



# Fýsileiki þess að framleiða rafeldsneyti á Íslandi

Júní 2021

Fýsileiki þess að framleiða rafeldsneyti á Íslandi

Unnið af:



fyrir hönd:



Höfundar: Aðalheiður Kristinsdóttir, Bjarni Már Júlíusson og Hallmar Halldórs

Júní 2021

Ljósmynd á forsíðu: Pétur Bjarni Gíslason

# Fyrirvari

Skýrsla þessi inniheldur greiningu á fýsileika þess að framleiða rafeldsneyti á Íslandi. Framkvæmd vinnunnar og áhersluatriði voru samkvæmt samningi Þróunarfélags Grundartanga við Icelandic Electrical Fuel.

Í þessari samantekt er eingöngu fjallað um rafeldsneyti, sem er byggt í grunninn úr vetni sem er rafgreint með endurnýjanlegri raforku. Ekki er gerð grein fyrir öðrum vistvænum orkugjöfum framleiddum á annan hátt.

Vinnan byggist á þekkingu og reynslu verkefnahópsins og ráðgjafa, samhliða því sem unnið var með gögn samstarfsaðila. Einnig aflaði hópurinn sér upplýsinga í gegnum tengslanet sitt auk þess að styðjast við nýjustu vísindagreinar og umfjöllun um rafeldsneytismál.

Icelandic Electrical Fuel ber ekki ábyrgð á að uppfæra efni og niðurstöður skýrslunnar í tengslum við atburði eða upplýsingar sem kunna að koma fram síðar.

Ekki hefur verið framkvæmd sérstök könnun á áreiðanleika þeirra gagna sem byggt er á en miðað er við að um heimildir traustra aðila sé að ræða. Icelandic Electrical Fuel og Þróunarfélag Grundartanga ábyrgjast hvorki nákvæmni né áreiðanleika þeirra upplýsinga sem hér koma fram eða að þær séu tæmandi. Þróunarfélag Grundartanga og Icelandic Electrical Fuel bera enga ábyrgð á ákvörðunum sem teknar eru á grundvelli niðurstöðu skýrslunnar.

# Efnisyfirlit

Helstu niðurstöður .....	5
Inngangur .....	7
Skuldbindingar Íslands: Markmiðasetning .....	8
Frumorkunotkun á Íslandi .....	11
Eldsneytisnotkun á Íslandi .....	13
Kostir rafeldsneytis .....	16
Rafeldsneyti: Framtíðareldsneyti .....	17
Vetni: [H <sub>2</sub> ] .....	20
Rafammóníak [NH <sub>3</sub> ] .....	23
Rafmetan [CH <sub>4</sub> ] .....	24
Rafmetanól [CH <sub>3</sub> OH] .....	25
Rafolía [H <sub>x</sub> C <sub>y</sub> ] .....	26
Aðgengi að raforku .....	27
Aðgengi að koltvísýringi .....	30
Rafeldsneyti: Að meta fýsileika .....	33
Fýsileikagreining: Framleiðsla á rafeldsneyti .....	34
Valkostagreining: .....	44
SVÓT-greining .....	48
PESTLE-greining .....	49
Hugtakalisti .....	50
Töflur og myndir .....	51
Heimildir .....	52

# Helstu niðurstöður

**Að framleiða rafeldsneyti er tæknilega mögulegt og Ísland er fýsilegur staður til þess með aðgengi að endurnýjanlegum auðlindum sem reynsla er af að nýta til orkuskipta**

Þörfin á því að skipta út jarðefnaeldsneyti er mikil. Hluti af þeirri lausn er að nota endurnýjanlegt rafmagn sem orkugjafa til að knýja samgöngutæki. Að nota rafmagn beint er ávallt besti kosturinn en í sumum tilvikum ekki raunhæfur möguleiki. Því er framleiðsla á rafeldsneyti nauðsynleg til að skipta jarðefnaeldsneyti út fyrir umhverfisvænni orkugjafa.

Rafeldsneyti er kolefnishlutlaus orkugjafi sem nýtist til samgangna eða þar sem ekki er fýsilegt að nota rafmagn beint.

Framtíðarspár gera ráð fyrir að eftirspurn eftir rafeldsneyti verði mikil í heiminum á komandi árum, bæði til samgangna og annarrar notkunar. Framtíðartækifærin eru því mikil þegar kemur að framleiðslu á rafeldsneyti og styður við markmið stjórnvalda um orkusjálfstæði Íslands, kolefnishlutleysi og að standa við skuldbindingar í loftlagsmálum. Samhliða því að framleiða endurnýjanlega orkugjafa til innanlandsþarfa liggja tækifæri í því að hefja útflutning á rafeldsneyti.

Að framleiða rafeldsneyti er dýr fjárfesting í dag. Ætla má að sú fjárfesting muni lækka hratt á næstu árum eða í samræmi við framþróun og þroskastig tækninnar. Aðgengi að raforku og í nokkrum tilfellum koltvísýringi þarf að vera til staðar og á hagstæðu verði til að framleiðslan verði samkeppnishæf til framtíðar. Gert er ráð fyrir að þessir kostnaðarliðir muni lækka á heimsvísu næstu árin. Eitt af tækifærum Íslands við framleiðslu rafeldsneytis er að nýta mögulega árstíðabundna umframorku og hámarka arðsemi.

Framleiðsla og sala á rafeldsneyti er enn sem komið er hlutfallslega lítil en áhugi fjárfesta er mikill og felast tækifæri í því að fjármagna framleiðsluna þegar markaðir verða tryggir. Í dag er framleiðsla á rafeldsneyti ekki samkeppnishæf við jarðefnaeldsneyti og því skipta stuðningur og aðgerðir opinberra aðila og nýsköpunarsjóða miklu máli til að skapa gott umhverfi og styðja við þróun tækni og lausna.

Þar sem þörfin fyrir að draga úr losun koltvísýrings er mikil er gert ráð fyrir að regluverk verði lagað að aðgerðum til að flýta fyrir orkuskiptum í samgöngum. Spáð er að álögur á jarðefnaeldsneyti muni aukast til að ýta undir eftirspurn eftir rafeldsneyti. Einnig má gera ráð fyrir að notkun lífeldsneytis verði á einhverjum tímaviktu til að ýta ekki undir samkeppni um ræktarland til fæðuframleiðslu og tryggja þannig fæðuöryggi.

Markaðurinn mun ráða því hvaða rafeldsneyti verður algengast í framtíðinni. Líklegt er að mismunandi rafeldsneyti verði fyrir valinu til að uppfylla fjölbreyttar þarfir. Framleiðsla á rafeldsneyti til að sinna innanlandsþörf dregur úr innflutningi eldsneytis, sparar gjaldeyri, dregur úr kolefnisspori landsins og eykur orkusjálfstæði. Ísland er það land í heiminum sem státar af hæsta hlutfalli endurnýjanlegrar frumorku og hefur því tækifæri til að verða kolefnishlutlaust fyrst þjóða, sem styður við mikilvægar atvinnugreinar svo sem ferðaþjónustu og sjávarútveg.

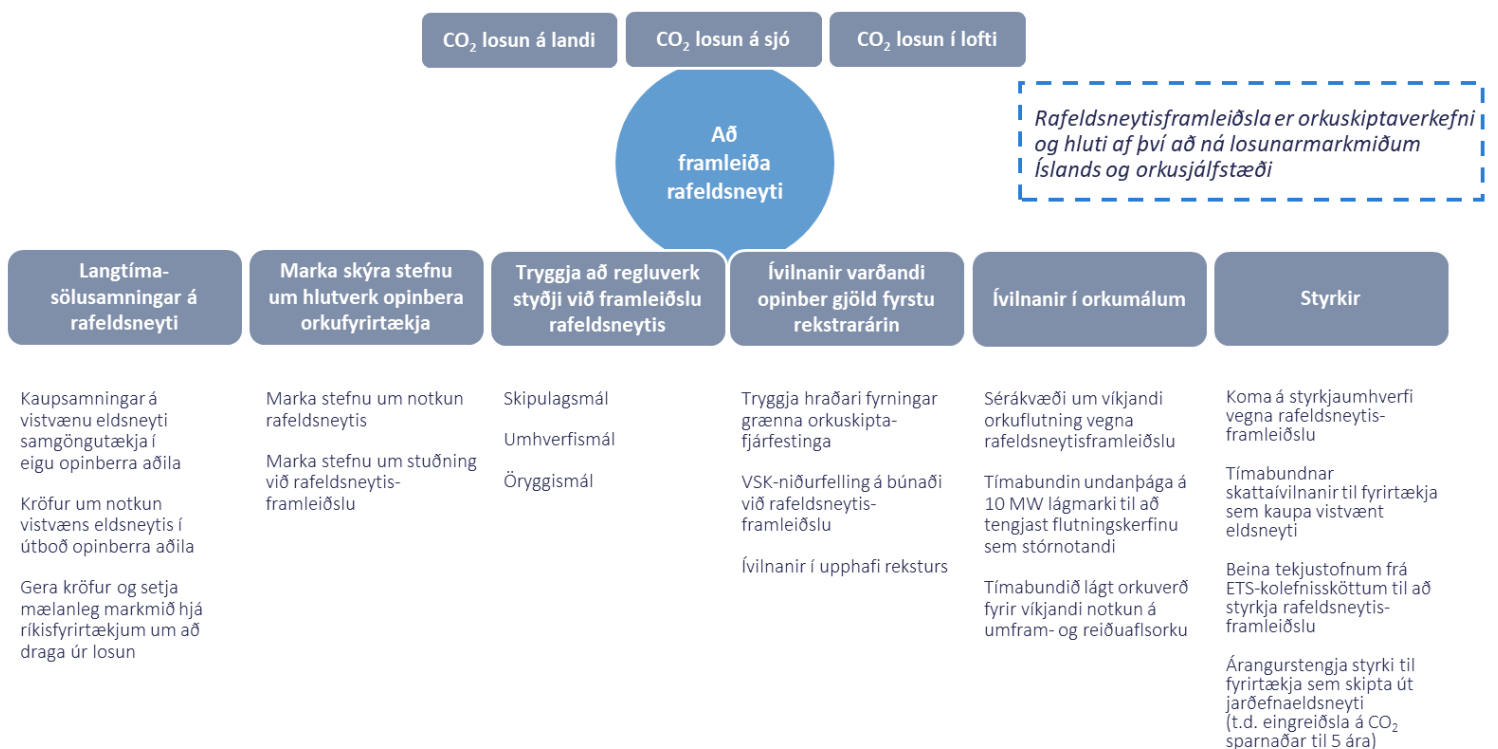


# Að hefja framleiðslu rafeldsneytis

Til að hefja framleiðslu á rafeldsneyti er mikilvægt að hið opinbera og einkaframtakið gangi í takt og stuðli samhliða að framkvæmdinni.

Skýr stefna þarf að liggja fyrir um hlutverk opinberra orkufyrirtækja og tryggja þarf að regluverk styðji við framleiðsluna.

Aðra þætti sem þarf til að tryggja að framleiðsla á rafeldsneyti verði raunhæf má sjá hér að neðan.



# Inngangur

**Markmið Íslands er að ná kolefnishlutleysi árið 2040 og að landið verði óháð jarðefnaeldsneyti fyrir 2050**

**Framleiðsla orku úr endurnýjanlegum orkugjöfum er mikilvægt skref á þeirri vegferð**

Áhrif mannsins á hækkandi hitastig jarðar vegna aukningar gróðurhúsalofttegunda eru að mestu rakin til brennslu jarðefnaeldsneytis, ágangs á skóglendi og búfjárræktunar.

Samkeppnisforskot Íslands á tímum loftlagsvárs felst í því að vera land hreinnar orku þar sem öll orkuframleiðsla er af endurnýjanlegum uppruna. Lykillinn að áframhaldandi árangri í orkuskiptum er að geta nýtt endurnýjanlega orku til að knýja allar samgöngur á landi, sjó og í lofti.

Orkuskipti í samgöngum er tæknilega raunhæfur kostur á Íslandi. Rök fyrir orkuskiptum eru ekki eingöngu út frá umhverfislegum sjónarmiðum því orkusjálfbærni í samgöngum gerir okkur kleift að ná frekari efnahags- og samfélagslegum ábata.

Liður í því að uppfylla loftlagsmarkmið er framleiðsla á vistvænu eldsneyti, hvort sem það er framleitt úr rafgreindu vetni eða unnið úr lífmassa.

Í þessari skýrslu er eingöngu fjallað um rafeldsneyti (e. e-fuel) sem er samheiti yfir eldsneyti búið til úr endurnýjanlegri raforku frá vatnsorku, jarðhitaorku, vindorku, sólarorku og sjávarfallaorku og öðrum efnastraumum.

Með því að framleiða innlent rafeldsneyti er mögulegt að geyma raforku sem orkugjafa til lengri tíma og hámarka þannig nýtingu orkuauðlinda landsins.

Miklar væntingar eru bundnar við rafeldsneyti í tengslum við orkuskipti þar sem framboð á lífeldsneyti mun ekki eitt og sér uppfylla markmið um að draga úr beinni notkun jarðefnaeldsneytis.

Að framleiða og nota rafeldsneyti sem endurnýjanlegan orkugjafa er hentug lausn þar sem ekki er raunhæfur kostur að nota rafmagn beint sem orkugjafa.

Það styrkir orkuöryggi og efnahagslegt sjálfstæði þjóðarinnar að hún sé óháð innflutningi jarðefnaeldsneytis. Fæðuöflun á landi og sjó, óháð sveiflum í framboði og heimsmarkaðsverði jarðefnaeldsneytis, skapar þjóðhagsleg verðmæti sem leiðir til langtíma efnahagslegs ávinnings. Tækifæri liggur í því að framleiða endurnýjanlegt framtíðareldsneyti til að knýja grænt hagkerfi framtíðarinnar.

Í skýrslunni er fjallað um þær forsendur sem liggja að baki framleiðslu rafeldsneytis á Íslandi, gerð grein fyrir helstu tegundum rafeldsneytis og metin fýsileiki framleiðslunnar auk valkostagreiningar fyrir mismunandi samgöngugeira.

# Skuldbindingar Íslands: Markmiðasetning

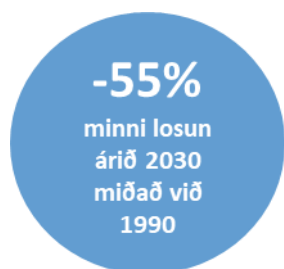
Að mæta skuldbindingum Íslands í loftslagsmálum og uppfylla markmið um að verða óháð jarðefnaeldsneyti krefst orkuskipta í samgöngum og atvinnulífi

Rafeldsneyti gegnir þar mikilvægu hlutverki

Líkt og aðrar þjóðir Evrópu hefur Ísland skuldbundið sig til að takast á við loftslagsvandann með settum markmiðum sem miða að því að ná mælanlegum árangri í loftslagsmálum.

Samhliða því hefur ríkisstjórnin sett fram orkustefnu með það að markmiði að Ísland verði sjálfbært hreinorkuland, óháð innflutningi jarðefnaeldsneytis. Slíkt stuðlar að frekara orkuöryggi landsins og styður jafnframt við sett loftslagsmarkmið.

Vegna skuldbindinga í Parísarsamkomulaginu þarf Ísland að hrinda af stað aðgerðum sem koma til móts við þær.



Markmið Evrópusambandsins, Íslands og Noregs fyrir árið 2030 er að draga úr losun um að minnsta kosti 55% miðað við árið 1990 og stefnt er að kolefnishlutleysi árið 2050.<sup>1</sup>

Bein ábyrgð Íslands hvað það markmið varðar felur í sér skuldbindingu til að draga úr að minnsta kosti 29% af losun frá 2005 til 2030.

Ef markmið skuldbindingarinnar næst ekki þarf Ísland að greiða fyrir losun umfram heimildir. Sérstakar reglur leyfa hins vegar frádrátt, að litlum hluta, sem fæst með því að binda koltvísýring í gegnum landnotkun og skógrækt.

Settum loftslagsmarkmiðum má skipta í þrennt, þau sem eru á beinni ábyrgð Íslands (e. Effort Sharing Regulations), þau sem falla undir ETS-viðskiptakerfi með losunarheimildir (e. ETS – Emission Trading System) og þau sem um gilda sérstakar reglur s.s. landnotkun (e. Land-Use, Land-Use Change, and Forestry).<sup>2</sup>

Losun á Íslandi, án landnotkunar, árið 2018 var 4.857 CO<sub>2</sub> íg.tonn. Þar af falla 1.855 undir viðskiptakerfi ESB eða EU ETS (e. Emission Trading System).

Losun sem fellur undir beina ábyrgð Íslands var um 62%, eða 2.978 CO<sub>2</sub> af heildarlosuninni árið 2018, án losunar frá landnotkun og skógrækt. Losun frá landnotkun árið 2018 var 9.010 CO<sub>2</sub> íg.tonn.

Mynd 1 á næstu síðu sýnir hlutfallslega skiptingu losunar á Íslandi samkvæmt Umhverfisstofnun. Undir beina ábyrgð Íslands falla meðal annars samgöngur á landi (20%) og sjó (12%). Þau 30% sem eftir standa eru



vegna losunar í landbúnaði, úrgangs, í iðnaði, innanlandsflugi og annarri orku.

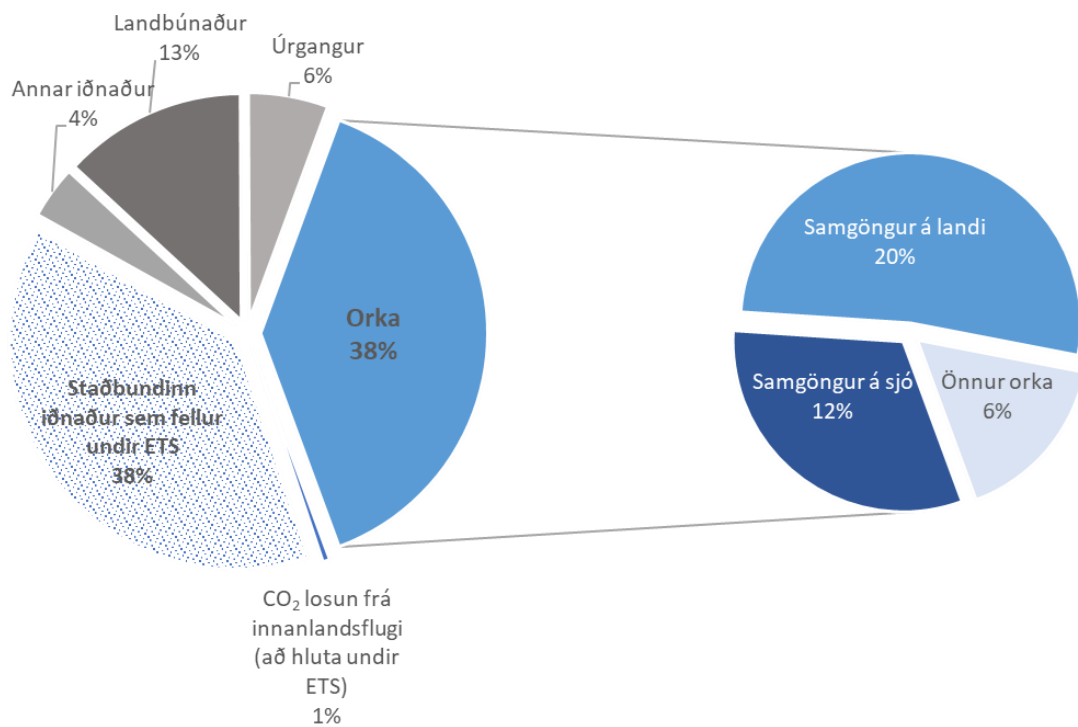
38% af heildarlosuninni fellur undir ETS-viðskiptakerfið sem telur staðbundna losun frá þremur álverum og tveimur kísilverum sem starfa á Íslandi.<sup>3</sup>

Til viðbótar er losun vegna landnotkunar og skógræktar (LULUCF). Sú notkun var 9.106 tonn af CO<sub>2</sub> íg. árið 2018. Sú losun var nær 30% meiri en árið 1990 og er ekki innan skuldbindinga á beinni ábyrgð Íslands.<sup>4</sup>

Innflutt jarðefnaeldsneyti er að mestu notað til að knýja samgöngutæki í lofti, á landi og sjó. Samkvæmt aðgerðaráætlun í loftslagsmálum er markmiðið að draga úr losun frá vegasamgöngum um 21% frá 2005 til 2030 og um 41% frá skipum og höfnum.<sup>5</sup>

## Fyrir hvert kg sem við brennum af jarðefnaeldsneyti losna um 2,8 kg af CO<sub>2</sub>

Mynd 1: Hlutfallsleg skipting losunar á Íslandi fyrir árið 2018.



Engin stór skip í millilandasiglingum eru í umsjá Íslands því þau sigla öll undir erlendum fána.

Millilandaflug fellur ekki undir beina ábyrgð Íslands. Alþjóðaflugmálastofnunin vinnur að því að draga úr losun frá alþjóðaflugi með kerfi sem nefnist CORSIA (e. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation). Það heldur utan um aðgerðir sem snúa að flugi í heiminum.

Flug ber ábyrgð á um 2% af losun gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum í heiminum.

Markmið Íslands í loftlagsmálum eru metnaðarfull. En loftlagsváin er mikil og hagsmunir okkar felast í að tryggja komandi kynslóðum ásættanlegar umhverfis- og efnahagslegar aðstæður til framtíðar.

Til að ná losunarmarkmiðum Íslands er nærtækast að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis í samgöngum á landi og sjó.

Það tryggir besta nýtingu auðlinda að nota raforkuna beint eða í gegnum rafhleðslu í batteríum þar sem það er hagkvæmt og mögulegt auk þess að vera losunarfrír kostur til að knýja samgöngutæki.

## Tækifæri Íslands til að standa við alþjóðlegar skuldbindingar í loftlagsmálum felast í orkuskiptum í samgöngum

Fólksbifreiðar knúnar beint af rafmagni leysa eingöngu 60% af losun landsins frá vegasamgöngum. Rafhlöður eru enn takmarkandi kostur fyrir stóra bíla til þungaflutninga. Sama á við um úthafsskip og flugvélar á löngum flugleiðum. Því er rafeldsneyti góður kostur á landi, sjó og í lofti þar sem bein notkun rafmagns er erfiðleikum bundin.

# Frumorkunotkun á Íslandi

Orka er hluti af okkar daglega lífi og endurspeglar jafnvægi milli efnahagslegra-, samfélagslegra- og umhverfispáttanna<sup>6</sup>

Nú er komið að þriðju orkuskiptunum, að skipta út jarðefnaeldsneyti í samgöngum fyrir innlenda orkugjafa

Orkunotkun í heiminum byggist enn í dag að mestu leyti á jarðefnaeldsneyti. Þetta á við um frumorkunotkun í samgöngum, húshitun, iðnaði og raforkuframleiðslu.<sup>7</sup>

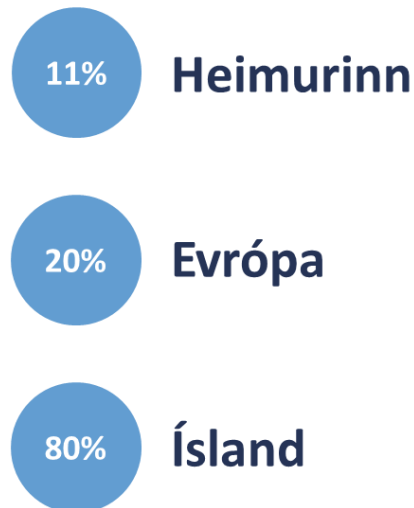
Á Íslandi er frumorkunotkun að mestu leyti frá endurnýjanlegum orkugjöfum þökk sé því að Íslendingar hafa tvisvar farið í gegnum orkuskipti, þ.e. þegar hætt var að nota jarðefnaeldsneyti til raforkuframleiðslu og húshitunar.<sup>8</sup>

Endurnýjanleg frumorkunotkun árið 2019 var eingöngu um 11% á heimsvísu<sup>9</sup> og 20% í ríkjum Evrópusambandsins en á Íslandi var hún yfir 80% árið 2019.<sup>10</sup>

Helstu orkugjafar sem notaðir eru á Íslandi eru vatnsorka, jarðhiti og jarðefnaeldsneyti.

Árangur í nýtingu endurnýjanlegra orkugjafa er undirstaða þess hagkerfis og þeirra lífsgæða sem við lifum við í dag.

## Hlutfall endurnýjanlegrar frumorkunotkunar



Orkuskiptin á Íslandi hófust í upphafi 20. aldar þegar Hamarskotslækur í Hafnafirði var virkjaður til að framleiða rafmagn fyrir trésmíðaverkstæði og lýsa upp hús í nágrenninu.<sup>11</sup>

Upp úr 1960 fóru að rísa stórar vatnsaflsvirkjanir um landið sem framleiddu rafmagn á einn loftlagsvænsta hátt sem þekkist í heiminum.<sup>11</sup>

Seinni orkuskiptin voru þegar olíu og kolum var skipt út fyrir jarðvarma í húshitun. Árið 1971 tengdust 98% Reykvíkinga hitaveitu. Hvatinn var efnahagslegur þar sem heimsmarkaðsverð á olíu hækkaði mikið upp úr 1970.<sup>11</sup>

Mynd 2 sýnir vel að hlutur endurnýjanlegrar orku í frumorkunotkun Íslands hefur aukist verulega við fyrri orkuskiptaverkefni og nú er jarðefnaeldsneyti sá hluti sem á eftir að gera vistvænan.

Samkvæmt Orkustofnun var sparnaður í losun koldíoxíðs á Íslandi árið 2018 nær 20 milljón tonn. Honum var náð með því að nota endurnýjanlega orku í stað jarðefnaeldsneytis.

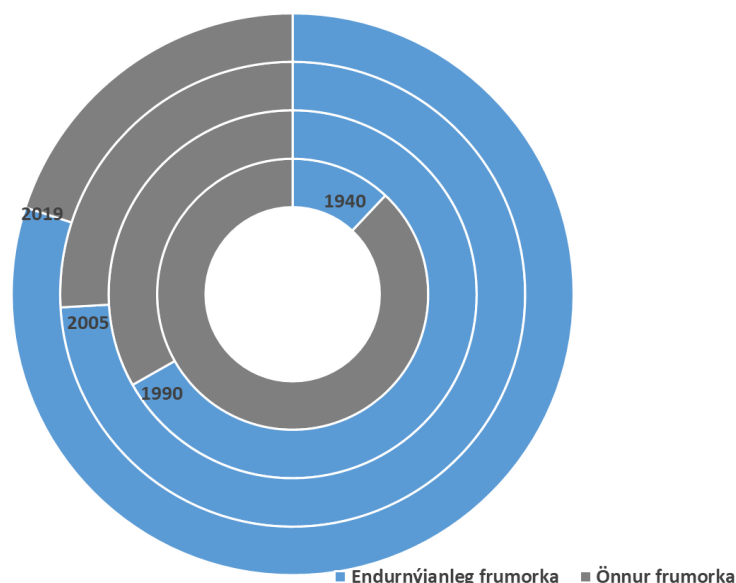
Fyrri orkuskipti hafa skilað sér bæði í

*Mynd 2: Þróun á hlutfalli endurnýjanlegrar orku í frumorkunotkun á Íslands eftir samanburðarárum.*

fjárhagslegum og umhverfislegum ábata. Uppsafnaður sparnaður í losun koldíoxíðs frá árinu 1914 til 2018 er 433,5 milljón tonn.<sup>12</sup>

## Samhliða aukinni framleiðslu á endurnýjanlegri orku hefur þróast færni, tækni og þekking á Íslandi til að takast á við orkuskipti

Efnahagslegur ávinningur Íslands af nýtingu jarðvarma í stað olíu til húshitunar skilaði 91,5 milljörðum íslenskra króna í sparnað árið 2018 eða um 263 þúsund krónur á hvern íbúa. Talið er að uppsafnaður sparnaður frá 1914 til 2018, á verðlagi ársins 2018 með 2% raunávöxtun, nemi 3.162 milljörðum íslenskra króna.<sup>13</sup>



# Eldsneytisnotkun á Íslandi

Þrátt fyrir fjölgun rafbíla er Ísland enn háð notkun jarðefnaeldsneytis í samgöngum

Auka þarf framleiðslu á líf- og rafeldsneyti til að nota á samgöngutæki sem erfitt er að knýja beint með rafmagni

Innflutt jarðefnaeldsneyti er að mestu notað til að knýja samgöngutæki í lofti, á landi og sjó. Erfitt hefur reynst að skipta út jarðefnaeldsneyti í samgöngum fyrir endurnýjanlega orkugjafa.

Samkvæmt Orkustofnun var olíusala á Íslandi árið 2019 samtals 910.230 tonn. Rúmlega 96% voru notuð í samgöngur innanlands og á milli landa.

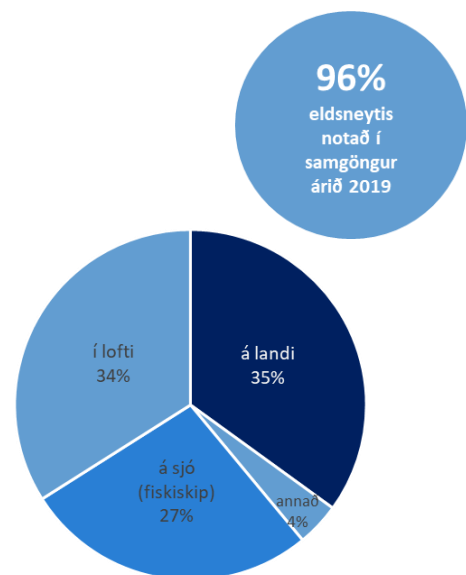
Til samanburðar fara um 65% af eldsneytisnotkun í heiminum til samgangna, þar af um 50% til samgangna á landi og lestasamgangna, 7% til samgangna á sjó og 8% til flugsamgangna.<sup>8</sup>

Árið 2020 var kostnaður við innflutning á eldsneyti og smurólum alls um 97,6 milljarðar króna á fob verði (á verðlagi ársins) eða 15% af heildarinnflutningi ársins þrátt fyrir að hann hafi minnkað um 48% miðað við 2019.<sup>14</sup>

Samdrátturinn var að mestu leyti vegna þess að innflutt eldsneyti til flugsamgangna dróst saman á árinu vegna COVID-19.

Tekjur ríkisins af vörugjöldum og öðrum gjöldum á eldsneyti auk kolefnisgjalds numu um 29 milljörðum króna, eða 3,6% af heildartekjum ríkissjóðs árið 2019.<sup>15</sup>

Innflutningur á eldsneyti er fyrir notkun innanlands og milli landa og í flugi. Á mynd 3 sést að lítil munur er á notkun á landi, í lofti og á sjó.



Mynd 3: Sala á innfluttu eldsneyti - hlutfallsleg skipting 2019.<sup>16</sup>

Tilskipun Evrópusambandsins (ESB) um notkun endurnýjanlegs eldsneytis nær eingöngu til notkunar á landi. Tilskipun um notkun þess á sjó og í lofti er í mótun. Dæmi eru um að lönd hafi gert kröfu um íblöndun í innanlandsflugi, t.d. Noregur.

# Á landi

Rafvæðing fólksbílaflotans er komin vel á veg og gera spár ráð fyrir að hann verði að mestu knúinn rafmagni í framtíðinni.

Fólksbifreiðar eru um 85% af bílaflota landsins og 60% af losun koltvísýrings í samgöngum á landi verður hjá þeim.

Þau 15% ökutækja sem eftir standa losa 40% af koltvísýringi í samgöngum á landi. Um er að ræða stór ökutæki, t.d. hópferða-, sendiferða- og vörubifreiðar sem erfiðara er að knýja beint með rafmagni.

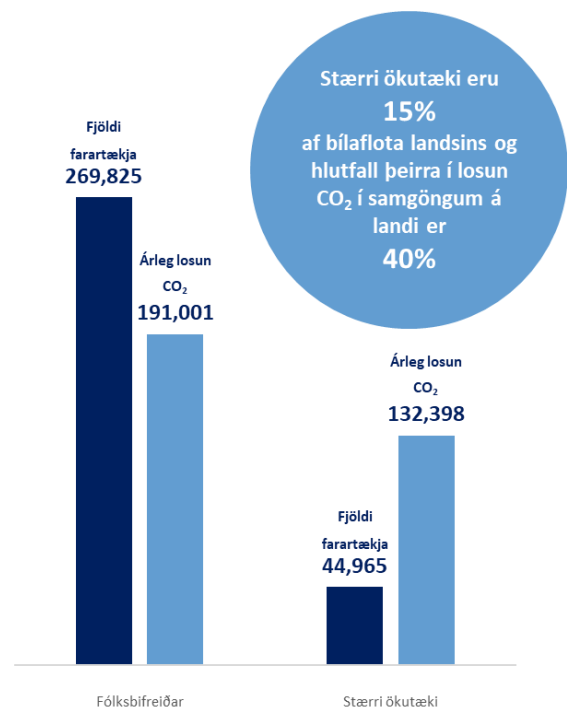
Til að ná niður kolefnisspori stærri bifreiða er þörf á vistvænu eldsneyti eins og lífildsneyti, vetni og/eða öðru rafeldsneyti.

Aðgerðaráætlun um notkun endurnýjanlegra orkugjafa í samgöngum á landi miðar að því að hlutdeild endurnýjanlegra orkugjafa verði 10% árið 2020 og 40% árið 2030.<sup>17</sup> Þessum markmiðum má ná með íblöndun eldsneytis og með því að auka hlutfall hreinorkubifreiða/-eldsneytis í umferð. Árið 2019 voru 9,2% eldsneytis í samgöngum á landi endurnýjanleg.<sup>18</sup>

Ákvæði um íblöndun endurnýjanlegs eldsneytis hefur verið 5%, en jókst í 10% árið 2020 og mun verða 14% árið 2030.<sup>18</sup>

Þetta ákvæði er byggt á tilskipun Evrópusambandsins, RED II, til að auka vægi endurnýjanlegs eldsneytis. Í RED II-tilskipuninni er eldsneyti úr lífrænum úrgangi gefið tvöfalt vægi til að ýta ekki undir samkeppni um land til fæðuframléiðslu.

Samtökin Global Alliance Powerfuels (Powerfuels), sem voru stofnuð að frumkvæði Þýsku orkustofnunarinnar, hafa bent á að lífildsneyti eitt og sér muni ekki ná að uppfylla þær íblöndunarkröfur sem settar hafa verið og því þurfi að gera rafeldsneyti hærra undir höfði í tilskipuninni til að ýta undir notkun þess. Tillaga þeirra er meðal annars að gera kröfu um lágmarksviðmið í notkun rafeldsneytis.<sup>20</sup>



Mynd 4: Fjöldi farartækja og árleg CO<sub>2</sub>-losun - fólksbifreiðar og stærri ökutæki.<sup>19</sup>

Af endurnýjanlegu eldsneyti til samganga var innlend framleiðsla 39% en 61% þess var innflutt. Samkvæmt skýrslu Orkustofnunar um notkun á endurnýjanlegu eldsneyti árið 2019 var lífdísílolía, etanól, metanól og raforka meðal orkugjafa.<sup>21</sup> Metan, vetni, metanól og raforka eru framleidd innanlands en aðrar tegundir voru nánast allar fluttar inn.

Meðal framleiðenda endurnýjanlegs eldsneytis á Íslandi eru Carbon Recycling International, Norðurorka, Orkey og Sorpa.

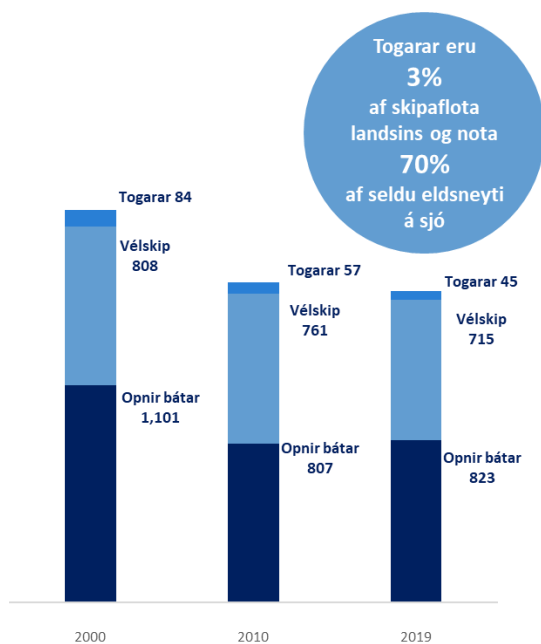


## Á sjó

Við gerð aðgerðaráætlunar um orkuskipti á sjó er mikilvægt að hafa í huga líftíma skipaflotans og orkusjálfstæði í fæðuöflun sem jafnframt er mikilvæg stoð í útflutningstekjum Íslands.

Meðalaldur íslenskra fiskiskipa hefur verið á bilinu 20-30 ár undanfarna tvo áratugi. Á undanförunum árum hefur meðalaldur togara og uppsjárarskipa þó lækkað þar sem mikil endurnýjun hefur átt sér stað í þessum hluta skipaflotans. Um 35% af togurum landsins eru yngri en 4 ára.<sup>22</sup>

Þrátt fyrir að þessi hluti skipaflotans sé innan við 3% af flotanum nota togara og uppsjárarskip yfir 70% af allri olíu sem seld er til íslenskra fiskiskipa.<sup>23</sup>



Mynd 5: Fjöldi skipa eftir tegund árin 2000, 2010 og 2019.<sup>22</sup>

Enn eru engar íblöndunarkröfur gerðar um eldsneytisnotkun á sjó, en unnið er að mótun þeirra innan Evrópusambandsins.

Langtíma efnahagslegt virði liggur í því að vera óháð innflutningi jarðefnaeldsneytis við tekju- og fæðuöflun á sjó, en líklegt er að sjávarútvegurinn muni að óbreyttu nota dísilolíu næstu áratugina til að knýja núverandi flota. Er sú ályktun dregin af aldri flotans og að þau nýju og afkastamiklu skip sem nýlega hafa bæst í flotann munu verða á veiðum næstu áratugi knúin af upprunalegum vélbúnaði.

Mikilvægt er að geta boðið upp á vistvæna líf- og rafolíu til að draga frekar úr kolefnisspori þessarar atvinnugreinar.

## Í lofti

Nær öll eldsneytissala til flugsamgangna tengist millilandaflugi. Það flug er ekki talið í skuldbindingum Íslands í loftlagsmálum.

Flugvélar eru dýr fjárfesting og líftími hennar getur verið langur. Meðalaldur flugvélaflotans í Vestur Evrópu er um 11 ár.<sup>24</sup> Eldsneytisábatí í farþegaflugi hefur náðst á síðustu árum með tilkomu nýrrar kynslóðar flugvéla sem eru allt að 20% sparneytnari.

Þótt tækninýjungar eins og vetnisflugvél geti orðið raunhæfur kostur í framtíðinni má ætla að orkuskipti í lofti næstu árin verði drifin áfram með tilskipunum um að auka notkun líf- og rafeldsneytis.

Auk þess býður landfræðileg lega Íslands ekki upp á að hlutur lestarferða verði aukinn til að draga úr flugi, eins og mörg Evrópuríki stefna að.

# Kostir rafeldsneytis

Hagkerfi framtíðarinnar verða knúin áfram af endurnýjanlegri orku

Orkuauðlindir Íslands, vatnsföll, jarðvarmi og vindur, eru undirstaða endurnýjanlegrar orku. Tækifæri liggja í því að vera framarlega í framleiðslu á vistvænu eldsneyti sem framtíðareldsneyti

Aðgengi að orku í formi varma, rafmagns og eldsneytis er undirstaða almennra lífsgæða og atvinnulífs. Íslendingar búa við þau lífsgæði að nánast öll raforkuframleiðsla og varmi í landinu telst endurnýjanleg orka.

Jarðefnaeldsneyti er mikilvægur drifkraftur í hagkerfi heimsins og því erfitt að hætta notkun þess fyrr en annað eldsneyti leysir það af hólmi.

Þó svo að markmiðið sé að láta öll samgöngutæki gangi fyrir losunarfríum orkugjöfum má reikna með að það taki nokkra áratugi. Ræður þar mestu að notendur og innviðir eru ekki fyrir hendi nema í litlum mæli. Örðugt gæti því reynst að sannfæra notendur um að skipta út nýlegum og nothæfum búnaði og tækjum innan eðlilegs afskriftartíma.

Þrátt fyrir þessa annmarka er nú tæknilega mögulegt að framleiða vistvænt eldsneyti sem staðgengilsvöru fyrir jarðefnaeldsneyti og nýta þannig áfram þá fjárfestingu í tækjum og búnaði sem þegar er til staðar.

Þegar lagt er mat á hvers konar orkuskipti samgangna séu hagkvæmust á Íslandi er nærtækast að horfa til þeirra orkuauðlinda sem hér finnast og langrar reynslu af nýtingu þeirra.

Nú þegar nágrannaþjóðir okkar vinna hörðum höndum að því að gera grunnorkuframleiðslu sína endurnýjanlega hefur Ísland þegar lokið

þeim umskiptum og hefur aðgang að endurnýjanlegum auðlindum í miklum mæli.

Sú reynsla og þekking sem byggst hefur upp á undanförunum áratugum gefur Íslandi samkeppnisforskot til að takast á við þær áskoranir sem fylgja því að skipta út jarðefnaeldsneyti fyrir endurnýjanlega orkugjafa líkt og rafeldsneyti.

Að framleiða og nota rafeldsneyti er raunhæfur kostur. Að mati Powerfuels er ávinningurinn af því að framleiða og nota rafeldsneyti margþættur, eins og talið er upp í lið 1-5 hér fyrir neðan.<sup>25</sup>

## Kostir rafeldsneytis

1

### Umhverfisvæn lausn

þar sem takmarkaðir möguleikar eru á notkun endurnýjanlegrar raforku

2

### Draga úr kostnaði við orkuskipti

nýta núverandi innviði og gera mögulegt að geyma endurnýjanlega orku

3

### Alþjóðleg viðskipti

með endurnýjanlega orkugjafa

4

### Flýta fyrir orkuskiptum

meðal annars í samgöngum

5

### Notkun óháð landfræðilegri staðsetningu

og aðgengi að endurnýjanlegum orkugjöfum

# Rafeldsneyti: Framtíðareldsneyti

Rafeldsneyti er kolefnishlutlaus orkugjafi sem nýtist til samgangna eða þar sem ekki er fýsilegt að nota rafmagn beint

Rafeldsneyti (e. e-fuels) er samheiti yfir flokk eldsneytis sem framleitt er úr endurnýjanlegri raforku og öðrum efnastraumum.

Í þessari skýrslu er notast við orðið rafeldsneyti sem samheiti yfir allt afleitt eldsneyti sem er framleitt úr raforku frá endurnýjanlegum auðlindum.

Grænt vetni er framleitt með rafgreiningu vatns. Raforka, unnin úr endurnýjanlegum auðlindum, er notuð í ferlið á móti vatni og úr verður vetni og súrefni.

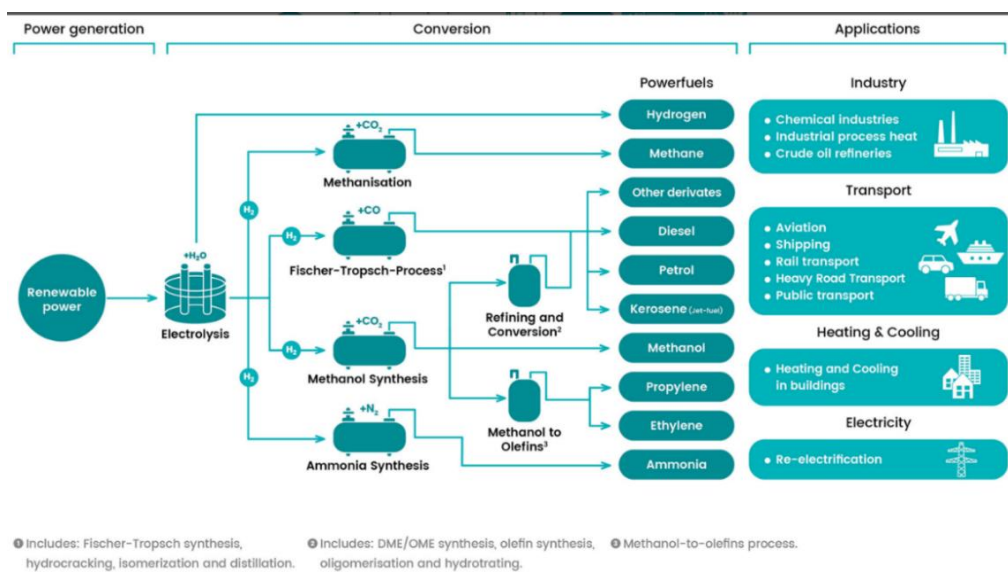
Vetni er hægt að nota beint sem losunarfrían orkugjafa á samgöngutæki eða inn í ferla við framleiðslu á öðrum rafeldsneytum.

Mynd 6 sýnir framleiðsluferli helstu tegunda rafeldsneytis sem eru taldar geta skipt sköpum við orkuskipti auk mögulegra notenda. Auk beinnar notkunar á vetni eru helstu tegundir tilbúins rafeldsneytis rafammoníak, rafmetan, rafmetanól og rafolía.

Rafeldsneytisláusnir, ásamt öðrum láusnum, eru taldar nauðsynlegar í stað jarðefnaeldsneytis til að ná niður styrk koltvísýrings í andrúmslofti.<sup>25</sup>

Í dag er framleiðsluverð á rafeldsneyti hátt, sérstaklega ef miðað er við ódýrasta jarðefnaeldsneyti sem er í boði.

Mynd 6: Rafeldsneyti, helstu tegundir, framleiðsluferli og notendur<sup>25</sup>



Áætlanir um verðþróun á framleiðsluverði rafeldsneytis í miklum mæli ná yfirleitt til 10-30 ára tímabils eða fram til 2030, 2040 og allt fram til 2050. Vísendingar eru um að hröð þróun á stöðluðum lausnum muni eiga sér stað á næstu árum.

Í dag er framleiðsla rafeldsneytis ekki samkeppnishæf í verði samanborið við lífdísil og jarðefnaeldsneyti. Mynd 7 sýnir spá um þróun rafeldsneytis í samanburði við lífdísil og jarðefnabensín/dísil. Gert er ráð fyrir að rafeldsneyti verði orðið samkeppnishæft við lífdísil á tímabilinu 2030 til 2040 og við jarðefnaeldsneyti/dísil um 2050.

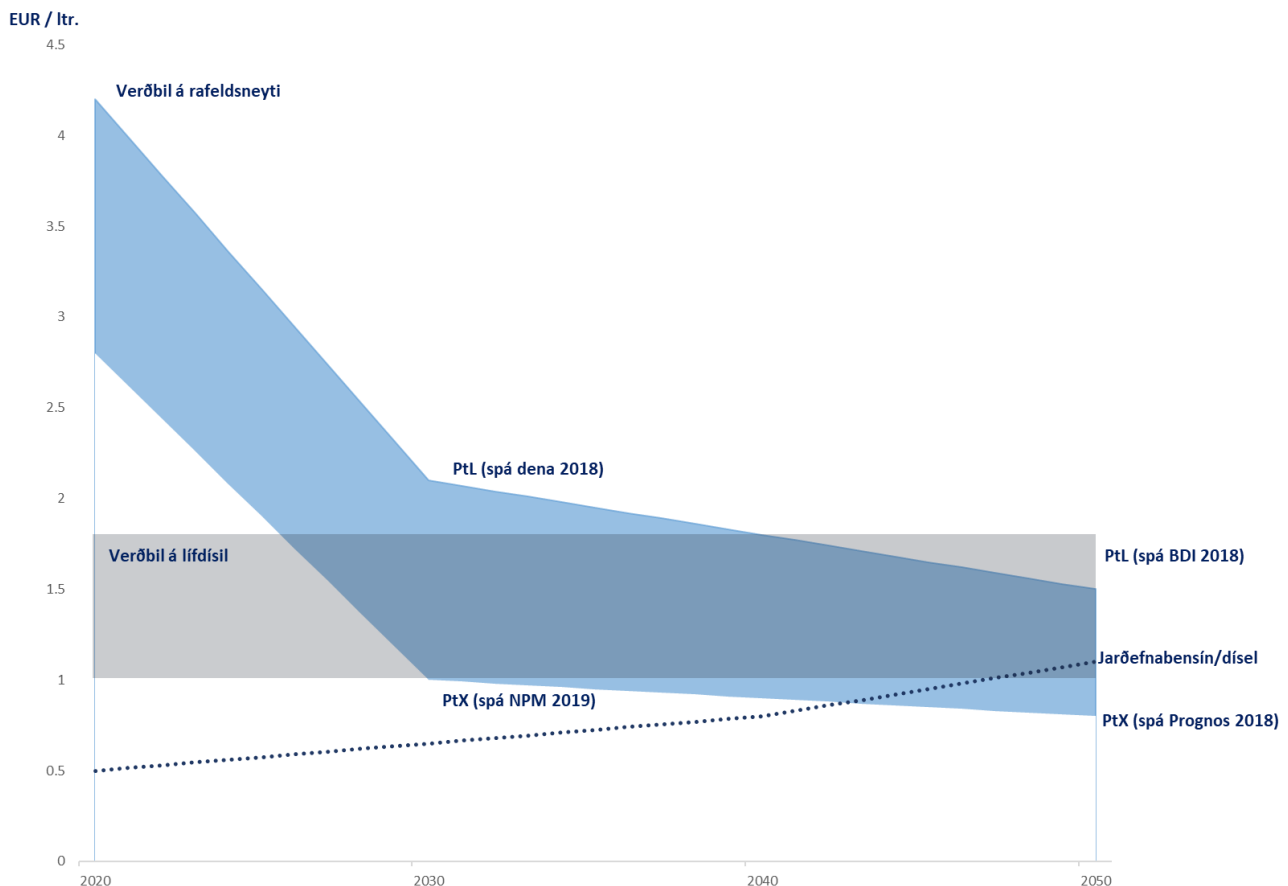
Þýska fyrirtækið Sunfire, eitt af leiðandi fyrirtækjum á heimsvísu í þróun búnaðar til framleiðslu rafeldsneytis, hefur bent á að

þegar samkeppnishæfni í verðum er ná verður eftirspurnin gríðarleg og því mikilvægt að byggja upp aðgengi að endurnýjanlegri raforku til að eiga möguleikann á að framleiða upp í eftirspurn.

## Helstu þættir sem hafa áhrif á verðþróun rafeldsneytis -næstu áratugi

- 1 Endurnýjanleg raforka mun lækka frekar með stærðarhagkvæmni og þróun tækni
- 2 Mikil þróun á sér stað í tækni, búnaði, lausnum og verksmiðjum. Skilar sér í lægri fjármagnskostnaði, endingarbetri búnaði og betri nýtni
- 3 Reglugerðarbreytingar munu knýja á um notkun endurnýjanlegra orkugjafa

Mynd 7: Spá um þróun á rafeldsneytisverði 2020–2050 í samanburði við lífdísil og jarðefnabensín/dísil.<sup>26</sup>



## Framleiðsla rafeldsneytis

Mismunandi ferlar eru notaðir við framleiðslu rafeldsneytis. Í sumum ferlum er vetni notað beint sem hráefni en einnig eru til ferlar, t.d. háhitarafgreining, þar sem raforka er notuð beint inn í framleiðslu rafeldsneytis.

Mögulegt er að nýta þær tegundir rafeldsneytis sem taldar eru upp í skýrslunni til að framleiða afleiddar vörur, t.d. í grænum efnaiðnaði og vax frá hráolíuvinnslu. Þá er ekki beint um „eldsneyti“ að ræða. Þó telst sú nýting á rafeldsneyti, hvort sem er til orkuskipta eða sem vara í grænan efnaiðnað, verainnan þeirra markmiða að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis.

## Þegar bera á saman mismunandi tegundir rafeldsneytis skiptir skilgreining á orkunotkun og nýtni máli

Umhverfislega skiptir einnig máli hvort framleiðsla og nýting fari fram á sama stað því flutningur langar leiðir á milli svæða krefst alltaf orku og skiptir máli við val á lausnum.

Rafeldsneyti er misgrænt eftir því hvernig það eru framleitt, hvert framleiðsluferlið er og hvaðan efna- og orkustraumar eru fengnir. Auk þess er notkun þess mikilvægur hlekkur í virðiskeðjunni, það er að segja hvort rafeldsneyti er notað í brunavél eða efnarafal.

Í virðiskeðju rafeldsneytis losna um 85- 95% minni koltvísýringur út í andrúmsloftið í samanburði við virðiskeðju hefðbundins jarðefnaeldsneytis.

## Innviðir, geymsla og flutningsmöguleikar

Rafgeymataækni hefur tekið stórstígm framförum á síðustu árum en framleiðslutækni rafeldsneytis er enn í þróun. Framleiðsla og nýting rafeldsneytis úr endurnýjanlegum orkugjöfum er í raun skammt á veg komin þegar á allt er litið.

Notkun rafbíla hefur aukist jafnt og þétt og rafgeymataeknin hentar vel á mörgum sviðum. Þegar um er að ræða þyngri tæki, t.d. lestar, farþega- og vöruflutningabíla, jafnvel skip og flugvélar, er erfiðara að nota þá rafgeymataekni sem hefur þróast á undanförunum árum.

Meginástæða þess að verið er að skoða margar ólíkar leiðir til að skipta út jarðefnaeldsneyti er hversu auðvelt er að geyma mismunandi tegundir rafeldsneytis og heildarkostnaður við framleiðslu, geymslu, dreifingu og notkun þess er mismunandi. Búast má við að ólíkar leiðir verði farnar í þessum efnum í iðnaði og samgöngum og jafnvel verður mismunandi eldsneyti notað á ólík tæki og tegundir skipa og flugvéla.

Einnig má búast við að mismunandi eldsneyti verði notað eftir staðsetningu og umhverfi notenda, t.d. samkvæmt staðbundnum skilgreiningum, lögum og reglugerðum.

Með aukinni vitundarvakningu um hlýnun jarðar hafa þjóðir heims, með Evrópu í fararbroddi, sett stefnuna á orkuskipti. Einnig hefur framleiðsla endurnýjanlegrar raforku aukist og leitt til lækkandi verðs. Samhliða því hafa tækniframfarir bætt nýtni við rafgreiningu vetnis auk þess sem tæknibúnaður lækkar sífellt í verði.

Hér á eftir verður fjallað nánar um framleiðslu og notkun vetnis ásamt fjórum helstu tegundum rafeldsneytis sem fjallað er um í þessari skýrslu.

# Vetni: [H<sub>2</sub>]

## Grænt vetni er grunnurinn að framleiðslu rafeldsneytis

Vetni er algengasta frumefni alheimsins og súrefni það þriðja algengasta.<sup>27</sup>

Vatn (H<sub>2</sub>O) er samsett úr vetni og súrefni. Það er erfitt að geyma og meðhöndla vetni og því er ekki oft talað um það sem beina orkuuppsprettu (e. source) eða orkugjafa heldur orkubera.

## Vetni er skilgreint sem orkuberi. Mögulegt er að framleiða vetni á mismunandi hátt

Vetni má flokka sem rafeldsneyti að því gefnu að það sé framleitt með rafgreiningu vatns og raforku.

## Litir vetnis (flokkun)

Talað er um grænt, blátt og grátt vetni þó að litur vetnis sé í raun fjólublár. Fjólublái liturinn tengist ákveðinni bylgjulengd endurkasts þegar rafeindir falla niður um orkustig og kemur ekki orkumálum frekar við.

Grænt, blátt og grátt vetni eru hugtök sem eru að ná fótfestu í umræðu um framtíðareldsneyti (sjá töflu 1) sem nota mætti til að ná tökum á vandamálum sem tengjast loftlagsmálum. Vetni hefur misjafnt vægi í loftslagsáhrifum eftir því hvernig það er framleitt.

### Grænt vetni

Framleitt á endurnýjanlegan hátt

Endurnýjanleg frumorka

Framleiðsluferli án mengunar

### Grátt vetni

Framleitt úr jarðefnaeldsneyti

Hefur lítil sem engin jákvæð áhrif í loftlagsaðgerðum - jafnvel í flestum tilfellum einungis neikvæð áhrif

Rætt hefur verið um að nota grátt vetni til að leysa staðbundna mengun í borgum

### Blátt vetni

Framleitt úr jarðgasi upprunnið frá jarðefnaeldsneyti

Vetni aðskilið frá koltvísýringi sem er fangaður og síðan fargað á „endurnýjanlegan hátt“ (e. Carbon capture and sequestration)

Tafla 1: Litir vetnis - samanburður.

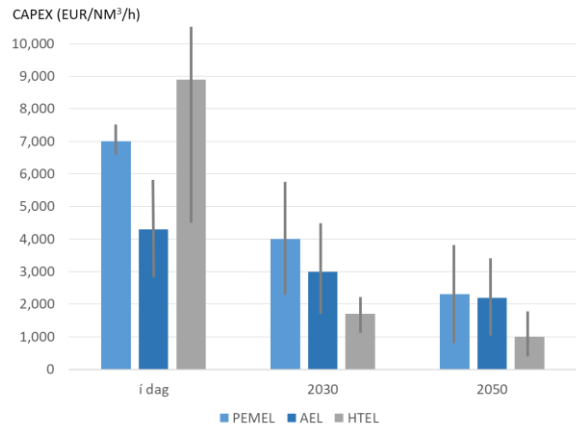


# Rafgreinar

Til eru mismunandi gerðir rafgreina til að framleiða vetni og í töflu 2 eru talin upp sérkenni helstu tegunda þeirra. Alkaline-rafgreinar hafa verið notaðir í um 100 ár og PEM- rafgreinar hafa verið í notkun og þróun í áratugi.

Fleiri gerðir rafgreina hafa verið í þróun líkt og SOE og SOEC (sjá samanburð í töflu 2).

Almennt er gert ráð fyrir að kostnaður við rafgreina lækki á næstu árum, líkt og sést á mynd 8. Sú þróun mun hafa jákvæð áhrif á kostnaðarverð rafeldsneytis.



Mynd 8: Spá um þróun á fjárfestingarkostnaði (CAPEX) mismunandi rafgreina til 2050 (Eur á hverja framleiðslueiningu).<sup>28</sup>

## Rafgreinar

### Alkaline (e. alkaline water electrolysis)

- Hefðbundin rafgreinir
- Notaður til iðnaðarframleiðslu á vetni
- Hentar að keyra hann undir jöfnu álagi
- Getur framleitt vetni í miklu magni
- Notar lút sem er hringrásað
- Vetrnigasið sem framleitt er þarfnast hreinsunar ef til stendur að nýta það

### PEM (e. polymer electrolyte membrane)

- Þekkt tegund
- Tækni sem notuð var til að framleiða súrefni og vetni í geimskutlum
- Keyrir undir breytilegu og sveiflukenndu álagi
- Þessi tækni hefur þróast mikið undanfarin ár í átt að stærri einingum til að ná niður kostnaði og auka nýtni

### SOE (e. solid oxide electrolyser)

- Keramikrafgreinir – hægt að keyra hann við mikinn hita
- Hátt hitastig leyfir betri nýtningu ferlis
- Erfið tækni í framleiðslu
- Mikil tækniþróun hefur átt sér stað

### SOEC (e. solid oxide electrolyser & CO<sub>2</sub> reducer)

- Getur tekur inn á sig vatn, raforku og koltvísýring - skilar frá sér vetni og koltmónoxíði (CO)
- Einfaldar ferlið við framleiðslu á rafolíu (e. e-crude) – sleppt er ferli sem kallast RWGS (e. reverse water gas shift – reactor) sem tekur inn á sig CO<sub>2</sub> og skilar frá sér CO
- Fjárfestingakostnaður hár en leiðir til lægri rekstrarkostnaðar í framleiðslu

Tafla 2: Eignileikar mismunandi rafgreina.

## Bein notkun vetnis

Hægt er að brenna vetni í brunavélum. Einnig er hægt að brenna því beint fyrir varmaorku og/eða umbreyta því beint í raforku í gegnum efnarafala (e. fuel cells).

Helstu kostir við að umbreyta vetni aftur í raforku með efnarafölum er hvað nýtni þeirra er há, eða um það bil 60%. Nýtnikúrfa þeirra hentar bifreiðum vel, það er nýtnin er há við lágt eða meðallágt álag og frekar jöfn. Auk þess getur virðiskeðjan verið losunarfrí.

Þrátt fyrir verri heildarnýtni við framleiðslu vetnis, geymslu, dreifingu og notkun í samanburði við hleðslu rafgeyma er framleiðsla og nýting í stórum stíl talin ákjósanlegur kostur á heimsvísu. Ástæðan er meðal annars vegna þess að vetnisinnviðir geta geymt orku í miklu magni auk þess að einfalt er að tengja þá framleiðslu saman við framleiðslu frá vindorku, sólarorku eða öðrum endurnýjanlegum orkugjöfum sem eru ótengdir núverandi raforkuneti og keyra samhliða eða með öðrum orkukerfum. Einnig er í einhverjum tilfellum ódýrara að framleiða

vetni og koma því til notenda (til dæmis í samgöngutæki eða önnur hreyfanleg tæki) með því að setja upp raforkuinnviði og/eða geyma orku með hleðslu rafgeyma.

Tæknin kemur ekki í staðinn fyrir þá rafgeymatækni sem er til staðar og er í þróun heldur til viðbótar við hana. Orkuinnviðir sem byggjast á venjulegri dreifingu raforku henta mjög vel með vetnisinnviðum.

**Fjölnýting vetnis getur orðið afar hagkvæm þegar fram í sækir. Möguleiki er á samlegðaráhrifum í framleiðslu á vetni og rafeldsneyti**

# Rafammóníak [NH<sub>3</sub>]

**Mögulegt er nýta rafammóníak sem eldsneyti á sérútbúnað brunavélar og sem orkubera fyrir vetni á milli staða**

Ammóníak er myndað við efnasamruna köfnunarefnis og vetnissgass.

Framleiðsluaðferðin nefnist Haber-Bosch og hefur verið notuð í iðnaði og til framleiðslu á áburði í um eina öld.

Rafammóníak er á gasformi við staðalaðstæður, af því er römm lykt og það er ætandi og hættulegt við innöndun.

Rafammóníak er framleitt með grænu vetni og köfnunarefni úr andrúmslofti. Framleiðslan telst losunarfrí í kolefnisbókhaldi og mun í framtíðinni nýtast sem eldsneyti á samgöngutæki, burðarefni fyrir flutning á vetni og til áburðarframleiðslu.

Helsti kostur vetnis fram yfir kolefnisbundið rafeldsneyti er sá að hægt er að framleiða það úr endurnýjanlegum orkugjöfum og fanga köfnunarefni úr andrúmslofti hvar sem er. Einnig má losa köfnunarefnið hvar sem er.

Tiltölulega auðvelt er að geyma rafammóníak, t.d. fljótandi undir lágum þrýstingi. Það hefur verið notað í iðnað sem kælimiðill og til áburðarframleiðslu í áratugi. Hægt er að flytja það með öruggum hætti. Það er þó mun erfiðara að geyma rafammóníak heldur en bensín eða dísilolíu sem eru fljótandi við andrúmsloftsþrýsting.

Ammóníak hefur geymslurýmd (MJ/kg) sem er u.þ.b. 53% (HHV) af skipaolíu, svo dæmi sé tekið. Til viðbótar því þarf geymsla þess að

þola þrýsting. Í samanburði við skipaolíu er umtalsvert erfiðara að geyma fljótandi rafammóníak og rafmetan.

Helst er talað um að nýta ammóníak sem skipaeldsneyti á stærri flutningaskip þar sem er nægt pláss og þörf fyrir mikið orkumagn. Einnig er verið að skoða fjölbreytta notkun þess sem græns eldsneytis.

Hægt er að brenna rafammóníaki á brunahreyflum. Vélaframleiðendur eru að þróa skipavélar og/eða breyta hönnun á núverandi vélum þannig að hægt sé að brenna rafammóníaki.

Mögulegt er að ná vetni út úr rafammóníaki á „áfangastað“, hvort sem verið er að flytja orku á milli landa/staða eða dreifa og geyma ammóníak til notkunar í skipum eða öðrum farartækjum. Þá kemur til annað efnaferli, kostnaður og fyrirhöfn því tengdu. Einnig eru í þróun efnarafalar sem nýta vetnishluta ammóníaksins.

Umtalsverður kostnaður fylgir því að framleiða grænt rafammóníak. Bæði þarf að framleiða vetnið úr grænni raforku og fanga köfnunarefni. Það er auðveldara að geyma ammóníak heldur en vetni, en nýtni þess frá framleiðslu og í gegnum alla virðiskeðjuna yfir í notkun með brunahreyflum er umtalsvert lakari en bein nýting á vetni í gegnum efnarafala.

# Rafmetan [CH<sub>4</sub>]

**Helsta notkun metans er við framleiðslu á eldsneyti og sem hráefni í efnaiðnaði<sup>29</sup>**

Metan er einfaldasta samband kolefnis og vetnis.

Metan er lyktarlaus gastegund og skaðlaust við innöndun. Það er léttara en loft og gufar því mjög fljótt upp komist það í snertingu við andrúmsloft.

Metan er þegar framleitt úr lífrænu efni á Íslandi af SORPU og Norðurorku. Sú framleiðsla er talin 55- 65% ódýrari í framleiðslu en framleiðsla á rafmetani. Hins vegar takmarkast lífrænir framleiðsluferlar við magn hráefnis.

Til að rafmetan verði samkeppnishæft þarf að ná fram stærðarhagkvæmni í framleiðslu. Ástæða þess að framleiðsla á rafmetani er umtalsvert dýrari en sú lífræna er að raforkuverð og kostnaður við föngun koltvísýrings bætist við ferlið.

Notendamarkaður á Íslandi fyrir metan hefur náð ákveðnu umfangi þó að hann sé lítill. Metan er aðallega notað á almenningsökutæki eða ökutæki og tæki í rekstri opinberra aðila.

Metanafgreiðslustöðvar eru í Reykjavík og á Akureyri. Þar er mögulegt að afgreiða fólksbíla og þyngri ökutæki.

Ýmsar hindranir hafa verið nefndar í tengslum við vöxt markaðarins á Íslandi. Þar má nefna meðal annars óvissu tengda samkeppnismálum, innlendar breytingar á bílum sem reyndust misgóðar og innviðalausnir (dreifing og afgreiðsla) sem notendur hafa lent í vandræðum með. Þetta þýðir að ekki hefur náðst að fullnýta það lífgas sem hefur verið til boða hér á landi þrátt fyrir að samkeppnishæf samgöngutæki hafi verið í boði og góð reynsla fengist af notkun erlendis.

Verð á metani við afgreiðslustöðvar hefur verið talið samkeppnisfært í einhvern tíma, en eftir því sem markaðurinn stækkar og nær yfir lífræna framleiðslu með betri rafgeyma- og vetnislausnum stefnir í að þær henti betur, ekki síst þar sem þær eru skilgreindar losunarfríar (e. Zero emission).

# Rafmetanól [CH<sub>3</sub>OH]

**Metanól hefur verið framleitt á Íslandi í áratug af CRI (Carbon Recycling International) sem hefur verið leiðandi í þróun og innleiðingu á metanóli**

Rafmetanól er einfalt alkóhól. Það er léttur, rokjarn og litarlaus vökvi sem er eldfimur og eitraður. Lyktin af honum er sérstök. Við stofuhita verður efnið litarlaus vökvi sem hægt er að nota sem frostvara, leysi, eldsneyti og sem geymslu fyrir etanól.

Hægt er að brenna rafmetanól á venjulegum brunahreyflum án mikilla breytinga. Breyttar bifreiðar geta gengið fyrir 100% rafmetanóli. Slíkar bifreiðar eru á markaði í Kína og hafa nokkrar verið í rekstri á Íslandi síðan 2016. Hægt er að nota núverandi bensíndætur og geymslutanka þó svo að ekki megi blanda bensíni og metanóli nema í samræmi við reglugerðir.

Metanól er notað sem íblöndun í bensín til samgangna á landi. Reglugerðir hljóða upp á að íblöndun metanóls við almennt eldsneyti megi vera allt að 3%. Til að setja það í samhengi þá væri hægt að hagnýta á Íslandi allt að 3.800 tonn af rafmetanóli.<sup>30</sup>

Rafmetanól eða lífmetanól eru meðal þeirra kosta sem teljast álitlegir á skip sem sigla langar vegalengdir. Á markaði eru til fjölorkuvélar sem ganga meðal annars fyrir metanóli. Flestar þessara véla eru í áframhaldandi þróun. Þær geta einnig tekið inn á sig jarðefnaolíu. Að nýta metanól til skipasamgangna gæti aukið eftirspurn eftir rafmetanóli umtalsvert.<sup>30</sup>

Að nota metanól til að framleiða þotueldsneyti er tæknilega mögulegt. Sú aðferð hefur þó ekki verið sannreynð á stórum skala.<sup>30</sup>

Rafmetanól er mikið notað í efnaiðnaði auk þess sem það þykir góð íblöndun fyrir lífdísil. Magn metanóls í framleiðslunni á lífdísil þarf að vera um 10-12%.<sup>30</sup>

Orkuinnihald rafmetanóls er helmingi minna en jarðefnaeldsneytis. Auðvelt er að geyma það á fljótandi formi og flytja það. Það hefur einnig þann kost að vökvagerast við staðalastæður.

# Rafolía [H<sub>x</sub>C<sub>y</sub>]

## Rafolía (e. e-crude) er vistvæn staðgengilsvara hráolíu

Rafolía er tilbúin hráolía gerð úr grænu vetni, rafgreindu með endurnýjanlegri raforku og hlutlausum koltvísýringi, sem fangaður er úr andrúmslofti eða áður en honum er sleppt út í það. Rafolía er í raun kolefnishlutlaus staðgengilsvara fyrir hráolíu sem dælt er upp úr olíulindum. Hráolía er fyrst og fremst notuð sem eldsneyti eftir frekari meðhöndlun í olíuhreinsistöðvum þar sem búnar eru til mismunandi olíuafurðir eins og gas, bensín, flugvélaeldsneyti, dísilolía og vax.

Hráolía er jafnframt notuð sem hráefni í efnaiðnaði, m.a. til að framleiða smurolíur, leysiefni, áburð og plast.

Með kolefnishlutlausri rafolíu sem hefur sama orkuinnihald og hráolía má knýja hefðbundna brunahreyfla samgöngutækja án breytinga og hún kemur því í stað jarðefnaeldsneytis sem viðkomandi farartæki eru knúin með í dag.

Afleiður af rafolíu losa mun minna af skaðlegum efnum, svo sem brennisteini og sóti, sem myndast við bruna í samanburði við jarðefnaolíu. Núverandi innviðir nýtast óbreyttir við geymslu, dreifingu og afgreiðslu. Því fellur þetta kolefnishlutlausa eldsneyti vel að núverandi reglugerðum og starfsleyfum.

Íblöndunarkrafa vistvæns eldsneytis á evrópska bíla hefur að mestu verið uppfyllt með lífeldsneyti. Nú hillir undir að settar verði íblöndunarkröfur á þotueldsneyti ásamt auknum álögum vegna losun mengunar frá skipum. Því mun markaður fyrir vistvænt eldsneyti aukast verulega á komandi árum og er rafeldsneyti ætlað að uppfylla þær þarfir að hluta.

Framleiðsla rafolíu hefur ekki verið talin raunhæf vegna kostnaðar, þó að gagnreyndur tækniþúnaður hafi verið í þróun um nokkurt skeið.

Til að framleiðsla rafolíu verði arðbær má ætla að söluverð hennar þurfi að vera 3 til 5 sinnum dýrara en söluverð fyrir jarðefnaolíu í dag. Spár gera ráð fyrir að bilið minnki hratt, og þá sérstaklega þegar stærðarhagkvæmni næst, líkt og gerðist með rafgeyma þegar fjöldaframleiðsla á rafbílum hófst.

Helsta hindrunin við framleiðslu rafolíu er lág orkunýtni við rafgreiningu vetnis, hátt verð á endurnýjanlegri raforku, hár kostnaður við að fanga CO<sub>2</sub>, dýr framleiðsluþúnaður ásamt því að litir hvatar eru fyrir markaðinn að nota rafeldsneyti.



# Aðgengi að raforku

Rafmagn er vara sem hefur þá sérstöðu að vera notuð um leið og hún er framleidd

Leiðir til að geyma rafmagn er að hlaða því á rafgeyma eða umbreyta í vetni

Þegar lagt er mat á vænlegustu orkuskiptin í samgöngum hér á landi er nærtækast að horfa til þeirrar öflugu raforkuinnviða sem byggðir hafa verið upp á Íslandi.

Sérstaða íslenska raforkukerfisins felst í því að nær öll orkuvinnsla telst græn því hún nýtir endurnýjanlegar auðlindir.

Flestar Evrópuþjóðir þurfa að byggja upp umfangsmikla endurnýjanlega raforkuframléiðslu með vind- og sólarorku til að geta hafist handa við að framleiða græna raforku. Ísland er með samkeppnisforskot á aðrar þjóðir þegar kemur að framleiðslu rafeldneytis úr endurnýjanlegum auðlindum.

Til að hægt verði að skipta út jarðefnaeldsneyti sem orkugjafa í heiminum þarf að margfalda framleiðslu endurnýjanlegs rafmagns til að standast orkueftirspurn.<sup>31</sup>

Framleiðslugeta endurnýjanlegrar raforku stýrist mjög af veðurfarslegum aðstæðum sem gerir það að verkum að erfitt getur reynst að nýta alla umframorku án þess að breyta henni í önnur orkuform. Hleðsla umframorku inn á rafgeyma í stórum stíl verður líklega ekki hagkvæm í náinni framtíð.

Áform um vetnisframleiðslu eru umfangsmikil í Evrópu þar sem hægt er að nota vetni beint sem orkugjafa eða sem orkubera fyrir annað rafeldsneyti.

Raforkumarkaðir í Evrópu eru samtengdir sem gerir það að verkum að lönd geta selt orku sín á milli. Á Íslandi er raforkukerfið einangrað og

því takmarkaður möguleiki á að dreifa raforku beint til annarra markaða.

## Endurnýjanleg raforka verður helsti orkugjafi framtíðarinnar

Uppsett afl virkjana á Íslandi er tæp 3.000 MW og árleg raforkuframléiðsla um 20 TWst., sem gerir Ísland að umfangsmesta raforkuframléiðanda heims sé miðað við höfðatölu, eða um 54 MWst á hvern íbúa.

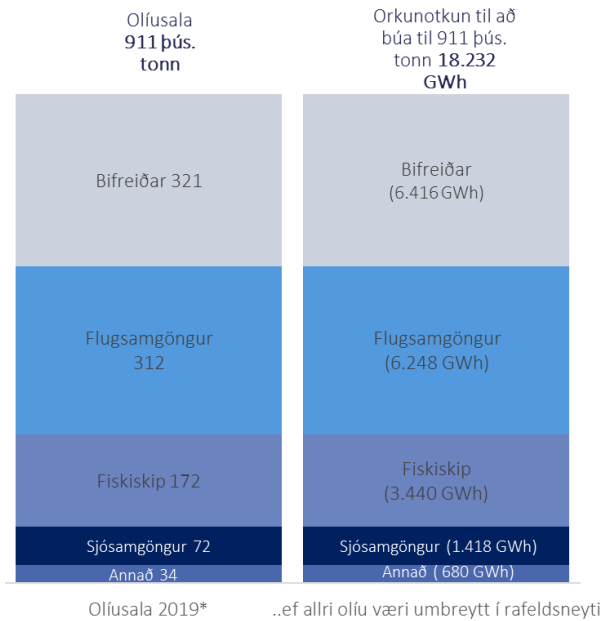
Tæp 80% framleiðslunnar fara til stórnotenda.



# Umframgetu í raforkukerfinu væri hægt að nýta til framleiðslu vetnis

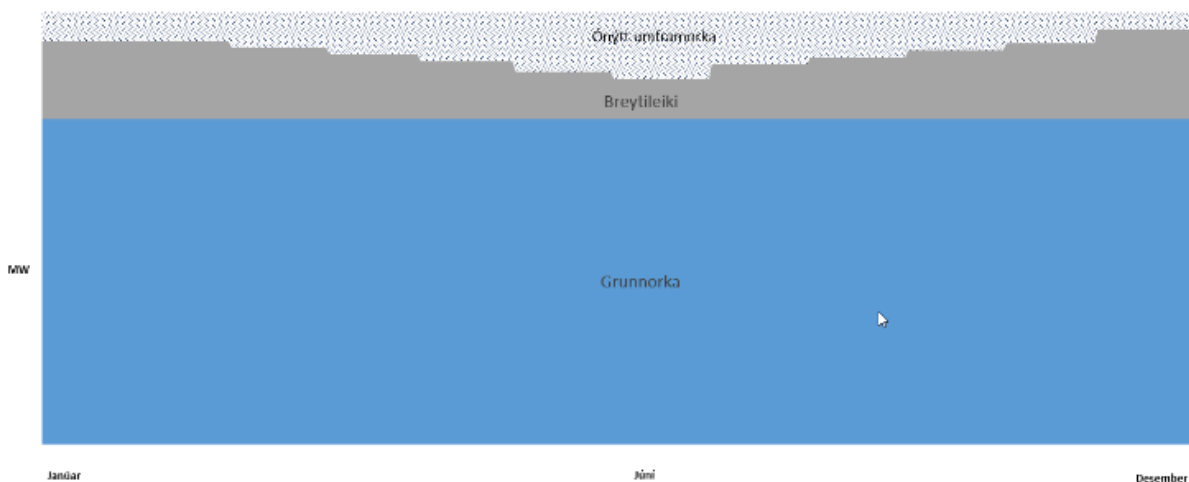
Til að setja hlutina í samhengi þá þyrfti nær alla núverandi raforkuframleiðslu Íslands til að framleiða rafolíu sem kæmi í stað þess jarðefnaeldsneytis sem flutt er inn (sjá mynd 9). Því er óraunhæft að tala um orkuskipti án þess að huga að aukinni raforkuframleiðslu. Aðrir kostir eins og rafbílar, sem nýta orkuna betur, eru skynsöm leið þar sem mögulegt er.

Vegna breytilegs vatnsbúskapar milli árstíða og ára skapast oft aðstæður í orkukerfi Íslands til að framleiða umtalsvert meiri orku en þörf er á til að tryggja forgangsorku. Á mynd 10 sést að orkunotkun er einnig breytileg milli árstíða. Vegna hlýnunar og hraðari bráðnunar jökla má gera ráð fyrir að þessi ónýtta umframorka eigi eftir að aukast.



Mynd 9: Olíusala á Íslandi 2008-2019 í samanburði við þá raforku sem þarf til að framleiða rafolíu til að skipta út allri núverandi notkun jarðefnaeldsneytis.

Mynd 100: Dæmigerð ástíðabundin vinnslugeta og sala úr orkukerfi Íslands miðað við tæknilega framleiðslugetu véla og nægar orkuauðlindir.<sup>33</sup>



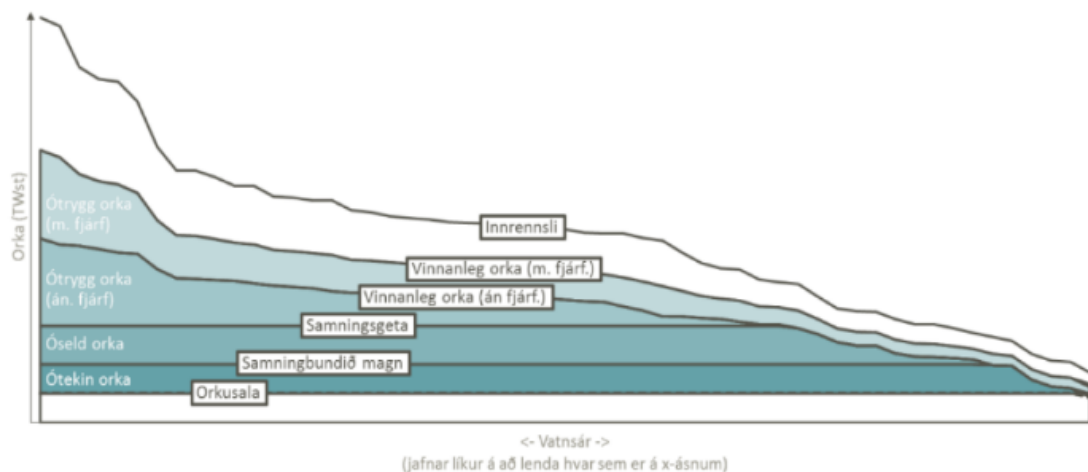
Til að leggja mat á hve mikilli umframorku úr íslenska orkukerfinu megi tæknilega umbreyta í vetni er nærtækast að vísa til skýrslna sem gerðar voru með það að markmiði að meta fýsileika sæstrengs frá Íslandi og má meðal annars finna á vefsíðu Orkustofnunar. Þar kemur fram að möguleg umframgeta í núverandi orkukerfi sé um 2 TWst í meðal vatnsári. Mynd 11 sýnir flokkun mögulegrar umframgetu eftir vatnsárum.<sup>32</sup>

Rafmagn notað til að framleiðsla á vetni gæti komið frá víkjandi fyrir reiðuafliþörf sem þarf til að tryggja stöðugleika raforkukerfisins og því mætti selja það ónýtta afl sem verðmæta forgangsorku.

Með víkjandi framleiðslu rafeldsneytis má nýta umframgetu raforkukerfisins og bæta þannig nýtingu endurnýjanlegra auðlinda landsins. Samhliða því er möguleiki að fullnýta raforkuferfið óháð frávikum í áætlaðri orkuþörf stórnotenda.

## Árleg meðal-umframgeta raforkukerfisins gæti dugað til að framleiða um 35.000 tonn af vetni sem nægði til að knýja vöru- og farþegaflutninga á Íslandi

Mynd 11: Skematísk mynd sem sýnir fjóra flokka afgangorku í einangruðu orkukerfi sem byggist á vatnsorku (raðað frá besta til versta vatnsárs).<sup>32</sup>



# Aðgengi að koltvísýringi

Koltvísýringur er auðlind sem nýta má til ræktunar og framleiðslu rafeldsneytis

Að fanga koltvísýring, dæla honum niður í berg eða nota hann sem burðarefni til að framleiða losunarfrítt rafeldsneyti eru aðgerðir í loftslagsmálum sem sporna gegn hlýnun jarðar

Gróðurhúsalofttegundir eru náttúrleg fyrirbæri og okkur lífsnauðsynlegar. Ef ekki væri fyrir gróðurhúsalofttegundir væri meðalhitinn á jörðinni  $-6^{\circ}\text{C}$  en ekki  $+15^{\circ}\text{C}$ .<sup>34</sup>

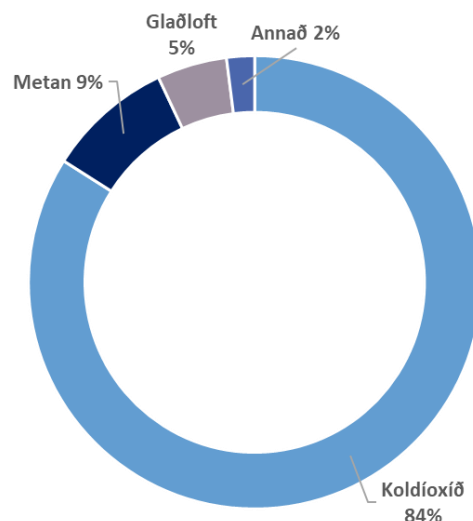
Öflugasta gróðurhúsalofttegund jarðar er vatnsgufa og þar á eftir kemur koltvísýringur. Koltvísýringur er mikilvæg gróðurhúsalofttegund og hefur áhrif á geislunarjafnvægi í lofthjúpnum þar sem hann dvelur lengi.

Losun koltvísýrings frá náttúrunni er mikilvægur og nauðsynlegur þáttur í hringrásarkerfi heimsins.

Gróðurhúsalofttegundir virka eins og gler í gróðurhúsi. Það fangar sólina og hindrar að það fari aftur út.

Athafnir af mannavöldum hafa hins vegar haft þau áhrif að magn þeirra hefur aukist umfram það sem eðlilegt þykir. Fræðimenn er nokkuð sammála um að þetta valdi hækkun hitastigs á jörðinni.<sup>35</sup>

Koltvísýringur er sú gróðurhúsalofttegund sem ber ábyrgð á 84% af hlýnun jarðar af mannavöldum. Styrkur þess nú er 40% hærri en hann var við upphaf iðnvæðingar.<sup>36</sup>



Mynd 11: Gróðurhúsalofttegundir af mannavöldum – hlutfallsleg magnskipting.<sup>37</sup>

Áhrif mannsins á hækkandi hitastig á jörðinni eru meðal annars vegna brennslu jarðefnaeldsneytis.<sup>36</sup>

Jarðefnaeldsneyti hefur drifið efnahag heimsins líkt og við þekkjum hann í dag. Samstaða hefur ekki náðst um að takmarka notkun jarðefnaeldsneytis fyrir nýjar hreinorkulausnir og taka þannig langtímahagsmuni fram yfir skammtímahagsmuni. Greina má mikla

viðhorfsbreytingu í þá átt að takast á við vandann og liðka til fyrir nýjum lausnum og eru mörg ríki að tengja stefnumörkun sína við fjárhagslegar skuldbindingar í þeirri trú að efnahagsvöxtur næstu áratuga verði í meira mæli drifinn áfram af grænum lausnum.

## Það skiptir ekki máli hvar í heiminum jarðefnaeldsneyti er brennt, styrkur koltvísýrings eykst í andrúmsloftinu um allan heim

Þrátt fyrir að CO<sub>2</sub>-losun í miklu magni sé óæskileg með tilliti til loftlagsmála er koltvísýringurinn nauðsynlegur til ræktunar á gróðri. Hann er notaður við ræktun í gróðurhúsum og þörungarækt en auk þess við ýmiskonar framleiðslu.

Notkun koltvísýrings til að búa til rafeldsneyti gerir okkur kleift að endurnýta hann í hringrásarkerfi í stað þess að bæta honum við andrúmsloftið líkt og gerist við notkun jarðefnaeldsneytis.

Til að anna áætlaðri framtíðarþörf rafeldsneytis í heiminum þarf töluvert magn af koltvísýringi til framleiðslunnar.

Fýsilegur möguleiki er að fanga koltvísýring frá iðnaði áður en hann fer út í andrúmsloftið. Minnka má losun koltvísýrings í andrúmslofti með því að fanga hann áður en honum er sleppt ú tí andrúmsloftið og dæla honum niður í jörðina eða nýta hann. Gert er ráð fyrir að mikil þróun eigi eftir að eiga sér stað á næstu árum í föngun koltvísýrings. Á Íslandi er mögulegt að ná í koltvísýring frá jarðgufu, iðnaði og beint úr andrúmsloftinu.

## Koltvísýringur frá jarðgufu

Til að fanga koltvísýring er hagkvæmast að ná honum frá þeim stað þar sem hann er losaður í miklum styrk. Á Íslandi er þess helst að vænta þar sem nýting jarðvarma fer fram, en þar getur hlutfall hans í jarðhitagösum verið á bilinu 60–98%.

Þess ber að gæta að í jarðvarmagösum getur verið hátt hlutfall brennisteinsvetnis og vetnis sem þarf að skilja frá. Hér á landi hafa verið þróaðar aðferðir til þess.

Heildarlosun koltvísýrings frá íslenskum jarðvarmavirkjunum er árlega um 160 þúsund tonn. Gera má ráð fyrir að fanga megi um 60% þess magns með hagkvæmum hætti.

## Koltvísýringur frá iðnaði

Mesta staðbundna losun koltvísýrings á Íslandi er frá álverum, sem losa árlega um 1.400 þúsund tonn, og þar á eftir frá kísilverum, sem losa árlega um 650 þúsund tonn.

Styrkur koltvísýrings í útblæstri frá álverum er mjög lágur (2%). Tæknilega erfitt er að fanga hann á hagkvæman hátt, auk þess sem verið er að þróa nýja tækni sem mun leysa kolefnisskautið af hólmi. Því er lítil hvati til að þróa tækni til föngunar á koltvísýringi sem mun mögulega hverfa úr útblæstri álvera innan tíðar.

Kísilver losa einna mestan koltvísýring á framleiðslueiningu af öllum stóriðjum og því ætti að vera mikill hvati til að fanga koltvísýring frá þeim.

Ekki hefur verið þróuð hagkvæm tækni til að fanga koltvísýring úr útblæstrinum þar sem styrkurinn er lágur (4-5%). Einnig þarf að hreinsa mikið magn af efnum úr útblæstrinum áður en hægt er að beita hefðbundinni tækni við föngun koltvísýrings.

Með aukinni skattlagningu á losun kísilvera mun áhugi á því að draga úr losun aukast. Nú þegar eru hafin tilraunaverkefni, meðal annars í Noregi, sem snúast um að fanga koltvísýring beint frá kísilverum.

## Koltvísýringur úr andrúmslofti

Fanga má koltvísýring beint úr andrúmsloftinu og eru þegar tilraunaverkefni í gangi þar sem þróuð er tækni undir nafninu DAC (e. Direct Air Capture).

Aðferðin er enn í þróun og er mjög dýr. Mikilvægt er að ná frekari hagkvæmni þar sem styrkur koltvísýrings í andrúmslofti er ekki nema 0,04% eða um það bil 100 sinnum minni en í útblæstri? frá kísilverum.

Þvík er spáð að þessi tækni muni verða lykilþáttur í að draga úr styrk koltvísýrings eftir rúman áratug, enda mikill kostur að geta fangað koltvísýring til að nýta eða binda, óháð staðbundinni losun.

## Kolefnisbókhald

Koltvísýringur sem er notaður í að framleiða rafeldsneyti til samgangna og uppfyllir setta staðla dregst frá kolefnisbókhaldi Íslands.

Iðnaður í Evrópu sem losar koltvísýring þarf að telja fram losun innan viðskiptakerfis með losunarheimildir (ETS) og má sá aðili ekki draga notkunina frá sinni losun. En þá væru um tvítalningu að ræða þar sem koltvísýringurinn er talinn til frádráttar við losun í samgöngum. Þetta gerir það að verkum að takmarkaður losunarbókhaldshvati er fyrir þá sem losa.

Aðilar eins og Powerfuels hafa bent á þetta sem og mikilvægi þess að búa til hvata fyrir þá sem losa til að ýta undir orkuskipti í samgöngum. Slíkir hvatar ættu að vera tímabundnir til að takast á við losunaryvandann sem fyrst eða þar til DAC-aðferðin þróast enn frekar og verður fjárhagslega hagkvæmur kostur til að styðja við framleiðslu á rafeldsneyti.

Eftirspurn eftir koltvísýringi til framleiðslu á rafeldsneyti í heiminum er talin verða um 6.000 milljón tonn árið 2050. Því má ætla að notkun koltvísýrings til framleiðslu rafeldsneytis sé mikilvægur liður í því að taka á aukningu koltvísýrings í andrúmslofti.



# Rafeldsneyti:

## Að meta fýsileika

**Mikilvægt er að ná utan um staðbundnar aðstæður sem skipta máli þegar um framleiðslu rafeldsneytis er að ræða og greina þær frá ólíkum sjónarhornum**

Mismunandi rafeldsneyti hefur sína kosti og galla og hentar misvel fyrir þá fjölmörgu geira sem því er ætlað framtíðarhlutverk í.

Það fylgir því töluverður kostnaður og fyrirhöfn að framleiða rafeldsneyti. Um er að ræða umtalsverðan fjárfestingar- og rekstrarkostnað.

Huga þarf að því hvernig framleiðsla rafeldsneytis er metin út frá umhverfisþáttum og hvort ákveðnar framleiðsluaðferðir hafi áhrif á kolefnisbókhald landsins.

Einnig þarf að meta orkunýtni hvers rafeldsneytis fyrir sig sem og þroskastig tækninnar, áhrif á umhverfið og framtíðarmöguleika.

Auðvelt er að ná utan um ákveðna þætti sem þarf til samanburðargreiningar og jafnvel hægt að byggja á staðreyndum og reynslutölum, en aðrir þættir eru mun erfiðari viðfangs og byggjast nokkuð á huglægu mati. Mismundi fagaðilum ber jafnvel ekki saman um útreikninga og samanburð.

Berlega kom í ljós við vinnslu verkefnisins að framleiðsluaðferðir hafa verið mislengi í þróun og eru því misþroskaðar. Erfitt var því að nálgast upplýsingar í sumum tilvikum, t.d. sem snúa að raunkostnaði og fleiri mikilvægum þáttum.

Í flesum skýrslum sem fjalla um rafeldsneyti eru bornir saman framtíðarmöguleikar, markaðir ásamt kostum og göllum. Þær fjalla yfirleitt allar um áætlaðan kostnað í dag og/eða áætlaðan framtíðarkostnað með tilliti til tiltekinna viðmiðunarára, 2030, 2040 eða 2050. Þetta á bæði við um þroskastig tækni, framfarir hvað það varðar að ná niður kostnaði og betrubæta orkunýtingu og líftíma.

Vinna við greiningar var byggð á þekkingu og reynslu verkefnahópsins samhliða því sem unnið var með trúnaðargögn framleiðenda tæknibúnaðar. Einnig aflaði hópurinn upplýsinga í gegnum tengslanet sitt auk þess að styðjast við vísindagreinar og umfjöllun um rafeldsneytismál í víðara samhengi.

Gert var umfangsmikið reiknilíkan sem niðurstöður um fýsileika á framleiðslu rafeldsneytis byggjast á. Jafnframt var gerð AHP-vakostagreining þar sem mismunandi tegundir rafeldsneytis voru bornar saman út frá mikilvægum eiginleikum sem þær þurfa að uppfylla fyrir mismunandi notendur. Að lokum voru gerðar SVÓT- og PESTEL-greiningar varðandi framleiðslu rafeldsneytis.

Hér á eftir er fjallað um niðurstöður greininganna.

# Fýsileikagreining: Framleiðsla á rafeldsneyti

**Tækjaframleiðendur og orkufyrirtæki eru þegar byrjuð að marka sér stöðu á markaði í þeim tilgangi að hámarka framleiðslugetu og ferla og auka markaðsvitund**

Kostnaðargreining var gerð á framleiðsluhluta mismunandi tegunda rafeldsneytis og sundurliðun skoðuð nánar í völdum tilfellum og næmnigreiningar framkvæmdar.

Kostnaðargreiningin náði ekki yfir eftirávinnslu í ferlinu líkt og þjöppun, geymslu, útflutning eða kostnaðinn við að senda framleidda vöru til frekari vinnslu erlendis

Hafa skal í huga að mikill munur er á þroska tæknilausna, markaðsaðstæðna, regluverks og fleiri þátta og því erfitt að ákvarða hvaða rafeldsneyti verður ofan á.

Framleiðslukostnaður fyrir fimm tegundir rafeldsneytis, grænt vetni, rafammóníak, rafmetan, rafmetanól og rafolíu var skoðaður og greindur með reiknilíkani. Forsendur voru gefnar til að skoða ákveðnar sviðsmyndir.

Þær sviðsmyndir sem unnið var út frá og fjallað er um hér á eftir miðast við að nota alkaline-rafgreini til að framleiða vetni og að sú framleiðsla standi sem sjálfstæð eining. Miðað var við að framleidd væru 10.000 tonn af vetni á ári. Einnig var gert ráð fyrir að nýta mætti vetnið beint og/eða að hluta áður en

eiginleg kjarnaframleiðsla hvers rafeldsneytis hæfist úr vetni og þeim hráefnum sem til þarf.

Þessi nálgun er ekki sú eina rétta en gefur ákveðið samanburðarhæfi. Til eru mismunandi lausnir fyrir sérhverja tegund rafeldsneytis sem gefa færi á að ná niður kostnaði í einhverjum tilfellum.

Ljóst er að mikil gerjun á sér stað hvað það varðar að finna tæknilausnir til að geta framleitt rafeldsneyti og benda flestar upplýsingar til þess að tæknin verði ódýrari, nýtnari og hafi betri endingartíma þegar fram í sækir. Búist er við að staðlaðar lausnir verði til staðar þegar líður á seinni hluta þessa áratugar og fram á þann næsta.

Rafeldsneyti verður þýðingarmikill þáttur í að skipta út jarðefnaeldsneyti í samgöngum.

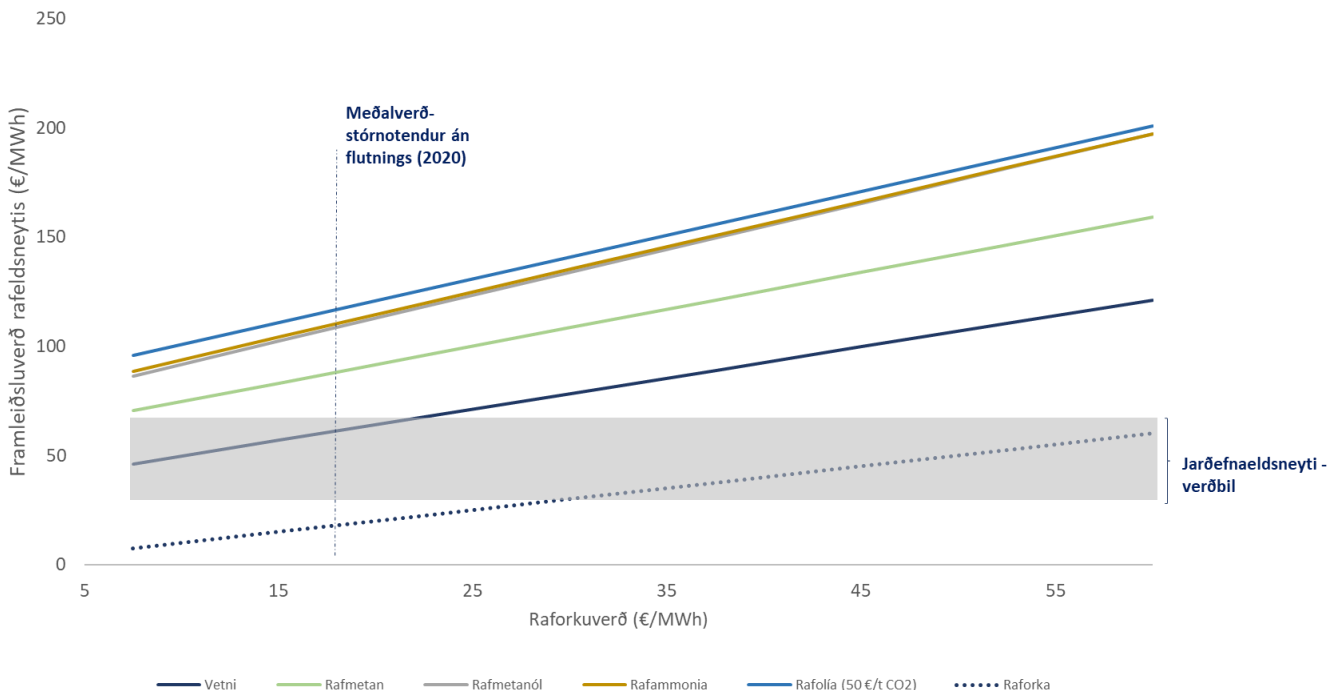
Almennar greiningar gera ráð fyrir stórauðinni eftirspurn eftir rafeldsneyti almennt. Markaðir eru þó óþroskaðir og greiningar benda til þess að fjárfesting framleiðslunnar sé ekki fýsileg nema að til tímabundinna niðurgreiðslna komi og/eða sérstakur notendahópur telji hagkvæmt að tryggja sér kaupsamninga til framtíðar.

# Spár gefa til kynna að á næstu áratugum verði töluverð eftirspurn eftir rafeldsneyti

Helstu rekstrarliðir eru raforkukostnaður og kostnaður við föngun koltvísýrings þar sem það á við í framleiðslunni. Kostnaður vegna raforkukaupa er 50- 80% hlutfall af kostnaði á hverja orkueiningu eldsneytis.

Hagkvæmast er að framleiða hreint vetni m.t.t. kostnaðar á orkueiningu. Við framleiðslu á rafmetani, rafmetanóli og rafolíu bætist við kostnaður vegna koltvísýrings og kostnaður vegna köfnunarefnis bætist við framleiðslu á rafammóníaki.

Mynd 13 sýnir meðal framleiðslukostnað sem fall af breytilegum raforkukostnaði á hvert MWh.



Mynd 12: Framleiðsluverð (án þjöppunar og geymslu) rafeldsneytis sem fall af breytilegum raforkukostnaði.

Borinn var saman kostnaður mismunandi tegunda rafeldsneytis miðað við mismunandi raforkuverð auk þess sem valið verðbil jarðefnaeldsneytis er haft til hliðsjónar til samanburðar.

# Aðföng til framleiðslu rafeldsneytis þurfa að lækka til að verða samkeppnishæfari við jarðefnaeldsneyti

Stærðarhagkvæmni skiptir miklu máli við framleiðslu rafammóníaks og rafolíu. Talið er að framleiðsla þurfi að vera í lágmarkseiningum allt frá 100 til 300 MW til að lágmarkshagkvæmni náist.

Framleiðslumagn skiptir minna máli þegar vetni er framleitt eitt og sér. Það sama á við um rafmetan og að einhverju leyti um rafmetanól.

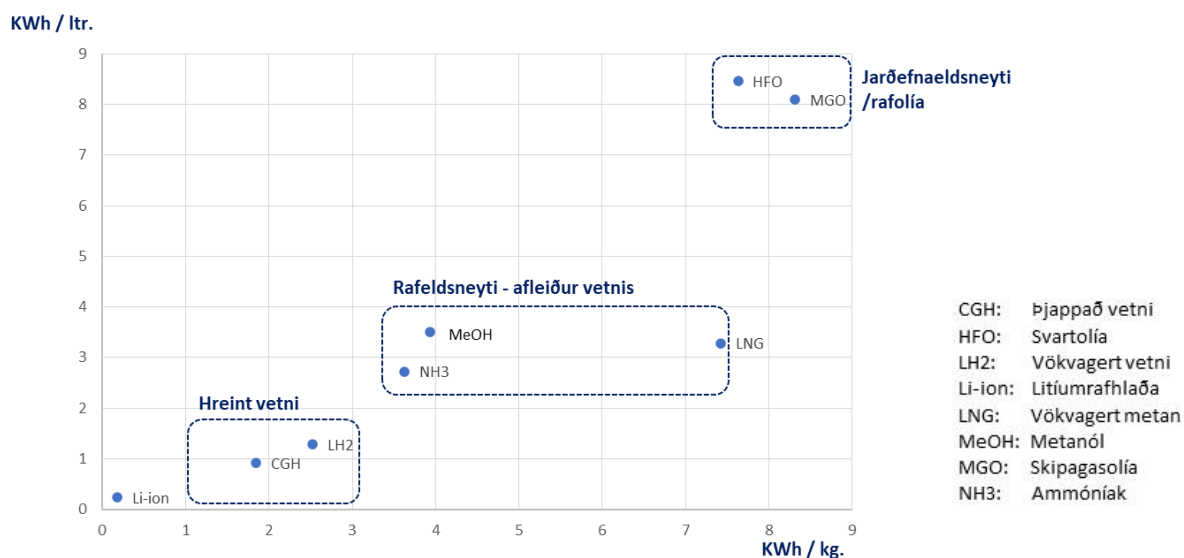
Meðalraforkuverð til stórnotenda án flutnings var árið 2020 um 18 evrur. Til samanburðar þarf hámarksraforkuverð fyrir framleiðslu rafeldsneytis þarf að vera í kringum 25-30 evrur.

Miðað við það raforkuverð væri framleiðslukostnaður rafeldsneytis í dag á bilinu 80 til 140 evrur á hverja MWh.

Fýsilegt væri að skoða tækifæri sem tengjast nýtingu umframgetu raforkukerfisins á lægri raforkuverðum sem væri víkjandi fyrir forgangsorku. Á þann hátt mætti hámarka auðlindanotkun og ná fram aukinni arðsemi í framleiðslu á rafeldsneyti.

Í Dansk Energy-skýrslunni „Anbefalinger til en dansk strategy for Power-to-X“ er bent á að til þess að gera vetni fljótandi til flutnings sé nær 40% af framleiðslukostnaði vörunnar þegar bundinn? Danmörku. Einnig er bent á það í skýrslunni að mögulegt sé að lækka framleiðslukostnað um allt að 45% með því að framleiða grænt vetni á hagkvæmara orkuverði, til dæmis í Chile..

Það eldsneyti sem er á vökvaformi við náttúrulegar aðstæður, eins og metanól og rafolía, rúmast betur og þarf einfaldari umgjörð en eldsneyti sem er á gasformi við náttúrulegar aðstæður. Dæmi um slík rafeldsneyti eru vetni, ammóníak og metan.



Almennt er kostnaður við framleiðslu á rafeldsneyti ekki samkeppnishæfur við núverandi söluverð á jarðefnaeldsneyti. Til að hefja framleiðslu rafeldsneytis og gera það samkeppnishæft þyrfti raforkuverð til dæmis að lúta öðrum lögmálum en nú tíðkast við sölu raforku til stórnotenda auk þess að mynda hvata til að auka verðmæti rafeldsneytis.

Hafa ber í huga að samanburðurinn á rafeldsneytum í mynd 13 nær einungis til framleiðsluferlisins og endurspeglar því ekki heildarkostnað við notkun þess. Því getur eldsneyti sem er ódýrt í framleiðslu verið dýrt í flutningi, geymslu og nýtingu.

Mynd 13: Orkuinnihald miðast við rúmmál og þyngd. (Flokkun með tilliti til geymslubúnaðar og umgjörðar hans (breytilegt milli notenda).

Einnig þarf að horfa til orkuinnihalds sem rúmast í viðeigandi geymslurými eldsneytis þegar litið er til heildarhagkvæmni.

Á mynd 14 sést samanburður á orkuinnihaldi mismunandi orkugjafa að teknu tilliti til geymslubúnaðar og umgjörðar hans. Annars vegar m.t.t. rúmmáls (kWh/L á lóðréttum ás) og hins vegar m.t.t. þyngdar (kWh/kg – á láréttum ás).

Á myndinni sést til dæmis hve mikill munur er á orkuinnihaldi litíumrafhlöðu (<0,5 kWh/L og

kg) í samanburði við olíur (>7,5 kWh/L og kg) og þar af leiðandi hvers vegna rafhlöður henta síður fyrir stærri samgöngutæki.

Í sviðsmyndinni er notaður til samanburðar „áætlaður framtíðarkostnaður“ við föngun koltvísýrings, eða 50 €/tonn, sem ekki er talinn raunhæfur kostnaður í dag miðað við föngun úr lofti. Þessi kostnaður gæti aftur á móti náðst við föngun frá „staðbundinni losun“, svo sem frá útblæstri stóriðju og/eða með beinni föngun úr lofti innan 5-15 ára.

Við samanburð á kostnaði er miðað við MWh sem orkueiningu rafeldsneytis.

## Sundurliðun framleiðslukostnaðar

Reiknimódel var notað til að greina nánar helstu kostnaðarpætti við framleiðslu þeirra rafeldsneytistegunda sem bornar eru saman hér að framan og notast við sömu kostnaðarforsendur og áður var greint frá. Markmiðið með þessari sundurliðun, ásamt næmnigreiningu á heildarverði gagnvart raforkuverði, keyrslutíma og kostnaði við öflun koltvísýrings eða köfnunarefnis, er að leggja mat á hvaða kostnaðarliðir ráða mestu um framleiðsluverðið á tilbúnu rafeldsneyti.

Myndirnar hér á eftir sýna sambærilega kostnaðarpætti og næmnigreiningu fyrir sérhvert rafeldsneyti.

Fyrri hluti sundurliðunarinnar sýnir kostnaðinn á bak við framleiðslu á vetni, það er raforkukostnað við rafgreininguna (Rafmagnskostn.), annan rekstrarkostnað við rafgreina (Annar kostn.) og fjárfestingarkostnað við rafgreina (Fjárfestingarkostn.). Síðustu þrjár súlurnar sýna kostnað við öflun/föngun koltvísýrings (CO<sub>2</sub>), þar sem það á við, almennan rekstrar- og viðhaldskostnað fyrir alla framleiðslueininguna (Rekstrarkostn.) (sem er hærri fyrir afleidd eldsneyti úr vetni) og síðasta súlan sýnir fjárfestingarkostnað við

framleiðslu á öðrum eldsneytum en vetni (Fjárfestingarkostn.)

Í tilfelli keyrslutíma, sem sýndur er yfir 100% fyrir öll eldsneyti í næmnigreiningunni, er um að ræða samanburðarlínu þegar rafgreinarnir og/eða annar búnaður bjóða upp á tímabundna yfirkeyrslu. Þá er möguleiki á umframframleiðslu í skamman tíma án þess að fjárfestingarkostnaður hækki.

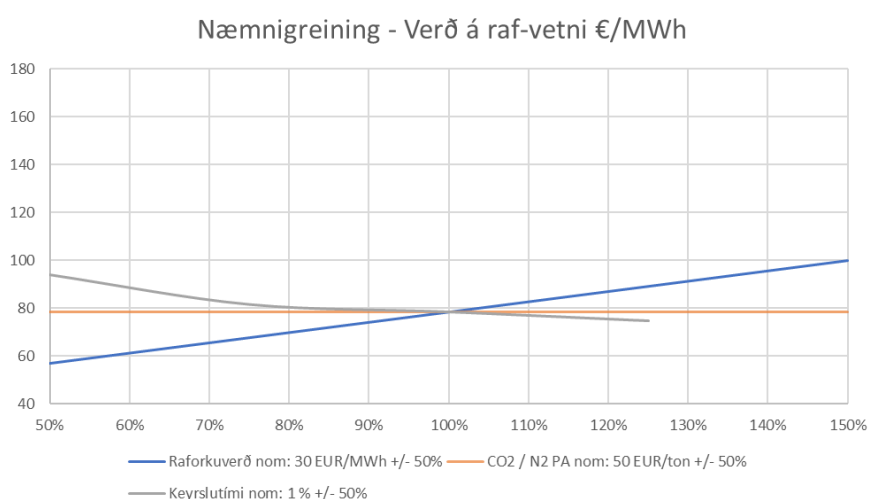
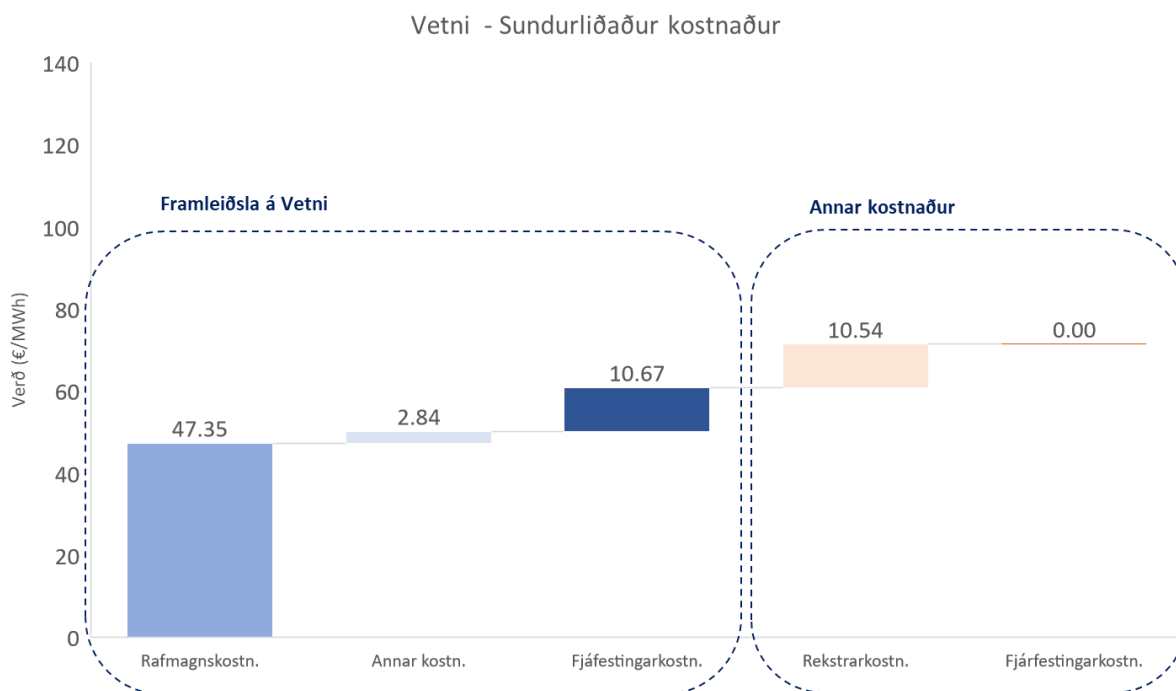
Fjárfestingarkostnaður við framleiðslu á rafammóníaki, rafolíu og að einhverju leyti rafmetanóli er það hár að hámarka þarf notkun á búnaði og því lítið svigrúm fyrir sveiflukenna framleiðslu. Framleiðsla á vetni og rafmetani býður upp á meiri sveigjanleika til að nýta sveiflanlega umframorku ef geymslurýmnd er til staðar

## Stærðarhagkvæmni er þörf til að framleiðsla rafeldsneytis sé almennt raunhæf

# Hreint vetni

Hagkvæmast er að framleiða vetni þegar hægt er að nýta það beint, án geymslu og dreifingu. Þessi hluti framleiðslunnar er nauðsynlegur fyrir öll önnur rafeldsneyti.

Mynd 14: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafvetni.



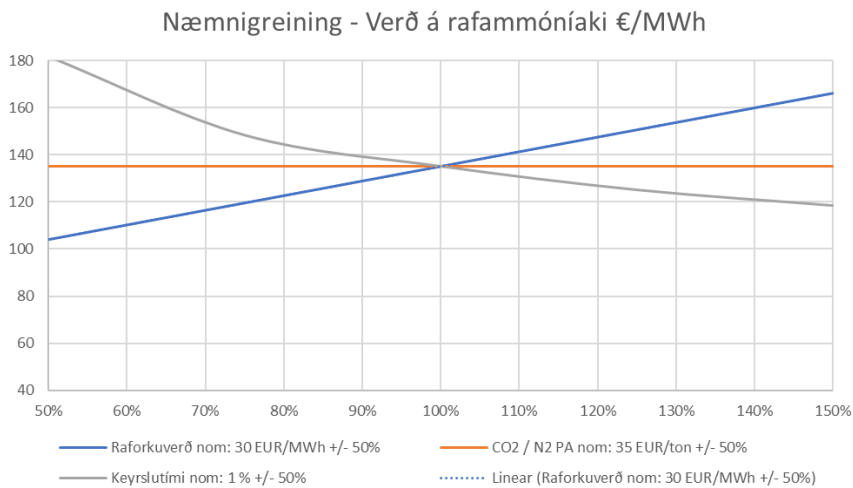
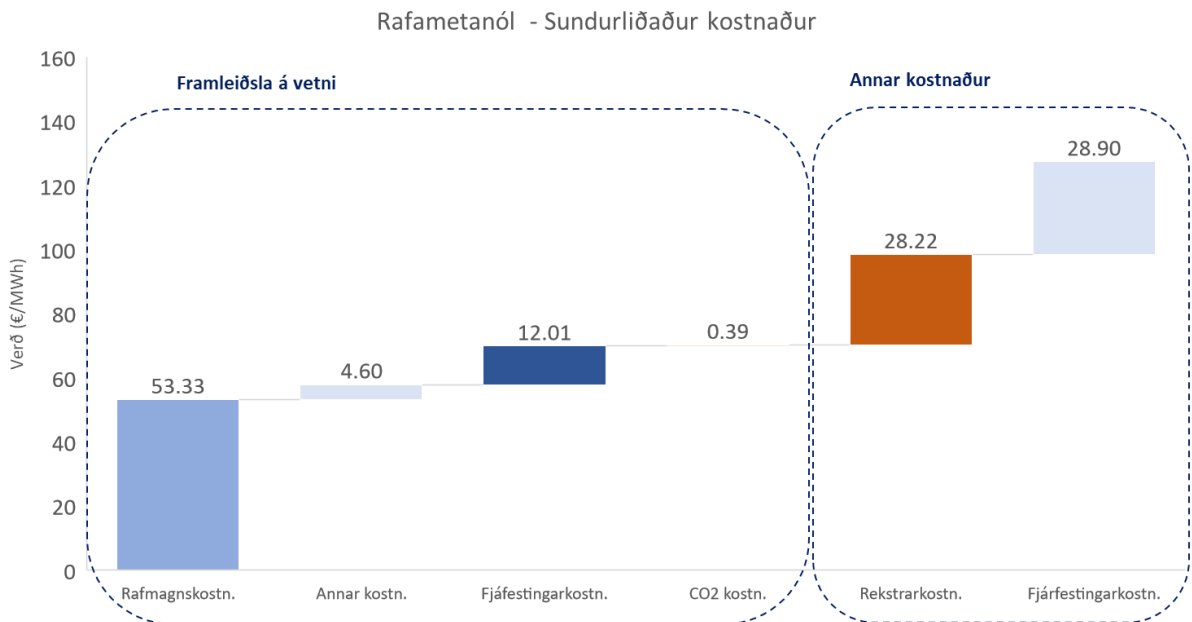
# Rafammóníak

Kosturinn sem rafammóníak hefur fram yfir rafmetan, rafmetanól og rafolíu er sá að enginn koltvísýringur losnar út í andrúmsloftið því þar er „burðarefnið“ köfnunarefni sem hægt er að ná í hvar sem er og sleppa því aftur við nýtingu án nokkurrar CO<sub>2</sub>-losunar.

Rafammóníak er talið koma til greina sem eldsneyti fyrir stærri skip og jafnvel sem geymsla við flutning á vetnisorku í miklu magni.

Í myndinni hér fyrir neðan er ekki sýnd sundurliðun fyrir köfnunarefni sem notað er við rafammóníaksframleiðslu. Ástæðan er sú að í þessu tilfalli var notast við heildarkostnað sem gefinn var upp fyrir ákveðna verksmiðju í þeirri sviðsmynd sem liggur hér að baki.

Mynd 15: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafammóníak.



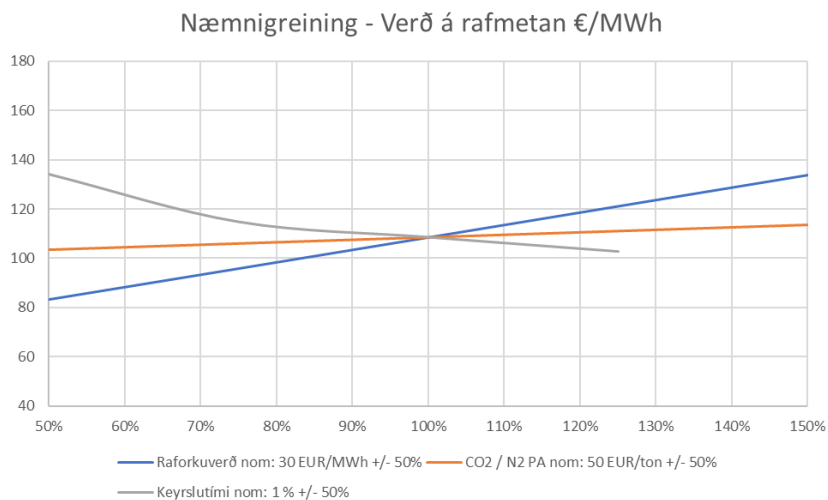
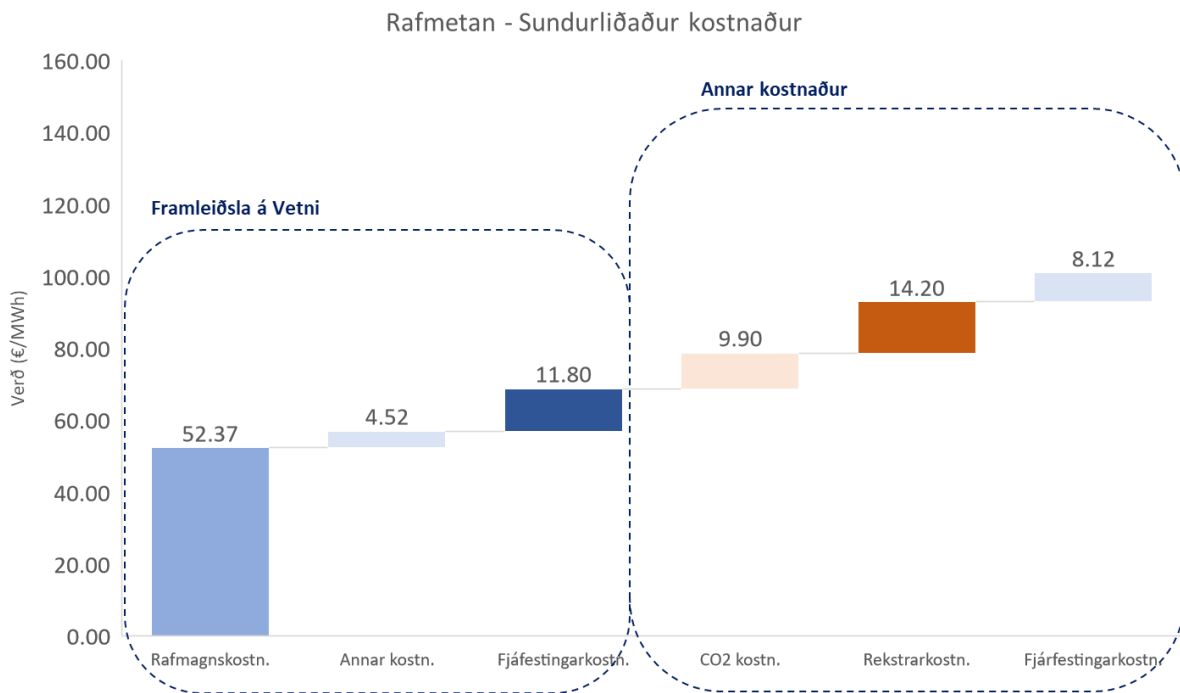


# Rafmetan

Framleiðsla á rafmetani miðast við að hún fari fram með hitakærum örverum og þess háttar framleiðsla hentar betur fyrir minna magn. Við framleiðsluna er fjárfestingarkostnaður töluvert minni en við framleiðslu annarra tegunda rafeldsneytis en framleiðsla rafmetans er dýr í samanburði við lífmetan.

Hagkvæmast er að nota rafmetan þar sem geymsla, dreifing og nýting á notendahlíðinni er möguleg og staðbundnar aðstæður, t.d. m.t.t. föngunar, eru hentugar.

Mynd 16: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafmetan.

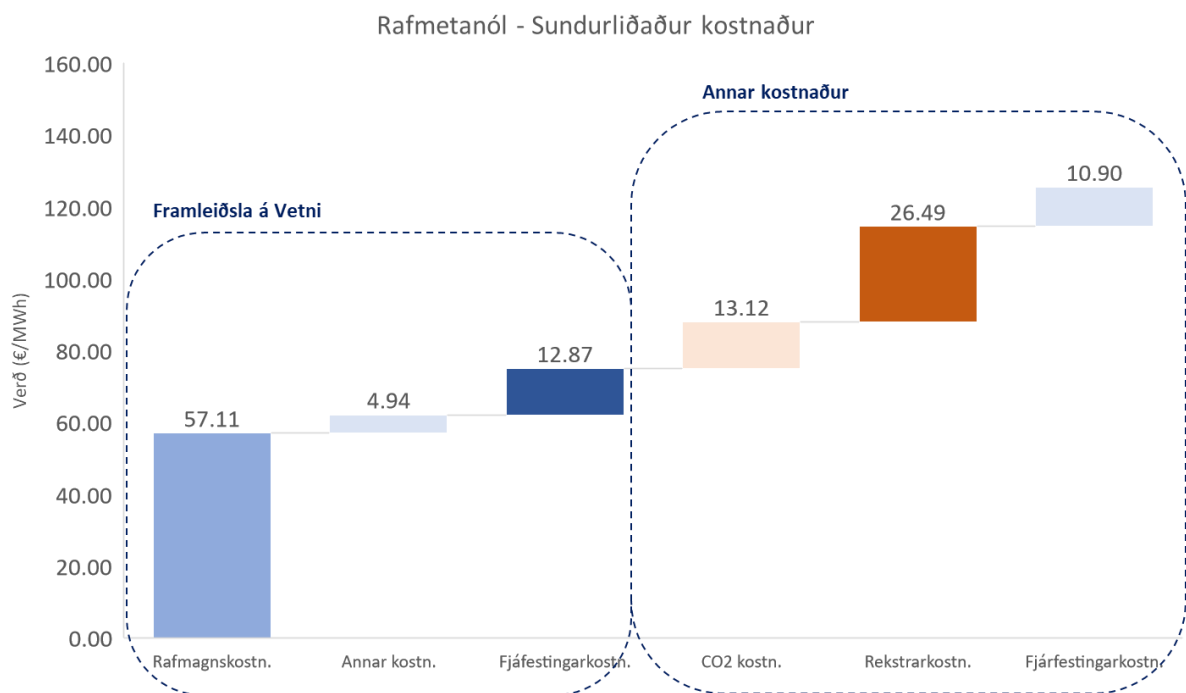


## Rafmetanól

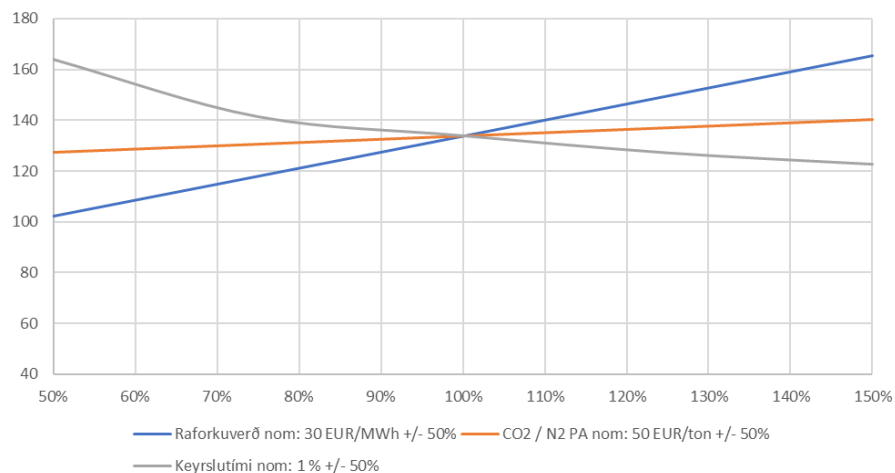
Kostnaður við framleiðslu rafmetanóls var áætlaður út frá gögnum frá framleiðendum og öðrum upplýsingum, en notast var við sama grunnkostnað og við vetnisframleiðslu sem og kostnað við föngun á CO<sub>2</sub> til að tryggja samanburðarhæfi. CRI hefur framleitt rafmetanól í Svartsengi í um áratug og þar eru kostnaðartölur mögulega aðrar sem og öðrum aðilum sem bjóða heildarlausnir.

Rafmetanól kemur til greina sem eldsneyti fyrir skip og samgöngutæki á landi auk þess sem það er notað fyrir grænan efnaiðnað.

Mynd 17: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafmetanól.



## Næmnigreining - Verð á rafmetanól €/MWh

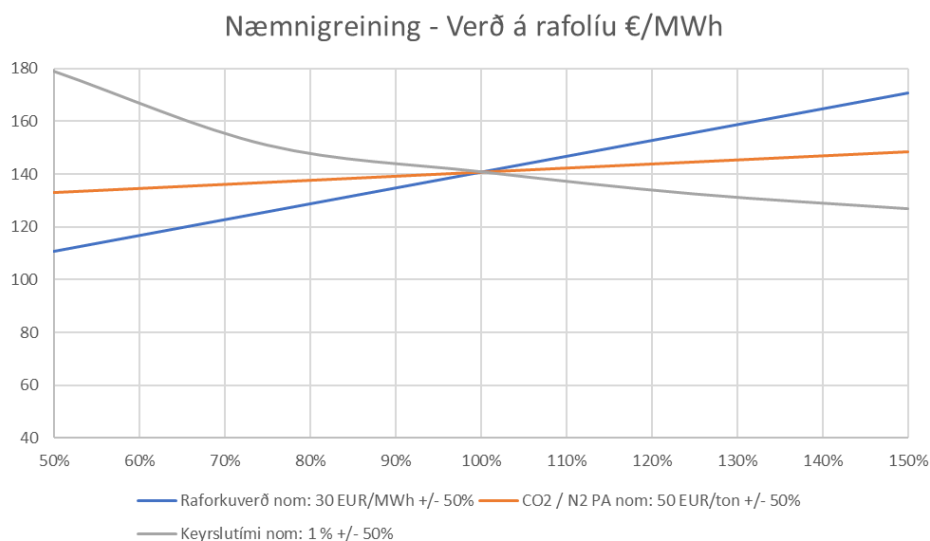
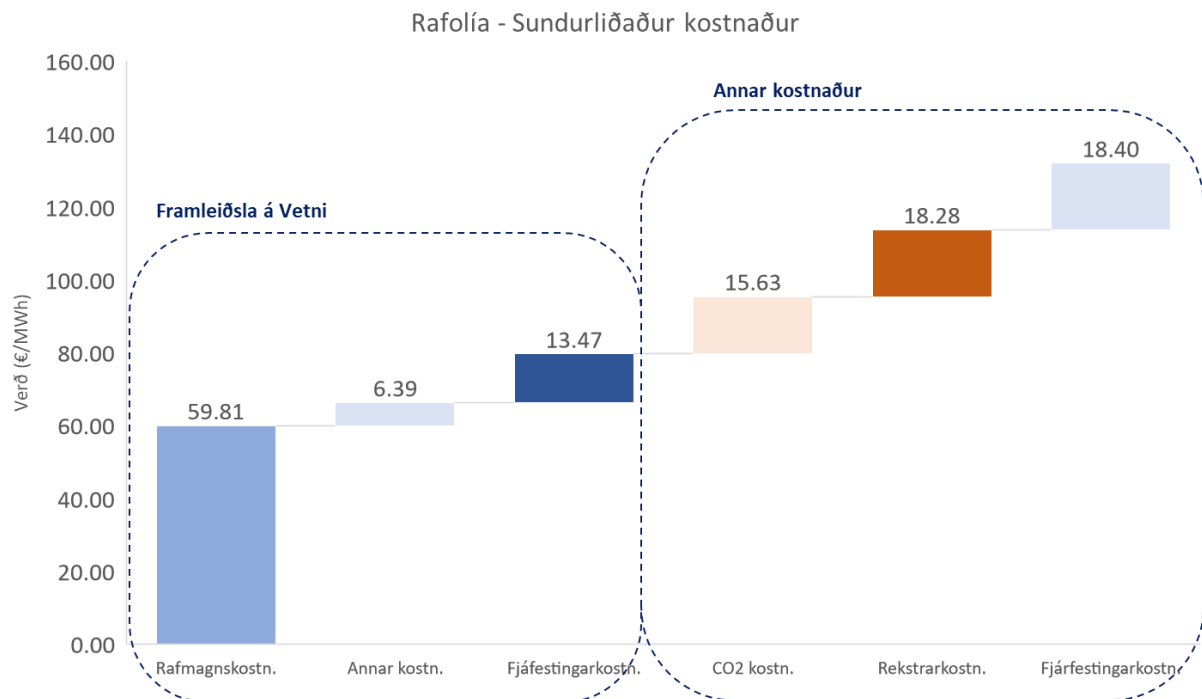


# Rafolía

Framleiðsla á rafolíu er í dag talin „dýrust“ af þeim lausnum sem hér eru til samanburðar. Rafolíuna þarf að meðhöndla eins og hráolíu og hún þarf því að fara í olíuhreinsistöð. Þó er mögulegt að framleiða skipaolíu á staðnum úr litlum hluta framleiðslunnar með því að nota viðbótarbúnað. Afleiddar vörur úr rafolíu eru

þær sömu og fást úr hráolíu: gas, bensín, flugvélaeldsneyti, dísilolía og vax, sem nýtist t.d. sem hráefni í ýmsan grænan iðnað.

Mynd 18: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafolía.



# Samanburður á framleiðslu rafolíu með mismunandi rafgreinum

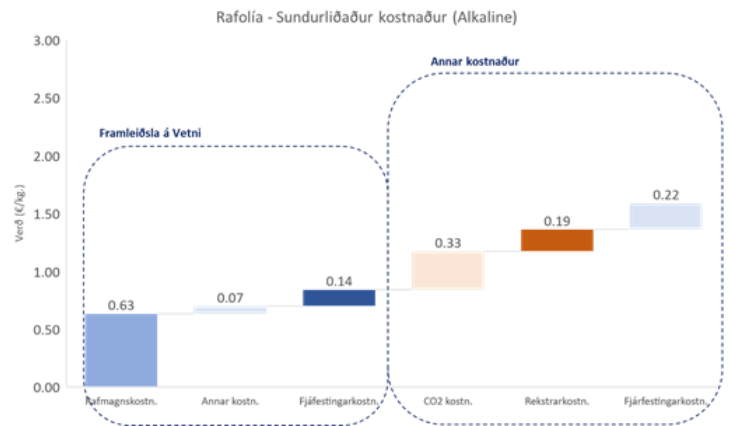
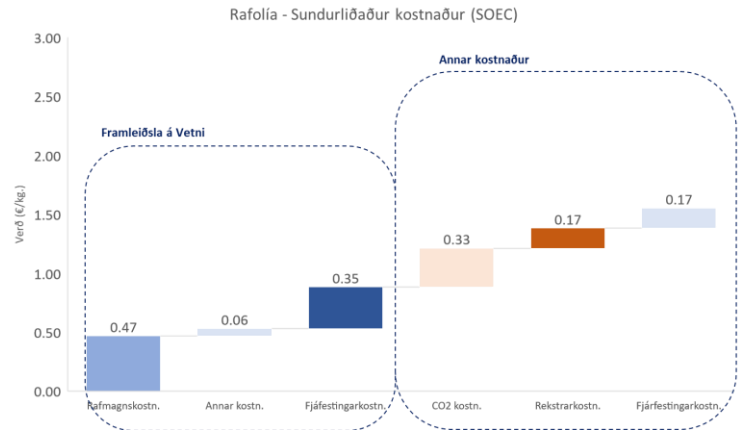
Þetta verkefni miðaði upphaflega við fýsileikagreiningu fyrir framleiðslu á rafolíu og því er reiknilíkanið nákvæmara fyrir þá framleiðslu.

Til að meta kostnaðarmun og orkunýtingu við framleiðslu á sams konar rafeldsneyti með mismundi tæknibúnaði var gerður samanburður á framleiðslukostnaði rafolíu með mismunandi framleiðsluaðferðum, það er með Alkaline-rafgreini og SOEC- rafgreini frá þýska framleiðandanum Sunfire.

Niðurstöður miðað við þær forsendur sem notaðar voru í reiknilíkaninu sýna svipaðan framleiðslukostnað fyrir dæmin tvö sem skoðuð voru ef framleiðsla ætti að hefjast innan tveggja til þriggja ára.

Ástæðan er fyrst og fremst sú að SOEC-rafgreinirinn er ennþá mjög dýr. Því vegur lægri fjárfestingarkostnaður Alkaline-rafgreinisins upp á móti betri nýtni SOEC-rafgeimisins þannig að „vetnið“ verður ódýrara með Alkaline-rafgreininum.

Hins vegar er lægri fjárfestingarkostnaður í síðari hluta ferlisins (*FP-further processing*) í tilfalli SOEC sem gerir það að verkum að heildarkostnaður er ívið lægri hjá SOEC.



Mynd 19: Sundurliðaður framleiðslukostnaður fyrir rafolíu / SOEC- vs. Alkaline-rafgreinar (Eur/kg.)

## Alkaline - rafgreinir

Vetni framleitt með alkaline-rafgreini, koltvísýringi er umbreytt yfir í kolmónoxíð í svokölluðum RWGS (e. Reverse Water Gas Shift reactor).

Þaðan fara gösin yfir í Fischer Tropsch-efnaferli þar sem rafolían verður til.

### Water-Electrolysis + RWGS + Synthesis



VS.

## SOEC – rafgreinir (frá Sunfire)

Vatni og koltvísýringi er umbreytt í vetni og kolmónoxíð í háhitarafrgreini (e. SOEC-Solid Oxide Electrolyser og e. CO2-reducer).

SOEC- rafgreinirinn er sem stendur skammt kominn í þróunferlinu. Takmörkuð framleiðsla smærri eininga er hafin.

Reiknað er með að þróun tækninnar á næstu 5-15 árum skili ódýrari rafgreinum sem nýta orkuna betur en Alkaline-rafgreinar gera í dag. Auk þess munar miklu að þurfa ekki að notast við RWGS-reactor.

### Co-Electrolysis + Synthesis



# Valkostagreining:

Til að leggja mat á hvaða rafeldsneyti sé vænlegast til framleiðslu og mæti best þörfum samgangna þarf að horfa til margra þátta, svo sem mismunandi eiginleika sem rafeldsneytið þarf að uppfylla

Engin ein tegund rafeldsneytis hentar öllum tegundum samgangna

Rafeldsneyti er enn sem komið er dýrari orkugjafi til samgangna en jarðefnaeldsneyti. Ábyrg auðlindanýting vegur nú þyngra í vali á orkugjöfum en áður og magn skaðlegra efna sem frá þeim koma. Líklegt þykir að þróunin verði sú að það eldsneyti sem verður hagkvæmast í framleiðslu, að teknu tilliti til orkunýtni og umhverfismála, verði ofan á.

## Rafeldsneyti býður upp á nýjar lausnir sem þarf að þróa frekar til að uppfylla væntingar markaðarins

Til að leggja mat á fýsileika einstakra tegunda rafeldsneytis var stuðst við AHP-samanburðaraðferð (e. Analytic Hierachy Process) sem er hjálpleg þegar velja þarf á milli margra og ólíkra kosta.

Valdir voru sjö þýðingarmiklir eiginleikar sem rafeldsneyti þarf að uppfylla og þeim gefnar einkunnir miðað við notkun í hverjum samgöngugeira. Eiginleikarnir sem voru valdir og taldir eru mikilvægir fyrir allt ferlið eru:

- Tæknilega tilbúin framleiðsla
- Hagkvæmni í framleiðslu
- Geymslueiginleikar/innviðir
- Notendur tilbúnir
- Skaðsemi/öryggi
- Lög og reglur
- Markaðshorfur

Hafa þarf í huga að vægi einstakra eiginleika getur verið misjafnt á milli samgangna á landi, sjó og í lofti. Til að nýta önnur rafeldsneyti en afleiður rafolíu er þörf á að breyta vélbúnaði og orkugeymslu núverandi samgöngutækja að litlu eða öllu leyti. Breytingarnar eru mislangt á veg komnar og líftími samgöngutækja mislangur eftir því hvort um er að ræða samgöngur á landi, sjó eða í lofti.

Á mynd 21 til 23 hér á eftir eru bornir saman eiginleikar hvers rafeldsneytis fyrir sig fyrir samgöngur á landi, sjó og í lofti. Eiginleikar rafeldsneytis geta verið misjafnir á milli samgöngugeira, og þar ræður miklu hversu þróuð geymslutæknin og innviðir eru fyrir viðkomandi rafeldsneyti og hvort fólk og umhverfi stafi hætta af notkun þess.

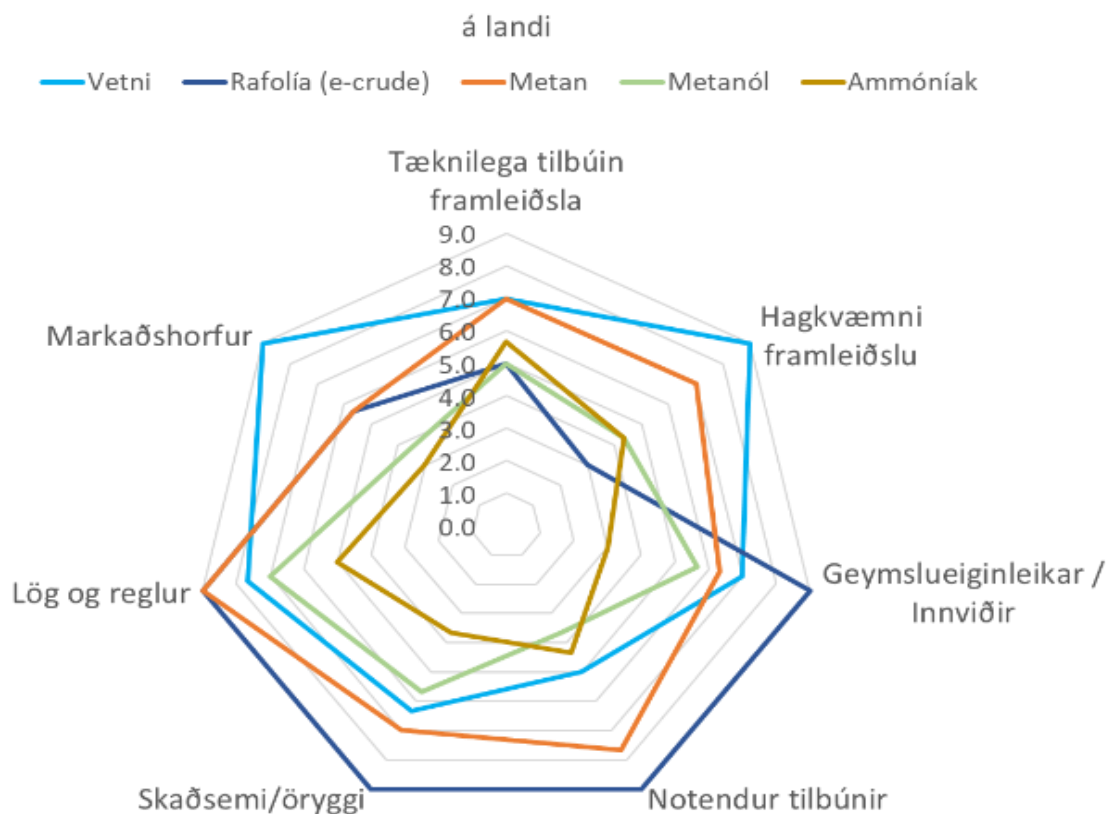
Af þessari valkostagreiningu má ráða á hvaða þroskastigi framleiðsla, innviðir, notendur og markaðir viðkomandi rafeldsneytis er. Einstaka rafeldsneyti hentar betur sem eldsneyti en aðrir eiginleikar þess eru aftur á móti skemmra á veg komnir og draga því úr fýsileika þess

# Á landi

Á landi hafa orkuskipti gengið hraðar fyrir sig og safnast upp reynsla af tilraunum með mismunandi orkugjafa. Þróaðar hafa verið aðferðir til að nýta rafmagn, vetni, metan og metanól sem orkugjafa og hráolíuafleiður hafa verið notaðar í rúma öld. Allar þessar tegundir rafeldsneytis má nú fá framleidd úr endurnýjanlegri frumorku.

Á landi er endurnýjun samgöngutækja hraðari en á sjó og í lofti sem gerir það að verkum að þar geta orkuskiptin gengið hraðar fyrir sig.

Mynd 20: Samanburður á tegundum rafeldsneytis út frá mismunandi eiginleikum á landi



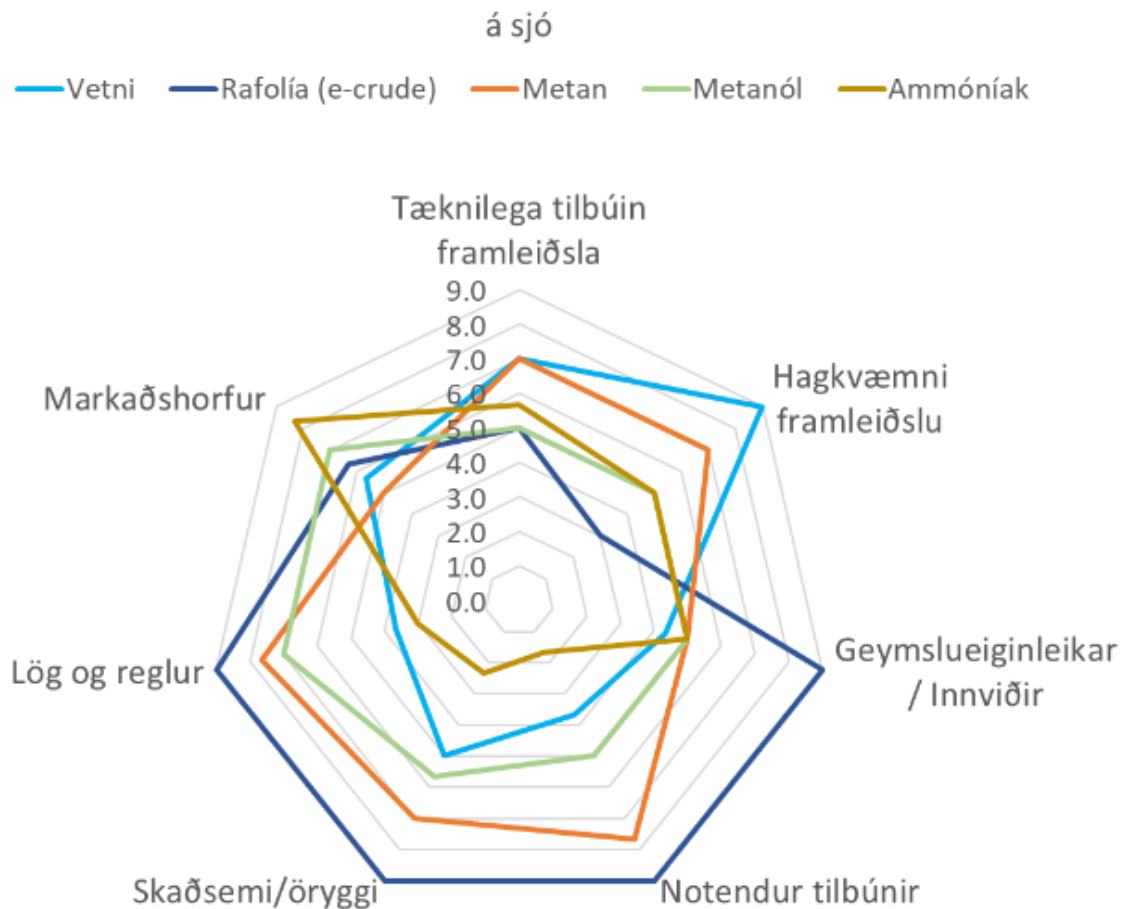
# Á sjó

Á sjó hefur jarðefnaeldsneyti verið nær allsráðandi og litla reynsla að hafa enn sem komið er af öðrum eldsneytistegundum. Þó hafa skip notast við LNG (vökvagert metangas) og metanól með góðum árangri. Nýting vetnis og rafammóníaks í skipum hefur verið mikið í umræðunni og er þá helst horft til vetnis á skip sem sigla stuttar ferðir nálægt landi en rafammóníak á skip sem sigla langferðir á opnu hafi. Líklegt er að mörg ár líði þar til vetni og ammóníak verða ráðandi eldsneytistegundir á skipum þar sem enn vantar vottaða hönnunarstaðla til þess að það megi. Auk þess er ólíklegt að öllum núverandi skipum verði breytt til að þau geti nýtt sér þær.

Talsverð umræða hefur verið um notkun rafmetanóls og rafolíuafleiðu sem eldsneytis á skipum. Þó svo að rafolíuafleiða sé dýr þá hentar hún vel á núverandi vélakost og getur komið sterk inn þegar haft er í huga að endurnýjun skipaflotans er hæg. Báðar þessar eldsneytistegundir losa koltvísýring og því skiptir máli varðandi kolefnissporið hvaðan hann er fenginn við framleiðslu eldsneytisins.

Einn áhugaverður kostur sem MAN og fleiri vélaframleiðendur hafa íhugað er að nota vélar sem geta nýtt mismunandi eldsneyti eftir því hvert framboðið er hverju sinni.

Mynd 21: Samanburður á tegundum rafeldsneytis út frá mismunandi eiginleikum á sjó



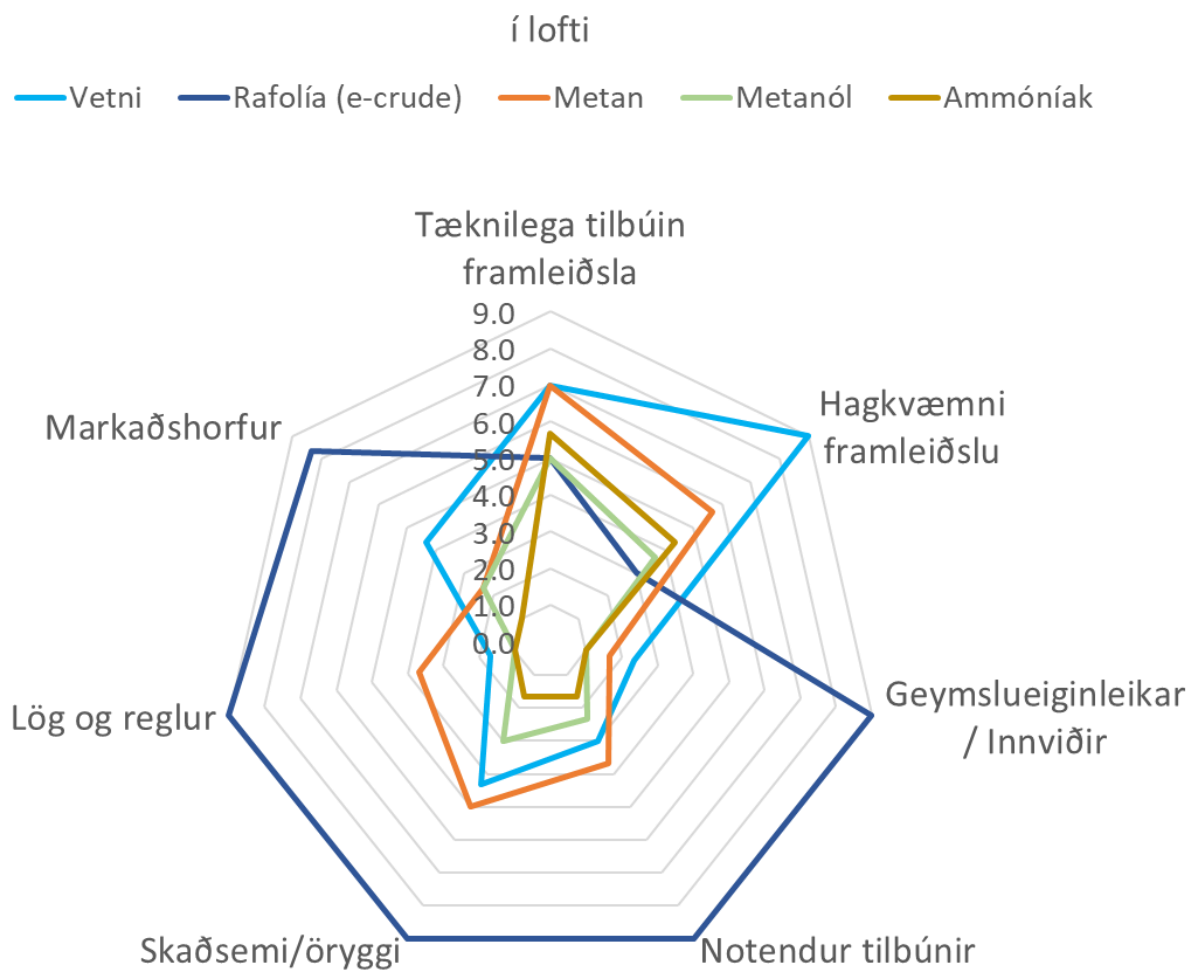


# Í lofti

Í lofti skipta öryggismál og geymslurýmd mestu máli og því hefur enn sem komið er verið lítið um raunhæfar tilraunir með nýjan vélakost þó svo að framtíðaráætlanir flugvélaframleiðenda miði að því að þróa rafmagns- og vetnisvélar eða nýta aðrar hreinorkulausnir. Þróun síðustu ára hefur einkenst af hönnun orkunýtnari véla.

Endurnýjun flugvéla hefur verið mikil undanfarin ár. Þróunar- og afgreiðslutími nýrra flugvéla er langur og má gera ráð fyrir að ný kynslóð vistvænni flugvéla komi ekki fram fyrir en eftir 10-15 ár.

*Mynd 22: Samanburður á tegundum rafeldsneytis út frá mismunandi eiginleikum í lofti*



# SVÓT-greining

Rafeldsneyti spila mikilvægt hlutverk í að minnka kolefnisspor mannkynsins

Rafeldsneyti er umhverfisvænn kostur í orkuskiptum samgangna

Greiningar sýna að til að ná kolefnishlutleysi þarf stór hluti samgöngutækja að nota annan orkugjafa en rafmagníð beint

Mismunandi tegundir rafeldsneytis geta verið ákjósanlegir kostir í orkuskiptum, sérstaklega í þungaflutningum á landi, sjó og í lofti.

SVÓT-greining er aðferð sem notuð er til að varpa ljósi á Styrkleika, Veikleika, Ógnanir og Tækifæri sem felast í fyrirsjáanlegum orkuskiptum.

Framleiðsla og notkun á vetni, rafammóníaki, rafmetani, rafmetanóli og rafolíu eru kostir sem munu þjóna hlutverki sem framtíðareldsneyti.

Markaðir eru óþroskaðir og upplýsingar um verðmyndun á rafeldsneyti eru takmarkaðar. Framleiðslukostnaður á rafeldsneyti mun verða hár í upphafi en lækka með aukinni hagkvæmni og tækniþróun framleiðslunnar.

Að framleiða rafeldsneyti á Íslandi er góður kostur þar sem aðgangi að endurnýjanlegri orku er ábyggilegt og þjóðhagslegur stöðugleiki ríkir. Um er að ræða langtímafjárfestingu á markaði sem mun verða mikilvægur í framtíðinni og styrkja orkusjálfstæði þjóðarinnar.



Styrkleikar

- Umhverfisvæn lausn, þar sem erfitt er að skipta út jarðefnaeldsneyti með beinni endurnýjanlegri orku
- Lágmarkar heildarkostnað við orkuskipti
- Gerir kleift að breyta endurnýjanlegu rafmagni í orkuform sem hægt er að flytja og geyma
- Nýtir umframframleiðslugetu í orkukerfinu
- Flýtt fyrir útskiptingu jarðefnaolíu og að ná því markmiði að verða kolefnislaust samfélag árið 2040
- Styður bæði við markmið í ESR og ETS
- Ný útflutningsgrein



Veikleikar

- Tilbúnað lausnir hvorki á stórum skala né hagkvæmar
- Markaðir óþroskaðir fyrir flestar tegundir rafeldsneytis
- Hár fjárfestingar- og rekstrarkostnaður
- Aðgangi að mismunandi koltvísýringi
- Regluverk í mótun og fælir fjárfesta frá



Ógnanir

- Dýrari vara en hefðbundið jarðefnaeldsneyti
- Aðgangi að koltvísýringi
- Erfitt að útskýra kolefnishlutleysi
- Óskýrt regluverk – hræðir fjárfesta frá
- Óskýr hlutverkaskipting ríkis og einkaframtaks
- Vöntun á rafmagni í framtíðinni til að anna framtíðareftirspurn



Tækifæri

- Fjárfestingar- og rekstrarkostnaður mun lækka á næstu 10 árum
- Vitundarvakning meðal almennings á umhverfisvænum orkukostum í samgöngum
- Aðlaga regluverk að framtíðarþörfum
- Stuðningur við framfarir

# PESTLE-greining

## Almenn vitundarvakning um að snúa við loftslagsþróun

### Til að raungera orkuskipti þarf umgjörð sem hvetur til fjárfestinga í rafeldsneytisverkefnum og skýrt regluverk og umhverfi hins nýja iðnaðar

Innan Evrópu hefur opinber umræða um rafeldsneyti aukist mikið síðustu árin en heimsmarkaður með rafeldsneyti er afar óþroskaður og að stíga sín fyrstu skref.

PESTLE-greining er aðferð til að bera kennsl á umhverfi og þá lykildrífkrafta sem þurfa að vera til staðar svo að breytingar geti raungerst.

Stefnumörkun er grunnurinn að því að ná kolefnishlutleysi. Mikilvægt er að hlutverk

vetnis og rafeldsneytis sé sýnilegt til að markmiðum verði náð.

Innan Evrópusambandsins er unnið að aðlögun regluverksins og hagrænum hvötum sem hraða notkun vetnis og rafeldsneytis .

Samhliða breyttu regluverki og tækni framförum mun myndin skýrast frekar á notendahlíðinni.

#### Pólitískt umhverfi

- Styrkveitingar sértækar og ófyrirséðar
- Samningar milli landa í mótun
- Togstreita milli orkunýtingar og verndunar
- Óvissa um langtíma þverpólitíska samstöðu
- Skattastefna samþætt jarðefnaeldsneyti

#### Efnahagslegt umhverfi

- Efnahagslegur stöðugleiki
- Gengissveiflur krónunnar
- Stuðningur við orkuskipti í samgöngum
- Þjóðhagslegur ábati af framleiðslu eldsneytis fyrir heimamarkað
- Styrkir stoðir undir nýjan iðnað
- Styður við arðsemi orkuiðnaðarins

#### Samfélagslegt umhverfi

- Breytt viðmið varðandi orkugjafa
- Vitund fyrirtækja aukist gagnvart umhverfismálum
- Vitund almennings um orkuskipti og loftlagsmál
- Samfélagsleg ábyrgð gagnvart jörðinni og meðvitund um til hvaða aðgerða þurfi að grípa til að ná árangri

#### Tæknilegir þættir

- Gagnreynd tækni verður að þróast frá því að vera tilraunaverkefni yfir í framleiðslu á stórum skala
- Tæknilegur fjárfestingarkostnaður þarf að lækka
- Staðlaðar lausnir á tæknibúnaði ekki til staðar

#### Umhverfisþættir

- Viðhorf stjórnvalda og almennings til umhverfismála jákvæð
- Vantar sameiginlega sýn á hvernig auka megi framleiðslu endurnýjanlegrar orku sem leiðir til þess að kolefnisspor minnkar
- Mat á umhverfisáhrifum framleiðslu jarðefnaeldsneytis vs. vistæns eldsneytis

#### Lagalegir þættir

- Vantar sértækar reglugerðir
- Reglugerðir um eldsneytisframleiðslu sniðnar að jarðefnaeldsneyti – ekki rafeldsneyti
- Óskýrar reglugerðir um notkun koltvísýrings til framleiðslu á rafeldsneyti
- Reglugerðir um notkun rafeldsneytis í skipum og flugvélum ekki til staðar

# Hugtakalisti

**CO<sub>2</sub>**: Koltvísýringur, einnig kallað koltvíoxíð.

**CO<sub>2</sub>-ígildi**: Koltvíoxíðígildi. Eitt tonn af koltvíoxíðsígildum samsvarar einu tonni af CO<sub>2</sub> eða því magni gróðurhúsalofttegunda sem hefur sambærilegan hnatthlúnunarmátt.

**Endurnýjanlegir orkugjafar**: Orkugjafar sem eru ekki jarðefnaeldsneyti heldur af endurnýjanlegum uppruna, hvort heldur sem er lífrænum eða ólífrænum, þ.e. vatnsorka, vatnsvarmaorka, jarðvarmi, vindorka, sólarorka, sjávarorka, lífmassi, hauggas, lífgas og gas frá skólphreinsistöðvum.

**Endurnýjanlegt eldsneyti**: Eldsneyti sem er unnið úr endurnýjanlegum orkugjöfum, svo sem lífdísill, etanól, metanól, vetni og metan.

**ESR**: Effort Sharing Regulation. Reglugerð um sameiginlegar efndir. Sú losun sem er á beinni ábyrgð hvers ríkis.

**ETS**: Emission Trading System. Viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir.

**Föngun kolefnis**: Þegar CO<sub>2</sub> er fjarlæggt úr efnisstraumi í iðnaði og komið í veg fyrir að það fari út í andrúmsloftið (e. carbon capture).

**Gróðurhúsalofttegund**: Lofttegund sem veldur gróðurhúsaáhrifum, svo sem koltvísýringur (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), köfnunarefnisdíoxíð (N<sub>2</sub>O) og F-gös.

**Lífeldsneyti**: Endurnýjanlegt eldsneyti, í formi vökva eða gass, sem unnið er úr lífmassa (e. bio fuel).

**LULUCF**: Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt.

**Nettólosun**: Losun gróðurhúsalofttegunda að frádreginni bindingu kolefnis úr andrúmslofti (e. net emissions).

**Rafeldsneyti**: Eldsneyti sem er unnið úr endurnýjanlegum orkugjöfum s.s. rafmetanól, vetni, rafolía, rafmetan og rafammóníak.

**Staðalaðstæður**: Umhverfisaðstæður sem reynt er að hafa ríkjandi þegar efnafræðilegar tilraunir eru framkvæmdar. Þessar stöðluðu aðstæður eru *stofuhiti*, þ.e. 20 gráðu hiti og *staðalþrýstingur*, þ.e. loftþrýstingur, 1 loftþyngd.

# Töflur og myndir

Tafla 1: Litir vetnis - samanburður. ....	20
Tafla 2: Eignileikar mismunandi rafgreina. ....	21
Mynd 1: Hlutfallsleg skipting losunar á Íslandi fyrir árið 2018.....	9
Mynd 2: Þróun á hlutfalli endurnýjanlegrar orku í frumorkunotkun á Íslands eftir samanburðarárum. ....	12
Mynd 3: Sala á innfluttu eldsneyti - hlutfallsleg skipting 2019. <sup>16</sup> .....	13
Mynd 4: Fjöldi farartækja og árleg CO <sub>2</sub> -losun - fólksbifreiðar og stærri ökutæki. <sup>19</sup> .....	14
Mynd 5: Fjöldi skipa eftir tegund árin 2000, 2010 og 2019. <sup>22</sup> .....	15
Mynd 6: Rafeldsneyti, helstu tegundir, framleiðsluferli og notendur <sup>25</sup> .....	17
Mynd 7: Spá um þróun á rafeldsneytisverði 2020–2050 í samanburði við lífdísil og jarðefnabensín/dísil. <sup>26</sup> .....	18
Mynd 8: Spá um þróun á fjárfestingarkostnaði (CAPEX) mismunandi rafgreina til 2050 (Eur á hverja framleiðslueiningu). <sup>28</sup> .....	21
Mynd 9: Olíusala á Íslandi 2008-2019 í samanburði við þá raforku sem þarf til að framleiða rafolíu til að skipta út allri núverandi notkun jarðefnaeldsneytis. ....	28
Mynd 10: Dæmigerð ástíðabundin vinnslugeta og sala úr orkukerfi Íslands miðað við tæknilega framleiðslugetu véla og nægar orkuauðlindir. <sup>33</sup> .....	28
Mynd 12: Gróðurhúsalofttegundir af mannavöldum – hlutfallsleg magnskipting. <sup>37</sup> .....	30
Mynd 13: Framleiðsluverð (án þjöppunar og geymslu) rafeldsneytis sem fall af breytilegum raforkukostnaði.....	35
Mynd 14: Orkuinnihald miðast við rúmmál og þyngd. (Flokkun með tilliti til geymslubúnaðar og umgjörðar hans (breytilegt milli notenda). ....	36
Mynd 15: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafvetni.....	38
Mynd 16: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafammóníak.....	39
Mynd 17: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafmetan.....	40
Mynd 18: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafmetanól. ....	41
Mynd 19: Sundurliðaður kostnaður og næmnigreining - rafólía. ....	42
Mynd 20: Sundurliðaður framleiðslukostnaður fyrir rafolíu / SOEC- vs. Alkaline-rafgreinar (Eur/kg.)	43
Mynd 21: Samanburður á tegundum rafeldsneytis út frá mismunandi eiginleikum á landi .....	45
Mynd 22: Samanburður á tegundum rafeldsneytis út frá mismunandi eiginleikum á sjó .....	46
Mynd 23: Samanburður á tegundum rafeldsneytis út frá mismunandi eiginleikum í lofti .....	47

# Heimildir

1. Evrópubandalagið. [https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/overall-targets\\_en](https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/overall-targets_en)
2. Umhverfis- og auðlindaráðuneytið. Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum. <https://www.stjornarradid.is/verkefni/umhverfi-og-natturuvernd/loftslagsmal/adgerdaaetlun-i-loftslagsmalum/markmid-og-skuldbindingar/>
3. Umhverfis- og auðlindaráðuneytið. ETS: Flug og iðnaður. <https://www.stjornarradid.is/verkefni/umhverfi-og-natturuvernd/loftslagsmal/adgerdaaetlun-i-loftslagsmalum/adgerdirnar/ets-flug-og-idnadur/>
4. Umhverfisstofnun. Losun gróðurhúsalofttegunda. <https://www.ust.is/loft/losun-grodurhusalofrttegunda/>
5. Umhverfis- og auðlindaráðuneytið. Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum. <https://www.stjornarradid.is/verkefni/umhverfi-og-natturuvernd/loftslagsmal/adgerdaaetlun-i-loftslagsmalum/markmid-og-skuldbindingar/>
6. Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytið. Orkustefna Íslands. <https://www.stjornarradid.is/verkefni/audlindir/orkumal/orkustefna-fyrir-island/>
7. Orkustofnun. Eldsneytisnotkun. <https://orkustofnun.is/eldsneyti/>
8. International Energy Agency. [www.iea.org](http://www.iea.org)
9. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/energy#more-than-80-of-our-energy-still-comes-from-fossil-fuels>
10. Eurostat. [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg\\_ind\\_ren/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren/default/table?lang=en)
11. Samorka. Saga orkuskipta á Íslandi. <https://www.samorka.is/saga-orkuskipta-a-islandi/>
12. Orkustofnun. Orkustofnun (2019). OS-2019-T011-01: Sparnaður í losun koldíoxíðs með endurnýjanlegri orku í stað olíu [tölvuskjal].
13. Orkustofnun. Orkustofnun (2019). OS-2019-T010-01: Efnahagslegur ávinningur af nýtingu jarðvarma í stað olíu til húshitunar á Íslandi [tölvuskjal].
14. Hagstofan. Efnahagur, Utanríkisverslun. [www.hagstofa.is](http://www.hagstofa.is)
15. Fjársýsla ríkisins. Ríkisreikningur 2019. <https://www.stjornarradid.is/library/01--Frettatengt---myndir-og-skrar/FJR/R%c3%adkisarreikningur%202019.pdf>
16. Orkustofnun. Orkustofnun (2019). OS-2019-T005-01: Þróun olíusölu eftir geirum á Íslandi 1982–2018.
17. Orkustofnun. Eldsneyti. <https://orkustofnun.is/eldsneyti/eldsneytisblad>
18. Evrópubandalagið. RED II, Renewable energy directive 2018/2001/EU
19. Samgöngustofa. Byggt á gögnum frá Samgöngustofu. <https://www.samgongustofa.is/umferd/tolfraedi/onnur-tolfraedi/>
20. Powerfuels. [https://www.powerfuels.org/fileadmin/powerfuels.org/Dokumente/dena\\_BR\\_GAP-Paper\\_Implementation-RED\\_II-WEB.pdf](https://www.powerfuels.org/fileadmin/powerfuels.org/Dokumente/dena_BR_GAP-Paper_Implementation-RED_II-WEB.pdf)
21. Orkustofnun. Eldsneyti. <https://orkustofnun.is/eldsneyti/eldsneytisblad>
22. Hagstofan. [www.hagstofa.is](http://www.hagstofa.is)
23. Icefuel. Rannsókn Icefuel á meðaleyðslu togara og uppsjávarskipa feb. 2021.
24. Statista. <https://www.statista.com/statistics/751440/aviation-industry-aircraft-fleet-age-by-region/>
25. Powerfuels. <https://www.powerfuels.org/powerfuels/>
26. Sunfire. Kynning á vegum Nýorku frá Sunfire mars 2021.

27. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Abundance\\_of\\_the\\_chemical\\_elements](https://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_the_chemical_elements)
28. Fraunhofer Institute. NOW GmbH, Fraunhofer Institute, 2018.
29. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Methane>
30. Carbon Recycling International. Desember 2020.
31. Powerfuels.  
[https://www.powerfuels.org/fileadmin/powerfuels.org/Dokumente/Global\\_Alliance\\_Powerfuels\\_Study\\_Powerfuels\\_in\\_a\\_Renewable\\_Energy\\_World.pdf](https://www.powerfuels.org/fileadmin/powerfuels.org/Dokumente/Global_Alliance_Powerfuels_Study_Powerfuels_in_a_Renewable_Energy_World.pdf)
32. Orkustofnun. <https://orkustofnun.is/gogn/Skyrslur/OS-2016/OS-2016-06.pdf>
33. Icefuel. Samsett mynd.
34. Vísindavefurinn. Hve mikið er af koltvísýringi kringum jörðina?  
<https://www.visindavefur.is/svar.php?id=352>
35. Vísindavefurinn. Hvað veldur gróðurhúsaáhrifum. <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=4686>
36. Evrópubandalagið. Climate actions. [https://ec.europa.eu/clima/change/causes\\_en](https://ec.europa.eu/clima/change/causes_en)
37. NSW EPA. Anthropomorphic (man-made) Greenhouse Gases. <https://www.epa.nsw.gov.au/>

Dansk Energi. Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X.  
<https://www.danskeenergi.dk/udgivelser/anbefalinger-til-dansk-strategi-power-to-x>





