

# METAN FRAMLEIÐSLA Á REYKJANESI

Lífsferilsgreining

Ágúst 2023



HEITI SKÝRSLU:	METAN OG VETNISFRAMLEIÐSLA Á REYKJANESI - LÍFSFERILSGREINING	DREIFING:	<input checked="" type="checkbox"/> OPIN
VERKEFNI:	22259004	<input type="checkbox"/> LOKUÐ TIL	
SKÝRSLA NR.	01	AFURÐAR-AUÐKENNI:	<b>22259-M00019</b>
		<input type="checkbox"/> HÁÐ LEYFI VERKKAUPA	

HÖFUNDAR: Hera Harðardóttir Anna Ingvarsdóttir Elín Vignisdóttir (rýni)	VERKEFNISSTJÓRI: Arnór Þórir Sigfússon
--	---

UNNIÐ FYRIR: SGGI UMSJÓN: Dieter Hauser	SAMSTARFSADILAR:
--	------------------

ÚTDRÁTTUR:  Fyrirtækið SGGI áformar að reisa verksmiðju til framleiðslu á metangasi á Reykjanesi til nýtingar í gasdreifikerfi í Sviss. Metan framleiðslan nýtir raforku frá Reykjanesvirkjun og CO <sub>2</sub> afgang frá Svartsengisvirkjun í framleiðsluferlið. Til að meta loftlagsáhrif vegna framleiðslunnar og flutningsins á metangasinu til Sviss var framkvæmd lífsferilsgreining. Kolefnisspor framleiðslunnar er -2.066 kg CO <sub>2</sub> ígildi á hvert tonn af metangasi framleitt og flutt til Sviss. Niðurstöður gefa í ljós að helstu umhverfisáhrif framleiðslunnar eru til komin vegna rafgreiningu vatns sem er fyrsta skrefið í framleiðsluferlinu.
--

LYKILORÐ ÍSLENSK:  Lífserilsgreining, kolefnisspor, metangas, kolefnisbinding	LYKILORÐ ENSK:  Life cycle assessment, carbon footprint, methane, carbon utilization
---	--

© Geta skal heimilda sé efni skýrslunnar afritað eða birt með einhverjum hætti.



## Samantekt

Svissneska fyrirtækið Swiss Green Gas International (SGGI) áformar að reisa verksmiðju á Reykjanesi til framleiðslu á metangasi. Metangasið er framleitt úr vetni sem fæst með rafgreiningu á vatni og úr koltvíoxíð sem fæst úr afgasi jarðvarmavirkjunar í Svartsengi. Afurðin verður svo flutt til Sviss til notkunar. Í þessari skýrslu eru niðurstöður lífsferilsgreiningar fyrir framleiðslu gassins og flutninginn þess til Sviss kynntar. Markmið lífsferilsgreiningarinnar er að skoða loftlagsáhrif metan framleiðslunnar og gera grein fyrir bindingu og losun gróðurhúsalofttegunda frá starfseminni og flutningum afurða þegar hún er orðin reglubundin. Losun sem verður til á notkunarfasa er ekki tekin með í þessari greiningu. Kolefnisspor framleiðslu og flutnings á metangasi til Sviss er neikvætt þegar nýting koltvíoxíðs frá jarðvarmavirkjun er tekin með eða  $-2.066$  kg CO<sub>2</sub> fyrir hvert tonn af metangasi í vökvaformi. Helstu losunarvaldar metan framleiðslunnar er raforkunotkunin við rafgreininguna og mögulegur metan leki við vinnslu metangassins. Niðurstöður lífsferilsgreiningarinnar sýna að það getur haft umhverfislegan ávinning að fanga og nýta koltvíoxíð til metan framleiðslu. Lífsferilgreiningin var byggð á frumgögnum samkvæmt hönnunarforsendum framleiðsluferlisins í lok vors 2023. Framleiðslutölur gætu breyst lítillega sem mögulega þá haft áhrif á kolefnissporið að einhverju leyti. Greiningu þessa skal ekki nota í loftslagsbókhaldi eða til að meta losunarheimildir milli fyrirtækja eða landa.



## Efnisyfirlit

Efnisyfirlit .....	iii
Myndaskrá .....	iv
Töfluskrá .....	iv
Orðskýringar .....	v
<b>1 Inngangur .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Bakgrunnur.....</b>	<b>2</b>
<b>3 Markmið og umfang.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Gagnasöfnun .....</b>	<b>6</b>
4.1 Vetnisframleiðsla og rafgreining .....	6
4.2 Gashreinsun og CO <sub>2</sub> -nýting .....	6
4.2.1 Sviðsmyndir við gashreinsun.....	7
4.2.1.1 Sviðsmynd A .....	7
4.2.1.2 Sviðsmynd B .....	8
4.3 Metanmyndun.....	9
4.4 Flutningur.....	9
<b>5 Niðurstöður lífsferilsgreiningar .....</b>	<b>11</b>
5.1 Umhverfisáhrif lífsferils við framleiðslu metans .....	11
5.2 Kolefnisspor.....	12
5.3 Næmnigreining.....	14
<b>6 Umræður um umhverfisáhrif metan framleiðslunnar .....</b>	<b>16</b>
<b>7 Heimildir.....</b>	<b>1</b>



## Myndaskrá

Mynd 2.1	Einföld skýrningarmynd af framleiðsluferli metangass (LSGG). .....	2
Mynd 2.2	Fyrirhugað framleiðsluferli metan verksmiðjunnar á Reykjanesi. ....	3
Mynd 3.1	Einfölduð kerfismörk lífsferilsgreiningar. Yfirlitsmynd sem sýnir helstu strauma framleiðslunnar.....	4
Mynd 4.1	Kerfismörk grunn sviðmyndar við gashreinsun, áður en CO <sub>2</sub> er nýtt í næsta ferli.....	7
Mynd 4.2	Kerfismörk sviðsmyndar B við gashreinsun, áður en CO <sub>2</sub> er nýtt í næsta ferli. ....	8
Mynd 5.1	Hlutdeild framleiðsluferla metan framleiðslunnar fyrir umhverfisáhrifaflokkinn hnatthlúnunarmáttur. Báðar sviðsmyndirnar sýndar. ....	11
Mynd 5.2	Kolefnispor metan framleiðslunnar fyrir hvert tonn LSGG framleitt og flutt í (kg CO <sub>2</sub> -ígildum). Myndin sýnir hvernig kolefnissporið skiptist á milli hluta framleiðslunnar. ....	12
Mynd 5.3	Kolefnispor flutnings á LSSG ásamt mismunandi flutningsáföngum frá Reykjanesi til Basel. Myndin sýnir heildar kolefnisspor flutningsins fyrir báðar sviðsmyndir ásamt vegalend. ....	13
Mynd 5.4	Næmnigreining á metanleka við metanmyndunina. Breytt var magni metanlekans frá 0,7% í 1% og 0,4% fyrir báðar sviðsmyndir.....	14
Mynd 5.5	Næmnigreining á flutningi. Í stað áa pramma (upprunaleg flutningsleið) yrði lest (breytt flutningsleið) notuð til að ferja LSGG afurðina.....	15

## Töfluskrá

Tafla 4.1	Lykiltölur við rafgreiningu.....	6
Tafla 4.2	Lykiltölur við gashreinsun og CO <sub>2</sub> -nýting.....	7
Tafla 4.3	Sviðsmynd A - Lykiltölur við gashreinsun. ....	7
Tafla 4.4	Sviðsmynd B - Lykiltölur við gashreinsun. ....	8
Tafla 4.5	Lykiltölur fyrir metanmyndun.....	9
Tafla 4.6	Áætlaðar flutningsleiðir.....	10
Tafla 4.7	Lykiltölur vegna flutninga. ....	10



## Orðskýringar

CCS	Kolefnisföngun og niðurdæling (e. Carbon capture and storage)
CCU	kolefnisföngun og nýtingu  (e. Carbon capture and utilization)
CH <sub>4</sub>	Metan (e. methane)
CML	Aðferð notuð við mat á lífferilssáhrifum, þróuð af Háskólanum í Leiden
CO <sub>2</sub>	(e. Characterization Factors method) Koltvíoxíð
CO <sub>2</sub> -íg.	(e. carbon dioxide) Koltvíoxíð ígildi
GWP	(e. carbon dioxide equivalents) Hnatthlýnunarmáttur (e. Global warming potential)
H <sub>2</sub>	Vetni (e. hydrogen)
IPCC	Milliríkjanefndar Sameinuðu þjóðanna um loftlagsbreytingar (e. Intergovernmental Panel on Climate Change)
LCA	Lífsferilsgreining (e. Life cycle assessment)
LCI	Lífsferilsbirgðagreining
LCIA	(e. Life cycle inventory, LCI) Mat á lífsferilsáhrifum
LSGG	(e. life cycle inventory assessment, LCIA), Grænt metan gas á vökvaformi (e. liquid synthetic green gas)
PEM	Proton exchange membrane electrolysis
PtG	Power-to-gas
SGG	Grænt metangas í gasfasa (e. Synthetic green gas)



## 1 Inngangur

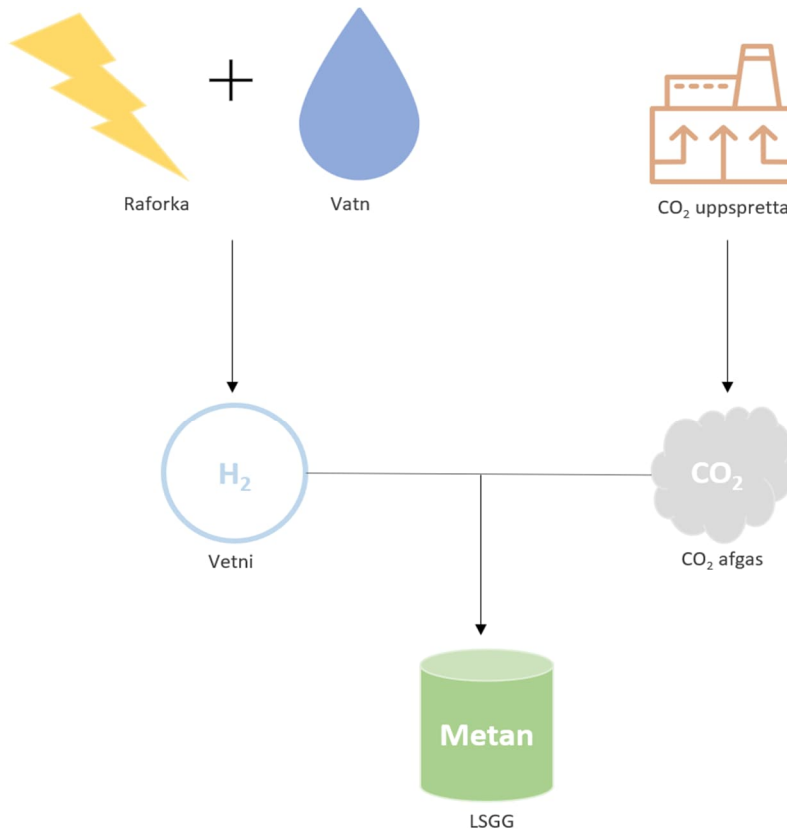
Orkuþörf Evrópu fer ört vaxandi og mun aukast töluvert í náinni framtíð (IEA, 2022). Evrópusambandið hefur sett sér það markmið að ná kolefnishlutleysi fyrir árið 2050 (European Commission, 2022). Til þess að ná þeim markmiðum þurfa orkuskipti að eiga sér stað í Evrópu. Metangas hefur lengi verið nýtt sem orkugjafi í Evrópu og telst það stöðugur og áreiðanlegur orkugjafi. Innviðir eru því til staðar víðsvegar á meginlandi Evrópu. Power-to-gas (PtG eða PtX) er tækni sem framleiðir metangas úr endurnýjanlegri raforku. Með þessu móti er mögulegt að flytja orkuna lengri leiðir og nýta hana þar sem ekki er eins auðvelt að nálgast endurnýjanlega orkugjafa.

Rafgreining sem notuð er til að framleiða vetni sem svo er nýtt í framleiðslu metangass er orkufrekt ferli. Það er því mikilvægt að framleiða vetni með endurnýjanlegri raforku. Metangas sem framleitt er með endurnýjanlegum raforkugjöfum kallast á ensku synthetic green gas (SGG). Á Íslandi er raforka framleidd með endurnýjanlegum orkugjöfum svo sem vatnsafli og jarðvarma. Í jarðhitavökvanum sem knýr vélar til framleiðslu á orku úr jarðvarma er nokkuð magn koltvívíoxíð ( $\text{CO}_2$ ) (Ármannsson & Fridriksson, 2005) (Gunnarsson, et al., 2013). Magnið sem losnar er þó mun minna en losnar við orkuframleiðslu úr jarðefnaeldsneyti. Möguleiki er að fanga  $\text{CO}_2$  sem losnar við raforkuframleiðsluna í jarðvarmavirkjunum og nýta til framleiðslu á metangasi, svokölluð kolefnisnýting (e. Carbon capture and utilization, CCU). Með því að staðsetja framleiðslu á grænu metangasi við hlið jarðvarmavirkjunar sem útvegar endurnýjanlega raforku og koltvívíoxíð til framleiðslunnar má draga úr beinni losun jarðvarmavirkjunarinnar ásamt því að framleiða umhverfisvænni orkugjafa fyrir Evrópu.

Markmið þessa verkefnis er að meta loftslagsáhrif þess að nýta raforku frá Reykjanesvirkjun og koltvívíoxíð sem afgang frá jarðvarmavirkjun í Svartsengi til framleiðslu á grænu metangasi og flutning þess til Sviss til notkunar. Til þess verður framkvæmd lífsferilsgreining (e. life cycle assessment, LCA) en það er þekkt aðferðafræði til þess að meta umhverfisáhrif og reikna kolefnisspor. Þessi lífsferilsgreining hefur eingöngu verið unnin í tengslum við umhverfismatsferli framkvæmdarinnar og í þeim tilgangi að taka á umhverfisþættinum loftslag í samræmi við ábendingar Skipulagstofnunar. Greiningu þessa skal ekki nota í loftslagsbókhaldi eða til að meta losunarheimildir milli fyrirtækja eða landa.

## 2 Bakgrunnur

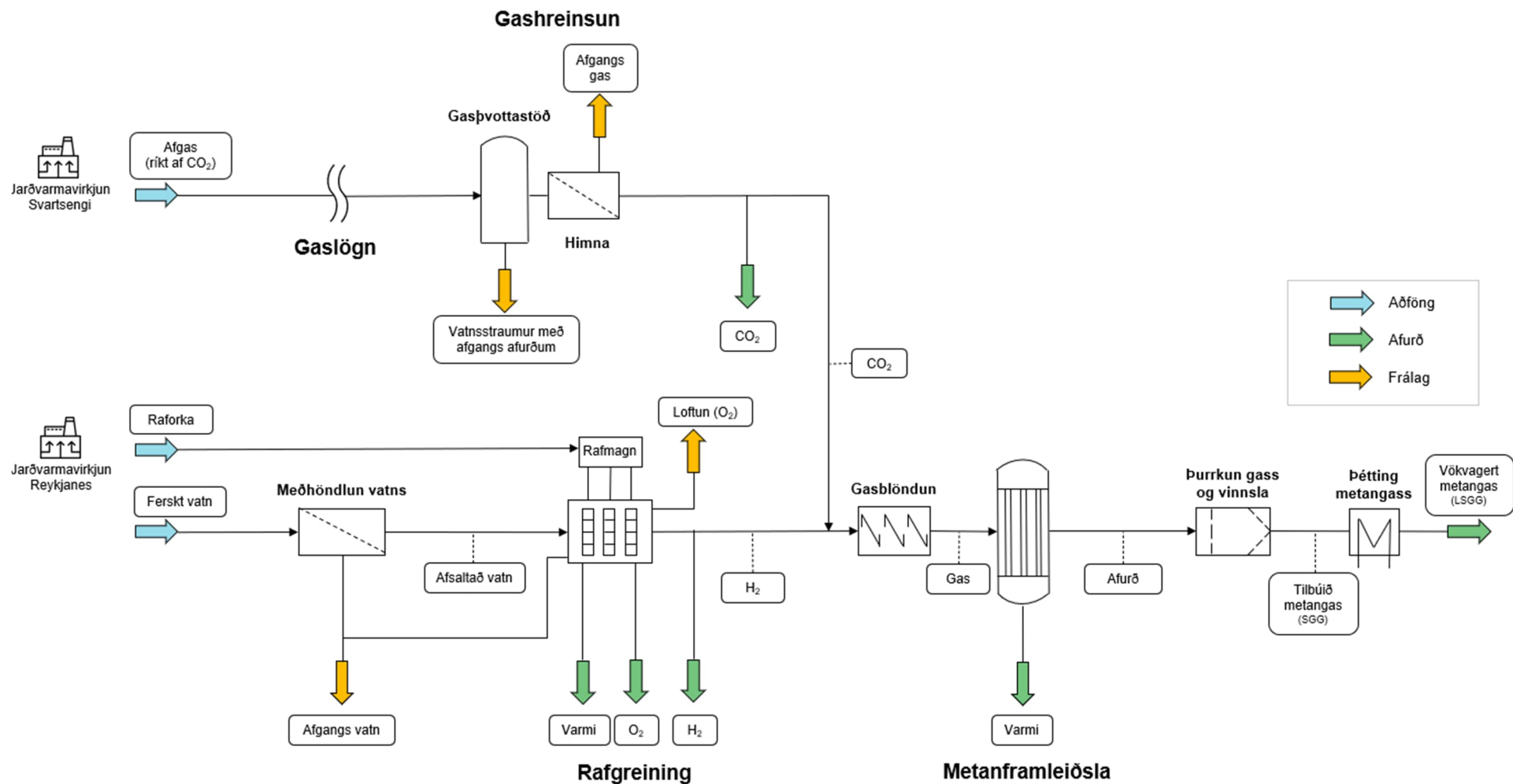
Power-to-gas er tækni sem nýtir endurnýjanlega raforku til þess að breyta vatni í vetni með rafgreiningu. Vetni er mjög eldfim og rokgjörn gastegund og erfitt er að geyma það og flytja á milli staða. Því er algengt að vetnið sé nýtt til þess að framleiða metan, metanól eða ammoníak. Koltvíoxíð kemur þá inn í ferlið sem afgangur frá orkustöðvum eða iðnaðarferlum. Vetnið og koltvíoxíðið er svo látið hvarfast saman og mynda metangas, sjá Mynd 2.1. Græna metangasið (SGG) er svo kælt og þétt í vökvaform (LSGG) til flutnings.



**Mynd 2.1 Einföld skýringarmynd af framleiðsluferli metangass (LSGG).**

Samkvæmt lífsferilsgreiningum sem áður hafa verið unnar eru helstu umhverfisáhrif PtG tækninnar magn og tegund raforkunnar sem notuð er í rafgreiningu vatns, en rafgreining er gríðarlega orkufrekt ferli. Til þess að draga úr umhverfisáhrifum PtG tækninnar til framleiðslu LSGG þarf uppruni raforkunnar að vera úr endurnýjanlegri orkulind með lágt umhverfisspor. Uppspretta CO<sub>2</sub> inn í ferlið hefur minni áhrif á umhverfisspor metan framleiðslunnar (A. Navajas, et al., 2022). Með því að framleiða metangas með þessum hætti, þ.e. úr endurnýjanlegri raforku og kolefnisnýtingu má líklega draga úr umhverfisspori framleiðslunnar umtalsvert. Svissneska fyrirtæki Swiss Green Gas International (SGGI) áformar að reisa metan verksmiðju á Reykjanesi við hlið Reykjanesvirkjunar til framleiðslu á grænu metani eða liquid synthetic green gas (LSGG). Verksmiðjan mun þá fá hráefni til framleiðslunnar frá orkufyrirtækinu HS Orku, það er vatn, raforka og koltvíoxíð. Framleiðsluferlið felst í því að framleiða H<sub>2</sub> úr vatni með rafgreiningu og vinna CO<sub>2</sub> úr afgangi jarðvarmavirkjunar (sjá Mynd 2.2). Metangasið yrði flutt til Sviss í gasgámum með gámaskipi þar sem það væri sett inn á gasdreifikerfi.





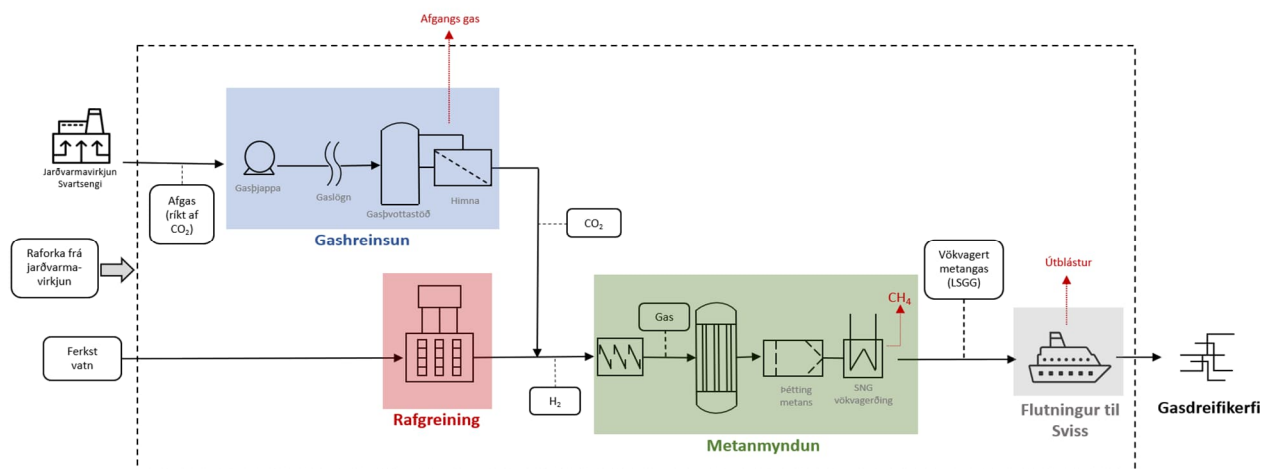
Mynd 2.2 Fyrirhugað framleiðsluferli metan verksmiðjunnar á Reykjanesi.

### 3 Markmið og umfang

Lífsferilsgreining er aðferðfræði til að meta og kortleggja umhverfisáhrif vöru eða þjónustu allan lífsferil hennar. Þetta er gert í fjórum skrefum. Fyrst þarf að skilgreina markmið og umfang, næst eru allt það sem notað er í framleiðslu talið saman með lífsferilsbirgðagreiningu (e. Life cycle inventory, LCI), því næst er mat á lífsferilsáhrifum (e. life cycle inventory assessment, LCIA) og loks túlkun á niðurstöðum. Greininginn er unninn eftir alþjóðlegum stöðlum, ISO 14040 og ISO 14044.

Markmið þessarar lífsferilsgreiningar er að meta umhverfisávinning framleiðslunnar í bindingu og losun gróðurhúsalofttegunda frá starfsemi og flutningum afurðar til Sviss þegar hún er orðin reglubundin. Greininginn er gerð sem hluti af umhverfismati fyrir mögulega vetnis og metangass framleiðslu á Íslandi. Umhverfisáhrif við framleiðslunnar er reiknað fyrir hvert tonn af framleiddu á metangasi úr grænu vetni (LSGG). Aðgerðaeining greiningarinnar er því 1 tonn LSGG framleitt og flutt. Áætlað magn af LSGG framleitt á hverju ári er 14.080 tonn og heildar orkuþörf framleiðslunnar er 392 GWh á ári. Áætlaður líftími verksmiðjunnar er 20 ár.

Innan kerfismarka lífsferilsgreiningarinnar er framleiðsluferlið og útblástur frá helstu hlutum starfseminnar (sjá Mynd 3.1). Framleiðslunni er skipt upp í fjóra ferla: Rafgreiningu, gashreinsun, metanmyndun og flutning. Losun frá öðrum hlutum starfseminnar og notkun metangassins í gasdreifikerfi Sviss er utan kerfismarka. Losun frá öðrum hlutum starfseminnar er fyrir utan kerfismarka.



Mynd 3.1 Einfölduð kerfismörk lífsferilsgreiningar. Yfirlitsmynd sem sýnir helstu strauma framleiðslunnar.

Til þess að meta umhverfisáhrif starfseminnar er notast við aðferðfræði CML. Þar verður umhverfisáhrifaflokkurinn hnatthlýnunarmáttur (Global warming potential, GWP) með 100 ára tímabili notaður til að túlka bindingu og losun gróðurhúsalofttegunda. Hugbúnaðurinn SimaPro 9.4.0.3 var notaður við gerð lífsferilsgreiningarinnar.

Mismunandi sviðsmyndir (e. scenarios) eru skoðaðar í lífsferilsgreiningunni. Mismunurinn felst í því hvernig afgas ríkt af CO<sub>2</sub> er flutt frá Svartsengisvirkjun til gashreinsunar í metan verksmiðjunni við hlið Reykjanesvirkjunnar. Tveir möguleikar koma til greina:



- **Sviðsmynd A:** Flutningur óhreinsaðs gass í gashreinsun með lögn sem yrði lögð milli Svartengisvirkjunar og metan verksmiðjunnar. Hér er gasið hreinsað við verksmiðjuna í Reykjanesi eftir flutning frá Svartsengi.
- **Sviðsmynd B:** Flutningur hreinsaðs gass úr gashreinsun með sérstökum flutningabifreiðum milli Svartengisvirkjunar og metan verksmiðjunnar. Hér er gasið hreinsað í Svartsengi fyrir flutning til verksmiðju.

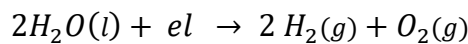


## 4 Gagnasöfnun

Í þessari lífsferilsgreiningu er fyrirhuguð metan framleiðsla staðsett á Reykjanesi við Reykjanesvirkjun. Helstu framleiðslutölur, gögn og upplýsingar koma frá Svissnesska fyrirtækinu SGGI. Helstu framleiðslutölur eru byggðar á frumgögnum sem til staðar voru vorið 2023, snemma á hönnunarstigi. Einnig var stuðst við bakgrunnsgögn úr alþjóðlegum gagnabanka SimaPRO og EcoInvent v3.9.1. Raforka til framleiðslunnar kemur beint frá Reykjanesvirkjun en í greiningunni eru notaðar gagnaupplýsingar um umhverfisáhrif dæmigerðrar jarðvarmavirkjunar á Íslandi.

### 4.1 Vetnisframleiðsla og rafgreining

Í rafgreiningu (e. electrolysis) er vatni skipt í frumefni sín, vetni ( $H_2$ ) og súrefni ( $O_2$ ), sjá efnajöfnu að neðan. Tæknin sem notuð er kallast á ensku proton exchange membrane electrolysis (PEM). Lykiltölur vetnisframleiðslu og rafgreiningar má sjá í Tafla 4.1.



Tafla 4.1 Lykiltölur við rafgreiningu.

Lýsing	Magn	Eining
Heildar raforkuþörf rafgreiningar	27.300	kWh/tonn LSGG
Magn $H_2$ notað í framleiðslu á 1 tonn LSGG	0,52	tonn/per tonn LSGG

### 4.2 Gashreinsun og $CO_2$ -nýting

Til að mögulegt sé að nýta koldíoxíðið þarf fyrst að hreinsa afgangið frá Svartsengi. Gasið inniheldur að mestu  $CO_2$  en einnig nokkuð magn af öðrum gastegundum sem eru hreinsaðar frá í gashreinsunar ferlinu. Þessar gastegundir teljast ekki til gróðurhúsalofttegunda og hafa því ekki áhrif á kolefnissporið. Sjá má áætlaðar kennistærðir gashreinsunar í Tafla 4.2.

Samkvæmt aðferðafræði Muller et al. (2020) um nálgun  $CO_2$  nýtingu í lífsferilsgreiningum, þá er í þessari lífsferilsgreiningu notast við útskiptingu (e. substitution) (Müller, et al., 2020). Þá er  $CO_2$  í metan framleiðslunni hugsað sem hráefni með ákveðnum umhverfisáhrifum. Umhverfisáhrif hráefnisins  $CO_2$  er munurinn á umhverfisávinningi metan framleiðslunnar með og án  $CO_2$  nýtingar. Þetta er hægt þar sem í núverandi ástandi er  $CO_2$  sleppt út í andrúmsloftið og notkun á  $CO_2$  sem hráefni í framleiðslunni leiðir ekki til aukningar á losun  $CO_2$ . Gert er ráð fyrir að stöðugt magn af  $CO_2$  berist inn í kerfið.

**Tafla 4.2 Lykiltölur við gashreinsun og CO<sub>2</sub>-nýting**

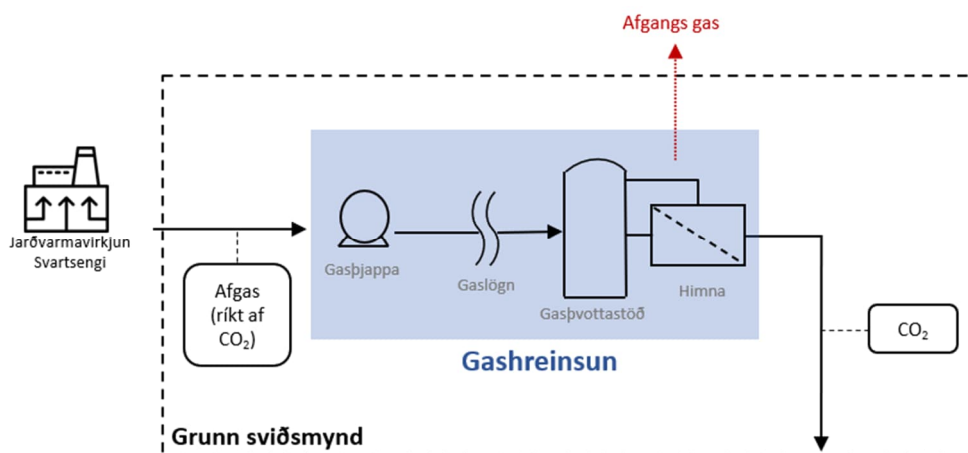
Lýsing	Magn	Eining
Magn af hreinu CO <sub>2</sub> í afgasi frá Svartsengi	55.000	tonn/ári
Magn CO <sub>2</sub> sem fer í metan framleiðslu	42.250	tonn/ári
Magn CO <sub>2</sub> notað í framleiðslu per 1 tonn LSGG (CO <sub>2</sub> -nýting)	3,02	tonn CO <sub>2</sub> /tonn LSGG

#### 4.2.1 Sviðsmyndir við gashreinsun

Tvær sviðsmyndir koma til greina við gashreinsun á afgasi frá Svartstengi, sviðsmynd A og sviðsmynd B.

##### 4.2.1.1 Sviðsmynd A

Afgas frá Svartsengisvirkjun þjappað áður en það er flutt með lögn frá Svartengi til metan verksmiðjunnar við Reykjanesvirkjun. Þar fer fram hreinsun á afgasinu og hreinsað CO<sub>2</sub> er nýtt í framleiðsluferlinu, í Tafla 4.3 má sjá lykiltölur fyrir sviðsmynd A. Framkvæmd og uppsetning lagningarinnar er utan kerfismarka.

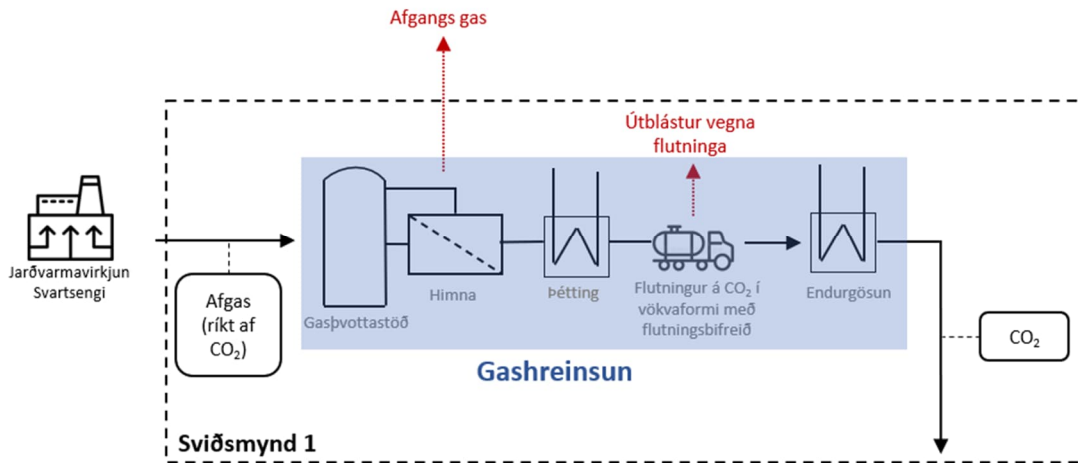

**Mynd 4.1 Kerfismörk grunn sviðsmyndar við gashreinsun, áður en CO<sub>2</sub> er nýtt í næsta ferli.**
**Tafla 4.3 Sviðsmynd A - Lykiltölur við gashreinsun.**

Lýsing	Magn	Eining
Heildar raforkuþörf gashreinsunar með flutning um lögn	1.023	kWh/tonn LSGG

#### 4.2.1.2 Sviðsmynd B

Gashreinsun afgangssins fer fram við Svartengisvirkjun sem er síðan þétt yfir í vökvaform  $\text{CO}_2(\text{l})$  áður en það flutt með flutningabifreið frá Svartengi til metan verksmiðjunnar. Við Reykjanesvirkjun er  $\text{CO}_2$  vökvanum umbreytt aftur í gasfasa og nýtt þannig í metan framleiðsluferlið. Orkan sem fer í endurgösun er hér talin vera núll en það er vegna þess að varmaorka myndast við metanmyndun sem nýta má í ferlið. Einnig mun sú orka sem myndast þar og verður ekki nýtt í ferlið vera sett inná kerfi HS Orku og fara til nýtingar hér á landi.

Áætlað er að sjö ferðir verði farnar á dag milli Svartengis og metan verksmiðjunnar. Vegalengdin er um 15 km (ein ferð). Áætlað er að um það bil 300 kg af  $\text{CO}_2(\text{l})$  sitji eftir í gámnum þegar hann er tæmdur og því má gera ráð fyrir að 1,3% af því  $\text{CO}_2$  sem er flutt með bifreiðinni sé flutt til baka. Sjá áætlaðar kennistærðir vegna flutninga í Tafla 4.7.



Mynd 4.2 Kerfismörk sviðsmynda B við gashreinsun, áður en  $\text{CO}_2$  er nýtt í næsta ferli.

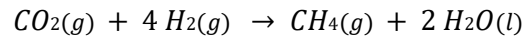
Tafla 4.4 Sviðsmynd B - Lykiltölur við gashreinsun.

Lýsing	Magn	Eining
Vegalengd flutnings	15	km
Heildar raforkuþörf gashreinsunar og þéttingar, án flutnings	1.080	kWh/tonn LSGG
Nettó magn $\text{CO}_2(\text{l})$ við flutning	22,5	tonn



### 4.3 Metanmyndun

Vetnið sem myndað er með rafgreiningu og CO<sub>2</sub> sem unnið er úr afgangi er látið hvarfast saman til þess að mynda metangas (SGG). Metanmyndun fylgir þekktu efnaferli sem kallað er Sabatier ferlið:



Aukaafurð ferlisins er vatn en það verður nýtt aftur í verksmiðjunni til rafgreiningar. Metangasinu er svo þjappað og það kælt niður í mínus 162°C en þar fer gasið úr gasfasa yfir á vökvaform og kallast þá fljóttandi endurnýjanlegt gas (e. liquid synthetic green gas, LSGG). Við metanmyndun er hugsanlegt að einhver leki verði á metangasi, áætlað er að hann verði um 0,7% af heildarframleiðslu. Sjá má lykiltölur fyrir metanmyndun í Tafla 4.5.

Tafla 4.5 Lykiltölur fyrir metanmyndun.

Lýsing	Magn	Eining
Heildar raforkuþörf metanmyndunar	1.390	kWh/tonn LSGG
Mögulegur metanleki	0,7%	%/tonn LSGG
Brúttó magn vökvagert metangass (LSGG)	14.280	tonn LSGG/ári
Nettó magn vökvagert metangass (LSGG)	14.080	tonn LSGG/ári

### 4.4 Flutningur

Metangasið verður flutt daglega á rekstrartíma með flutningsbifreið til hafnar frá metan verksmiðjunni. Nokkrar hafnir á Reykjanesinu og höfuðborgarsvæðinu koma til greina við flutning, en tekin var meðaltal vegalengda til þeirra hafna. Afurðin verður þá flutt með gámaskipi í gasgámum frá Íslandi til hafnar í Rotterdam í Holland. Þaðan verður afurðin flutt með pramma eftir ánni Rín til hafnar í Basel í Sviss. Að lokum er metangasið flutt frá höfninni með lest í gasdreifikerfisstöð í Basel til inndælingar. Sjá má heildar flutningsleið í Tafla 4.6.

LSGG gasgámurinn er fluttur til baka frá Basel aftur til metan verksmiðjunnar og áætlað er að um 300 kg af LSGG sitji eftir í gámnum í hverri ferð eða um 1,3% af 1 tonni af LSGG sé flutt í tómun gasgáminum til baka til Íslands. Sjá áætlaðar kennistærðir vegna flutninga í Tafla 4.7.



Tafla 4.6 Áætlaðar flutningsleiðir.

Áætlunarleið		Farartæki	Vegalengd [km]
Upprunastaður	Leiðarendi		
Verksmiðja	Höfn á Suðvestur horninu	Flutningabifreið	56,5
Höfn á Íslandi	Höfn í Rotterdam	Gáma skip	2271
Höfn í Rotterdam	Höfn í Basel	Áa prammi	552
Höfn í Basel	Gasdreifikerfisstöð í Basel	Flutningalest	8

Tafla 4.7 Lykiltölur vegna flutninga.

Lýsing	Magn	Eining
Geta gasgáms	22.500	kg
Þyngd gasgáms	22.800	kg
Afgangsmagn LSGG í tómum gasgámi	300	kg

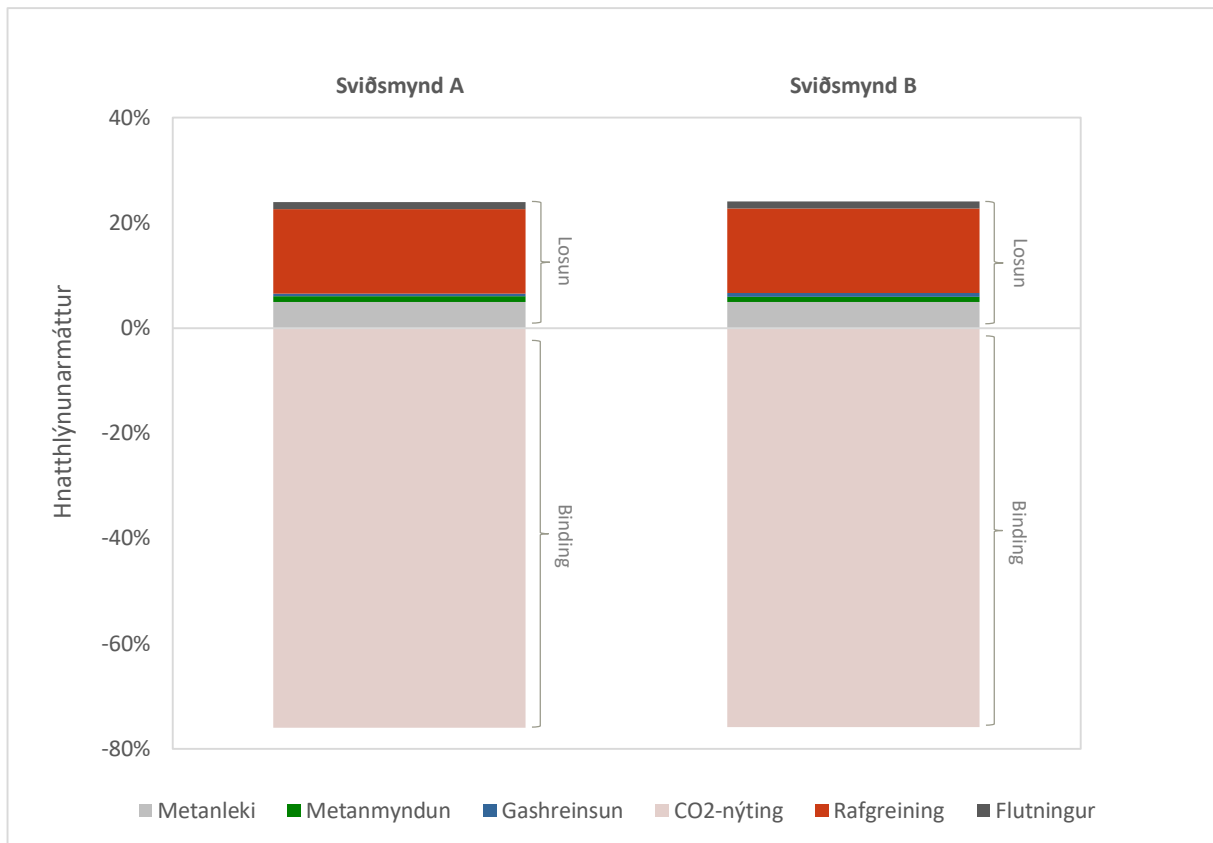


## 5 Niðurstöður lífsferilsgreiningar

Í þessum kafla er greint frá niðurstöðum lífsferilsgreiningar (e. Life Cycle Impact Assessment, LCIA).

### 5.1 Umhverfisáhrif lífsferils við framleiðslu metans

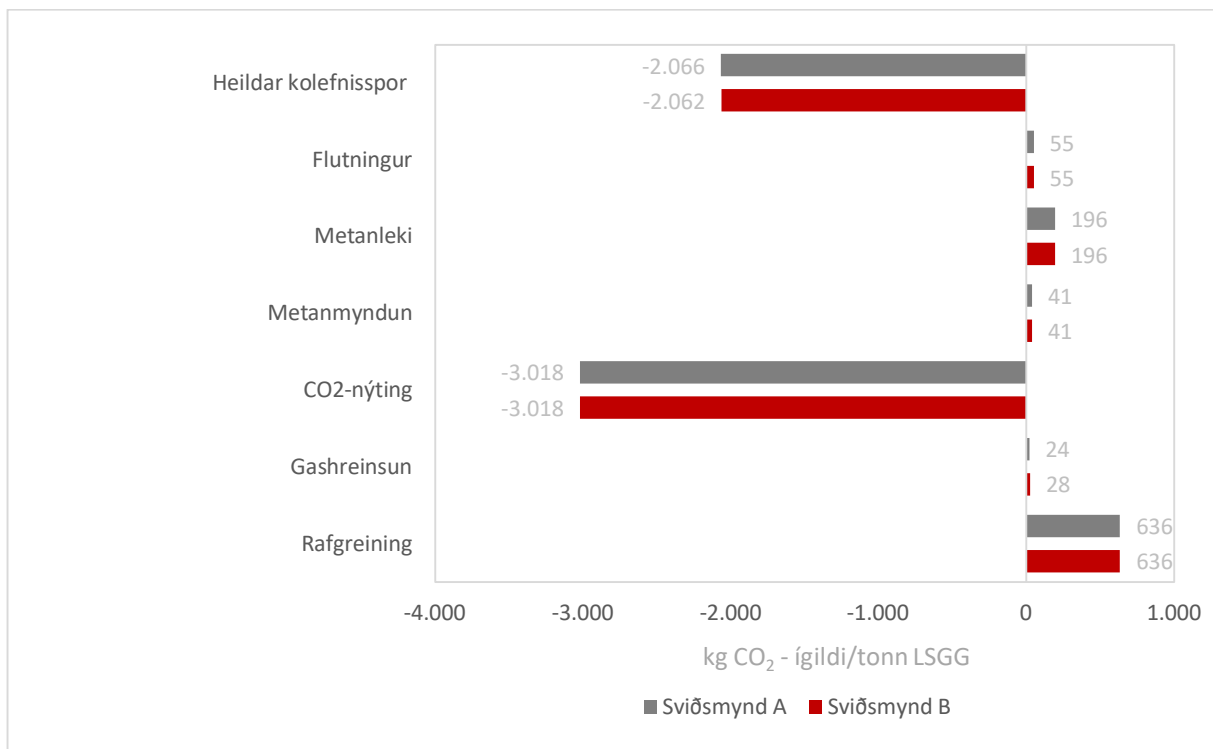
Á Mynd 5.1 má sjá hvernig umhverfisáhrif framleiðslu á LSGG skiptast milli ferla fyrir báðar sviðsmyndirnar. Munur á hnatthlýunarmætti sviðsmyndanna er nánast hverfandi. Ferlarnir rafgreining, metanmyndun og CO<sub>2</sub>-nýting hafa mest áhrif á kolefnissporið. Rafgreining á vatni (rauður litur) er helsti losunarvaldurinn með u.þ.b. 67% af losun, þar á eftir eru áhrif metanleka í metanmynduninni líka stór (grár litur), u.þ.b. 21% af losun vegna metan framleiðslunnar. Gashreinsun, metanmyndun og flutningur stuðla svo saman að tæplega 13% af losun metan framleiðslunnar. Ávinningur CO<sub>2</sub>-nýtingar (bleikur litur) er mikill og er sýnt sem neikvætt hlutfall, þ.e magn CO<sub>2</sub> sem má forðast að sleppa út í andrúmsloftið og frekar nýtt inn í metan framleiðsluna fyrir hvert tonn LSGG framleitt og flutt.



Mynd 5.1 Hlutdeild framleiðsluferla metan framleiðslunnar fyrir umhverfisáhrifaflokkinn hnatthlýunarmáttur. Báðar sviðsmyndirnar sýndar.

## 5.2 Kolefnisspor

Mynd 5.2 sýnir kolefnisspor mismunandi ferla framleiðslunnar í CO<sub>2</sub>-ígildum fyrir hvert tonn framleitt af LSGG. Hér sést eini munur sviðsmyndanna en hann kemur fram í gashreinsuninni. Munurinn er þó hverfandi. Eins og aðrar lífsferilsgreiningar, sem gerðar hafa verið fyrir metanframleiðslugáfu til kynna, hefur kolefnisspor rafgreiningarinnar mest áhrif fyrir báðar sviðsmyndir. Skýrist það af þeirri raforkunotkun sem þarf við rafgreiningu vatns fyrir 1 framleitt tonn af LSGG. Metanmyndunin er einnig stór þáttur í kolefnissporinu, sem má rekja til metanleka sem getur átt sér stað við vinnslu þess. Þótt magn metans sem gæti lekið sé mjög lítið, 0,7%, þá hefur metan mun hærri hnatthlýnarmátt en CO<sub>2</sub> og vegur því meira. Gashreinsun og flutningur vega um það bil það sama og er einungis örlítil hluti af kolefnissporinu.



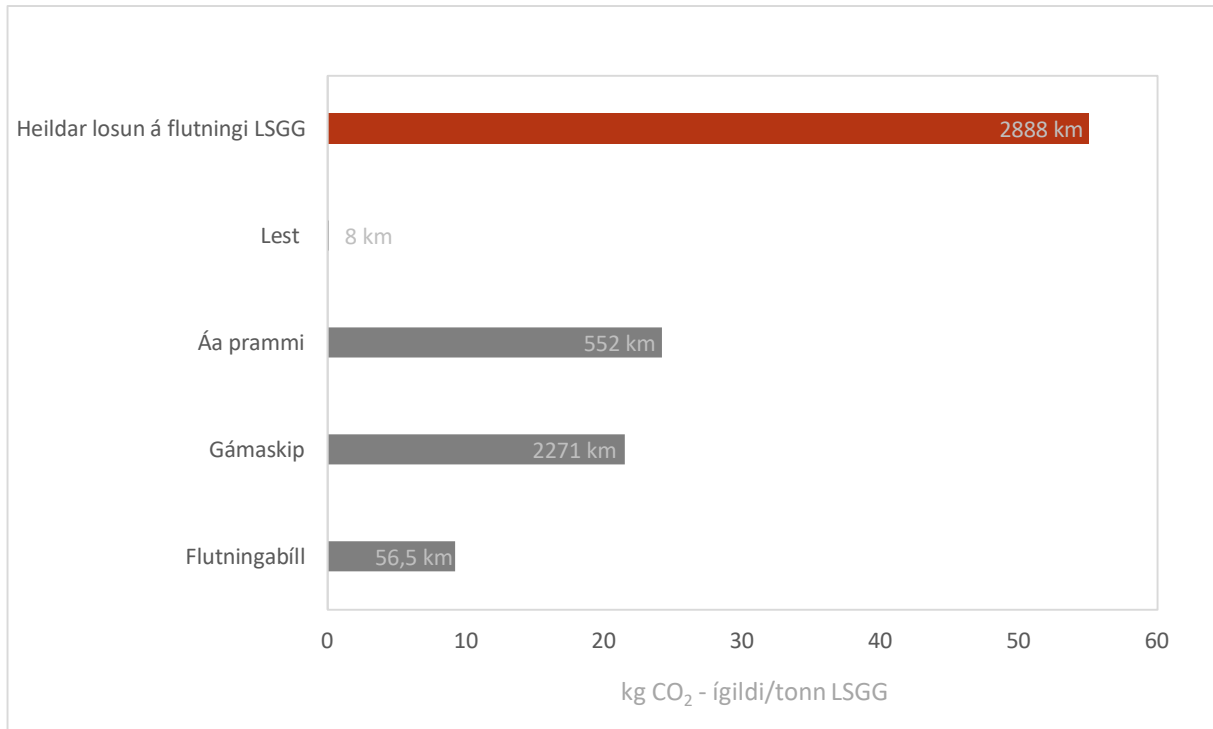
**Mynd 5.2 Kolefnisspor metan framleiðslunnar fyrir hvert tonn LSGG framleitt og flutt í (kg CO<sub>2</sub>-ígildum). Myndin sýnir hvernig kolefnissporið skiptist á milli hluta framleiðslunnar.**

Kolefnisspor metan framleiðslunnar án CO<sub>2</sub>-nýtingar er 952 kg CO<sub>2</sub>-íg./tonn LSGG fyrir sviðsmynd A og 956 kg CO<sub>2</sub>-íg./tonn LSGG fyrir sviðsmynd B. Kolefnisspor beggja sviðsmynda er því neikvætt fyrir framleiðslu og flutning LSGG með nýtingu og bindingu á CO<sub>2</sub>. Með þeim hætti að framleiðsluferlið ásamt flutning losar ekki meira af CO<sub>2</sub>-íg. fyrir 1 tonn af LSGG heldur en bundið er við framleiðslu. Magn CO<sub>2</sub> sem nýtt er í framleiðsluferlið er um 3.018 kg CO<sub>2</sub>-íg./tonn LSGG og því hægt að draga frá kolefnisspori metan framleiðslunnar. Munur á sviðsmyndunum tveggja er í raun engin, nettó kolefnisspor sviðsmynda A er því -2.066 kg CO<sub>2</sub>-íg. og -2.062 kg CO<sub>2</sub>-íg. fyrir sviðsmynd B.

Heildar kolefnisspor flutningsins er 55 kg CO<sub>2</sub>-íg./tonn LSGG fyrir báðar sviðsmyndir. Á Mynd 5.3 má sjá sundurliðun á kolefnisspori flutnings ásamt kílómetrafjölda. Ekki er tenging milli lengri veglengdar



og hærra kolefnisspors en það er vegna þess að verið er að horfa á eitt tonn af afurð í flutning. Þegar farartækið er stærra flytur það fleiri vörur með í ferð og dreifist því kolefnissporið á feiri og verður því lægra. Lestin er rafknúin og fer einnig stöðstu vegalengdina og því með lægra kolefnisspor en hinir flutningsmátarnir.

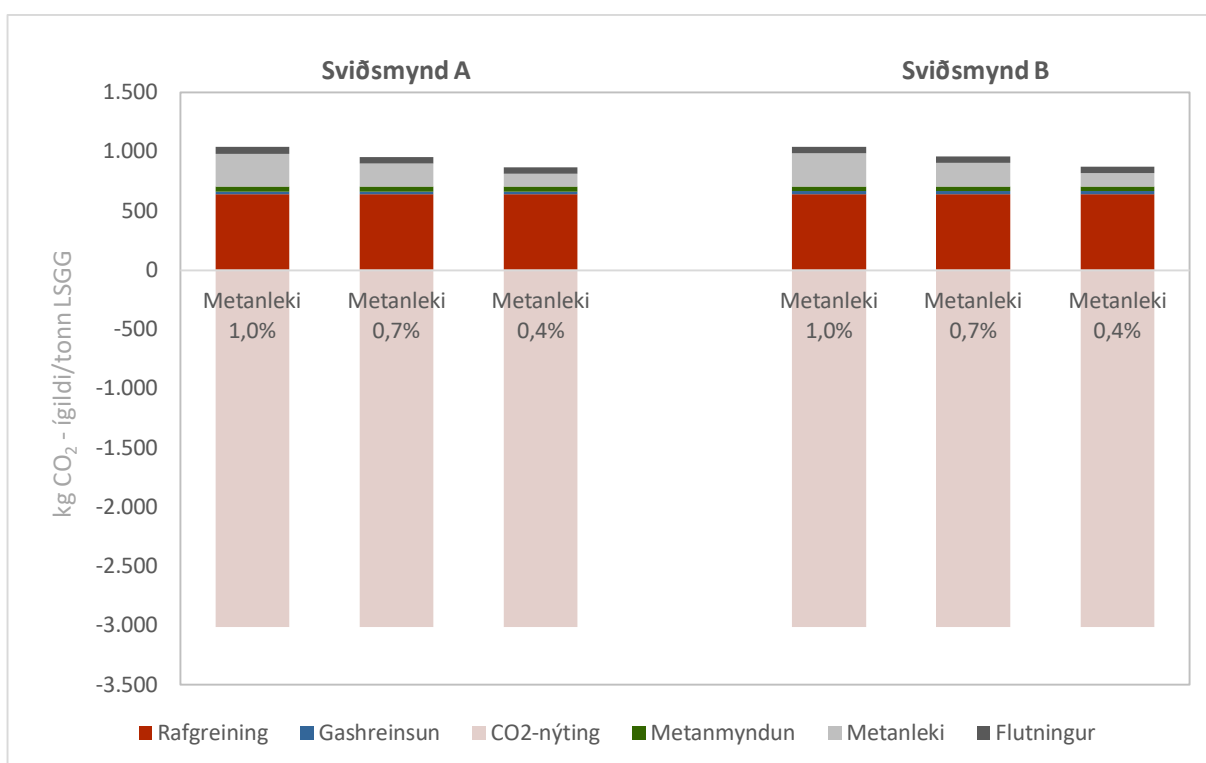


**Mynd 5.3 Kolefnisspor flutnings á LSGG ásamt mismunandi flutningsáföngum frá Reykjanesi til Basel. Myndin sýnir heildar kolefnisspor flutningsins fyrir báðar sviðsmyndir ásamt vegalend.**

### 5.3 Næmnigreining

Framkvæmd var næmnigreining á tveimur breytum til þess að skoða áhrif ákveðinna forsenda á niðurstöður lífsferilsgreiningarinnar. Næmnigreining var gerð fyrir metanleka og flutningsmöguleika.

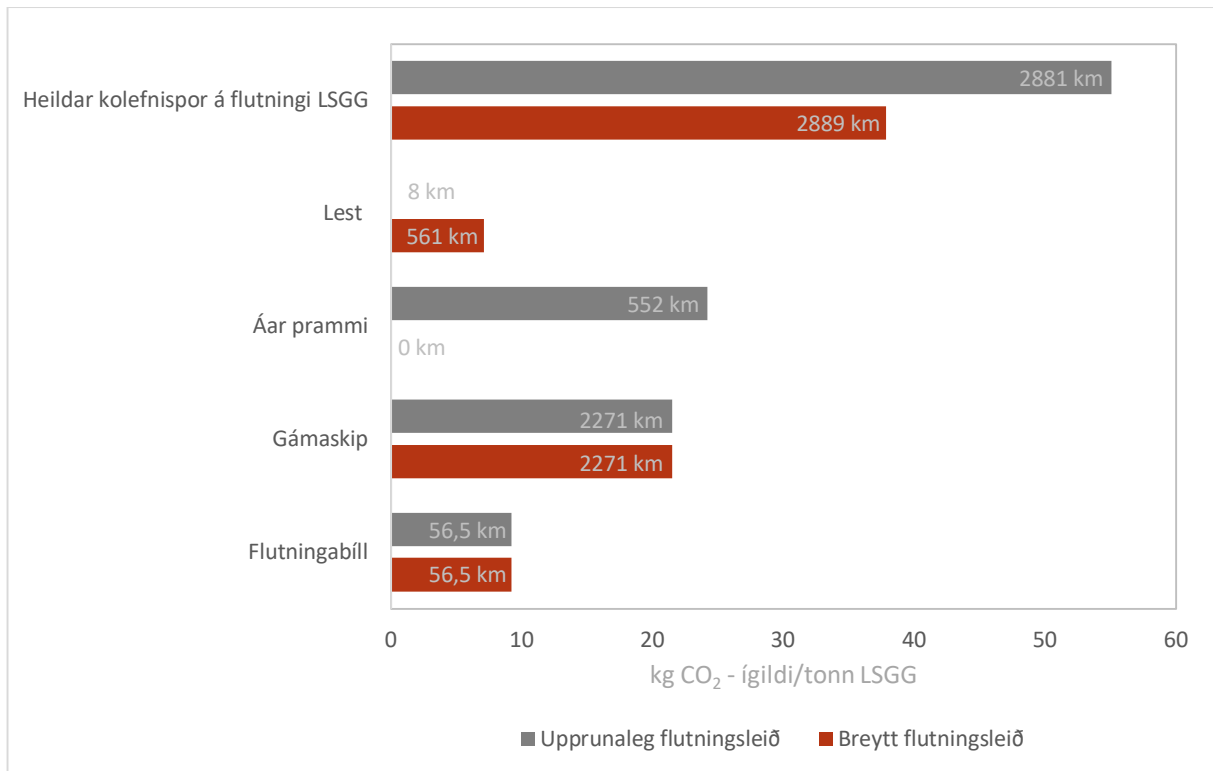
Magn metanleka var hækkað og lækkað um 0,3%. Niðurstöður (sjá Mynd 5.4) benda til þess að metanleki við vinnslu á metani hefur á einhverju leyti áhrif á kolefnisspor metan framleiðslunnar. Við breytingar á magni metanlekans breytist niðurstaða heildar kolefnissporsins um 6-8% fyrir báðar sviðsmyndir. Hefði metanleki verið 1% og 0,4%, þá hefði kolefnissporið hækkað og lækkað um 84 kg CO<sub>2</sub>-íg. per tonn LSGG framleitt og fyrir báðar sviðsmyndir, en alltaf helst nettó kolefnisspor framleiðslunnar neikvætt.



**Mynd 5.4 Næmnigreining á metanleka við metanmyndunina. Magni metanlekans var breytt frá 0,7% í 1% og 0,4% fyrir báðar sviðsmyndir.**



Mynd 5.5 sýnir mun þess að flytja LSGG með lest frá höfninni í Rotterdam til Basel í stað pramma með ánni Rín. Með notkun lestar í stað pramma er hægt að draga verulega úr kolefnisspori flutningsins, um rúmlega 31%. Vegalengdin sem lestin ferðast er bæði frá Rotterdam til Basel og svo Basel til gasdreifikerfisstöðvar og er því kílómetrafjöldinn hærri en fyrir prammann. Breytt flutningsleið hefur samt sem áður minniháttar áhrif á heildar kolefnisspor metan framleiðslunnar sem minnkar aðeins um 0,8% fyrir báðar sviðsmyndirnar.



**Mynd 5.5 Næmnigreining á flutningi. Í stað áa pramma (upprunaleg flutningsleið) yrði lest (breytt flutningsleið) notuð til að ferja LSGG afurðina.**

## 6 Umræður um umhverfisáhrif metan framleiðslunnar

Þegar niðurstöður lífsferilsgreiningarinnar eru skoðaðar er ljóst að raforkunotkun við rafgreiningu hefur mestu áhrifin á kolefnisspor metan framleiðslunnar. Þetta undirstrikar hversu mikilvægt er að nýta endurnýjanlega orkugjafa í ferli sem þessi. Kolefnissporið yrði jafnvel enn lægra ef nýtt væri raforka frá vatnsaflsvirkjun í ferlið. Þá þyrfti samt að koma til einhver önnur uppspretta af CO<sub>2</sub>, þar sem ekki fæst slíkt gas við vinnslu vatnsafls. Einnig er ljóst að flutningur afurðarinnar frá Íslandi hefur ekki mikil áhrif í stóra samhenginu. Eins og fram hefur komið er kolefnisspor framleiðslunnar með flutningi til Sviss og bindingu neikvætt um 2.066 kg CO<sub>2</sub>-íg. á hvert tonn LSGG framleitt. Eftir að gasið er flutt til Sviss er það nýtt þar en við það losnar CO<sub>2</sub> aftur út í andrúmsloftið. Það er þó skárri kostur að mögulegt sé að nýta koltvíoxíðið aftur heldur en það sé losað beint út frá jarðvarmavirkjun hér á Íslandi. Mikilvægt er að hafa þetta í huga áður en niðurstöður greiningarinnar eru bornar saman við aðrar svipaðar greiningar. Einnig er mikilvægt að taka til greina að í þessari lífsferilsgreiningu var kolefnisspor fyrir LSGG gefið sem rúmmál af eldsneyti en ekki sem orkugjafi og því flækir það einnig samanburð við aðrar greiningar sem oftast gefa niðurstöður á orkueiningu.

Framleiðsla SGGI áformar að nýta auðlindir frá virkjunum HS Orku, rafmagn og CO<sub>2</sub> afgang. Þó að raforka unnin úr jarðvarma teljist til umhverfisvænni orkukosta kemur til losun á CO<sub>2</sub> úr jarðhitavökvanum sem nýttur er til framleiðslu orkunnar. Í þessu tilviki er þó koltvíoxíðið sem losnar við framleiðslu orkunnar í jarðvarmavirkjuninni nýtt í ferlið. Þar sem stærsti þáttur í kolefnisspori metan framleiðslunnar kemur til vegna raforkunotkunnar og áhrif á kolefnisspor jarðvarmaorku kemur nánast aðeins til vegna losunar CO<sub>2</sub> til andrúmsloftsins, en metan framleiðslan fangar og nýtir CO<sub>2</sub> frá jarðvarmavirkjuninni er að vissu leyti komin ákveðin hringrás. Það mætti því færa rök fyrir því að kolefnisspor raforkunnar væri núll. Það er þó ekki gert hér þar sem þá væri í raun verið að tvítelja hluta af CO<sub>2</sub>. Í þessari greiningu var miðað við meðallosun frá jarðvarmavirkjunum á Íslandi. Raunin er þó sú að losun er mismunandi frá hverri jarðvarmavirkjun. Það væri því hugsanlegt að það hefði einhver áhrif á niðurstöður ef að nákvæm losunargildi fyrir Reykjanesvirkjun og Svartsengisvirkjun væru nýtt. Þær tölur voru ekki tiltækar þegar greiningin var gerð en hafa nýlega verið birtar á heimasíðu HS Orku.

Lífsferilgreiningar sem þessi eru mikilvægt tól til þess að meta hvar raunveruleg umhverfisáhrif liggja í framleiðsluferli. Það er til að mynda oft talið að flutningur milli landa hafi mikil áhrif en reynist svo oft ekki vera þannig. Fyrir framleiðslu SGGI var einnig talið að metanleki myndi hafa mikil umhverfisleg áhrif þar sem metan hefur réttilega mun hærra hnatthlúnunarmátt heldur en koltvíoxíð. Næmnigreining á hugsanlegum metanleka sýnir fram á að metanleki allt að 1% af framleiðslu hefur ekki umtalsverð áhrif á heildar kolefnisspor framleiðslunnar. Engu að síður stuðlar metanleki að um 20% af losuna vegna metan framleiðslunnar. Það er því mikilvægt að halda metanleka eins litlum og unnt er en ekki er talið að hann fari yfir 1%.

Þó þessi lífsferilsgreining gefi nokkuð góða mynd af kolefnisspori framleiðslunnar er mikilvægt að hafa í huga að verksmiðjan hefur ekki verið hönnuð að fullu og var greiningin einungis þáttur í umhverfismati til að meta bindingu og losun CO<sub>2</sub>. Lífsferilgreiningin var byggð á frumgögnum samkvæmt hönnunarforsendum framleiðsluferlisins í lok vors 2023. Framleiðslutölur gætu breyst lítillega sem mögulega þá haft áhrif á kolefnissporið að einhverju leyti. Niðurstöðurnar sýna þó greinilega hvar helstu umhverfisáhrifin liggja og ættu breytingar í hönnun ekki hafa svo stórtæk áhrif að þær niðurstöður breytist.



## 7 Heimildir

A. Navajas, o.fl., 2022. *Life cycle assessment of power-to-methane systems with CO<sub>2</sub> supplied by the chemical looping combustion of biomass*, s.l.: Energy Conversion and Management.

Ármannsson & Fridriksson, T., 2005. *CO<sub>2</sub> emissions from geothermal power plants and natural geothermal activity in Iceland*, s.l.: Geothermics.

European Commission, 2022. *2050 long-term strategy*. [Á neti] Available at: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en)

Gunnarsson, Aradottir, Sigfusson & Gunnlaugsson, 2013. *Geothermal gas emission from Hellisheidi and Nesjavellir power plants, Iceland*, Reykjavik: Transactions - Geothermal Resources Council .

IEA, 2022. *World Energy Outlook 2022*, s.l.: International Energy Agency.

ISO, 2006. *14040 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. s.l.:s.n.

ISO, 2006. *14044 Environmental Management - Life Cycle Assesment - Requirements and Guidelines*. s.l.:s.n.

Müller, L., Kästelhön, A., Bringezu, S. & McCoy, S., 2020. The carbon footprint of the carbon feedstock CO<sub>2</sub>. *Energy & Environmental Science*, 13(9), pp. 2979-2992.

---