



**Og hvað svo?**  
Rafhlöður rafbíla og endurvinnsla þeirra

Ísleifur Gissurarson



**Líf- og umhverfisvísindadeild  
Háskóli Íslands  
2019**



# **Og hvað svo?**

## Rafhlöður rafbíla og endurvinnsla þeirra

Ísleifur Gissurarson

10 eininga ritgerð sem er hluti af  
*Baccalaureus Scientiarum* gráðu í Landfræði

Leiðbeinandi  
Edda R.H. Waage

Líf- og umhverfisvísindadeild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Reykjavík, september 2019



Og hvað svo? Rafhlöður rafbíla og endurvinnsla þeirra  
Og hvað svo?  
10 eininga ritgerð sem er hluti af *Baccalaureus Scientiarum* gráðu í Landfræði

Höfundarréttur © 2019 Ísleifur Gissurarson  
Öll réttindi áskilin

Líf- og umhverfisvísindadeild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Sæmundargata 2  
101 Reykjavík

Sími: 525 4000

Skráningarupplýsingar:  
Ísleifur Gissurarson, 2019, *Og hvað svo?*, BS ritgerð, Líf- og umhverfisvísindadeild,  
Háskóli Íslands, 24 bls.

Prentun: Háskólaprent  
Reykjavík, september 2019



# Útdráttur

Miklar framfarir hafa orðið í framleiðslu rafbíla á undanförunum árum og hefur aukning á notkun rafbíla átt sér stað í öllum heimshlutum. Markmið þessarar ritgerðar var að kanna hvert ferli rafhlaðna rafbíla er eftir að þær eru orðnar ónothæfar. Þar að auki var ætlunin að skoða hvernig þetta ferli er hér á Íslandi og hvort gengið sé í takt við aðrar þjóðir í þessum efnum.

Eins og staðan er í dag eru framleiðendur bílanna ábyrgir fyrir því að rafhlöður þeirra séu endurunnar með réttum hætti. Hér á Íslandi er engin úrvinnsla rafhlaðna og því þarf að senda þær úr landi. Bílaumboðin eru ábyrg fyrir því að koma rafhlöðum úr sínum bifreiðum í réttan farveg erlendis. Hins vegar er ferlið fremur laust í reipunum ef rafbílar eru keyptir utan við umboðssöluaðila.

Mikilvægt er að halda áfram að rannsaka hvernig best sé staðið að úrvinnslumálum rafhlaðna og hvernig sé hagkvæmast að endurvinna þær. Eins og stendur erum við Íslendingar ekki samstíga öðrum þjóðum varðandi þessi mál. Hér á landi er þess vegna mikilvægt að mótuð sé skýr stefna um endurvinnslu rafhlaðna áður en orkuskipti í vegasamgöngum ná lengra fram að ganga.

## Abstract

Electric car batteries have in recent years been greatly improved technically and the electric car movement has occurred throughout the world. The purpose of this thesis was to explore the process of batteries after they have been deemed unfit to propel cars. The purpose was also to explore this process in the Icelandic automotive environment and to estimate whether the policy in Iceland is in line with other nations.

As is the case today, the manufacturers of cars are responsible for ensuring that their batteries are properly recycled. Here in Iceland there is no processing of batteries and therefore they have to be shipped abroad. The car dealers are responsible for this process. However the process is not as smooth when a electric car is bought without warranty from the registered dealer.

It is important to continue researching how best to address the recycling of electric-car batteries efficiently. Iceland is still behind other nations in these matters. It is therefor also important that a clear policy on battery recycling is formulated before electric cars become a even larger part of the transportation network.





# Efnisyfirlit

<b>Þakkir .....</b>	<b>ix</b>
<b>1 Inngangur .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Fræðilegur bakgrunnur .....</b>	<b>3</b>
2.1 Loftslagsmál .....	3
2.2 Alþjóðleg samvinna um loftslagsmál .....	4
2.3 Loftslagsmál á Íslandi .....	5
2.4 Hringrásarhagkerfið og rafbílar .....	6
2.5 Framþróun rafhlaðna rafbíla.....	7
2.6 Endurnotkun rafhlaðna .....	9
<b>3 Staðan á Íslandi.....</b>	<b>11</b>
3.1 Umhverfi rafbíla .....	11
3.2 Úrvinnslumál rafhlaðna .....	12
<b>4 Umræður.....</b>	<b>15</b>
<b>5 Lokaorð.....</b>	<b>19</b>
<b>Heimildir .....</b>	<b>21</b>



# Þakkir

Fyrst og fremst vil ég þakka leiðbeinanda mínum Eddu R.H. Waage fyrir góða leiðsögn og að vera alltaf innan handar í gegnum þetta verkefni. Einnig vil ég þakka Brynju Rán skólasystur minni og Írisi kærustu minni fyrir stuðninginn og hvatninguna í gegnum námið, sérstaklega á erfiðum tímum. Föður mínum Gissuri, vil ég þakka fyrir reglulegan yfirlestur og samræður um orðalag og málfar. Síðast en ekki síst þakka ég þó móður minni Arnheiði Gígju fyrir ómetanlegan stuðning og aðhald. Með hennar aðstoð gekk miklu betur að vinna þessa áhugaverðu rannsókn en ella.



# 1 Inngangur

Tækniframfarir og nýjungar á flestum sviðum mannlegrar tilveru eru lykil áhrifaþættir í nútímasamfélagi. Óhætt er að segja að bætтар samgöngur séu einn af mikilvægari þáttum framþróunar í heiminum. Skilvirkar samgöngur eru æðakerfi heimsins þar sem fólk og neysluvörur eru fluttar á milli landa og heimshluta svo að samfélögin geti vaxið og dafnað og lífskjör batnað. Eitt öflugasta samgöngutæki heimsins er bifreiðin. Bifreið með brunahreyfli hefur verið megingerð þessa tækis í rúm eitt hundrað ár og í raun þróast lítið miðað við tækniframfarir að öðru leyti (Encyclopaedia Britannica, á.á.). Segja má að bensínlaus bifreið hafi allt fram á síðustu ár verið talin næsta tilgangslaust verkfæri. Þetta er þó að breytast og hraðfara þróun í framleiðslu rafbíla og rafhlaðna fyrir þá er að varpa fram nýrri mynd af þessu mikilvæga samgöngutæki. Ekkert er þó sjálfgefið í þeim efnum.

Hugmyndin um bíllinn er síður en svo ný af nálinni en fyrstu heimildir um svokallaða sjálfrennireið má finna á 17. öld þegar gerðar voru tilraunir með gufuknúna vagna (Encyclopaedia Britannica, 1998). Sjálfur bíllinn kom þó ekki fram á sjónarsviðið fyrr en í byrjun síðustu aldar þegar Henry Ford stofnaði Ford Motor Company og hóf að fjöldaframleiða bíla af gerðinni Model T. Á árunum áður en Ford hóf sína framleiðslu höfðu komið fram önnur ökutæki með brunahreyfils vélum (e. internal combustion engine). Hins vegar gerði Ford sína framleiðslu aðgengilega fyrir almenning og þess vegna er Model T bíllinn af mörgum talinn mikilvægasti bíll okkar samtíma (Encyclopaedia Britannica, 2019).

Mikil vitundarvakning í umhverfis- og loftslagsmálum hefur orðið á undanförunum árum. Flestum samborgurum okkar ætti nú að vera orðið kunnugt um þær áskoranir sem mannkynið stendur frammi fyrir um að hafa hemil á hlýnun loftslags. Eitt af því sem farið hefur mikið fyrir í þeim málum er sú vegferð að skipta út orkugjöfum í vélknúnum tækjum (Verkefnisstjórn aðgerðaáætlunar í loftslagsmálum, 2018).

Áhyggjur fólks af umhverfisáhrifum vegasamgangna hafa orðið til þess að bílgreinaíðnaðurinn hefur á síðustu árum fíkrað sig í auknum mæli yfir í aðra orkugjafa en bruna á óendurnýjanlegu jarðefnaeldsneyti. Í flokki orkugjafa annarra en bensíns og díselólú eru rafmagnsknúnir bílar lang vinsælastir og er þó nokkur fjöldi þeirra þegar kominn í notkun. Árið 2017 voru um 3,1 milljón rafbíla á götum heimsins (European Environment Agency, 2018). Hér á Íslandi hefur sala rafbíla einnig aukist en á fyrri hluta ársins 2019 er hlutfall rafbíla af seldum fólksbílum um 6%. Þetta hlutfall var 3,8% árið 2018 og 1,2 % árið áður (Bílgreinasambandið, 2019).

Þrátt fyrir þessar umhverfisvænu breytingar sem eru í vændum á bílaflota almennt í heiminum hefur lítið borið á umfjöllun um þann enda rafbílavæðingarinnar sem snýr að því

Þegar líftími bíla rennur út; þ.e. umræðu um hvernig skuli farga eða endurvinna rafhlöðurnar úr bílunum. Rafhlöður rafbíla eru samsettar úr mörgum mismunandi og flóknum efnum sem gera það að verkum að hægt er að geyma orku á þeim. Hins vegar er vinnsla þessara efna óumhverfisvæn að miklu leyti og vandasamt er að farga þeim þar sem ákveðin efni eru sérstaklega hættuleg umhverfinu (Zheng, Zhu, Lin, Zhang, He, Hongbin og Sun, 2018).

Í þessu verkefni er sjónum beint að endurvinnslu og endurnýtingu rafhlaðna í rafbílum. Markmiðið er að komast að því hvað verður um rafhlöður sem taka þarf úr rafbílum og hvernig þær eru endurnýttar eða þeim fargað. Annars vegar verður fjallað um endurvinnslu rafhlaðna erlendis og hins vegar verður endurvinnsla rafhlaðna hér á Íslandi tekin til skoðunar. Að lokum verða veitt svör við rannsóknarspurningu verkefnisins sem er:

*\*Hver er farvegur rafhlaðna að lokinni notkun þeirra í rafbílum á Íslandi og erum við að ganga í takt við aðrar þjóðir á því sviði?*

Verkefnið er unnið sem heimildaritgerð þar sem leitað er fanga í fræðilegum vísindagreinum, lögum og reglugerðum er varða málefnið og almennri umræðu s.s. í fjölmiðlum. Einnig var leitað til sérfræðinga á sviði umhverfismála og rafbíla og til starfsmanna bílaumboða sem veittu upplýsingar til stuðnings við umfjöllun verkefnisins.

Ritgerðinni er skipt í fimm kafla og undirkafla þegar við á. Að loknum inngangi er fræðilegur kafli þar sem fjallað er um loftslagsmál í sögulegu samhengi. Þá verður fjallað um alþjóðlega samvinnu og þær framfarir sem orðið hafa á seinustu áratugum. Loftslagsmál hér á Íslandi verða einnig tekin til umfjöllunar og auk þess verður fjallað um hringrásarhagkerfið (e. circular economy) með tilliti til rafbíla og rafhlaðna þeirra. Farið verður yfir tæknilegar hliðar rafbíla og svo verður fjallað um þær leiðir sem farnar eru við endurvinnslu og endurnýtingu rafhlaðna í heiminum í dag. Í þriðja kafla verður dregin upp mynd af umhverfi rafbíla hér á Íslandi. Bílaumboð hérlendis verða tekin til umræðu og verður ferli þeirra við endurvinnslu rafhlaðna skoðað ásamt því að fjalla stuttlega um óleyst málefni tengd úrvinnslumálum hér á landi. Fjórði kafli er umræðukafli þar sem höfundur ræðir þær niðurstöður sem komu fram í umfjölluninni. Að lokum er svo ritgerðin dregin saman og mun höfundur álykta um umfjöllunarefnið og setja fram tillögur til úrbóta og frekari rannsókna á efninu.

## 2 Fræðilegur bakgrunnur

### 2.1 Loftslagsmál

Loftslagsbreytingar eru eitt stærsta vandamál samtímans sem kemur við alla íbúa jarðar. Mannkynið hefur á síðustu áratugum stóraukið áhrif sín á lífríki og umhverfi jarðar með þeim afleiðingum að nú er þörf á að ná tókum á þessum umhverfisáhrifum og minnka þau umtalsvert (Verkefnisstjórn aðgerðaáætlunar í loftslagsmálum, 2018). Þegar rætt er um loftslagsmál er í flestum tilvikum verið að ræða um gróðurhúsalofttegundir. Gróðurhúsalofttegundir eru í einföldum skilningi þær lofttegundir sem endurkasta varmageislun jarðar aftur til baka. Hæfilegt magn gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftinu ætti að viðhalda hitastigi jarðar á jöfnu stigi en ef magn þeirra í loftirýminu eykst þá endurspeglast meiri varmageislun til jarðar og hitastig andrúmsloftsins hækkar (Ruddiman, W.F., 2007). Þær gróðurhúsalofttegundir sem um ræðir eru ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), glaðloft ( $\text{N}_2\text{O}$ ), vetnisflúorkolefni (HFC), perflúorkolefni (PFC) og brennisteinshexaflúoríð ( $\text{SF}_6$ ) (United Nations, 2008). Lang stærsti hluti losunar gróðurhúsalofttegunda er hluti koldíoxíðs. Hér á landi eru hluti þess um 71%, svipað og í öðrum löndum (Brynhildur Davíðsdóttir, 2013). Frá árinu 1990 hefur losun koldíoxíðs á heimsvísu aukist um 60% til ársins 2014. Hér á Íslandi hefur heildarlosun gróðurhúsalofttegunda frá árinu 1990 aukist um 26% til ársins 2014 (Brynhildur Davíðsdóttir, 2013).

Meðal þess sem veldur loftslagsbreytingum á jörðinni er gríðarleg notkun jarðefnaeldsneytis. Við bruna á eldsneyti verða til efnategundir sem valda því að ósonlag jarðar þynnist og útfjólubláir geislar sólar verða áhrifameiri og sterkari. Við það hitnar loftslagið. Loftslagsbreytingar sem þessar hafa í för með sér að miklar breytingar verða á vistkerfi jarðarinnar. Jöklar bráðna, sjávarborð hækkar og veðurfar verður óstöðugra og stormasamara (Ruddiman, W.F., 2007). Þær aðgerðir sem meðal annars valda því að við brennum eldsneyti eru framleiðsla á vörum úr stórum verksmiðjum sem ganga fyrir raforku sem unnin er úr jarðefnaeldsneyti. Einnig eru samgöngur í lofti, láði og legi skaðlegar loftslaginu. Með tíð og tíma hefur þessi partur af mannlegu samfélagi orðið æ fyrirferðameiri með tilheyrandi ágangi á gæði jarðarinnar. Nú er hins vegar staðan sú að til þess að líf á jörðu geti þrífist áfram þarf að verða umtalsverður viðsnúningur á lífernri manna í von um að minnka skaðann sem tilvist okkar hefur á jörðina (United Nations, á.á). Átak í loftslagsmálum er augljóslega aðkallandi og hefur verið um langa hríð.

## 2.2 Alþjóðleg samvinna um loftslagsmál

Á allra síðustu árum hefur alþjóðleg samstaða um umhverfismál stórukist og farið hefur mikið fyrir sáttmálum og samningum milli þjóða. Alþjóðlegt samstarf í umhverfismálum hófst þó fyrir bráðum 50 árum en fyrstu drög að því samstarfi sem þekkt í dag komu fram á alþjóðlegri ráðstefnu Sameinuðu þjóðanna í Stokkhólmi árið 1972 (United Nations, 1973). Tilgangur þeirrar ráðstefnu var að mynda samstöðu um hvernig skuli skilgreina auðlindir jarðar og notkun þeirra. Ráðstefnan þótti á sínum tíma mikilvægt skref varðandi umhverfismál þrátt fyrir að markmið hennar myndu í dag ekki endilega teljast merkileg. Hún markaði hins vegar upphaf á alþjóðlegu samstarfi um umhverfismál (United Nations, 1973). Í kjölfar þessarar ráðstefnu jókst alþjóðlegt samstarf til muna og á níunda áratugnum fóru fram ráðstefnur, bæði í Vín og Helsinki sem fjölluðu um verndun ósonlagsins annars vegar (United Nations Environment Programme, 2012) og loftmengun milli landa hins vegar (United Nations Economic Commission for Europe, á.á.). Ráðstefnan í Vín var opin öllum þjóðum en 28 þjóðir skrifuðu undir samninginn á árunum 1985 og 1986. Í dag eru 198 ríki hluti af Vínarsamningnum og hafa með einum eða öðrum hætti skuldbundið sig til að draga úr notkun efna sem valda skaða á ósonlaginu (United Nations, 1985). Alþjóðlegt samstarf gagnvart loftslags- og umhverfismálum á þessu stigi er því eins og áður sagði einungis tæplega 50 ára gamalt.

Næsti stóri áfanginn í alþjóðlegu samstarfi um umhverfismál var í Rio de Janeiro árið 1992 þegar Loftslagssamningur Sameinuðu þjóðanna var undirritaður. Samningurinn miðaði að því að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda og gerir enn. Í dag eru 197 aðildarríki að þeim samningi og er Ísland eitt þeirra (United Nations, 1992). Eftirfylgni hefur verið á þessum samningi og árið 1997 var samþykkt bókun í Kyoto (betur þekkt sem Kyoto-bókunin) þar sem iðnvæddari ríki heimsins voru skuldbundin til að taka meiri ábyrgð á losun gróðurhúsalofttegunda (United Nations Climate Change, á.á.). Árið 2012 lauk fyrsta skuldbindingatímabili Kyoto-bókunarinnar en eftir það voru gerðar breytingar sem áttu að taka gildi árið 2013 og áttu þær að ná til ársins 2020 (United Nations, 2008). Þó varð breyting á þátttöku þjóða fyrir seinna tímabilið þar sem Frakkar, Kanadamenn, Rússar og Japanir neituðu að skrifa undir nýja samninginn. Þessar fjórar þjóðir töldu að þróunarlöndum væri gefinn of mikill afsláttur af markmiðunum um losun gróðurhúsalofttegunda (The Sydney Morning Herald, 2011). Eftir stóðu því Ástralir og Evrópuríkin að Frökkum undanskildum (United Nations, á.á.).

Það var svo árið 2015 á loftslagsráðstefnu Sameinuðu þjóðanna í París sem gerð var viðbót við loftslagssamning Sameinuðu þjóðanna sem fjallaði sérstaklega um minnkun á útblæstri kolefnis til framtíðar. Samstaðan um þann samning var gríðarlega mikil og svo fór að í apríl árið 2016 skrifuðu 175 þjóðir undir samninginn í höfuðstöðvum Sameinuðu þjóðanna í New York (United Nations, 2016). Samkomulagið sem gert var í París 2015 mun taka gildi eftir að Kyoto-bókuninni lýkur árið 2020. Tilgangur Parísarsamkomulagsins er að efla þátttöku og viðbrögð allra þjóða gagnvart þeirri ógn sem loftslagsbreytingarnar eru. Meginmarkmiðið er að jarðarbúar hjálpist að við að halda hlýnun meðalhitastigs jarðar undir 2°C. Gert er ráð



fyrir að aðildaríkin meti stöðu sína gagnvart markmiðinu á fimm ára fresti (United Nations, 2016).

Þessar alþjóðlegu samstarfsaðgerðir sýna glögglega að þjóðir heims hafa miklar áhyggjur af stöðu loftslagsmála. Mikilvægt er að skoða einnig hvernig þróun þessara mála hefur verið á Íslandi og hvort hún sé í takt við þær áherslur sem fram hafa komið í alþjóðasamfélaginu.

## 2.3 Loftslagsmál á Íslandi

Hér á Íslandi hefur áhugi fjölmiðla á umhverfismálum aukist til muna og fréttir tengdar þeim orðið daglegt brauð. Fólk hefur í auknum mæli áhyggjur af stöðunni þar sem fréttir birtast af bráðnandi jöklum, auknum öfgum í veðrakerfinu og hækkandi yfirborði sjávar (Loftslagsmálin vinsælt..., 2019, 18. janúar).

Þegar rætt er um framfarir í loftslagsmálum eru orkuskipti í vegasamgöngum áberandi. Í nýlega útgefinni *Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum* leggja stjórnvöld til dæmis megináherslu á orkuskipti í vegasamgöngum (Verkefnisstjórn aðgerðaáætlunar í loftslagsmálum, 2018). Ein af þeim jákvæðu tækniframförum sem átt hafa sér stað í tengslum við loftslagsvána er þróun og framleiðsla á rafbílum. Rafbílar hafa um margra ára skeið verið á almennum markaði en á allra síðustu árum hefur sala þeirra á heimsvísu aukist til muna. Má þar þakka aukinni meðvitund almennings um umhverfismál ásamt tækniframförum við framleiðslu bílanna. Þegar aðgerðaráætlunin var gefin út urðu ákveðin tímamót í umhverfismálum hér á landi. Áætlunin er sett fram til að undirstrika mikilvægi þess að taka loftslagsmálin fastari tökum. Markmiðið er að Ísland nái skuldbindingum sínum í Parísarsamkomulaginu með því að draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda. Settar eru fram 33 aðgerðir í skýrslunni sem eiga að sporna gegn útblæstri og vonast er til að hægt verði að draga úr heildarlosun gróðurhúsalofttegunda um 35% fyrir árið 2030 miðað við útblástur ársins 2005 (Verkefnisstjórn aðgerðaáætlunar í loftslagsmálum, 2018). Sem dæmi um markmið er varða orkuskiptin má nefna hækkun á kolefnisgjaldi og áframhaldandi ívilnanir fyrir loftslagsvána bíla og eldsneyti. Einnig kemur fram að stjórnvöld ætli sér að banna innflutning á nýskráðum bensín- eða dísilbílum eftir árið 2030 (Verkefnisstjórn aðgerðaáætlunar í loftslagsmálum, 2018).

Ljóst er að mikið verk er fyrir höndum enda er um að ræða mjög metnaðarfullt markmið og greinilegt er að stjórnvöld ætla sér stóra hluti á þessu sviði. Á Íslandi er búist við mikilli aukningu í sölu á rafbílum á næstu árum og áratugum. Orkustofnun birti árið 2018 *Sviðsmyndir um raforkunotkun á Íslandi til ársins 2050*. Því er spáð að árið 2030 verði hlutfall rafbíla og tengiltvinnbíla (bílar sem ganga fyrir tveimur aflagjöfum, sjá umfjöllun í næsta kafla) að minnsta kosti 31% af bílaflota landsmanna. Spáin setur upp nokkrar mismundandi forsendur og er í einu tilvikinu jafnvel gert ráð fyrir 43% hlutfalli. Enn fremur er því spáð að árið 2050 gæti hlutfall rafbíla og tengiltvinnbíla orðið allt að 90% af nýskráðum bílum (Orkustofnun, 2018). Það er því ljóst að búast má við gríðarlegri aukningu þessara tegunda bíla á næstu misserum.

## 2.4 Hringrásarhagkerfið og rafbílar

Á síðustu árum hefur umræðan um svokallað hringrásarhagkerfi orðið áberandi. Kenningin um hringrásarhagkerfið kom fyrst fram á sjónarsviðið á sjöunda áratug síðustu aldar þegar hagfræðingurinn Kenneth Boulding setti fram hugmyndir um „lokað hagkerfi“ þar sem auðlindir til framleiðslu á vörum og úrvinnsla þeirra að lokinni notkun væru í raun tengdar saman. Þessi framsetning gagnrýndi þar með það „opna hagkerfi“ sem einkennir mannlegt samfélag í dag þar sem hugmyndin er að hægt sé að ganga nær endalaust á auðlindir jarðar (Geissdoerfer, Savaget, Bocken og Hultink, 2016).

Í nokkuð einfaldri mynd er hringrásarhagkerfið hugmynd um hagkerfi sem skilur ekki eftir sig neinn úrgang sem slíkan og efni er nýtt aftur og aftur í einu eða öðru formi. Lítið kemur inn og lítið fer út og í raun má líkja kerfinu við hringrás náttúrunnar (RÚV, á.á.). Eins og komið hefur fram hefur hugmyndin um hringrásarhagkerfið verið á reiki um áratuga skeið en hefur hins vegar hlotið meiri hljómgrunn á seinustu árum í tengslum við loftslags- og umhverfismál (RÚV, á.á.).

Á tíunda áratug seinustu aldar hófu Þjóðverjar að móta áherslur út frá hugmyndum hringrásarhagkerfisins sem hafa svo ratað inn í Evrópusambandið og stefnuskrá þess. Árið 2015 opinberaði sambandið fjögur lagafrumvörp um úrgangs- og úrvinnslumál. Þar kemur fram að hugmyndin sé að þróa evrópskt hagkerfi í þá átt að verðmæti auðlinda, hráefna og vara haldist lengur inni í hagkerfinu og að úrgangur verði sem minnstur (Geerken, Schmidt, Boonen, Christis og Merciai, 2019). Í byrjun árs 2019 lauk framkvæmdastjórn Evrópusambandsins svo við aðgerðaráætlun um hringrásarhagkerfi. Þar eru settar fram 54 aðgerðir sem eiga að samræmast þeirri hugmyndafræði með einum eða öðrum hætti. Aðgerðirnar einblína mikið á endurvinnslu, sérstaklega á plasti en einnig öðrum úrgangi. Vinnan við gerð þessarar áætlunar tók þrjú ár og eru markmið sett fram með mis-langan tímaramma en þó allt að árinu 2030 (European Commission, 2019). Hugmyndin um hringrásarhagkerfi á því nokkuð margt sameiginlegt með hugmyndum um endurnotkun og endurvinnslu rafhlaðna þar sem verið er að lágmarka úrgang framleiðslunnar og á sama tíma hámarka nýtingarmöguleika rafhlaðna svo að sem minnst fari til spillis. Greinilegt er að umhverfissvæn þróun er ekki einungis að verða í tækniheiminum heldur er hún einnig farin að eiga sér stað út frá hagfræðilegu sjónarhorni.

Notkun einkabíla á Íslandi er óvenjumikil og almenningssamgöngur hafa ekki náð sömu vinsældum og í flestum samanburðarlöndum. Hlutfall einkabíla hér á landi er næst hæst í heiminum en einungis Bandaríkin skáka Íslandi í þeim efnum (Kevin Dillman og Dagný Hauksdóttir, 2019). Árið 2016 var hlutfallið 617,2 bílar á hverja 1000 íbúa á Íslandi og tölur ársins 2018 sýna að þetta hlutfall hefur hækkað enn frekar eða upp í 717 bíla á hverja 1000 íbúa (Kevin Dillman og Dagný Hauksdóttir, 2019). Heildarfjöldi fólksbíla hér á landi var um 227 þúsund árið 2018 og þar af voru rafbílar og tengil-tvinnbílar rúmlega sjö þúsund talsins (Pétur Hreinsson, 2018). Það gefur augaleið að þessi hluti hins dagslega lífs hjá Íslendingum getur verið talsvert umhverfissvænni ef orkuskipti næðu fram að ganga (Kevin Dillman og Dagný Hauksdóttir, 2019).

Við Íslendingar búum við talsvert krefjandi aðstæður hvað varðar veðurfar og náttúru. Vetur eru langir og oft á tíðum stormasamir og því hefur einkabíllinn orðið að nánast ómissandi hluti í lífi flestra landsmanna. Tölurnar hér að framan staðfesta þessa þörf. Stórar, strjálbýlar og fámennar sveitir landsins hafa ekki gefið færi á reglubundnum og áreiðanlegum almenningssamgöngum og einkabíllinn því verið eina lausnin í tryggum samgöngum þess hóps er þar búa. Vissulega eru lang flestir íbúar landsins búsettir á suðvesturhorninu en Íslendingar allir eru ákaflega háðir veðri í öllu sínu daglega lífi.

Þegar fjallað er um rafbíla er yfirleitt um tvær gerðir bíla að ræða. Venjulegir rafbílar eru bílar sem ganga eingöngu fyrir því rafmagni sem geymist í rafhlöðum bílsins. Bíllinn er svo hlaðinn þegar hann er tómur (eða ekki í notkun) eins og þekkt með önnur raftæki eins og til dæmis síma eða fartölvur. Drægni þessara bíla getur verið mjög breytileg eftir bílgerðum og framleiðendum. Enn fremur getur, aksturslag eða aðrar aðstæður haft áhrif á drægni bílanna. Rafbílar búa ekki yfir jafn flóknum vélbúnaði og eldsneytisknúrnir bílar og þar er stærsti munurinn sá að ekki er þörf á gírkassa og kúplingu í rafbílum. Af því leiðir að rafbílar eru snarpari og mýkri í akstri en eldsneytisknúrnir bílar (Un-Noor, Padmanaban, Mihet-Popa, Mollah og Hossain, 2017). Einnig er útblástur frá rafbílum enginn og því eru þeir miklu umhverfisvænni í akstri (Un-Noor, Padmanaban, Mihet-Popa, Mollah og Hossain, 2017).

## 2.5 Framþróun rafhlaðna rafbíla

Lithium-ion hleðslurafhlöður eins og þær sem notaðar eru í rafbílum hafa þann efnafræðilega eiginleika að þær missa getuna til að geyma orku með tímanum. Hringrásin sem verður við það að nýta orkuna frá rafhlöðu og hlaða hana upp á nýtt verður til þess að rafhlaðan tapar virkni og með tíð og tíma dregur af geymsluplássinu. Þegar rafhlaða hefur tapað um 20% af geymsluvirkni sinni, er hún ekki lengur talin hæf til að knýja áfram bifreið þar sem þessi rýrnun hefur áhrif á virkni bílsins þ.e. hröðun og drægni (Pagliaro og Meneguzzo, 2019). Flestar rafhlöður eiga að nýtast allt að 200.000 til 250.000 km áður en þær eru búnar að missa of mikla virkni (Gao, Jiang, Zhang, Zhang, Ma og Jiang, 2017). Þess má geta að þessi skekkjumörk eru fremur mikil þar sem hraðhleðsla hefur neikvæð áhrif á virkni rafhlaðna til lengri tíma þar sem hærri straumur (>50 kw) hefur eyðandi áhrif á geymslumöguleikana (Hawkins, Singh, Majeau-Bettez og Strømman, 2012).

Helsta vandamálið sem framleiðendur rafbíla hafa staðið frammi fyrir er að drægni þeirra hefur verið mun styttri en ef miðað er við einn tank af jarðefnaeldsneyti á venjulegum bílum. Lítil drægni rafbíla gæti orsakað tortryggni viðskiptavina og fælt þá frá kaupum á rafbíl frekar en venjulegum bíl. Þessi þróun er þó sífellt að mjakast í rétta átt og bráðlega verða komnir bílar á markað sem munu standast sömu kröfur og fólk gerir almennt til bíla í dag (Cheng og Delang, 2012).

Önnur gerð rafbíla sem jafnan er sett í sama flokk eru svokallaðir tengiltvinnbílar (e. Plug-in hybrid vehicle). Tengiltvinnbílar eru bílar sem ganga í raun fyrir tveimur mismunandi aflgjöfum. Annars vegar eldsneyti og hins vegar rafmagni. Bílarnir geta notað báða aflgjafa

til að knýja bílinn áfram en einnig er hægt að nota þá í sitt hvoru lagi (Un-Noor, Padmanaban, Mihet-Popa, Mollah og Hossain, 2017). Rafhlöður tengiltvinnbíla eru alla jafna mun minni en í rafbílum og því er drægnin á rafmagninu einu og sér mun minni. Hins vegar eru þessir bílar mun sparneytnari á jarðefnaeldsneyti en venjulegir bílar (Un-Noor, Padmanaban, Mihet-Popa, Mollah og Hossain, 2017).

Rafhlöður eru samsettar úr margvíslegum efnum sem vinna þarf úr jörðu. Kóbalt, lithium, kopar og nikkell eru allt efni sem nauðsynleg eru til að framleiða rafhlöður í rafbíla, og raunar flestar rafhlöður yfir höfuð. Þessi efni eru málmar og frumefni og þau þarf að vinna úr jörðu nokkurn veginn með sama hætti og námugróftur eftir kolum. Þrátt fyrir að þessir málmar séu í raun nauðsynlegir fyrir orkuskipti í samgöngum þá geta þau líka verið mengandi fyrir umhverfið. Efni sem þessi geta verið skaðleg fyrir dýralíf og náttúru og því er óaskilegt ef slíkum efnum yrði sleppt út í vistkerfið eftir notkun (Huang, Pan, Su og Liang, 2018).

Bæði raf- og tengiltvinnbílar ganga lang flestir fyrir lithium-ion rafhlöðum. Þessar rafhlöður eru lykilhluti af bílunum sjálfum enda forsenda þess að bíllinn færast á milli staða. Lithium-ion rafhlöður eru sérstaklega ákjósanlegar af tæknilegum ástæðum. Þéttleikinn og orkugeymslan gera það að verkum að auðvelt er að koma þeim fyrir í bílum og nýta til orkuframleiðslu. Endingartími rafhlaðna er um fimm til átta ár í rafknúnum bílum. Víst er þó að tækniframfarir munu bæta þennan tíma enn frekar í framtíðinni (Zheng, Zhu, Lin, Zhang, He, Hongbin og Sun, 2018). Þau hættulegu efni sem rafhlöðurnar eru gerðar úr þarf að endurvinnna með einhverjum hætti eftir að bíllinn hættir að ganga. Ýmsar aðferðir eru nú þegar nothæfar til að farga, endurnýta eða endurvinnna rafhlöður úr rafbílum en þar sem hráefnið getur verið varasamt til úrvinnslu er mikilvægt að fara rétt að (Scharf, Scharf og Natkunarajah, 2015).

Aukning í sölu á rafbílum og aukin meðvitund almennings um jákvæð umhverfisáhrif rafbíla hefur orðið til þess að eftirspurn eftir málum til framleiðslu á rafhlöðum hefur margfaldast á stuttum tíma. Frá árinu 2016 til ársins 2018 þrefaldaðist verð á lithium og verð á kóbalti fjórfaldaðist (Paglario og Meneguzzo, 2019). Aðrir málmar eins og kopar, grafit og nikkell hafa einnig hækkað í verði og nú er svo komið að viðskipti með þessar vörur eru orðin mun arðbærari en áður. Aukið verðmæti málma sem þessara verður til þess að viðskiptaumhverfi rafbílaframleiðslunnar breytist. Á stuttum tíma hafa fjárfestingar til endurvinnslu og endurnýtingar rafhlaðna aukist. Áður fyrr var rafhlöðum, sem m.a. voru notaðar í farsímum og fartölvum staflað upp í þar til gerðum geymslum sem gátu valdið miklum eldsvoðum af völdum hitabreytinga og rafleiðni (Paglario og Meneguzzo, 2019). Þær aðferðir sem nú eru að ryðja sér til rúms einblína fyrst og fremst á að endurheimta málma úr notuðum rafhlöðum sem hægt er að koma aftur í notkun við framleiðslu á nýjum rafhlöðum. Þetta ferli er talsvert umhverfisvænna og nú arðbærara en áður hefur þekkt (Paglario og Meneguzzo, 2019). Hins vegar er nauðsynlegt að rannsaka frekari úrvinnslu með áherslu á að nýta alla hluta rafhlöðunnar (Zheng, Zhu, Lin, Zhang, He, Hongbin og Sun, 2018).

Innan ríkja Evrópusambandsins var einungis um 5% af öllum rafhlöðum rafbíla komið í endurvinnslu árið 2017. Hingað til hafa menn haft áhyggjur af því að rafhlöður úr rafbílum

endi í sama hring og önnur raftæki og verði jafnvel fargað með því að grafa þau í jörðu. Reglugerðir Evrópusambandsins gera hins vegar ráð fyrir því að bílaframleiðendur séu að hluta til gerðir ábyrgir fyrir því að rafhlöður séu endurnýttar á réttan hátt. Með því þurfa framleiðendur að kosta aðgerðir við að hirða um og vinna úr rafhlöðunum í samvinnu við sorpvinnslufélög (Gardiner, 2017). Það er ljóst að þessi endurvinnsla rafhlaðna getur enn náð talsverðri framþróun. Þessi hluti rafbílavæðingar er greinilega ekki kominn jafn langt og sá hluti er snýr að framleiðslu þeirra.

## 2.6 Endurnotkun rafhlaðna

Á allra seinustu árum hefur orðið áhugaverð breyting á landslagi rafhlöðumarkaðarins í heiminum. Nú þegar eftirspurn eftir rafbílum hefur margfaldast á stuttum tíma hafa í æ ríkari mæli komið fram hugmyndir um hvernig megi halda áfram að nota þær rafhlöður sem ekki lengur þjóna tilgangi sínum til að knýja áfram bifreiðar. Eins og komið hefur fram eru rafhlöðurnar ekki lengur taldar hæfar í rafbíla þegar um 20% af virkni þeirra hefur rýrnað (Paglario og Meneguzzo, 2019). Hins vegar er meirihluti rafhlöðunnar enn í góðu og nothæfu lagi og því er ekki endilega nauðsynlegt að fara strax með hana í förgun eða endurvinnslu. Í auknum mæli hafa komið fram aðferðir þar sem rafhlöður eru nýttar sem orkugjafar, ýmist sem varahleðslur eða til að styðja við rafmagnskerfi á stöðum þar sem rafmagnsnotkun er mikil. Rafhlöður sem eru kyrrsettar (fremur en þær sem eru á sífelldri hreyfingu í bílum) ganga fyrir spennulægri hleðslu og geta því dugað lengur í þeim aðstæðum (Paglario og Meneguzzo, 2019).

Ein leið til að nýta áfram rafhlöður úr rafbílum sem vakið hefur mikla athygli er að finna í Amsterdam á knattspyrnuvellið „Johann Cryuff Arena“. Þar eru rafhlöður úr rafbílum m.a. nýttar til að standa undir þeirri miklu orkuþörf sem myndast þegar viðburðir standa yfir til að knýja áfram lýsingu, útsendingar, upplýsingatækni og allt sem við kemur mjög fjölmennum íþróttaviðburðum. Rafhlöðurnar eru alls 590 talsins og þar af koma 250 þeirra sem notaðar eru úr rafbílum (Paglario og Meneguzzo, 2019).

Fleiri dæmi um endurnotkun rafhlaðna af þessu tagi meðal annars í Þýskalandi en þar hefur bílaframleiðandinn BMW í samstarfi við orkufyrirtækið Vattenfall hafið tilraunir til að endurvinnna rafhlöður úr rafbílum sínum með því að koma þeim í notkun sem varahleðslubanka inni á raforkuneti orkufyrirtækisins. Verkefnið miðar að því að prófa rýmd rafhlaðna sem hafa verið notaðar áður. Annars vegar var hugmyndin að nýta rafhlöðurnar fyrir hleðslustöðvar fyrir bíla og hins vegar sem geymslustöð fyrir sólar-raforku (Scharf, Scharf og Natkunarajah, 2015). Þá hefur japanski bílaframleiðandinn Nissan gert samninga við evrópsk orkufyrirtæki um notkun á rafhlöðum úr sínum rafbílum eftir að notkun þeirra lýkur í bílunum. Orkufyrirtækin sjá fyrir sér að geta notað rafhlöðurnar áfram til að veita vara-hleðslu sérstaklega þar sem raforkuframleiðsla er sveiflukennnd vegna veðurs (Scharf, Scharf og Natkunarajah, 2015). Er þá átt við framleiðslu með vind- eða sólarorku.

Enn eitt dæmi um endurnýtingu rafhlaðna kemur frá stórfyrirtækinu Umicore. Umicore er leiðandi risi í sorp-og endurvinnslumálum en fyrirtækið gerði nýlega samninga við bílaframleiðendurna Tesla og Toyota um að endurvinna rafhlöður úr þeirra bílum. Endurvinnslustöð þeirra er í Antwerpen í Belgíu (Scharf, Scharf og Natkunarajah, 2015).

Í Kína eru einnig farin af stað mjög stór verkefni til að nota áfram rafhlöður sem búið er að fjarlægja úr bifreiðum. Eitt þeirra er að rafhlöður úr rafbílum taki við sem varahleðsla fyrir útvarpsþenda þar á landi (Jiao, 2018). Fyrirtækið sem tók þessa stefnu á og rekur allt að tvær milljónir senda um landið og hyggst nýta notaðar rafhlöður sem vararafhleðslur við þær allar (Jiao, 2018). Verkefni eins og þetta getur nýtt rafhlöður úr gríðarlegum fjölda bifreiða og ljóst er að eftirspurn eftir notuðum rafhlöðum úr bílum er að aukast hratt um þessar mundir. Í rannsókn frá árinu 2017 er sett fram spá um að árið 2025 verði allt að 75% af rafhlöðum úr rafbílum nýttar áfram sem slíkar um nokkura ára skeið áður en þeim er komið í ferli þar sem þær eru að lokum endurunnar og vera að nýjum rafhlöðum (Melin, 2017).

Að framansögðu er því ljóst að algengasta leiðin til að endurnýta rafhlöðurnar er að nota þær áfram í öðru hlutverki. En þrátt fyrir að til séu ýmsar hugmyndir og aðgerðir við að endurvinna rafhlöður úr rafbílum þá virðist ekki enn vera komin fram á sjónarsviðið aðferð eða ferli sem nær utan um alla hluta rafhlöðunnar. Mikilvægt er að skoða hvernig staðan er hér á landi varðandi förgun og eða endurnýtingu rafhlaðna rafbíla.

## 3 Staðan á Íslandi

### 3.1 Umhverfi rafbíla

Hér á Íslandi eins og víða annars staðar í heiminum hefur verið greitt fyrir kaupum og innflutningi rafbíla með margvíslegum hætti. Í gildi er hér á landi reglugerð um sérstaka niðurfellingu á aðflutningsgjöldum og virðisaukaskatti við innflutning rafbíla í þeim tilgangi að gera þá ódýrari og aðgengilegri fyrir stærri kaupendahóp (Félag íslenskra bifreiðaeigenda, á.á.). Þar að auki eru bifreiðagjöld lægri þar sem þau eru m.a. reiknuð eftir losun koltvísýrings bifreiðar út í andrúmsloftið (Ríkisskattstjóri, á.á.). Úrvinnslugjald bifreiða er einnig jafn hátt og á venjulegum bílum eða 700 krónur á ári (Lög um úrvinnslugjald nr. 162/2002). Úrvinnslugjaldi er ráðstafað af Úrvinnslusjóði sem er ríkisstofnun sem tilheyrir umhverfis- og auðlindaráðuneyti. Úrvinnslugjald er lagt á vörur sem fluttar eru inn til landsins, stórar sem smáar og þarf að farga hér á landi á endanum. Úrvinnslusjóður sér um að skapa hagkvæm skilyrði til að vinna úr úrgangi hér á landi og semur þar að auki við aðila sem sjá svo um starfsemi tengdri úrgangi. Í þeim tilvikum þar sem úrgangur af umræddri vöru fer úr landi, skal Úrvinnslusjóður leitast við að endurgreiða úrvinnslugjaldið þar sem þörfin fyrir því að vinna úr úrganginum skapaðist í raun ekki (Úrvinnslusjóður, á.á.).

Allar fullnýttar rafhlöður rafbíla hér á Íslandi eru sendar úr landi. Enn sem komið er engin vinnsla við að taka í sundur rafhlöður til endurnýtingar. Bílaumboðin sjálf eru ábyrg fyrir því að rafhlöður bílanna sem þau flytja inn komist í réttar hendur og séu meðhöndlaðar á réttan hátt áður en þær eru sendar úr landi (Daði Jóhannsson framkvæmdastjóri Hringrásar hf., tölvupóstur, 4. ágúst 2019). Umboðin hafa sett upp sérstaka aðstöðu til að vinna í kringum rafhlöðurnar þegar til þess kemur og eru starfsmenn sérstaklega sendir erlendis til að læra slíka meðhöndlun. Íslensk lög kveða ekki á um þessa verkferla heldur hafa umboðin í raun átt frumkvæðið í samvinnu við framleiðendur rafbílanna erlendis. Þar að auki hafa bílaumboð eins og BL átt frumkvæði að því að bjóða starfsfólki á vegum ríkisins á ýmsar kynningar og fræðslufundi þar sem farið er í gegnum þau atriði sem hafa þarf í huga við meðhöndlun á rafhlöðum (Trausti Björn Ríkharðsson, þjónustustjóri BL ehf., munnleg heimild, 29. ágúst 2019).

Sala rafbíla fór hægt af stað fyrstu árin eftir að þeir komu á markað hér á landi en hún hefur aukist hratt ár frá ári síðustu ár (Trausti Björn Ríkharðsson, þjónustustjóri BL ehf., munnleg heimild, 29. ágúst 2019). Þrátt fyrir það hefur regluverk þeirra ekki tekið neinum breytingum gagnvart neytendum eða umboðsaðilum. Til dæmis er úrvinnslugjald á rafbíla enn það sama og á eldsneytisbílum þrátt fyrir að úrvinnsla rafbíla sé mun dýrara ferli (Kristmann F. Dagsson, sölustjóri flotasölu hjá Öskju ehf., símtal 30 ágúst 2019). Vorið 2019 var stofnaður starfshópur á vegum umhverfis- og auðlindaráðuneytisins þar sem markmiðið er að kanna

stöðuna og regluverk um úrvinnslu rafbíla hér á landi. Viðmælandi þessa verkefnis frá Öskju bílaumboði sat fyrsta fund þessarar nefndar og hafði orð á því að hans tilfinning hefði verið sú að sérfræðingar ríkisins hefðu litlar hugmyndir um hvernig best væri að móta ramma um rafbíla og úrvinnslu þeirra. Vonast er til að þessi nefnd muni skila af sér einhverjum ályktunum í lok árs 2019 en boltinn er nú hjá umhverfis- og auðlindaráðuneytinu sem tekur málið áfram (Kristmann F. Dagsson, sölustjóri flotasölu hjá Öskju ehf., símtal 30 ágúst 2019).

Toyota er eitt þeirra fyrirtækja hér á landi sem þarf að bera ábyrgð á því að rafhlöður úr þeirra bílum séu sendar með öruggum hætti frá Íslandi til endurvinnslu erlendis. Þrátt fyrir að Toyota selji ekki bíla sem ganga eingöngu fyrir rafmagni, heldur tengiltvinnbíla, er eftir sem áður þörf á að meðhöndla rafhlöðurnar með réttum hætti. Ef þörf er á að skipta um rafhlöður í bílunum sér starfsfólk Toyota um að taka rafhlöðurnar úr bílunum, pakka þeim á réttan hátt og senda þær úr landi. Það er svo Toyota í Evrópu sem ber ábyrgð á endurvinnsluferlinu. Viðskiptavinur Toyota hér á landi greiðir ekki sérstaklega fyrir þetta ferli, þar sem það er hluti af skilgreindri þjónustu fyrirtækisins (Björgvin Njáll Ingólfsson, framkvæmdastjóri þjónustusviðs Toyota, tölvupóstur, 30. júlí 2019).

Toyota í Evrópu er í samstarfi við tvö stór endurvinnslufyrirtæki sem sjá um að vinna úr rafhlöðum úr þeirra bílum. Hér að framan var sagt frá fyrirtækinu Umicore sem er meðal annars með endurvinnslustöð í Antwerpen í Belgíu. Umicore sérhæfir sig í því að endurvinna lithíum rafhlöður sem aðallega eru notaðar í Prius-bílum Toyota (Toyota Europe, á.á.). Þar að auki er franska fyrirtækið SNAM með sérhæfða endurvinnslu á rafhlöðum Toyota-bifreiða en þeirra vinna felst aðallega í að endurvinna rafhlöður úr tengiltvinnbílum Toyota (Toyota Europe, á.á.). Toyota hefur gefið út að fyrirtækið sé að ná að endurheimta allt að 90% af þeim rafhlöðum sem fjarlægja þarf úr bifreiðum þeirra og geti því staðið við að stærstur hluti rafhlaðna þeirra sé enduruninn eða endurnýttur með ábyrgum hætti (Toyota Europe, á.á.).

Ef skoðaðar eru tölur um fjölda bifreiða kemur í ljós að í lok árs 2018 voru 222.729 fólksbílar í umferð hér á landi. Þar af eru hreinorkubílar (bílar sem ekki ganga fyrir bensíni eða dísel) rétt tæplega fjögur prósent af þeim fjölda og hreinir rafbílar einungis rúmlega eitt prósent (Samgöngustofa á.á.). Þrátt fyrir að mikið beri á umfjöllun og markaðssetningu rafbíla eru þeir þó enn mjög lítill hluti heildarinnar. (Guðlaugur Sverrisson, rekstrarstjóri Úrvinnslusjóðs, símtal, 27. júlí 2019).

## 3.2 Úrvinnslumál rafhlaðna

Eins og fram hefur komið er ferli rafhlaðna á Íslandi nokkuð einfalt eins og er. Þau fyrirtæki sem hafa umboð frá ákveðnum bílaframleiðendum njóta þess einfaldlega að vera partur af stærri heild sem heldur utan um úrvinnsluferli fyrir rafbíla og rafhlöður sem þarf að farga, eða endurvinna með einhverjum hætti og geta sent þau úr landi.



Það eru þó ekki allir innflytjendur með sérstakt umboð frá framleiðendum bílanna og flytja þá inn án þess að fara í gegnum bílaumboðin hér á landi. Slíkur innflutningur er ekki ólöglegur og geta bílar í sumum tilfellum reynst ódýrari þegar þeir eru keyptir með þessum hætti. Sá hængur er hins vegar á að ef til þess kæmi að skipta þyrfti út rafhlöðum í rafbílum sem keyptir eru undir slíkum formerkjum, gilda ekki endilega sömu reglur um frágang og endurvinnslu eins og hjá þeim sem hafa umboð fyrir ákveðnum tegundum bíla. Er hér átt við bíla sem fluttir eru inn í gegnum Bandaríkin en ekki frá Evrópu (Guðlaugur Sverrisson, rekstrarstjóri Úrvinnslusjóðs, símtal, 27. júlí 2019). Hér á landi er eins og áður segir engin endurvinnsla sem tekur á móti og vinnur úr rafhlöðum sem þessum og því þarf eigandi bílsins, að koma rafhlöðunum úr landi og í réttan farveg. Slíkt ferli getur kostað 100.000 - 150.000 krónur og myndi það falla á síðasta eiganda bílsins að sjá um og greiða fyrir þetta ferli (Guðlaugur Sverrisson, rekstrarstjóri Úrvinnslusjóðs, símtal, 27. júlí 2019).

Þrátt fyrir að sala rafbíla hafi aukist ár frá ári eru dæmi um að fólk lenti í vandræðum vegna úrvinnslu rafhlaðna ekki mörg. Við gagnaöflun þessa verkefnis kom upp umræða um eitt tiltekið dæmi þar sem eigendur rafbíls voru illa settir. Í því atviki lenti bíll í tjóni og rafhlaða hans skemmdist. Eigendurnir fengu bílinn greiddan út úr tryggingum en fengu svo sendan bakreikning frá tryggingafélaginu fyrir rúmlega milljón króna vegna úrvinnslu og útflutnings rafhlöðunnar. Í því tilviki kom hins vegar bílaumboðið til móts við eigendurna þrátt fyrir að ekkert í lögum hérlendis hafi skyldað þá til þess (Kristmann F. Dagsson, sölustjóri flotasölu hjá Öskju ehf., símtal 30 ágúst 2019).

Það er nokkuð ljóst að ekki er búið að ná utan um alla enda þessa ferlis hér á Íslandi og getur það reynst neytendum þungt ef þeir þurfa að bera mikinn kostnað af því ferli, komi til þess. Að mati fyrirtækja í geiranum væri eðlilegast að úrvinnslugjald rafbíla væri hækkað og myndi því koma í veg fyrir að neytendur eða fyrirtæki standi uppi með háan reikning ef vinna þarf rafhlöður með þeim hætti sem komið hefur fram hér að framan. Einnig er talið að úrvinnsla rafhlaðna ætti að fara fram að fullu hér á landi sérstaklega í ljósi þess að flutningur á rafhlöðu úr landi þarf að vera með slíkum hætti að hann verður að endingu rándýr. Fyrirhöfnin og forvinnan er svo mikil og jafnvel eru dæmi um að rafhlöður dagi uppi hér á landi þar sem kostnaðurinn við útflutning er svo hár (Trausti Björn Ríkharðsson, þjónustustjóri BL ehf., munnleg heimild, 29. ágúst 2019). Út frá umfjölluninni um hringrásarhagkerfið er ljóst að hér á landi er ekkert sem bendir til þess að slík hugsun sé á bak við rafbílamarkaðinn. Þrátt fyrir að hugmyndin um rafbílinn sé vissulega umhverfisvæn þá er ferli bílanna enn línulegt að því leyti að ekki er enn ljóst hvernig eigi að vinna úr stöðunni sem kemur upp þegar rafhlöður bílanna eru ekki lengur nothæfar sem slíkar.



## 4 Umræður

Tilgangur þessa verkefnis var að skoða hvað verður um rafhlöður eftir að þær hafa lokið hlutverki sínu sem orkugjafar fyrir rafbíla. Að auki var markmiðið að skoða hvernig ferlið er hér á Íslandi og hverjir séu ábyrgir fyrir förgun eða endurvinnslu á rafhlöðum úr rafbílum. Að lokum var svo ætlunin að kanna hvort Ísland sé samstíga öðrum þjóðum varðandi þessi mál.

Athyglisvert er að sjá hversu mikil þróun virðist vera í þá áttina að færa rafhlöðum nýtt hlutverk í óbreyttri mynd eftir að þær hafa verið teknar úr rafbílum. Dæmin frá Hollandi og Þýskalandi gefa góðar vísbendingar um hvaða þróun sé í vændum og augljóst er að tækniþróun virðist hafa mikil áhrif á gæði og endingu rafhlaðna (Scharf, Scharf og Natkunarajah, 2015). Enn fremur eru Kínverjar á leið í miklar fjárfestingar þar sem einblínt er á að nota rafhlöður áfram í óbreyttri mynd áður en þörf er á að taka þær í sundur (Pagliaro og Meneguzzo, 2019). Ætla má að þessir aðilar sjái hag sinn í því að nýta rafhlöðurnar áfram án svo mikillar fyrirhafnar fyrst um sinn á meðan rafhlöðurnar eru enn í góðu ásigkomulagi. Það kann að vera ódýrara og þá einnig arðbærara að stunda þessi viðskipti áður en farið er út í að taka rafhlöðurnar í sundur til að sækja verðmætin sem þar er að finna. Hagnaðarsjónarmið ráða þar fyrst og fremst för.

Þessar aðferðir við endurnotkun rafhlaðna talast á við kenninguna um hringrásarhagkerfið (e. circular economy). Með hringrásarhugsuninni er átt við að reynt er eftir fremsta megni að nýta rafhlöðurnar til hins ítrasta áður en þörf er á að taka þær í sundur. Þannig sé verið að ýta undir nýtingarhlutfall vörunnar (rafhlöðunnar) svo að það vegi stærri sess á mótí framleiðslunni og er því á endanum umhverfisvænna. Þessi hugmynd um að framleiða vöru sem endist í lengri tíma og getur nýst á nokkrum stigum líftíma síns er að verða meira áberandi í nútímasamfélagi þar sem sífellt er hugsað út í afleiðingar framleiðslunnar með tilliti til úrgangs og mengunnar (Rúv, á.á.).

Að mati höfundar eru framangreindar aðferðir mjög jákvæðar og munu án efa lita framtíðarhugsun viðskipta að einhverju leyti. Rafbílar eru auðvitað á einn eða annan hátt tákn nýrra tíma og því eru viðskiptahugmyndir í tengslum við þá ef til vill framsæknari en gengur og gerist. Þróun í þessa átt ætti einnig að teljast sérstaklega jákvæð fyrir lönd í Evrópu og víðar í heiminum þar sem aðgengi að náttúruauðlindum og grænni orku er takmarkað eða sveiflukennt. Nýting rafhlaðna sem varahleðslur eða orkugjafar á ýmsum stöðum getur orðið liður í því að tryggja bætt orkuöryggi víða. Þetta getur meðal annars nýst þar sem raforkuframleiðsla er fengin með sólar- eða vindorku, sem er ekki að öllu leyti áreiðanleg.

Komið hefur fram að bílaumboðin eru sjálf ábyrg fyrir sínum bifreiðum (Daði Jóhannsson framkvæmdastjóri Hringrásar hf., tölvupóstur, 4. ágúst 2019). Þegar kemur að því að taka rafhlöðurnar úr bílunum sjá umboðin um að afhlaða rafhlöðurnar og gera þær tilbúna til

útflutnings. Framleiðendur erlendis sjá svo um að taka rafhlöðurnar áfram. Ferli Toyota í Evrópu er þannig að fyrirtækið kemur rafhlöðunum áfram í hendur aðila sem sérhæfa sig í úrvinnslu rafhlaðna sem þessara (Toyota Europe, á.á.).

Þar sem engin sérstök úrvinnsla rafhlaðna fer fram hér á landi er erfitt að meta hvort verið sé að gera rétt eða rangt með því að senda allar rafhlöður úr landi ómeðhöndlaðar. Líklega er þó betra að láta stærri og reyndari fyrirtæki á borð við þau sem nefnd eru hér að framan um að vinna með rafhlöðurnar enda er úrvinnsla þeirra vandasöm og krefst mikils tæknilegs búnaðar. Þar að auki getur hún verið mjög hættuleg. Eitt er þó ljóst og það er að málmarnir og efnin sem rafhlöður eru samsettar úr eru að verða æ verðmætari. Verð á lithíum hefur þrefaldast frá árinu 2016 og á sama tíma hefur verð á kóbalti fjórfaldast (Paglario og Meneguzzo, 2019). Það má því velta fyrir sér hvort æskilegt sé að senda öll þessi verðmæti strax úr landi frekar en að koma á fót atvinnustarfsemi hérlendis til að vinna úr rafhlöðunum. Mikil fjölgun á rafhlöðum er fyrirsjáanleg með aukinni sölu rafbíla og því útséð að talsverð verðmæti verða í þeim rafhlöðum sem fara úr landi að lokinni notkun. Í ljósi þess að aðstæður til að reka rafbíla eru sérstaklega ákjósanlegar hér á Íslandi er líklegt að hlutfall rafbíla muni hækka verulega á komandi árum og áratugum. Hér á landi gæti því myndast umhverfi sem kallar á að rafhlöður séu endurunnar svo að jafnvel sé hægt að nýta hráefnin sem myndast í aðra framleiðslu.

Fyrir utan að rafmagn til endurhleðslu á rafhlöðum rafbíla er ódýrt á Íslandi eru margvíslegir aðrir kostir við það að eiga rafbíl hér á landi. Enn sem komið er, eru bifreiðagjöld lægri og ekki er lagður á virðisaukaskattur né innflutningsgjöld við kaup á nýjum rafbílum eins og staðan er í dag. Þó er úrvinnslugjald það sama og á öðrum bílum en það er engu að síður ekki hátt eða um 700 krónur pr. bifreið á ári (Lög um úrvinnslugjald nr. 162/2002). Áætlanir stjórnvalda um orkuskipti í vegasamgöngum gera ráð fyrir að hlutfall rafbíla hér á landi muni hækka verulega á næstu árum og áratugum (Verkefnisstjórn aðgerðaáætlunar í loftslagsmálum, 2018). Nú þegar er fjöldinn orðinn talsvert meiri en hann var fyrir nokkrum árum síðan (Birna Stefánsdóttir, 2019). Líklegt er að á einhverjum tímavæðum verði gerðar breytingar á því skipulagi sem nú er þar sem rafbílakaupendur njóta fjárhagslegs ávinnings umfram þá sem kaupa venjulega bíla. Í öllu falli er ekki hægt að búast við að bifreiðagjöld geti alltaf verið jafn lág og þau eru í dag. Einnig verður á einhverjum tíma að hefja gjaldtöku á innflutningi rafbíla nema stjórnvöld sæki tekjur með öðrum leiðum til að jafna það sem tapast með auknum innflutningi rafbíla.

Þá má einnig velta fyrir sér hvort úrvinnslugjald rafbíla ætti í raun að vera hærra en gjald annarra bifreiða, þar sem úrvinnsla rafbíla er að minnsta kosti enn sem komið er dýrari en förgun venjulegra bifreiða. Eins og fram kom í kafla 3.2 um úrvinnslumál rafhlaðna, geta eigendur rafbíla undir sumum kringumstæðum þurft að bera kostnað af því að fjarlægja rafhlöður úr bílum sínum til viðbótar við þann kostnað að kaupa nýjar rafhlöður. Einn liður í að fyrirbyggja slíkar aðstæður væri að leggja herra úrvinnslugjald strax á kaupverð bílanna eða rukka það samhliða bifreiðagjöldum. Það er allavega ljóst að tímabært er að hugsa ferlið til enda svo ekki komi upp sú staða að við séum að grípa vandamálin á lofti eftir að þau verða til. Með aðgerðaráætlun ríkisstjórnarinnar í loftslagsmálum leggja stjórnvöld áherslu á að

takmarka innflutning eldsneytisknúinna bíla í skiptum fyrir umhverfissvænni kosti (Verkefnisstjórn aðgerðaáætlunar í loftslagsmálum, 2018). Hins vegar hefur ekki verið sett fram nein áætlun um úrvinnslumál tengdum þessum markmiðum. Einn viðmælenda þessa verkefnis lét hafa eftir sér að stjórnvöld væru í þeim skilningi komin fram úr sjálfum sér þar sem ekki væri í raun innistæða fyrir því að flytja inn rafbíla í tug- eða jafnvel hundrað þúsunda tali þar sem regluverk eða skipulag um endurvinnslu þeirra er ekkert (Kristmann F. Dagsson, sölustjóri flotasölu hjá Öskju ehf., símtal 30 ágúst 2019). Að mati höfunar endurspeglar þessi lýsing stöðuna vel.

Einnig má benda á að hugmyndir um hringrásarhagkerfi virðast ekki hafa borist til Íslands. Á meðan margvíslegar aðgerðir eru fyrir hendi erlendis er í raun ekkert gert hérlendis og eru umboðsaðilar bílanna einir og sér að reyna að koma rafhlöðunum í réttan farveg (Trausti Björn Ríkharðsson, þjónustustjóri BL ehf., munnleg heimild, 29. ágúst 2019). Sennilega væri best ef hér væri komið upp úrvinnslustöð til að klára ferli rafhlaðna svo að hægt sé að endurnýta þær. Útflutningur rafhlaðna og fyrirkomulag hans er svo kostnaðarsamur á eylandi sem okkar að við þurfum helst að koma upp hringrás hérlendis sem lokar ferli rafhlaðna í rafbílum og gefur þeim „nýtt líf“ um leið. Það verður því að viðurkennast að umhverfið hér á landi er ekki jafn langt komið og víða annarsstaðar og enn síður erum við í farabroddi með þessi mál.

Eins og komið hefur fram hefur tæknileg þróun tekið miklum framförum á stuttum tíma og eru breytingar og úrbætur tíðar í þessari grein. Slíkt vill oft verða þegar verið er að stíga fyrstu skrefin í ákveðinni vegferð eins og þeirri sem orkuskipti í vegasamgöngum er. Eitt af því sem höfundur þessarar ritgerðar rak sig reglulega á var að rannsóknir sem eru einungis tveggja til þriggja ára gamlar talast ekki á við þær sem komið hafa út á seinstu sex til tólf mánuðum og eru því næstum orðnar úreltar. Í grein frá árinu 2017 er því haldið fram að enn séu nokkur ár eða jafnvel áratugir í að endurvinnsla rafhlaðna verði orðin nægilega arðbær til að þess að skila hagnaði. Þar að auki séu einungis um fimm prósent lithíum rafhlaðna endurnýttar á þann hátt sem fjallað hefur verið um hér að framan (Gardiner, 2017). Snemma árs 2017 kom einnig út ítarlegt rit sem fjallaði um endurnýtingu og endurvinnslu lithíum-ion rafhlaðna. Þar var fjallað um að nýting rafhlaðna eftir að þær hafi verið teknar úr rafbílum kunní að vera óæskileg þar sem ekki sé útséð með virkni þeirra eða áreiðanleika. Höfundurinn hafði orð á því að enn væri mjög óljóst með viðskiptatækifærin sem endurvinnsla lithíum rafhlaðna hefði í för með sér. Auk þess væru margar hindranir í veginum þrátt fyrir að orku- og úrvinnslufyrirtæki gæfu sér að hægt væri að nota rafhlöðurnar áfram (Paglario og Meneguzzo, 2019). Þrátt fyrir þessar efasemdir liðu ekki tvö ár þar til að stórfyrirtæki á sviði raforku í Kína tilkynnti að það hefði hafið framkvæmdir á byggingu orkuvers sem hýsi raforkugeymslu með hjálp notaðra rafhlaðna úr rafbílum (China.org.cn, 2019). Orkuverið er hannað til að geyma allt að 268.600 kílóvattstundir og á að geta séð að jafnaði um 220.000 manns fyrir daglegri raforkunotkun (China.org.cn, 2019). Eitt dæmi til viðbótar er endurvinnslufyrirtækið Sung Eel Hiteck Co. sem er staðsett í Kóreu. Fyrirtækið sérhæfir sig í endurvinnslu á lithíum-ion rafhlöðum en það tilkynnti í lok árs 2018 um stækkun á starfsemi sinni sem mun einnig færast til Bandaríkjanna, Ungverjalands og

Indlands. Þetta muni að lokum fimmfalda framleiðslugetu fyrirtækisins á næstu tveimur árum eða fram til ársins 2021 (PRNewswire, 2018).

Eins og dæmin hér gefa vísbendingar um eru tæknilegar framfarir gríðarlegar og hraði þeirra er slíkur að rannsóknir eða greinaskrif um þessi málefni verða fljótt gamlar og nánast úreltar. Breytingar sem verða á nokkurra ára skeiði geta breytt landslaginu svo að endurnotkunar- og endurvinnslumöguleikar verða jafnvel orðnir talsvert ákjósanlegri innan tveggja eða þriggja ára heldur en það sem við þekkjum í dag. Það má því segja að ástæða sé til að horfa björtum augum til framtíðar.

Ekki má þó líta fram hjá þeirri staðreynd að á endanum þarf að takast á við það verkefni sem skapast þegar rafhlöður eru ekki lengur hæfar til notkunar, hvort sem er í bílum eða með öðrum hætti. Að endingu þarf að taka rafhlöðurnar í sundur og flokka málmana og efnin sem þær eru samsettar úr svo að hægt sé að nýta þau aftur með einhverjum hætti. Þessi vinnsla er eins og staðan er núna í jafnvægi þar sem stærstur hluti þeirra rafbíla sem eru á götum heimsins eru enn í notkun og verða um nokkurra ára skeið til viðbótar.

Þrátt fyrir allar þær jákvæðu framfarir sem eru að verða á sviði rafbíla og rafhlöðuframleiðslu er staðan enn sem komið er sú að hlutfall rafbíla af öllum fólksbílum í umferð er mjög lágt. Árið 2017 var heildarfjöldi rafbíla 3,1 milljón í heiminum (European Environment Agency, 2018). Til viðmiðunar þá voru um 1.32 milljarður bíla í notkun árið 2016 (Wards Intelligence, 2017) sem gerir hlutfall rafbíla og tengiltvinnbíla ekki hátt. Án þess að gera lítið úr þeim framförum sem orðið hafa og farið hefur verið yfir í þessari ritgerð þá setja þessar tölur hlutina í ákveðið sambengi við raunveruleikann. Þrátt fyrir að umræðan um rafbílavæðingu sé áhugaverð og spennandi þá er hún á mjög litlum skala eins og staðan er í dag. Vissulega er þróunin í rétta átt og hún er sífellt að aukast en betur má ef duga skal og við eigum mjög langt í land með að gera rafbíla að stærsta hluta bílaflotans, hvort sem er hér heima eða erlendis.

Hér á Íslandi hefur rafbílavæðingin vakið mikla athygli sérstaklega í tengslum við umræðuna um orkuskipti í vegasamgöngum. Íslenskar aðstæður eru að sjálfsögðu sérstaklega vel til þess fallnar að standa undir samfélagi sem hreyfist í rafknúnum bílum þar sem raforkuframleiðslan hér á landi er umhverfisvænni en gerist víðast hvar annars staðar og einnig er raforkuverð ekki hátt. Það má því horfa bjartsýnisaugum til næstu ára og áratuga hér á Íslandi hvað varðar rafbílavæðingu. Þessar aðstæður eru hins vegar ekki endilega fyrir hendi annars staðar í heiminum. Víða er raforka framleidd með óumhverfisvænum hætti, svo sem kola- eða olíubrennslu og því er líka óumhverfisvænt að hlaða rafbíla þrátt fyrir að það sé líklega ekki jafn óumhverfisvænt og að aka um á venjulegum bílum sem ganga fyrir bensíni eða olíu.

## 5 Lokaorð

Niðurstöður þessa verkefnis sýna að eins og staðan er í dag eru bílaframleiðendur ábyrgir fyrir því að farga, endurvinna eða endurnýta rafhlöður úr bifreiðum sínum þegar þær eru ekki lengur hæfar til að sinna hlutverki sínu. Heimildir þessarar ritgerðar benda samt sem áður til þess að framleiðendurnir sjái ekki sjálfir um úrvinnslu rafhlaðnanna heldur framselji þær til fyrirtækja sem sérhæfa sig á sviði endurvinnslu eða orkuframleiðslu. Þegar komið er á það stig er hins vegar ekki alltaf sama sagan hvernig unnið er með hráefnið en þó virðist endurnotkun vera að færast í aukana þar sem rafhlöðurnar eru nýttar áfram án þess að vera teknar í sundur. Þar á eftir er þeim hins vegar komið í endurvinnslu þar sem þær eru að lokum teknar í sundur og efnin flokkuð til notkunar á ný.

Á Íslandi er staðan sú að bílaumboð bifreiðanna sjá um að koma rafhlöðum rafbíla í réttan farveg til sinna framleiðenda. Hér á landi er engin úrvinnsla rafhlaðna enn sem komið er og því þarf að koma öllum rafhlöðum úr landi með einum eða öðrum hætti. Í þeim tilvikum þar sem rafbílur eru keyptir fyrir utan umboðssölu gildir þó ekki endilega sama regla og gætu eigendur í þeim tilvikum þurft að greiða sjálfir fyrir forvinnu og flutning rafhlaðna úr landi. Rannsóknin leiðir einnig í ljós að á Íslandi hefur umhverfi rafbíla ekki verið hugsað til enda og því erum við í raun aftarlega á merinni samanborið við margar aðrar þjóðir.

Þessi ritgerð svarar ekki einungis gefinni rannsóknarspurningu heldur varpar hún einnig ljósi á þá hröðu þróun sem einkennir heim rafbílavæðingar um þessar mundir. Gríðarlegar framfarir eru í tæknimálum sem ýta um leið undir áhuga og auknar fjárfestingar í geiranum. Því er nokkuð ljóst að á aðeins nokkurra ára skeiði geta orðið miklar breytingar sem gera umhverfi rafhlaðna og endurvinnslu þeirra enn hagkvæmari en það er í dag.

Takmarkanir þessarar rannsóknar eru helst þær að hér á landi er lítið til af fræðilegum heimildum um meðferð rafhlaðna enda er fjöldi rafbíla héraendis ekki mikill. Enn fremur var erfitt að finna fólk sem hefur sérfræðipækkingu á þessu sviði. Leitað var til nokkurra einstaklinga innan stjórnkerfisins. Erfitt reyndist að fá svör frá fólki og vísaði það jafnvel hvert á annað. Þegar kom að bílaumboðunum reyndist mun auðveldara að fá viðbrögð við álitamálum þessarar rannsóknar. Má af því dæma að það sé ríkur áhugi bílaumboðanna að koma þessum málum í skýrari farveg.

Þar sem niðurstöður þessa verkefnis gefa til kynna að hröð þróun er í málaflokknum þá er mikilvægt að fylgjast með henni og halda áfram að rannsaka hvernig best sé að endurnýta og endurvinna rafhlöður rafbíla. Það er einnig mikilvægt að fá skýra mynd af stöðu þessara mála bæði frá fyrirtækjum og stjórnvöldum og að mörkuð sé stefna um hvernig skuli háttá úrvinnslumálum rafhlaðna áður en fjöldi rafbíla eykst til muna. Svo virðist sem að við Íslendingar séum ekki samstíga öðrum þjóðum hvað varðar þessi mál.

Smæð samfélagsins ætti að gera okkur kleift að ná auðveldlega utan um þetta viðfangsefni. Með því gætu Íslendingar náð eftirsóknarverðri forystu verandi þjóð sem að öðru leyti er til fyrirmyndar hvað varðar notkun á endurnýjanlegri orku. Orðatiltækið „í upphafi skyldi endinn skoða“ á ágætlega við í þessu tilviki. Framleiðsla og notkun rafbíla er afar jákvætt skref í átt til umhverfisverndar bæði hér á landi og í heiminum öllum en förgun og endurvinnsla þeirra hefur ekki enn verið hugsuð til enda. Þar eru uppi mörg álitæfni sem hér hafa verið reifuð. Framtíðin ein mun leiða í ljós hvernig úr vinnst.



# Heimildir

Birna Stefánsdóttir. (2019, 20. júlí). Rafbílasala heldur áfram að aukast. Kjarninn.is sótt af: [https://kjarninn.is/frettir/2019-07-19-rafbilasala-heldur-af-ram-ad-aukast/?fbclid=IwAR3h8Wht4aj8irEYEpNduYKZwuMJJaAhhwNvw073kz0zL9U\\_uKReKQcMOe\\_Q](https://kjarninn.is/frettir/2019-07-19-rafbilasala-heldur-af-ram-ad-aukast/?fbclid=IwAR3h8Wht4aj8irEYEpNduYKZwuMJJaAhhwNvw073kz0zL9U_uKReKQcMOe_Q)

Bílgreinasambandið. (2019). *Árbók Bílgreina 2019*. Sótt af: <http://www.bgs.is/upplýsingar/arbok-bilgreina/>

Brynhildur Davíðsdóttir. (2013). *Ísland og loftslagsmál* (Report nr. C17:01). Reykjavík: Hagfræðistofnun Háskóla Íslands.

Cheng, Waii-Tung og Delang, Claudio O. (2012) Consumers' attitudes towards electric cars: A case study of Hong Kong. *Transportation Research*. 492-494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.04.004>

China builds large power bank with retired NEV batteries. (2019, 8. mars). *China.org.cn*. Sótt af: [http://www.china.org.cn/business/2019-03/08/content\\_74545993.htm](http://www.china.org.cn/business/2019-03/08/content_74545993.htm)

Encyclopaedia Britannica. (1998, 20. júlí). Nicolas-Joseph Cugnot – French Engineer. Sótt af <https://www.britannica.com/biography/Nicolas-Joseph-Cugnot>

Encyclopaedia Britannica. (2019, 26. júlí). Henry Ford. Sótt af: <https://www.britannica.com/biography/Henry-Ford>

Encyclopaedia Britannica. (á.á.) Internal Combustion Engine. Sótt af: <https://www.britannica.com/technology/internal-combustion-engine>

European Commission. (2019, 7. júlí). Implementation of the circular economy action plan. Sótt af: [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm)

European Environment Agency. (2018, 11. júní). Electric vehicles as a proportion of the total fleet. Sótt af: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/proportion-of-vehicle-fleet-meeting-4/assessment-2>

Félag íslenskra bifreiðaeigenda. (á.á.). Rafbílar - Kostir. Sótt af: <https://www.fib.is/is/billinn/rafbilar/kostir>

Gao, Y., Jiang, J., Zhang, C., Zhang, W., Ma, Z. og Jiang, Y. (2017, 15. júlí). Lithium-ion battery aging mechanisms and life model under different charging stresses. *Journal of Power Sources*. 356. 103-114. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.04.084>

Gardiner, Joey. (2017, 10. ágúst) *The rise of electric cars could leave us with a big battery waste problem. The Guardian*. Sótt af: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/aug/10/electric-cars-big-battery-waste-problem-lithium-recycling>

Geerken, T., Schmidt, J., Boonen, K., Christis, M., og Merciai, S. (2019). Assessment of the potential of a circular economy in open economies – Case of Belgium. *Journal of Cleaner Production*. Sótt af: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.120>

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., og Hultink, E. J. (2016). The Circular Economy-A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*. Sótt af: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Hawkins, T.R., Singh, B., Majeau-Bettez, G. og Strømman, A.H. (2012, 4. október). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology* 17(1). 53-64. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>

Huang, Bin., Pan, Zhefei., Su, Xiangyu. og Liang, An. (2018). Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives. *Journal of power sources*. 399, 274-286. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.07.116>

Jiao, N. (2018). China Tower can absorb 2 million retired electric vehicle batteries. *ID TechEx*. Sótt af: <https://www.idtechex.com/en/research-article/china-tower-can-absorb-2-million-retired-electric-vehicle-batteries/15460>

Kevin Dillman og Dagný Hauksdóttir. (2019). *Kolefnisfótspor rafbíla við íslenskar aðstaður*. (2018-025). Reykjavík. Orka Náttúrunnar.

Loftslagsmálin vinsælt fréttæfni. (2019, 18. janúar). *Mbl.is* sótt af: [https://www.mbl.is/frettir/innlent/2019/01/18/loftslagsmalin\\_vinsaelt\\_frettaefni/](https://www.mbl.is/frettir/innlent/2019/01/18/loftslagsmalin_vinsaelt_frettaefni/)

Lög um bifreiðagjald nr. 32/1988

Lög um úrvinnslugjald nr. 162/2002

Melin, H.E. (2018, 21. júní). New report on recycling and second life of lithium-ion batteries. Sótt af: <https://www.linkedin.com/pulse/new-report-recycling-second-life-lithium-ion-batteries-melin>

Orkustofnun. (2018) *Sviðsmyndir um raforkunotkun 2018-2050*. Reykjavík: Höfundur.

Pagliaro, M. og Meneguzzo, F. (2019, 15. júní) Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight. *Heliyon* 5(6). doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01866>

Pétur Hreinsson. (31. ágúst, 2018). Hreinorkubílar verði 100 þúsund árið 2030. *Mbl.is*. Sótt af:

[https://www.mbl.is/bill/frettir/2018/08/31/hreinorkubilar\\_verdi\\_100\\_thusund\\_arid\\_2030/](https://www.mbl.is/bill/frettir/2018/08/31/hreinorkubilar_verdi_100_thusund_arid_2030/)

Reglugerð um úrvinnslugjald nr. 1124/2005

Ríkisskattstjóri. (á.á.). Bifreiðagjald. Sótt af:

<https://www.rsk.is/einstaklingar/skattar-og-gjold/bifreidagjald/>

Ruddiman, William F. (2007). *Plows, plagues and petroleum*. Princeton: Princeton University Press.

RÚV (á.á.) Hringrásarhagkerfi. Viðtal við Stefán Gíslason. Sótt af:

<https://www.ruv.is/media/hringrasarhagkerfi>

Samgöngustofa. (á.á.). Bifreiðatölur. Sótt af:

<http://bifreidatolur.samgongustofa.is/?nid=1401>

Scharf. M., Scharf. P., Natkunarajah. N. (2015) Scenarios for the return of lithium-ion batteries out of electric cars for recycling. *Procedia CIRP* 2015(29),740-745.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.170>

SungEel MCC Americas Announces Lithium-Ion Battery Recycling Plant Location in New York State. (2018, 27. september). *PRNewswire*. Sótt af:

<https://www.prnewswire.com/news-releases/sungeel-mcc-americas-announces-lithium-ion-battery-recycling-plant-location-in-new-york-state-300720245.html>

The Sydney Morning Herald. (2011. 29. maí). Kyoto deal loses four big nations. Sótt af

<https://www.smh.com.au/environment/climate-change/kyoto-deal-loses-four-big-nations20110528-1f9dk.html>

Toyota Europe. (á.á.). Recycle. Sótt af: <https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/feel/environment/better-earth/recycle>

United Nations Climate Change. (á.á.). What is the Kyoto Protocol? Sótt af:

[https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol)

United Nations Economic Commission for Europe. (á.á.). Protocol on the reduction of sulphur emissions. Sótt af: [https://www.unece.org/env/lrtap/sulf\\_h1.html](https://www.unece.org/env/lrtap/sulf_h1.html)

United Nations Environment Programme. (2012). *Handbook for the Vienna convention for the protection of the ozone layer*. Nairobi: Secretariat for the Vienna convention.

United Nations. (1973). Report of the United Nations conference on the human environment. New York: Höfundur.

- United Nations. (1985). Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer. Vín: Höfundur.
- United Nations. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. New York: Höfundur.
- United Nations. (2008). Kyoto protocol reference manual on accounting of emissions and assigned amount. Sótt af:  
[https://unfccc.int/resource/docs/publications/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf)
- United Nations. (2016). Paris Agreement. New York: Höfundur
- United Nations. (á.á.). Climate Change. Sótt af:  
<http://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
- Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M., & Hossain, E. (2017). A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development. *Energies*, 10(8), 1217.
- Úrvinnslusjóður. (á.á.) Starfsemi og hlutverk. Sótt af:  
<https://www.urvinnslusjodur.is/um-urvinnslusjod/>
- Verkefnisstjórn aðgerðaáætlunar í loftslagsmálum. (2018). Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum 2018 – 2030. Reykjavík: Umhverfis- og auðlindaráðuneytið.
- Wards Intelligence. (2017, 17. október). World vehicle population rose 4.6% in 2016. Sótt af: <https://wardsintelligence.informa.com/WI058630/World-Vehicle-Population-Rose-46-in-2016>
- Zheng, Xiaohong., Zhu, Zewen., Lin, Xiao., Zhang, Yi., He, Yi., Hongbin, Cao., og Sun, Zhi. (2018). A mini-review on metal recycling from spent lithium ion batteries. *Engineering*. 4(3), 261-270. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.018>