



## ORKUSKIPTI SKIPA

Möguleikar á orkuskiptum á sjó

05.11.2019





## SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

### SKJALALYKILL

2463-010-SKY-001-V01

### SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

01 / 38

### VERKEFNISSTJÓRI – FULLTRÚI VERKKAUPA

Hugi Ólafsson

### VERKEFNISSTJÓRI – EFLA

Jón Vilhjálmsson

### LYKILORÐ

Orkuskipti, skip, endurnýjanlegt eldsneyti

### STAÐA SKÝRSLU

- Í vinnslu
- Drög til yfirlstrar
- Lokið

### DREIFING

- Opin
- Dreifing með leyfi verkkaupa
- Trúnaðarmál

### TITILL SKÝRSLU

Orkuskipti skipa

### VERKHEITI

Orkuskipti í skipum

### VERKKAUPI

Umhverfisráðuneytið

### HÖFUNDUR

Ágústa Loftsdóttir

### ÚTDRÁTTUR

Orkuskipti á sjó hafa enn ekki átt sér stað hérlendis. Erlendis er vinna við orkuskipti á sjó hafin en hefur ekki náð mikið lengra nema á stöku stað í einstökum geirum. Hér eru skoðaðir möguleikar á Íslandi vegna orkuskipta á sjó, bæði fyrir innlent og erlent eldsneyti.

**ÚTGÁFUSAGA**

| <b>NR.</b> | <b>HÖFUNDUR</b>       | <b>DAGS.</b> | <b>RÝNT</b>      | <b>DAGS.</b> | <b>SAMÞYKKT</b>      | <b>DAGS.</b> |
|------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|----------------------|--------------|
| 01         | Ágústa S. Loftsdóttir | 05.11.19     | Jón Vilhjálmsson | 05.11.19     | Jón Vilhjálmsson     | 06.11.19     |
|            | Lýsing                |              |                  |              |                      |              |
| 02         | Höfundur útgáfu       | 29.12.16     | Nafn rýnis       | 30.12.16     | Nafn samþykktaraðila | 31.12.16     |
|            | Lýsing                |              |                  |              |                      |              |
| 03         | Höfundur útgáfu       | 29.12.16     | Nafn rýnis       | 30.12.16     | Nafn samþykktaraðila | 31.12.16     |
|            | Lýsing                |              |                  |              |                      |              |
| 04         | Höfundur útgáfu       | 29.12.16     | Nafn rýnis       | 30.12.16     | Nafn samþykktaraðila | 31.12.16     |
|            | Lýsing                |              |                  |              |                      |              |

## SAMANTEKT

Íslensk stjórnvöld verða líklega ekki þau sem ákveða hvaða eldsneyti verður notað í millilandasiglingum í framtíðinni. En stjórnvöld hér geta að minnsta kosti haft eitthvað um það að segja hvort nýtt eldsneyti verði selt hér, geta haft áhrif á hraða upptöku nýs eldsneytis hérlendis og geta haft mikið um það að segja hvaða eldsneyti fer á fiskiskip og báta sem eru ekki í millilandasiglingum.

Vegna þess hve óvíst er um framtíðareldsneyti á sjó – og jafnframt til hvaða aðgerða Alþjóðasiglinga-málastofnunin mun grípa til að hvetja til samdráttar í losun – þá er líklega heppilegast að stjórnvöld byrji á aðgerðum sem gera ekki upp á milli eldsneytistegunda, sérstaklega þar sem um er að ræða millilandasiglingar.

Líftími skipa er langur, 25-30 ár að meðaltali. Þetta þýðir að það sem verður gert í dag mun hafa áhrif árið 2050 og lengur. Því er bráðnauðsynlegt að horfa lengra fram en til 2030 og haga aðgerðum í samræmi við það.

Söluskylda á eldsneyti á landi hefur reynst vel, og er því kostur sem liggur beint við að skoða. Líklegt er að slík söluskylda myndi hafa svipuð áhrif á sjó og á landi, og stærsti hluti endurnýjanlega eldsneytisins yrði fluttur inn, að minnsta kosti til að byrja með. En líkt og bílaeigendur myndu skipaeigendur fara að leita að öðrum kostum, séu tæknilausnirnar í boði, hliðstætt við það sem hefur gerst á undanförunum árum með rafbílavæðingu. Þá skiptir máli hvaða lausnir eru aðgengilegar, ekki bara að tæknin sé til heldur hvernig og hvort nýjar lausnir njóti ívilnana hjá hinu opinbera.

Það liggur beint við að nýta þá reynslu og þekkingu sem til er hérlendis vegna smábátaútgerða og smíða að hvetja til tilraunaverkefna með framtíðareldsneyti og greininga á mismunandi eldsneytis- og vélakostum. Slík verkefni undirbúa orkuskipti til framtíðar.

Áhersla skipaeigenda á orkuverð og kostnaðar við val á eldsneyti, reynsla af orkuskiptum á landi, og reynsla Norðmanna við minnkun NOx mengunar benda öll til þess að efnahagslegar aðgerðir séu langlíklegastar til að hafa áhrif.

## EFNISYFIRLIT

|  |           |
|--|-----------|
| <b>SAMANTEKT</b>   | <b>5</b>  |
| <b>1 INNGANGUR</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2 ORKUNOTKUN SKIPA</b>  | <b>9</b>  |
| 2.1 Rauntölur og spá um eldsneytisnotkun skipa                     | 9         |
| 2.2 Erlendar spár og sviðsmyndir um skip og eldsneytisnotkun skipa | 11        |
| 2.3 Millilandasiglingar  | 14        |
| 2.4 Fiskiskip og smábátar  | 15        |
| <b>3 NÝTT ELDSNEYTI Á SJÓ</b>                                      | <b>16</b> |
| 3.1 Lífolía  | 17        |
| 3.1.1 Lífolía – repjuolía á Íslandi                                | 17        |
| 3.1.2 HVO  | 19        |
| 3.1.3 FAME og notuð steikingarfeiti (UCO)                          | 20        |
| 3.2 Lífgas og jarðgas  | 20        |
| 3.3 Alkóhól úr lífmassa  | 21        |
| 3.4 Rafeldsneyti   | 21        |
| 3.4.1 Metanól  | 22        |
| 3.4.2 Vetni  | 22        |
| 3.4.3 F-T dísilolía  | 23        |
| 3.4.4 Raforka  | 23        |
| 3.4.5 Ammóníak   | 24        |
| 3.5 Samanburður eldsneytistegunda                                  | 24        |
| <b>4 KOSTNAÐUR</b>   | <b>27</b> |
| 4.1 Orkuverð   | 27        |
| 4.2 Vélakostnaður og kostnaður við innviði                         | 28        |
| 4.3 Verðspá IRENA  | 29        |
| <b>5 REYNSLUNNI RÍKARI</b>   | <b>32</b> |
| 5.1 Endurnýjanlegt eldsneyti í samgöngum á landi                   | 32        |
| 5.1.1 Íblöndun innlends eldsneytis                                 | 32        |
| 5.1.2 Samlegðaráhrif   | 33        |
| 5.1.3 Áhrif hins opinbera  | 33        |
| 5.2 Orkuskipti á sjó erlendis                                      | 34        |
| <b>6 HEIMILDIR</b>   | <b>37</b> |

## MYNDASKRÁ

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <b>MYND 1</b>  | Eldsneytisnotkun skipa í kílótonnum olúígilda, rauntölur og spá frá 2016. Einungis er tekið tillit til þess eldsneytis sem selt er hérlandis. Heimild: Orkustofnun (2019). OS-2019-T005-01: Þróun olúsölu eftir geirum á Íslandi 1982 – 2018 og Eldsneytisspá 2016 – 2050. _____                | 9  |
| <b>MYND 2</b>  | Samanburður á orkunotkun fiskiskipa í eldsneytisspá og sviðsmynd 3. Heimild: Sviðsmyndir um eldsneytisnotkun 2016 – 2050. _____   | 11 |
| <b>MYND 3</b>  | Samsetning skipa í heiminum, auk þeirra sem eru í smíðum. Heimild: DNV GL. _____  | 12 |
| <b>MYND 4</b>  | Losun koldíoxíðs frá sjóflutningum á heimsvísu, sviðsmynd (sjálfbær þróun, SDS) alþjóðaorkumálastofnunarinnar IEA og markmið alþjóðasiglingamálastofnunarinnar. Heimild: IEA. _____   | 13 |
| <b>MYND 5</b>  | Munur á sviðsmyndum IEA varðandi endurnýjanlegt eldsneyti á sjó, annars vegar óbreytt ástand og hins vegar sjálfbær þróun (SDS). Heimild: IEA. _____  | 13 |
| <b>MYND 6</b>  | Framleiðsla rafeldsneytis. Kolefnisríku hráefni er breytt í kolmónoxíð og koldíoxíð með gösun og vatni er breytt í vetni með raforku. Gösin eru látin hvarfast saman til að framleiða eldsneyti. Nýtanleg orka í eldsneytinu kemur úr raforkunni sem notuð var við rafgreiningu vatnsins. _____ | 21 |
| <b>MYND 7</b>  | Verðþróun lífeldsneytis miðað við verðþróun jarðefnaeldsneytis. Annars vegar er litið til alkóhóla og hins vegar lífólú eða annars lífeldsneytis sem blandast í gasólú. Heimild: IRENA. _____   | 30 |
| <b>MYND 8</b>  | Verðþróun metanóls miðað við verðþróun jarðefnaeldsneytis. Heimild: IRENA. _____  | 30 |
| <b>MYND 9</b>  | Verðþróun vetnis miðað við verðþróun jarðefnaeldsneytis. Skoðað er vetni framleitt með sólarcellum (PV) og úr vindorku. Heimild: IRENA. _____   | 31 |
| <b>MYND 10</b> | Verðþróun ammóníaks miðað við verðþróun jarðefnaeldsneytis. Heimild: IRENA. _____   | 31 |
| <b>MYND 11</b> | Hlutfallsleg skipting orkugjafa í samgöngum á landi. Heimild: Orkustofnun. _____  | 33 |
| <b>MYND 12</b> | Mismunandi sýn ólíkra hópa haghafa á framtíðareldsneyti á sjó. Heimild: Julia Hansson et al. _____  | 35 |
| <b>MYND 13</b> | Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á orkuframleiðslu skipavélarinnar eftir eldsneytis- tegundum. Heimild: IRENA. _____  | 36 |

## TÖFLUSKRÁ

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <b>TAFLA 1</b> | Spá um hlutfall heildarsölu endurnýjanlegrar orku sem eldsneyti á skip, óháð tegund orku. Samanburður á BAU og S3 sviðsmyndum. Heimild: Eldsneytisspá 2016 – 2050 og Sviðsmyndir um eldsneytisnotkun 2016 – 2050. _____   | 10 |
| <b>TAFLA 2</b> | Myndræn samantekt á helstu innlendu eldsneytistegundunum. _____   | 25 |
| <b>TAFLA 3</b> | Myndræn samantekt á helstu innfluttu eldsneytistegundunum. _____  | 25 |
| <b>TAFLA 4</b> | Myndræn samantekt á helstu eldsneytistegundunum sem lítið eru framleidd. _____  | 25 |
| <b>TAFLA 5</b> | Orkugildi, geymsluþrýstingur og geymsluhitastig nokkurra eldsneytistegunda. Heimild: IRENA. _____   | 26 |
| <b>TAFLA 6</b> | Lauslegur samanburður á orkuverði í september 2019. Sum verð eru stjórnumerkt vegna þess að þessar orkutegundir geta farið á vélar sem eru 2-3 sinnum nýtnari en brunavélar. Slík verð eru því varla samanburðarhæf við þær orkutegundir sem fara á brunavélar. Sé nýtnin tekin með, samsvarar hún því að raforkan kosti 1,9 kr./MJ og vetni (á efnarafala) kosti 4,3 kr./MJ. _____ | 28 |

## 1 INNGANGUR

Orkuskipti á sjó eru í brennidepli um þessar mundir, ekki bara á Íslandi heldur alþjóðlega. Eitt og hálf árið síðan Alþjóðsiglingamálastofnunin (International Maritime Organization, IMO) setti, í fyrsta sinn, fram áætlun um að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda í skipaflutningum. Sú áætlun rímar við Parísarsáttmálann varðandi markmið um takmörkun hlýnunar jarðar. Raunar er stór hluti áætlunarinnar að draga úr brennisteinslosun, sem mun minnka notkun svartolíu verulega. Endurnýjanlegt eldsneyti er flest laust við brennistein, og gæti því komið í stað svartolíunnar. Sömuleiðis er jarðgas hreinna eldsneyti en olía og losar því minni brennistein. Flestar spár gera þó ráð fyrir því að nægt framboð verði af gasolíu með lágt brennisteinsinnihald, auk þess sem hægt er að setja hreinsunarbúnað á skip sem brenna svartolíu og hreinsa brennisteininn úr afganginu.

Í aðgerðaáætlun um orkuskipti er sett markmið um 10% hlutfall endurnýjanlegrar orku fyrir haftengda starfsemi árið 2030. Þar kemur ýmislegt til greina, enda teljast fiskiskip, önnur skip og fiskimjölsverksmiðjur öll til haftengdrar starfsemi. Losun vegna haftengdrar starfsemi á sér einkum stað vegna brennslu jarðefnaeldsneytis og notkunar kælimiðla, en síðarnefnda losunin telst með útblæstri iðnaðargeirans. Að auki hefur raforkuvæðing fiskimjölsverksmiðja gengið þokkalega, og hér er því einungis litið til orkuskipta í skipum.

Íslensk stjórnvöld þurfa að hafa auga með því sem gerist erlendis, enda þurfa íslenskar hafnir að geta tekið við og þjónustað alþjóðleg skip, þar með talið að bjóða upp á eldsneyti sem hentar. Ekki er líklegt að stefnumótun íslenskra stjórnvalda muni hafa afgerandi áhrif á það eldsneyti sem verður helst notað í millilandasiglingum á næstu árum eða áratugum, en á hinn bóginn getur stefnumótun hér haft afgerandi áhrif á eldsneytisnotkun fiskiskipa- og smábátaflotans.

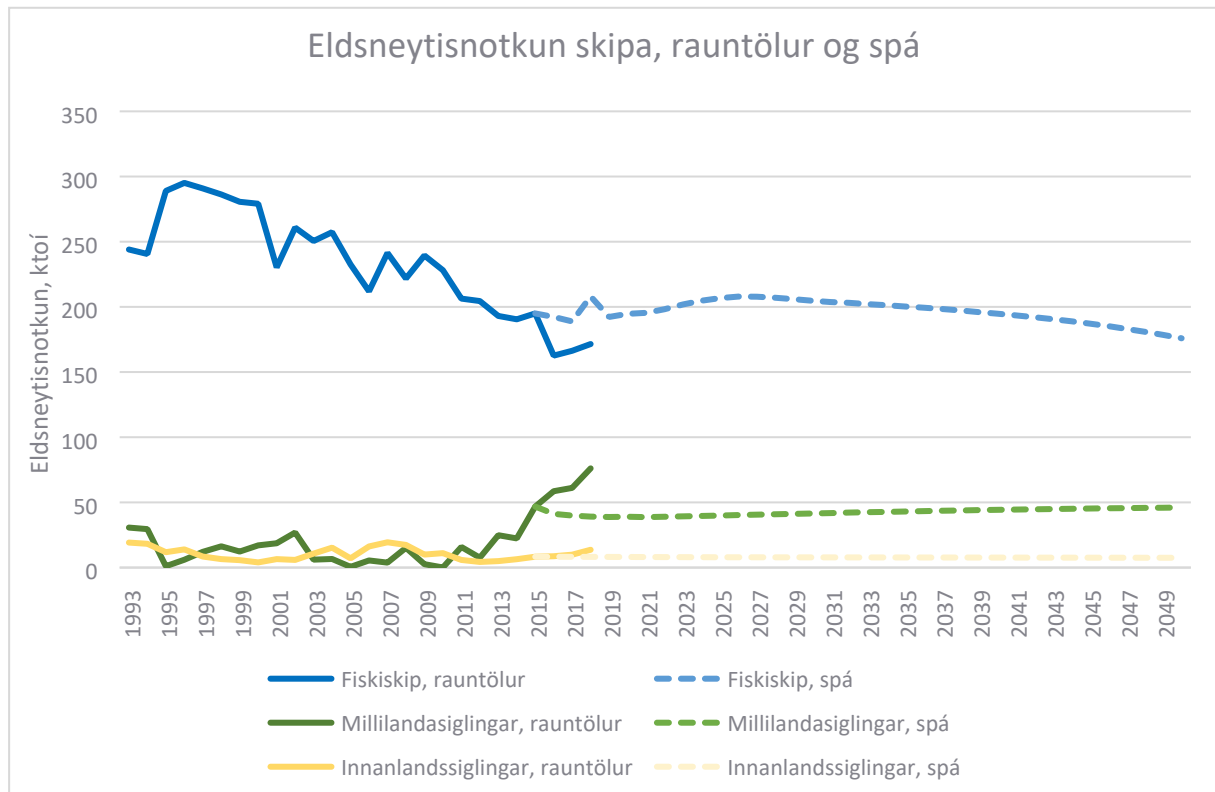


## 2 ORKUNOTKUN SKIPA

Algengustu eldsneytistegundirnar á skip eru gasolía og svartolía. Margar undirtegundir eru til af þessum tveimur aðaltegundum, og er þeim einkum skipt eftir brennisteinsinnihaldi. Þyngri tegundirnar, svartolíurnar, hafa gjarnan töluvert brennisteinsinnihald. Hérlandis er nýlega farið að nota raforku á skip í litlu magni, og einnig hefur lífdísilolíu verið blandað í olíu og sett á skip. Gerð hafa verið tilraunaverkefni hérlandis með notkun vetnis á sjó. Vindorka – þ.e. seglskip – hefur einnig verið notuð, og jafnvel með öðrum orkugjöfum.

### 2.1 Rauntölur og spá um eldsneytisnotkun skipa

Stærsti hluti þess eldsneytis sem selt er til skipa hérlandis fer til fiskiskipaflotans. Skip í millilandasiglingum hafa þar til nýverið lítið gert af því að tanka eldsneyti hérlandis, enda var mestmegnis um flutningaskip að ræða og það er hagkvæmara fyrir þau að kaupa eldsneyti erlendis. En samhliða fjölgun skemmtiferðaskipa, hefur sala eldsneytis til millilandanotkunar aukist verulega. Þetta sést vel á mynd **MYND 1**.



**MYND 1** Eldsneytisnotkun skipa í kílótonnum olíuígilda, rauntölur og spá frá 2016. Einungis er tekið tillit til þess eldsneytis sem selt er hérlandis. Heimild: Orkustofnun (2019). OS-2019-T005-01: Þróun olíusölu eftir geirum á Íslandi 1982 – 2018 og Eldsneytisspá 2016 – 2050.

Eldsneytisspá 2016 – 2050 gerir ráð fyrir litlum breytingum á heildareldsneytisnotkun skipaflotans til 2050 en það sést skýrt á mynd **MYND 1** að líklega þarf að uppfæra það mat, æði hvað varðar millilandasiglingarnar og fiskiskip.

Eldsneytisspáin gerir jafnframt ráð fyrir því að hlutfall endurnýjanlegs eldsneytis verði frekar lítið á skip út tímabilið. Þetta er vegna þess að Eldsneytisspáin er svokallað „business as usual“ eða BAU líkan, og sýnir þar með þróunina miðað við óbreytt ástand, og spáin telur að óbreyttu muni lítið gerast með vistvænt eldsneyti á sjó.

Gerðar voru þrjár sviðsmyndir við Eldsneytisspá þar sem ákveðnum forsendum var breytt. Sviðsmyndir 1 og 2 skoða hvað gerist við breyttar áherslur stjórnvalda á bíla og eldsneyti á bíla, en sviðsmynd 3 skoðar eldsneyti á sjó. Í sviðsmynd 3 er gert ráð fyrir að stjórnvöld stuðli að notkun annarra orkugjafa en jarðefnaeldsneytis í sjávarútvegi. Annars vegar er gert ráð fyrir að hagkvæmni raforkunotkunar aukist fyrir tilstilli bæði hærri skatta á notkun jarðefnaeldsneytis og einnig vegna ívilnana frá stjórnvöldum vegna kaupa á rafgeymum og vélum sem nýta raforku við fiskveiðar. Hins vegar er gert ráð fyrir að komið verði á söluskyldu á endurnýjanlegu eldsneyti fyrir alla orkusölu til fiskiskipa.

Í sviðsmynd 3 er gert ráð fyrir að 50% báta notist við raforku undir lok spátímans í stað hins hefðbundna eldsneytis. Til viðbótar við raforkunotkun bátaflotans er gert ráð fyrir að stjórnvöld setji á söluskyldu á endurnýjanlegt eldsneyti fyrir alla orkusölu til fiskveiða. Gert er ráð fyrir að hlutdeild hins endurnýjanlega eldsneytis verði 2,5% á ári frá 2017 til 2020 af heildarorkunotkun. Á tímabilinu 2020 til 2025 verði hlutdeildin 5% og hækkar um fimm prósentustig eftir það á fimm ára fresti fram til 2040 þegar hún verður 25%. Frá 2040 og út spátímann helst hlutdeildin óbreytt.

Mynd **Error! Reference source not found.** sýnir samanburðinn á sviðsmynd 3 og BAU líkani eldsneytisspárinnar. Sviðsmyndin gerir ráð fyrir því að sala endurnýjanlegs eldsneytis til fiskiskipa myndi fylgja mjög nálægt þeirri söluskyldu sem yrði sett á endurnýjanlegt eldsneyti til fiskiskipa.

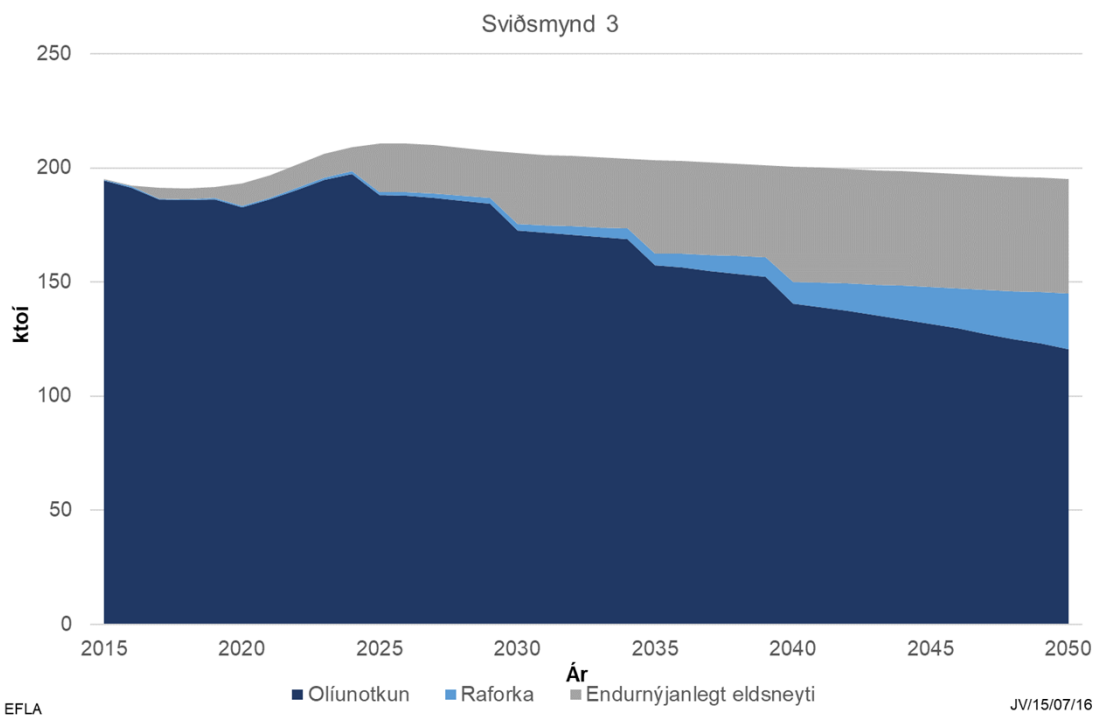
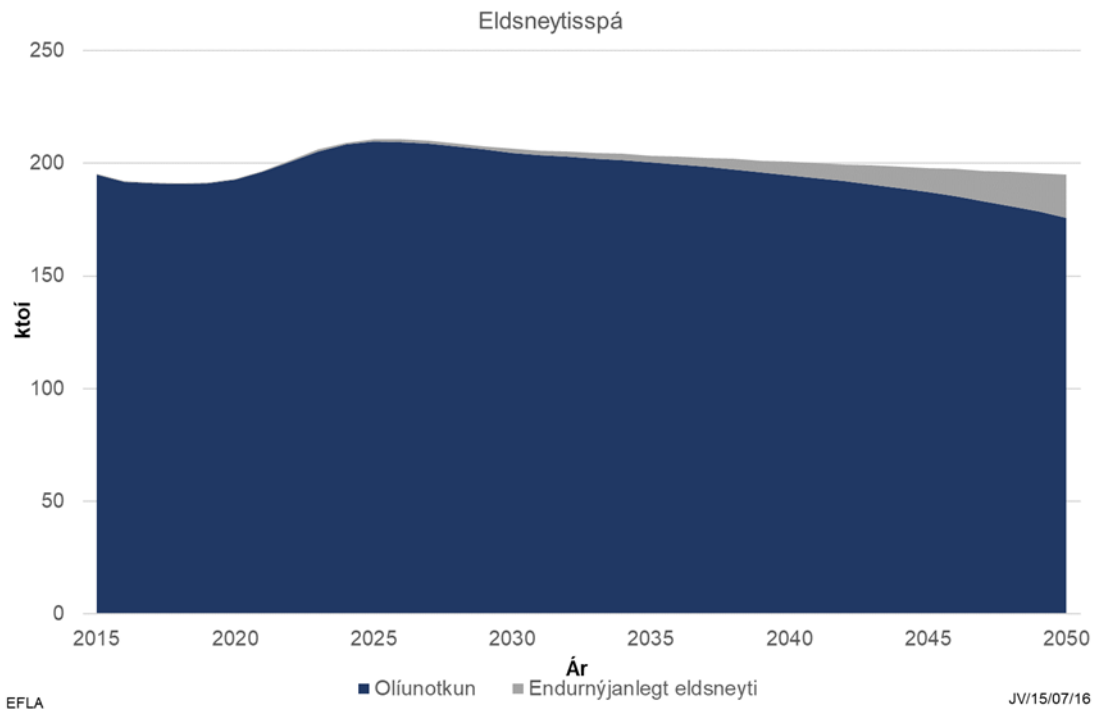
Í sviðsmynd 3 er eingöngu litið til fiskiskipaflotans, en gera má ráð fyrir því að svipað hlutfall myndi verða á sölu endurnýjanlegs eldsneytis til annarra skipa ef sett væri á söluskylda á endurnýjanlegt eldsneyti til skipa almennt.

Hlutfall endurnýjanlegs eldsneytis skv. Eldsneytisspá og sviðsmyndar 3 er sýnt í töflu **TAFLA 1**. Hér er verið að bera saman hlutfall á öll skip, og eru því tölurnar aðeins frábrugðnar þeim sem sjást á mynd **Error! Reference source not found.** þar sem verið er að skoða fiskiskip eingöngu.

**TAFLA 1** Spá um hlutfall heildarsölu endurnýjanlegrar orku sem eldsneyti á skip, óháð tegund orku. Samanburður á BAU og S3 sviðsmyndum. Heimild: Eldsneytisspá 2016 – 2050 og Sviðsmyndir um eldsneytisnotkun 2016 – 2050.

|      | HLUTFALL ENDURNÝJANLEGRAR ORKU Á SKIP |              |
|------|---------------------------------------|--------------|
|      | BAU                                   | Sviðsmynd S3 |
| 2020 | 0,2                                   | 4,2          |
| 2030 | 0,8                                   | 14,1         |
| 2040 | 3,0                                   | 26,8         |
| 2050 | 10,9                                  | 29,6         |

Það er áhugavert að sjá, að þrátt fyrir ansi bratta söluskyldu á endurnýjanlegt eldsneyti og nokkuð bjartsýna framtíðarsýn varðandi rafvæðingu smærri báta, er yfir helmingur eldsneytis á fiskiskip enn jarðefnaeldsneyti við lok tímabilsins.



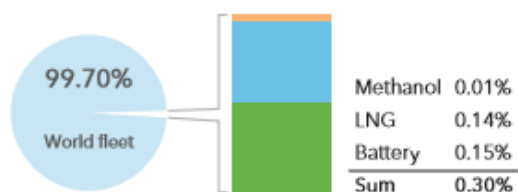
**MYND 2** Samanburður á orkunotkun fiskiskipa í eldsneytisspá og sviðsmynd 3. Heimild: Sviðsmyndir um eldsneytisnotkun 2016 – 2050.

## 2.2 Erlendar spár og sviðsmyndir um skip og eldsneytisnotkun skipa

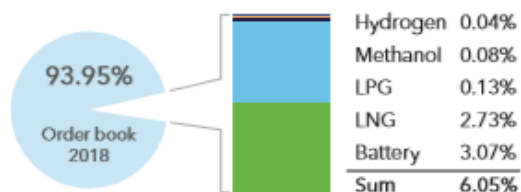
DNV GL gaf nýlega út spá, Maritime Forecast to 2050. Þar er litið á framtíðarhorfur eldsneytisnotkunar á sjó, m.a. með því að skoða hvernig skip er verið að smíða nú. Miðað er við að líftími skipa sé um 25 – 30 ár, sem þýðir að þau skip sem verða smíðuð á næsta ári verða enn á sjó árið 2050.

### Alternative fuel uptake (percentage of ships)<sup>a</sup>

Ships in operation



Ships on order



<sup>a</sup>Source: DNV GL's Alternative Fuels Insight (AFI) portal, <https://www.dnvgl.com/services/alternative-fuels-insight-128171>

**MYND 3** Samsetning skipa í heiminum, auk þeirra sem eru í smíðum. Heimild: DNV GL.

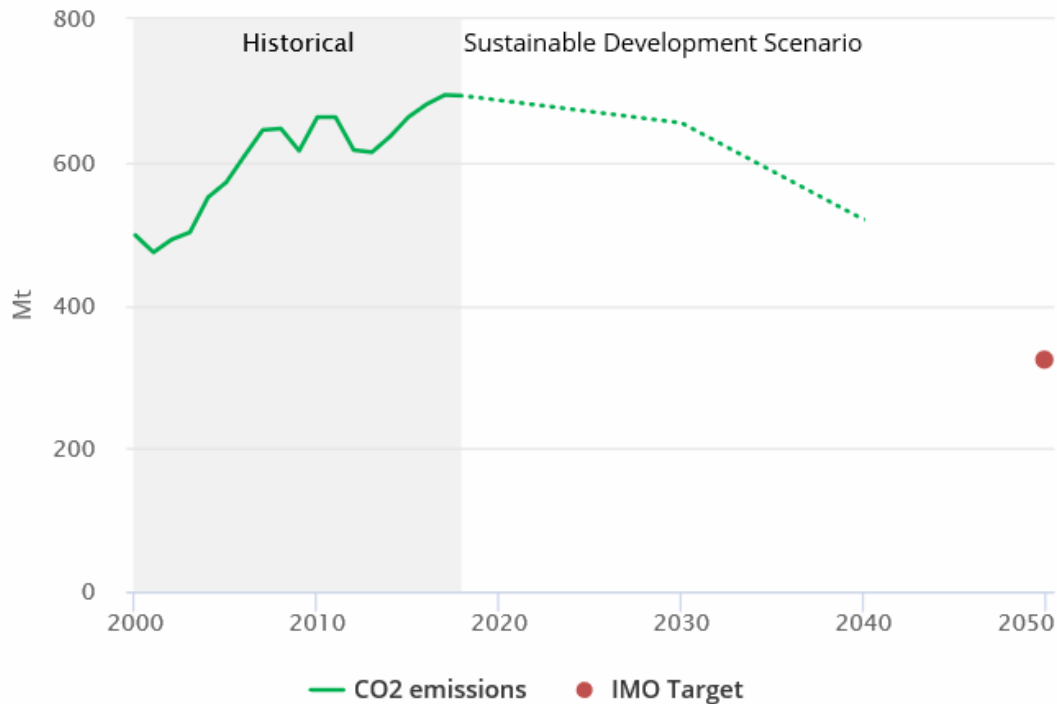
Mynd **MYND 3** er tekin beint upp úr skýrslu DNV GL. Þar sést að langstærsti hluti skipanna gengur fyrir olíu, en einhver prósentubrot ganga fyrir raforku, metani og metanóli. Skip í smíðum eru sömuleiðis að langstærstum hluta olíuskip, eða tæp 94%. Fyrir utan raforku, metan og metanól eru einnig skip sem ganga fyrir vetni og jarðgasi í smíðum. Framtíðarsýn DNV GL er enda sú að til skamms tíma verði mest um íblöndunarefni í olíu, en þegar til lengri tíma er litið, muni framtíðin ráðast af þeim aðgerðum sem ráðist verður í á næstunni. Úr skýrslunni:

THE 2050 FUEL MIX IS HEAVILY DEPENDENT ON THE SPECIFIC DESIGN OF THE GHG REGULATIONS WHICH ARE PUT IN PLACE, AND ON HOW FUEL-CONVERTER COSTS (E.G. DIESEL ENGINE, MARINE FUEL CELL) AND FUEL PRICES DEVELOP TOWARDS 2050. WE FIND THAT MINOR CHANGES TO THE UNDERLYING ASSUMPTIONS CAN SIGNIFICANTLY ALTER THE OUTCOME.

Alþjóðaorkumálastofnunin, IEA, segir að eftir að Alþjóðasiglingamálastofnunin, IMO, setti fram sín markmið um að draga úr losun um 50% árið 2050 miðað við 2008 þurfi að fylgja því eftir með skýrri stefnumörkun og aðgerðum í þá átt, enda er mikill munur á verði hefðbundinnar jarðolíu og annarra valkosta. Mynd **MYND 4** sýnir hvernig markmið IMO rímar við þá sviðsmynd í spá IEA þar sem gert er ráð fyrir því að lögð verði áhersla á sjálfbæra þróun (e. Sustainable Development Scenario, SDS). IEA segir að þrátt fyrir allar tillögur að stefnumótun og þær aðgerðir sem þegar hefur verið gripið til og eru í farvatninu, þá er gert ráð fyrir því að losun frá millilandasiglingum verði 50% hærrí árið 2040 en þær voru árið 2008. Því er mikil þörf á sterkari aðgerðum.

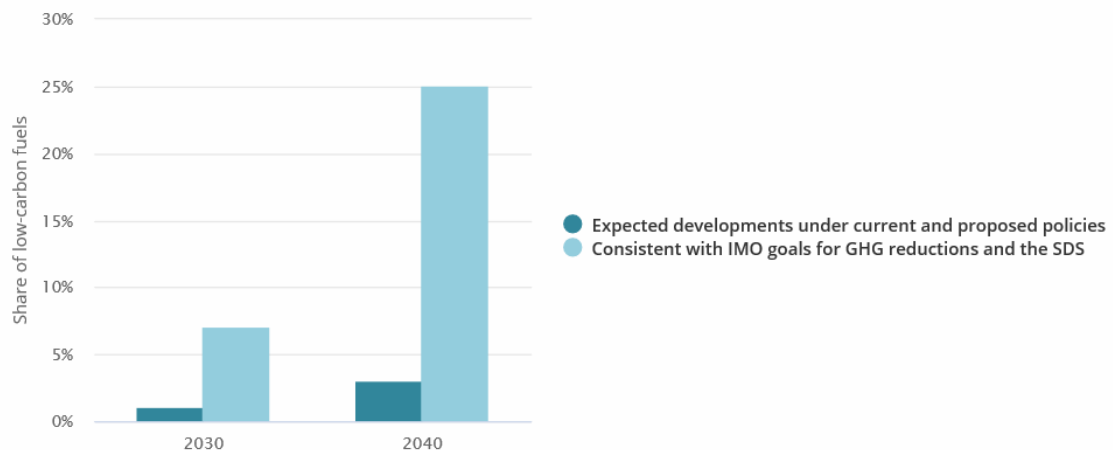
Mjög stórt bil er á milli innleiðingar lágkolefniseldsneytis í raun og þess sem sviðsmynd IEA gerir ráð fyrir.

## CO2 emissions from international shipping



IEA. All rights reserved.

**MYND 4** Losun koldíoxíðs frá sjóflutningum á heimsvísu, sviðsmynd (sjálfbær þróun, SDS) alþjóðaorkumálastofnunarinnar IEA og markmið alþjóðasiglingamálastofnunarinnar. Heimild: IEA.



IEA. All rights reserved.

Note: Low-carbon fuels for international shipping include advanced biofuels, hydrogen and ammonia.

**MYND 5** Munur á sviðsmyndum IEA varðandi endurnýjanlegt eldsneyti á sjó, annars vegar óbreytt ástand og hins vegar sjálfbær þróun (SDS). Heimild: IEA.

IEA talar mest um þróun til lengri tíma, og þar er gert ráð fyrir því að þriðju kynslóðar lífildsneyti, vetni eða ammóníak séu helstu kostirnir fyrir framtíðar eldsneyti á sjó.

Þegar tekið er tillit til þess að líftími skipa er almennt talið um 25-30 ár, þá er ljóst að lítið mun gerast varðandi orkuskipti í skipum fyrir árið 2030 án íblöndunarefna.

### 2.3 Millilandasiglingar

Þrátt fyrir töluverðar millilandasiglingar hingað til lands, er hlutfallslega lítið selt af eldsneyti til skipa til millilandanotkunar eins og fjallað var um í kafla 2.1.

Auk markmiða IMO um samdrátt í losun gróðurhúsalofttegunda frá millilandasiglingum, hefur IMO einnig gefið út nýtt hámark á brennisteinsinnihald olíu. Hámarkið lækkar úr 3% í 0,5% og tekur nýja hámarkið gildi á næsta ári. Þetta er í raun svartolíubann, nema fyrir skip sem búin eru sérstökum hreinsibúnaði.

ESB hefur þrýst á IMO að koma á enn metnaðarfyllri markmiðum, og að setja á markvissar aðgerðir fyrir 2023.

Það er ljóst að IMO og Evrópusambandið munu stýra stefnumótun í millilandasiglingum og er e.t.v. erfitt að sjá hvað íslensk stjórnvöld geta gert annað en að fylgja því sem þar gerist, enda þurfa íslenskar hafnir að geta boðið upp á þá þjónustu sem gengur og gerist erlendis, þ.m.t. að bjóða upp á það eldsneyti sem skipin nota. Hér er þó hægt að setja kröfur um íblöndun og/eða setja söluskyldu á endurnýjanlegt eldsneyti.

Eins og er, hefur IMO ekki gripið til annarra aðgerða sem hafa áhrif á orkunotkun á sjó en lækkun brennisteinsinnihaldsins, og hefur í raun fá önnur tæki. Þau stjórnæki sem IMO hefur er nýtnistuðull skipa (e. Energy Efficiency Design Index) og nýtniplan skipastjórnunar (e. Ship Energy Efficiency Management Plan). Ný skip þurfa að uppfylla lágmarksnýtnikröfur sem endurspeglast í nýtnistuðli skipsins. IMO gerir hins vegar ráð fyrir því að koma með fleiri aðgerðir fyrir 2023.

Samkvæmt IMO gætu skammtímamarkmið tengst orkunýtni, hraðaminnkun, minnkun á metanleka og leka annarra rokkgjarnra efna, aðgerðaáætlun hvers lands fyrir sig, landtengingu hafna, orkuskiptum og nýrri tækni (rannsóknarverkefni), hvatningu til fyrstu notenda nýrrar tækni og lífsferilsgreiningu fyrir eldsneyti.

Áfangamarkmið gætu verið innleiðing losunarfrírra eldsneytistegunda, bætt orkunýtni, markaðsmiðaðar lausnir sem hvetja til samdráttar í losun, samvinna undir ITCP (e. Integrated Technical Cooperation Programme) og aðferðir til að safna saman lærdómi og dreifa upplýsingum um bestu framkvæmd.

Langtímamarkmið eru áframhaldandi þróun og notkun losunarfrírra eldsneytistegunda og almenn notkun annarra og mögulega nýrra aðferða til að draga úr losun.

Það verður fróðlegt að sjá hvað kemur frá IMO á næstu misserum og hvort ESB muni telja þær aðgerðir fullnægjandi. Verði svo ekki, gæti farið svo að ESB tæki upp á því að setja sín eigin markmið og aðgerðir.

## 2.4 Fiskiskip og smábátar

Fiskiskipastóllinn hefur minnkað undanfarin ár í brúttótonnum talið, og vægi vinnsluskipa hefur jafnframt dregist saman. Fiskiskipum hefur fækkað og þau stækkað.

Orkuþörf fiskiskipa er mjög misjöfn eftir veiðiaðferðum og afla, þ.e. hvort um er að ræða uppsjávarfisk eða botnfisk. Jafnframt er aflþörf skipa misjöfn, en skip sem stunda t.d. flottrollsveiðar eða botnvörpuveiðar þurfa mikið afl þar sem trollið er þungt og toga þarf á verulegum hraða.

Þegar kemur að orkunotkun, þá er munurinn á fiskiskipum og öðrum skipum sá að fiskiskipin þurfa oft á tíðum hlutfallslega mikla orku og afl miðað við stærð og að fiskiskipin eru sjaldan að sigla til margra hafna. Það fyrra setur vali á orkugjafa ákveðnar skorður, en það síðara veitir aftur á móti nokkuð frelsi. Útgerð getur valið orkugjafa á fiskiskip án tillit til þess hvað gengur og gerist á skip annars staðar, svo lengi sem hægt er að nálgast orkugjafann í heimahöfn fiskiskipsins.

Þar sem fiskiskip og smábátar eru sjaldnast að kaupa eldsneyti erlendis, ættu stjórnvöld að geta haft mikil áhrif á orkuskipti í þeim, einkum hvað varðar orkuskipti til lengri tíma.

Sömuleiðis eru orkuskipti í smábátum auðveldari viðfangs en orkuskipti í millilandasiglingum. Bæði er um fleiri möguleika að ræða í smærri bátum, þá einkum hvað varðar notkun raforku beint eða óbeint, og smábátar eru, eins og fiskiskipin, ekki mikið í millilandasiglingum.

Þegar farið var í orkuskipti á landi, var ljóst að Ísland yrði að fylgja öðrum eftir, enda fáar bílaverksmiðjur og hönnuðir hérlendis. Ísland er alveg háð erlendum framleiðendum með bíla – væru rafbílar t.d. ekki smíðaðir erlendis væri lítið um þá hér. En þessu er ekki svo farið þegar kemur að smábátum.

Þó skipasmíðar hafi nú að mestu lagst af á Íslandi, smíða enn nokkur fyrirtæki báta úr plasti, s.s. Trefjar ehf., Víking bátar, Sólplast og fleiri. Eftirspurn eftir þessum bátum hefur þó minnkað innanlands síðustu ár en talsvert er smíðað af bátum til útflutnings. Nú eru samt nokkrar dráttarbrautir og skipasmíðastöðvar starfandi og sinna að mestu leyti hefðbundnu viðhaldi skipa. Slippurinn á Akureyri er nánast eina fyrirtækið sem kemur að nýsmíði og stærri breytingum á skipum. Nokkur ráðgjafafyrirtæki í skipaverkfræði eru starfandi.

Ísland er því mun betur í stakk búið að velja sér eldsneyti á smærri báta og jafnvel meðalstór fiskiskip en nokkru sinni á bíla – við erum ekki jafn háð erlendum framleiðendum tækjanna og við erum með bílana.

### 3 NÝTT ELDSNEYTI Á SJÓ

Helstu markmið sem horft er til nú, miða við árið 2030. En áratugur er stutt tímabil þegar talað er um nýja tækni á sjó, en líftími skipa er mældur í áratugum frekar en árum. Almennt er gert ráð fyrir því að skip endist um 25-30 ár. Meðalaldur togaraflotans er nú um 25 ár og hefur verið að lengjast síðustu áratugi, var 20 ár árið 1999.

Sé horft til 2030 er eðlilegast að skoða eldsneyti sem gengur á þær vélar sem nú eru um borð eða eldsneyti sem krefst einungis lágmarksbreytinga á vélum til þess að hægt sé að nota það á skipin eins og þau eru í dag. En vegna þessa langa lífaldurs skipa, þarf líka að horfa til lengri tíma þegar mörkuð er stefna varðandi eldsneyti á sjó. Togari sem pantaður er nýr í dag, verður enn í notkun árið 2050.

Skipaeigendur standa frammi fyrir þeim vanda að „fram tíðartryggja“ skipin, þ.e. að tryggja það að skip sem pantað er í dag geti enn gengið eftir 30 ár, en að sama skapi standa stjórnvöld frammi fyrir þeirri áskorun að þau þurfa að stuðla að miklum breytingum á til þess að gera skömmum tíma. Það kemur því e.t.v. ekki á óvart að flestar spár um þetta efni gera ráð fyrir því að vistvænt eldsneyti á sjó verði helst með tvennum hætti þegar litið er til skamms tíma: annars vegar íblöndunarefni og hins vegar verði skipin útbúin þannig að þau geti nýtt fleiri en einn orkugjafa.

Nú ganga skip fyrir gasolíu eða svartolíu, en hluta olíunnar er breytt í raforku um borð fyrir lýsingu og rafmagnstæki.

Eldsneyti sem kemur til greina í stað jarðolíu skiptist í tvo meginflokka. Annars vegar eldsneyti sem er unnið úr lífmassa og hins vegar orkuberar þar sem frumorkugjafinn er raforka. Sumar eldsneytistegundir geta fallið undir báða þessa flokka eftir framleiðsluaðferðum og uppruna hráefnis. Burtséð frá uppruna hráefnisins eru margar eldsneytistegundir sem koma til greina.

Uppruni hráefnisins getur þó ráðið úrslitum um það hvort eldsneytið telst endurnýjanlegt eður ei. Lífeldsneyti framleitt úr hráefni sem hægt væri að nýta sem matvæli, s.s. repjuolíu eða sykurreyr, telst fyrstu kynslóðar lífeldsneyti og slíkt eldsneyti má alla jafna ekki telja fram með endurnýjanlegu eldsneyti nema að takmörkuðu leyti þegar loftslagsbókhaldið er annars vegar.

Hér verður fjallað um nokkrar helstu eldsneytistegundirnar og reynt að telja fram helstu kosti og galla hvernar tegundar. Sumar þessara tegunda hafa verið framleiddar og/eða nýttar hérlendis.

- **Lífdísílolía og lífolía** blandað í dísílolíu og eru þar með einföldustu kostirnir. Lítil íblöndun (5-10%) krefst engra sérstakra aðgerða og jafnvel notkun hreinnar lífdísílolíu gengur án aðgerða. Hrein lífolía, þ.e. jurtaolía sem hefur ekki verið umestruð (efnafræðilegt ferli sem breytir eiginleikum lífolíunnar) í lífdísílolíu, gengur í flestum tilfellum án mikillar fyrirhafnar.
- **Alkóhól** (metanól, etanól og bútanól) er hægt að nota á breyttar skipavélar eða skipavélar sem sérstaklega eru framleiddar fyrir það. Etanól og bútanól eru lífeldsneyti, en metanól er framleitt eldsneyti þar sem orkugjafinn er raforka sem notuð er við framleiðslu eldsneytisins. Metanól er e.t.v. sérstaklega áhugavert hérlendis þar sem það er nú þegar framleitt hér, þó það sé að mestu leyti flutt út eins og er. Tilraunaverkefni sem breytti hefðbundinni fjögurra strokka dísílvél frá Wártsilä þannig að hún gengi á metanóli lauk árið 2014 þar sem sýnt var fram á fýsileika slíkrar breytingar.



- **DME eða dímetýleter** er dísileldsneyti og krefst lítilla breytinga á vélum skipa, en er gas sem verður fljótandi við um það bil 6 bara þrýsting og þarf því sérstaka eldsneytistanka. DME er framleitt úr metanóli og byggir því á notkun raforku.
- **Raforka frá raforkukerfi landsins** er helst nýtileg fyrir skip í höfnum þar sem hún kemur þá í stað keyrslu ljósavéla. Þó er hægt að nota raforku á aðalvélar, og þá er einkum hugsað til smærri báta eða ferja sem fara stuttar vegalengdir.
- **Metan eða jarðgas** krefst sérstakra véla, auk þess sem gasinu er haldið fljótandi við -160°C. Mikla einangrun þarf til að ekki leki út metan sem er þá fljótt að eyðileggja þann loftslagsávinning sem verður við notkun gassins. Wärtsilä hefur framleitt vélar sem ganga fyrir fljótandi jarðgasi (þ.e. metani) og svartolíu síðan 2001, MAN eitthvað skemur.
- Hægt er að blanda **vetni** í litlum skömmtum við gasolíu og nota beint á þær vélar sem til eru, eða nota vetnið hreint á sérstakar vélar (efnarafala) og er því þá breytt í raforku sem knýr skipið.

Hér á eftir verður farið nánar út í nokkrar valdar eldsneytistegundir og hverjir eru helstu kostir þeirra og hvaða tæknilegu hindranir eru við notkun þeirra, þ.m.t. staða tækninnar, innviðir og fleira. Kostnaður við öflun hvers eldsneytis, þar sem upplýsingar um hann liggja fyrir, er tekinn sérstaklega fyrir í kafla 4.

### 3.1 Lífolía

Lífolía er jurtafeiti eða dýrafeiti, t.d. repjuolía, notuð steikingarfeiti, lýsi eða önnur dýrafita. Lífolía er eins konar hráolía fyrir lífdísilolíu, enda eru til ýmsar aðferðir til að vinna lífdísilolíu úr lífolíu. Notuð steikingarfeiti og afskurður í sláturhúsum eru dæmi um lífolíu sem hægt er að vinna á Íslandi. Jafnframt er hægt að rækta orkujurtir s.s. repju eða nepju. Núverandi innviðir jarðefnaeldsneytis myndu að einhverju leyti nýtast sem innviðir fyrir lífolíu, s.s. tankar, olíubílar, dælur o.s.frv. með lágmarks eða engum breytingum. Engar sérstakar reglur þarf fyrir meðhöndlun lífolíu sem eldsneyti umfram þær sem eru til staðar, en rétt er að taka fram að lífolía telst 1. kynslóðar lífeldsneyti (nema um úrgangslífolíu sé að ræða) og því telur hún ekki nema takmarkað upp í markmið um samdrátt í losun. Fjármagnskostnaður við lífolíunotkun í skipum er lítill, sérstaklega ef skipið hefur gengið á svartolíu, en orkukostnaðurinn er á bilinu frá því að vera á pari við jarðolíuna upp í það að vera heldur meiri. Orkuþéttleiki lífolíu er ekki mjög langt frá gasolíu, sem þýðir að drægni skipa breytist lítið við notkun hennar. Samdráttur í losun fer eftir uppruna hráefnisins og er frá því að vera enginn upp í það að vera nettóbinding.

Lífolía unnin úr notaðri steikingarfeiti eða annarrar úrgangsefni mun ekki geta annað þörfinni 2030, enda fellur ekki nægjanlega mikið til af úrgangslífolíu til þess. Hins vegar er hægt að rækta orkujurtir eins og repju eða nepju, og tilraunir hérlendis hafa gefist vel. Fjallað er sérstaklega um þær tilraunir í næsta kafla.

#### 3.1.1 Lífolía – repjuolía á Íslandi

Rannsóknir Samgöngustofu sýna að hægt er að fá um hálf tonn af repjuolíu af einum hektara lands á hverju ári. Samkvæmt Eldsneytisspá mun sala eldsneytis til skipa (fiskiskipa og annarra skipa) verða

ríflega 300 þúsund tonn árið 2030. Til þess að ná 10% markmiði 2030 með innlendri repjuolíu eingöngu þyrfti því í það minnsta 60 þúsund hektara lands undir repjuræktun.

Samgöngustofu reiknast til að samtals verði nettóbinding við notkun repjuolíu í stað jarðefnaolíu á skip, eða að minnkun á losun gróðurhúsalofttegunda við notkun repjuolíu í stað jarðefnaeldsneytis sé rétt um 194%. Í reglugerð nr. 750/2013 kemur fram að dæmigerð minnkun á losun gróðurhúsalofttegunda við notkun repjuolíu í stað jarðefnaeldsneytis sé 58%.

Þetta misræmi getur verið erfitt að skýra, en þó má benda á, að í útreikningum Samgöngustofu er gert ráð fyrir því að stönglarnir (sem Samgöngustofa áætla að sé um 50% lífmassans) verði plægðir niður og nýtist þannig sem áburður. Ekki er gert ráð fyrir því að neinn hluti stönglanna brotni niður og gasist burt – t.d. með því að rotna. Jafnframt virðist Samgöngustofa ekki reikna með kolefnisspori áburðarins sem notaður var við tilraunirnar. Einnig má benda á, að samkvæmt IPCC er losun frá hverjum hektara framræsts lands um 20.000 tonn koldíoxíðsígilda á hektara en mikið af íslenskum túnum eru einmitt á framræstu landi. Notkun slíks lands myndi þá algerlega eyða út þeim ávinningi sem fæst með ræktuninni, jafnvel þó miðað sé við 3.000 tonna nettóbindingu á hektara líkt og Samgöngustofa gerir.

Af þeim lífmassa sem fæst af hverjum hektara lands við repjuræktun, áætla Samgöngustofa að um 15% séu olía, 35% hrat sem nýtist sem fóðurmjöl og 50% stönglar. CO<sub>2</sub>-bókhaldið helgast töluvert af því hvernig þessar afurðir eru meðhöndlaðar, sér í lagi stönglarnir. Hægt er að nýta þá á ýmsan hátt, t.d. með því að brenna þá sem orkugjafa eða plægja niður í landið aftur. Ljóst er að sé stönglunum brennt, losnar það CO<sub>2</sub> sem plantan batt við vöxtinn, en óljóst er hvað gerist ef stönglarnir eru plægðir niður. Hugsanlega binst eitthvað af CO<sub>2</sub> í næstu repjuuppskeru, en einnig getur verið að þeir rotni og losi þar með gróðurhúsalofttegundir.

Áður en hægt verður að fullyrða að repjuræktun til skipaeldsneytis leiði til nettóbindingar þarf því að fara fram mun ítarlegri úttekt á losuninni þar sem tekið verður tillit til losunar vegna lífræns og tilbúins áburðar, afdrifa plöntuleifanna, framleiðslu tilbúins áburðar, framræslu lands og fleira.

Samgöngustofa mat gróflega arðsemi ræktunar repju á býli þar sem framleidd var olía, fóðurmjöl og hálmur, og fékk að hún væri 25-33%. Þó var þar ekki tekið með kostnaður svo sem fasteign, rafmagn, vatn, laun og fleira. Jafnframt var þar gert ráð fyrir að hálmurinn (stönglarnir) væri seldur, en ekki plægður niður, sem gæti haft áhrif á CO<sub>2</sub> bókhaldið. Í arðsemisútreikningunum var jafnframt gert ráð fyrir hámarksnýtingu allra afurða, og að 150 kr./kg fengist fyrir olíuna. Það verð er á pari við það verð sem núverandi framleiðendur lífdísilolíu (úr úrgangsolíu) hafa gefið upp, sjá ítarlegri umfjöllun í kafla 4.1.

Sömuleiðis mat Samgöngustofa arðsemi lífdísilólíuverksmiðju sem keypti fræin af bændum. Sú verksmiðja myndi framleiða 500 tonn af lífdísilolíu á ári og þúsund tonn af fóðurmjöli. Niðurstaðan var sú að arðsemi verksmiðjunnar væri 8,4%. Í þeim útreikningum er gert ráð fyrir því að selja lífdísilólíuna á 150kr./kg eða 132 kr./lítra. Með 24% virðisaukaskatti eingöngu verður útsöluverðið kr. 163,68/lítra.

Niðurstöður Samgöngustofu eru ansi bjartsýnar, en gefa engu að síður til kynna að ræktun repju til skipaeldsneytis sé vel möguleg hérlendis, og slík framleiðsla gæti í það minnsta verið nálægt því að vera hagkvæm. Heildarkolefnisspor framleiðslunnar þyrfti þó að skoða betur áður en hægt sé að fullyrða að það sé mikið betra en dæmigerða minnkunin á losun bendir til, sbr. reglugerð 750/2013.

Helstu kostir repjuolíunnar eru þær að olían gengur beint á núverandi vélar án nokkurra breytinga (m.v. við íblöndun í olíu), tæknin við framleiðslu er vel þekkt og hægt er að framleiða hana hér á landi. Ekki verður annað séð en hægt væri að koma slíkri framleiðslu af stað í töluverðu magni á stuttum tíma, sé vilji og fjármagn til. Repjuolíu og fræ væri líka hægt að nálgast erlendis, verði uppskerubrestur hér.

Helsti ókostur repjuolíunnar er sá, að hún telst fyrstu kynslóðar lífoldsneyti. Fyrstu kynslóðar lífoldsneyti nýta ræktunarland sem annars væri hægt að nýta til matvælaframleiðslu, og vegna þess hafa flest lönd ekki litið á fyrstu kynslóðar lífoldsneyti sem endurnýjanleg nema að takmörkuðu leyti. Í nýjustu tilskipun ESB um endurnýjanlegt eldsneyti kemur fram að ekki sé hægt að telja fram slíkt eldsneyti eftir 2030 sem framlag til skuldbindinga aðildarlanda árið 2030 um endurnýjanlegt eldsneyti. Þó er tekið fram að sé eldsneytið ræktað á landi sem hefur ekki verið nýtt til matvælaframleiðslu er hægt að telja það fram (þ.e. telja eldsneytið endurnýjanlegt).

Í skýrslum Samgöngustofu kemur fram að möguleiki sé á að græða upp sanda með því að rækta á þeim repju. Slík ræktun myndi væntanlega teljast endurnýjanleg í skilningi ESB, en myndi líklega breyta arðsemisútreikningunum nokkuð.

### 3.1.2 HVO

HVO lífdísilolía (e. Hydrogenated Vegetable Oil) er framleidd úr lífolíu sem er breytt með vötnun, en það er efnafræðilegt ferli, þannig að úr verður dísilolía. Afurðin er efnafræðilega sama efni og jarðefnaolía, en yfirleitt hreinni þar sem hráefnið er alla jafna laust við brennistein og þess háttar óæskileg aukaefni. Því er notkun HVO algerlega eins og notkun gasolíu. HVO lífdísilolía er fjöldaframleidd á smáum skala erlendis, og hefur verið flutt inn síðastliðin ár og blandað í dísilolíu hérlendis sem sett er á bíla. Þar sem fjöldaframleiðslan er á smáum skala, a.m.k. eins og er, geta komið upp vandamál ef skyndilega þarf að flytja inn mikið magn. Aðalframleiðandi HVO á heimsvísu, Neste, framleiðir eitthvað um 3 milljónir tónna árlega. Árleg notkun skipaflotans á Íslandi er um 250 þúsund tonn – ef allur skipaflotinn færi á HVO olíu væri það því ríflega átta prósent af allri HVO framleiðslu Neste. Samhliða gríðarlegum áhuga á endurnýjanlegri olíu í sjávarútveginum á heimsvísu, er ekkert víst að slíkt fengist þó tekin væri ákvörðun um það hér að kaupa HVO. Engin merki eru um áhuga á því að framleiða HVO hérlendis. HVO passar inn í alla innviði jarðefnaeldsneytis og þarf enga aukafjárfestingu til þess að nota hana. Neste heldur því fram að notkun HVO olíunnar þeirra dragi úr losun yfir 60% m.v. notkun jarðefnaeldsneytis og reglugerð um viðmiðanir í sjálfbærri framleiðslu lífoldsneytis gefur upp dæmigerðan samdrátt upp á 68%.

Það er engin tilviljun að HVO lífdísilolía er helsta endurnýjanlega bílaeldsneytið á Íslandi. Verð olíunnar er ekki það mikið hærra en verð jarðefnadísilolíu að neytendur finna ekki mikið fyrir 5 til 10% íblöndun, ekki þarf að breyta neinum innviðum og olíufélögin geta einfaldlega keypt dísilolíuna af birgjum sínum forblandaða þannig að engin blöndun þarf að eiga sér stað hér. Fyrir olíufélögin er þetta langeinfaldasta og þægilegasta lausnin. Það er því afar líklegt að verði sett söluskylda af svipuðu tagi og er á eldsneyti á bíla, verði HVO olía frá Neste eitt af því fyrsta sem þau líti til.

### 3.1.3 FAME og notuð steikingarfeiti (UCO)

Fatty Acid Methyl Ester (FAME) lífdísilolía er lífolía sem hefur verið umestruð, en það er efnafræðilegt ferli sem breytir eiginleikum lífolíunnar svo úr verður lífdísilolía. Sú lífdísilolía er efnafræðilega ólíkt efni og jarðefnadísilolía, þó hún hafi um margt svipaða eiginleika. FAME dísilolía er, líkt og HVO dísilolían, alla jafna laus við brennistein.

FAME lífdísilolía hefur verið framleidd á Íslandi í litlu magni, bæði úr notaðri steikingarfeiti (e. Used Cooking Oil eða UCO), annarri úrgangsfitu og repju. FAME lífdísilolía er töluvert framleidd erlendis og því er hugsanlegt að flytja hana inn þó svo hingað til hafi það ekki verið gert. FAME hentar ágætlega sem íblöndunarefni í gasolíu, og þarf því lítið sem ekkert að gera við innviði til þess að hægt sé að nota hana beint á kerfið sem fyrir er. Litlar fjárfestingar þarf því til að hefja notkun hennar, en hún hefur reynst heldur dýrari í innkaupum en jarðefnaeldsneyti. Orkubéttleiki FAME er svipaður og jarðefnaeldsneytis, þó ívið minni. Samdráttur í losun fer eftir uppruna hráefnisins og er frá því að vera enginn upp í það að vera nettóbinding. Notuð steikingarfeiti og önnur úrgangsolía telja tvöfalt í loftslagsbókhaldinu og eru því vinsæl hráefni.

## 3.2 Lífgas og jarðgas

Lífgas (hauggas), jarðgas og metan eru að upplagi til svipuð efni, en það er metanið sem er helsta gastegundin í þessu öllu. Í lífgasi er á bilinu 50-85% metan og 20-35% koldíoxíð en að auki getur verið lítið magn af vetni, köfnunarefni og brennisteinsvetni. Í jarðgasi er 85-90% metan, nokkur prósent af etani, própani og bütani og snefill af köfnunarefni. Þegar metan er selt sem eldsneyti, eins og gert er hér á landi, er venjulega búið að hreinsa lífgasið eða jarðgasið þannig metan sé a.m.k. 95-98% af gasinu.

Hægt er að nota metan á skip með til þess gerðum vélum. Þá þarf þrýstikúta um borð, en gasið er geymt undir þrýstingi og kælt þannig að það verður fljótandi. Eitt helsta vandamálið er að tiltölulega lítið þarf til að metanið leki út (e. methane slip) og þar sem metan er skæð gróðurhúsalofttegund þarf lítið af metani að leka út til að eyða út öllum ávinningnum af notkun þess.

DNV GL telur fljótandi jarðgas eina núverandi valkostinn utan jarðefnaolíu sem hægt sé að skala upp í alþjóðlega notkun til millilandasiglinga. Til eru nokkur hundruð skip í heiminum sem nú þegar ganga fyrir jarðgasi, einkum þar sem strangar reglur gilda um losun SOx og NOx.

Metanframleiðsla hérlendis er ekki nægjanleg til að sjá skipaflotanum fyrir eldsneyti, og myndi líklega ekki nægja til þess að ná markmiðinu 2030, jafnvel með tilkomu nýrrar gas- og jarðgerðarstöðvar. Undanfarin ár hefur metansala til bíla numið um 4 kílótonnum olíuígilda, þ.e.a.s. metanið hefur komið í staðinn fyrir 4 kílótonn af bensíni eða dísilolíu.

Fljótandi jarðgas getur verið brú yfir á almenna metangasnotkun, þar sem jarðgas er fánlegt í miklum mæli og brennur hreinna en annað jarðefnaeldsneyti. Þá þurfa skipaeigendur ekki að óttast eldsneytisskort komi eitthvað upp á með metanframleiðsluna hérlendis þar sem alltaf verður hægt að nota jarðgas í staðinn fyrir metanið. Jarðgas er jafnframt betra eldsneyti en annað jarðefnaeldsneyti, það brennur hreinna og mengar minna.

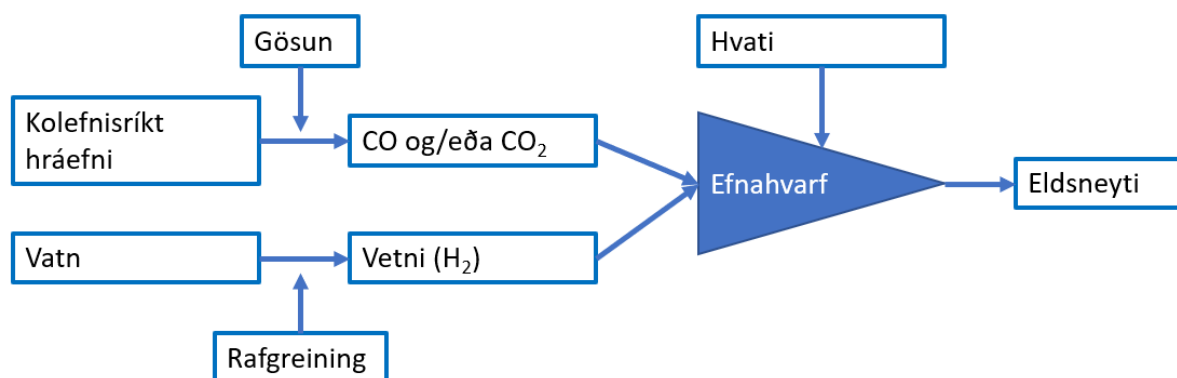
### 3.3 Alkóhól úr lífmassa

Alkóhól eins og etanól og bútanól er hægt að framleiða úr lífmassa, og loftslagsávinningur eldsneytisins helgast þar með að mestu af hráefninu eins og á við um aðrar eldsneytistegundir unnar úr lífmassa. Munurinn á alkóhólum og lífolíum er helst sá, að alkóhólin ganga almennt ekki á hefðbundnar dísilvélar eins og þær sem eru í skipum. Því þarf ýmist að breyta vélinni eða hreinlega fá nýja vél í skipið til þess að nota þessi eldsneyti.

Framleiðsla þessara eldsneyta er nokkuð vel þekkt, en notkun þeirra um borð í skipum er á tilraunastigi. Etanól er flutt inn til íblöndunar í bensín sem sett er á bíla, og er komin nokkur reynsla bæði hérlendis og erlendis á etanól sem endurnýjanlegt eldsneyti. Bútanól er hins vegar nær því að vera tilraunaeldsneyti, enda á eftir að leysa nokkur tæknileg vandamál við framleiðslu þess til að það verði samkeppnishæft við etanól. Til þess að fara að nota alkóhól um borð í skipum þarf því töluverða fjárfestingu, auk þess sem að etanólið (eins og flest þekkt endurnýjanleg eldsneyti) er dýrara en jarðefnaeldsneyti. Ekki eru góðar upplýsingar til um bútanólverð (nema heimsmarkaðsverð á bútanóli sem efnavöru en það er bútanól sem er ekki endurnýjanlegt. Endurnýjanlegt bútanól myndi líklega verða dýrara). Orkupéttleiki etanóls er um 70% af gasolíu, sem þýðir að stærri tanka þyrfti um borð til þess að geta siglt sömu vegalengt á 100% etanóli. Bútanól hefur hins vegar orkupéttleika sem er nær gasolíu. Metanól hefur einungis um 50% af orkupéttleika gasolíu.

### 3.4 Rafeldsneyti

Nokkuð er á reiki hvað átt er við þegar talað er um rafeldsneyti eða tilbúið eldsneyti (e. e-fuel, synthetic fuel). Hér er átt við eldsneyti sem framleitt er úr hráefni og raforku, þar sem orkan í eldsneytinu kemur að mestu eða öllu leyti úr raforkunni en ekki hráefninu. Flest eldsneyti eru efnasambönd þar sem kolefni, vetni og súrefni koma eitthvað við sögu, þannig að hafi menn þessi frumefni í einhverju magni ætti að vera hægt að búa til eldsneyti. Til eru margar framleiðsluaðferðir, en þær líta oft í grófum dráttum út eins og sýnt er á mynd **MYND 6**.



**MYND 6** Framleiðsla rafeldsneytis. Kolefnisríku hráefni er breytt í kolmónoxíð og koldíoxíð með gösun og vatni er breytt í vetni með raforku. Gösin eru látin hvarfast saman til að framleiða eldsneyti. Nýtanleg orka í eldsneytinu kemur úr raforkunni sem notuð var við rafgreiningu vatnsins.

Kolefnisríka hráefnið getur verið hvaða kolefnisríka hráefni sem er, hvort heldur sem er lífmassi, úrgangsefni eins og úrgangsplast, eða jarðefni eins og kol, jarðgas eða koks. Einnig er hægt að nota

beinar uppsprettur kolmónoxíðs og koldíoxíðs eins og útblástur frá borholum eða verksmiðjum. Sömuleiðis er hægt að fá vetnið úr fleiri uppsprettum en vatni, en dæmi um slíkt er t.d. vetni úr borholum. Það er þó yfirleitt bundið öðrum efnum svo rafgreiningar er þörf.

Undantekningin frá þessu er ammóníak, en þar kemur köfnunarefni í stað kolefnisins. Orkan kemur eftir sem áður úr rafgreiningu vetnis og ferlið er að því leyti svipað.

Segja má að hugmyndin með rafeldsneyti sé að gera raforkuna fljótandi, þannig að auðvelt sé að geyma hana um borð. Orkuþéttleiki rafhlaðna er það miklu minni en orkuþéttleiki fljótandi eldsneytis, að óraunhæft er að nota raforku beint á skip til lengri siglinga. Rafgeymarnir yrðu fljótt stærri en skipið.

### 3.4.1 Metanól

Endurnýjanlegt metanól er framleitt á smáum skala hér á Íslandi og eldsneytið er að mestu flutt út. Kolefnið kemur úr borholum og vetnið er rafgreint úr vatni. Engar tæknilegar hindranir eru á því að skala upp framleiðsluna þannig að hún nái að anna þörfum skipaflotans, þó raforkugeirinn myndi líklega finna fyrir því ef öll skip landsins færu á metanól í einu vetfangi. Slíkt myndi þýða raforkunotkun á við þrjár til fjórar stórar virkjanir, s.s. Blöndu eða Hrauneyjafoss.

Metanól er alkóhól líkt og etanól og bútanól og margt af því sem sagt var um þau eldsneyti á við hér. Metanól gengur ekki á óbreyttar skipavélar, það er með 50% af orkuþéttleika olíu og það er ekki hægt að setja það á núverandi eldsneytistanka án endurbóta eða endurnýjunar.

Metanól losar CO<sub>2</sub> við bruna, og loftslagsávinningurinn kemur þá til vegna þess að í framleiðslunni var bundið koldíoxíð sem annars hefði verið losað beint út í andrúmsloftið.

Kostir metanólsins eru að við erum nú þegar að framleiða það og myndum geta skalað upp framleiðsluna til að mæta þörfum skipaflotans.

### 3.4.2 Vetni

Vetni er ýmist hægt að nota á sprengihreyfla, eins og þær hefðbundnu dísilvélar sem eru um borð í skipum, eða á efnarafala sem finnast nú í bílum. Erfitt er að nota hreint vetni á sprengihreyfla en hægt er að nota vetni með sem e.k. íblöndunarefni við gasolíu. Vetnið er þá geymt í þrýstikútum um borð og sprautað inn í brunahólf vélarinnar með öðru eldsneyti.

Vetni er nú þegar framleitt hér á landi í litlu magni sem eldsneyti á bíla. Engar tæknilegar hindranir eru á því að auka framleiðsluna, þó raforkugeirinn myndi finna fyrir því ef öll skip landsins færu á vetni í einu vetfangi. Slíkt myndi þýða raforkunotkun á við tvær stórar virkjanir, t.d. Blöndu og Hrauneyjafoss.

Vetni er smá sameind sem smýgur í gegn um flest önnur efni, og það er því nokkuð kostnaðarsamt að geyma það. Innviðir fyrir vetnisframleiðslu og notkun eru ekki til nema í afar takmörkuðu magni hérlandis, og alls ekkert fyrir notkun á skip. Vetnisstöðvar eru dýrar, sem og aðrir innviðir.

Orkuþéttleiki vetnis er þannig að stóra tanka þyrfti á skipin ef vetni væri aðaleldsneytið. Ef eingöngu á að nota vetni, þarf nýjar vélar en vetni gengur sem eins konar íblöndunareldsneyti með tiltölulega

litlum breytingum á núverandi vélar. Ef vetni er notað sem aðaleldsneyti er langbest að nota nýjar vélar, efnarafala, í stað sprengihreyfla.

Geymsla vetnis um borð getur verið vandamál fyrir lengri siglingar. Líklegt er að vetni verði notað í smærri báta eða til styttri ferða, a.m.k. til að byrja með.

Notkun vetnis hefur enga kolefnislosun í för með sér, og því er vetni sem framleitt er með endurnýjanlegri raforku til þess að gera kolefnisfrítt.

### 3.4.3 F-T dísilolía

Fischer-Tropsch dísilolía hefur þann kost helstan að hún er efnafræðilega alveg eins og jarðefnadísilolía. Því er auðvelt að nota hana á þá innviði sem fyrir eru. Hægt er að framleiða F-T dísilolíu á svipaðan hátt og annað rafeldsneyti, eins og t.d. metanól. Losun frá borholum eða afgang frá verksmiðjum má fanga og nýta sem kolefnisgjafa með vetni úr rafgreiningu vatns. Fischer-Tropsch ferlið er vel þekkt en það er ættað úr seinni heimstyrjöldinni.

F-T dísilolía losar þar með alveg jafnmikið koldíoxíð í andrúmsloftið og jarðefnadísilolía, en loftslagsávinningurinn felst í því koldíoxíði sem var fangað í borholunni eða verksmiðjunni sem annars hefði verið losað beint út í andrúmsloftið.

Þar sem enga nýja innviði þarf við notkun F-T dísilolíu liggja helstu hindranir við notkun hennar í framleiðslunni. Helsta áskorunin hefur verið föngun koldíoxíðsins sem þarf í framleiðsluna.

Engar augljósar tæknilegar hindranir eru á því að hefja framleiðslu F-T dísilolíu hérlendis, þó slíkt hafi verið lítið rætt eða reynt hér. Eitt fyrirtæki hefur reynt að breyta úrgangsplasti í olíu með skyldri aðferð, en það reyndist krefjandi og er sú starfsemi ekki lengur við lýði.

Raforkugeirinn myndi finna fyrir því ef öll skip landsins færu á innlenda endurnýjanlega F-T dísilolíu í einu vetfangi þar sem rafgreint vetni væri nýtt til framleiðslunnar. Slíkt myndi þýða raforkunotkun á við þrjár til fjórar stórar virkjanir, s.s. Blöndu eða Hrauneyjafoss.

Einnig er hægt að framleiða F-T dísilolíu úr sorpi eða lífrænum úrgangi með gösun. Nýsköpunarmiðstöð hefur skoðað framleiðslu með gösun, sem er mjög sveigjanleg aðferð og hægt er að framleiða margar tegundir eldsneytis úr margskonar hráefni.

### 3.4.4 Raforka

Bein notkun raforku um borð í skipum er nú þegar hafin á Íslandi. Bæði er nýji Herjólfur með rafmótor og getur tekið raforku í höfn, en einnig eru tveir hvalaskoðunarbátar búnir rafgeymum og bjóða upp á hljóðlausa hvalaskoðun.

Raforka er þekkt sem orkugjafi fyrir báta, en þá einkum smærri báta og ferjur. Það er vel þekkt að rafbátar séu tvíorkubátar, þar sem annar orkugjafinn er raforka úr rafhlöðum en jafnframt sé annar orkugjafi til vara eða jafnvel sem aðalorkugjafi. Auk raforku gengur Herjólfur einnig fyrir olíu, og annar hvalaskoðunarbáturinn, Ópal, er jafnframt skúta og gengur fyrir vindi. Ópal er búinn nýrri tækni þar sem hægt er að snúa skrúfunni þannig að hún hlaði rafhlöðuna, ef sterkur vindur blæs. Þá er skrúfan

notuð til að draga úr hraða bátsins í stað þess að rifa seglin. Ópal er skemmtilegt dæmi um árangursríka frumkvöðlastarfsemi á Íslandi, en hann var einmitt fyrsti báturinn sem búinn er þessari tækni. Búið er að stofna fyrirtæki um markaðssetningu þessarar tæknilausnar erlendis.

Annað dæmi um beina notkun raforku á skip er landtenging skipa, en þá eru ljósavélarnar ekki keyrðar þegar skipið er í höfn.

Framboð raforku ætti að vera nægt til þess að hægt væri að nýta það á skip – þó myndi raforkugeirinn finna fyrir því ef öll skip landsins færu á rafmagn í einu vetfangi. Slíkt myndi þýða raforkunotkun á við eina stóra virkjun á Íslandi, s.s. Blöndu eða Hrauneyjafoss.

Raftenging er nú þegar í flestum höfnum, en ætli skip að nota raforku sem aðalorkugjafa þyrfti að styrkja innviðina allverulega. Þetta á sérstaklega við um smærri hafnir þar sem stór skip leggja að. Dæmi um þetta er landtenging skemmtiferðaskipa. Til að slík skip geti notað landrafmagn í höfn, þurfa þau mikið afl og séu komur slíkra skipa fátíðar yrði nýting þeirra innviða sem til þarf léleg.

### 3.4.5 Ammóníak

Nokkuð hefur verið rætt um ammóníak sem framtíðareldsneyti á skip. Ammóníak er tæknilega nokkuð frábrugðið öðrum eldsneytistegundum, þar sem það er alfarið kolefnisfrítt. Eingöngu vetni og endurnýjanleg raforka geta sagt það sama.

Ammóníak er gastegund sem er fljótandi við  $-33^{\circ}\text{C}$  og staðalþrýsting. Því þarf að geyma það kælt og/eða undir þrýstingi. Ammóníak er einnig eitrad og tærandi, og getur verið banvænt ef það kemst í andrúmsloftið við 0,5% metnun. Engu að síður er stundum litið á ammóníak sem mögulega lausn á vandamálunum við vetnisgeymslu, þar sem hægt er að breyta ammóníaki í vetni og nota það á efnarafala. Það er vegna þess að þéttleiki vetnis í ammóníaki er töluvert hærri en þéttleiki vetnisgass undir þrýstingi, og hitastig og þrýstingur eru mun viðráðanlegri en í vetnisgeymslu.

Bein notkun ammóníaks á vélar er erfið en ekki ómöguleg. Til eru sérstakar ammóníaksvélar en þær eru ekki í víðtækri notkun. Tæknin til að nota ammóníak verður því að teljast á algeru tilraunastigi.

Þar sem ammóníak er eitt af algengustu efnunum í efnaiðnaði – til dæmis við áburðarframleiðslu – eru grunninnviðir til framleiðslu og geymslu ammóníaks til á heimsvísu. Hérlandis er lítið um slíka innviði eftir að áburðarverksmiðjan í Gufunesi hætti framleiðslu.

## 3.5 Samanburður eldsneytistegunda

Það er erfitt að gera sér grein fyrir kostum og göllum hvarrar eldsneytistegundar fyrir sig þegar lesinn er þéttur texti. Hér er reynt að gera samanburðinn myndrænn, þar sem grænn litur þýðir „jafngott eða betra en jarðefnaeldsneyti eða besta mögulega útkoma“, ljósgrænn þýðir „á pari við jarðefnaeldsneyti eða nokkuð gott“, gult þýðir „Sæmilegt eða ekki vitað“, appelsínugult þýðir „frekar slæmt“ og rautt þýðir „mjög slæmt, afar dýrt, innviðir ekki til staðar“ o.s.frv.

Tafla **TAFLA 2** sýnir yfirlit yfir helstu innlendu eldsneytistegundirnar. Framboðstakmarkanir eru á metani og notaðri steikingarfeiti en líklega væri hægt að framleiða repju fyrir skipin árið 2030. Þó er repjan háð duttlungum íslenskrar veðráttu og framleiðsla hefur þar að auki ekki hafist í stórum stíl hér



á landi svo hún er höfð ljósgræn. Vetni er áberandi rautt, enda eru innviðir vetnis til skipanotkunar engir hér, auk þess að vera dýrir. Lífdísilolía, hvort sem er repja eða notuð steikingarfeiti kemur best út í kostnaði. Hér er tekinn saman orkukostnaður, kostnaður við innviði og breytinga (ef einhverjar) á skipum. Í kafla 4.1 er orkuverðið skoðað sérstaklega. Þar koma metanið og raforkan best út.

**TAFLA 2** Myndræn samantekt á helstu innlendu eldsneytistegundunum.

| Innlent eldsneyti                       |           |        |        |         |         |       |
|---|-----------|--------|--------|---------|---------|-------|
|   | Repjuolía | UCO    | Metan  | Metanól | Raforka | Vetni |
| Framboð getur mætt þörf 2030            | Green     | Orange | Yellow | Green   | Green   | Green |
| Innviðir (birgðatankar, á höfn, reglur) | Green     | Green  | Orange | Orange  | Yellow  | Red   |
| Kostnaður (orkuverð, innviðir, skip)    | Green     | Green  | Yellow | Yellow  | Orange  | Red   |
| Skipavél                                | Green     | Green  | Orange | Yellow  | Red     | Red   |
| Samdráttur í losun                      | Yellow    | Green  | Green  | Green   | Green   | Green |

Tafla **TAFLA 3** sýnir helstu innfluttu eldsneytistegundirnar. Ekkert vandamál er þekkt varðandi framboð innfluttra tegunda nema helst HVO lífolíunnar. Ekki er ljóst hvað hægt er að flytja inn mikið af henni.

**TAFLA 3** Myndræn samantekt á helstu innfluttu eldsneytistegundunum.

| Innflutt eldsneyti                      |        |        |         |       |
|---|--------|--------|---------|-------|
|   | HVO    | Etanól | Jarðgas | Olía  |
| Framboð getur mætt þörf 2030            | Yellow | Green  | Green   | Green |
| Innviðir (birgðatankar, á höfn, reglur) | Green  | Yellow | Yellow  | Green |
| Kostnaður (orkuverð, innviðir, skip)    | Yellow | Yellow | Green   | Green |
| Skipavél                                | Green  | Yellow | Orange  | Green |
| Samdráttur í losun                      | Yellow | Yellow | Yellow  | Red   |

Tafla **TAFLA 4** sýnir þær eldsneytistegundir sem minnst er vitað um, og eðlilega er hún að miklu leyti gul. Mun ítarlegri greiningu en hér er gerð þyrfti til að fá góðar upplýsingar um þessar tegundir, og jafnvel þá er líklegt að þær upplýsingar muni breytast ört á næstu árum, sérstaklega ef viðkomandi eldsneytistegund nær einhverjum vinsældum.

**TAFLA 4** Myndræn samantekt á helstu eldsneytistegundunum sem lítið eru framleidd.

| Ný eldsneyti                            | F-T     |          |           |        |
|---|---------|----------|-----------|--------|
|   | Bútanól | Ammóníak | dísilolía | DME    |
| Framboð getur mætt þörf 2030            | Yellow  | Yellow   | Yellow    | Yellow |
| Innviðir (birgðatankar, á höfn, reglur) | Yellow  | Red      | Green     | Red    |
| Kostnaður (orkuverð, innviðir, skip)    | Orange  | Orange   | Orange    | Yellow |
| Skipavél                                | Yellow  | Orange   | Green     | Green  |
| Samdráttur í losun                      | Yellow  | Yellow   | Yellow    | Yellow |

Geymsla og meðhöndlun eldsneytis fer eftir eiginleikum þess. Gas þarf ýmist að geyma undir þrýstingi eða kælt. Eldsneyti sem eru með lágt orkuinnihald (GJ/m<sup>3</sup>) þurfa stærri tanka en önnur til að koma skipunum jafn langt. Tafla **TAFLA 5** ber saman nokkrar eldsneytistegundir.

**TAFLA 5** Orkugildi, geymsluþrýstingur og geymsluhitastig nokkurra eldsneytistegunda. Heimild: IRENA.

| Fuel type                  | LHV* [MJ/kg] | Volumetric energy density [GJ/m <sup>3</sup> ] | Storage pressure [bar] | Storage temperature [°C] |
|----------------------------|--------------|--|------------------------|--------------------------|
| <b>MGO</b>                 | 42.7         | 36.6   | 1                      | 20                       |
| <b>LNG</b>                 | 50           | 23.4   | 1                      | -162                     |
| <b>Methanol</b>            | 19.9         | 15.8   | 1                      | 20                       |
| <b>Liquid ammonia</b>      | 18.6         | 12.7   | 1/10                   | -34/20                   |
| <b>Liquid hydrogen</b>     | 120          | 8.5  | 1                      | -253                     |
| <b>Compressed hydrogen</b> | 120          | 7.5  | 700                    | 20                       |

## 4 KOSTNAÐUR

Erfitt er að leggja heildstætt mat á kostnað vegna orkuskipta í skipum. Í fyrsta lagi eru fjölmargar leiðir mögulegar til að ná fram orkuskiptum og hafa sumar mikinn upphafskostnað og lágan orkukostnað á meðan aðrar hafa tiltölulega lágan upphafskostnað en háan orkukostnað.

### 4.1 Orkuverð

Margskonar orkugjafar eru nú til sölu hérlendis og kemur útsöluverð nokkurra þeirra án virðisaukaskatts í september 2019 fram í töflu **TAFLA 6**. Ekki er litið til heildsöluverðs á erlendum mörkuðum fyrir t.d. hráolíu þar sem það gefur ekki til kynna raunverulegan kostnað rekstraraðila hérlendis. Í töflunni er einnig reiknaður kostnaður á hverja orkueiningu (MJ).

Varlega þarf að fara í að bera saman kostnaðinn milli orkugjafa í töflunni og spila þar inn í nokkrir þættir. Upplýsingar um verð nýrra orkugjafa eru stundum rýrar, og gera má því skóna að verð breytist með aukinni framleiðslu, ýmist til hækkunar eða lækkunar. Kostnaðarverð lífdísilolíu hefur, til dæmis, verið gefið upp frekar lágt hérlendis, allt að 100 kr./lítra eða þar um bil. Er þar ýmist um að ræða áætlanir eða raunveruleg uppgjafir verð frá framleiðendum. En í þeim tilfellum er um að ræða kostnaðarverð framleiðslu – ekki útsöluverð – og þar að auki er ekki ljóst að kostnaður muni lækka með frekara umfangi sölu. Sérstaklega á það við um þau tilfelli þar sem eldsneytið er unnið úr úrgangi, sem er takmörkuð auðlind. Reynsla annars staðar hefur sýnt að útsöluverð lífdísilolíu endar á því að fylgja útsöluverði dísilolíu eftir, með um það bil 30% álagi. Sú verðmyndun er líkleg að halda á meðan lífdísilolía er íblöndunarefni í gasolíu, en eðlilegt er að gera ráð fyrir því að sú verðmyndun hverfi þegar lífdísilolía verður ráðandi á markaðinum.

Verðið fyrir lífdísilolíu hefur verið metið með því að líta til hlutfallslegs verðmismunar í smásölu fyrir dísilolíu og lífdísilolíu í Bandaríkjunum. Á undanförunum árum hefur lífdísilolía þar í landi kostað um 30% meira en dísilolía. Í töflunni hér að neðan er stuðst við þessa forsendu til að áætla verðið hérlendis, þó miðað sé við flotadísilolíu í stað dísilolíu. Jafnframt eru til heimildir um söluverð lífdísilolíu frá framleiðanda frá 2018. Svo vill til að þessar tölur eru mjög svipaðar, eða um 170 kr./lítrinn.

Hafa verður í huga að vetni er einungis afhent enn sem komið er á tiltölulega fáum stöðum og metanið einnig á mun færri stöðum en t.d. jarðefnaeldsneyti. Það er óvíst að söluverð eldsneytisins á hafnarkanti verði hið sama og á núverandi afgreiðslustöðvum. Eins og er, er offramboð á metani og verðið hefur haldist lágt. Ljóst er að stórkostlega aukin eftirspurn eftir metani myndi þrengja að framleiðendum og verð hækkka. Á hinn bóginn mun aukin vetnisframleiðsla þýða aukin raforkukaup, og með meira umfangi framleiðslu mætti ná fram aukinni hagkvæmni í innkaupum. Því er líklegt að aukin vetnisframleiðsla leiði til verðlækkunar á vetni.

Ef litið er til kostnaðar á orkueiningu er kostnaðurinn lægstur á metani og raforku. Kostnaðurinn er mestur fyrir vetni og lífdísilolíu.

Kostnaður á orkueiningu er samt ekki öll sagan, þar sem nýtni véla er misjöfn. Þetta er nokkuð sem bílaeigendur þekkja mætavel, að maður kemst mislangt á lítranum eftir bíltegund. Hér er greiningin ekki það nákvæm að gerður sé sérstakur greinarmunur á t.d. dísilvél og vél sem brennir metani, enda eru slíkar vélar brunavélar og því í stórum dráttum samanburðarhæfar. En rafmótorar og efnarafalar

hafa nýtni sem er 2-3 sinnum betri en nýtni brunavéla. Orkuverðunum í töflu **TAFLA 6** er raðað þannig að þau lægstu koma fyrst. En vegna þessa stóra munar á nýtni rafmótora og efnarafala miðað við brunavélar verður heildarorkukostnaður skips sem siglir á raforku eða vetni um það bil 2-3 sinnum minni en verðið á orkueiningu gefur til kynna. Ef tekið væri tillit til þessarar nýtni rafmótora og efnarafala myndi reiknað viðmiðunarverð, einskona sýndarverð, raforku og vetnis verða 1,9 kr./MJ og 4,3 kr./MJ. Það myndi gera beina notkun raforku að ódýrasta kostinum og setja vetnið á par við olíu. Ath. að þetta viðmiðunarverð vetnis ætti eingöngu við um vetni sem færi á efnarafala, færi vetnið á dísilvélar væri verðið óbreytt verð á orkueiningu, 10,8 kr./MJ. Einnig þarf að hafa í huga að ef farið yrði að afhenda raforku í miklum mæli til skipa á 50 Hz er líklegt að verðið mundi lækka frá því sem hér er sýnt. Aftur á móti ef afhenda á raforkuna á 60 Hz eins á við um flest skemmtiferðaskip yrði verðið líklega hærra þar sem mikill kostnaður er við tíðnibreyti til að breyta úr 50 Hz í 60 Hz.

**TAFLA 6** Lauslegur samanburður á orkuverði í september 2019. Sum verð eru stjórnumerkt vegna þess að þessar orkutegundir geta farið á vélar sem eru 2-3 sinnum nýtnari en brunavélar. Slík verð eru því varla samanburðarhæf við þær orkutegundir sem fara á brunavélar. Sé nýtnin tekin með, samsvarar hún því að raforkan kosti 1,9 kr./MJ og vetni (á efnarafala) kosti 4,3 kr./MJ.

|                               | VERÐ ÁN VSK.              | VERÐ ÁN VSK. (KR./MJ) | UPPRUNI GAGNA           |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Metan                         | 118,5 kr./Nm <sup>3</sup> | 2,4                   | Verðlisti Skeljungs     |
| Vélaolía – frá bátadælu       | 124,8 kr./ltr.            | 3,5                   | Verðlisti Skeljungs     |
| Skipagasolía                  | 126,5 kr./ltr.            | 3,5                   | Verðlisti Skeljungs     |
| Raforka afhent á hafnarkanti* | 17,5 kr./kWh              | 4,9                   | Gjaldskrá Faxaflóahafna |
| Lífdísilolía                  | 170 kr./ltr.              | 5,0                   | Skýrsla Alþingis        |
| Vetni*                        | 140,3 kr./100g            | 10,8                  | Verðlisti Skeljungs     |

Eins og áður segir er um að ræða mat á orkukostnaði í september 2019. Ekki er tekið tillit til afsláttar sem stórir orkunotendur ná mögulega að semja um við orkusala eða verðbreytinga vegna aukinnar framleiðslu.

Kolefnisgjald er lagt á suma af þeim orkugjöfum sem fram koma í töflu **TAFLA 6** skv. lögum nr. 129/2009. Til dæmis er gjaldið 8,25 kr./l fyrir dísilolíu. Í skýrslu starfshóps Fjármála- og efnahagsráðuneytisins um skatta á ökutæki og eldsneyti 2020-2025 er lagt til að endurskoðun á fjárhæð kolefnisgjalds eigi sér stað á árunum 2020-21 og fjárhæðin taki mið af beinum og óbeinum kostnaði samfélagsins af neikvæðum ytri áhrifum koltvísýringslosunar. Hærri kolefnisskattur myndi gera notkun endurnýjanlegra orkugjafa fýsilegri í skipum og annarri haftengdri starfsemi.

#### 4.2 Vélakostnaður og kostnaður við innviði

Eins og áður segir er erfitt að meta heildstætt kostnað af orkuskiptum þar sem ekki er nægjanlegt að líta einungis til orkukostnaðar. Til viðbótar við orkukostnað þarf að hafa í huga að í sumum tilfellum getur verið um töluverða fjárfestingu að ræða í vélbúnaði og öðrum tengdum innviðum.

Með nýjum orkugjöfum þarf í sumum tilfellum að skipta út þeim vélbúnaði sem nú nýtir jarðefnaeldsneyti. Kostnaður við slíkt getur verið umtalsverður og ljóst að rekstraraðilar leggja ekki í slíkt nema að sjá fram á ávinning til lengri tíma litið.

Notkun HVO lífdísilólíu krefst engra nýrra véla eða innviða, þar sem HVO lífdísilólía er efnafræðilega sama efnið og gasólía. Véla- og innviðakostnaður vegna hennar er því langlægstur, eða núll. Sömu sögu er að segja um F-T dísilólíu.

Aðrar lífolíur, svo sem hrein lífolía eða FAME lífdísilólía úr notaðri steikingarfeiti eða repju geta þurft minniháttar breytingar á vélum og innviðum. Einnig er ljóst að rekstraraðilar skipa eru oft hikandi við að setja lífolíur á ný skip. Með þeirri endurnýjun flotans sem hefur átt sér stað að undanfögnu, gæti þurft að skoða sérstaklega hvort eitthvað þurfi að gera til að tryggja notkun lífolíu á ný skip. Almenna reglan er hins vegar sú, að lífolía á að geta gengið á brunavélar skipa og á innviði án mikilla endurbóta.

Alkóhól, s.s. metanól, etanól og bútanól ganga yfirleitt ekki á núverandi skipavélar án breytinga. Hægt er að breyta skipavélum þannig að þær gangi fyrir alkóhólum en það kostar sitt. Einnig er nú hægt að fá metanól vélar í skip.

Alkóhól eru tærandi vökvar og því þarf ýmist nýja birgðatanka eða að endurgera gamla olíutanka til að geyma alkóhólin.

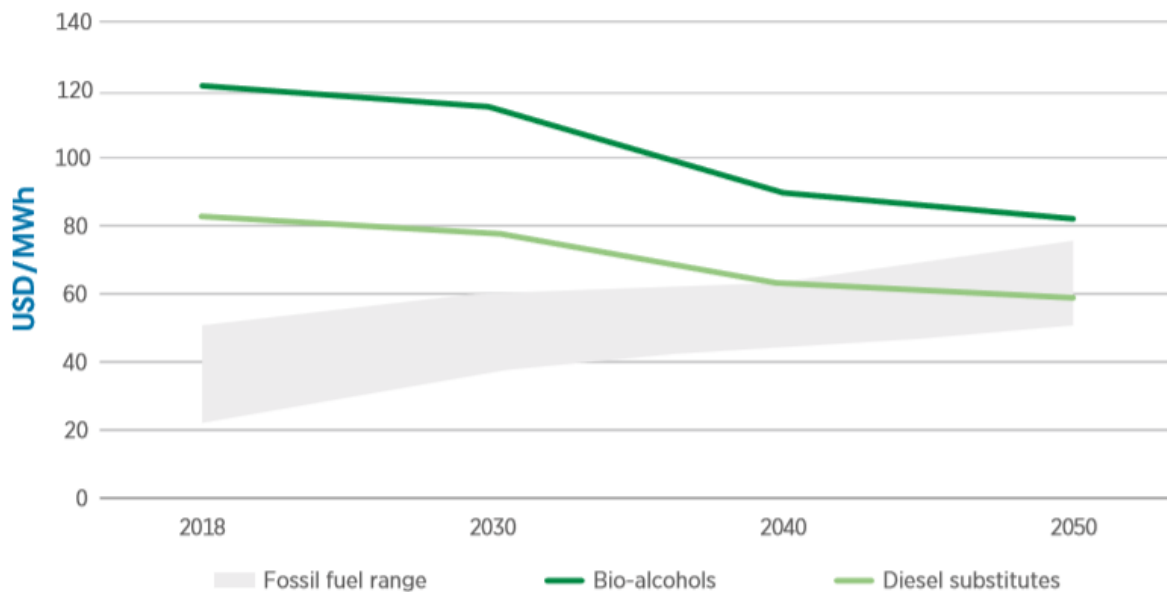
Gös, s.s. jarðgas, metan og DME þurfa alveg nýja innviði í landi og jafnvel aðferðir við að koma eldsneytinu um borð. Í einhverjum tilfellum er það hreinlega híft um borð í gámum. DME er þó dísileldsneyti og gengur á skipavélar að því gefnu að tankar og innspýtingabúnaður sé endurnýjaður. Jarðgas og metan krefjast nýrra véla auk viðeigandi tanka.

Ammóníak og vetni krefjast algerlega nýrra innviða, véla o.s.frv. Einfaldast væri að framleiða vetnið á vetnisstöð nálægt höfn, og slíkar vetnisstöðvar kosta a.m.k. yfir milljón evrur. Það er þá auk annarra innviða, svo sem dreifingu, tanka við höfn, efnarafala um borð og tanka um borð.

Við beina notkun raforku um borð, þarf að sjálfsögðu rafmótor og rafhlöður um borð. Að auki má gera ráð fyrir því að styrkja þurfi innviði raforkudreifingar við höfnina fyrir stærri skip. Möguleikar skipa sem þarfnast afls undir 500 kW og eru undir 300 brúttótonnum eru góðir í höfnum landsins. Fyrir hins vegar stærri skip og einnig skip sem þurfa meira afl fyrir löndun þarf að fara í sérstakar aðgerðir og til að afhenda raforku í skemmtifeerðaskip þarf að kaupa tíðnibreyta.

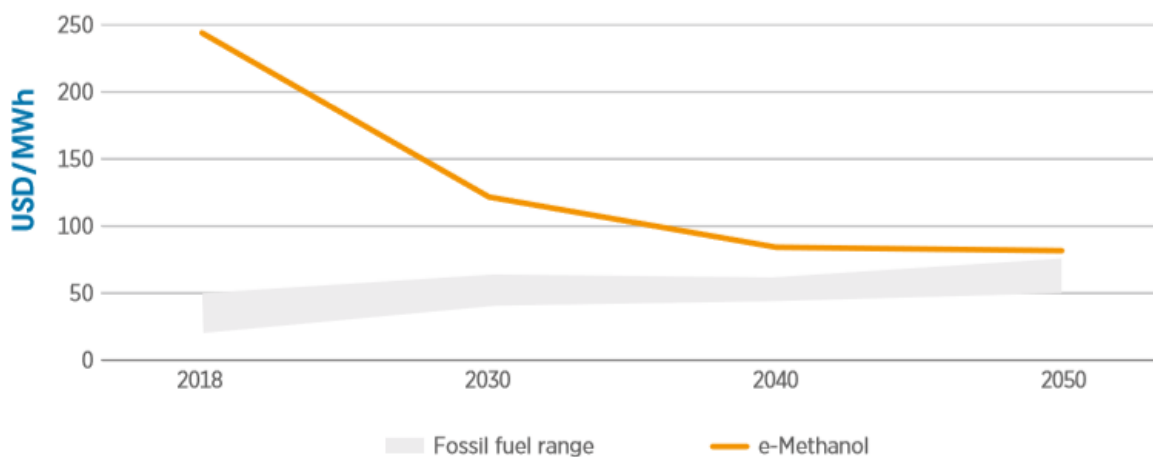
### **4.3 Verðspá IRENA**

IRENA (International Renewable Energy Agency) gaf nýverið út skýrslu um nýtt eldsneyti á sjó. Í þeirri skýrslu eru spár um verðþróun nokkurra eldsneytistegunda. Niðurstöður IRENA eru fróðlegar, en líkt og tölurnar um losun úr sömu skýrslu er líklegt að íslenskar forsendur myndu breyta niðurstöðunum talsvert.



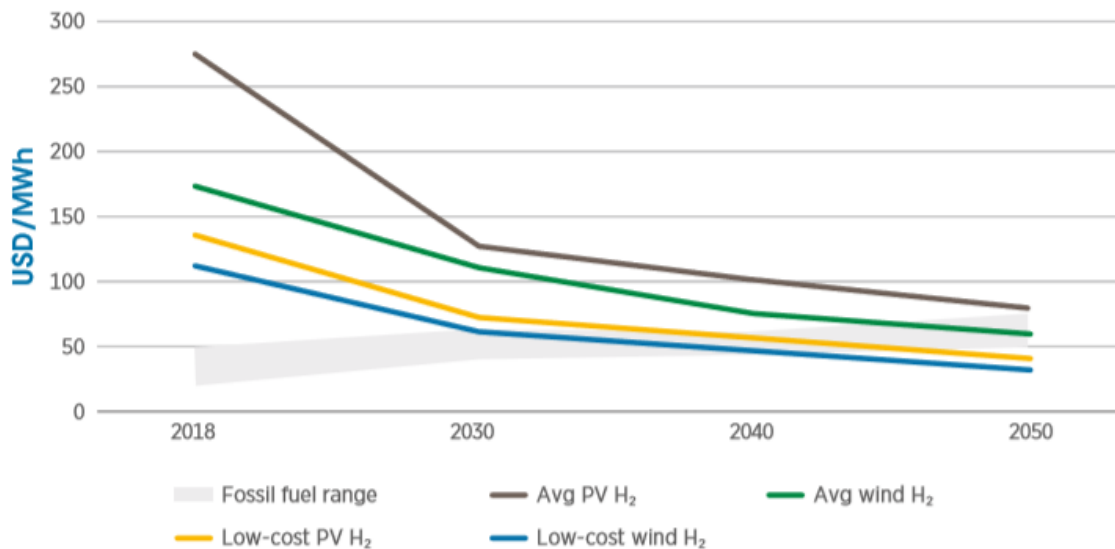
**MYND 7** Verðþróun lífildsneytis miðað við verðþróun jarðefnaeldsneytis. Annars vegar er litið til alkóhóla og hins vegar lífólú eða annars lífildsneytis sem blandast í gasolíu. Heimild: IRENA.

IRENA gerir ráð fyrir því að lífdísilolía verði um 30% hærrí í verði en jarðefnagasolía árið 2030 eins og sést á mynd **MYND 7**. Þetta er í samræmi við reynslu annarra geira, þar sem lífrænu íblöndunarefni virðast enda í 30% - 50% hærra verði en jarðefnaeldsneytið sem blandað er í. Lífdísilolían nær svo gasolíunni í verði árið 2040 samkvæmt þessari spá, en etanólið kemst ekki á par við gasolíuna fyrr en upp úr 2050.



**MYND 8** Verðþróun metanóls miðað við verðþróun jarðefnaeldsneytis. Heimild: IRENA.

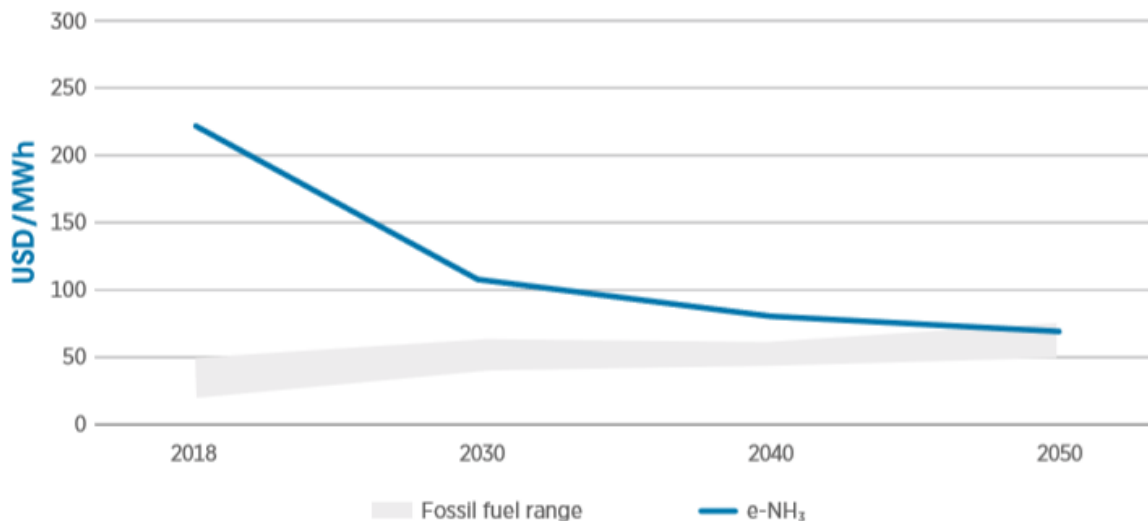
Verðþróun metanóls er nokkuð brött í spá IRENA, sjá mynd **MYND 8**. Óljóst er hversu mikið þessi spá á við íslenskt metanól, þar sem ekki var litið til framleiðsluaðferða sem notaðar eru á Íslandi við gerð þessa grafs.



**MYND 9** Verðþróun vetnis miðað við verðþróun jarðefnaeldsneytis. Skoðað er vetni framleitt með sólarcellum (PV) og úr vindorku. Heimild: IRENA.

Sömuleiðis dregur verðþróunarspá IRENA fyrir vetni, sjá mynd **MYND 9**, dóm af því hvernig gert er ráð fyrir því að verð sólarcella og vindmylla þróast, og því ekki ljóst að hún eigi við íslenskar aðstæður.

Mjög áhugavert er að sjá að hér er gert ráð fyrir því að vetni verði á pari við jarðefnaeldsneyti í verði strax árið 2030 við hagstæðustu aðstæður til vinnslu raforku. Ef þetta gengur eftir, er líklegt að vetnisvæðing skipa taki vel við sér, enda eru einhverjir skipaeygendur þegar farnir að veðja á vetni sem framtíðareldsneyti, sjá t.d. mynd **MYND 3**. Þetta geta líka verið góðar fréttir fyrir Ísland, þar sem vetni er ein eldsneytistegund sem við getum framleitt í miklu magni.



**MYND 10** Verðþróun ammóníaks miðað við verðþróun jarðefnaeldsneytis. Heimild: IRENA.

Þar sem ammóníak er framleitt úr vetni og köfnunarefni, hlýtur verðþróun þess að fylgja verðþróun vetnis að miklu leyti. Þó bætist þar við framleiðsla köfnunarefnis, og verðið er því hærra en vetnisverðið, sjá mynd **MYND 10**.

## 5 REYNSLUNNI RÍKARI

Þó reynsla Íslendinga sé ekki mikil af orkuskiptum á sjó, þá höfum við reynslu af orkuskiptum á landi. Jafnframt eru aðrir sem hafa ýmist byrjað orkuskiptin eða gert kannanir á hindrunum og fleiru viðkomandi orkuskiptum á sjó.

### 5.1 Endurnýjanlegt eldsneyti í samgöngum á landi

Endurnýjanlegt eldsneyti hefur verið notað á bíla um árabíl. Innleiðing þess leiddi til stofnunar þó nokkurra innlendra fyrirtækja sem hófu framleiðslu á innlendu eldsneyti. Þar á meðal er metanólverksmiðja úr afgangi úr borholum, metanvinnsla úr sorpi og lífdísilolíuframleiðsla úr notaðri steikingarfeiti og annari úrgangsfitu. Ekkert þeirra fyrirtækja hefur náð að koma eldsneytinu sínu að á íslenskum markaði fyrir eldsneyti í samgöngum að metaninu frátöllu. Sérstaklega hefur reynst erfitt að sannfæra olíufélögin og neytendur um ágæti þess að blanda íslensku eldsneyti í bensín og olíu.

#### 5.1.1 Íblöndun innlands eldsneytis

Ástæður þess að íslenskt endurnýjanlegt eldsneyti hefur átt erfitt uppdráttar eru af mörgum toga, en hafa flestar með það að gera að neytendur eru íhaldssamir og sækja í það sem þeir þekkja og treysta. Ekkert olíufélaganna hefur treyst sér til að blanda íslensku eldsneyti út í jarðefnaeldsneyti til almennrar sölu. Til að byrja með er það óþægilegt aukaskref í afgreiðslu eldsneytisins að þurfa að hella saman tveimur tegundum í réttum hlutföllum. Þetta er alls ekki óyfistíganlegt og sum olíufélögin hafa blandað saman olíu og innfluttu endurnýjanlegu eldsneyti, en það er óneitanlega þægilegra að kaupa eldsneytið frá erlenda birgjanum forblandað.

Olíufélögin óttast það að neytendur hvekkist á íslensku íblönduninni, þannig að ef einn eða tveir bílar þoli ekki íblöndunina þá verði það blásið upp í fjölmiðlum og allir hætti að kaupa eldsneyti hjá því félagi sem seldi íslenska eldsneytið. Þessi ótti er ekki óraunhæfur. Eftir að metanbílar komu fyrst á markaðinn hér var það stórfrétt þegar kviknaði í einum þeirra og svo stuttu síðar í öðrum. Það tafði fyrir metanvæðingu bílaflotans.

Olíufélögin hafa jafnframt þvertekið fyrir að blanda metanóli í bensín, og hefur því íslenski metanólframleiðandinn flutt mest af sinni framleiðslu út. Ástæða þess er ekki alveg ljós, en þegar íslenski metanólframleiðandinn var að kynna verksmiðju sína hér á landi var mikið um neikvæða umræðu um eitrunaráhrif metanóls. Það er líklegt að það hafi haft áhrif.

Lífdísilolía sem framleidd er á Akureyri, og var upphaflega ætluð á bíla, hefur ekki ratað á bílaflotann, en í staðinn farið á skip. Þrátt fyrir það að lífdísilolían sé unnin úr úrgangi og teldi þar með tvöfalt í söluskyldu olíufélagana til samgangna á landi hafa þau ekki viljað kaupa hana og selja. Samherji er einn eiganda framleiðslufyrirtækisins og hefur nýtt lífdísilolíuna á eigin togara. Það er áhugavert að Samherji setur lífdísilolíuna eingöngu á eldri togara fyrirtækisins, þeir sem nýrri ganga á hreinni gasolíu.

Það er engin ástæða til að ætla annað en að svipað muni vera uppi á teningnum með íblöndunarefni í skipaolíu og hefur verið með íblöndunarefni í bílaeldsneyti. Það er þægilegra og einfaldara fyrir söluaðila að kaupa olíuna forblandaða og að auki minni áhætta að kaupa vottaða erlenda vöru. Eldri



skip eru gjarnan með vélar sem brenna svo til hvaða díseldsneyti sem er, en nýrri vélar eru fínstilltari og framleiðendur þeirra krefjast þess gjarnan að ákveðin tegund eldsneytis sé notuð, ella falli þær úr ábyrgð. Það er rétt að halda því til haga, að einn af kostum nýrri vélanna er að þær eru mun sparneytnari en þær gömlu. Oft er tengdur við þær búnaður sem hjálpar til við olíusparnað en nýtni vélanna og virkni búnaðarins er þá háður því að rétt eldsneyti sé notað.

### 5.1.2 Samlegðaráhrif

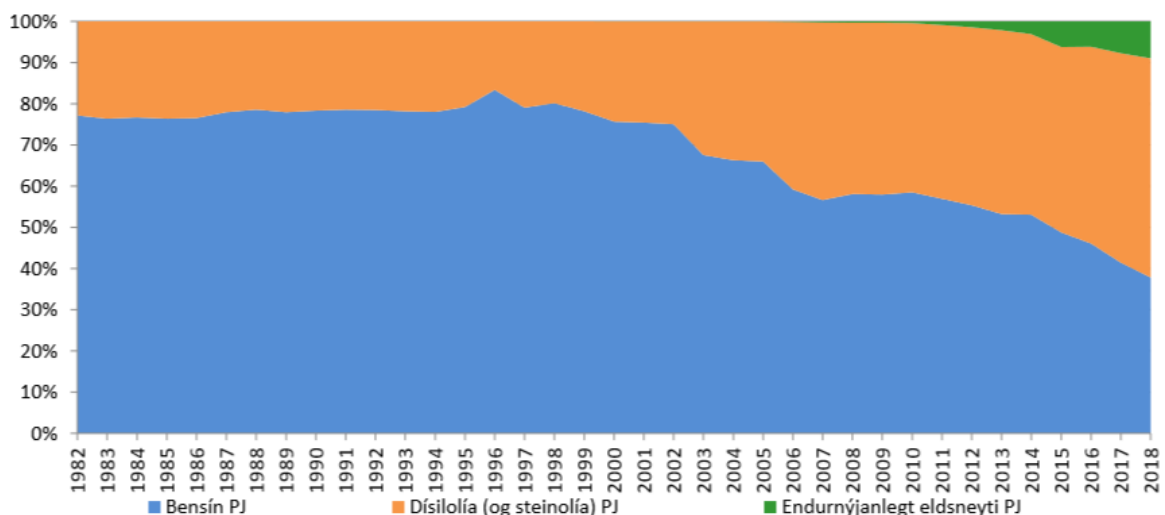
Lífdísilolían sem notuð hefur verið á togara Samherja er nálægt því að vera eina endurnýjanlega eldsneytið á sjó, þó það sé að breytast með tilkomu rafbáta. Þar sem þessi lífdísilolía var ekki ætluð á skip, heldur bíla, er hér um eins konar samlegðaráhrif að ræða. Ef togarar Samherja hefðu ekki verið til taks til að taka við framleiðslunni, væri staða framleiðandans mun þrengri nú.

Þegar skip fara að ganga fyrir endurnýjanlegu eldsneyti að mestu eða öllu leyti væri þægilegt ef tæki á landi gengu fyrir sama eldsneyti, t.d. vöruflutningabílar eða fólksflutningabílar. Auk samnýtingar innviða gæti það hjálpað innlendum framleiðendum, ef einhverjir eru, að koma sinni vöru á framfæri.

Dæmi um þetta gæti verið vetnisstöð nálægt höfn sem þjónaði bæði skipum og flutningabílum.

### 5.1.3 Áhrif hins opinbera

Frá því 1982, eða frá því að góð gögn um olíunotkun á Íslandi eru til, hafa tvisvar sinnum orðið stórar breytingar á samsetningu orkugjafa í samgöngum á landi. Fyrri breytingin varð árið 2003 í kjölfarið á því að þungaskattur var afnuminn. Þá fjölgaði smærri dísilbílum svo um munaði og hlutfall dísilolíu í samgöngum jókst úr því að vera um 20% í um 50% í dag. Seinni breytingin er að eiga sér stað núna og kom í kjölfarið á lögum um endurnýjanlegt eldsneyti á landi sem tóku gildi árið 2014. Þá fór hlutfall endurnýjanlegs eldsneytis úr því að vera vel undir einu prósentu í tæp 7% í dag. Þessi þróun sést vel á mynd **MYND 11**.



**MYND 11** Hlutfallsleg skipting orkugjafa í samgöngum á landi. Heimild: Orkustofnun.

Í báðum tilfellum voru það lagabreytingar sem höfðu þessi áhrif. Önnur breytti skattaumhverfinu en hin setti kvaðir á söluaðilana. Engar aðrar aðgerðir hafa haft nærri því jafn mikil áhrif og þessar. Breyting gjalda af rafbilum og vetnisbílum virðist vera að hafa töluverð áhrif, en það kemur betur í ljós á næstu árum.

Það er líklegt að í það minnsta jafn sterkar aðgerðir þurfi til að breyta samsetningu eldsneytis á sjó og þurfti til að breyta því á landi.

Raunar hefur samsetning eldsneytis á sjó alltaf farið nokkuð eftir verði á gasolíu og svartolíu. Þegar olíuverð hefur verið hátt, hafa menn farið yfir á svartolíu sem er ódýrari en gasolían.

## 5.2 Orkuskipti á sjó erlendis

Endurnýjanlegt eldsneyti á sjó hefur ekki náð fótfestu neins staðar, en það er líklega að fara að breytast. Orkuskipti á sjó eru í brennidepli núna, og svo virðist sem nýjar skýrslur komi út næstum daglega þar sem greint er hverjir helstu möguleikarnir séu og til hvaða aðgerða er hægt að grípa.

Hér verður gripið niður í nokkrar þeirra:

- Norska umhverfisráðuneytið hefur gert könnun á því hvernig íblöndun lífeldsneytis í jarðefnaeldsneyti á sjó kæmi út. Niðurstöður þeirrar könnunar benda til þess að með metnaðarfullri innleiðingu rafvæðingar, vetnis, lífgass og jarðgass sé hægt að ná fram 40% samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda miðað við losunina 2015. Noregur er nokkuð framarlega á þessu sviði, og eru t.d. ferjur sem nú eru keyptar af hinu opinbera allar losunarfríar. Aðgerðaáætlun Noregs skiptist eftir notkunarflokkum skipa, þannig að aðgerðir sem beinast að ferjum eru t.d. ekki endilega eins og aðgerðir sem beinast að fiskiskipum.

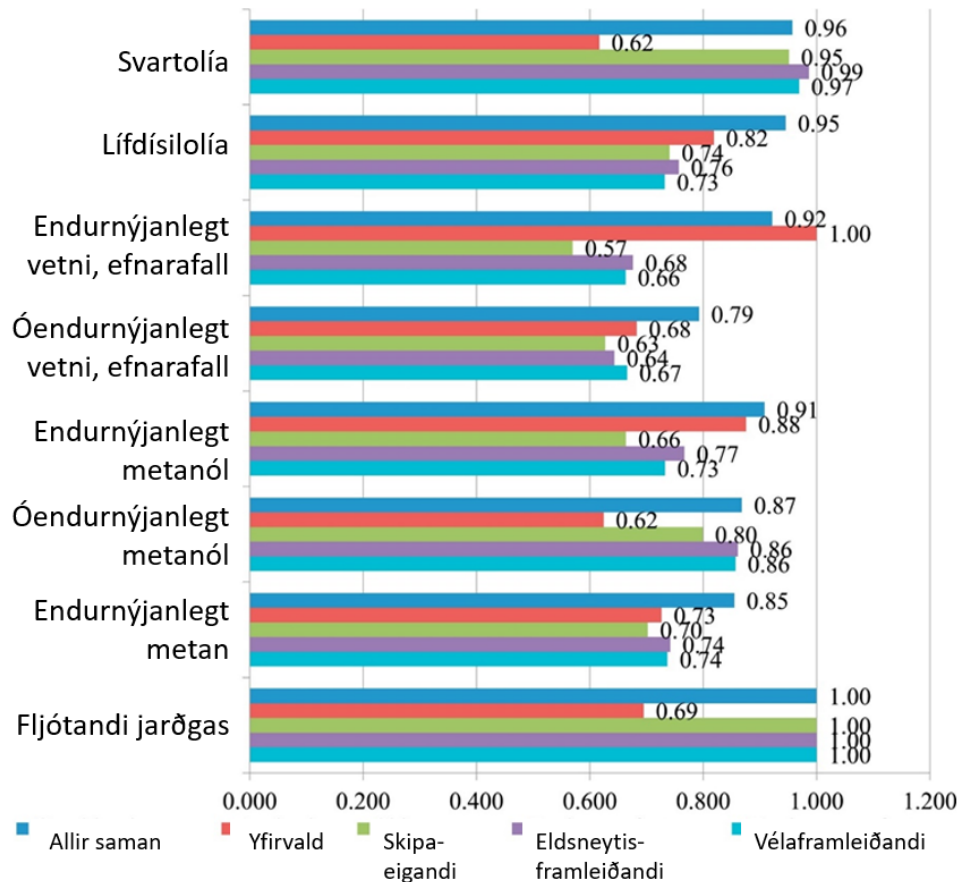
Norsk skip í millilandasiglingum kaupa gjarnan (ódýrara) eldsneyti erlendis. Noregur býst við að með íblöndunarskyldu muni eldsneyti sem selt er í Noregi hækka enn frekar í verði og skipaeigendur verði því enn líklegri til að kaupa eldsneyti annars staðar.

Hinn svokallaði NOx sjóður, sem styður við aðgerðir sem draga úr NOx mengun í Noregi leggur gjald á eldsneyti sem rennur óskipt í sjóðinn. Hann úthlutar svo styrkjum til verkefna sem stuðla að minnkaðri NOx mengun. Sjóðurinn hefur gengið vel, og auk þess að draga úr NOx mengun hefur hann einnig dregið úr CO2 losun.

- Gerð hefur verið könnun á afstöðu haghafa í Svíþjóð gagnvart hugsanlegum framtíðarorkugjöfum á sjó, s.s. svartolíu, lífdísilolíu, raforku, vetni, metanóls, metans og jarðgass. Í ljós kom að mismunandi hópar haghafa höfðu afar ólíka afstöðu gagnvart hinum ýmsu orkugjöfum, en mynd **MYND 12** er einmitt tekin úr könnuninni og sýnir þetta glögg. Hóparnir fjórir, yfirvöld, skipaeigendur, eldsneytisframleiðendur og vélaframleiðendur voru látnir raða eldsneytunum eftir því hvaða eldsneyti þeir kysu helst. Það eldsneyti fékk einkunnina 1 en hin svo eitthvað hlutfall þar af.

Það er ljóst að geil er á milli sýnar yfirvalda og annarra haghafa. Yfirvöld leggja mesta áherslu á umhverfisþættina og velja þar með endurnýjanlegt vetni af þeim möguleikum sem eru í boði.

Aðrir haghafar telja efnahagslegu þættina mest áriðandi, sér í lagi orkuverð, og þá kemur jarðgasið best út.



**MYND 12** Mismunandi sýn ólíkra hópa haghafa á framtíðareldsneyti á sjó. Heimild: Julia Hansson et al.

Þegar lagt er saman, er það hagræni þátturinn sem vegur þyngst. Úr vísindagreininni:

IN THE OVERALL COMBINATION AND IN SEVERAL OF THE GROUPINGS, STAKEHOLDERS IN THIS STUDY CONSIDER OVERALL ECONOMIC CRITERIA, IN PARTICULAR THE FUEL PRICE, MORE IMPORTANT THAN TECHNICAL, ENVIRONMENTAL, AND SOCIAL FACTORS IN CHOOSING MARINE FUELS.

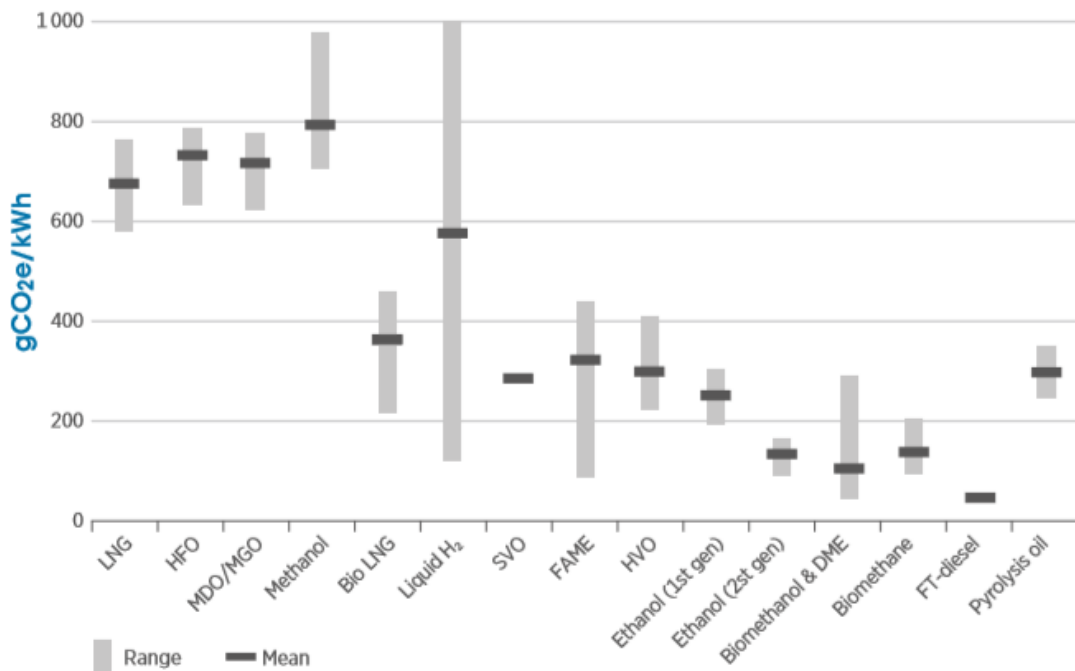
- þegar skýrslur IMO, IEA og IRENA (International Renewable Energy Agency) eru skoðaðar er ljóst að þegar horft er til skamms tíma er almennt gert ráð fyrir lífólíum til íblöndunar og fljótandi jarðgasi sem nýju eldsneyti. Þegar horft er til lengri tíma er gert ráð fyrir rafeldsneyti af einhverjum toga, til dæmis vetni eða ammóníaki.

Ný skýrsla frá IRENA sýnir losun ýmissa eldsneytistegunda sem koma til greina, sjá mynd **MYND 13**. Á myndina vantar ammóníak, en í texta skýrslunnar kemur fram að losun vegna ammóníaks ætti að vera svipuð og losun vegna vetnisframleiðslu, auk losunar vegna köfnunarefnisframleiðslu enda er ammóníak unnið úr vetni og köfnunarefni.

Þessar niðurstöður IRENA eru töluvert óvæntar, þar sem metanólíð er hærra en jarðefnaeldsneytið og er líklegt að íslenskir metanólframleiðendur myndu mótmæla þessu. Breidd bilsins hjá vetninu bendir til þess að bæði sé litið til vetnis sem framleitt er á

endurnýjanlegan hátt og vetni sem framleitt eru úr jarðefnaeldsneyti. Ef til vill er eingöngu litið til metanóls sem framleitt er úr jarðefnaeldsneyti hér.

Að auki kemur á óvart hversu lág FT-dísilólían er.



**MYND 13** Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á orkuframleiðslu skipavélarinnar eftir eldsneytistegundum. Heimild: IRENA.

Gildin sem sýnd eru á mynd **MYND 13** eru byggð á lífsferilsgreiningu, ekki eingöngu losun við notkun.

Myndir af þessu tagi, þar sem gildi fyrir einstakar eldsneytistegundir eru mjög langt frá því að vera það sem við myndum búast við fyrir eldsneyti sem væri framleitt hér, sýna nauðsyn þess að gera sambærilegar greiningar fyrir íslensk endurnýjanleg eldsneyti, s.s. vetni, metanól og repjuólíu.

## 6 HEIMILDIR

Alþingi, [Skýrsla ferðamála-, iðnaðar- og nýsköpunarráðherra um innlenda eldsneytisframleiðslu](#), Alþingi, 2018

Alþingi, [Þingsályktun um aðgerðaáætlun um orkuskipti](#), 2017

Anna Lilja Oddsdóttir og Jón Ásgeir H. Þorvaldsson, [Endurnýjanlegt eldsneyti í samgöngum á landi 2018](#), Orkustofnun 2018

Ágústa Loftsdóttir, *Orkuskipti – Áhrif orkuskipta á losun gróðurhúsalofttegunda*, Efla fyrir Landsvirkjun, 2017

Bjarni Kristjánsson og Klara Bentsdóttir, [Landtengingar skipa](#), Mannvit, 2012

Brynhildur Davíðsdóttir et al., [Ísland og loftslagsmál](#), Hagfræðistofnun Háskóla Íslands, 2017

DNV GL, *Maritime Forecast to 2050*, DNV GL, 2019

Hafið, [Best case practices in Nordic harbours for eco-friendly fuels – Project report](#), Hafið, 2017

Hafið, [Electrification of harbours – Project report](#), Hafið, 2017

Hafið og Íslensk NýOrka, [Aðgerðaáætlun um orkuskipti í íslenskum höfnum – með áherslu á raftengingar til skipa í höfn](#), 2018

IEA, [Oil 2019 Analysis and forecast to 2024](#), IEA 2019

IEA, vefsíða: <https://www.iea.org/tcep/transport/shipping/>, sótt 15. október 2019

IMO, *Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Talanoa Dialogue, Adoption of the Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions From Ships and Existing IMO Activity Related to Reducing GHG Emissions in the Shipping Sector*, IMO, 2018

IRENA, [Navigating to a renewable future: Solutions for decarbonising shipping, Preliminary findings](#), International Renewable Energy Agency, 2019

Jón Bernódusson, [Repjuræktun á Íslandi til skipaeldsneytis](#), Samgöngustofa, 2018

Jón Bernódusson, [Sjálfbær ræktun orkujurta á Íslandi til skipaeldsneytis](#), Samgöngustofa, 2016

Jón Heiðar Ríkharðsson, *Bátasmiðjur og skipahönnuðir*, Efla, óútgefin

Jóhann Örlygsson, *Lífeldsneyti*, [verkefnasíða](#), 2010-2013

Julia Hansson et al., [Alternative marine fuels: Prospects based on multi-criteria decision analysis involving Swedish stakeholders](#), Biomass and Bioenergy vol. 126, July 2019, p159-173

Kaya Grjotheim et al., [Kunnskapsgrunnlag for omsetningskrav í skipsfart](#), Miljødirektoratet 2018

Magnús Guðmundsson, *Framleiðsla á eldsneyti með gösun*, [glærur](#), Nýsköpunarmiðstöð 2010

Neste, *Sustainability report*, 2018, sótt af síðu NESTE <https://www.neste.com/corporate-info/investors/materials>

Norska ríkisstjórnin, *The Government's Action Plan for Green Shipping*, 2019

Orkuspárnefnd, *Raforkuspá 2019 – 2050*, Orkustofnun, 2019

Orkuspárnefnd, *Eldsneytisspá 2016 – 2050*, Orkustofnun, 2016

Orkuspárnefnd, *Almennar forsendur orkuspáa 2018*, Orkustofnun, 2018

Paul Balcombe et. al., *How to decarbonise international shipping: Options for fuels technologies and policies*, Energy Conversion and Management, Vol. 182, 2019

*Regulation (EU) 2015/757 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC*

ShipInsight, vefsíða: <https://shipinsight.com/articles/engine-choices-Ing-propulsion>, sótt 15. október 2019