



# Orkuskipti í samgöngum á Íslandi

*Aron Bjarki Ingvason*  
aroni21@ru.is

*Baldur Ingi Baldursson*  
baldurib21@ru.is

*Davíð Haukur Sigurðsson*  
davidhs21@ru.is

*Ómar Páll Axelsson*  
omarpa21@ru.is

Kennari  
Dr. María Sigríður Guðjónsdóttir

## 1 Inngangur

Ísland var ein af þeim 175 þjóðum sem sameinuðust undir merkjum Parísarsamningsins árið 2015 að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. Í samvinnu við ríki Evrópusambandsins og Noreg ætlar Ísland að draga úr losun um allt að 40% fyrir árið 2030 miðað við losun ársins 1990.[1]

Verkefni af þessum toga og af þessari stærðargráðu krefst samvinnu stjórnvalda, atvinnulífs og almennings. Til þess að fylla hið stóra skarð sem útrýming jarðefnaeldsneytis skilur eftir sig þurfum við nýjar lausnir og nýja nálgun. Ef samgöngur munu að mestu leyti treysta á raforku þurfum við að geta mætt þeirri orkuþörf. Hvaða aðrir orkugjafar kæmu til greina eftir brotthvarf jarðefnaeldsneytis?

## 2 Framkvæmd

Aflað var upplýsinga um jarðefnaeldsneytisnotkun í fjórum helstu flokkum samgangna á Íslandi, fólksbíla, flutningabíla, skipa og flugvéla. Gerð var greining á þeim gögnum til að fá yfirlit yfir skiptingu mismunandi tegunda jarðefnaeldsneyta, þ.e. bensín, dísel og steinolía að mestu leyti. Varminn  $Q$  sem fæst úr bruna á eldsneyti fer eftir varmagildi þess (LHV). Fyrir massa eldsneytis  $m$  reiknast varminn þá sem

$$Q = LHV * m \quad (1)$$

Vinna farartækisins  $W$  sem notar orku  $Q$  frá bruna eldsneytis fer eftir nýtni vélar farartækisins,  $\eta$ .

$$W = Q * \eta \quad (2)$$

Með jöfnum (1) og (2) má svo finna finna heildarvinnu allra farartækja af sömu gerð sem brenna ákveðnum massa af eldsneyti.

### 2.1 Orkutap og nýtnisstuðlar

Þegar orku er umbreytt úr einu formi í annað tapast í langflestum tilvikum hluti af orkunni. Í útreikningum verður notast við eftirfarandi nýtnisstuðla:

Tafla 1: Nýtni véla

Vél	Nýtni [%]
Bensínvél	28
Díselvél	28
Rafmótor	90
Flugvélamótor	40
Efnarafall	40

Auk þess gerum við ráð fyrir að vetni sé framleitt með rafgreiningu með nýtni upp á 55%. Við búumst einnig við 30% töpum á raforku sem færð er í rafhlöðu farartækis.

### 2.2 Varmagildi eldsneyta

Við reikninga á varma sem fæst úr bruna eldsneyta gerum við ráð fyrir eftirfarandi varmagildum:

Tafla 2: Varmagildi jarðefnaeldsneyta

Eldsneyti	Varmagildi [MJ/kg]
Bensín	43.1
Dísel	42.7
Kerósín	43.1

### 3 Niðurstöður og umræða

Notast var við tölur frá Orkustofnun fyrir eldsneytisnotkun á Íslandi eftir geirum árið 2018. [2] Raforkuvinnsla og afl orkuvera á Íslandi 2018 má sjá í eftirfarandi töflu:

Tafla 3: Raforkuvinnsla á Íslandi 2018 [3]

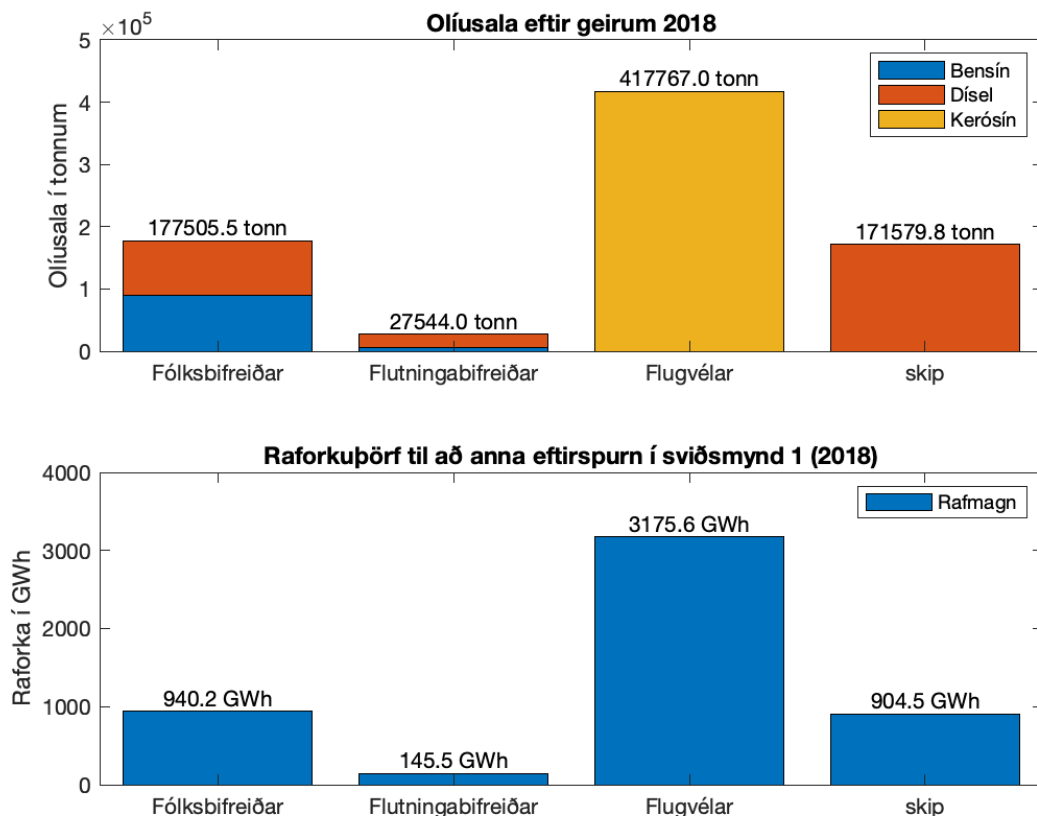
	Afl orkuvera [MW]	Afl %	Raforkuvinnsla [GWh]	Raforkuvinnsla %
Vatnsorka	2.098	71,7	13.814	69,3
Jarðhiti	754	25,8	6010	30,3
Eldsneyti	72	2,5	2	0,01
Vindorka	3	0,1	4	0,02
<b>Samtals</b>	<b>2.927</b>	<b>100</b>	<b>19.830</b>	<b>100</b>

#### 3.1 Sviðsmynd 1

Í fyrstu sviðsmynd skoðum við orkubörf í samgöngum ef fólksbílar, flutningabílar, skip og flugvélar væru öll knúin með rafmagni. Heildarvinnu hvers flokks af farartækjum er fundin með jöfnum (1) og (2).

Í þessari sviðsmynd eru öll farartæki knúin með rafmótor með rafhlöðu svo heildar raforkan sem þyrfti að framleiða í hverjum flokki er reiknuð sem  $\frac{W}{\eta_{rafmótor} * \eta_{rafhlaða}}$ . Tap við flutning á raforku yfir í rafhlöðu er 30% skv. kafla 2.1 sem nýtni rafhlöðu er skilgreind sem  $\eta_{rafhlaða} = 100\% - 30\% = 70\%$

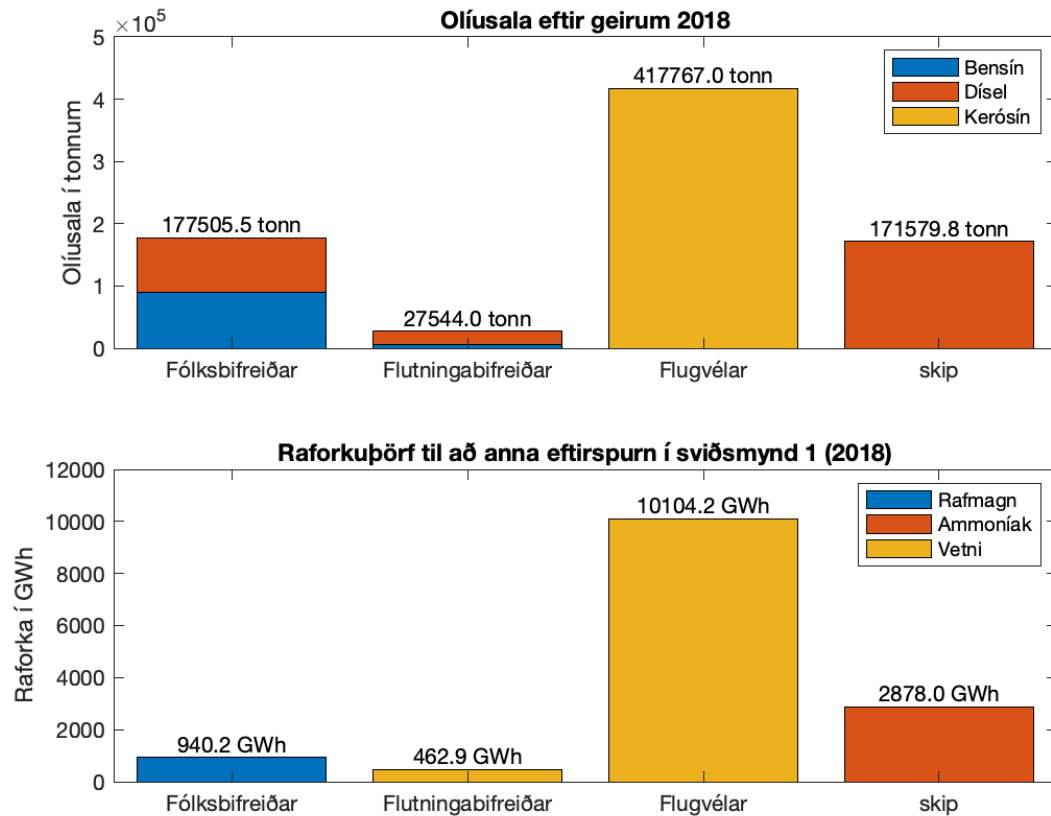
Mynd 1: Samanburður á olíusölu 2018 og raforkubörf til að anna þeirri eftirspurn í sviðsmynd 1



Heildar raforka sem þarf að framleiða er í þessari sviðsmynd 5165.8 GWh sem er sú lægsta af sviðsmyndunum þremur og mundi krefjast 26.0% aukningu miðað við núverandi raforkuframleiðslu. Að láta öll farartæki ganga fyrir rafmagni er því mjög hagstæður kostur.

### 3.2 Sviðsmynd 2

Nú skoðum við sviðsmynd þar sem fólksbílar eru knúnir fyrir rafmagni, flutningabílar og flugvélar eru knúin fyrir vetni í efnarafal og skip eru knúin fyrir ammóníaki í efnarafal. Eins og sviðsmynd 1 finnur við orkuþörfina með því að deila heildarvinnu með heildarnýtni við framleiðslu, flutning og notkun á orkugjafanum.



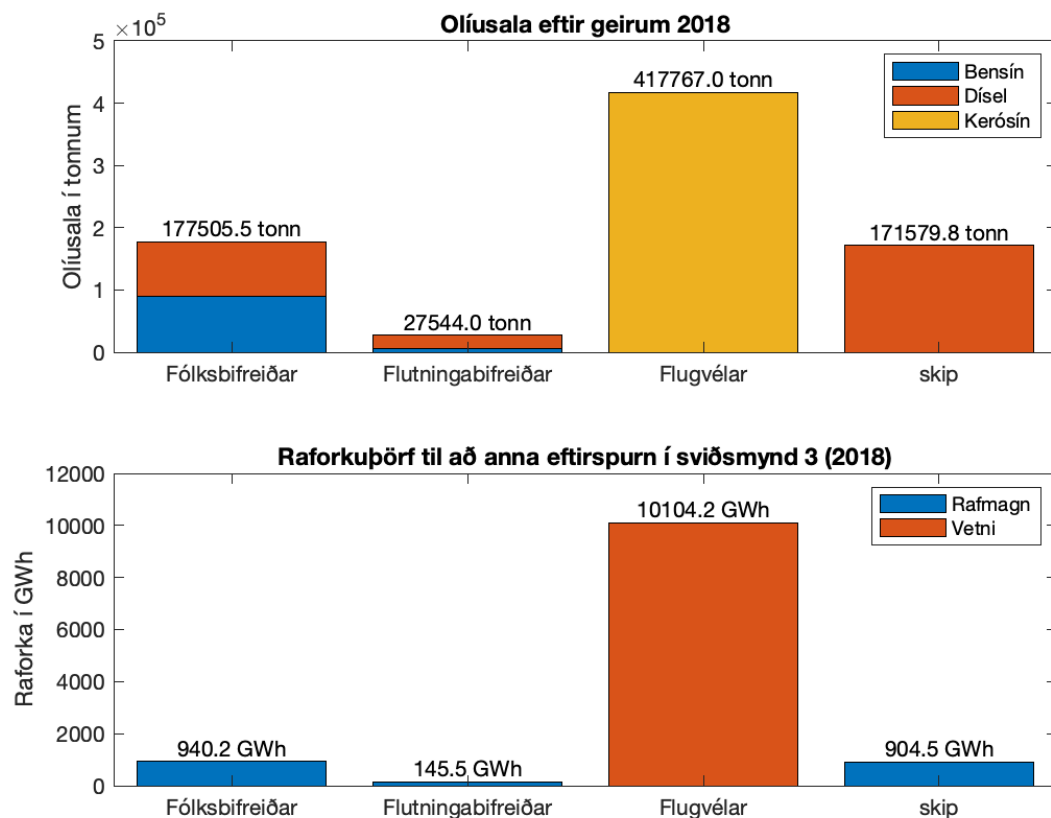
Mynd 2: Samanburður á olíusölu 2018 og raforkupörf til að anna þeirri eftirspurn í sviðsmynd 2

Flugvélar og skip eru hér stærsti kostnaðurinn á orku en samanlagt þyrfti 12982.2 GWh eða 65.5% af núverandi framleiðslu til þess að standa undir orkuþörf þeirra. Þessi sviðsmynd hefur mestu orkuþörfina, 14385.3 GWh. Það yrði 72% aukning miðað við núverandi rafmagnsframleiðslu. Hér eru þrír af fjórum flokkum knúnir með efnarafali. Orkutapið við að framleiða vetni og ammóníak og svo í efnarafalinum sjálfum er töluvert herra en orkutapið í rafhlöðu. Því er þetta sviðsmyndin sem þarfnast mestrar orku.

### 3.3 Sviðsmynd 3

Í þriðju sviðsmynd látum við fólksbifreiðar, flutningabifreiðar og skip vera knúin með rafmagni og rafhlöðu. Flugvélar nota vetni í efnarafali. Hugmyndin á bakvið þá skiptingu er að rafmagn sem geymt er í rafhlöðu er almennt hagstæðasti orkugjafinn og með háa nýtni. Vetni í efnarafal hentar betur fyrir flugvélar þar sem það er léttara að geyma um borð og er því drægni flugvélarinnar meiri.

Mynd 3: Samanburður á olíusölu 2018 og raforkuþörf til að anna þeirri eftirspurn í sviðsmynd 3



Sjáum að í mynd 3 er raforkuþörf flugvéla um það bil 83% af heildarraforkuþörf Íslands. Þetta er eitt af helstu ókostum vetni sem eldsneyti fyrir flugvéla þar sem svo mikið af orku tapast í framleiðslu vetnis. Einnig er 95% af vetni sem er framleitt í dag framleitt með jarðefnaeldsneyti[4]. Það gefur í skyn að þangað til að meira af vetni er framleitt með grænum hætti myndi skoðun almennings mögulega vera almennt á móti vetni sem eldsneyti flugvéla.

Tafla 4: Heildarraforkuþörf eftir geirum í GWh og % aukning af núverandi framleiðslu

	Fólksbifreiðar	Flutningsbifreiðar	Flugvélar	Skip	Heildarraforka	Aukning [%]
<b>Sviðsmynd 1</b>	940.2	145.5	3175.6	904.5	5165.8	26.0
<b>Sviðsmynd 2</b>	940.2	462.9	10104.2	2878.0	14385.3	72.5
<b>Sviðsmynd 3</b>	940.2	145.5	10104.2	904.5	12094.4	60.9

### 3.4 Kostir og gallar

Almennt séð eru yfirgnæfandi kostir sem fylgja því að vera ekki háð jarðefnaeldsneyti þegar kemur að samgöngum. Sama í hvaða græna orkugjafa við förum í. Við minnkum útblástur koltvíoxíðs gríðarlega og þar sem Ísland er í sérstöðu þegar kemur að framleiðslu á endurnýjanlegri og hreinni orku myndu orkuskipti í samgöngum þýða að við yrðum ansi nálægt því að vera fullkomnlega sjálfbær í allri orku-

notkun.

Í sviðsmynd 1 þar sem allar samgöngur væru keyrðar áfram á rafmagni myndum við vera með mjög einfalt kerfi sem keyrir á einum orkugjafa. Ekki væri þörf á að hafa margar gerðir af orkuverum eftir því hvaða orku þarf að umbreyta úr einni í aðra heldur væru allar virkjanir og orkuver hönnuð til að framleiða rafmagn. Þetta væri bæði einfalt og hagkvæmt. Einnig er raforka tiltölulega öruggur orkugjafi með háan nýtnistuðul. Engin sprengihætta er af geymslu á rafmagni eins og til dæmis væri með gastegundir eins og metan, vetni og ammóníak.

Gallarnir við þessa sviðsmynd er að rafhlöður eru þungar og fyrirferðamiklar. Eitthvað sem myndi t.d. gera það að verkum að flugsamgöngur ættu mjög erfitt með að skipta yfir í þennan orkugjafa enn um sinn. Í dag tekur líka mjög langan tíma að hlaða rafhlöður svo þær séu tilbúnar til notkunar miðað við aðra orkugjafa. Rafhlöður eru líka dýr geymslumáti sem kostar mikla orku að framleiða. Þess vegna er ekki hægt að sjá fyrir sér að fyrr en við höfum tekið risastökk fram á við í gerð og framleiðslu rafhlaðna að hægt sé að yfirfæra allar gerðir samgangna yfir í rafmagn.

Í sviðsmynd 2, þar sem samgöngum er skipt niður í þrjá mismunandi orkugjafa, mætti halda við fyrstu sýn að þetta væri frekar vondur kostur. Flækjustigið af því að nota 3 mismunandi orkugjafa og að auki eru tveir af þeim ekki mjög þekktir meðal almennings. Skiptingin á milli hvaða orka er hugsuð fyrir hvern samgöngumáta er þó ekki svo vitlaus þegar betur er að gáð. Bílar hafa nú þegar fært sig að miklu leyti yfir í rafmagn, sem almenningur þekkir vel. Gera má ráð fyrir því að langstærstur meirihluta bílaflotans verði orðinn rafmagnsknúinn í lok áratugarins nema eitthvað stórkostlegt eigi sér stað. Flutningabílar og flugvélar væru hentugir ferðamátar fyrir vetni og þá sérstaklega flugvélar sem myndu njóta kosta vetnis að vera tiltölulega léttur og fyrirferðalítill orkugjafi. Skipaflotinn ætti líka auðvelt með að umbreyta vélum sínum úr dísel yfir í efnarafala sem keyrðir væru áfram af ammóníaki. Almenningur hefur minni skoðanir á hvaða orkugjafi er notaður á skip en aðra ferðamáta eins og flugvélar eða bíla og myndi hafa minni áhyggjur af frekar óþekktum orkugjafa eins og ammóníaki. Ammóníak er gastegund sem myndi gera að verkum að skip yrðu mun bærilegri fyrir þá sem á þeim starfa eða ferðast þar sem titringur og hljóðvist yrði allt önnur en þekkist í dag.

Stærsti gallinn við þessa sviðsmynd er að stór hluti af samgöngum yrðu keyrðir áfram á gasi sem þýðir gasleiðslur og gastankar á við og dreif. Gas er mjög eldfimt og mætti gera ráð fyrir reglulegum slysum, sumum hverjum mjög alvarlegum. Þetta væri eitthvað sem almenningur ætti erfitt með að setta sig við, sérstaklega þegar við höfum aðgang í aðra mun hættuminni orkugjafa. Einnig tapast gríðarhátt hlutfall rafmagns við framleiðslu vetnis sem gerir að verkum að nýtnistuðull þess sem orkugjafa verður ekki eins fýsilegur og margir aðrir sem eru í boði.

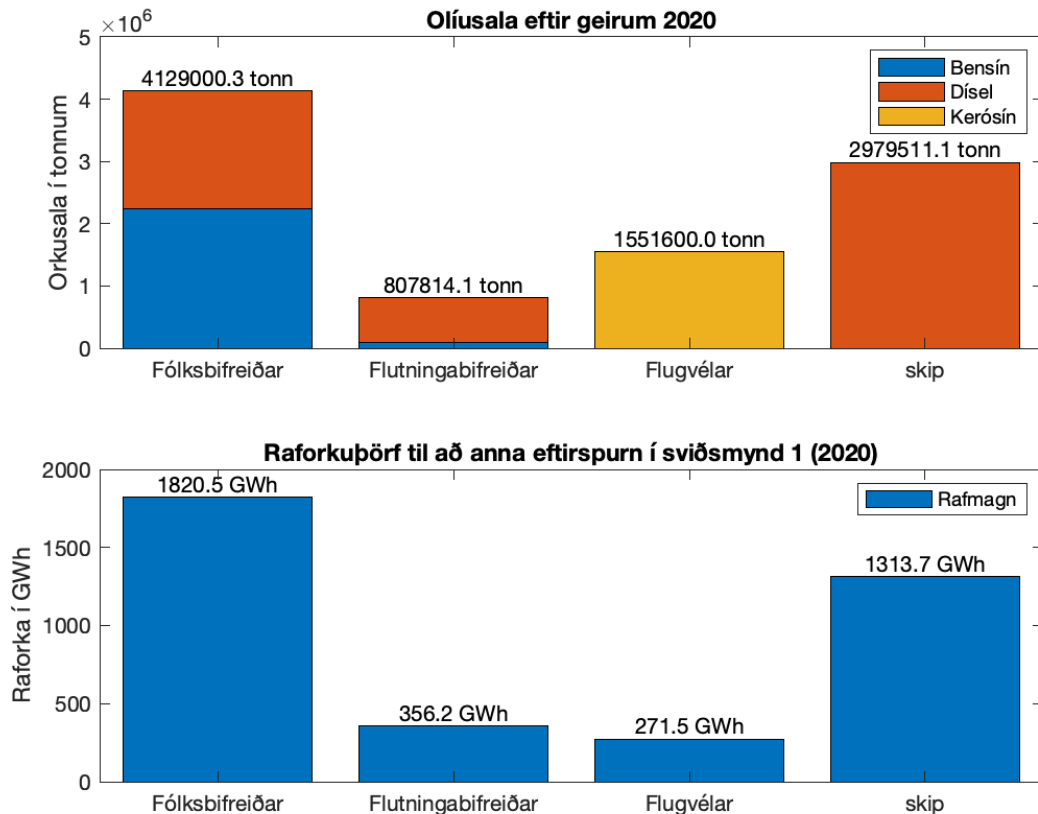
Í þriðju og síðustu sviðsmyndinni eru allar samgöngur keyrðar áfram á rafmagni nema flugsamgöngur sem þola enn um sinn ekki þá þyngd sem stafar af því gríðarlega magni af rafhlöðum sem þyrftu að vera um borð fyrir millilandaflug. Rafmagn er klárlega besti og öruggasti orkugjafinn sem okkur stendur til boða í dag. Það er auðvelt að geyma hann, hefur góða nýtni og er orkugjafi sem almenningur hvarvetna þekkir vel og líður vel með að nota. Kostir þess að allir sameinist um að nota sama orkugjafann fyrir allar samgöngur eru líka þeir að þróun verður mun hraðari þar sem allir eru að vinna í sama sandkassanum, ef svo má að orði komast.

Gallar rafmagns, sem snúa að mestu leyti að þeim rafhlöðum sem okkur standa til boða í dag, er vandamál sem við erum án efa nálægt því að taka stórt stökk fram á við að betrumbæta svo um munar. Elon Musk, eigandi og framleiðandi Teslu rafbílana, hefur látið hafa eftir sér að ekki sé langt þar til hann tilkynni nýja gerð rafhlaðna sem sé mun ódýrari, fyrirferðaminni, léttari, með meiri endingu og taki mun minni tíma að hlaða en við eigum að venjast í dag.

### 3.5 Einangrað dæmi: Raforka til að anna samgöngum 2020

Árið 2020 var óvenjulegt að mörgu leyti. Olíunotkun flugvéla í millilandsflugi dalaði um meira en helming miðað við 2018. Þar sem að jarðefnaeldsneytisnotkun í samgöngum þetta árið var heldur óvenjulegt er 2020 slæmt dæmi til þess nota til að spá fyrir um framtíðin orkunotkunar í samgöngum. Hins vegar er áhugavert að sjá hversu mikla raforku þyrfti að framleiða aukalega miðað við núverandi framleiðslu til þess að anna samgöngum 2020 ef öll farartæki gengu fyrir rafmagn.

Mynd 4: Samanburður á olíusölu 2020 og raforkupörf til að anna þeirri eftirspurn



Eins og sjá má af grafi var orkunotkun flugvéla fremur lítil eða 7.2% sem hlutfall af heildar orkunotkun 2020. Heildar raforkupörfin til þess að knýja öll farartæki hefði aðeins verið 3762 GWh eða 19% af raforkuvinnslu árið 2018.

## 4 Samantekt og niðurstöður

Við teljum þriðju sviðsmyndina vera þá raunhæfustu. Þar eru allar samgöngur keyrðar áfram á rafmagni nema flugsamgöngur Rafmagn er klárlega besti og öruggasti orkugjafinn sem okkur stendur til boða í dag. Nýtnin er sú besta af þeim orkugjöfum sem við höfum skoðað og er orkugjafi sem almenningur hvarvetna þekkir vel og líður vel með að nota. Það er líka klár kostur að einn orkugjafi sé staðallinn því þá verður þróunin þeim mun hraðari sem þýðir fleiri og betri lausnir á styttri tíma. Vetni í efnarafal hentar betur fyrir flugvélar þar sem það er léttara að geyma um borð og verður því drægni flugvélarinnar meiri.

Aukna orkuþörfin við sviðsmynd þrjú er 12.094 GWh. Núverandi notkun á rafmagni er 19.830 GWh. Samanlagt þyrfti því að framleiða 31.924 GWh af rafmagni. Afl núverandi vatnorku-, jarðhita- og vindorkuvera er 2855 MW. Hámarksframleiðsla þeirra er því 25.009 GWh. Til þess að verða við þessari aukinni orkuþörf upp á 6.915 GWh þyrfti að skera niður orkunotkun annars staðar og reisa ný orkuver.

Augljósi kosturinn um hvar væri best að skera niður er klárlega í þeirri orku sem við erum að selja stóriðjunni. Þetta er orka sem knýr áfram iðnað sem er ekki í anda þess sem Ísland ætti að standa fyrir. Rétt eins og það fer ekki saman að veiða hvali á sama stað og ferðamenn eru í hvalaskoðun má færa rök fyrir að það fari ekki saman að selja Ísland sem náttúruferlu um allan heim á meðan rekinn er stóriðnaður sem mengar og hefur slæmt orð á sér í boði íslenskrar orku sem í þokkabót er seld með afsláttarkjörum.

Með því að beina þeirri orku í samgöngur og önnur umhverfissvænni verkefni myndi Ísland slá tvær flugur í einu höggi. Nýta orkuna á umhverfissvænni og ábyrgari hátt og leggja enn betri grunn að þeirri ímynd sem Ísland vill standa fyrir á erlendri grundu sem mun án efa skila sér í meiri áhuga ferðamanna og meiri tekjum fyrir þjóðarbúið.

Einnig væri hægt að bæta við þá orku sem Íslendingar framleiða með því að reisa vindorkuver. Vænlegasti kosturinn til að reisa slík ver væri í sjó fyrir fyrir utan landið. Fyrirtækið Hectate Independent Power hefur skoðað að reisa vindmyllugarð suðaustur af landinu þar sem uppsett afl garðsins yrði 2000 MW. Ef við gerum ráð fyrir að hver vindmylla væri að skila uppsettu afli upp á 1,5-2,0 MW værum við að horfa upp á u.þ.b. 1.300 vindmyllur til að framleiða þessi 2000 MW. Til samanburðar er uppsett afl Fljótsdalsvirkjunar við Kárahnjúka 690MW.

Einn slíkur garður myndi þannig hæglega duga til að mæta orkuþörf Íslendinga fyrir allar samgöngur á láði og legi. Gríðarlega stóra spaða þyrfti í slíkar vindmyllur eða í kringum 80-90 metrar og er reglan yfirleitt að það þurfi 6-7 falda þá fjarðlægð á milli hverrar vindmyllu. Þetta myndi þýða að fiskveiðar á þessu svæði gjörsamlega ómögulegar. Þetta væri stóri ókosturinn við að byggja slíkan vindmyllugarð í hafi því hann myndi taka ótrúlega mikið pláss

Það er því alltaf einhver fórnarkostnaður sama hvaða leið er farin. Þess vegna er mikilvægt að kanna vel hug almennings áður en farið er af stað svo sátt myndist um þennan mikilvæga kafla í okkar sögu sem orkuskipti í samgöngum sannarlega er.



## Heimildir

- [1] S. I. Friðleifsson, „Milljón tonn“, tæknileg skýrsla, okt. 2017. vefslóð: [https://www.stjornarradid.is/library/02-Rit--skyrslur-og-skrar/Milljon\\_tonn\\_FINAL.pdf](https://www.stjornarradid.is/library/02-Rit--skyrslur-og-skrar/Milljon_tonn_FINAL.pdf).
- [2] Orkustofnun, *Talnaefni Orkustofnunar OS-2019-T005-01*. vefslóð: <https://orkustofnun.is/gogn/Talnaefni/OS-2019-T005-01.pdf>.
- [3] —, *Orkutölur 2020*. vefslóð: <https://orkustofnun.is/gogn/os-onnur-rit/Orkutolur-2020-islenska-A-4.pdf>.
- [4] S. P. K. Jón Heiðar Ríkharðsson, *Hver er framtíð vetnisknúinna bifreiða?* Vefslóð: <https://www.efla.is/blogg/framtidin/framtid-vetnisknuna-bifreiða>.