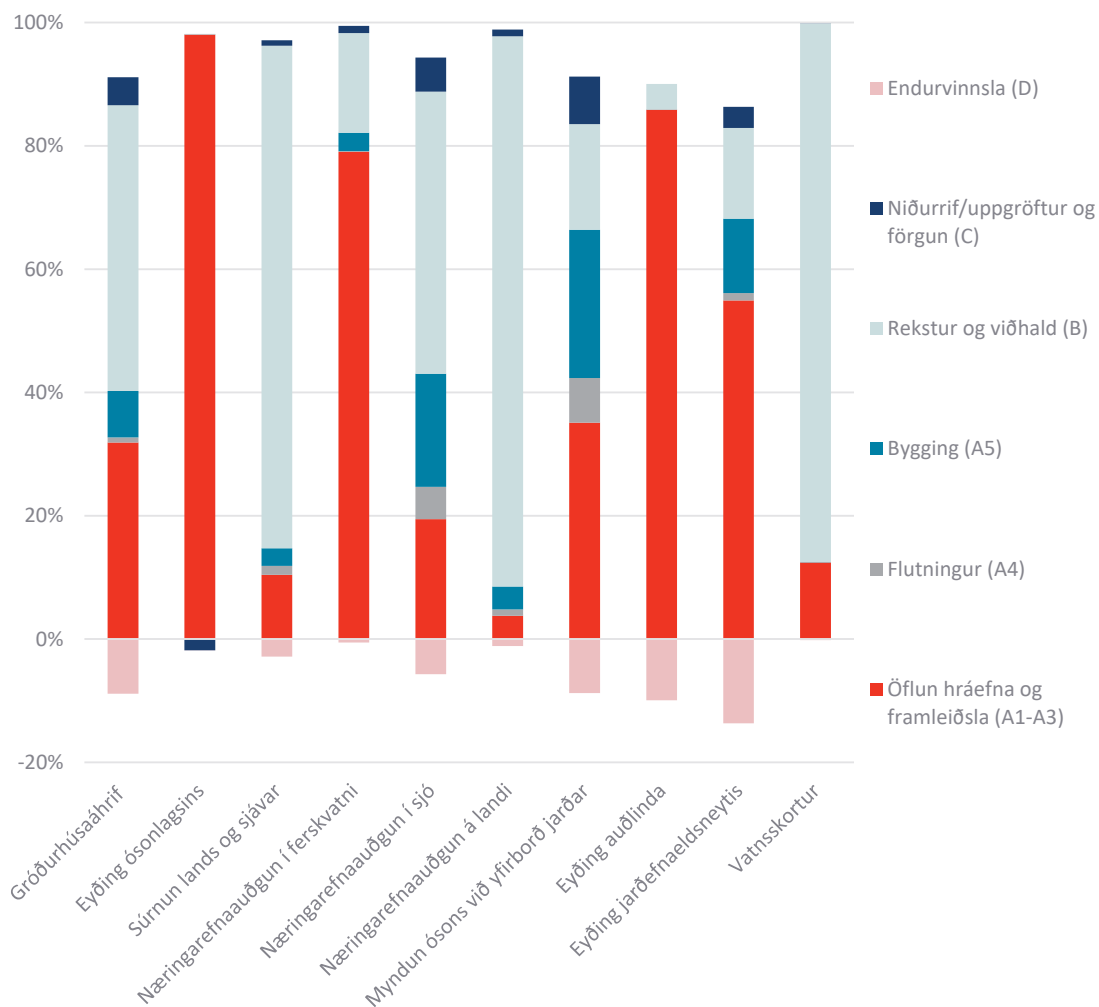
4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR

4.1 Umhverfisáhrif á vistferli flutningskerfis Landsnets

Í þessum kafla eru birtar niðurstöður vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Impact Assessment, LCIA) fyrir flutning á 1 kWst raforku með flutningskerfinu. Myndir 4.1 og 4.2 sýna heildarniðurstöður í þrettán áhrifaflokkum, þar sem niðurstöðum er skipt niður eftir mismunandi stigum vistferilsins (mynd 4.1) og eftir spennustigi (mynd 4.2). Áhrifaflokkum er nánar lýst í viðauka A. Tölulegar niðurstöður fyrir helstu þætti vistferilsins má sjá í viðauka B og hlutfallslega skiptingu innan hvers áhrifaflokks í töflu 4.1.

Niðurstöður í hverjum flokki eru birtar sem hlutfall af heild (100%), og ef ávinningur er t.d. af endurvinnslu í lok líftíma þá birtist sá ávinningur sem frádráttur á heildarumhverfisáhrifum í hverjum flokki.

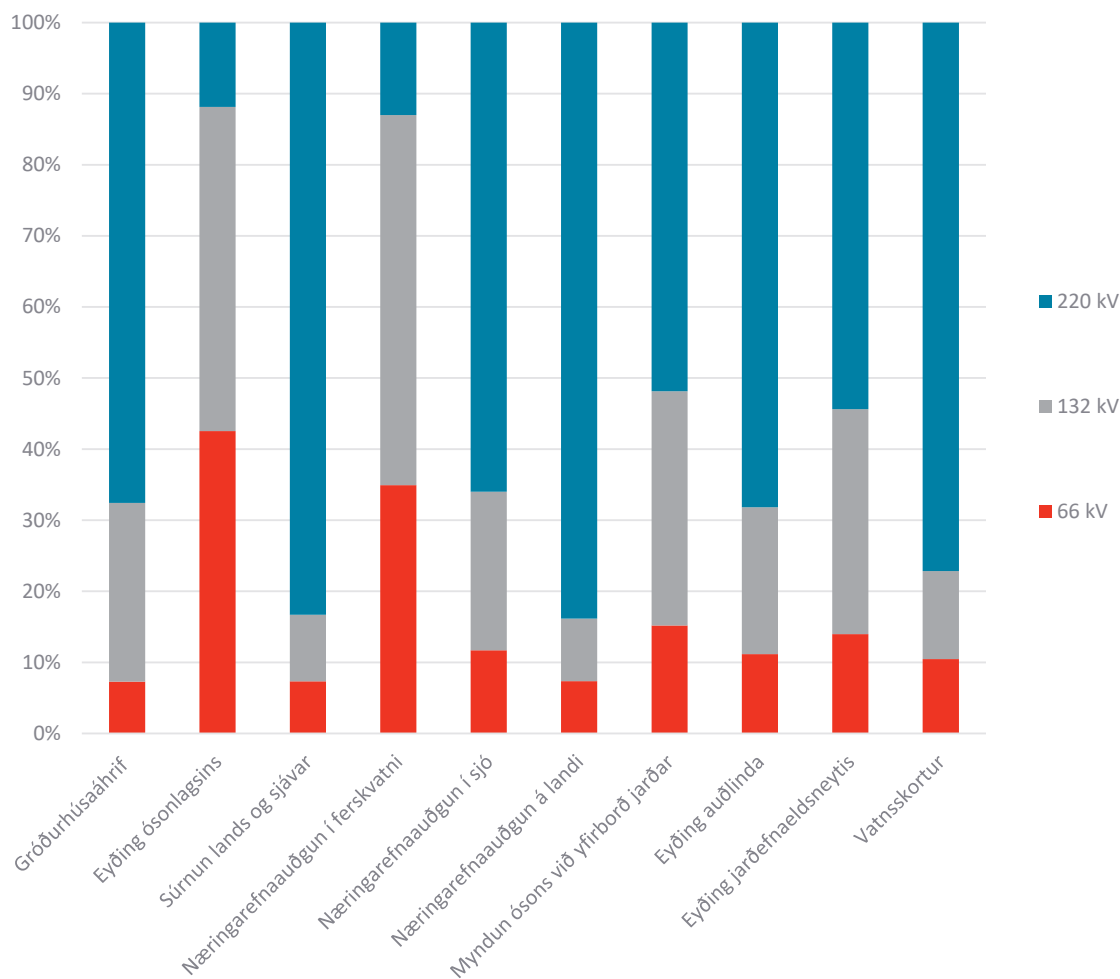
Öflun hráefna og framleiðsla á byggingarhlutum flutningskerfisins er stærsti þátturinn í um helming áhrifaflokka (mynd 4.1). Í flokki gróðurhúsaáhrifa vegur rekstur og viðhald kerfisins þyngst, sem orsakast af bæði töpum í flutningskerfinu sem og SF₆ leka í tengivirkjum, sjá nánar í kafla 4.4. Rekstur og viðhald kerfisins er jafnframt stærsti þátturinn í fjórum öðrum flokkum umhverfisáhrifa. Bygging kerfisins vegur töluvert í heildaráhrifum í þremur flokkum (næringarefnaauðgun í sjó, myndun ósons við yfirborð jarðar og eyðing jarðefnaeldsneytis), og í öllum áhrifaflokkum skilar endurvinnsla efna ávinningi að loknum líftímanum, þ.e. dregur úr umhverfisáhrifum. Gerð er nánari grein fyrir gróðurhúsaáhrifum og eyðingu auðlinda í köflum 4.4. og 4.5. Sundurliða má niðurstöður enn frekar til að varpa betur ljósi á einstaka þætti eða draga fram mögulegar umbótaáðgerðir, sjá nánari umfjöllun í kafla 5.



MYND 4.1 Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets. Hlutdeild mismunandi þátta vistferilsins má sjá fyrir mismunandi flokka umhverfisáhrifa. Sjá má nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa í viðauka A og tölulegar niðurstöður fyrir alla þætti í viðauka B.

TAFLA 4.1 Hlutfallsleg skipting áhrifa (%) í metnum umhverfisáhrifaflokkum, þar sem öllum niðurstöðum vistferilsgreiningar er skipt upp eftir mismunandi stigum vistferils (A-D). Taflan er litakóðuð til að draga fram hvaða þættir flutningskerfisins eða vistferilsins valda mestu áhrifunum í sérhverjum áhrifaflokki (*LULUC: Landnotkun og breyting á landnotkun).

		50-100%	5-50%	0±5%	<-5%	GRÓÐURHÚSÁHRIF	GRÓÐURHÚSÁHRIF JARDEFNAELDSNEYTI	GRÓÐURHÚSÁHRIF LÍFRÆNT	GRÓÐURHÚSÁHRIF LULUC*	EYDING ÖSONLAGSINS	SÚRLUN LANDS OG SJÁVAR	NÆRINGAREFNAUÐGUN Í FERSKVATNI	NÆRINGAREFNAUÐGUN Í SJÓ	NÆRINGAREFNAUÐGUN Á LANDI	MYNDUN ÖSÓNS VIÐ YFIRBORD JARÐAR	EYDING AUÐLUNDA	EYDING JARDEFNAELDSNEYTIS	VATNSSKORTUR
Öflun hráefna og framleiðsla byggingarluta																		
A1-A3	Stálmöstur	7%	7%	0%	0%	0%	1%	0%	4%	1%	7%	0%	11%	0%				
	Galvanisering	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	60%	3%	0%	
	Steypt möstur	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Trémöstur	-2%	1%	91%	3%	2%	1%	77%	3%	0%	7%	0%	5%	11%				
	Undirstöður: Steypa	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	
	Undirstöður: Stál	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	0%	
	Undirstöður: Rekastaurar	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Leiðarar	17%	17%	-1%	3%	0%	5%	1%	10%	2%	17%	1%	31%	0%				
	Jarðstrengir	4%	4%	7%	2%	0%	1%	1%	2%	0%	4%	24%	11%	0%				
	Jarðskaut og jarðvírar	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	5%	1%	0%			
	Einangrar	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	1%	0%		
	Stög	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Ræsi og síudúkur	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Tengivirki	8%	7%	0%	0%	100%	3%	0%	1%	0%	4%	16%	10%	0%				
Flutningur byggingarluta á framkvæmdastað																		
A4	Flutningur: Framleiðsla eldsneytis	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%
	Flutningur: Brennsla eldsneytis	1%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	6%	1%	8%	0%	0%	0%				
	Flutningur: Raforkunotkun	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Byggingarframkvæmdir																		
A5	Framleiðsla eldsneytis	1%	1%	15%	58%	0%	0%	3%	1%	0%	2%	0%	17%	0%				
	Brennsla eldsneytis	8%	8%	-11%	0%	0%	3%	0%	19%	4%	27%	0%	0%	0%				
Rekstur og viðhald																		
B1-B6	Flutningstöp	31%	30%	-3%	11%	0%	85%	12%	42%	89%	7%	3%	8%	87%				
	Flug	4%	4%	0%	0%	0%	1%	0%	6%	1%	9%	0%	7%	0%				
	Losun SF6	19%	18%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Eldsneytis- og oliunotkun	1%	1%	0%	8%	0%	0%	0%	3%	1%	3%	0%	2%	0%				
	Olía á rofa og spenna	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Endurnýjun búnaðar	1%	1%	5%	0%	0%	0%	4%	1%	0%	2%	2%	2%	1%				
	Orkunotkun búnaðar í tengivirkjum	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Niðurrif / uppgjöftur og förgun																		
C1-C4	Niðurrif / uppgjöftur	2%	2%	1%	14%	0%	1%	1%	5%	1%	7%	0%	4%	0%				
	Flutningar á úrgangi	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Meðhöndlun og förgun úrgangs	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
C-D	Förgun og endurvinnsla tengivirkja	3%	3%	-5%	0%	-2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Endurvinnsla																		
D	Endurvinnsla: stál	-1%	-1%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	0%	-1%	-2%	-1%	0%				
	Endurvinnsla: ál	-10%	-9%	1%	-2%	0%	-3%	0%	-6%	-1%	-9%	0%	-17%	0%				
	Endurvinnsla: kopar	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-10%	0%				



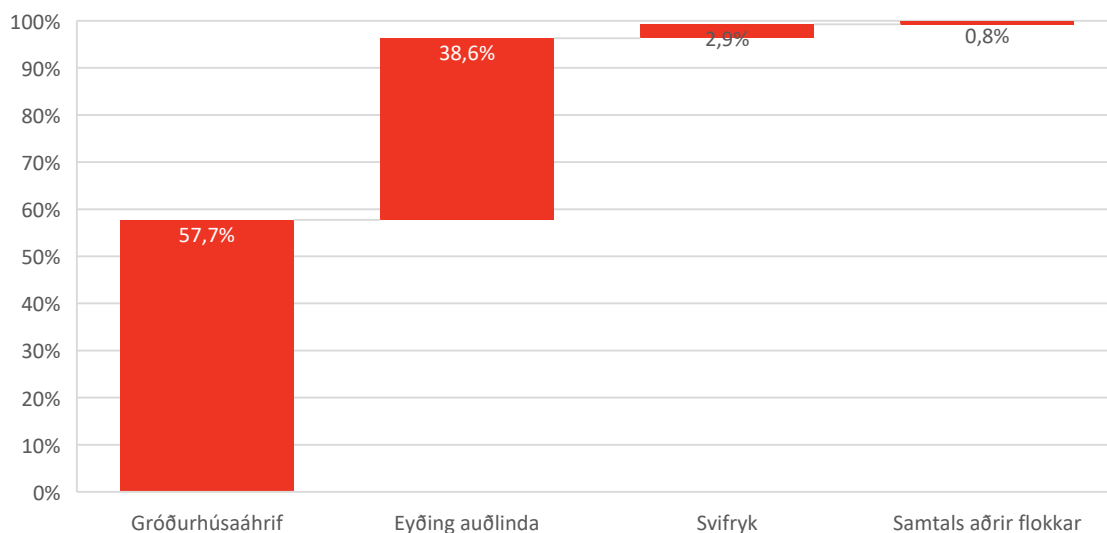
MYND 4.2 Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets. Hlutdeild þriggja megin spennustiga flutningskerfisins, 220 kV, 132 kV og 66 kV, í heildaráhrifum hvers flokks umhverfisáhrifa.

Nánari skiptingu innan hvers spennustigs í flokki gróðurhúsaáhrifa má sjá á mynd 4.10. Sjá má nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa í viðauka A og tölulegar niðurstöður fyrir öll spennustig í viðauka B.

4.2 Vægi umhverfisáhrifaflokka í evrópsku samhengi

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar eru birtar í þessari greiningu fyrir þrettán mismunandi flokka og undirflokka umhverfisáhrifa sem allir hafa mismunandi einingar. Beita má svokallaðri vigtun (e. weighting) og stöðlun (e. normalization) til þess að setja niðurstöður þessarar greiningar í samhengi við aðra þekkta losun, en inn í þá aðgerð kemur m.a. mannlegt mat á mikilvægi flokka. Við stöðlun eru niðurstöðurnar settar í samhengi við umhverfisáhrif vegna mannlegra athafna sem verða í heiminum eða á ákveðnu svæði, t.d. Evrópu, á einu ári. Vigtun felur í sér að hver flokkur umhverfisáhrifa er úthlutað ákveðið vægi sem getur t.d. verið byggt á pólitískum markmiðum um minnkun umhverfisáhrifa eða á skoðunum sérfræðinga [46].

Í þessari greiningu var notast við aðferðafræði ReCiPe 1.08 [47]. Við stöðlun eru niðurstöðurnar settar í samhengi við árlega losun vegna mannlegra athafna í Evrópu árið 2000. Vigtunin byggir á mati sérfræðinga alls staðar að úr heiminum frá árinu 2012, þar sem umhverfisáhrifum var gefið vægi á skalanum frá 1-10. Niðurstöður stöðlunar og vigtunar, þar sem hægt er að bera saman innbyrðis vægi mismunandi flokka, má sjá á mynd 4.3. Framlag flutningskerfisins til umhverfisáhrifa í Evrópu er hlutfallslega mest í flokkunum gróðurhúsaáhrif, eyðing auðlinda og svifryk samkvæmt þessari aðferðafræði. Sjá má hvaða þættir það eru sem valda mestu áhrifunum innan þessara flokka í töflu 4.1.

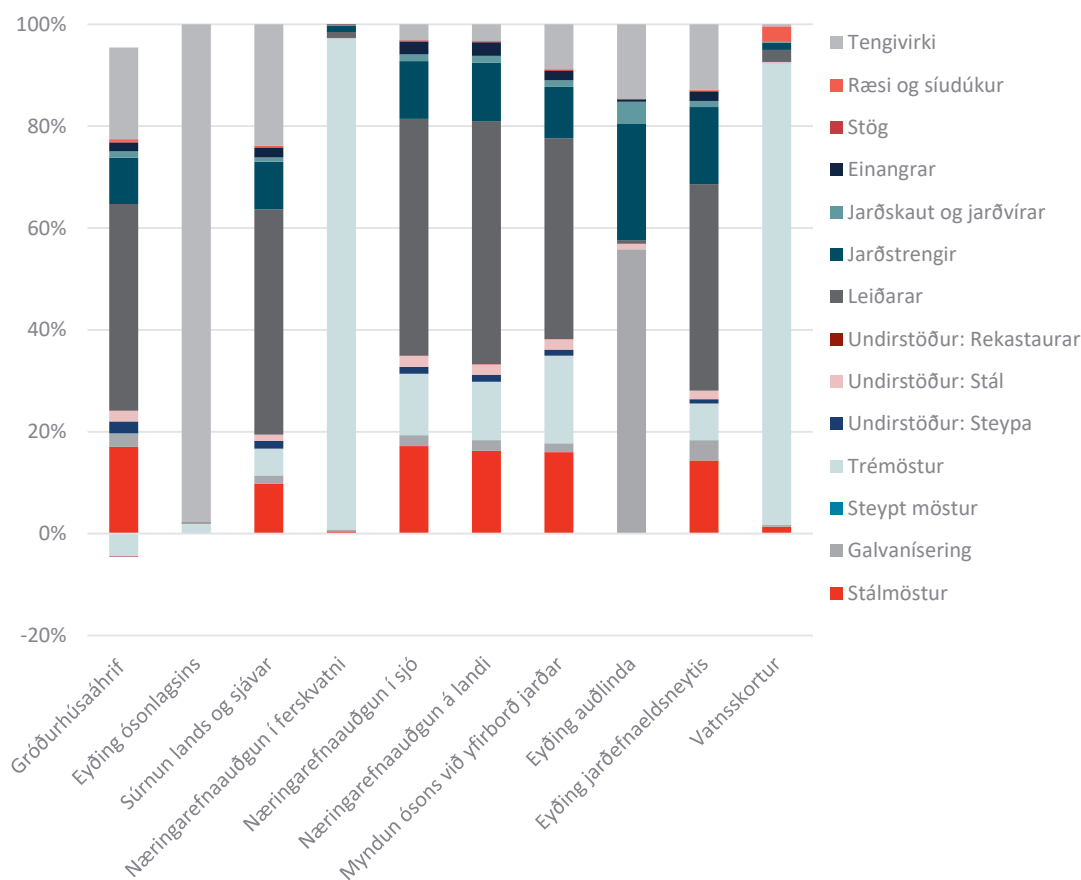


MYND 4.3 Myndin sýnir innbyrðis vægi allra flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum við flutning raforku í flutningskerfi Landsnets. Hér hafa niðurstöður verið staðlaðar og vigtaðar m.v. meðaláhrif vegna mannlegra athafna í Evrópu skv. ReCiPe aðferðinni.

4.3 Niðurstöður fyrir hvern fasa vistferilsins

4.3.1 Öflun hráefna og framleiðsla byggingarluta (A1-A3)

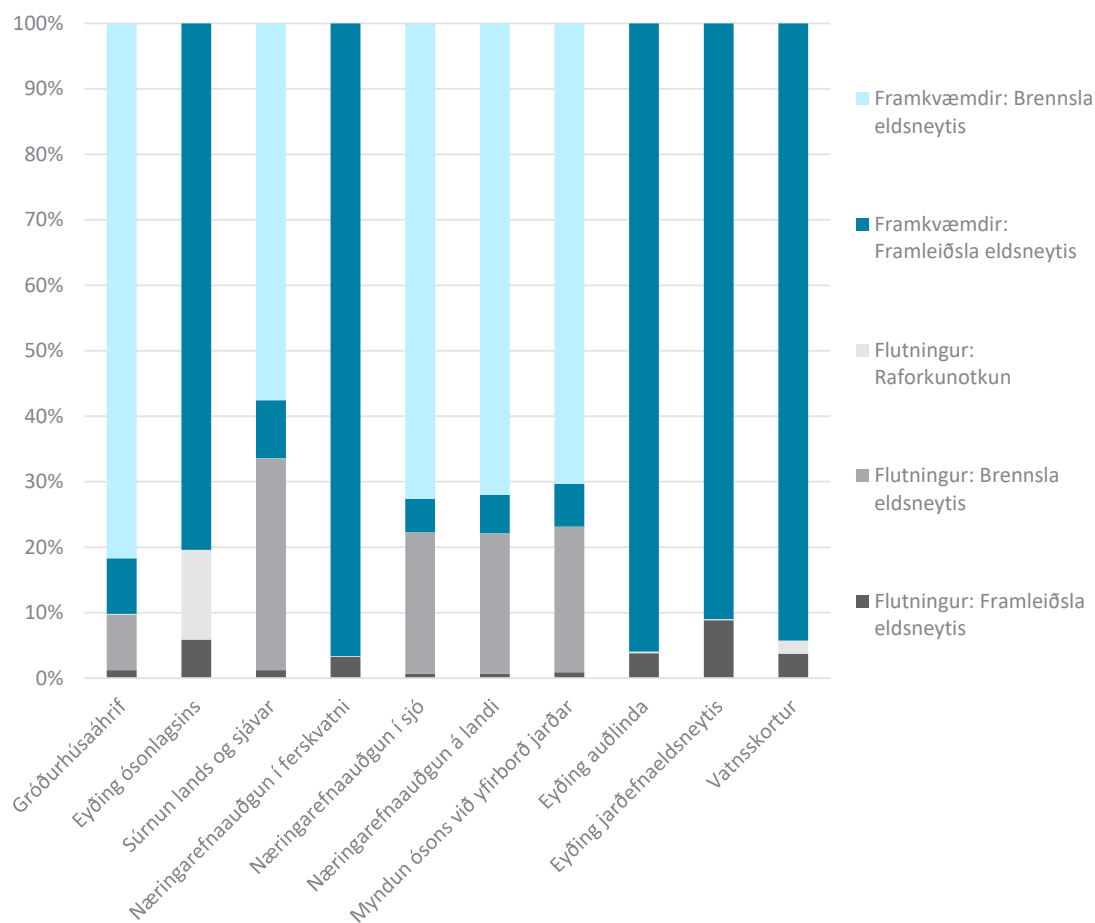
Öflun hráefna og framleiðsla á byggingarlutum flutningskerfisins er ráðandi þáttur í heildaráhrifum fyrir um helming áhrifaflokka (mynd 4.1). Sundurliðun niðurstaða (mynd 4.4) sýnir að framleiðsla stál- og trémastra sem og leiðara eru meðal þeirra þátta sem hafa mest áhrif í mörgum flokkum, en framleiðsla búnaðar í tengivirki og framleiðsla jarðstrengja vega einnig töluvert í nokkrum flokkum. Í tilviki mastranna er það framleiðsla stálsins í stálmöstur sem og vetnisperoxíðs og sinks fyrir galvanhúðun sem skipta miklu máli, auk starfsemi galvanverksmiðjunnar. Í tilviki leiðaranna er um að ræða framleiðslu áls sem veldur mestu áhrifunum. Hið sama á við um jarðstrengi, en þar spilar einnig inn koparskermur í ramma í flokki eyðingar auðlinda. Í tengivirkjum má rekja mestu umhverfisáhrifin til rofa og spennu.



MYND 4.4 Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir öflun hráefna og framleiðslu byggingarluta (A1-A3) í flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöðum er skipt upp eftir öllum byggingarlutum flutningskerfisins. Sjá má nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa í viðauka A og tölulegar niðurstöður fyrir alla þætti í viðauka B.

4.3.2 Flutningar og bygging (A4-A5)

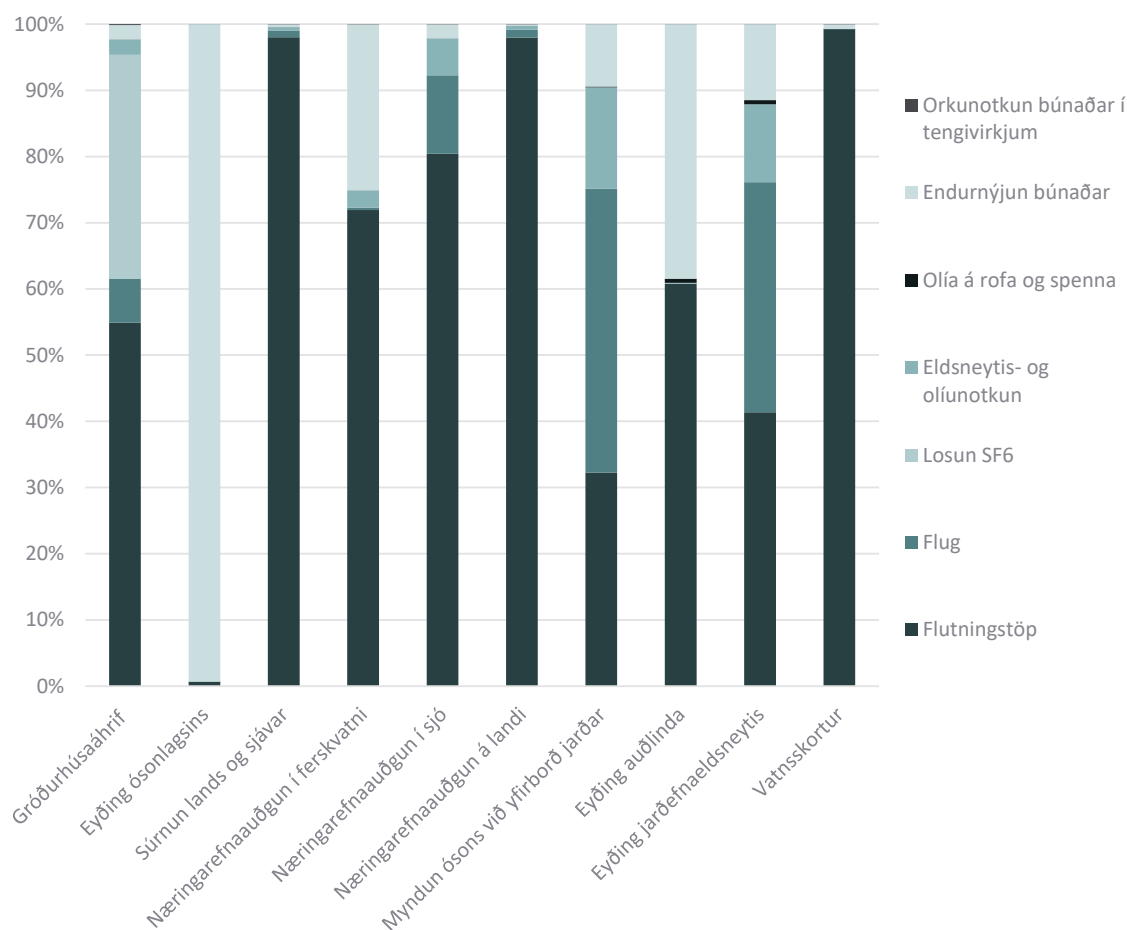
Þegar niðurstöður eru sundurliðaðar eftir þeirri orkunotkun sem þarf, þ.e. framleiðslu og brennslu eldsneytis, til þess að flytja alla byggingarluta og hráefni til Íslands (A4) og við að byggja flutningskerfið (A5), má sjá að byggingar- og framkvæmdarfasinn vegur mun þyngra en flutningarnir í öllum flokkum umhverfisáhrifa. Þar er um að ræða alla eldsneytisnotkun á vélar og ökutæki vegna reisingar og lagningar bæði loftlína og jarðstrengja, sem og vinna við að byggja tengivirkishús.



MYND 4.5 Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöðum er skipt upp eftir flutningum allra byggingarluta til landsins og byggingu flutningskerfisins (A4-A5). Sjá má nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa í viðauka A og tölulegar niðurstöður fyrir alla þætti í viðauka B.

4.3.3 Rekstur og viðhald (B1-B6)

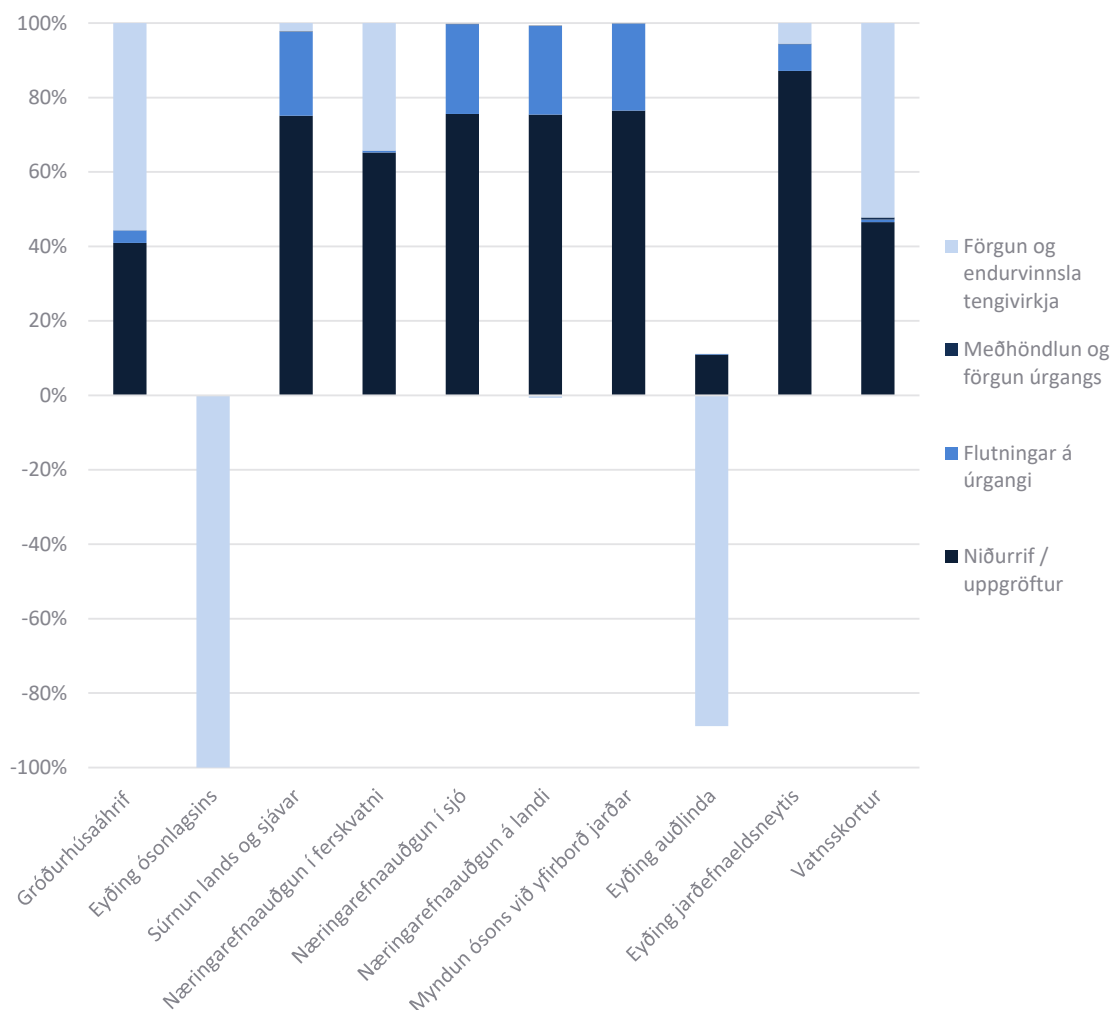
Umhverfisáhrif frá rekstri og viðhaldi flutningskerfisins má að verulegu leyti rekja til flutningstapa í flestum flokkum umhverfisáhrifa. Endurnýjun á 60 ára líftíma kerfisins vegur einnig þungt í nokkrum áhrifaflokkum, og er þar einkum og sér í lagi að ræða endurnýjun mastra, leiðara og búnaðar tengivirkja. Í flokki gróðurhúsaáhrifa er það SF₆ leki í tengivirkjum sem veldur rúmlega 33% áhrifa rekstrarins á meðan flutningstöp valda um 54% áhrifanna. Þess ber þó sérstaklega að geta að eingöngu er hér reiknað með gróðurhúsaáhrifum SF₆ lekans vegna skorts á gögnum um áhrif framleiðslu gassins og losunarinnar í öðrum áhrifaflokkum.



MYND 4.6 Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöðum er skipt upp eftir öllum rekstrarþáttum flutningskerfisins (B1-B6) yfir 60 ára líftíma þess. Sjá má nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa í viðauka A og tölulegar niðurstöður fyrir alla þætti í viðauka B.

4.3.4 Niðurrif og förgun (C1-C4/D)

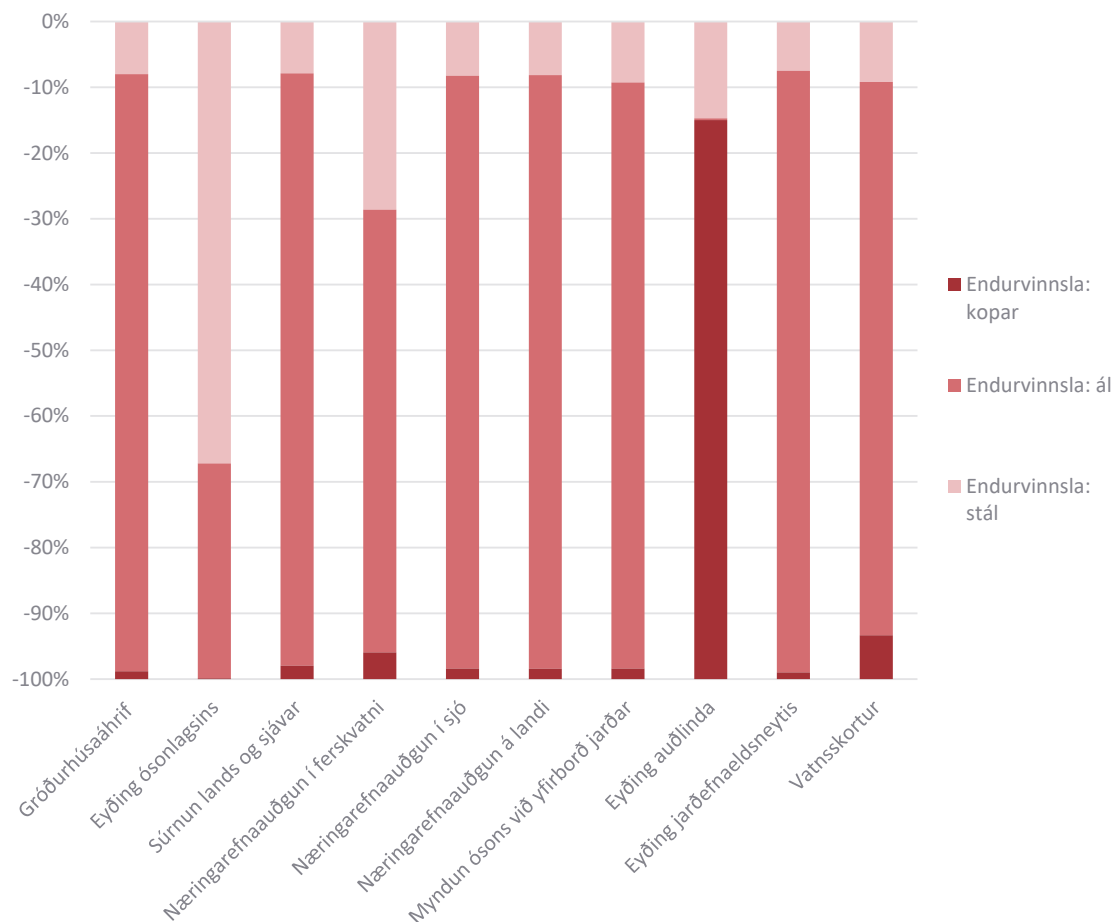
Í lok líftíma flutningskerfisins er gert ráð fyrir niðurrifi þess og förgun. Sjá má að eldsneytisnotkun vegna niðurrifs loftlína og/eða uppgröfts jarðstrengja vegur þungt í öllum áhrifaflokkum. Ávinningur af endurvinnslu málma sem mögulegt er að endurheimta í lok líftímans er ekki sýndur hér heldur í næsta kafla, með einni undantekningu. Upplýsingar um förgun búnaðar í tengivirkjum var fengin frá framleiðendum, en þar voru gefin upp samanlögð áhrif förgunar (umhverfisáhrif) og endurvinnslu búnaðarins (ávinningur). Það er ástæðan fyrir því að í sumum áhrifaflokkum má í mynd 4.7 sjá nettóávinning af förgun tengivirkja.



MYND 4.7 Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöður eru sýndar fyrir lok líftíma flutningskerfisins, þ.e. niðurrif og förgun (C1-C4/D). Sjá má nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa í viðauka A og tölulegar niðurstöður fyrir alla þætti í viðauka B.

4.3.5 Endurvinnsla (D)

Með endurvinnslu er dregið úr heildarumhverfisáhrifum í öllum áhrifaflokkum. Af þeim þremur málum sem skoðaðir eru í þessari greiningu má sjá mestan ávinning af endurvinnslu áls í leiðurum flutningskerfisins, sem dregur úr gróðurhúsaáhrifum flutningskerfisins um 10% (tafla 4.2), eða því sem samsvarar 1270 tonnum af CO₂-ígildum yfir líftíma kerfisins.

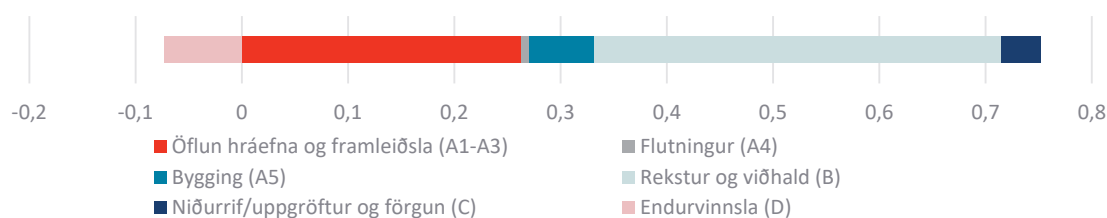


MYND 4.8 Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets, þar sem niðurstöðum er skipt upp eftir þeim ávinningi sem hlýst af endurvinnslu málma í lok líftíma kerfisins (D). Sjá má nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa í viðauka A og tölulegar niðurstöður fyrir alla þætti í viðauka B.

4.4 Kolefnisspor flutningskerfisins

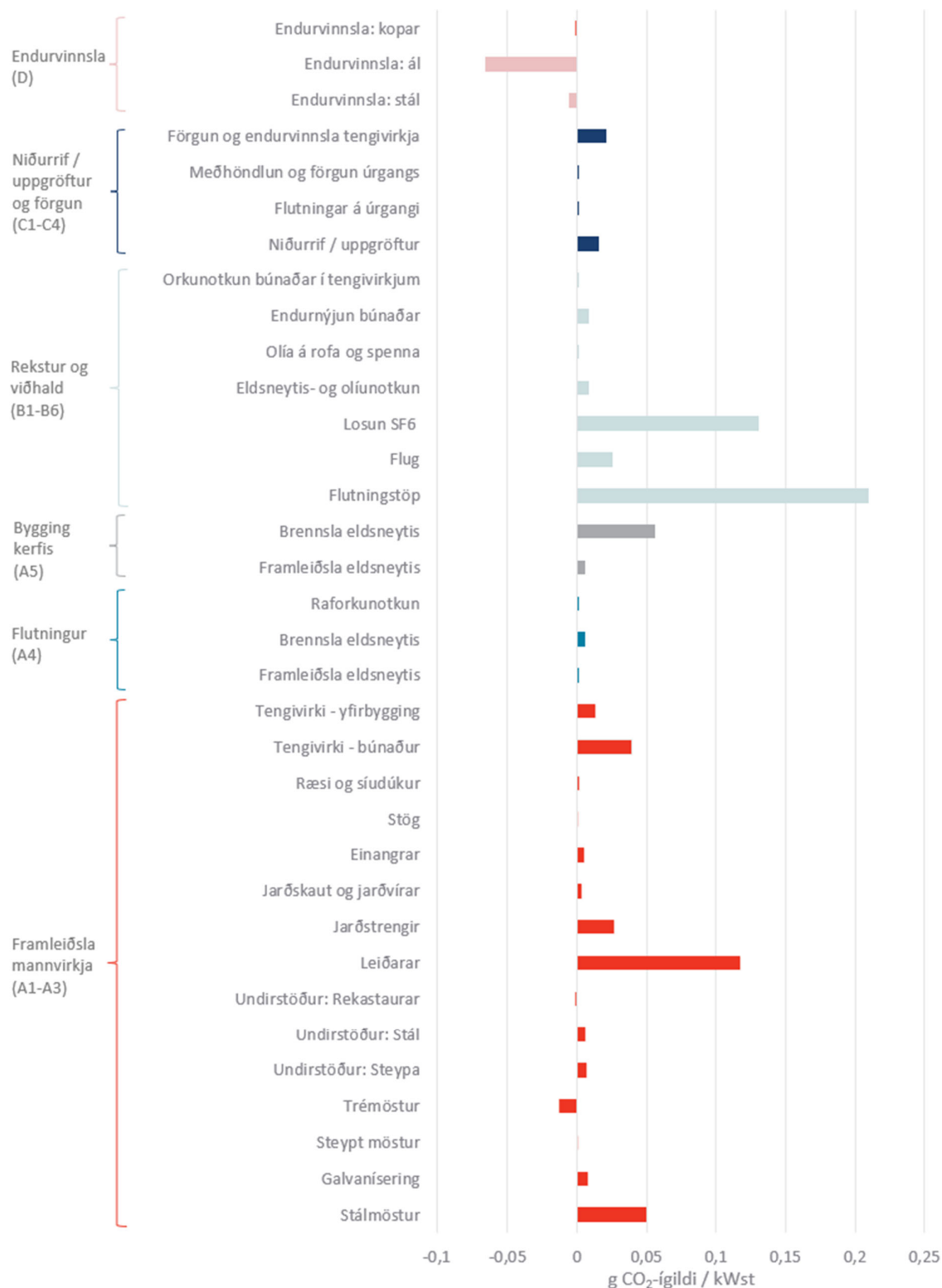
Kolefnisspor flutningskerfisins er **0,75 g CO₂-ígildi/kWst** eða um 0,68 þegar endurvinnslan er tekin með í reikninginn (mynd 4.9). Á mynd 4.10 sést vel hvernig töp á rekstartíma valda hlutfallslega mikilli losun eða 28%. Þetta má að stærstum hluta rekja til losunar CO₂ frá vinnslu raforku með jarðvarma á Íslandi (sjá kafla 3.3.2). Næststærsti hluti kolefnissporsins er losun SF₆ frá tengivirkisbúnaði, sem myndar um 17% kolefnissporsins.

Af þeim byggingarhlutum sem mynda flutningskerfið hafa leiðarar stærstu hlutdeild í kolefnissporinu eða 16%. Aðrir byggingarhlutar sem valda töluverðum hluta heildarlosunar gróðurhúsalofttegunda eru stálmöstur (7%) og tengivirki (8%). Flutningar allra efna og byggingarhluta til landsins mynda samanlagt um 0,9% kolefnissporsins. Byggingarframkvæmdir, þ.e. eldsneytisnotkun á vélar og tæki vegna gerð undirstaða, skurða og aðkomuslóða, sem og eldsneytisnotkun vegna reisingar loftlína og lagning jarðstrengja, valda 8% heildaráhrifa. Að niðurrifi loknu er gert ráð fyrir endurvinnslu á stáli mastra og áli leiðara, því er um að ræða frádrátt frá heildargróðurhúsaáhrifum sem nemur um 10%.

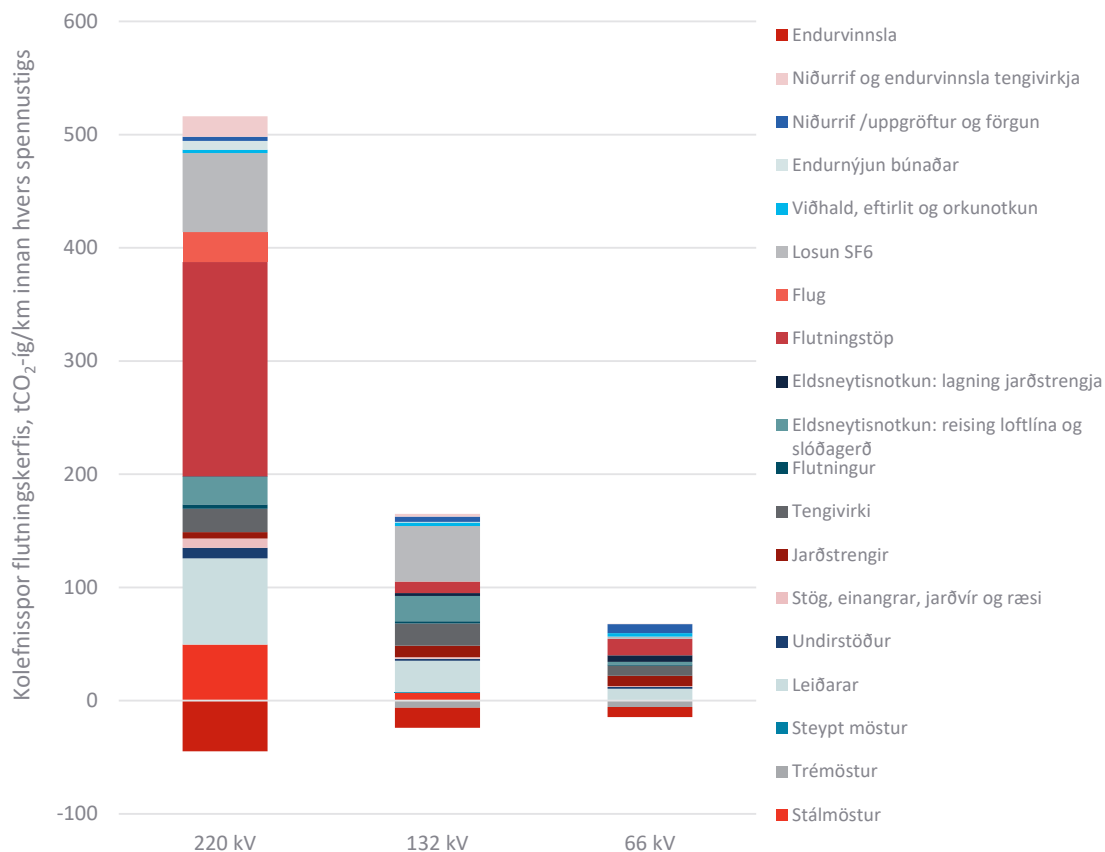


MYND 4.9 Kolefnisspor flutningskerfisins, rekið á 220 kV, 132 kV og 66 kV spennu.

Heildargróðurhúsaáhrif á hvern km og á hverja kWst innan sérhvers spennustigs er sýnd á myndum 4.11 og 4.12. Af 4.11 má sjá að umfang 220 kV kerfisins í flutningskerfinu öllu, bæði með tilliti til byggingarhluta og flutningstapa, er töluvert, en hafa ber jafnframt í huga að um 80% alls raforkuflutnings fer fram á þessu spennustigi (tafla 3.7 og mynd 4.12). Byggingarhlutar kerfanna þriggja eru ólíkir með tilliti til mastragerða, leiðara, línulengda og fleiri þátta. Í 132 kV og 66 kV spennustigunum er að miklu leyti um trémöstur að ræða sem eru samansett úr fúavörðu timbri, en fúavörnin (e. creosote) hefur hlutfallslega meiri áhrif á aðra áhrifaflokka en gróðurhúsaáhrif (mynd 4.2). Í 132 kV kerfinu, sem er lengsta kerfið í kílómetrum talið, er hlutdeild jarðvinnu og lagningar í kolefnissporinu hærri en í hinum spennustigunum.



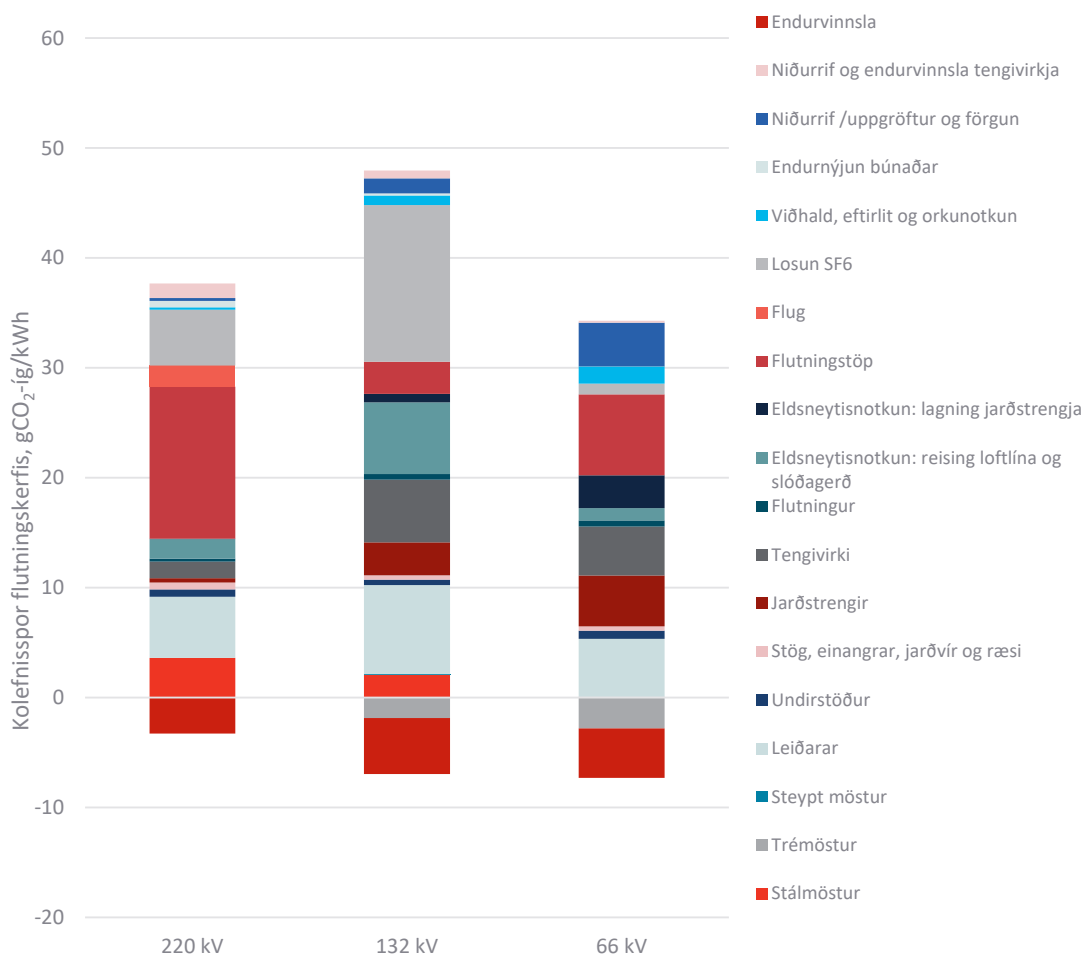
MYND 4.10 Kolefnisspor flutningskerfis raforku, sem rekið er á 220 kV, 132 kV og 66 kV spennustigi. Niðurstöður eru birtar í koldíoxíðsígildum (g CO₂-ígili) fyrir flutning á 1 kWst í flutningskerfinu öllu.



MYND 4.11 Kolefnisspor raforkuflutningskerfisins á hvern km innan hvers spennustigs; 220 kV, 132 kV og 66 kV.

TAFLA 4.2 Kolefnisspor raforkuflutningskerfisins á hvern km innan hvers spennustigs; 220 kV, 132 kV og 66 kV. Gefnar eru upp meðaltölur innan hvers fasa vistferilsins, út frá greiningu á núverandi raforkuflutningskerfi Landsnets.

	220 KV TONN CO ₂ -ÍG/KM	132 KV TONN CO ₂ -ÍG/KM	66 KV TONN CO ₂ -ÍG/KM
ALLS	472,1	141,6	53,5
A1-A3 FRAMLEIÐSLA BYGGINGARHLUTA	169,5	61,9	25,3
A4 FLUTNINGAR	3,7	1,8	1,1
A5 BYGGING (LAGNING/REISING)	24,8	20,0	26,1
B REKSTUR OG VIÐHALD	297,1	63,3	19,7
C-D NIÐURRIF, FÖRGUN OG ENDURVINNSLA	-23,1	-10,3	-0,7



MYND 4.12 Kolefnisspor raforkuflutningskerfisins á hverja flutta kWst innan hvers spennustigs; 220 kV, 132 kV og 66 kV.

TAFLA 4.3 Kolefnisspor raforkuflutningskerfisins á hverja flutta kWst innan hvers spennustigs; 220 kV, 132 kV og 66 kV. Gefnar eru upp meðaltölur innan hvers fasa vistferilsins, út frá greiningu á núverandi raforkuflutningskerfi Landsnets.

	220 KV G CO ₂ -ÍG/KWST	132 KV G CO ₂ -ÍG/KWST	66 KV G CO ₂ -ÍG/KWST
ALLS	34,4	41,1	27,0
A1-A3 FRAMLEIÐSLA BYGGINGARHLUTA	12,4	18,0	12,8
A4 FLUTNINGAR	0,3	0,5	0,5
A5 BYGGING (LAGNING/REISING)	1,8	5,8	13,2
B REKSTUR OG VIÐHALD	21,7	18,4	9,9
C-D NIÐURRIF, FÖRGUN OG ENDURVINNSLA	-1,7	-3,0	-0,4

5 UMRÆÐUR

5.1 Gæði gagna og notkun á niðurstöðum

Gæði gagnanna sem nýtt voru við vinnslu þessarar vistferilsgreiningar teljast góð enda byggja þau á gögnum frá framleiðendum, raungögnum frá Landsneti og góðum bakgrunnsgögnum varðandi orkunotkun, hráefnaöflun og vinnslu hráefna. Útreikningar byggja að auki á greiningu á flutningi og flutningstöpum innan ólíkra spennustiga á fimm rekstrarárum 2010-2014, en frá þeim tíma hefur kerfið byggst upp innan allra spennustiga. Þá voru gögn uppfærð frá seinustu greiningu, sjá kafla 1.4, þar sem fyllt var í þekkingareyður sem og forsendur uppfærður varðandi stærri losunarpætti, t.d. losun vegna vinnslu raforku á Íslandi. Óvissa í niðurstöðum er helst til komin vegna áætlana og forsendna um líftíma sem og forsendna um rekstur og viðhald, niðurrif og endurvinnslu í lok líftíma.

5.2 Uppfært kolefnisspor og helstu breytingar

Vistferilsgreiningar eru lifandi verkfæri til þess að greina umhverfisáhrif vöru eða kerfis. Frá því að niðurstöður voru fyrst birtar í lok árs 2018 hafa nýjar línur verið byggðar, fjöldi tengivirkja hefur aukist og flutningsgeta kerfisins hefur aukist sem því nemur. Þá hafa bakgrunnsgögnum varðandi stærsta einstaka losunarpáttinn verið uppfærðar, þ.e. forsendur losunar vegna raforkuvinnslu á Íslandi til að meta áhrif flutningstapa í kerfinu. Verði frekari breytingar á forsendum greiningar, einkum hvað varðar stærri losunarpætti (vinnsla raforku eða flutningstöp, losun SF₆, breytingar á eignasafni), þá er rétt að uppfæra greiningu, enda endurspegla niðurstöður bestu forsendur á hverjum tímapunkti.

Kolefnisspor flutningskerfisins er **0,75 g CO₂-ígildi/kWst miðað við 60 ára líftíma kerfisins**, að meðtalinni endurnýjun á líftímanum. Rekstur kerfisins veldur um helmingi gróðurhúsaáhrifa, sem rekja má að mestu til þeirrar orku sem framleidd er í jarðvarmaorkuverum hér á landi (sjá nánar í kafla 3.3.2), sem og til SF₆ leka í tengivirkjum.

Samsvörun er að finna milli kolefnisspors raforkuflutnings fyrir rekstrarfasann, líkt og hér er reiknað með aðferðafræði vistferilsgreiningar, og kolefnisspors rekstrar Landsnets, sem tekið er saman árlega og er að finna í ársskýrslum fyrirtækisins [48]. Líkt og niðurstöður þessarar greiningar varðandi reksturinn gefa til kynna hafa flutningstöp og losun SF₆ í andrúmsloftið verið stærstu þættir kolefnisspors rekstrar Landsnets undanfarinna ára. Stærsti munur þessarar greiningar og þeirrar sem birt er árlega, hvað reksturinn varðar, er að í þessari greiningu er ekki gerð tilraun til þess að áætla eldsneytisnotkun vegna varaafls yfir 60 ára skilgreindan líftíma kerfisins. Slík notkun er háð ýmsum þáttum sem Landsnet getur hvorki spáð fyrir um né haft áhrif á, t.d. vegna náttúrufars, hamfara sem og stjórnsvaldsákvarðana. Notkun varaafllsstöðva Landsnets hefur verið afar breytileg milli ára og hefur afleidd losun verið markverð stærð í loftslagsbókhalði fyrirtækisins.

5.3 Samanburður við erlendar greiningar

Enn sem komið er hafa fáar vistferilsgreiningar verið gerðar fyrir flutning raforku. Í einstaka tilvikum er hann greindur samhliða orkuvinnslu, en niðurstöður erlendra greininga sýna engu að síður að flutningur raforku getur skipt töluverðu máli í samhengi við framleiðslu hennar. Þær vistferilsgreiningar sem gerðar hafa verið erlendis hafa einblínt á mismunandi þætti í flutningskerfum raforku. Greiningarnar hafa meðal annars horft til loftlína [49], jarðstrengja [50] eða búnaðar tengivirkja [51, 52]. Í öðrum greiningum hefur verið horft eingöngu til ákveðinna umhverfisáhrifa eins og gróðurhúsalofttegunda [53], mismunandi hráefna eða kerfi hafa verið borin saman [54, 55, 56] eða ákveðin spennustig verið skoðuð [57, 58].

Vistferilsgreiningar sem gerðar hafa verið fyrir heilu kerfin, eins og fyrir flutningskerfin í Bretlandi [53] og Noregi [59], flutnings- og dreifikerfið í Portúgal [60], í Nord-Trøndelag fylki í Noregi [61], og í Danmörku [62], hafa meðal annars byggt upplýsingasöfnunina á meðaltölum, þar sem ekki voru aðgengilegar raunupplýsingar um byggingarefni og orkunotkun við reisingu kerfanna. Í þeim rannsóknum þar sem flutnings- og dreifikerfi hafa verið til athugunar hafa niðurstöður einróma bent til þess að hlutfallsleg umhverfisáhrif dreifikerfisins séu meiri en flutningskerfisins vegna meira magns byggingarefna per flutta kWst og vegna meiri tapa á lægri spennustigum.

Vistferilsgreiningar fyrir erlend flutnings- og dreifikerfi [61, 63, 60, 59, 53, 64] eiga það sameiginlegt með niðurstöðum þessarar greiningar að framleiðsla allra byggingarhluta er veigamikill þáttur í flestum áhrifaflokkum. Í flokki gróðurhúsaáhrifa eiga niðurstöður greininganna einnig sameiginlegt með þessari að flutningstöpin valda hlutfallslega mestri losun gróðurhúsalofttegunda og er losun SF₆ öllu jafna næststærsti þátturinn.

Kolefnisspor raforkuframleiðslu á Íslandi er í þessari greiningu metið um 7,8 g CO₂-ígildi/kWst (kafla 3.3.2) sem er töluvert lægra en í Danmörku eða í Bretlandi (um 200 g CO₂-ígildi/kWst). Í Bretlandi byggir raforkuvinnslan að stærstum hluta á óendurnýjanlegum auðlindum, sem skýrir þá staðreynd að

orkutöp geta þar numið allt að 85% af heildarkolefnisspori flutningskerfisins, sem var metið um 11 g CO₂-ígildi / kWst [53]. Niðurstöður þessarar greiningar eru, eins og við var að búast, líkari niðurstöðum norsku greiningarinnar [59], þar sem hlutur flutningstapa er 51% af heildar gróðurhúsaáhrifum, samanborið við 28% fyrir íslenska flutningskerfið. Í Noregi byggir raforkuvinnslan að nær öllu leyti, líkt og á Íslandi, á endurnýjanlegum orkugjöfum, og er kolefnisspor raforkunnar þar í landi 38 g CO₂-ígildi/kWst. Samantekt á kolefnisspori raforkuflutnings á Íslandi, í Noregi og í Bretlandi, ásamt hlutdeild flutningstapa, má sjá í töflu 5.1.

TAFLA 5.1 Gróðurhúsaáhrif vegna flutningstapa í flutningskerfi Landsnets, norska flutningskerfinu (Jorge & Hertwich, 2013), breska flutningskerfinu (Harrison et al., 2010), og gríska flutnings- og dreifikerfinu (Orfanos et al., 2019)

	EINING	IS	NO	UK	GR
Flutningstöp	%	2,0%	2,0%	1,7%	7%*
Kolefnisspor	g CO ₂ -íg./kWst	0,68	1,32	11	97
Gróðurhúsaáhrif vegna flutningstapa	% af heildar áhrifum	28%	51%	85%	53%
	g CO ₂ ígildi/kWst	0,21	0,68	9,4	52

*töpp í bæði flutnings- og dreifikerfi samanlagt

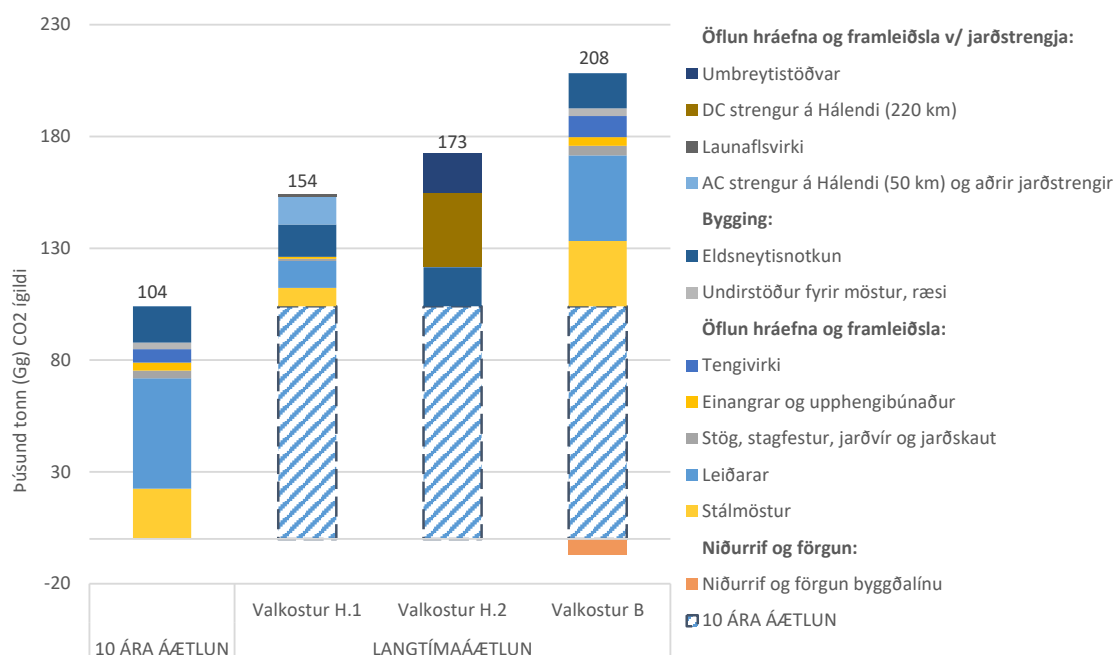
5.4 Nýting á niðurstöðum vistferilsgreininga

Af niðurstöðum þessarar skýrslu að dæma eru raunveruleg tækifæri til staðar til að draga úr gróðurhúsaáhrifum flutningskerfisins. Miðað við skýrslur vísindanefndar Sameinuðu Þjóðanna um loftslagsmál (IPCC) er einnig orðið ljóst hversu aðkallandi allar breytingar eru, þ.e. hversu brýnt er að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda með öllum tiltækum ráðum næstu 5-12 árin áður en það verður um seinan og að hlýnun jarðar fari yfir 1,5°C. Þörf er á yfirgripsmiklum breytingum hjá stjórnvöldum, fyrirtækjum og einstaklingum til þess að þetta takmark náist, en bent hefur verið á að tæknin sé þegar til staðar og því sé ekkert því til fyrirstöðu að hefjast handa.

Frá því að niðurstöður voru fyrst birtar hefur líkanið nýst í ýmsum tilgangi hjá Landsneti, m.a. til þess að meta kolefnisspor valkosta í kerfisáætlun (mynd 5.1), bera saman ólíkan tengivirkisbúnað (mynd 5.2), bera saman ólíkar gerðir mastra og bera saman flutning með ólíkum tegundum leiðara. Allt eru þetta dæmi um hagnýtar leiðir til beita umhverfisstjórnun á öllum stigum vistferilsins.

Þau gögn sem notuð eru í þessari greiningu byggja á meðaltölum og mælingum í rekstri Landsnets á undanförunum árum, en þess skal getið að mikið álag er á núverandi flutningskerfi og talið er að ýmis rekstrartengd vandamál komi til með að leysast með styrkingu meginflutningskerfisins. Styrking kerfisins mun ekki eingöngu fela í sér bætt afhendingaröryggi, heldur einnig aukna hagræðingu sem er líkleg til að halda flutningstöpum í lágmarki og þar með einnig kolefnisspori.

Niðurstöður þessarar greiningar veita upplýsingar um umhverfisáhrif í meginflutningskerfi Íslands og hvar megin umhverfisáhrifin er að finna yfir vistferilinn. Greiningin nýtist þannig beinlínis sem verkfæri í umhverfisstjórnun, enda er vistferilshugsun hluti af umhverfisstjórnunarstaðlinum ISO 14001, þar sem leitast er við að draga úr umhverfisáhrifum alla virðiskeeðjuna. Þannig er hægt að nýta niðurstöðurnar til að auðkenna aðgerðir til að draga úr umhverfisáhrifum raforkuflutnings, hvort sem um er að ræða á áætlunar- eða hönnunarstigi, í undirbúningi framkvæmda, við innkaup eða í rekstri. Vistvæn innkaup á leiðurum, sem fjallað er um hér að framan, eru dæmi um slíka aðgerð. Greiningin er auk þess grunnur fyrir frekari kannanir á borð við samanburð valkosta í kerfisáætlun [65], samanburð á byggingarhlutum eða mannvirkjum með tilliti til efnismagns og hönnunar, næmnigreiningu á flutningstöpum og leiðaravali, svo einhver dæmi séu nefnd. Niðurstöðurnar má einnig nýta í upplýsingamiðlun um umhverfisáhrif til hagsmunaaðila og almennings, hvort heldur sem er á formi umhverfisfyrirlysingar (e. EPD) eða upplýsingagjafar um kolefnisspor raforkuflutnings.



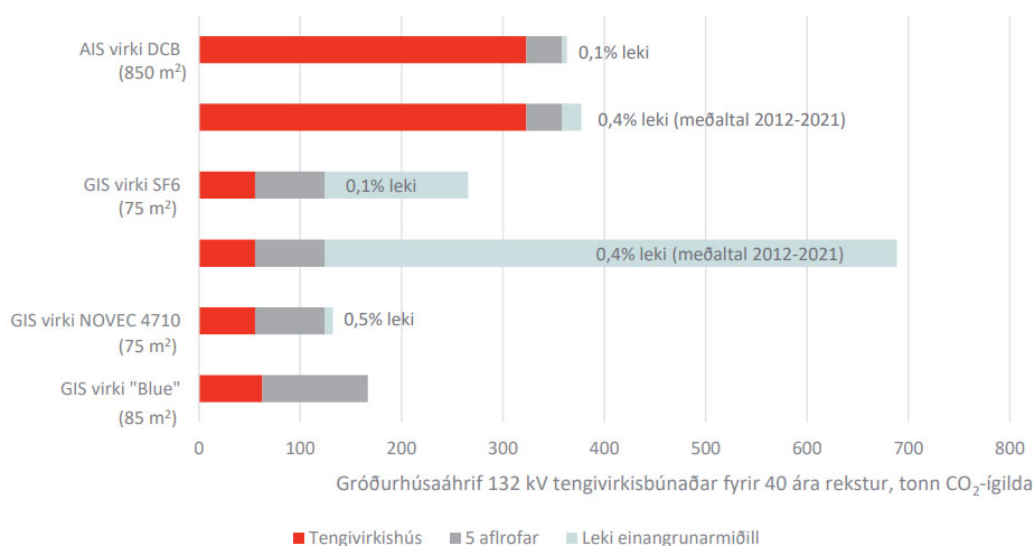
MYND 5.1 Kolefnisspor framleiðslu, byggingu og niðurrif mannvirkja fyrir mismunandi valkosti í kerfisáætlun 2020-2029 (2020) [66]. Gefin eru upp töluleg gildi í þúsundum tonna (Gg) CO₂ ígilda fyrir hvern valkost. Styrking meginflutningskerfisins á Vestfjörðum er ekki inn í útreikningum. Valkostir í kerfisáætlun taka reglubundnum breytingum eftir því sem kerfið þróast og valkostir eru metnir.

5.4.1 Dregið úr losun SF₆

Í uppbyggingu og rekstri flutningskerfisins felast mörg tækifæri til að lágmarka umhverfisáhrif, t.d. með því að draga úr flutningstöpum í kerfinu og að draga úr SF₆ leka í kerfinu eins og kostur er. Þannig geta aðgerðir á borð við að minnka SF₆ leka úr 0,4% á ári niður í 0,2% á ári, í samræmi við markmið

Landsnets, minnkað heildarkolefnisspor flutningskerfisins um 9%, eða úr 0,75 g CO₂-íg/kWst í 0,68 g CO₂-íg/kWst.

Fyrir liggur tilskipun Evrópusambandsins, um að smátt og smátt verði dregið úr notkun SF₆, til að byrja með í lágspennntari búnaði. Frá og með 1. janúar 2032 eigi það orðið við um búnað yfir 145 kV spennu, ýmist með því að notast við gös sem hafa mun lægri hlýnunarmátt en SF₆ eða búnað sem er lofttæmdur, sjá mynd 5.2. Landsnet hefur gert áætlun sem byggir á þessari tilskipun og frá og með 2030 verður eingöngu fjárfest í nýjum búnaði án þess að vera með SF₆ gas. Landsnet vinnur nú þegar eftir áætlun og var fyrsta 132 kV tengivirkið með umhverfisvænna gasi tekið í notkun um mitt ár 2024.



MYND 5.2 Samanburður á kolefnisspori fjögurra ólíkra tegunda tengivirkið búnaðar sem byggð eru fyrir 132 kV spennustig (minnisblað EFLA, 2022) [67].

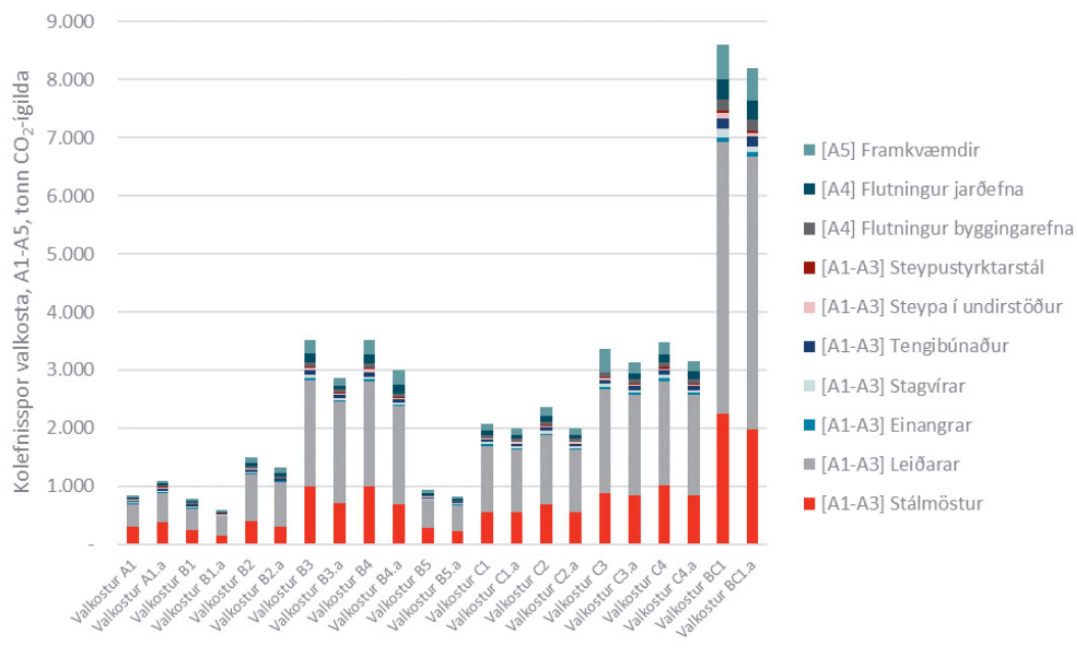
5.4.2 Vistvæn innkaup og framleiðsla mannvirkja

Þriðji stærsti þáttur gróðurhúsaáhrifanna, á eftir flutningstöpum og SF₆ leka, og ráðandi þáttur í nokkrum öðrum umhverfisáhrifaflokkum, er framleiðsla leiðara. Ein leið til að draga úr áhrifum vegna þeirrar framleiðslu, til framtíðar, er að þróa aðferðir til þess að verðlauna eða hampa framleiðendum leiðara með lægra kolefnisspor, þ.e. leiðara sem framleiddir eru t.d. með endurnýjanlegum orkugjöfum eins og vatnsafla eða noti endurrunnið ál í framleiðslunni. Stærsti álframleiðandi heims árið 2022 var Kína (45%) [68], sem byggir raforkuvinnslu sína mestmegnis á kolum (78%) [45], á meðan Evrópa framleiddi minna en 10% heimsáls. Í samantekt Alþjóðlegu álsamtakanna (IAI) [69] kemur fram að kolefnisspor heimsáls var 16 kg CO₂-ígildi per kg áls árið 2010 á meðan í Evrópu var það 8 kg CO₂-ígildi per kg áls. Á allra seinustu árum hefur áhugi fyrir umhverfisvænum hráefnum aukist til muna og býður norskur álframleiðandinn Norsk Hydro t.d. upp á vöruna Hydro 4.0, eða ál með kolefnisspor að hámarki 4,0 kg CO₂ per kg áls [70]. Það er því ljóst að kolefnisspor leiðara er mjög misjafnt eftir því hvar og

hvernig þeir eru framleiddir. Ábyrg innkaup ættu ekki síður við um annan búnað sem telur einnig í kolefnissporinu, t.d. um stálmöstur (7%) og jarðstrengi (2%), sérstaklega þar sem lagning jarðstrengja á 66 kV og 132 kV spennu hefur færost í vöxt á undanförunum árum og líklegt að hlutdeild þeirra í flutningskerfinu eigi eftir að aukast í framtíðinni.

5.4.3 Kolefnisstýring verkefna

Nýframkvæmdir og viðhaldsframkvæmdir bera öll með sér umhverfisáhrif. Á frumhönnunarstigi má strax t.d. áætla gróðurhúsaáhrif verkefna út frá skilgreindum forsendum en tilgangur útreikninga af þessu tagi er t.d. hægt að bera saman valkosti í umhverfismati (mynd 5.3), að nýta niðurstöður til að bæta framkvæmd í hönnun og framkvæmd, að meta stærðargráðu gróðurhúsaáhrifa framkvæmdarverkefna innan starfsemi Landsnets og að gera tillögur að mótvægisáðgerðum til að lágmarka umhverfisáhrif framkvæmda.



MYND 5.3 Dæmi um kolefnisspor loftlínu á frumhönnunarstigi. Kolefnisspor ólíkra valkosta úr línuleið fyrir Holtavörðuhéiðarlínu 1, sett fram sem tonn CO₂-ígilda fyrir hvern valkost [71].

Á Norðurlöndunum hafa orkuflutningsfyrirtæki verið að þróa sig áfram í kolefnisstýringu verkefna, en hefur enn ekki orðið ágengt vegna skorts á áreiðanlegum gögnum um kolefnisspor vörunnar og vegna mikillar dreifingar hrávörubirgja, bæði í tíma og rúmi, meðal framleiðenda. Vonir standa til þess að gögnin verði aðgengilegri og áreiðanlegri þannig að hægt verði að gera meiri kröfur inn í útboðum þegar fram líða stundir. Þróunin er lengra komin hvað byggingar varðar og hafa flest Norðurlönd

annaðhvort gert kröfu um útreikninga á kolefnisspori a.m.k. stærri bygginga samfara leyfisumsóknum eða eru með slíkar kröfur í bígerð.

Landsnet fylgist með þeirri þróun sem á sér stað meðal sambærilegra fyrirtækja í nágrannalöndunum þannig að hægt verði að gera raunhæfar kröfur til þess að lágmarka kolefnisspor uppbyggingar flutningskerfisins.

5.4.4 Eldsneytisnotkun og hringrásarhugsun

Eldsneytisnotkun vegna byggingar flutningskerfisins hefur mikil áhrif á kolefnissporið. Mikilvægt er að hugað sé að ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis á öllum vistferlinum, en ábyrg notkun felur m.a. í sér að slökkt sé á tækjum þegar þau eru ekki í notkun, að komið sé í veg fyrir lausagang og að valin séu orkunýtin tæki ef nokkur kostur er. Einnig getur viðhald tækja skipt máli til að lágmarka losun vegna eldsneytisbruna. Vert að fylgjast stöðugt með framþróun í tækjakosti og kanna hvort ekki megi nota vélar og tæki sem knúin eru umhverfisvænni orkugjöfum, t.d. lífdísil, metani, vetni eða rafmagni. Heilmikil framþróun hefur verið í umhverfisvænni byggingarframkvæmdum á síðastliðnum árum og sem nærtækt dæmi hafa samtök byggingaraðila í Noregi, í samstarfi við Oslóborg, gefið út leiðbeiningar fyrir framkvæmdaraðila til að reka framkvæmdasvæði án notkunar jarðefnaeldsneytis [72].

Í öllum umhverfisáhrifaflokkum er dregið úr heildaráhrifum með endurvinnslu leiðara og mastra (mynd 4.8) og í mörgum flokkum má einnig sjá nettóávinning af förgun og endurvinnslu tengivirkja (mynd 4.7). Sú niðurstaða kemur ekki á óvart, en af þessu má sjá að ráðstöfun eins og að tryggja endurnýtingu og/eða endurvinnslu notaðs búnaðar er mikilvæg, þó að ávinningurinn sé e.t.v. ekki sýnilegur eða áþreifanlegur í nærumhverfinu. Út frá sjónarhorni náttúruauðlinda og hringrásarhagkerfinu er einnig fyrirsjáanlegt að í framtíðinni verði hertari kröfur um að verðmæt efni verði endurheimt að lokinni notkun og þau endurnýtt eða endurunnin. Evrópusambandið hefur til að mynda unnið að þróun hringrásarhagkerfis setti í ársbyrjun 2020 fram nýja aðgerðaráætlun í hringrásarhagkerfinu (e. Circular Economy Action Plan), sem er safn tilskipana sem tekur til mismunandi stiga í ferli vöru, frá framleiðslu og neyslu til úrgangsstjórnunar [73]. Þar eru lagðar til aðgerðir sem hannaðar eru til að koma bæði umhverfi og hagkerfi til góðs, halda efnislegu verðmæti í vörum eins lengi og hægt er inni í hagkerfinu, draga úr sóun, auka orkusparnað og minnka losun gróðurhúsalofttegunda.

6 HEIMILDASKRÁ

- [1] International Energy Agency (IEA), „CO2 Emissions in 2023,“ IEA, Paris, 2024.
- [2] International Energy Agency (IEA), „CO2 Emissions from Fuel Combustion. Highlights. 2015 Edition,“ IEA, 2015.
- [3] Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, „Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum, 2. útgáfa. Aðgengilegt á <https://www.stjornarradid.is/library/02-Rit--skyrslur-og-skrar/Adgerdaaetlun%20i%20loftslagsmalum%20onnur%20utgafa.pdf>,“ Stjórnarráð Íslands, 2020.
- [4] H.B. Hrólfsdóttir; G.M. Ingólfssdóttir; M. Pálsson; I.L. Valsdóttir; I. Guðmundsson; Þ. Bjarnason; G.M. Guðjónsdóttir; H.J. Bjarnadóttir, „Life cycle assessment of the high voltage OHL transmission system in Iceland. C3-211,“ CIGRÉ, Paris, 2014.
- [5] H.B. Hrólfsdóttir; A. Kjeld; M. Pálsson; G.M. Ingólfssdóttir; I. Hjartarson; H.J. Bjarnadóttir, „Life cycle assessment of the UGC transmission system in Iceland. C3-209,“ CIGRÉ, Paris, 2016.
- [6] *ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. European Standard..*
- [7] *ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. European Standard..*
- [8] ÍST EN15804:2012+A2:2019, „Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products,“ CEN/TC 350, 2019.
- [9] The International EPD System, „Product Category Rules (PCR). Electricity, Steam and Hot/Cold Water Generation and Distribution. Product Group Classification: UN CPC 171 and 173. Version 5.0.0,“ 2024.
- [10] Landsnet, „Frammistöðuskýrsla 2022. Afhendingar- og orkuöryggi,“ Landsnet, 2023.
- [11] Landsnet, „Frammistöðuskýrsla 2023. Árs- og sjálfbæriskýrsla 2023. Aðgengilegt á: <https://arsskyrsla2023.landsnet.is/2023/frammistoduskysrsla/>,“ Landsnet, 2024.
- [12] EFLA verkfræðistofa, „Loftlínur og jarðstrengir. Kostnaðarsamanburður. 220 kV - fimm tilfelli. Unnið fyrir Landsnet,“ Landsnet, 2014.
- [13] *Environmental Product Declaration. Protect Feeder Terminal REF 541/543/545, Vaasa: ABB Oy, Distribution Automation.*
- [14] *Environmental Product Declaration. Center Breaker Disconnecter type SGF range 123-245 kV, Poland: ABB Zwar S.A. Łódź, 2001.*
- [15] *Environmental Product Declaration. Center Breaker Disconnecter type SGF range 123-245 kV, Poland: ABB Zwar S.A. Łódź, 2002.*

- [16] *Environmental Product Declaration. Power Transformer TrafoStar 63 MVA*, Ludvika: ABB Transformers AB, 2003.
- [17] *Environmental Product Declaration. Power Transformers 40/50 MVA (ONAN/ONAF)*, Legano: Unità operativa Transformatori, 2003.
- [18] *Environmental Product Declaration. Large Distribution Transformer 16/20 MVA (ONAN/ONAF)*, Padova: Unità operativa Transformatori di Distribuzione. Monselice, 2003.
- [19] *Environmental Product Declaration. Live Tank Circuit Breaker, Type LTB 145D*, Ludvika: ABB Power Technologies AB. High Voltage Products, 2004.
- [20] *Environmental Product Declaration. GIS Type Elk-14 for 300 kV*, ABB Switzerland Ltd. High Voltage Products, 2007.
- [21] EC-JRC, „ILCD Handbook. Framework and Requirements for Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators.,“ Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability, 2010.
- [22] EC-JRC, „ILCD Handbook - Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context.,“ European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, 2011.
- [23] The European Commission, „Commission Recommendation (EU) 2021/2279 of 15 December 2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations.,“ European Union.
- [24] Landsnet, „Lagning jarðstrengja á hærri spennum í raforkuflutningskerfinu,“ Landsnet, 2015.
- [25] *Technical Data Sheet. A(F)2XAS(FL)2Y>c<1x1600RE/100 76/132 (145) kV.*, Nexans, 2014.
- [26] *Technical Data Sheet. AXALJ-CL 36/60(72)kV 1x400/50EQ.*, NKT cables, 2014.
- [27] *Technical Description. Materials of Components. 132 kV XLPE Power Cable. A2XS(FL)2Y 1x500 RM/95 76/132 kV*, Südkabel, 2014.
- [28] *Technical Description. Materials of Components. 66 kV XLPE Power Cable. A2XS(FL)2Y 1x185 RM/35 38/66 kV*, Südkabel, 2014.
- [29] *Technical Description. Materials of Components. 66 kV XLPE Power Cable. A2XS(FL)2Y 1x150 RM/35 38/66 kV*, Südkabel, 2014.
- [30] *Technical Description. Materials of Components. 66 kV XLPE Power Cable. A2XS(FL)2Y 1x300 RM/35 38/66 kV*, Südkabel, 2014.
- [31] *XLPE Land Cable Systems. User's Guide. Rev 5.*, ABB, 2010.
- [32] *Technical Description. Materials of Components. 132 kV XLPE Power Cable. 2XS(FL)2Y 1x630 RM/95 76/132 kV*, Südkabel, 2014.
- [33] Umhverfisstofnun, „Losunarstuðlar. 6. útgáfa - birt 29. janúar 2024. Útgáfa 6.0.2. Aðgengilegt á: <https://ust.is/loft/losun-grodurhusaloftegunda/losunarstudlar/>,“ Umhverfisstofnun, 2024.

- [34] Orkustofnun, „OS-2024-13: Uppsett rafafi og raforkuframleiðsla í virkjunum á Íslandi 2023,“ 2024.
- [35] EFLA, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Fljótsdalsstöð. LV-2018-064,“ Landsvirkjun, Reykjavík, 2018.
- [36] EFLA, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Búðarhálsstöð. LV-2018-048,“ Landsvirkjun, Reykjavík, 2018.
- [37] EFLA, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Blöndustöð. LV-2019-030,“ 2019.
- [38] EFLA, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Búrfellsstöð II. LV-2020-035,“ 2020.
- [39] EFLA, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með jarðvarma. Þeistareykjastöð. LV-2020-034,“ 2020.
- [40] Marta rós Karlsdóttir; Jukka Heinonen, Halldór Pálsson; Ólafur Pétur Pálsson, „Life cycle assessment of a geothermal combined heat and power plant based on high temperature utilization,“ *Geothermics*, b. 84, pp. 101727-101727, 2020.
- [41] Environice, „Upprunaábyrgðir í íslensku samhengi. Skýrsla unnin fyrir atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytið,“ 2016.
- [42] EUROFER, „European Steel in Figures 2024. Aðgengilegt á: <https://www.eurofer.eu/assets/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2024/EUROFER-2024-Version-June14.pdf>,“ The European Steel Association.
- [43] UNEP, „Recycling Rates of Metals - A Status Report. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel,“ UNEP, 2011.
- [44] European Aluminium, „Circular Aluminium Action Plan. Aðgengilegt á: <https://european-aluminium.eu/wp-content/uploads/2022/08/european-aluminium-circular-aluminium-action-plan.pdf>,“ European Aluminium, 2020.
- [45] Sphera, *LCFE professional database 2024*.
- [46] Dr. Thilo Kupfer; Dr. Marin Baitz; Dr. Cecilia Makishi Colodel; Morten Kokborg; Steffen Schöll; Matthias Rudolf; Dr. Lionel Thellier; Maria Gonzalez; Dr. Olivier Schuller; Jasmin Hengstler; Alexander Stoffregen; Dr. Annette Köhler; Daniel Thylmann, *GaBi Database & Modelling Principles. 2017 Edition - January 2017*, thinkstep, 2017.
- [47] Goedkoop, M.; Heijungs, R.; Huijbregts, M.A.J.; De Schryver, A.; Struijs, J.; Van Zelm, R., „ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation factors, first edition,“ 2009.
- [48] Landsnet, „Árs- og sjálfbæriskýrsla Landsnets 2023,“ 2024. [Á neti]. Available: <https://arsskyrsla2023.landsnet.is/>.
- [49] Working Group B2-15, CIGRÉ, „Life Cycle Assessment (LCA) for Overhead Lines,“ CIGRÉ publication 265, Paris, 2004.

- [50] R. Jorge; T. Hawkins; E. Hertwich, „Life Cycle assessment of electricity and distribution - part 1: power lines and cables,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, b. 17, pp. 9-15, 2012.
- [51] R. Jorge; T. Hawkins; E. Hertwich, „Life cycle assessment of electricity and distribution - Part 2: transformers and substation equipment,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, b. 17, pp. 184-191, 2012.
- [52] C. Neumann; A. Baur; A. Büscher; A. Luxa; F. Plöger; A. Reimüller; B. Zahn; A. Schnettler; T. Smolka; I. Mersiowsky; M. Pittroff, „Electrical power supply using SF6 technology - an ecological life cycle assessment,” *í Cigré C3-102*, Paris, 2004.
- [53] G.P. Harrison; E.N.J. Maclean; S. Karamanlis; L.F. Ochoa, „Life cycle assessment of the transmission network in Great Britain,” *Energy Policy*, b. 7, nr. 38, pp. 3622-3631, 2010.
- [54] M. Erlandsson; M. Almemark, „Background data and assumptions made for an LCA on creosote poles,” *Swedish Environmental Research Institute. Working report. B 1865*, 2009.
- [55] G. Blackett; E. Savory; N. Toy; G.A.R. Parke; M. Clark; B. Rabjohns, „An evaluation of the environmental burdens of present and alternative materials used for electricity transmission,” *Building and Environment*, b. 43, pp. 1326-1338, 2008.
- [56] S. Bumby; K. Druzhinina; R. Feraldi; D. Werthmann; R. Geyer; J. Sahl, „Life cycle assessment of overhead and underground primary power distribution,” *Environmental Science and Technology*, b. 44, nr. 14, pp. 5587-5593, 2010.
- [57] W. Wang, „Eco-design of power transmission systems. PhD thesis,” Centrale Lyon, Lyon, 2011.
- [58] C.I. Jones; M.C. McManus, „Life-cycle assessment of 11 kV electrical overhead lines and underground cables,” *Journal of cleaner production*, b. 18, pp. 1464-1477, 2010.
- [59] R. Jorge; E.G. Hertwich, „Environmental evaluation of power transmission in Norway,” *Applied Energy*, b. 101, pp. 513-520, 2013.
- [60] R. Garcia; P. Marques; F. Freire, „Life-cycle assessment of electricity in Portugal,” *Applied Energy*, b. 134, pp. 563-572, 2014.
- [61] A. Arvesen; I. Hauan; B. Bolsøy; E. Hertwich, „Life cycle assessment of transport of electricity via different voltage levels: A case study for Nord-Trøndelag county in Norway,” *Applied Energy*, b. 157, pp. 144-151, 2015.
- [62] R. Turconi; C. Simonsen; I. Byriel; T. Astrup, „Life cycle assessment of the Danish electricity distribution network,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, b. 19, pp. 100-108, 2014.
- [63] C.F.B. Nielsen; a.A. Hassan; H. Herk-Hansen; K.H. Ipsen, „Livscyklusvurdering. Dansk el og kraftvarme,” Energinet.dk, DONG Energy, Vattenfall, 2010.
- [64] N. Orfanos; D. Mitzelos; A. Sagani; V. Dedoussis, „Life-cycle environmental performance assessment of electricity generation and transmission systems in Greece,” *Renewable Energy*, b. 139, pp. 1447-1462, 2019.

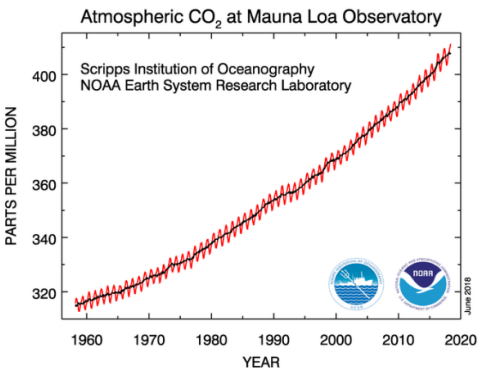
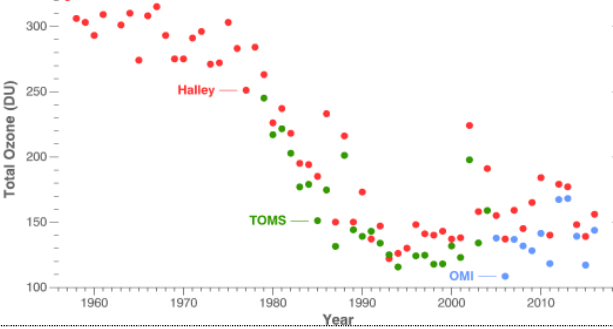
- [65] EFLA verkfræðistofa, „Samanburður valkosta í kerfisáætlun með tilliti til kolefnisspors mannvirkja - 3. útgáfa. Minnisblað,“ EFLA verkfræðistofa, 2016.
- [66] EFLA, *Kolefnisspor valkosta í Kerfisáætlun - uppfærsla 2020. Minnisblað dags. 03.06.2020, 2020.*
- [67] EFLA, *Kolefnisspor ólíks tengivirkisbúnaðar – samanburður með aðferðafræði LCA. Aðgengilegt á: <https://landsnet.is/library?itemid=21e234cc-0bb6-4af3-a410-a0a5264dba0c>, 2022.*
- [68] European Aluminium Association, „Aluminium. Facts and figures,“ [Á neti]. Available: <http://www.european-aluminium.eu/about-aluminium/facts-and-figures/>.
- [69] International Aluminium Institute, „Environmental Metrics Report. Year 2010 data,“ IAI, London, 2014.
- [70] Norsk Hydro ASA, „Hydro launches certified low-carbon aluminium products,“ 2017. [Á neti]. Available: <https://www.hydro.com/en/press-room/Archive/2017/hydro-launches-certified-low-carbon-aluminum-products/>.
- [71] EFLA, *Kolefnisspor framkvæmdaverka - forsendur fyrir 220 kV loftlínulögn. Minnisblað dags. 27.03.2024. Aðgengilegt á: <https://www.landsnet.is/library/?itemid=54f55699-7939-41c4-b3f3-b14da8f5d7f6>, 2024.*
- [72] Energy Norway, the Norwegian District Heating Organization, ENOVA, the Federation of Norwegian Construction Industries (BNL), the Norwegian Contractors Association Oslo, Akershus and Østfold (EBAO), Climate Agency, City of Oslo and Nelfo, „Fossil- and Emission-Free Building Sites. Guide to arranging fossil- and emission-free solutions on building sites,“ DNV GL AS Energy, Oslo, 2018.
- [73] European Commission, „A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe,“ [Á neti]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>.
- [74] National Oceanic and Atmospheric Administration, „Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide,“ U.S. Department of Commerce, [Á neti]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>. [Skoðað 2 July 2018].
- [75] NASA Ozone Watch, „National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center,“ 17 October 2016. [Á neti]. Available: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history_SH.html. [Skoðað 2 July 2018].
- [76] Umhverfisstofnun, „Óson,“ [Á neti]. Available: <https://www.ust.is/einstaklingar/loftgaedi/oson/>. [Skoðað 2 July 2018].
- [77] USGS, „Mineral Commodity Summaries 2017,“ U.S. Geological Survey, 2017.

VIÐAUKI A UMHVERFISÁHRIFAFLOKKAR OG AÐFERÐIR

Við mat á umhverfisáhrifum í ólíkum flokkum eru lagðar til grundvallar aðferðir sem Sameiginleg rannsóknarmiðstöð Evrópu (EC-JRC) mælir með að notaðar séu fyrir hverja tegund umhverfisáhrifa [21, 22], sem eru í samræmi við leikreglur fyrir PEF (Product Environmental Footprint) [23] og nýjustu uppfærslur (A2) á staðli EN15804 [8]. Lista yfir þær aðferðir sem notaðar eru í greiningunni má sjá í töflunni hér að neðan.

<i>Flokkur umhverfisáhrifa</i>	<i>Aðferð notuð við mat á umhverfisáhrifum</i>	<i>Eining</i>
Gróðurhúsaáhrif - heild	Baseline model of 100 years of the IPCC based on IPCC 2013	kg CO ₂ ígildi
Gróðurhúsaáhrif - jarðefnaeldsneyti	Baseline model of 100 years of the IPCC based on IPCC 2013	kg CO ₂ ígildi
Gróðurhúsaáhrif - lífrænt	Baseline model of 100 years of the IPCC based on IPCC 2013	kg CO ₂ ígildi
Gróðurhúsaáhrif – landnotkun og breyting á landnotkun	Baseline model of 100 years of the IPCC based on IPCC 2013	kg CO ₂ ígildi
Eyðing ósonlagsins	Steady-state ODPs, WMO 2014	kg CFC 11 ígildi
Súrnun lands og sjávar	Accumulated Exceedance, Seppälä et al., 2006, Posch et al., 2008	mól H ⁺ ígildi
Næringarefnaauðgun í ferskvatni	EUTREND model, Struijs et al., 2009 (ReCiPe)	kg PO ₄ ígildi
Næringarefnaauðgun í sjó	EUTREND model, Struijs et al., 2009 (ReCiPe)	kg N ígildi
Næringarefnaauðgun á landi	Accumulated Exceedance, Seppälä et al., 2006, Posch et al., 2008	mól N ígildi
Myndun ósons við yfirborð jarðar	LOTOS-EUROS, Van Zelm et al., 2008 (ReCiPe)	kg NMVOC ígildi
Eyðing auðlinda	CML 2002, Guinée et al., 2002, and van Oers et al. 2002	kg Sb ígildi
Eyðing jarðefnaeldsneytis	CML 2002, Guinée et al., 2002, and van Oers et al. 2002	MJ
Vatnsskortur	Available WAtER REMaining (AWARE) Boulay et al., 2016	m ³ heimsígildi svipt

Í eftirfarandi töflu er þeim umhverfisáhrifum sem metin eru í greiningunni lýst í stuttu máli.

Gróðurhúsaáhrif (e. global warming, GWP 100 years) - kolefnisspor	Gróðurhúsaáhrif valda breytingu á meðalhita jarðarinnar sem rekja má til losunar gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum, t.d. koldíoxíðs (CO_2), metans (CH_4) og brennisteinshexaflúoríðs (SF_6). Búist er við að hækkun meðalhita jarðar muni m.a. hafa í för með sér miklar breytingar á loftslagi og veðurfari, valda eyðimerkurmyndun (e. desertification), hækkun á yfirborði sjávar og aukningu í útbreiðslu sjúkdóma. Styrkur CO_2 í andrúmslofti hefur verið mældur á Mauna Loa í Hawaii frá árinu 1958 og sýnir greinilega aukinn styrk lofttegundarinnar í lofthjúpunum [74]. Grafið að neðan sýnir styrk CO_2 í andrúmslofti sem fall af tíma. 
Eyðing ósonslagsins (e. ozone depletion)	Eyðing ósons í heiðhvolfinu eða eyðing ósonlagsins stafar af völdum klór- og brómsambanda sem berast upp í heiðhvolfið, sem er í um 10 – 50 km hæð yfir yfirborði jarðar. Þau efnasambönd sem helst valda eyðingunni eru klórflúorkolefni (CFCs), halónar og vetnisklórflúorkolefni (HCFCs). Eyðing ósonlagsins dregur úr getu þess til að draga úr útfjólubláum (UV) geislum í gufuhvolfi jarðar sem veldur aukinni geislun krabbameinsvaldandi UVB geisla á yfirborði jarðar. Mælingar á styrk ósons í heiðhvolfinu yfir Suðurskautslandinu hafa verið gerðar frá árinu 1956. Árið 1985 fóru mælingar að sýna töluverða lækkun á styrk ósons, í kjölfarið var undirrituð s.k. Montreal bókun um efni sem valda rýrnun ósonlagsins þar sem kveðið er á um að horfið verði frá notkun ósoneyðandi efna [75]. Grafið að neðan sýnir heildarmagn ósons í DU einingum sem fall af tíma. 
Súrnun lands og sjávar (e. acidification)	Súrnun lands og vatns á sér stað þegar súrt regn myndast er regn hvarfast við mengandi lofttegundir í andrúmsloftinu. Hér er ekki um að ræða súrnun sjávar af völdum gróðurhúsaáhrifa. Þær lofttegundir sem helst valda myndun súrs regns eru ammoníak (NH_3), köfnunarefnisoxíð (NO_x) og brennisteinstvíoxíð (SO_2). Þar sem súrt regn fellur til jarðar, oft töluverða vegalengd frá uppsprettu mengunarinnar, veldur það oft á tíðum verulegum skemmdum á vistkerfum. Skaðinn er mismunandi eftir gerð vistkerfa, en súrt regn getur valdið miklum skaða í skóglendi, á dýralífi, vötnum og mannvirkjum.
Næringarefnaauðgun (e. eutrophication)	Næringarefnaauðgun getur átt sér stað í vatni eða í jarðvegi. Nítröt og fosföt eru nauðsynleg öllu lífi, hins vegar getur hár styrkur næringarefna, t.d. í vatni valdið óhóflegum þörungavexti sem leiðir af sér lækkaðan styrk súrefnis í vatninu. Næringarefnaauðgun getur valdið miklum skaða í vistkerfum með aukinni dánartíðni lífvera og lífverur sem krefjast lágs styrks næringarefna geta horfið úr vistkerfinu. Losun ammoníaks, nítrata, nituroxíða og fosfórs í andrúmsloft og vötn geta valdið næringarefnaauðgun. Næringarefnaauðgun veldur staðbundnum umhverfisáhrifum og dæmi um slík áhrif eru t.d. næringarefnaauðgun í Mývatni sem rekja má til ófullnægjandi hreinsunar á fráveituvatni sem losað er í vatnið.

Myndun ósons við yfirborð jarðar (e. photochemical ozone formation)	Í andrúmslofti sem inniheldur köfnunarefnisoxíð og rokgjörn, lífræn efnasambönd (VOCs) getur óson myndast með aðstoð sólarljóss. Þrátt fyrir að óson sé mjög mikilvægt í efri lofthjúpum er aukinn styrkur ósons í andrúmsloftinu óæskilegur og getur m.a. valdið uppskerubresti sem og aukið tíðni astma og annarra lungnasjúkdóma. Um er að ræða staðbundin umhverfisáhrif þar sem auknum styrk ósons við yfirborð, við ákveðnar veðuraðstæður, getur fylgt mikið hitamistur og kallast fyrirbrigðið photochemical smog á ensku. Þetta er mjög þekkt fyrirbæri í stórborgum heimsins, en hefur minnkað nokkuð á vesturlöndum á allra síðustu áratugum vegna kröftugra mótvægisáðgerða. Talið er að mengun frá umferð og orkuverum hafi hækkað bakgrunnstyrk ósons niður við jörð á stórum svæðum í Evrópu og Norður Ameríku og er t.d. styrkur ósons yfir Atlantshafi helmingi hærri á norðurhveli jarðar en suðurhvelinu [76].
Eyðing auðlinda (e. resource depletion)	Hér er átt við eyðingu auðlinda, svo sem málmgryti, hráolíu og önnur hráefni sem unnin eru úr námum og eru óendurnýjanleg. Þessi flokkur umhverfisáhrifa tekur tillit til minnkunar á forða óendurnýjanlegra hráefna sem verður við vinnslu þeirra og notkun. Forði auðlindar er skilgreindur sem það magn auðlindarinnar sem er þekkt og er hagkvæmt að nýta.
Vatnsskortur (e. water depletion potential)	Vatnsnotkun er mælikvarði á það hversu mikið er gengið á vatnsauðlindir heims og þar með vatnsauðlindir vistkerfa. Þetta er mikilvægur umhverfisþáttur á viðkvæmari heimssvæðum þar sem sjálfbær orkuuppygging á sér stað, en á e.t.v. minna við í flestum tilvikum fyrir íslensk verkefni.

VIÐAUKI B NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR

TAFLA B.1 Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir flutningskerfi Landsnets. Tölulegar niðurstöður eru settar fram í hverjum flokki fyrir ólíka þætti vistferilsins á hverja flutta kWst, auk heildarniðurstöðu. Sjá má nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa í viðauka A og myndræna framsetningu í kafla 4.

	ÖFLUN HRÁEFNA OG FRAMLEIÐSLA (A1-A3)	FLUTNINGUR (A4)	BYGGING (A5)	REKSTUR OG VIÐHALD (B)	NIÐURRIF/ UPPGRÖFTUR OG FÖRGUN (C)	ENDURVINNSLA (D)	ALLS PER KWST	ALLS
Gróðurhúsaáhrif kg CO ₂ ígildi	2,6E-04	6,8E-06	6,2E-05	3,8E-04	3,7E-05	-7,3E-05	6,8E-04	7,8E+08
Gróðurhúsaáhrif – jarðefnaeldsneyti kg CO ₂ ígildi	2,9E-04	6,7E-06	6,2E-05	3,8E-04	3,6E-05	-7,3E-05	7,0E-04	8,0E+08
Gróðurhúsaáhrif – lífrænt kg CO ₂ ígildi	-2,4E-05	-6,4E-09	-8,5E-07	-4,8E-07	1,1E-06	-1,5E-07	-2,5E-05	-2,8E+07
Gróðurhúsaáhrif landnotkun og breyting á landnotkun, kg CO ₂ ígildi	8,0E-08	1,7E-08	5,7E-07	1,9E-07	1,4E-07	-2,2E-08	9,8E-07	1,1E+06
Eyðing ósonlagsins kg CFC-11 ígildi	1,6E-11	1,8E-18	7,5E-18	1,7E-14	-3,0E-13	-1,4E-16	1,6E-11	1,8E+01
Súrnun lands og sjávar mól H ⁺ ígildi	1,2E-06	1,7E-07	3,4E-07	9,6E-06	1,0E-07	-3,4E-07	1,1E-05	1,3E+07
Næringarefnaauðgun í ferskvatni kg P ígildi	5,9E-09	7,8E-12	2,2E-10	1,2E-09	8,5E-11	-4,1E-11	7,4E-09	8,4E+03
Næringarefnaauðgun í sjó kg N ígildi	1,7E-07	4,6E-08	1,6E-07	4,0E-07	4,8E-08	-5,0E-08	7,8E-07	8,9E+05
Næringarefnaauðgun á landi mól N ígildi	1,8E-06	5,0E-07	1,8E-06	4,3E-05	5,3E-07	-5,4E-07	4,7E-05	5,4E+07
Myndun ósons við yfirborð jarðar kg NMVOC ígildi	6,1E-07	1,3E-07	4,2E-07	3,0E-07	1,3E-07	-1,5E-07	1,4E-06	1,6E+06
Eyðing auðlinda kg Sb ígildi	9,7E-09	1,7E-13	4,1E-12	4,7E-10	-7,0E-12	-1,1E-09	9,1E-09	1,0E+04
Eyðing jarðefnaeldsneytis MJ	3,8E-03	8,3E-05	8,4E-04	1,0E-03	2,4E-04	-9,4E-04	5,0E-03	5,7E+09
Vatnsskortur m ³ heimsíðgildi	7,5E-04	4,5E-08	7,3E-07	5,3E-03	3,8E-07	-1,1E-05	6,0E-03	6,8E+09

TAFLA B.2 Heildarniðurstöður vistferilsgreiningar (A-D) fyrir hvert spennustig flutningskerfisins. Sjá má nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa í viðauka A og myndræna framsetningu í kafla 4.

	220 KV	132 KV	66 KV
Gróðurhúsaáhrif	5,2E+08	2,0E+08	5,7E+07
Gróðurhúsaáhrif - jarðefnaeldsneyti	5,2E+08	2,1E+08	6,8E+07
Gróðurhúsaáhrif - lífrænt	5,1E+05	-1,7E+07	-1,2E+07
Gróðurhúsaáhrif landnotkun og breyting á landnotkun	4,5E+05	4,5E+05	2,1E+05
Eyðing ósonlagsins	2,1E+00	8,2E+00	7,6E+00
Súrnun lands og sjávar	1,1E+07	1,2E+06	9,4E+05
Næringarefnaauðgun í ferskvatni	1,1E+03	4,4E+03	2,9E+03
Næringarefnaauðgun í sjó	5,9E+05	2,0E+05	1,0E+05
Næringarefnaauðgun á landi	4,5E+07	4,7E+06	3,9E+06
Myndun ósons við yfirborð jarðar	8,5E+05	5,4E+05	2,5E+05
Eyðing auðlinda	7,1E+03	2,1E+03	1,2E+03
Eyðing jarðefnaeldsneytis	3,1E+09	1,8E+09	8,0E+08
Vatnsskortur	5,3E+09	8,5E+08	7,2E+08

TAFLA B.3 Tölulegar niðurstöður vistferilsgreiningar á flutningskerfi raforku, þar sem niðurstöður eru settar fram fyrir flutning á 1 kWst raforku, fyrir alla fasa vistferilsins (A-D). Nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa má sjá í viðauka A og myndræna framsetningu í kafla 4 (* LULUC: Landnotkun og breyting á landnotkun).

		GRÖÐURHÚSÁHRIF KG CO2 ÍGILDI	GRÖÐURHÚSÁHRIF JARDFARNAÐSNEYTI KG CO2 ÍGILDI	GRÖÐURHÚSÁHRIF LÍFRÆNT KG CO2 ÍGILDI	GRÖÐURHÚSÁHRIF LULUC* KG CO2 ÍGILDI	EYDING ÓSONLAGSINS KG CFC-11 ÍGILDI	SÚRNUN LANDS OG SÍAVAR MÓL H+ ÍGILDI	ÞERINGAREFNA- AUGDUN / FERSK- VATNI, KG P ÍGILDI	ÞERINGAREFNA- AUGDUN / SÍO KG N ÍGILDI	ÞERINGAREFNA- AUGDUN Á LANDI MÓL N ÍGILDI	MYNDUN ÓSONS VIÐ YFERBORÐ JARÐAR KG NMVOC ÍGILDI	EYDING AUBLUNDA KG SR ÍGILDI	EYDING JARDFARNAÐSNEYTIS MJ	VATNSSKORTUR M3 HEIMSÍGILDI
A1-A3	Stálmöstur	4,9E-05	4,9E-05	1,0E-08	2,0E-09	1,9E-15	1,2E-07	2,6E-11	2,9E-08	2,9E-07	9,8E-08	4,3E-12	5,5E-04	1,0E-05
	Galvanisering	7,7E-06	7,6E-06	9,2E-08	2,9E-09	1,2E-14	1,9E-08	1,9E-11	3,6E-09	3,8E-08	1,0E-08	5,4E-09	1,5E-04	2,3E-06
	Steypt möstur	5,7E-08	5,7E-08	1,7E-11	9,3E-13	3,3E-20	1,9E-10	9,3E-15	2,0E-11	2,2E-10	6,4E-11	4,4E-16	2,9E-07	4,9E-09
	Trémöstur	-1,3E-05	9,6E-06	-2,3E-05	2,5E-08	3,1E-13	6,5E-08	5,7E-09	2,1E-08	2,1E-07	1,1E-07	1,1E-11	2,7E-04	6,8E-04
	Undirstöður: Steypa	6,6E-06	6,6E-06	3,6E-09	8,3E-10	3,8E-18	1,9E-08	1,6E-12	2,3E-09	2,6E-08	7,3E-09	5,7E-14	3,2E-05	4,4E-07
	Undirstöður: Stál	6,1E-06	6,1E-06	-4,2E-09	7,3E-12	2,9E-16	1,5E-08	3,5E-12	3,6E-09	3,7E-08	1,2E-08	1,1E-10	6,3E-05	1,2E-06
	Undirstöður: Rekastaurar	-2,5E-07	3,2E-08	-2,8E-07	1,1E-10	3,6E-19	1,4E-10	1,4E-13	6,4E-11	7,1E-10	2,0E-10	3,7E-15	4,4E-07	5,6E-10
	Leiðarar	1,2E-04	1,2E-04	2,7E-07	3,1E-08	7,1E-15	5,4E-07	6,7E-11	7,9E-08	8,6E-07	2,4E-07	6,5E-11	1,5E-03	1,8E-05
	Jarðstrengir	2,6E-05	2,8E-05	-1,8E-06	1,5E-08	1,5E-14	1,1E-07	7,6E-11	1,9E-08	2,1E-07	6,2E-08	2,2E-09	5,8E-04	1,1E-05
	Jarðskaut og jarðvírar	3,5E-06	3,5E-06	-3,3E-09	9,7E-10	1,4E-16	1,1E-08	4,5E-12	2,2E-09	2,4E-08	7,7E-09	4,3E-10	4,4E-05	9,3E-07
	Einangrar	5,1E-06	5,1E-06	2,8E-08	1,2E-09	6,2E-15	2,4E-08	7,3E-12	4,4E-09	4,8E-08	1,1E-08	4,8E-11	6,7E-05	6,0E-07
	Stög	5,2E-07	5,2E-07	2,7E-09	1,5E-10	5,2E-18	1,4E-09	1,5E-12	3,5E-10	3,8E-09	1,3E-09	7,1E-14	9,1E-06	1,4E-07
	Ræsi og siudúkur	1,2E-06	1,2E-06	2,9E-11	7,5E-12	9,7E-16	3,7E-09	1,5E-14	7,5E-12	8,1E-11	7,9E-10	2,1E-15	9,6E-06	2,2E-05
	Tengivirki	5,2E-05	5,2E-05	3,2E-09	2,9E-10	1,6E-11	2,9E-07	-1,1E-12	5,4E-09	6,0E-08	5,4E-08	1,4E-09	4,9E-04	3,1E-06
A4	Flutningur: Framleiðsla eldsneytis	8,3E-07	9,1E-07	-1,0E-07	1,7E-08	5,5E-19	6,2E-09	7,6E-12	1,4E-09	1,6E-08	4,8E-09	1,6E-13	8,1E-05	2,9E-08
	Flutningur: Brennsla eldsneytis	5,9E-06	5,8E-06	9,4E-08	0,0E+00	0,0E+00	1,7E-07	0,0E+00	4,5E-08	4,9E-07	1,2E-07	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Flutningur: Raforkunotkun	7,0E-08	6,9E-08	6,0E-10	7,5E-12	1,3E-18	1,5E-10	2,6E-13	3,6E-11	3,8E-10	9,6E-11	1,1E-14	1,5E-06	1,5E-08
A5	Bygging: Framleiðsla eldsneytis	5,8E-06	8,9E-06	-3,6E-06	5,7E-07	7,5E-18	4,5E-08	2,2E-10	1,0E-08	1,3E-07	3,6E-08	4,0E-12	8,3E-04	7,3E-07
	Bygging: Brennsla eldsneytis	5,6E-05	5,3E-05	2,8E-06	0,0E+00	0,0E+00	2,9E-07	0,0E+00	1,5E-07	1,6E-06	3,8E-07	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
B1-B6	Flutningstöp	2,1E-04	2,1E-04	7,8E-07	1,1E-07	1,1E-16	9,4E-06	8,7E-10	3,2E-07	4,2E-05	9,6E-08	2,9E-10	4,2E-04	5,2E-03
	Flug	2,6E-05	2,6E-05	2,7E-08	5,0E-10	1,4E-18	9,8E-08	4,2E-12	4,7E-08	5,2E-07	1,3E-07	2,6E-13	3,5E-04	3,7E-08
	Losun SF6	1,3E-04	1,3E-04	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Eldsneytis- og olíunotkun	8,7E-06	8,7E-06	-1,2E-07	7,8E-08	9,3E-19	4,6E-08	3,1E-11	2,2E-08	2,5E-07	4,6E-08	5,6E-13	1,2E-04	1,0E-07
	Olía á rofa og spenna	2,3E-07	2,3E-07	5,7E-10	1,2E-11	2,2E-19	4,4E-10	4,1E-13	7,6E-11	7,8E-10	3,4E-10	3,0E-12	6,4E-06	8,1E-09
	Endurnýjun búnaðar	8,3E-06	9,5E-06	-1,2E-06	3,6E-09	1,7E-14	4,2E-08	3,0E-10	8,5E-09	9,0E-08	2,8E-08	1,8E-10	1,2E-04	3,7E-05
C1-C4	Orkunotkun búnaðar í tengivirkjum	5,8E-07	5,8E-07	4,2E-10	6,1E-11	6,1E-20	5,2E-09	4,8E-13	1,8E-10	2,3E-08	5,3E-11	1,6E-13	2,3E-07	2,9E-06
	Niðurrif / uppgröftur	1,5E-05	1,5E-05	-2,1E-07	1,4E-07	1,4E-18	7,8E-08	5,5E-11	3,7E-08	4,1E-07	1,0E-07	9,9E-13	2,1E-04	1,8E-07
	Flutningar á úrgangi	1,2E-06	1,2E-06	6,3E-10	4,2E-10	9,2E-20	2,3E-08	4,0E-13	1,2E-08	1,3E-07	3,1E-08	1,5E-14	1,7E-05	2,6E-09
	Meðhöndlun og förgun úrgangs	1,8E-08	1,9E-08	-8,9E-10	9,5E-11	8,0E-23	1,4E-10	4,4E-14	3,5E-11	3,8E-10	1,1E-10	1,8E-15	2,6E-07	2,0E-09
C-D	Förgun og endurvinnsla tengivirkja	2,1E-05	2,0E-05	1,3E-06	-4,7E-11	-3,0E-13	2,2E-09	2,9E-11	-9,6E-11	-3,7E-09	1,0E-10	-8,0E-12	1,3E-05	2,0E-07
D	Endurvinnsla: stál	-5,9E-06	-5,8E-06	-1,3E-08	-2,6E-09	-9,5E-17	-2,7E-08	-1,2E-11	-4,1E-09	-4,4E-08	-1,4E-08	-1,6E-10	-7,1E-05	-9,8E-07
	Endurvinnsla: ál	-6,6E-05	-6,6E-05	-1,3E-07	-1,6E-08	-4,6E-17	-3,0E-07	-2,8E-11	-4,5E-08	-4,9E-07	-1,4E-07	-3,0E-12	-8,6E-04	-9,0E-06
	Endurvinnsla: kopar	-8,6E-07	-8,6E-07	2,1E-09	-2,6E-09	-1,3E-19	-6,8E-09	-1,7E-12	-7,9E-10	-8,5E-09	-2,4E-09	-9,5E-10	-9,7E-06	-7,1E-07
Alls		6,8E-04	7,0E-04	-2,5E-05	9,8E-07	1,6E-11	1,1E-05	7,4E-09	7,8E-07	4,7E-05	1,4E-06	9,1E-09	5,0E-03	6,0E-03

TAFLA B.4 Tölulegar niðurstöður vistferilsgreiningar á flutningskerfi raforku, þar sem **gróðurhúsaáhrif** kerfisins (þúsund tonn CO₂-ígildi alls á 60 ára líftíma, en ekki á hverja kWst) eru settar fram fyrir sérhvert spennustig (220 kV, 132 kV, 66 kV). Nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa má sjá í viðauka A og myndræna framsetningu í kafla 4.

	KOLEFNISSPOR, ÞÚS TONN CO ₂ -ÍGILDI ALLS	220 KV	132 KV	66 KV
A1-A3	Stálmöstur	55,09	10,04	0,11
	Trémöstur		-8,86	-5,89
	Steypt möstur		0,06	
	Leiðarar	84,67	38,62	11,08
	Undirstöður	10,30	2,40	1,57
	Stög, einangrar, jarðvír og ræsi	9,25	1,80	0,81
	Jarðstrengir	6,17	14,27	9,69
	Tengivirki	23,08	27,22	9,35
A4	Flutningur	4,13	2,44	1,15
A5	Eldsneytisnotkun: reising loftlína og slóðagerð	27,03	30,99	2,35
	Eldsneytisnotkun: lagning jarðstrengja	0,59	3,73	6,28
B1-B6	Flutningstöp	210,62	13,94	15,39
	Flug	29,36		
	Losun SF6	78,38	68,56	2,14
	Viðhald, eftirlit og orkunotkun	3,32	4,21	3,29
	Endurnýjun búnaðar	8,68	0,80	0,01
C1-C4	Niðurrif /uppgröftur og förgun	4,07	6,58	8,35
C-D	Niðurrif og endurvinnsla tengivirkja	20,11	3,41	0,33
D	Endurvinnsla	-49,87	-24,29	-9,42

TAFLA B.5 Tölulegar niðurstöður vistferilsgreiningar á flutningskerfi raforku, þar sem **eyðing auðlinda** vegna kerfisins (kg Sb-ígildi alls á 60 ára líftíma, en ekki á hverja kWst) eru settar fram fyrir sérhvert spennustig (220 kV, 132 kV, 66 kV). Nánari lýsingu á flokkum umhverfisáhrifa má sjá í viðauka A og myndræna framsetningu í kafla 4.

	EYÐING AUÐLINDA, KG SB-ÍGILDI ALLS	220 KV	132 KV	66 KV
A1-A3	Möstur	5.240	962	15
	Leiðarar	39	7	28
	Undirstöður	123	0,1	0,1
	Stög, einangrar, jarðvír og ræsi	247	113	183
	Jarðstrengir	300	860	1.380
	Tengivirki	960	545	130
A4	Flutningur	0,1	0,0	0,0
A5	Eldsneytisnotkun vegna byggingar	1,8	2,3	0,6
	Flutningstöp	287	19	21
B1-B6	Viðhald, eftirlit, flug og orkunotkun	0,6	0,3	0,2
	Endurnýjun búnaðar	158	48	0,9
C1-C4	Niðurrif /uppgröftur og förgun	0,2	0,4	0,5
C-D	Niðurrif og endurvinnsla tengivirkja	0,0	-7,9	-1,3
D	Endurvinnsla	-277	-404	-599