Skýrsla nr. 2018-025. 03.07.19

ORKA NÁTTÚRUNNAR

Kolefnisfótspor rafbíla við íslenskar aðstæður

- Lífsferilsgreining fyrir áætluð áhrif rafbílavæðingar á loftlagsbreytingar

Kevin Dillman, umhverfisverkfræðingur og Dagný Hauksdóttir, doktor í iðnaðarverkfræði.

Skýrslan er þýdd úr ensku og heitir á frummáli: *A Life Cycle Assessment Review Analyzing the Global Warming Potential of Electric Vehicles with an Icelandic Perspective.*

Útgefandi: Orka náttúrunnar
Efnisorð: Rafbílar. Lífsferilsgreining. Rafrænar samgöngur. Orkuskipti.

Efnisyfirlit

1 Inngangur 2
2 Aðferð 4
2.1 Fræðileg samantekt og forsendur innan greina 6
2.2 Aðferðarfræði við fræðilega samantekt og staðbundnir áhrifaþættir 9
2.2.1 Losun við framleiðslu 9
2.2.2 Losun á notkunartíma 9
2.3 Greining á gögnum – Rafbílar knúnir áfram af rafmagni sem er framleitt á annan hátt ... 10
2.4 Áhrif stærðar rafbíla rafhlaða á losun GHL 11
3 Niðurstöður 12
3.1 Áhrif uppruna raforku 13
3.2 Áhrif stærðar rafhlöðu á heildarlosun 14
4 Umræða 16
4.1 Áhrif rafhlöðugetu 16
4.2 Áhrif raforkuframleiðslu 16
4.3 Áhrif þróunar í raforkuframleiðslu 17
4.3.1 Áhrif aukinnar framleiðslu á rafbílum 18
4.4 Áhrif á staðbundna loftmengun 19
4.5 Áhrif námuvinnslu hráefni rafhlaða 20
4.6 Takmarkanir á rannsókninni 21
5 Niðurstaða 24
6 Heimildaskrá 25

Listi yfir myndefni

Mynd 1. Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda í losunar flokki milli 1990-2016 (kt CO2eq) (The Environment Agency of Iceland, 2018). 2
Mynd 2. Lykil straumar í bílaiðnaði. Spá stjórnenda í bílaiðnaði (KPMG, 2018). 3
Mynd 3. Kerfismörk í greiningunni sem lýst er í skýrslu þessari 6
Mynd 4. Fjölgun í rafbílaflota á heimsvísu, 2010-2016 (International Energy Agency, 2017) 8
Mynd 5. Losun yfir tíma eftir tegund bíls, m.v. að rafbíll noti íslenskt rafmagn 12
Mynd 6. Heildarlosun á lífstíma bíla - framleiðslu- og notkunartímabil. 13
Mynd 7. Losun á notkunartíma rafbíls eftir uppruna raforku 13

Mynd 8. Losun GHL tengd bílum með mismunandi stærðir rafhlaða fyrir rafmagn framleitt á Íslandi. 14

Mynd 9. Losun eftir keyrslu, miðað við mismunandi stærð rafhlaða og ólíkan uppruna rafmagns, ... 15

Mynd 10a og b. a) Koltvísýrings styrkur í raforkusamsetningu ESB. Núverandi stefna hefst árið 2006. b) Koltvísýrings styrkur í raforkusamsetningu USA (European Environment Agency, 2016), (U.S. Energy Information Administration, 2018). 17

Mynd 11. Losun yfir tíma, gert er ráð fyrir að meðalakstur á ári sé 15.000 km og miðað við að losun koltvísýrings vegna rafmagnsframleiðslu sé samkvæmt áætluðum spám sbr, mynd 10a og 10b. 18

Figure 12. Áhrif vegna breytinga á stærðar og framleiðsluskala á kostnað rafhlaða. 19

Listi yfir Töflur

Tafla 1. Table of data taken from primary sources used within this report's analysis 7

TAFLA 2 2. Losun á notkunartíma á hvern kílómeter 10

Tafla 3. Losunarhlutfall út frá ólíkri raforkuframleiðslu 11

Samantekt

Áhugi á rafbílum hefur farið vaxandi á undanförnum árum samhliða yfirvofandi loftslagsvá og aukinni kröfu margra landa um sjálfstæði í orkumálum. Á Íslandi hefur verið áhugi á rafvæðingu bílaflotans árum saman. Það var þó ekki fyrr en nýlega með hraðari þróun rafbílatækni sem marktæk áhersla skapaðist fyrir þróun á rafbílamarkaði hér á landi eins og á heimsvísu - hjá ríkisstjórnum, sveitarfélögum og í iðnaði.

Í september 2018 kynnti ríkisstjórn Íslands nýja *Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum* þar sem lýst var stuðningi við rafbílamarkaðinn og þá uppbyggingu innviða sem hann krefst. Áætluninin var kynnt aðeins örfáum mánuðum eftir að Orka náttúrunnar (ON) lauk hringtengingu hraðhleðslustöðva sinna. Þessi áhugi er ekki einungis bundinn við Ísland. Um allan heim eru bílaframleiðendur að bæta rafbílum við vöruframboð sitt og sumir hafa jafnvel tilkynnt að þeir muni færa sig alfarið yfir í rafbíla í náinni framtíð. Rannsókn KPMG, sem byggir á viðtölum við yfir 900 stjórnendur í bílaiðnaði, leiddi í ljós væntingar um að rafbílar og aðrir losunarfrjálsir bílar verði bæði vinsælastir og í forgangi vöruþróunar á næstu árum.

Eftir því sem þrýstingur á að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda (GHL) eykst og innleiðing rafbíla verður að veruleika, magnast efasemdaraddir tengdar rafbílum og spurningar um hve umhverfisvænir þeir séu í raun og veru. Algengt áhyggjuefni er losun GHL við framleiðslu á rafbílarafhlöðum og óvissa um þá losun sem verður til við framleiðslu þeirrar raforku sem knýr rafbílana.

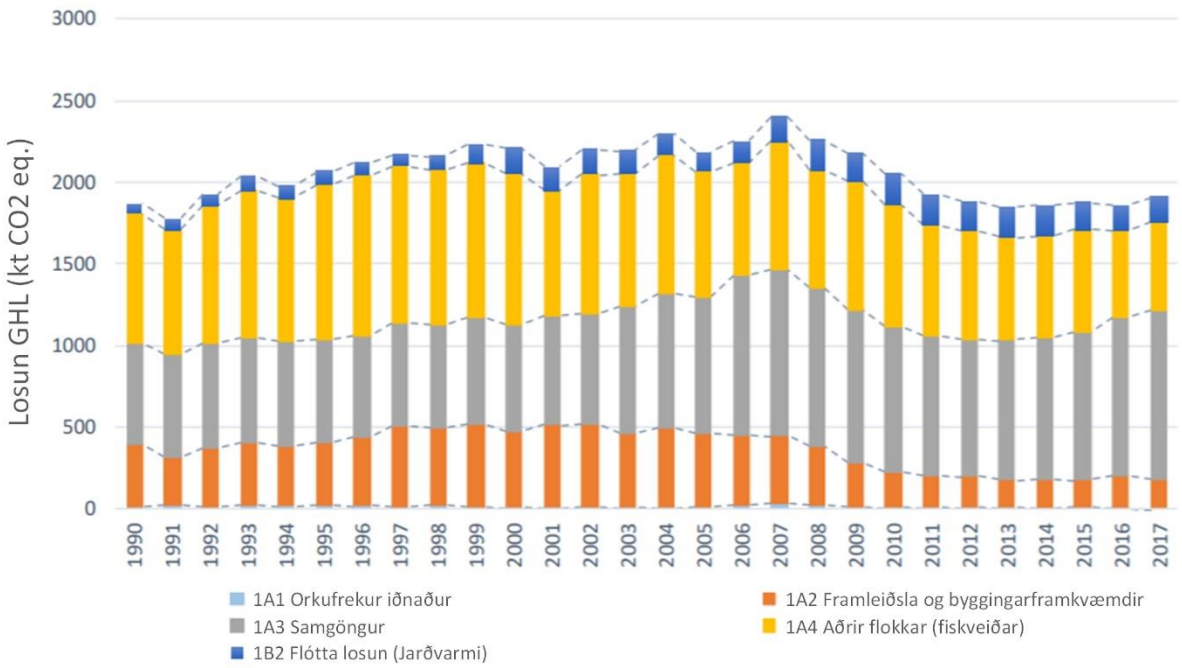
Þessari skýrslu er ætlað að ávarpa óvissuþætti tengda umhverfisáhrifum rafbíla, í íslensku samhengi. Þetta var gert með því að rýna í rannsóknagreinar sem gefnar hafa verið út um lífsferilsgreiningu (Life Cycle Assessment) fyrir rafbíla með áherslu á losun GHL á framleiðslu- og notkunartímabil þeirra. Til að veita skýrari mynd af losun GHL rafbíla var einnig litið til losunar GHL út frá ólíkum uppruna raforku og ólíkri getu rafhlaða. Í skýrslunni verður ekki horft til förgunar (End of Life (EOL)) vegna þess að aðferðir við förgun rafbílarafhlaða eða framhaldslíf er enn í mótun. Ólíkir möguleikar á förgun rafbíla hafa valdið óvissu um hvort telja eigi förgunaráhrif rafhlaðanna jákvæð eða neikvæð. Þá má bæta því við að óháð því hvort förgunaráhrifin voru jákvæð eða neikvæð, voru þau aldrei meira en ±2% af heildaráhrifum hvað varðar losun GHL og því var mat skýrsluhöfunda að halda mætti þessum áhrifum utan greiningarinnar.

Samkvæmt rannsókninni losa bílar sem brenna jarðefnaeldsneyti 4-4,5 sinnum meira af GHL á líftíma sínum en sambærilegir rafbílar, þegar þeim er ekið á Íslandi. Áhyggjur af framleiðslu rafhlaða eru vissulega réttmætar, þar sem við framleiðslu rafbíls með 24-30 kWst rafhlöðu losnar tæplega helmingi (50%) meira af GHL en við framleiðslu á venjulegum bensín- eða dísilbíl. Aukin losun GHL á framleiðslustigi er hins vegar tiltölulega fljót að jafnast út á notkunartíma bílsins, eftir um 1,5 ár, ef bílnum er ekið á Íslandi. Jafnvel þegar um stærri rafhlöður (85 kWst) er að ræða, fer jákvæðra umhverfisáhrifa rafbílsins að gæta eftir aðeins 4-5 ár ef bílnum er ekið á Íslandi, miðað við meðal ársnotkun íslenskra bílaeigenda. Varðandi rafbíla sem ekið er innan ESB eða Bandaríkjanna er mikilvægt að huga að framleiðslu rafmagns á hverju svæði, t.d. hvaða hlutfall rafmagns er framleitt með brennslu jarðefniseldsneytis. Ef notaðar eru meðaltalstölur fyrir rafmagn sem er framleitt innan ESB eða Bandaríkjanna og miðað við 200.000 km akstur á líftíma bílsins, þá er losun GHL rafbílsins lægri en losun hefðbundins bíls í öllum tilfellum, spurningin er bara hversu mikið lægri.

1 Inngangur

Vegna yfirvofandi loftlagshamfara er vaxandi þörf fyrir þekkingu á uppsprettu gróðurhúsalofttegunda (GHL) innan hvers lands og áframhaldandi leit að lausnum fyrir hvernig hægt er að draga úr losun frá helstu mengunarvöldum. Ísland hefur fjárfest í endurnýjanlegum orkugjöfum fyrir framleiðslu rafmagns og hitaveitu, en endurnýjanleg orka er notuð til að framleiða nær allt rafmagn á Íslandi (Orkustofnun, 2014). Þegar kemur að samgöngumálum hefur Ísland hins vegar ekki náð sambærilegum árangri hvað varðar lækkun hlutfallslegrar notkunar á jarðefnaeldneyti (bensín og dísil). Árið 2016 voru samgöngur ábyrgar fyrir meira en 50% allrar losunar vegna orkunotkunar og 20% af heildarlosun GHL á Íslandi, að undanskilinni losun vegna landnýtingar og breytinga á landnýtingu (The Environment Agency of Iceland, 2018).

Mynd 1. Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda í losunarflokki milli 1990-2016 (kt CO2eq) (The Environment Agency of Iceland, 2018).



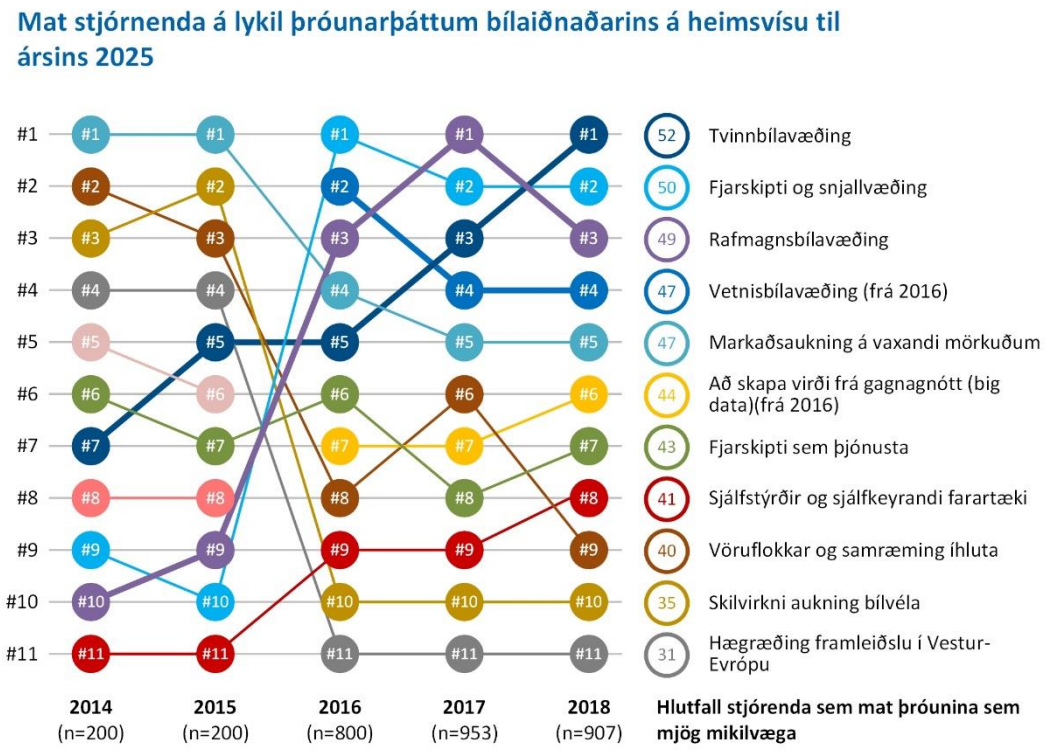
Íslendingar hafa næst hæsta hlutfall einkabíla í heimi eða 671,2 bíla á hverja 1.000 íbúa árið 2016, (aðeins Liechtenstein var með hærra hlutfall árið 2016). Rafvæðing og orkuskipti bílaflotans er því veigamikill þáttur til að draga úr losun GHL Íslendinga (Statistics Iceland, 2016) sérstaklega þar sem rannsóknir sýna að hlutfall einkabílsins fer enn hækkandi en árið 2018 voru 717 bílar fyrir hverja 1000 íbúa hérlendis (Statistics Iceland, 2018).

Íslensk stjórnvöld hafa staðfest að þetta sé áherslumál og í september 2018 kynnti umhverfisráðuneytið nýja *Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum* fyrir Ísland, þar sem lykiláhersla er á stuðning við hreinar samgöngur og jafnframt gefið vilyrði um stuðning til að hætta notkun jarðefnaeldsneytis. Ríkisstjórnin hefur tilkynnt að rafbílar og aðrir losunarfrjálsir bílar muni bera lægri eða enga skatta og gjöld, auk þess sem stutt verður við innviðauppbyggingu á hraðhleðslustöðvum fyrir rafbíla (Ministry for the Environment and Natural Resources, 2018).

Á heimsvísu hefur bílaiðnaðurinn lagt áherslu á vaxandi mikilvægi rafbíla og annarra losunarfrjálsra bifreiða, t.a.m. í efnarafalatækni. Árið 2018 gaf KPMG út könnun sem byggir á viðtölum við yfir 900 stjórnendur í bílaiðnaði, en sú könnun hefur verið unnin árlega síðan 2014.

Niðurstaða þessara kannana endurspeglar glögglega væntingar stjórnenda um að ný kynslóð rafbíla og efnarafalabíla verði helstu vaxtarbroddarnir í bílaiðnaðinum, en þessir nýju valkostir farartækja hafa verið á topp þrjú listanum yfir væntanlega lykilstrauma síðastliðin þrjú ár (KPMG, 2018). Fjölgun framleiðenda sem bæta rafbílum við framboð sitt er bendir til að þessar væntingar eru réttmætar.

Mynd 2. Lykilstraumar í bílaiðnaði. Spá stjórnenda í bílaiðnaði (KPMG, 2018).



Fyrrnefnd skuldbinding umhverfisráðuneytisins og sú þróun sem stjórnendur í bílaiðnaði búast við, sýnir glögglega mikilvægi rafbíla og annarra bíla sem ganga fyrir hreinni orku en jarðefnaeldsneyti. Þegar kemur að almennri umræðu má á hinn bóginn heyra efasemdir um jákvæð umhverfisáhrif rafbíla. Þetta má teljast eðlilegt vegna margvíslegra umhverfisáhrifa sem slík breyting hefur í för með sér og þess flækjustigs að bera saman umhverfisáhrif án mælanlegra og vel fram settra gagna.

Í þessari skýrslu verður leitast við að svara þeim tveimur óvissuefnum sem eru gjarnan nefnd. 1) Fyrsta viðfangsefnið snýr að viðbótar umhverfisáhrifum við framleiðslu rafhlaða vegna þeirra viðbótarefna sem þær þurfa, svo sem litíum eða litíum-jóna rafhlöður (e. Lithium-Ion). 2) Hvort rafbílar sem knúnir eru rafmagni sem framleitt er með óvistvænum hætti séu í raun umhverfisvænni en hefðbundnir bílar (bensín og dísil). Markmið skýrslunnar er að skoða þessi viðfangsefni um umhverfisáhrif rafbílanotkunar út frá íslenskum aðstæðum. Nánar tiltekið að bera saman losun GHL út frá lífsferli annars vegar rafbíla og hins vegar bensín- og dísilbíla, og möguleg áhrif þeirra á loftslagsbreytingar.

Með auknu mikilvægi rafbíla er nauðsynlegt að svara þessum spurningum svo unnt sé að skilja umhverfisáhrif rafbílanotkunar. Í þessum tilgangi var gerð greining á nýjustu og áreiðanlegustu lífsferilsgreiningum (e. Life Cycle Assessments) fyrir rafbíla, þar sem áreiðanleiki þeirra er metin út frá fjölda tilvísana og hversu áberandi þær eru í umræðum á rafbílaráðstefnum. Lífsferilsgreining er aðferðafræði þar sem farið er yfir lífsferil (e. lifecycle) vöru með því að magngreina inntak og losun á ólíkum stigum vistferilsins (frá „vöggu til grafar“ þar sem það er hægt). Magntaka hvers ferils er svo lögð saman og yfirfærð á mismunandi tegundir umhverifsáhrifa, svo sem loftlagsbreytingar. Niðurstöðurnar eru svo gjarnan yfirfærðar á

svokallaða verndarþætti sem eru verndun fjölbreytileika vistkerfa, verndun auðlinda og heilsu fólks (International Standards Organization, 2006). Vistferilsgreining er staðlað ferli sem hefur hlotið alþjóðlega viðurkenningu og er víða notuð sem aðferð til að greina umhverfisáhrif ýmiss konar vöru og þjónustu, sett fram í stöðlunum ISO 14040 og ISO 14044 (International Standards Organization, 2006).

Magn losunar sem verður til við framleiðslu mismunandi tegunda farartækja verður metið með því að skoða niðurstöður valinna vistferilsgreininga sem taldar eru upp í yfirlitsskrá (e. literature review) . Magn losunar á notkunartíma bílanna, verður metið með hliðsjón af íslenskum aðstæðum, sér í lagi framleiðslu rafmagns, til að meta áhrif vistferils rafbílanna út frá notkun á Íslandi. Förgun farartækjanna er undanskilin í þessari rannsókn vegna þess ósamræmis sem gætir milli rannsókna um ólíkar förgunarleiðir, t.d. hvort rafhlaða bílanna sé endurunnin eða endurnýtt, og hefur leitt til þess að ekki er einhugur um umhverfisáhrif förgunarinnar.

Markhópur skýrslunnar er íslenskur almenningur og valdhafar. Markmiðið er að bæta við vísindalegum upplýsingum til að styðja umræðuna um umhverfisáhrif rafbíla og möguleg heildar-áhrif á hnattræna hlýnun miðað við íslenskar aðstæður. Þessar upplýsingar eiga sterkt erindi við skilgreindan markhóp, þar sem notkun bílanna eykst hratt. Almenningi býðst sífellt meira úrval rafknúinna ökutækja og ríkisstjórnin hefur sett sér þá stefnu að styðja við þá þróun. Enginn styrkur var veittur sérstaklega til þessa verkefnis en það var unnið og skýrslan gefin út af starfsfólki Orkuveitu Reykjavíkur og Orku náttúrunnar.

2 Aðferð

Í þessari skýrslu er farið yfir þær heimildir sem til eru um vistferilsgreiningu á bensín-, dísil- og rafbílum og reynt að meta hvaða gögn eru áreiðanlegust til að greina vistferil þessara ólíku tegunda farartækja. Til að safna saman öllum áhrifaþáttum fyrir ólíkar tegundir farartækja er nauðsynlegt að skilja lífsferil vörunnar. Lífsferli bíla er gjarnan skipt í fjóra hluta: hráefnisföngun - uppruna hráefnisins sem notað er til að framleiða ólíka hluta bílanna og hvernig það er unnið; framleiðsla - sjálf framleiðsla bílsins og önnur aðföng sem þarf til að ljúka henni; notkunartími bílsins – þar sem tekið er tillit til áhrifa af framleiðslu þeirrar orku sem knýr hann áfram; og förgun. Þetta er sýnt í skýringarmynd 3. Í skýrslunni eru vinnsla hráefnisins og útblástur við framleiðslu metin saman til að sýna heildarlosun við framleiðsluna og verður vísað til þess sem framleiðsluhlutans.

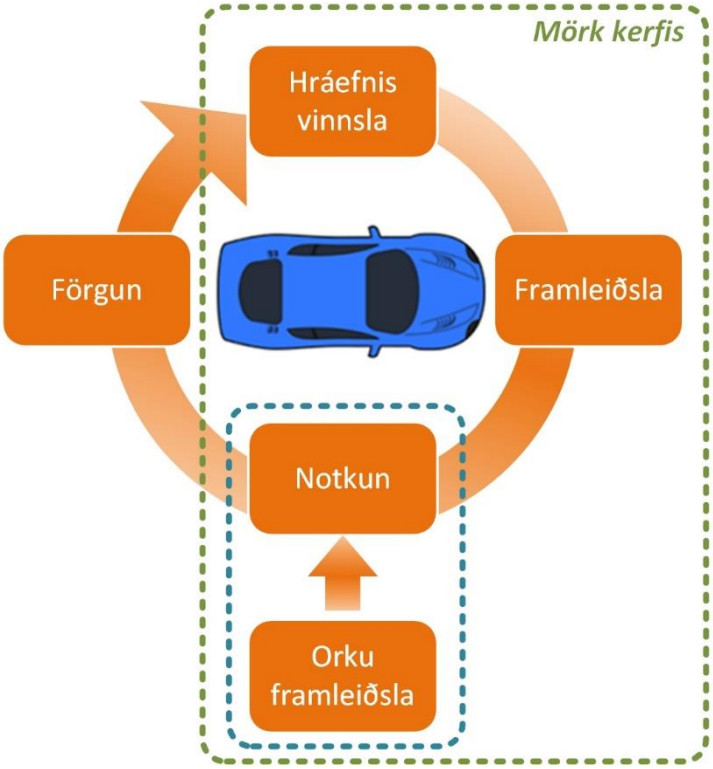
Þegar fjallað er um orkuframleiðslu hefðbundinna bíla sem brenna jarðefnaeldsneyti er litið til allra athafna sem þarf til að fanga eldneytið og þeirrar losunar sem verður við að koma eldsneytinu á tankinn í bílnum (oft talað um „frá-brunni-í-bíl“). Þegar fjallað er um orkuframleiðslu rafbíla er tekið mið af heildarlosun við að framleiða rafmagnið sem knýr bílinn áfram. Íslenskar upplýsingar voru notaðar til að áætla heildarlosun miðað við íslenska raforkuframleiðslu, með gögnum úr *Icelandic National Inventory Report* sem gefin eru út af Umhverfisstofnun. Losun á notkunartímabili er losun sem tengist akstri farartækisins (eða „Tankur að hjóli“). Fyrir bensín- og dísilbíla er þetta útblástur frá mótor bílsins, en þegar um rafbíla er að ræða er engin losun sem tengist þessu tímabili. Athugið að ekki er tekið tillit til flutnings á bílnum til landsins vegna þess að sú losun er óveruleg í samanburði við heildar vistferil farartækisins og þar sem báðar tegundir bíla eru aðfluttar hefur það ekki áhrif á samanburð milli rafbíla og bíla sem nota jarðefnaeldsneyti.

Þegar inntaka og frálag hvers hluta vistferilsins eru ljós er hægt að framkvæma áhrifamat á lífsferli (e. Life Cycle Impact Assessment), sem er skref innan lífsferilsgreiningar þar sem áhrif mismunandi hluta lífsferilsins eru lögð saman og úr verður mat á umhverfisáhrifum þess út frá ólíkum áhrifaflokkum. Lífsferilsgreining felur í sér mat á mörgum ólíkum þáttum umhverfisáhrifa svo sem losun gróðurhúsaloftegunda, mengun ferskvatns, eyðing ósonlags, ágang á takmarkaðar auðlindir, eituráhrif á umhverfi osfv. Í þessari skýrslu eru einungis skoðuð möguleg áhrif á hlýnun jarðar (e. Global Warming Potential – GWP), það er mat á magni þeirra gróðurhúsalofttegunda

sem losna út í andrúmsloftið. Sú áhersla kemur til vegna þess að yfirlýst markmið ríkisstjórnarinnar með stuðningi við rafbíla er að draga úr losun GHL á Íslandi (U.S. Environmental Protection Agency, 2017).

Vert er að hafa í huga að í þeim rannsóknum sem nú hafa verið gerðar er ekki samhljómur um hvernig förgun rafbíla skuli metin (e. End of Life – EOL). Sumar rannsóknir miða við að hægt sé að endurvinna rafhlöðurnar og nýta málmana í nýjar rafhlöður eða nota þær til að geyma rafmagn frá dreifikerfinu, á meðan aðrar rannsóknir gera ráð fyrir að förgun rafbíla muni leiða til aukinna umhverfisáhrifa. Þar sem þessi mál eru enn óútkljáð, mun þessi skýrsla ekki taka förgun með inn í lífsferlið. Þetta má sjá á mynd 3, þar sem mörk kerfisins eru teiknuð upp.

Mynd 3. Kerfismörk í greiningunni sem lýst er í skýrslu þessari



Tilgangur rannsóknarinnar er að reyna að svara betur ýmsum spurningum sem hafa vaknað um umhverfisáhrif rafbíla, sér í lagi þegar kemur að losun GHL. Aukin losun vegna framleiðslu rafhlaða verður borin saman við losun á notkunartíma farartækisins, með áherslu á uppsprettu raforku fyrir rafbíla og losun sem tengist framleiðslu þess.

2.1 Fræðileg samantekt og forsendur innan greina

Við greininguna var gerð fræðileg samantekt til að finna þær rannsóknir á lífsferilsgreiningu rafbíla sem taldar geta marktækastar (hvað varðar tímasetningu og fjölda tilvitnana). Úr þessari samantekt voru tvær rannsóknir valdar sem grunnur að okkar rannsókn á framleiðsluferli rafbíla, en tvær aðrar rannsóknir voru hafðar til samanburðar til að veita frekara samhengi.

Fyrri rannsókn Hawkins (2013) er samanburðarrannsókn þar sem lífsferilgreining er framkvæmd á bensín- dísil- og rafbílum og niðurstöðurnar bornar saman. Rannsóknin kom út árið 2013 og er sú rannsókn sem mest er vitnað til í *Journal of Industrial Ecology* og hefur þann kost að vistferilgreiningin er vel skráð. Rannsóknin var gerð á þeim tíma þegar fyrstu fjöldaframleiddu rafbílarnir komu inn á alþjóðlegan markað. Í henni eru notuð gögn frá Mercedes A class og Volkswagen A4 fyrir jarðefniseldsneytisbíla og Nissan Leaf fyrir rafbíla. Samhliða skýrslunni voru birtar viðbótarupplýsingar, sem juku á dýpt hennar, þar sem hver bílategund var krufin niður í varahluti á borð við rafhlöðu og drifrás. Varahlutirnir voru síðan greindir enn frekar út frá því úr

hvaða efnum þeir voru gerðir. Þessi ítarlega nálgun var gagnleg til að meta hvaða þættir hafa mestu umhverfisáhrifin.

Seinni rannsóknin, Messagie (2014) byggir á umfangsmiklum rannsóknum á lífsferilgreiningu rafbíla, en í hana er mikið vitnað á þessu sviði. Hún er einnig samanburðarrannsókn á jarðefnaeldsneytisbílum og rafbílum, og notar Golf A4 sem fulltrúa fyrir jarðefnaeldsneytisbíla og Nissan Leaf sem fulltrúa fyrir rafbíla. Gerð var vistferilsgreining út frá ýmsum sviðsmyndum, til að mynda út frá ólíkri þyngd farartækja og skilvirkni þeirra. Tekið var meðaltal ólíkra sviðsmynda til að sjá hvernig dæmigerður bíll myndi standa sig.

Tafla 1 sýnir niðurstöður beggja þessara rannsókna. Hawkins rannsóknin gerði ráð fyrir að líftími rafbíls væri 150.000 km, á meðan Messagie rannsóknin gerði ráð fyrir að hann væri 230.500 km. Til að samræma niðurstöðurnar og til að hægt væri að bera saman niðurstöðurnar miðað við sama kílómetrafjölda voru niðurstöður Hawkins reiknaðar miðað við 230.500 km lífstíma.

Tafla 1.

Þáttur	**Messagie M, 2014**	**Hawkins T.R, 2013**		**Eining**
Rafbíll (líftími)	230.500	150.000	230.500	km
Niðurstaða fengin....	*Úr rannsóknargrein*	*Úr rannsóknargrein*	*Útreiknað*	
Skilvirkni eldsneytis	,17	,173	,173	kWst/km
Losun frá bíl **Framleiðsla / Production**	16	52	34	g CO2 eq/km
Losun **frá framleiðslu á rafhlöðu**	13	31	20	g CO2 eq/km
Losun frá „brunni-í-bíl“ (íslensk blanda)	1,58	1,61	1,61	g CO2 eq/km
Heildarlosun rafbíla	**28,7**	**84,2**	**55,6**	**g CO2 eq/km**
Dísill/Bensín (sambærilegur líftími og hjá rafbíl)				
Skilvirkni eldsneytis (Dísil; Bensín)	**5,3; 7,1**	**5,35; 6,85**	**5,35; 6,85**	**L/100 km**
Losun við framleiðslu	23-25	52	34	g CO2 eq/km
Losun frá „brunni-í-bíl“ (Dísil; Bensín)	198; 259	176; 206	176; 206	g CO2 eq/km
Heildarlosun dísils	**222**	**228**	**210**	**g CO2 eq/km**
Heildarlosun bensíns	**283**	**258**	**240**	**g CO2 eq/km**

Tafla 1 sýnir að niðurstöður um heildarlosun dísil- og bensínbíla eru nokkuð sambærilegar. Fyrir bensínbíla er mismunurinn í samræmi við mismikla notkun (L/100 km) sem áætluð er fyrir bensínbíla í rannsóknunum (7,1 og 6,85 L/100 km).

Hawkins rannsóknin mat umhverfisáhrif við framleiðsu á rafbílum mun meiri en Messagie rannsóknin eða næstum 2x meiri (~1.95x). Þetta er hægt að sjá í töflu 1. Þessi munur á

niðurstöðum rannsóknanna á rætur að rekja til ólíkra ályktana sem eru innbyggðar í lífsferilsgreiningu og undirstrikar mikilvægi þess að bera saman rannsóknir til að skilja betur áhrif ólíkra ályktana, auk áreiðanleika og skekkju þeirra gagna sem notuð eru í rannsóknunum.

Muninn á niðurstöðum rannsóknanna má rekja til eftirtalinna atriða:

1. Líftími bílsins – Einn mikilvægasti þátturinn til að meta umhverfisáhrif vöru er að búa til sambærilega starfseiningu (e. comparable functional unit), hér CO2 eq./km (losun á ekinni vegalengd). Ályktun um hversu langt bílnum verður ekið á líftíma hans hefur mikil áhrif á útreikning yfir á slíka starfseiningu, en með því að margfalda heildarlosun rafbíla (g CO2 eq/km) með áætluðum líftíma (km) fáum við út heildarlosun á líftíma (g CO2 eq). Í rannsókn Hawkins er gert ráð fyrir að líftími rafbíls sé 150.000 km, á meðan rannsókn Messagie gerir ráð fyrir að bílnum sé ekið 230.000 km.

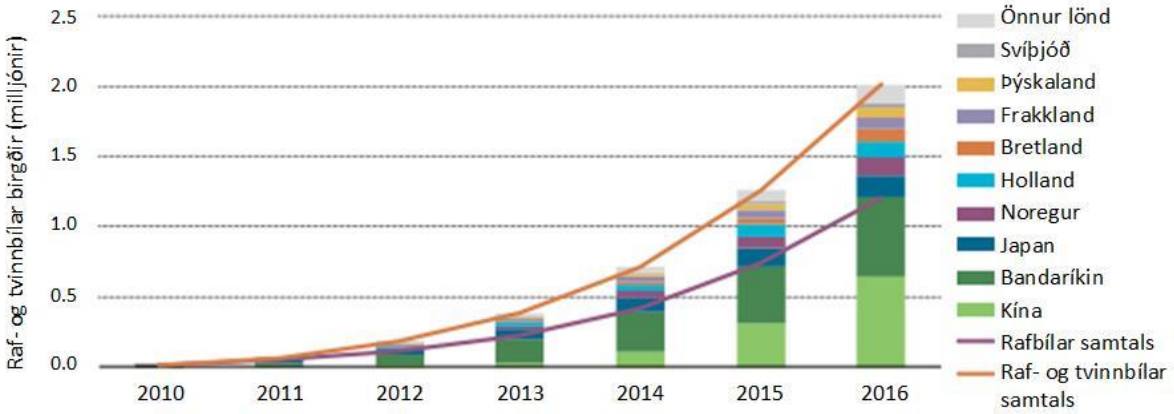
2. Mismikil nákvæmi og umfang gagna. Mismunur á losun tengdri framleiðslu rafmagnsbíla (1,95 stærri í rannsókn Hawkins) má líklega rekja til þess að rannsókn Hawkins kafaði dýpra í málið og tók mið af þáttum sem áður hafði ekki verið tekið tillit til; það er m.a.s. tekið fram í rannsókninni (Hawkins, 2013):

> „Besta mat okkar á því hvaða áhrif framleiðsla rafbíla hefur á hnattræna hlýnun (87-95g CO2-eq/km) er næstum tvisvar sinnum það sem birst hefur í fyrri rannsóknum (Baptista et al. 2010; Burnhamet al. 2006; Notter et al. 2010; Samaras and Meisterling 2008). Meðal annars vegna þess að gert er ráð fyrir meiri áhrifum tengdum rafhlöðunum og að fleiri rafmagnsíhlutir eru teknir með í reikninginn en áður hefur verið gert.“

3. Dagsetning útgáfu og vöxtur á rafbílamarkaði – Rafbílamarkaðurinn er dýnamískur markaður sem vex gríðarlega hratt og æ fleiri bílaframleiðendur stefna nú á að bætast í rafhópinn. Eitt dæmi er tilkynning Volvo árið 2017 um að fyrir 2019 verði allir Volvo bílar annað hvort tvinnbílar (e. hybrid) eða rafbílar, og þeir eru bara einn margra bílaframleiðenda sem heita því að rafvæðast (Volvo Company, 2017). Þessar skuldbindingar hafa verið gerðar vegna aukinnar loftslagsvár og vegna aukinnar eftirspurnar. Rafbílamarkaðurinn vex nú á ógnarhraða, vöxtur sem hófst ekki að ráði fyrr en 2011-2013.

Mynd 4 sýnir samanlagða sölu rafbíla eftir löndum á árunum 2010 til 2016.

Mynd 4. Fjölgun í rafbílaflota á heimsvísu, 2010-2016 (International Energy Agency, 2017)



Athugasemd: Rafbílabirgðir sýndar hér eru að mestu áætlaðar á grunni uppsafnaðrar sölu frá 2005. Þegar fáanlegar opinberar tölfræðiupplýsingar eru notaðar fæst gott samræmi við söluna.

Heimild: Greining Alþjóða orkustofnunarinnar á losun rafbíla eftir landi, unnin af af EAFO (2017a), IHS Polk (2016), MarkLines (2017), ACEA (2017a, 2017b) and EEA (2017).

Það skiptir máli að skoða hvenær rannsóknir eru gefnar út. Rannsóknargrein Hawkins var gefin út í febrúar 2013, en Messagie í mars 2014. Jafnvel þessi stutti tími, sem þarna líður á milli, gæti hafa haft áhrif á þau gögn sem tiltæk voru. Eftir því sem rafbílamarkaðurinn heldur áfram að

vaxa má búast við að framleiðsluferlið verði straumlínulagaðra og það dragi úr umhverfisáhrifum hvers bíls vegna lærdómskúrfunnar sem má búast við að fylgi framleiðslu á nýrri tegund farartækis.

2.2 Aðferðarfræði við fræðilega samantekt og staðbundnir áhrifaþættir

Til að ákvarða hve marktækur munurinn milli rannsókna er, voru aðrar rannsóknir skoðaðar til að setja í samhengi hlutfallslega hvar rannsóknirnar féllu innan heildarskala rannsókna. Þrjár rannsóknir voru notaðar sem stuðningsrannsóknir. Þessar þrjár rannsóknir mátu framleiðslufótsporið ýmist sem 30, 50 og 60 g CO2 eq/km, (Messagie M. , 2014); (Tagliaferri, 2016); (Faria, 2013). Rannsóknirnar gerðu jafnframt ráð fyrir að líftími farartækisins væri ýmist 250.000, 150.000 eða 200.000 km.

2.2.1 Losun við framleiðslu

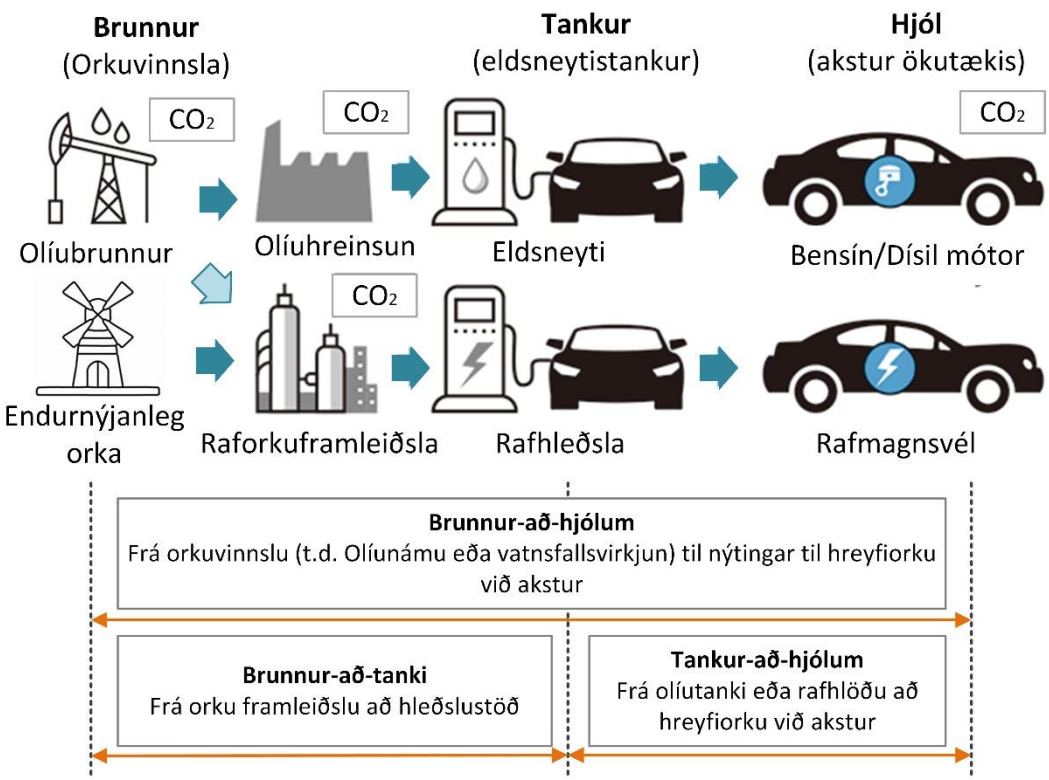
Að teknu tilliti til þessara þátta og til að fá sem raunhæfast mat, var ákveðið að fara miðjuleið milli grunnrannsóknanna tveggja (Hawkins T.R., 2013 og Messagie M., 2014). Þannig var tekið meðaltal úr þessum tveimur rannsóknum, með áætlaðan lífstíma upp á 200.000 km, og var meðal framleiðslufótspor rafbíls metið vera 47,6 g CO2 eq./km. Sömu nálgun var beitt gagnvart bensín- og dísilbílum, þrátt fyrir að munurinn væri minni milli rannsókna á þeim. Miðað við sama 200.000 km líftíma, var framleiðslufótspor bensin/dísilbíla metið á bilinu 31-32 g CO2 eq./km, sem sýnir að rafbílar hafa ~1.5x stærra kolefnisfótspor við framleiðslu, sem er í ágætu samræmi við megnið af fyrri rannsóknum.

2.2.2 Losun á notkunartíma

Losun á notkunartíma í lífsferli bílsins skiptist í tvo hluta, losun frá viðhaldi og losun vegna orkunotkunar. Samkvæmt skýrslunum tveimur er losun vegna viðhalds rafbíla að meðaltali 7,8 g CO2 eq./km en 8.9 g CO2 eq./km fyrir jarðefnaeldsneytisbíla.

Losun vegna orkunotkunar er skipt í tvennt. Í fyrsta lagi er losun frá „brunni-í-bíl“ (Well-To-Tank eða WTT), sem metur alla losun sem tengist því að framleiða orkuna frá grunni og færa hana að tanki (eða rafhlöðu). Þegar um bensín- og dísilbíla er að ræða tekur þetta til allrar losunar við að dæla upp olíunni, hreinsun hennar og flutning eldsneytis að tanki bílsins. Þegar um rafbíla er að ræða er losunin aðallega tengd framleiðslu á því rafmagni sem knýr bílinn áfram. Á Íslandi er sú losun, á þeim tíma sem rannsóknin er gerð, lægri en í flestum öðrum löndum sem hafa hærra hlutfall af jarðefnaeldsneyti í samsetningu raforkuframleiðslunnar. Í öðru lagi, er losun vegna orkunotkunar það sem hægt er að kalla losun frá tanki-að-hjólum (e. Tank-to-Wheel eða TTW). Fyrir bensín- og díselbíla er þetta sú losun sem við könnumst best við, losun við bruna eldsneytis í vélinni, sem leiðir til útblásturs GHL. Fyrir rafbíla er ekki um slíka losun að ræða því rafmagnið er einfaldlega geymt í rafhlöðunni og svo notað beint til að knýja farartækið áfram. Þess vegna er talað um rafbíla sem losunarfrjálsa bíla (e. emission-free). Ef við tökum saman þessa losun frá brunni-í-bíl og frá tanki-að-hjólum, þá er útkoman losun kallast frá brunni-að-hjólum (e. Well-to-Wheel eða WTW), heildarlosun vegna orkunotkunar á notkunartíma bílsins, sjá mynd 5.

Mynd 5: Frá brunni - að – hjólum. Heimild myndar: Mazda, Aiming to Make Cars that are Sustainable with Earth and Society)



Fyrir bensín- og dísilbíla er losun frá brunni-að-hjóli metin á svipaðan hátt og aðrir þættir í rannsókninni, með meðaltali rannsóknanna tveggja. Meðaltal losunar, frá brunni að hjóli, er þá áætluð 187,0 g CO2 eq./km fyrir dísilbíla og 232,5 g CO2 eq./km fyrir bensínbíla. Áætlaða notkun bílana í L/100 km og niðurstöður heildarlosunarinnar (frá brunni-að-hjóli) fyrir hvora rannsókn um sig má sjá í töflu 1.

Fyrir rafbíla, voru notuð gögn frá Íslandi fyrir raforkuframleiðslu sem notuð eru til að reikna losun frá brunni-í-bíl og var það áætlað um 9,3 g CO2 eq./kWst (The Environment Agency of Iceland, 2018). Ef notað er meðaltal fyrir skilvirkni rafbíla rannsóknanna tveggja, er orkunotkunin 0,1716 kWst/km og losun GHL frá brunni-að-hjóli á Íslandi um 1,6 g CO2 eq./km.

Heildarlosun við viðhald og orkunotkun ólíkra bíltegunda (dísil-, bensín- og rafmagnsbíla) má sjá í töflu 2.

TAFLA 2 2. Losun GHL á kílómeter, á notkunartíma

	Dísil	Bensín	Rafmagnsbíll Ísland	Einingar
Viðhald	8,9	8,9	7,8	g CO_2 eq./km
Losun (frá brunni að hjóli)	187	232,5	1,6	g CO_2 eq./km
Heildarlosun á notkunartíma	195,9	241,4	9,4	g CO_2 eq./km

Tafla 2 sýnir að losunartímabilið frá brunni-að-hjóli fyrir bensín- og dísilbíla er um ~95% af heildarlosun bílsins á öllum notkunartíma hans. Fyrir rafbíla, sem knúnir eru með rafmagni frá Íslandi, er losun frá brunni-að-hjóli aðeins um 17% af heildarlosun á notkunartíma bílsins, en viðhald 83%.

2.3 Greining á gögnum – Rafbílar knúnir áfram af rafmagni sem er framleitt á annan hátt

Eins og minnst var á hér að framan, er losun vegna framleiðslu rafmagns á Íslandi um 9,3 grömm af CO2 eq. fyrir hverja framleidda kílówattstund (gildi frá 2016) (The Environment Agency of Iceland, 2018). Samanborið við rafmagnsframleiðslu á alþjóðavísu er sú tala nokkuð lág en það stafar af því að næstum 100% rafmagns á Íslandi er unnið úr endurnýjanlegri orku. Til samanburðar var því ákveðið að skoða hvernig losun vegna rafbílanotkunar á Íslandi er samanborið við önnur lönd og svæði þar sem styrkur GHL í útblæstri frá rafmagnsframleiðslu er hærri.

Umhverfisstofnun Evrópu (EEA) safnar gögnum um losunarstyrk fyrir Evrópusambandið (ESB). Stofnunin safnar gögnum um losun tengda raforkuframleiðslu í hverju landi og reiknar heildarlosun ESB með því að leggja þær tölur saman. Miðað er við nýjustu fáanlegu gögn fyrir árið 2014 en þá var þessi losunarþáttur metin um 276 g CO_2 eq./kWst (European Environment Agency, 2016). Þetta er töluvert lægra en sambærileg losun í Bandaríkjunum árið 2017, sem *Energy Information Administration* (EIA) segir vera 434 g CO_2 eq./kWst (U.S. Energy Information Administration, 2018). Að auki var gerður samanburður á raforkuframleiðslu með jarðefnaeldsneyti, í þessu tilfelli jarðgasi og kolum. Rannsókn frá Yale háskóla, sem byggir á og samræmir niðurstöður fjölda lífsferilsgreininga á framleiðslu rafmagns með jarðgasi og kolum, var notuð til að áætla losun með þessum orkugjöfum. Niðurstöðurnar sýna að áætla má að losunin sé 510 g CO2 eq./kWst fyrir jarðgas og 980 fyrir kol (O'Donoughue, Heath, Dolan, & Vorum, 2014), (Whitaker, Heath, O'Donoughue, & Vorum, 2012). Tafla 3 sýnir gildi frá þessum rannsóknum sem notuð eru við gerð þessarar skýrslu.

Tafla 3. Losunarhlutfall út frá ólíkri raforkuframleiðslu

Uppspretta raforkunnar	Gildi	Mælieining
Íslensk raforkublanda	9,3	g CO_2 eq./kWst
ESB - raforkublanda	276	g CO_2 eq./kWst
USA - raforkublanda	434	g CO2 eq./kWst
Framleidd úr jarðgasi	510	g CO_2 eq./kWst
Framleidd úr kolum	980	g CO2 eq./kWst

2.4 Áhrif stærðar rafbílarafhlaða á losun GHL

Þegar talað er um umhverfisáhrif rafbíla er mikilvægt að líta einnig til stærðar rafhlöðunnar. Vistferilsgreiningarnar sem skoðaðar voru í þessu yfirliti bera saman 24 kWst létta rafbíla en þess ber að geta að eftirspurn neytenda eftir meiri drægni er sífellt að aukast og henni er mætt með öflugri rafhlöðum. Þetta sést glögglega í yfirliti *California Air Resources Board* á framboði nýrra rafbíla og þá skýru stefnu að auka drægni hvers farartækis, sem sjá má í bílum á borð við Nissan Leaf, Chevy Bolt og Tesla Model S (Air Resources Board, 2017). Ef uppbygging rafhlöðunnar helst óbreytt, t.d. áframhaldandi notkun á litíum-jóna rafhlöðum, verður þetta annað hvort gert með því að fjölga sellum í rafhlöðunni, eða með því að breyta hönnun rafhlöðunnar til að hún geti rúmað meira magn af virku efni (IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017).

Sænska umhverfisstofnunin (IVL Svenska Miljöinstitutet) hefur reynt að svara spurningum um áhrif stærðar rafhlaða í rannsókn sinni á áhrifum litíum-jóna rafhlaðna í léttum rafbílum. Í rannsókninni var gerð tölfræðileg greining á útgefnum rannsóknum á litíum-jóna rafhlöðum. Eftir

að hafa farið yfir gagnsæi og trúverðugleika rannsóknanna, var ályktað að líklegustu gildin fyrir losun GHL við framleiðslu á litíum-jóna rafhlöðu væru á milli 150-200 kg CO2 eq./kWst (IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017) fyrir 24 kWst rafhlöðu, og að miðað við 200.000 km líftíma rafbíls, myndi kolefnisfótsporið vera 18-24 g CO2 eq./km.

Ef þessar niðurstöður eru bornar saman við meðaltal rannsókna Hawkins og fél. (2013) og Messagie og fél. (2014) má áætla að áhrif rafhlöðunnar hafi verið um 162,7 kg CO2/kWst fyrir líftíma upp á 200.000 km sem samsvarar um 19,5 g CO2eq./km. Þar sem þessi gildi passa inn í þann ramma sem Sænska umhverfisstofnunin setti fram í yfirliti sínu um mat á áhrifum vistferlisgreiningar á litíum-jóna rafhlöðum, munum við notast við þau gildi fyrir áhrif vegna stærðar rafhlaðna í þessari skýrslu.

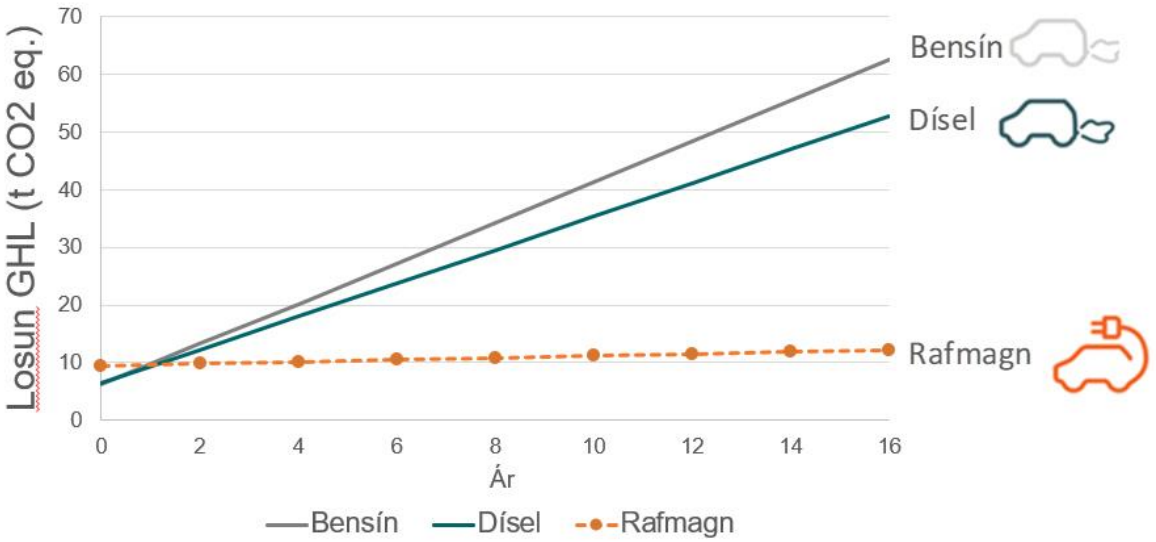
Notast var við línulega aukningu á losun per kWst getu, en hafa skal í huga að slík nálgun er ekki endilega 100% nákvæm heldur þjónar hún þeim tilgangi að vekja athygli á þeim viðbótar áhrifum sem fylgja aukinni afkastagetu. Á meðan aukin geta og stærð rafhlöðu þurfa fræðilega séð ekki að vera línuleg, hafa rannsóknir sýnt að tengslin eru nálægt því að vera línuleg og því mun sú nálgun duga í þessari skýrslu (IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017). Þetta viðfangsefni verður reifað frekar í kaflanum um takmarkanir þessarar skýrslu.

3 Niðurstöður

Samkvæmt þeim gögnum, sem lýst var í köflunum hér að framan, er niðurstaðan sú að í íslensku samhengi fara jákvæð umhverfisáhrif þess að keyra rafbíl fljótlega fram úr auknum umhverfiskostnaði á framleiðslustiginu, hvað varðar losun GHL. Þetta er svar við einni helstu efasemd sem vaknar þegar áhrif rafbíla eru rædd, hvort hin losunarlausa notkun rafbílsins vegi þyngra en sú aukna losun sem felst í framleiðslu rafbíla, miðað við hefðbundna bensín- og dísilbíla. Niðurstaðan var sú að á Íslandi nái rafbíll að jafna losun GHL við bensín- og dísilbíla á skömmum tíma (innan við 1,5 ár), vegna þess hversu losun tengd hinni sjálfbæru rafmagnsöflun er lítil.

Samkvæmt Félagi íslenskra bifreiðaeigenda, keyrir meðal Íslendingur um 15.000 km á ári (Icelandic Automobile Association, 2018). Með slíkum akstri ætti rafbíll að verða betri kostur en bensín- og dísilbíll hvað losun GHL varðar ef honum er ekið í rétt rúmt ár (~18,000 km). Eftir því sem rafbíl er ekið lengur, því betri kostur reynist hann. Þetta samband má sjá í mynd 5.

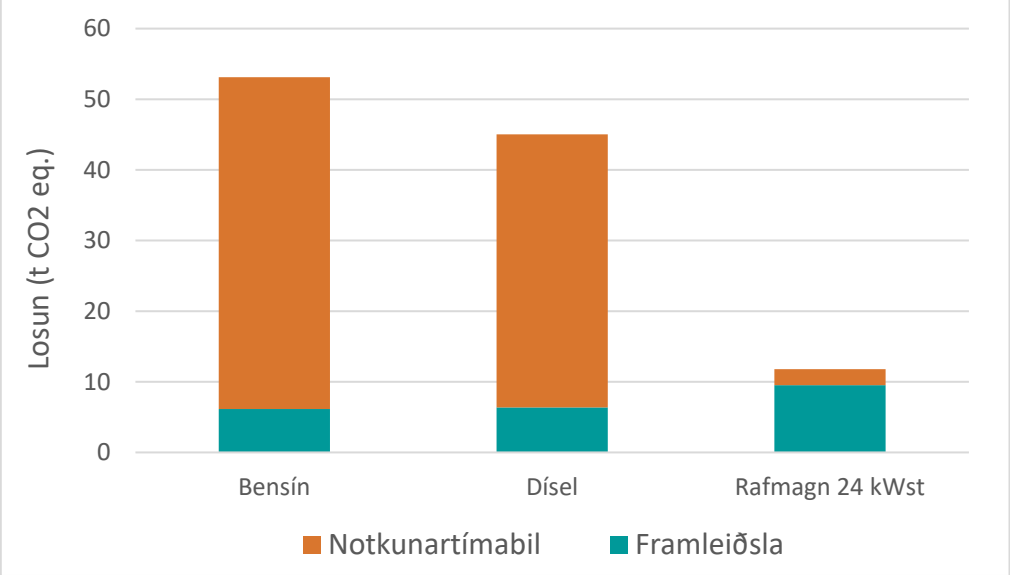
Mynd 5. Losun yfir tíma eftir tegund bíls, m.v. að rafbíll noti íslenskt rafmagn



Á mynd 5 táknar talan við 0 ár (láréttur ás) losun vegna framleiðslu bílsins. Árin eftir það sýna uppsafnaða losun bíls efttir því sem honum er ekið lengur. Af þessu leiðir að ef gert er ráð

fyrir 200.000 km lífstíma fyrir rafbíl annars vegar og bensín- og dísilbíla hins vegar (200.000 km var að meðaltali áætlaður líftími rafbílanna í þeim rannsóknum sem skoðaðar voru), má áætla að það að keyra rafbíl á Íslandi leiði til 75-80% minni losunar á GHL. Þessar niðurstöður má sjá á mynd 6, sem sýnir hversu mikil losun er á hverju lífsferilsskeiði bíla sem skýrslan nær yfir.

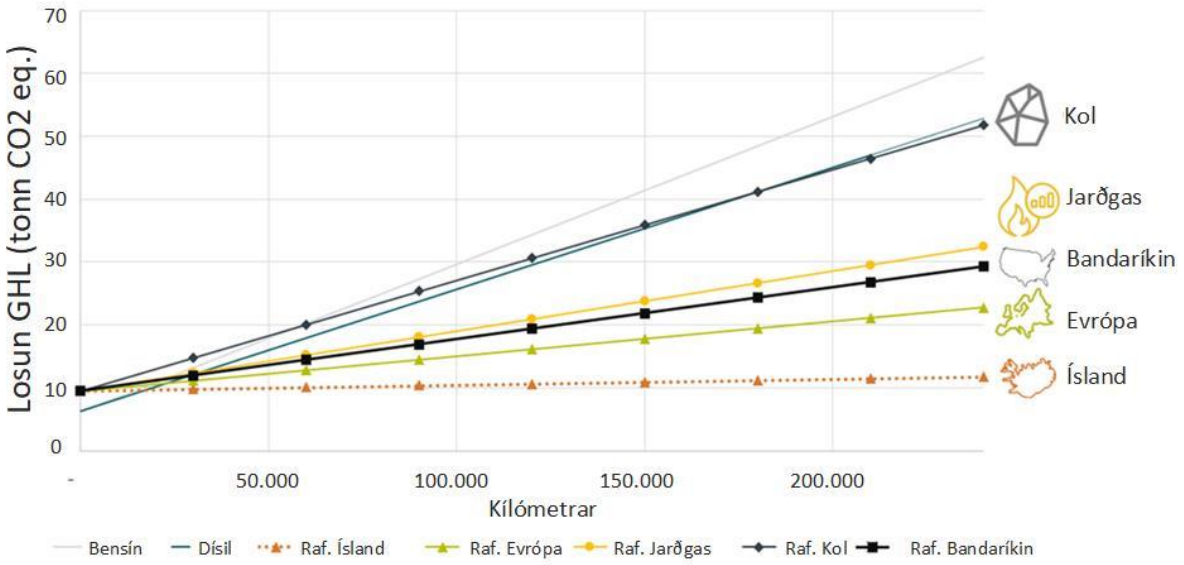
Mynd 6. Heildarlosun á lífstíma bíla - framleiðslu- og notkunartímabil.



3.1 Áhrif uppruna raforku

Annað atriði sem hefur áhrif á heildarlosun GHL á líftíma rafbíls er hvernig rafmagnið sem knýr bílinn áfram er búið til. Þetta er gilt umhugsunarefni sem ákveðið var að fjalla um í þessari skýrslu til að gefa aukið samhengi. Á mynd 7 má sjá losun GHL fyrir mismunandi framleiðslu rafmagns.

Mynd 7. Losun á notkunartíma rafbíls eftir uppruna raforku



Þegar íslensk raforkublanda er notuð til að knýja bílana er losun á hvern kílómetra marktækt lægri en ef notað er rafmagn sem framleitt er með kolum eða jarðgasi. Þetta útskýrir hvers vegna losun yfir vistferil rafbíls á Íslandi er nærri því lárétt, eins og sjá má á mynd 7. Grafið sýnir þó glögglega að óháð því hvernig rafmagnið er framleitt eiga rafbílar það sameiginlegt að losa meira

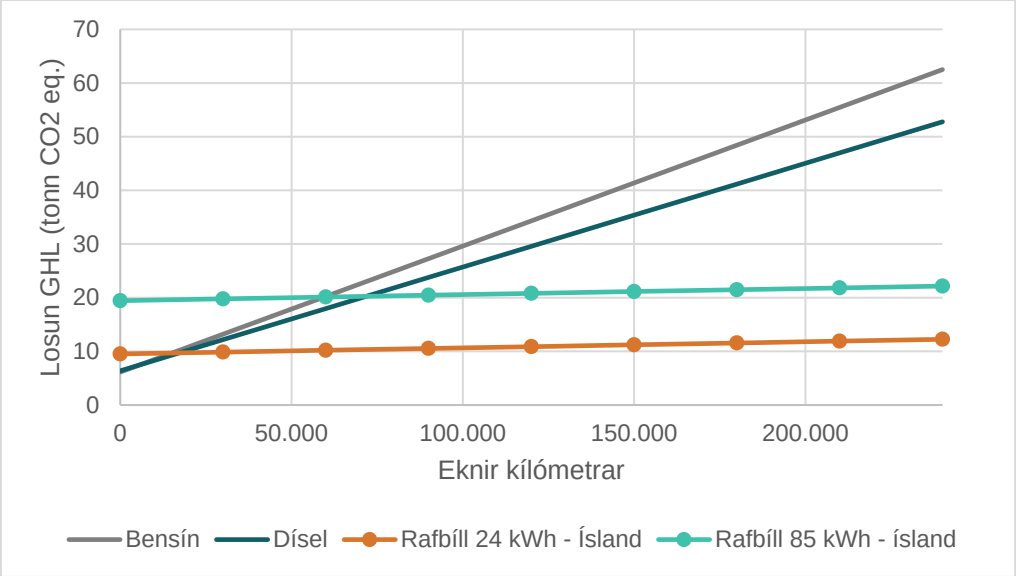
í framleiðslu sem jafnast svo út við notkun eftir að hafa verið keyrðir í minna en 50.000 km. Þó er ein undantekning þar á en það eru rafbílar sem knúnir eru rafmagni sem er alfarið framleitt með kolum. Einnig ber að geta að marktækur munur er á heildar losun rafbílanna eftir framleiðsluaðferð rafmagnsins. Eftir 200.000 km. keyrslu hefur rafbíll sem er knúinn áfram af rafmagnsblöndu frá ESB losað nokkurn veginn tvöfalt meira af GHL en rafbíll sem fær rafmagn sitt á Íslandi.

Það kemur á óvart, þegar litið er á mynd 7, að rafbílar sem eru alfarið knúnir áfram af kolarafmagni ná samt að losa minna af GHL en bensín- og dísilbílar ef þeir eru keyrðir yfir áætlaðan líftíma, eða eftir 200.000-250.000 km. Þetta gæti virst órökrétt þegar við hugsum um tap og skilvirkni rafflutningskerfisins frá upptökum kolaframleidds rafmagns, að rafbíl og í rafmagnsvélina. Útskýringin er að staðbundið orkuver hefur umtalsvert meiri skilvirkni í orkuframleiðslu en bílvél.

3.2 Áhrif stærðar rafhlöðu á heildarlosun

Þegar fólk íhugar kaup á rafbíl þá er drægni þeirra mikilvægur eiginleiki. Í skýrslu *The California Air Resources Board*, er drægni rafhlöðunnar eitt stærsta áhyggjuatriði kaupenda sem íhuga kaup á rafbílum (California Air Resources Board , 2017). Aukin drægni eykur sveigjanleika á langferðalögum og veitir aukið svigrúm þegar kemur að mistökum við hleðslu. Þessi sveigjanleiki er þó kostnaðarsamur hvað varðar umhverfisáhrif. Þótt erfitt sé að áætla umhverfiskostnað við að framleiða rafhlöður út frá ólíkum efnasamsetningum, nýrri tækni og tækniþróun, þá má tengja neikvæð áhrif aukinni rafhlöðugetu. Þessi áhrif ólíkra rafhlöðustærða má sjá á mynd 8, sem sýnir losun GHL allra þeirra rafbíla sem eru hlaðnir með íslenskri raforku.

Mynd 8. Losun GHL tengd bílum með mismunandi stærðir rafhlaða fyrir rafmagn framleitt á Íslandi.



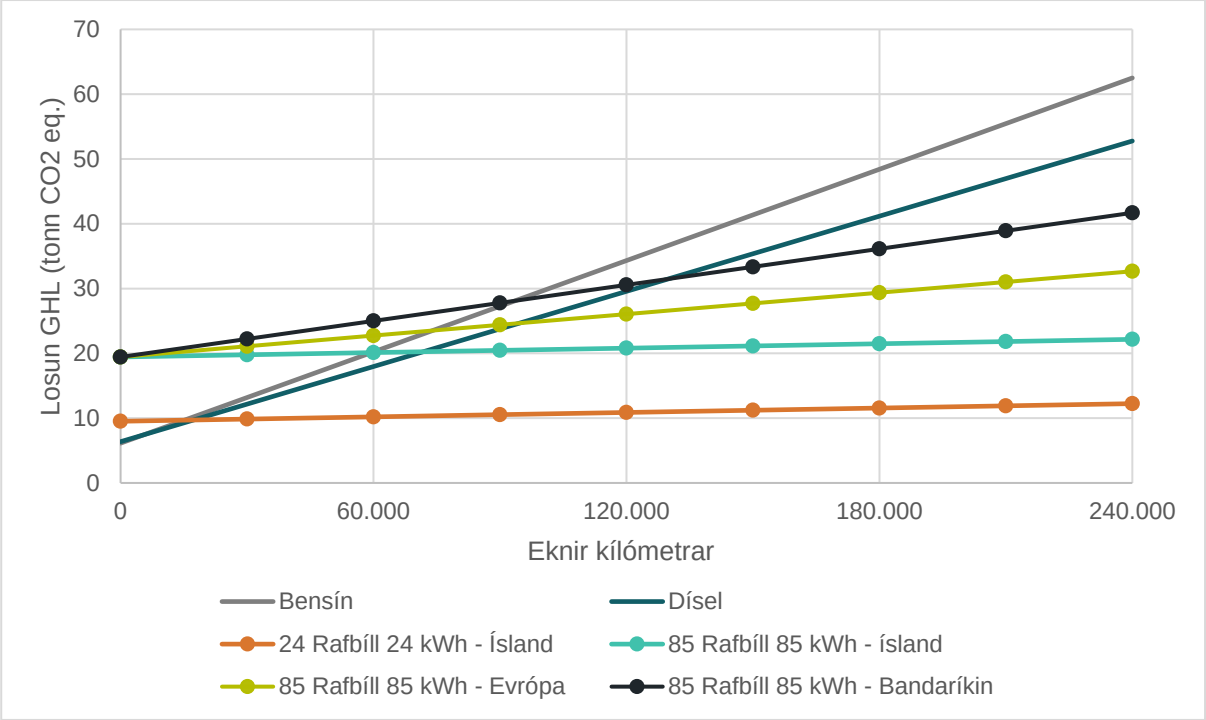
Grafið á mynd 8 sýnir áhrif stærðar rafhlöðu á GHL losun rafbíls og sýnir mögulegar sviðsmyndir, út frá akstri á 24 kWst Nissan Leaf og 85 kWst Tesla Model S ekinna á Íslandi.

Greining sem þessi er ekki nákvæm (og verða takmarkanir ræddar frekar í umræðukafla skýrslunnar) en veitir hins vegar ágæta innsýn í hvernig þörf er á að taka umhverfið með í reikninginn við val á rafbíl. Það er um 50% meiri losun á GHL við framleiðslu á 85 kWst rafbíl en 24 kWst rafbíl, því er rafhlöðugeta nýs rafbíls stór ákvörðun. Þá er ónefnd sú staðreynd að aka þarf bílnum nær þrefalt meira (20.000 km vs. 60.000 km) til að jafna út losunina, eins og sjá má á mynd 8.

Þessi áhrif eru marktæk, jafnvel þegar einungis er horft til íslenskrar raforkusamsetningar. Sambandið verður enn sterkara þegar rafmagn af öðrum uppruna en sjálfbærum er nýtt til að knýja

rafbílinn. Mynd 9 sýnir þessi áhrif en á henni má sjá „verstu mögulegu tilfelli“ þess að aka 85 kWst rafbíl með annaðhvort meðalblöndu rafmagns í USA eða ESB.

Mynd 9. Losun eftir keyrslu, miðað við mismunandi stærð rafhlaða og ólíkan uppruna rafmagns.



Af mynd 9 má sjá að léttur rafbíll með 85 kWst rafhlöðu nær ekki að jafna umhverfisáhrifin fyrr en eftir um 100.000 km akstur ef bíllinn er knúinn áfram af bandarísku rafmagni. Styttri akstur þarf til innan ESB en þó þarf aksturinn að vera á bilinu 70.000-90.000 km Ljóst er að ef losun GHL milli bensín- og dísilbíla og rafbíla er borin saman, þá skiptir stærð rafhlöðunnar í rafbílnum töluverðu máli, sem og hvernig rafmagnið er búið til.

4 Umræða

Eins og nefnt er í inngangi þessarar skýrslu, bera samgöngur ábyrgð á stórum hluta heildarlosunar gróðurhúsalofttegunda (GHL) á Íslandi, eða um 20%. Af því eru vegasamgöngur langstærsti hlutinn, eða 95% (The Environment Agency of Iceland, 2018). Hin 5% koma frá samgöngum í lofti og á sjó (innalands). Vert er að athuga að þetta tekur einungis til losunar frá „brunni-að-hjóli“ á Íslandi: Frá brennslu eldsneytis í brunahreyfli bensín- eða dísilbíla, og rafmagnsframleiðslu fyrir rafbíl. Hún nær ekki yfir losun sem til fellur við framleiðslu bílsins eða förgun hans. Miðað við hlutfall hreinnar orku á íslenskum raforkumarkaði, þá myndi það að skipta yfir í losunarfrjálsa bíla á borð við rafbíla minnka losun frá „brunni-að-hjóli“ um allt að 90%.

Vitaskuld er losun á Íslandi einungis hluti af sviðsmyndinni, losun GHL og loftslagsbreytingar henni tengdar eru hnattrænt vandamál. Það er þess vegna sem spurningar vakna um áhrif af framleiðslu rafhlaða fyrir rafbíla á aukna losun GHL.

Það eru réttmætar spurningar, þar sem losun GHL við framleiðslu á rafbílum er meiri en á bensín- og dísilbílum. Hins vegar, eins og sýnt hefur verið fram á í þessari skýrslu, má ætla að á vistferli rafbíls með 24 kWst rafhlöðu, með lífstíma upp á 200.000 km, verði um 4-4,5 sinnum minni losun og áhrif á hnattræna hlýnun (e. Global Warming Potential) en hjá sambærilegum bíl sem knúinn er með jarðefnaeldsneyti. Af þessu leiðir að á Íslandi er hægt að minnka losun GHL í bókhaldi stjórnvalda um mikið magn (~100x) fyrir hvern bíl, þótt að við vitum að um ákveðna tilfærslu á losun sé að ræða. En á hnattræna vísu dregur það einnig úr heildarlosun GHL að aka rafbíl á Ísland.

Vitaskuld myndi áframhaldandi þróun á rafbílamarkaði ekki útrýma allri losun sem tengist íslenskum samgöngum. Við höfum áfram þungavinnuvélar, skip og flugvélar sem eru knúin jarðefnaeldsneyti og ný tækni eins og rafvæðing slíkra tækja og vetni hafa ekki enn verið þróuð nægilega vel til að geta tekið við þessu hlutverki á markaðnum. Að auki er uppbygging innviða, net hleðslustöðva um land allt, viðamikið verkefni og enn er heilmikið verk óunnið, t.d. hagfræðileg greining og mat á öðrum umhverfisáhrifum. Þessi skýrsla nær ekki yfir þá þætti, en mikilvægt er að þeir verði rannsakaðir frekar.

4.1 Áhrif rafhlöðugetu

Einn af helstu áhrifaþáttunum, þegar fólk íhugar hvort það eigi að kaupa sér rafbíl, mun alltaf vera drægni bílsins, en hana er hægt að auka með meiri rafhlöðugetu og stærri rafhlöðum. Niðurstaða þessarar rannsóknar er sú að meiri rafhlöðugeta muni leiða til aukinnar losunar GHL á framleiðslustigi. Þar af leiðir að við kaup á rafbíl skiptir máli að taka með í reikninginn til hvers og hvernig hann verður notaður. Verður hann einungis notaður í innanbæjarakstur og hversu oft verður hann notaður til lengri ferða? Mun bíllinn oft þurfa að keyra langar vegalengdir og ef svo er, væri ef til vill hagkvæmara að leigja bíl fyrir lengri ferðir? Ef rafbíll er einungis notaður til að keyra í og úr vinnu, auk smávægilegs snatts, gæti 24 kWst rafhlaða dugað ágætlega. Ef bíllinn er oft notaður til lengri ferða, gæti verið betra að kaupa bíl með stærri rafhlöðu. Til að draga úr umhverfisáhrifum rafbíls er mikilvægt að huga að ætlaðri notkun hans og velja stærð rafhlöðu miðað við það.

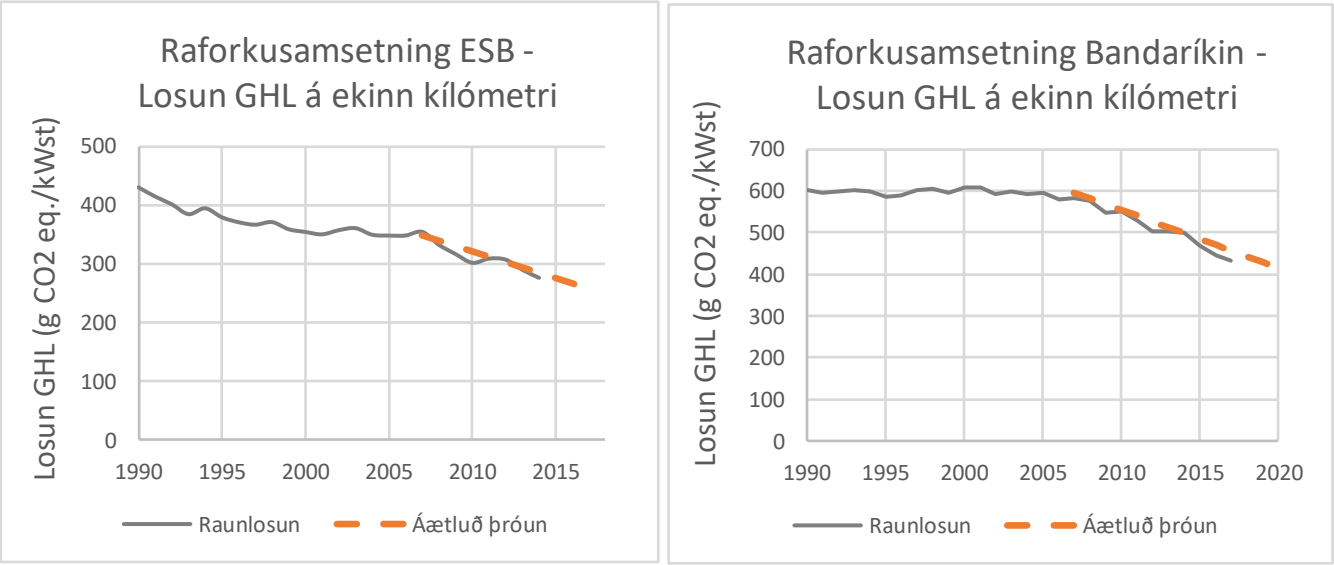
4.2 Áhrif raforkuframleiðslu

Eitt af því sem kemur skýrt fram í skýrslunni er að umhverfisáhrif þess að aka rafbíl velta mikið á því hvar bílnum er ekið. Á Íslandi er hægt að keyra rafbíl með góðri samvisku þar sem rafmagnið er framleitt með endurnýjanlegum hætti og hægt er að aka bílnum mikið með lágmarks umhverfisáhrifum. Innan ESB, hins vegar, er losun tengd rafmagnsframleiðslu afar mismunandi eftir því hvar ekið er. Til dæmis losar Grikkland næstum fimm sinnum meira af GHL á hverja kílówattstund en Lettland (European Environment Agency, 2016). Í hverju aðildarríki þarf því að athuga hver ávinningurinn er af því að keyra rafbíl út frá losun og öðrum umhverfisáhrifum. Svipað má segja um Bandaríkin, þó losun við framleiðslu rafmagns milli svæða þar sé jafnvel enn meiri en innan ESB. Það er því mikilvægt að samhliða aukinni rafbílanotkun, verði rafmagn í auknum mæli framleitt með endurnýjanlegum og losunarfrjálsum hætti.

4.3 Áhrif þróunar í raforkuframleiðslu

Rafbílamarkaðurinn hefur þróast samhliða aukinni þróun í framleiðslu á sjálfbærri orku (aðallega sólar- og vindorku). Á mynd 10a má sjá hvernig koltvísýringsstyrkur fyrir hverja kWst innan ESB hefur dregist saman síðan 1990, með bættri raforku framleiðslu samsetningu. Með aukinni áherslu ESB á að draga úr losun á GHL má búast við að koltvísýringsstyrkurinn haldi áfram að minnka. Svipuð þróun á við dreifikerfi bandarísks rafmagns, eins og sjá má á mynd 10b.

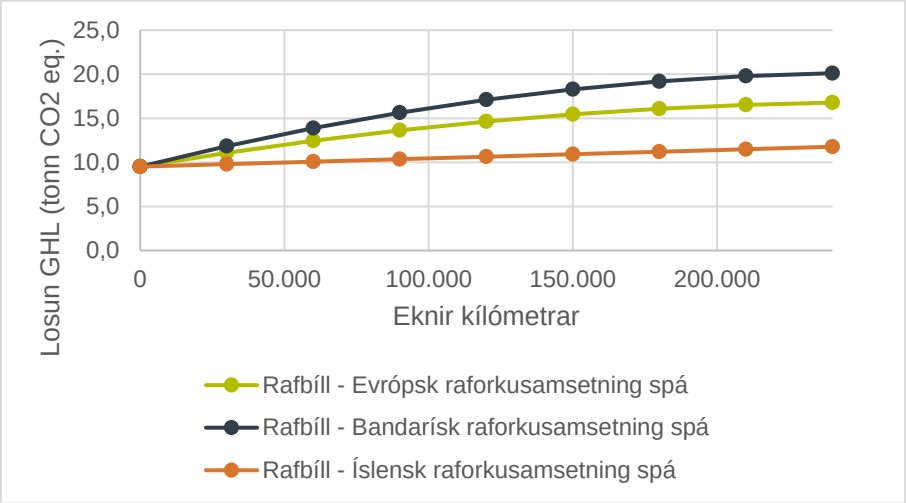
Mynd 10a og b. a) Koltvísýringsstyrkur í raforkusamsetningu ESB. Núverandi stefna hefst árið 2006. b) Koltvísýringsstyrkur í raforkusamsetningu USA (European Environment Agency, 2016), (U.S. Energy Information Administration, 2018).



Eftir því sem endurnýjanleg orka verður stærri hluti af samsetningu raforkuframleiðslu um allan heim og koltvísýringsstyrkur lækkar, ætti að draga úr koltvísýringslosun á hvern kílómetra sem ekinn er á notkunartíma hvers rafbíls. Þess vegna má ætla að losun á kílówattstund haldi áfram að dragast saman í líkingu við það sem sést á myndum 10a og 10b, ólíkt því sem sjá má á mynd 7 þar sem miðað er við að losun GHL fyrir hverja einingu af framleiddu rafmagni sé stöðug.

Mynd 11 sýnir áætlaða losun GHL yfir líftíma rafbíls ef tekið er tillit til samdráttar á losun kolefnis vegna aukinna umsvifa endurnýjanlegra orkugjafa. Línur sem sýna stefnu í myndum 10a og 10b voru teiknaðar út frá gildum árið 2014 (nýjustu gildin frá Umhverfisstofnun Evrópu þegar þetta er skrifað) til að áætla losun innan ESB vegna orkuframleiðslu. Þessi gildi voru síðan notuð til að reikna út losun vegna rafbíla á vistferli bílsins, eins og sjá má á mynd 12, þar sem enn er miðað við að bílnum sé ekið 15.000 km á ári.

Mynd 11. Losun yfir tíma, gert er ráð fyrir að meðalakstur á ári sé 15.000 km og miðað við að losun koltvísýrings vegna rafmagnsframleiðslu sé samkvæmt áætluðum spám sbr, mynd 10a og 10b.



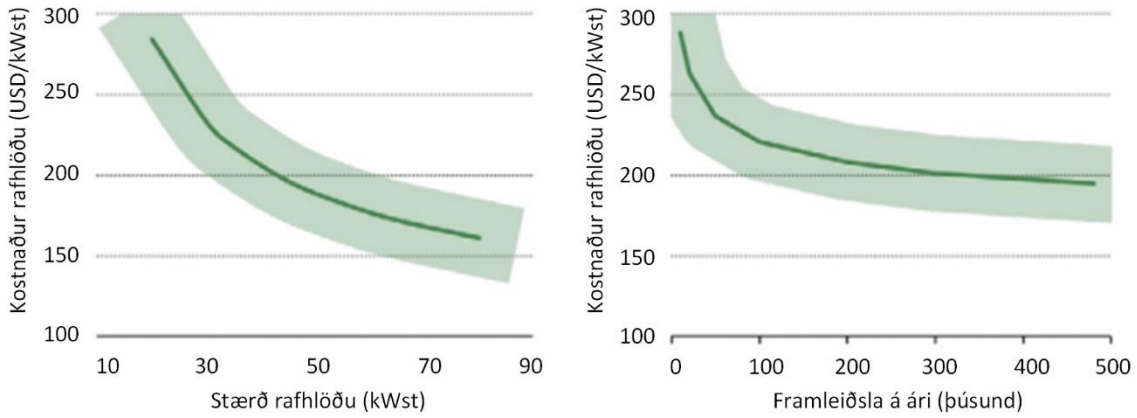
Tölurnar í mynd 11 eru spár sem byggja á því að stefna um samdrátt í losun við framleiðslu rafmagns gangi eftir og hvernig það gæti haft áhrif á losun frá rafbílum á tímabilinu. Myndin sýnir

hins vegar ágætlega að eftir því sem raforkusamsetning á heimsvísu eru ríkari af rafmagni sem framleitt er á endurnýjanlegan hátt eða með lágu losunargildi, þá verða jákvæð umhverfisáhrif rafbíls, borið saman við bensín/dísilbíla, enn ljósari.

4.3.1 Áhrif aukinnar framleiðslu á rafbílum

Þróun innan rafbílamarkaðarins er hraðvaxandi heildarfjöldi rafbíla og aukin árleg framleiðsla. Eins og sjá má á mynd 4 er veldisvöxtur á fjölda rafbíla í umferð. Bílaframleiðendur fjölga í sífellu rafbílum í vöruframboði sínu, og líklega er fjöldaframleiðslan rétt að hefjast. Þegar og ef það gerist, mun ferlið og tæknin þróast til að auka skilvirkni svo hagkvæmni í fjöldaframleiðslu náist. Þetta má sjá á mynd 12, sem sýnir (til vinstri) tengsl milli stærðar rafhlöðu og kostnaðar eftir því sem breytingar verða á stærð rafhlöðunnar og (til hægri) tengsl framleiðslufjölda og kostnaðar rafhlöðu sem fæst með aukinni hagkvæmni í framleiðsluaukningu (International Energy Agency, 2018).

Mynd 12. Áhrif vegna breytinga á stærðar og framleiðsluskala á kostnað rafhlaða.



Athugasemd: Kostnaður rafhlöðu miðast við miðlungsstærð rafhlöðu áætlaða með svokölluðu BatPaC módeli (Útgáfu 3.1) frá ANL (Argonne National Labratory). Án næmigreiningar er frammistaða rafhlöðunnar: kraftur 100 kW, stærð 35 kWh, framleiðslufjöldi 100.000 einingar á ári og byggist á NMC 111-Grafíð efnafræði. Skyggði hlutinn sýnir 15% óvissugildi miðað við BatPaC kostanaðarmatið.

Heimild: Greining frá Alþjóða orkumálastofnuninni (IEA) byggð á ANL (2018).

Þar sem rafbílar eru nýkomnir í fjöldaframleiðslu og vegna hraða þeirrar þróunar getur verið erfitt að fastsetja gildin fyrir umhverfisáhrif og losun við framleiðslu þeirra (Hawkins, 2013). Búast má við að fjöldaframleiðsla á rafbílum fylgi lærdómskúrfu og að skilvirkni við framleiðslu muni aukast. Þetta mun líklega leiða til minni losunar á hvert farartæki. Námuvinnsla sem fylgir öflun málma og hráefna fyrir rafhlöður er ábyrg fyrir stórum hluta losunar á framleiðslutímanum. Sú losun gæti einnig dregist saman þar sem aukið hlutfall málma gæti komið frá endurunnum rafhlöðum.

Þótt líta megi á aukna skilvirkni sem alfarið jákvæðan þátt, er vert að hafa í huga endurkastsáhrif (e. „the rebound effect“) og vakta þróun tækninnar. Sem dæmi má nefna að endurkastsáhrifin, sem myndast vegna aukinnar skilvirkni við framleiðslu rafhlaða og minni kostnaðar á hverja kílóvattstund (eins og sýnt er á mynd 12), gætu orðið þau að framleiðendur verði líklegri til að frameiða stærri rafhlöður (þar sem neytendur kalla eftir meiri drægni), en það leiðir til meiri eftirspurnar eftir viðkomandi málmum og aukinnar losun GHL í framleiðslu bílanna. Því er mikilvægt að halda áfram að vakta umhverfisáhrif og losun sem tengjast framleiðslu á rafbílum eftir því sem markaðurinn þroskast. Önnur endurkastsáhrif vegna lægri kostnaðar og aukinnar skilvirkni gæti orðið að fleiri kaupi rafbíl í stað þess að nota almenningssamgöngur og aki meira en ella. Bílaumferð gæti þannig aukist og dregið úr þeirri minnkun koltvísýringslosunar sem

gert er ráð fyrir, þegar heildaráhrif breytinganna eru skoðuð, sérstaklega erlendis þar sem notkun almenningssamganga er algengari.

4.4 Áhrif á staðbundna loftmengun

Þó að áherslan í þessari skýrslu sé á losun gróðurhúsalofttegunda (GHL), er nauðsynlegt að fjalla einnig um loftmengun þegar við ræðum umhverfisáhrif frá samgöngum. Á meðan losun GHL er alþjóðlegt vandamál sem hefur áhrif á stórfellda hlýnun jarðar, þá getur loftmengun á borð við svifryk haft beintengd og tafarlaus neikvæð áhrif á heilsu. Samkvæmt Umhverfisstofnun Bandaríkjanna (e. U.S. Environmental Protection Agency), tengjast svifryk og mengandi efnisagnir fjölbreyttum heilsuvandamálum, þar á meðal snemmbærum dauða þeirra sem eru með lungnasjúkdóma, hjartaáföllum, astma og öðrum sjúkdómum í öndunarfærum (U.S. Environmental Protection Agency, 2003). Það er vel þekkt að þessi staðbundnu áhrif loftmengunar, efnisagnir og köfnunarefnisoxíð, geta haft bein neikvæð áhrif á heilsu íbúa. Alþjóðaheilbrigðisstofnunin áætlar að á hverju ári deyi sjö milljónir manna ótímabærum dauða vegna loftmengunar (World Health Organization, n.d.). Jafnvel hin smáa borg (hlutfallslega) Reykjavík, hefur þurft að gefa út fjölmargar viðvaranir, þar sem börnum og fólki með öndunarfærasjúkdóma er ráðlagt að halda sig innandyra og halda sig fjarri stórum umferðaræðum. Á tímabilinu janúar-mars 2018 fór svifryk (PM_{10}) yfir viðmiðunarmörk, um 50 µg/m^3 á sólarhring, í meira en tug tilfella, en það getur leitti til hósta, astmakasta, berkjubólgu, og ótímabærs dauða (Reykjavíkurborg, 2018). Í Reykjavík er þessi loftmengun nær eingöngu vegna samgangna, frá útblæstri farartækja og niðurbroti dekkja, bremsuklossa og malbiks.

Enginn útblástur er frá rafbílum, þó aðrir hlutar bílanna geti valdið svifryki, hlutir á borð við bremsuklossa og dekk, tengist bæði rafbílum og bensín- og díselbílum. Þar sem enginn útblástur er til staðar, eru skiptin yfir í rafbíla líkleg til að hafa jákvæð áhrif á loftgæði í Reykjavík og í öðrum landshlutum. Hins vegar þyrfti að rannsaka betur losun svifryks sem tengist notkun rafbíla á svæðum þar sem rafmagn er framleitt með jarðefnaeldsneyti, sérlega kolum, sem gæti í raun leitt til meiri svifryksmengunar en ef keyrt væri um á bensín- eða díselbíl, ef mengunarvarnir kolaversins eru ekki fullnægilegar.

Þegar við skoðum íslenskar aðstæður, ættu skipti yfir í rafbíla nær örugglega að draga umtalsvert úr svifryksmengun, vegna losunar lausrar orkuframleiðslu. Þar sem rafbílar hafa orkuframleiðandi bremsukerfi (e. regenerative braking,) má búast við að þeir dragi enn frekar úr losun svifryks sem kemur frá bremsuklossum (International Energy Agency, 2018). Stórfelld skipti yfir í rafbíla gæti því mögulega dregið verulega úr loftmengun, sem er vaxandi vandamál í Reykjavík.

4.5 Áhrif námuvinnslu hráefni rafhlaða

Skyndilega aukin spurn eftir hráefnum sem notuð eru í rafhlöður rafbíla, sem tengist rafbílanotkun, hefur leitt til tilfærslu í umhverfisbyrði og í einhverjum tilfellum slæmrar meðferðar á námuverkafólki.

Sem dæmi má nefna kóbalt, sem er lykilefni sem tengjast ákveðnum efnahvörfum í rafhlöðum rafbíla, en yfir 55% heimsframleiðslu þess kemur frá Lýðstjórnarlýðveldinu Kongó. Mikil ásókn í kóbalt og þrýstingur vegna kostnaðar, auk mikillar fátæktar og misréttis í landinu, hafa skapað aðstæður þar sem fólk, þar á meðal börn, vinna við óásættanlegar og hættulegar aðstæður sem stefna heilsu þeirra í hættu. Mikil áhætta fylgir rykinu sem kemur úr námunum, þar sem námarverkafólk vinnur meðal annars við að höggva grjót og andar að sér kóbaltrykinu sem getur jafnvel innihaldið úraníum. Um 20% framleiðslunnar kemur frá rekstri sem nýtir sér siðlausa barnavinnu (Joint Research Centre (JRC), 2018). Rafhlaða í rafbíl inniheldur um 50 kg. af kóbalti, á meðan farsími inniheldur aðeins nokkur grömm.

Á meðan tækniframleiðendur hafa einsett sér að sniðganga ósiðlega birgja, og tryggja að uppruni kóbaltsins sé ásættanlegur, hafa framleiðendur rafbíla verið sakaðir um að grípa ekki til neinna áþreifanlegra aðgerða til að tryggja að verslun með kóbalt sé siðferðileg frá mannúðarsjónarmiðum. Ekki er víst að ráðlegt sé að sniðganga framleiðendur frá Kongó, þar sem það myndi hafa mikil áhrif á almenning sem býr við erfiðar aðstæður. Vænlegra væri að vinna með yfirvöldum og fyrirtækjaeigendum í Kongó að því að tryggja betri vinnuaðstæður.

Litíum er dælt úr jörðu með vatni. Framhaldsvinnslan fer fram í tjörnum, þar sem uppgufun vatns eykur styrk litíumsins. Litíumnámur nota því mikið vatn oft á þurrum svæðum, en annars þykja áhrif námanna takmörkuð þar sem þær eru oft staðsettar á óspilltum en oft óræktanlegum svæðum í dreifbýli. Litíumvinnsla getur þó til lengri tíma litið haft áhrif á aðgengi að ferskvatni og þurrkað upp vatnsból fugla og dýra með alvarlegum áhrifum á heilsu manna og líffræðilega fjölbreytni. Auk þess geta önnur efni losnað bæði við námuvinnsluna sjálfa og sem hliðaráhrif af námuvinnslunni, og þannig skaðað lífríkið í kringum námurnar (Wanger, 2011).

Ef gera á heildstæða lífsferilsgreiningu þarf að rannsaka og greina heildræn umhverfisáhrifog bera þau saman við sambærilega vinnslu á jarðefnaeldsneyti og bruna þess. Þá þarf jafnframt að framkvæma samfélagslega lífsferilsgreiningu til að ná þessari heildarmynd, þar sem hefðbundin lífsferilsgreining einblínir einingis á umhverfisleg áhrif vöru og þjónustu. Gerðar hafa verið rannsóknir á þessu sviði sem gefa til kynna að núverandi námuvinnsla á fátækum svæðum hafi haft neikvæð áhrif á samfélagið, en að með reglugerðum og stuðningi yfirvalda sé hægt að nota þessar námur til að draga úr fátækt og hefja sjálfbæra þróun á réttum forsendum (Öko-Institut e.V. - Institute for Applied Ecology, 2011).

4.6 Takmarkanir á rannsókninni

Á þessari rannsókn eru ákveðnar takmarkanir og eru þær helstu taldar upp hér að neðan. Meðal annars felast þær í aðferðafræðinni að baki lífsferilsgreiningum. Þegar reynt er að bera lífsferilsgreiningar saman, til að ná vísindalegum samhljómi, geta ólíkar aðferðir hamlað samanburði.

- *Að undanskilja losun vegna förgunar.* Fólk er ekki á einu máli um hvernig eigi að meta losun við förgun (End of Life/EOL) rafbíla, efnanna í rafhlöðum þeirra og þungmálma þegar kemur að endurvinnslu og hvort áhrif förgunarinnar séu jákvæð eða neikvæð. Þess vegna var ákveðið að sleppa förgunar-fasanum í þessari skýrslu. Þess ber þó að geta að jafnvel í verstu sviðsmyndum eru áhrif losunar við förgun innan við 2% af heildarlosun bílsins á vistferli hans. Vegna tiltölulegra lítilla áhrifa og ólíkra skoðana í tengslum við förgun rafbíla var því ákveðið að sleppa því ferli í skýrslunni. Að auki eru áhrif förgunar afar mismunandi eftir því hvar bílnum er fargað og hvernig meðhöndlun úrgangsins er háttað.
- *Meðaltalsaðferð vistferilsgreininga*. Aðferðafræðin að baki lífsferilsgreiningum krefst gríðarlegs magns gagna en það getur reynst erfitt að nálgast áreiðanleg gögn, auk þess sem ólíkar breytur geta átt við fyrir mismunandi svæði og tímabil. Gögn sem njóta einkaleyfisverndar leiða gjarnan til ólíkra kerfislægra takmarkana og samanburður milli rannsókna getur verið erfiður. Þegar farið er yfir margar rannsóknir á sambærilegum vörum, þar sem munur á áhrifum er marktækur, vakna spurningar um hvers vegna niðurstöðurnar eru svo ólíkar. Stór áhrifaþáttur eru lykilforsendur og geta haft marktæk áhrif á niðurstöður lífsferilsgreininga. Fyrir bifreiðar er lífsaldur farartækisins ein mikilvægasta forsendan. Í ritrýndum rannsóknum hefur munurinn á áætluðum lífstíma verið yfir 100.000 km. Það getur því verið flókið að áætla hver hinn raunverulegi líftími skuli vera, sérstaklega ef haft er í huga að fjöldaframleiðsla á rafbílum er svo nýtilkomin og flest farartækjanna eru einungis á frumstigum líftíma síns, og gögn um þau eru enn að skýrast. Markmið skýrslunnar var að vera eins

gagnsæ og hægt væri og gerð er grein fyrir þeim upplýsingum sem vísað er í. Tilgangurinn með því að nota meðaltalsgildi var að vanmeta hvorki né ofmeta áhrif þess að aka rafbíl, og að komast að niðurstöðu sem er líklegust út frá yfirliti þeirra rannsókna sem gefnar hafa verið út.

- *Næmnigreining.* Í rannsókninni var ekki gerð næmnigreining þar sem gögnin byggja á nokkrum rannsóknum með mismunandi næmnigreiningu í hverri rannsókn. Næmningreining mikilvægustu rannsóknanna var hins vegar athuguð til að skilja betur þær breytur sem höfðu mest áhrif.
    - Í rannsókn Hawkins (2013) er því haldið fram að þegar kemur að rafbílum sé næmasta breytan sem hefur áhrif á losun GHL fyrir hvern kílómetra yfir líftíma það hvernig rafmagnið sem knýr bílinn er framleitt. Ef litið er til ólíkra framleiðsluaðferða, þar sem besta rafmagnið er framleitt alfarið með vindorku og hið versta úr brúnkolum, getur losun á GHL við rafbílanotkun verið allt niður í 50% miðað við upphaflegar niðurstöður eða upp undir 175%. Næst veigamesti þátturinn er orkunýting rafbílsins, þar sem orkunýting í verstu sviðsmynd væri um 50% af upphaflegum niðurstöðum og í besta tilfelli væri orkunýting 200% af upphaflegum niðurstöðum. Þetta besta tilfelli myndi leiða til 75% losunar á km miðað við grunnorku og versta tilfellið myndi leiða til 150% losunar á km af grunnorku. Sá þáttur sem kæmi næstur í röð veigamestu þáttanna væri líftími bílsins (Hawkins, 2013).
    - Í rannsókn Messagie, (2014), er tekið fram að vistferilsgreining sem byggir á úrtaki af upplýsingum, þar sem mismunandi niðurstöður mælinga fyrir losun GHL á kílómeter voru sett inn í greininguna til að fá lokabil af niðurstöðum. Samkvæmt þessum ólíku breytum, sem settar voru inn í rannsóknina, var besta sviðsmyndin fyrir rafbíla ríflega 60% af upphaflegum niðurstöðum og versta niðurstaðan rúmlega 125% af upphaflegum niðurstöðum. Í þessari rannsókn var tekið fram að uppruni raforku væri stærsti áhrifaþátturinn á breytileika niðurstaðna (Messagie M.E., 2014).

  Næmnigreining er mikilvægur þáttur í hverri vistferilsgreiningu þar sem mótandi ákvarðanir og mörk kerfis geta leitt til afar breiðs bils niðurstaðna, bæði innan rannsóknar og milli rannsókna. Þess vegna var íslenska sviðsmyndin notuð í þessari rannsókn, til að taka eina stærstu breytuna innan rannsóknarinnar í staðbundið samhengi svo hægt væri að styrkja umræðuna um rafbílanotkun á Íslandi.

- *Stærra samhengi heildarsamgöngukerfis ekki skoðað.* Þessi rannsókn kannaði einungis áhrif þess að skipta út einum rafbíl fyrir einn dísil- eða bensínbíl. Í vistferilsgreiningu eru sambærilegar einingar notaðar sem grunnur fyrir samanburð. Þessar rannsóknir eiga það sameiginlegt að samanburðareiningin var losun fyrir kílómeters keyrslu á fólksbíl. Það er sá samanburður sem rannsóknin miðaði við. Í raunveruleikanum er samgöngukerfið ekki einungis samsett af léttum fólksbílum og einnig er frekari innviðauppbygging enn nauðsynleg til að greiða götur þessarar nýju tækni. Þegar kemur að rafbílum er ljóst að rútur og strætisvagnar, sem eru einu almenningssamgöngurnar á Íslandi, og flutningabílar myndu gefa allt aðrar niðurstöður en fólksbílar, þegar borin eru saman umhverfisáhrif rafbíla við dísil- og bensínbíla. Að auki eru ótalin umhverfisáhrif þeirrar innviðauppbyggingar sem er nauðsynleg til að mögulegt sé að skipta bílaflotanum í stórum stíl yfir í rafbíla. Þess vegna nær þessi greining ekki að meta heildar umhverfisáhrif þess ef þjóðin skiptir yfir í rafbílanotkun. Rannsókninni er frekar ætlað að styðja við upplýsta umræðu um

leiðir til að bæta samgöngukerfið og orkuskipti í samgöngum, með því að bera létta rafbíla saman við dísil- og bensínbíla.

- *Drægni farartækis og notkunarmynstur.* Á Íslandi er algengt að aka langar vegalengdir til að ferðast á milli bæja eða staða á landinu. Ein algengasta leiðin er akstur milli Reykjavíkur og Akureyrar, sem er um 388 km löng og tekur um 4,5-5 klukkustundir. Umhverfisstofnun Bandaríkjanna áætlaði að rafbíllinn Nissan Leaf (24kWst, framleiddur 2014), sem er sá rafbíll sem er notaður í margar þeirra vistferilsgreininga sem farið var yfir, hafi drægni í u.þ.b. 135 kílómetra (Environmental Protection Agency, 2016). Það þýðir að það gæti þurft að hlaða rafbíl tvisvar til að komast til Akureyrar, og rafhleðsla tekur mun lengri tíma en að dæla jarðefnaeldsneyti á bílinn. Þessi skortur á drægni gæti leitt til þess að almenningur telji rafbíl ekki ásættanlegan og gæti hægt á skiptunum frá dísil- og bensínbílum í rafbíla. Þetta er félagslegt sjónarhorn sem ekki var litið til í þessari skýrslu, enda skoðar hún fyrst og fremst umhverfislega þætti.

- *Rafhlöðuáhrif mögulega ekki línuleg.* Eins og kemur fram í kafla 2, sem fjallar um aðferðafræðina, er ekki víst að umhverfisáhrif vegna framleiðslu rafhlaða séu endilega línuleg. Ein möguleg ástæða þess er útskýrð í rannsókn sem Loftgæðastjórn Kaliforníuríkis stóð fyrir en þar segir (California Air Resources Board , 2017):

  > „Þessa bættu drægni á lægra verði má rekja til ólíkra umbóta, en þó helst til lægri kostnaðar við rafhlöður og til bættrar rafhlöðutækni. Þróun rafhlaða hefur skilað þéttari orku, sem eykur drægni hjá sömu stærð af rafhlöðu.“

  Stór þáttur umhverfisáhrifa við framleiðslu á rafhlöðum tengist hráefninu sem notað er til framleiðslunnar. Ef hægt er að auka orkuþéttni (higher energy density) með sömu stærð af rafhlöðu er mögulegt að framleiðsla á slíkum orkuríkum rafhlöðum verði minni en hið línulega samband milli losunar og getu (kWst) sem miðað hefur verið við. Hins vegar kemur fram, í rannsókn sænsku umhverfisrannsóknarstofnunarinnar IVL, (Swedish Environmental Research Institute) að þótt svo verði á næstu árum, hafi tengslin hingað til verið aðeins minni en línuleg (1) eða 0,98, ef notuð eru nýjustu gögn sem tiltæk eru (IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017). Þetta er líklega vegna þess að þó rúmmál rafhlöðunnar sé ekki að aukast, hefur endurhönnun hennar leitt til þess að hún inniheldur meira magn af virkum efnum. Þó að gögn í náinni framtíð muni líklega sýna fram á að tengslin milli getu rafhlöðunnar og umhverfisáhrifa verði minni en línuleg, þá var ákveðið að notast við núgild gögn í rannsókninni og metið sem svo að línulegt samband myndi duga.

- *Stærri rafhlöður eru ekki endilega samanburðarhæfar þegar þær eru bornar saman við létta bensín- eða dísilbíla.* Með því að auka getu rafbíla, gæti samanburður milli ólíkra rafbíla verið eins og að bera saman epli og appelsínur. Þótt báðir bílar séu rafbílar, hefur 24-kWst Nissan Leaf alls ekki sömu umhverfisáhrif og 85-kWst Tesla Model S. Þeir eru framleiddir með mismunandi íhlutum og keppa á ólíkum markaði hagkvæmra- og lúxusbíla, og munu ekki koma í stað hvors annars. Hið sama á við þegar við berum 85-kWst rafbíl saman við léttan bensín- eða dísilbíl, því slíkan rafbíll ætti að bera saman við bensín- eða dísilbíl í sama flokki. Þegar rafhlöðustærðin var sköluð upp voru aðeins viðbótaráhrifin frá batteríinu sjálfu könnuð, þegar raunin er sú að breytingunni fylgir einnig breyting á öðrum íhlutum og á samkeppnismarkaði bílsins. Tilgangur þess að skoða mismunandi stærðir battería er að vekja athygli á mikilvægi ákvörðunarinnar um stærð fyrir umhverfið frekar en að veita nákvæmar upplýsingar um áhrifin.

Takmarkanir og ályktanir í skýrslunni eru dregnar fram til að gæta gagnsæis og til að varpa ljósi á breytileika sem getur rúmast innan rannsóknar sem þessarar. Vísindalegt sjónarhorn hefur verið notað til að ná fram eins nákvæmri niðurstöðu og mögulegt er. Óháð þeim breytileika sem því fylgir, er hægt að halda því fram með nokkuð góðri vissu að akstri rafbíls á Íslandi muni fylgja minni losun gróðurhúsalofttegunda (GHL) en akstri sambærilegra bensín- eða dísilbila. Á öðrum landsvæðum, t.d. ákveðnum fylkjum innan USA eða landa innan ESB, getur rafmagnssamsetningin og breytur sem tengjast líftíma, rafhlöðugetu og fleiru haft svo mikil áhrif að tilefni væri til að gera rannsókn sem tekur nánara tillit til þeirra svæða og staðbundinna þátta.

5 Niðurstaða

Niðurstöður rannsóknarinnar hafa sýnt að þegar litið er á líftíma rafbíls eru umhverfisáhrif hans minni en akstur á sambærilegum bensín- eða dísilbíl. Niðurstöðurnar sýna að rafbíll losar minna af gróðurhúsalofttegundum og er á þann hátt umhverfisvænni en bensín- eða dísilbíll. Spurningin ætti hins vegar að vera „hversu miklu betri er hann“? Það veltur á því hvernig rafmagnið, sem knýr bílinn, er framleitt. Vegna þess hve mikið af íslensku rafmagni er framleitt á endurnýjanlegan hátt, er akstur á rafbíl á Íslandi einn hreinasti valkostur fyrir fólksbíl sem hægt er að bjóða.

Þegar miðað er við heildarlosun bensín- dísil- og rafbíla, og að líftími þeirra sé um 200.000 km, má ætla að rafbíllinn sé 4-4,5 sinnum betri fyrir umhverfið, með tilliti til hnattrænnar hlýnunar, ef bílnum er ekið á Íslandi. Ef við berum saman rafbíl með 24 kWst og 85 kWst rafhlöður, þá losar framleiðsla stærri rafhlöðunnar næstum helmingi meira af GHL. Þrátt fyrir það ættu þau auknu umhverfisáhrif að jafnast út, hvað losun GHL varðar, þegar bílnum hefur verið ekið í 60.000-70.000 km. Því má bæta við að rafbíll sem ekið er innan ESB eða USA hefur 2-2,5 sinnum minni losun GHL en bensín- eða dísilbíll á líftíma bílsins. Hægt er að hafa áhrif á þessi gildi með rafhlöðustærð bílsins sem keyptur er.

Þessar niðurstöður svara þar með báðum spurningum sem skýrslunni var ætlað að svara. Í fyrsta lagi um áhrif aukinnar losunar GHL vegna hráefna og umframorku sem notuð eru við framleiðslu rafhlaða fyrir rafbíla og í öðru lagi um áhrif uppruna rafmagnsins á heildarlosun rafbíla.

Þótt enn séu ákveðnar tæknilegar hindranir og innviðaskortur sem leysa þarf áður en hægt er að rafvæða bílaflotann á Íslandi í stórum stíl, þá eru fáir staðir á heimsvísu sem henta betur sem upphafsstaður slíkra umskipta en Ísland. Ísland hefur hreina raforku, hátt olíuverð, og nógu fáa íbúa til að hægt sé að mæta eftirspurn og hentar því vel til að taka forystu fyrir rafbílavæðingu (KPMG, 2018). Uppbygging innviðanna er nú þegar hafin og með nýlega yfirlýstum stuðningi ríkisstjórnarinnar virðist þetta raunverulegur valkostur. Rafbílavæðing getur reynst íslendingum vel þar sem hún getur dregið verulega úr þeim hluta losunar GHL landsins sem á rætur að rekja til samgangna, og öðrum jarðarbúum þar sem loftslagsbreytingar ógna stöðugleika veðurs og fæðuöflun heimsins.

Að lokum, þegar kemur að losun gróðurhúsalofttegunda og vaxandi áhrifum þeirra á hnattræna hlýnun eru rafbílar betri kostur bæði almennt séð en sérstaklega á Íslandi.

6 Heimildaskrá

Öko-Institut e.V. - Institute for Applied Ecology. (2011). *Social impacts of artisanal cobalt mining in Katanga, Democratic Republic of Congo.* Öko-Institut e.V. - Institute for Applied Ecology.

Air Resources Board. (2017). *California's Advanced Clean Cars Midterm Review; Appendix C: Zero Emission Vehicle and Plug-in Hybrid Electric Vehicle Technology Assessment.* California Environmental Protection Agency.

California Air Resources Board . (2017). *California's Advanced Clean Cars Midterm Review.* California Environmental Protection Agency.

City of Reykjavik. (14. 11 2018). *Air Quality in Reykjavik*. Sótt frá City of Reykjavik: https://reykjavik.is/thjonusta/loftgaedi-i-reykjavik

Environmental Protection Agency. (2016). *FuelEconomy.gov*. Sótt frá Office of Transportation and Air Quality: https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=37066&id=37067&id=34918&id=34699

European Environment Agency. (2016). *Overview of electricity production and use in Europe.* Copenhagen: European Environment Agency.

Faria, R. e. (2013). Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 24*, 271-287.

Hawkins, T. R. (2013). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology 17.1*, 53-64.

Icelandic Automobile Association. (2018). *Reksturskostnaður.* Reykjavik: Félag íslenskra bifreiðaeigenda.

International Energy Agency. (2017). *Global EV Outlook 2017.* OECD/IEA.

International Energy Agency. (2018). *Global EV Outlook 2018; Towards cross-modal electrification.* International Energy Agency.

International Standards Organization. (2006). *Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework.* International Standards Organization.

International Standards Organization. (2006). *Environmental Management — Life Cycle Assessment — Requirements and Guidelines.* International Standards Organization.

IVL Swedish Environmental Research Institute. (2017). *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries.* Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute.

Joint Research Centre (JRC). (2018). *Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility.* Joint Research Centre (JRC) - European Commission.

KPMG. (2018). *Global Automotive Executive Survey.* KPMG.

Messagie, M. (2014). *Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles.* European Federation for Transport and Environment AISBL.

Messagie, M. e. (2014). A range-based vehicle life cycle assessment incorporating variability in the environmental assessment of different vehicle technologies and fuels. *Energies 7.3*, 1467-1482.

Ministry for the Environment and Natural Resources. (10. September 2018). *Umhverfisráðuneytið.* Sótt frá Government Offices of Iceland: www.government.is

O'Donoughue, P. R., Heath, G. A., Dolan, S. L., & Vorum, M. (2014). Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Electricity Generated from Conventionally Produced Natural Gas. *Journal of Industrial Ecology*, 125-144.

Orkustofnun. (2014). *Energy Statistics*. Sótt frá Orkustofnun : https://orkustofnun.is/yfirflokkur/raforkutolfraedi/raforkutolfraedi-2014/raforkuvinnsla-eftir-uppruna-arid-2014?CacheRefresh=1

Statistics Iceland. (2016). *Iceland in Figures: 2016.* Reykjavik: Statistics Iceland.

Statistics Iceland. (2018). *Iceland in Figures: 2018.* Reykjavik: Statistics Iceland.

Tagliaferri, C. e. (2016). Life cycle assessment of future electric and hybrid vehicles: A cradle-to-grave systems engineering approach. *Chemical Engineering Research and Design 112*, 298-309.

The Environment Agency of Iceland. (2018). *National Inventory Report: Emissions of Greenhouse Gases in Iceland from 1990 to 2016.* Reykjavik: The Environment Agency of Iceland.

U.S. Energy Information Administration. (2018). *Monthly Energy Review.* Washington D.C.: U.S. Energy Information Administration.

U.S. Environmental Protection Agency. (2003). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)*. Sótt frá US EPA: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1001EX6.txt

U.S. Environmental Protection Agency. (2017. February 2017). *Understanding Global Warming Potentials*. Sótt frá U.S. Environmental Protection Agency website: https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials

Volvo Company. (2017). *Volvo Car Group Annual Report 2017.* Volvo Company.

Wanger, T. C. (2011). The Lithium future—resources, recycling, and the environment. *Conservation Letters*, 202-206.

Whitaker, M., Heath, G. A., O'Donoughue, P., & Vorum, M. (2012). Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Coal-Fired Electricity Generation. *Journal of Industrial Ecology*, S53-S72.

World Health Organization. (án dags.). *How air pollution is destroying our health*. Sótt frá World Health Organization site: https://www.who.int/air-pollution/news-and-events/how-air-pollution-is-destroying-our-health