



Skýrsla nr. C17:01  
Ísland og loftslagsmál  
febrúar 2017

**HAGFRÆÐISTOFNUN**



HÁSKÓLI ÍSLANDS

Hagfræðistofnun Háskóla Íslands

Odda v/Sturlugötu

Sími: 525-5284

Heimasíða: [www.hhi.hi.is](http://www.hhi.hi.is)

Tölvufang: [ioes@hi.is](mailto:ioes@hi.is)

Skýrsla nr. C17:01  
Ísland og loftslagsmál  
febrúar 2017

# Formáli

Árið 2009 var gefin úr skýrsla á vegum Umhverfissráðuneytisins um möguleika á því að draga úr nettólosun gróðurhúsalofttegunda. Í skýrslunni voru skilgreindar flestar mögulegar leiðir til að draga úr nettólosun, og þær greindar með tilliti til hversu mikið hver og ein getur dregið úr nettólosun sem og með tilliti til kostnaðar. Þar sem nú liggur fyrir að Ísland mun taka á sig nýjar skuldbindingar til að draga úr nettólosun gróðurhúsalofttegunda þótti ástæða til þess að ráðast í meðal annars að endurskoða greininguna frá 2009. Hagfræðistofnun Háskóla Íslands var fengin til verksins.

Samkvæmt samningi Hagfræðistofnunar og Umhverfis- og auðlindaráðuneytisins í desember 2014 skyldi stofnunin:

- 1) Rýna losunarspá fyrir Ísland til 2020 og 2030.
- 2) Skoða fyrri markmið um losun gróðurhúsalofttegunda og hvernig tekist hefur að ná þeim.
- 3) Greina hagkvæmustu leiðir til þess að ná þeim markmiðum sem landið hefur gengist undir.
- 4) Meta hvort Ísland eigi áfram að vera í samfloti með ríkjum Evrópusambandsins í viðskiptakerfi með losunarheimildir.

Brynhildur Davíðsdóttir prófessor hefur ritstýrt skýrslunni, en auk hennar hafa unnið að gerð hennar Darri Eyþórsson sem samdi kafla um orkuframleiðslu, úrgang, iðnað, landbúnað og samgöngur en auk Darra vann Almar Barja að köflum um iðnað, úrgang og orkuframleiðslu. Kári Friðriksson sá um kostnaðarútreikninga fyrir skógrækt, Hrafnhildur Bragadóttir samdi kafla um markaðstengdar aðgerðir og Conor Byrne sem samdi kafla um sjávarútveg. Arnór Snorrason frá Rannsóknarstöð skógræktar við Mógilsá vann bindingarspár fyrir skógrækt og Jóhann Þórisson hjá Landgræðslu ríkisins vann bindingarspár og kostnaðarútreikninga fyrir landgræðslu.

Reykjavík, febrúar 2017,

Sigurður Jóhannesson,

forstöðumaður Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands.

# Ágrip

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda jókst um 26% frá 1990 til 2014 ef nettóbinding vegna landgræðslu og skógræktar er ekki tekin með. Útstreymið var um 4.600 tonn CO<sub>2</sub> árið 2014. Aukningin var um 15% ef nettóbinding með landgræðslu og skógrækt er tekin með. Útstreymi jókst mest frá iðnaði og efnanotkun, eða um 79%. Útstreymi jókst einnig frá orkuframleiðslu (69%), úrgangi (52%) og samgöngum (39%). Útstreymi frá sjávarútvegi dróst hins vegar saman um 43%, en útstreymi frá landbúnaði minnkaði um 4%. Á þessum árum jókst binding með landgræðslu og skógrækt og var hún um 429 þúsund tonn árið 2014.

Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum frá 2010 miðaði að því að útstreymi án stóriðju og án bindingar með landgræðslu og skógrækt yrði 9% minna árið 2020 en árið 1990 og 32% minna árið 2020 án stóriðju en með bindingu. Nokkuð vantar á að þessi markmið náist. Útstreymi ársins 2014 án stóriðju var 6% meira en útstreymi ársins 1990, en 10% minna ef binding var tekin með. Ljóst er að nokkur árangur hefur náðst með aðgerðum í samgöngum og í sjávarútvegi en mikilvægt er að tryggja að meira ávinnist í þessum geirum. Góður árangur tilraunaverkefna í föngun og bindingu eða nýtingu CO<sub>2</sub> frá orkuframleiðslu gefur góð fyrirheit. Þó er ljóst að frekari aðgerða er þörf t.d. í landbúnaði sem og í bindingu kolefnis með landgræðslu, skógrækt eða endurheimt votlendis til að ná takmarki aðgerðaáætlunarinnar frá 2010.

Settar voru fram þrjár sviðsmyndir fyrir mögulegt útstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2030. Árið 2030 er í grunnsviðsmynd gert ráð fyrir að heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi nemi samtals um 5.449 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda, þar sem heildarútstreymi er skilgreint sem útstreymi án bindingar. Niðurstöður sviðsmyndanna sýna að mögulegt er að aukning verði í útstreymi miðað við útstreymi ársins 1990 í öllum geirum nema sjávarútvegi. Mest gæti aukningin orðið vegna aukinna umsvifa í stóriðju eða frá 161% í grunntilviki upp í 290% í hátilviki. Heildarútstreymi frá Íslandi með stóriðju gæti því árið 2030 orðið frá 53% meira en útstreymi ársins 1990 (grunntilvik) til 99% meira en útstreymi ársins 1990 (hátalvik). Ef binding er tekin með er aukningin mun minni eða 33% í grunntilviki upp í 79% í hátalviki.

Ef stóriðjan er ekki talin með breytist útstreymi umtalsvert. Í grunntilviki, án bindingar, gæti heildarútstreymi orðið 10% meira en útstreymi ársins 1990 en í hátalviki 16% meira en útstreymi ársins 1990. Ef binding er tekin með gæti nettóútstreymi ársins 2030 orðið 18% minna en útstreymi ársins 1990 í grunntilviki, en 12% minna í hátalviki.

Mótvægisáðgerðir til samdráttar í losun gróðurhúsalofttegunda voru skilgreindar í flestum geirum íslensks samfélags eða orkuframleiðslu, iðnaði og efnanotkun, samgöngum, sjávarútvegi, landbúnaði, úrgangi og landgræðslu, skógrækt og endurheimt votlendis. Með því að beita völdum mótvægisáðgerðum saman, en þó án bindingar, mætti hugsanlega draga úr útstreymi um 1.716 þúsund tonn. Ef ennfremur er gert ráð fyrir að umfang nýrra verkefna í landgræðslu og skógrækt haldist svipað og verið hefur (venjubundin þróun) má áætla að sú binding CO<sub>2</sub>-ígilda sem af því hlytist myndi nema um 744 þúsund tonnum árið 2030 og því leiða til samdráttar um 2.460 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda í nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda, þar sem nettóútstreymi er reiknað sem heildarútstreymi að frádregnum mótvægisáðgerðum og bindingu. Þetta þýðir að nettóútstreymi ársins 2030 gæti orðið um 18% minna en nettóútstreymi ársins 1990. Samsvarandi niðurstöður fyrir hátalvik eru að nettóútstreymi ársins 2030 gæti orðið 19% meira en nettóútstreymi ársins 1990.

Ef að auki er gert ráð fyrir auknum aðgerðum á sviði bindingar þannig að umfang skógræktar- og landgræðsluáðgerða verði tvöfaldað og að ráðist verði í verkefni í endurheimt votlendis sem samsvarar

10% þess lands sem er í lítilli notkun, má ætla að hægt verði að draga úr útstreymi um sem nemur 2.871 þúsund tonnum á ári. Verður þá nettóútstreymi ársins 2030 29% minna en nettóútstreymi ársins 1990. Ef aðgerðahraði sem leiðir til bindingar yrði fjórfaldaður þá yrði nettóútstreymi 39% minna en útstreymi ársins 1990. Væri þá samdráttur í útstreymi orðinn svipaður og mögulegar skuldbindingar Íslands samkvæmt Parísarsamkomulaginu. Samsvarandi niðurstöður fyrir hátilvik eru að heildarútstreymi gæti orðið um 3% lægra en útstreymi ársins 1990. Mun meiri bindingu væri þó hægt að ná með aukinni endurheimt votlendis, og ef gert er ráð fyrir endurheimt 100% þess framræst lands sem er í lítilli notkun yrði nettóútstreymi ársins 2030 í hátilviki 57% lægra en útstreymi ársins 1990.

Þar sem stóriðja, svo sem framleiðsla járnbendis, áls og kísils fellur innan viðskiptakerfis Evrópusambandsins um losunarheimildir, er nauðsynlegt að skoða hvað mótvægisáðgerðir geta skilað miklum ávinningi ef útstreymi frá þeim geirum sem falla innan kerfisins er ekki tekið með. Niðurstöður benda til þess að ef haldið verður áfram að binda CO<sub>2</sub> ígildi á svipuðum skala og áður og ef valdar mótvægisáðgerðir eru innleiddar gæti nettóútstreymi ársins 2030 orðið 67% minna en útstreymi ársins 1990, en þó að því gefnu að binding teljist að fullu. Ef áðgerðir í landgræðslu og skógrækt til bindingar væru tvöfaldaðar auk þess að ráðist væri í endurheimt votlendis sem samsvarar 10% þess lands sem er í lítilli notkun gæti nettóútstreymi ársins 2030 orðið 83% minna en útstreymi ársins 1990. Ef áðgerðahraði í landgræðslu og skógrækt yrði fjórfaldaður auk endurheimtar votlendis sem fyrir gæti nettóútstreymi ársins 2030 orðið 97% minna en útstreymi ársins 1990. Samsvarandi niðurstaða fyrir hátilvik árið 2030 með fjórföldun áðgerða í landgræðslu og skógrækt auk endurheimtar votlendis, bendir til að útstreymi gæti orðið 93% minna en útstreymi ársins 1990. Með aukinni endurheimt votlendis væri hægt að ná enn betri árangri, og ef gert er ráð fyrir endurheimt 100% þess framræst lands sem er í lítilli notkun yrði nettóútstreymi ársins 2030 í hátilviki 167% lægra en útstreymi ársins 1990.

Nettó kostnaður er metinn fyrir hinar ýmsu tegundir mótvægisáðgerða. Niðurstöður sýna að sjö dæmi um slíkar áðgerðir, svo sem fjárfesting í sparneytnari bifreiðum hafa í för með sér hreinan ábata (neikvæðan nettócostnað). Alls geta þær leitt til samdráttar í útstreymi um sem nemur rúmum 320 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda. Fjölmargar áðgerðir eru auk þessa fremur hagfelldar, svo sem binding CO<sub>2</sub> með landgræðslu, skógrækt og endurheimt votlendis, en aðrar kosta meira. Athygli vekur hve miklu munar á kostnaði áðgerða innan sama geira, svo sem innan samgangna, þar sem ódýrustu kostirnir leiða af sér nettóábata (t.d. sparneytnari bifreiðar). Langdýrustu kostirnir á hvert tonn af samdrætti af gróðurhúsalofttegundum eru notkun vetnis í samgöngum og léttlest á höfuðborgarsvæðinu.

Þjóðhagsleg heildaráhrif áðgerða voru ekki metin sérstaklega í þessu verkefni. Líklegt er þó að fjölmargar áðgerðir, sem hreinn nettócostnaður er af, gætu leitt af sér þjóðhagslegan nettóábata vegna jákvæðra ytri áhrifa. Dæmi um ytri áhrif áðgerða t.d. í samgöngum er minni loftmengun og betri heilsa og ytri áhrif í landgræðslu og skógrækt eru t.d. tengd auknum landgæðum.

Mótvægisáðgerðir geta skilað umtalsverðum árangri, en árangur af þeim er þó óviss. Til dæmis er hægt að hugsa sér að fjárfesting í sparneytnari bifreiðum skili umtalsverðum samdrætti í útstreymi á hvern ekinn kílómetra, sem síðan geti tapast þar sem neytendur aki meira en áður. Innleiðingarhraði mótvægisáðgerða fer eftir því hvaða stjórnvaldsáðgerðum er beitt í hverju tilviki fyrir sig. Mikilvægt er að valdar verði þær stjórnvaldsáðgerðir sem skila mestum mögulega árangri í samdrætti í útstreymi, með sem minnstum þjóðhagslegum tilkostnaði.

Ljóst er að möguleikar Íslands eru miklir þegar kemur að samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Mögulegt er að ná fram þeim samdrætti í útstreymi sem Íslendingar hafa ásett sér að ná undir Parísarsamkomulaginu, ef útstreymi frá þeim geirum sem falla undir viðskiptakerfi Evrópusambandsins um losunarheimildir eru undanskildir. Erfitt gæti reynst að ná kolefnishlutleysi ef útstreymi frá stóriðju stendur í stað eða eykst.

## Efnisyfirlit

1	Inngangur.....	18
2	Gróðurhúsalofttegundir og ústreymi þeirra .....	19
2.1	Heildarlosun Íslands skv skiptingu loftslagssamningsins .....	19
2.2	Ústreymi og drifkraftar.....	21
2.3	Losun einstakra geira frá 1990 til 2014.....	22
2.3.1	Rafmagn og hiti .....	23
2.3.2	Samgöngur.....	24
2.3.3	Sjávarútvegur.....	24
2.3.4	Iðnaður og efnanotkun.....	25
2.3.5	Landbúnaður.....	26
2.3.6	Meðferð úrgangs.....	27
2.3.7	Landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt (LULUCF).....	27
2.3.8	Samantekt .....	28
3	Sviðsmyndir ústreymis til 2030.....	29
3.1	Aðferðafræði og helstu forsendur.....	29
3.2	Niðurstöður.....	31
4	Valkostir til að draga úr ústreymi gróðurhúsalofttegunda.....	34
4.1	Inngangur.....	34
4.2	Aðferðafræði .....	34
4.2.1	Grunnsviðsmynd .....	34
4.2.2	Mótvægisáðgerðir og umhverfisleg skilvirkni .....	34
4.2.3	Kostnaður og ábati.....	34
4.2.4	Framboðsferill mótvægisáðgerða .....	35
5	Orkuframleiðsla.....	36
5.1	Yfirlit.....	36
5.2	Samanburður á ústreymi gróðurhúsalofttegunda.....	37
5.3	Ústreymisspá.....	39
5.4	Tæknilegir möguleikar til að draga úr ústreymi .....	39
5.4.1	Binding í bergi.....	39
5.4.2	Efnaframleiðsla.....	40
5.4.3	Framleiðsla á lífmassa .....	40
5.4.4	Bætt nýtni við orkuvinnslu .....	40
5.5	Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni aðgerða .....	41
5.5.1	Binding í basalt.....	41
5.5.2	Efnaframleiðsla.....	42
5.5.3	Framleiðsla lífmassa.....	43

5.5.1	Heildarsamdráttur .....	43
5.5.2	Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni .....	44
5.6	Samantekt .....	45
6	Samgöngur.....	46
6.1	Yfirlit.....	46
6.2	Útstreymisspá.....	46
6.3	Aðgerðir til að draga úr útstreymi .....	47
6.4	Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni aðgerða .....	47
6.4.1	Samgönguáðgerðir: Ganga, hjólreiðar og almenningsamgöngur.....	47
6.4.2	Bætt orkunýting.....	57
6.4.3	Óhefðbundnir orkugjafar .....	60
6.4.4	Ný bifreiðatækni.....	65
6.5	Samantekt .....	73
7	Sjávarútvegur.....	77
7.1	Inngangur.....	77
7.2	Fiskiskip .....	78
7.2.1	Samsetning flotans og afla.....	78
7.2.2	Olíunotkun og útstreymisspá.....	81
7.3	Tæknilegir möguleikar til að draga úr útstreymi .....	82
7.3.1	Eldsneytissparnaður.....	82
7.3.2	Hönnun skipa og framdriftsbúnaðar .....	82
7.3.3	Loftslagsvænni orkugjafar .....	86
7.3.4	Aukin notkun landrafmagns .....	86
7.4	Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni aðgerða .....	87
7.4.1	Forsendur.....	87
7.4.2	Niðurstöður.....	89
7.4.3	Samsetning í eina sviðsmynd .....	89
7.4.4	Vottun nýrra orkugjafa .....	91
7.5	Fiskimjölsverksmiðjur.....	91
7.5.1	Olíunotkun og útstreymi gróðurhúsalofttegunda.....	91
7.5.2	Tæknilegir möguleikar til samdráttar í útstreymi .....	94
7.5.3	Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni aðgerða .....	95
7.6	Samantekt .....	96
8	Landbúnaður.....	97
8.1	Yfirlit.....	97
8.2	Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda.....	98
8.3	Útstreymisspá.....	99

8.4	Tæknilegir möguleikar til minnkunar á ústreymi .....	100
8.4.1	Samdráttur í ústreymi metans frá meltingarvegi búfénaðar .....	100
8.4.2	Samdráttur í ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun mykju .....	101
8.4.3	Samdráttur í ústreymi frá landbúnaðarlandi .....	101
8.5	Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni .....	102
8.5.1	Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni .....	103
8.6	Samantekt .....	103
9	Meðferð úrgangs.....	105
9.1	Yfirlit .....	105
9.2	Staða úrgangsmála.....	107
9.3	Ústreymisspá.....	108
9.4	Tæknilegir möguleikar til samdráttar í ústreymi .....	109
9.4.1	Urðun og meðferð hauggass .....	109
9.4.2	Brennsla.....	110
9.4.3	Jarðgerð .....	110
9.4.4	Metangasgerð .....	110
9.4.5	Endurvinnsla.....	111
9.4.6	Flokkun úrgangs .....	111
9.4.7	Dregið úr magni úrgangs .....	111
9.4.8	Fráveitur .....	112
9.5	Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni .....	112
9.5.1	Spá um þróun í magni úrgangs og ústreymis með aðgerðum.....	112
9.5.2	Kostnaður, ávinningur og kostnaðarskilvirkni .....	113
9.6	Samantekt .....	114
10	Iðnaðarferlar og efnanotkun .....	115
10.1	Yfirlit.....	115
10.2	Álframleiðsla.....	116
10.2.1	Yfirlit .....	116
10.2.2	Álframleiðsla á Íslandi .....	117
10.2.3	Samanburður á ústreymi gróðurhúsalofttegunda.....	118
10.2.4	Tæknilegir möguleikar .....	119
10.2.5	Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati .....	120
10.2.6	Heildarkostnaður og –ávinningur .....	121
10.3	Járnblendi .....	121
10.3.1	Samanburður á ústreymi gróðurhúsalofttegunda.....	122
10.3.2	Tæknilegir möguleikar .....	122
10.3.3	Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati .....	123

10.4	Efnanotkun .....	124
10.4.1	Tæknilegir möguleikar til samdráttar í útstreymi .....	125
10.5	Kísilmálmframleiðsla .....	125
10.5.1	Tæknilegir möguleikar til samdráttar í útstreymi .....	126
10.6	Sviðsmyndir um heildarútstreymi frá orkufrekum iðnaði .....	127
10.6.1	Aukning á útstreymi vegna rafmagnsframleiðslu.....	128
10.6.2	Útstreymi og mótvægisáðgerðir .....	128
10.7	Samantekt .....	129
11	Skógrækt, landgræðsla, endurheimt votlendis; Breytt landnotkun.....	131
11.1	Yfirlit.....	131
11.2	Landgræðsla .....	132
11.2.1	Inngangur.....	132
11.2.2	Tæknilegir möguleikar .....	132
11.2.3	Kostnaður .....	134
11.3	Skógrækt.....	134
11.3.1	Inngangur.....	134
11.3.2	Tæknilegir möguleikar .....	135
11.3.3	Kostnaður .....	136
11.4	Endurheimt votlendis .....	136
11.4.1	Inngangur.....	136
11.4.2	Tæknilegir möguleikar og kostnaður.....	137
11.5	Samantekt .....	137
12	Markaðstengdar aðgerðir.....	139
12.1	Viðskipti með losunarheimildir og önnur markaðstengd stjórnþæki í loftslagsmálum.....	139
12.1.1	Losunarheimildir - stjórnþæki til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda .....	139
12.2	Alþjóðleg viðskipti með losunarheimildir.....	140
12.2.1	Almennt um sveigjanleikaákvæði Kýmótó-bókunarinnar .....	140
12.2.2	Viðskipti með alþjóðlegar losunarheimildir .....	141
12.2.3	Samvinnuverkefni.....	142
12.2.4	Loftslagsvæn þróunarverkefni.....	143
12.3	Markaðstengd stjórnþæki Evrópusambandsins í loftslagsmálum .....	144
12.3.1	Viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir.....	144
12.3.2	Viðskipti með losunarrétt utan viðskiptakerfisins .....	145
12.3.3	Samvinna við að uppfylla kröfur um hlutdeild endurnýjanlegrar orku .....	148
12.4	Lands- og svæðisbundnir kolefnismarkaðir utan Evrópusambandsins .....	150
12.5	Valkvæðir kolefnismarkaðir .....	150
12.6	Langtímahorfur - viðskipti með losunarheimildir eftir 2020.....	151

12.6.1	Parísarsamningurinn .....	151
12.6.2	Framtíð markaðstengdra stjórnækja innan Evrópusambandsins .....	153
12.7	Þátttaka Íslands í viðskiptum með losunarheimildir.....	155
12.7.1	Alþjóðleg viðskipti .....	155
12.7.2	Viðskiptakerfi Evrópusambandsins.....	156
12.7.3	Viðskipti með losunarrétt vegna geira sem ekki heyra undir viðskiptakerfið .....	157
12.7.4	Samvinna við að auka hlut endurnýjanlegrar orku .....	157
12.7.5	Valkvæð kolefnisjöfnun - Kolviður.....	158
12.8	Valkostir Íslands varðandi viðskipti með losunarheimildir eftir 2020 .....	159
12.8.1	Stefna Íslands í loftslagsmálum eftir 2020 .....	159
12.8.2	Möguleikar á þátttöku í alþjóðlegum viðskiptum með losunarheimildir .....	160
12.8.3	Möguleikar vegna EES-samningsins og samstarfs við Evrópusambandið.....	161
13	Niðurstöður og samantekt.....	162
13.1	Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í fortíð.....	162
13.2	Útstreymi gróðurhúsalofttegunda til 2030.....	163
13.3	Mótvægisáðgerðir.....	163
13.3.1	Orkuframleiðsla.....	163
13.3.2	Samgöngur.....	164
13.3.3	Fiskveiðar .....	166
13.3.4	Fiskimjölsvinnsla.....	167
13.3.5	Iðnaður.....	167
13.3.6	Landbúnaður.....	169
13.3.7	Meðferð úrgangs.....	170
13.3.8	Landgræðsla, skógrækt og endurheimt votlendis .....	171
13.4	Samlegðaráhrif mótvægisáðgerða .....	172
13.4.1	Grunntilvik .....	172
13.4.2	Hátilvik.....	174
13.5	Kostnaður .....	177
13.6	Framboðsferill mótvægisáðgerða .....	178
14	Niðurlag.....	181
14.1	Þróun í losun gróðurhúsalofttegunda 1990 – 2014.....	181
14.2	Sviðsmyndir.....	181
14.3	Mótvægisáðgerðir og heildarmöguleikar til samdráttar í útstreymi gróðurhúsalofttegunda	181
14.4	Munu mótvægisáðgerðir skila tilætluðum árangri?.....	182
14.5	Kostnaður .....	183
14.6	Þjóðhagsleg áhrif áðgerða .....	183
14.7	Lokaorð .....	183

15	Heimildaskrá .....	184
15.1	Kaflar 1-11 .....	184
15.2	Heimildaskrá fyrir kafla 12 .....	192

## Myndir

Mynd 2-1. Losun gróðurhúsalofttegunda eftir tegund frá 1990 til 2014 án landnotkunar (LULUCF). 19	
Mynd 2-2. Losun gróðurhúsalofttegunda eftir tegund frá 1990 til 2014 með landnotkun (LULUCF). 19	
Mynd 2-3. Heildarlosun með og án bindingar vegna aðgerða eftir 1990. .... 20	
Mynd 2-4. Losun gróðurhúsalofttegunda eftir flokkum loftslagssamningsins. .... 21	
Mynd 2-5. Losun gróðurhúsalofttegunda, fólksfjölgun og hagvöxtur. .... 21	
Mynd 2-6. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda 1990 - 2014 án landnotkunar (LULUCF). .... 22	
Mynd 2-7. Hlutfallsleg losun gróðurhúsalofttegunda 1990 (til vinstri) og 2014 (til hægri). .... 23	
Mynd 2-8. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu. .... 23	
Mynd 2-9. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum. .... 24	
Mynd 2-10. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi. .... 25	
Mynd 2-11. Útstreymi vegna iðnaðarframleiðslu. .... 26	
Mynd 2-12. Útstreymi frá landbúnaði. .... 26	
Mynd 2-13. Útstreymi vegna meðferðar úrgangs. .... 27	
Mynd 2-14. Binding koltvísýrings vegna skógræktar og landgræðslu. .... 28	
Mynd 3-1. Heildarútstreymi með og án bindingar vegna landnotkunar árin 1990, 2014, í grunntilviki 2030 (G2030), miðtilviki (M2030) og hátílviki (H2030). .... 32	
Mynd 3-2. Hlutföll útstreymis árið 2014 (efst til vinstri) borin saman við tilvikin þrjú fyrir stöðu mála árið 2030. Efst til hægri er grunntilvik, neðst til vinstri er miðtilvik og neðst til hægri er hátílvik. .... 33	
Mynd 5-1. Hlutfall hita- og rafmagnsframleiðslu í heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda 2014. .... 36	
Mynd 5-2. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu 1990 – 2014. .... 37	
Mynd 5-3. Samanburður á útstreymi eftir orkugjöfum. Annars vegar eru þrír endurnýjanlegir orkugjafar og hinsvegar þrjár tegundir af jarðefnaeldsneyti (IPCC 2014). .... 38	
Mynd 5-4. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á framleidda kWh rafmagns á Íslandi, og nokkrum nágrannalöndum (Brander et al, 2011). .... 38	
Mynd 5-5. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu. .... 39	
Mynd 5-6. Spá um samdrátt í útstreymi koldíoxíðs með bindingu í basalt til ársins 2030. .... 42	
Mynd 5-7. Spá um samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá jarðvarmavirkjunum með framleiðslu á eldsneyti. .... 42	
Mynd 5-8. Spá um samdrátt í útstreymi koldíoxíðs frá raforkuframleiðslu með lífmassaframleiðslu. 43	
Mynd 5-9. Möguleikar á heildarsamdrætti í nettólosun CO <sub>2</sub> ígilda frá jarðvarmavirkjunum. .... 44	
Mynd 6-1. Útstreymi frá samgöngum sem hlutfall af heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2014. .... 46	
Mynd 6-2. Samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalausá þróun (BAU fólksbílar) vegna aukningar göngu og hjóleiða. .... 49	
Mynd 6-3. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda með innleiðingu hraðvagnakerfis. .... 52	

Mynd 6-4. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda með tilkomu léttlestarkerfis. ....	53
Mynd 6-5. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Samlegðaráhrif samgönguaðgerða. ....	57
Mynd 6-6. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Sparneytnari fólksbilar. ....	58
Mynd 6-7. Þróun í innleiðingu dísilfólksbíla á kostnað bensínbíla. ....	59
Mynd 6-8. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Dísilfólksbilar. ....	60
Mynd 6-9. Þróun íblöndunarhlutfalls lífdísilólú í hefðbundin dísil. ....	61
Mynd 6-10. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Íblöndun lífdísilólú í hefðbundinn dísil. ....	62
Mynd 6-11. Þróun íblöndunarhlutfalls alkóhóls í bensín. ....	63
Mynd 6-12 Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Íblöndun alkóhóls í hefðbundið bensín. ....	64
Mynd 6-13. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Íblöndun lífeldsneytis í hefðbundið bensín og dísil. ....	65
Mynd 6-14. Þróun í skráðum bifreiðum í árslok eftir orkugjafa 2005-2014. ....	66
Mynd 6-15. Þróun í rafbílavæðingu. ....	69
Mynd 6-16. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Rafbílavæðing. ....	70
Mynd 6-17. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Vetrnisbílavæðing. ....	71
Mynd 6-18. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: E85 bifreiðar. ....	72
Mynd 6-19. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Metanvæðing flutningabíla. ....	73
Mynd 6-20. Samantekt á niðurstöðum fyrir sviðsmyndir til 2030. Samdráttur í útstreymi 2030 og nettókostnaður á tonn CO <sub>2</sub> ígilda á tímabilinu 2015-2030. ....	76
Mynd 7-1. Hlutdeild sjávarútvegs af heildarútstreymi Íslands. ....	77
Mynd 7-2. Heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi árin 1990-2015. ....	78
Mynd 7-3. Þróun fiskveiðiflotans (stærð og fjöldi) árin 2000-2014. ....	79
Mynd 7-4. Heildaraflamagn eftir fisktegundum (Hagstofa Íslands). ....	80
Mynd 7-5. Heildaraflaverðmæti eftir fisktegundum (Hagstofa Íslands, Seðlabanki Íslands). ....	81
Mynd 7-6. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum árin 2000-2030. ....	82
Mynd 7-7. Orkutap á litlum togara (Wilson, 1999). ....	83
Mynd 7-8. Orkunotkun í siglingu og veiði eftir veiðarfærum (Björnsson 2004, Basurko et al 2013). .	83
Mynd 7-9. Meðalaldur fiskiskipa á Íslandi, EU og Noregi (Statistics Norway) árin 2008-13. ....	84
Mynd 7-10. Fiskaflamagn eftir veiðarfærum árin 2000-2013 (Hagstofan). ....	85
Mynd 7-11. Notkun fiskiskipa á landrafmagni árin 2006-2013. ....	87
Mynd 7-12. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda vegna fiskiskipa árin 2017-2030 – Sviðsmynd miðuð við notkun jurtaolíu í stað gasolíu, lífdísils og tilbúinnar gasolíu (hröð innleiðing) ....	90
Mynd 7-13. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda vegna fiskiskipa árin 2017-2030 – Sviðsmynd miðuð við notkun jurtaolíu í stað gasolíu, lífdísils og tilbúinnar gasolíu (hæg innleiðing). ....	91
Mynd 7-14. Olíunotkun og hráefnismóttaka árin 2000-2014. ....	92

Mynd 7-15. Orkunotkun eftir orkugjafa og olíunotkun á hráefnistonn í litrum 2003-2014. ....	93
Mynd 7-16. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskimjölsverksmiðjum árin 2009-2030. ....	94
Mynd 7-17. Forsendur um olíunotkun á hráefnistonn árin 2008-2030. ....	95
Mynd 7-18. Sviðsmynd – útstreymi gróðurhúsalofttegunda fiskimjölsverksmiðja árin 2009-2030.....	96
Mynd 8-1. Hlutfall landbúnaðar í heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2013. ....	97
Mynd 8-2. Heildarútstreymi frá landbúnaði, reiknað sem CO <sub>2</sub> ígildi og flokkað eftir tegund útstreymis. ....	98
Mynd 8-3. Heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði hér á landi og í nokkrum nágrennalöndum í tonnum af CO <sub>2</sub> ígildum á ári á íbúa (WRI, 2012).....	98
Mynd 8-4. Útstreymi frá meltingarfærum dýra hér á landi og í nokkrum nágrennalöndum í tonnum af CO <sub>2</sub> -ígilda á ári á íbúa (UNFCCC, 2012).....	99
Mynd 8-5. Spá um heildarútstreymi landbúnaðar á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO <sub>2</sub> ígildi.....	99
Mynd 8-6. Samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna aðgerða, þ.e. mismunur á afleiðingum þeirra aðgerða sem þegar hefur verið gripið til og þeirra aðgerða sem eru tæknilega mögulegar. ....	102
Mynd 9-1. Hlutfall úrgangs í heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2014.....	105
Mynd 9-2. Helstu leiðir fyrir meðferð úrgangs (Bogner et al., 2007). ....	106
Mynd 9-3. Þróun í heildarmagni úrgangs og magni úrgangs á hvern íbúa frá 1995-2013.....	106
Mynd 9-4. Samanburður á magni úrgangs á íbúa og magni úrgangs per landsframleiðslu. ....	107
Mynd 9-5. Hlutfall úrgangs eftir afsetningaraðferð á tímabilinu 1995-2013. ....	108
Mynd 9-6. Magn úrgangs eftir meðhöndlunaraðferðum. ....	109
Mynd 9-7. Heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda eftir meðhöndlunaraðferðum. ....	109
Mynd 9-8. Spá um magn úrgangs á Íslandi frá 2004-2030 eftir afsetningaraðferðum.....	112
Mynd 9-9. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi til ársins 2030.....	113
Mynd 10-1 Hlutfall iðnaðar og efnanotkunar í heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2014 ...	115
Mynd 10-2 Heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá iðnaði á tímabilinu 1990-2013 .....	116
Mynd 10-3. Útstreymi og magnframleiðslutölur í áliðnaði frá 2003-2014.....	118
Mynd 10-4. Spá um heildarútstreymi álframleiðslu á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO <sub>2</sub> -ígildum til 2030 (grunnsviðsmynd). ....	121
Mynd 10-5. Útstreymi frá járnblendiverksmiðju Elkem á Grundartanga og hlutfall lífmassa eldsneytis. ....	122
Mynd 10-6. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna járnblendiframleiðslu til ársins 2030. .	123
Mynd 10-7. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna efnanotkunar tímabilið 1990-2014.....	124
Mynd 10-8 Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna efnanotkunar til ársins 2030.....	125
Mynd 10-9. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá kísilverum árin 2017, 2020, 2025 og 2030 í grunn- og mið/há tilvikum. ....	126

Mynd 10-10. Spá um útstreymi frá orkufrekum iðnaði á tímabilinu 2015-2030 miðað við þrjú ólík tilvik .....	129
Mynd 11-1. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sex flokkum lands árin 1990 til 2014. ....	131
Mynd 11-2. Umfang allra landgræðsluaðgerða frá 1990 ásamt umfangi einstakra aðgerða. Aðhvarfslína er einnig sýnd (aðhvarf 1), fyrir heildarumfang landgræðsluaðgerða. Þessi lína er síðan notuð til að reikna kolefnisbindingu í grunntilviki. ....	132
Mynd 11-3. Samanlagt flatarmál allra landgræðsluaðgerða frá 1990 til 2014 ásamt BAU, BAU × 2 og BAU × 4 frá og með 2015 til ársins 2030 (hektarar).....	134
Mynd 11-4. Samanlögð heildarbinding allra landgræðsluaðgerða frá 1990 til 2014 ásamt BAU, BAU × 2 og BAU × 4 frá og með 2015 til ársins 2030. ....	134
Mynd 11-5. Samanlögð heildarbinding nýskógræktar frá 1990 til 2014 ásamt grunntilviki, mið- og hátilviki frá og með 2015 til ársins 2030. ....	135
Mynd 11-6. Binding gróðurhúsalofttegunda með endurheimt votlendis.....	137
Mynd 13-1. Heildarútstreymi árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvægisáðgerðum árið 2030. Grunntilvik. ....	164
Mynd 13-2. Heildarútstreymi árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvægisáðgerðum árið 2030. Hátilvik. ....	164
Mynd 13-3. Heildarútstreymi frá vegasamgöngum árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvægisáðgerðum árið 2030. ....	165
Mynd 13-4. Heildarútstreymi árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvægisáðgerðum árið 2030. ....	166
Mynd 13-5. Heildarútstreymi frá stóriðju árið 1990, árið 2030 í grunntilviki og árið 2030 í hátilviki. ....	168
Mynd 13-6. Heildarútstreymi árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvægisáðgerðum árið 2030 í grunntilviki og hátilviki.....	169
Mynd 13-7. Heildarútstreymi árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvægisáðgerðum árið 2030. ....	170
Mynd 13-8. Kostnaður við hverja mótvægisáðgerð (kr/tonn).....	178
Mynd 13-9. Kostnaður við hverja mótvægisáðgerð (kr/tonn) án dýrustu kostanna. ....	178
Mynd 13-10. Framboðsferill mótvægisáðgerða þar sem breidd súla endurspeglar mögulegt magn sem hægt er að binda með viðkomandi aðferð. ....	180
Mynd 13-11. Framboðsferill mótvægisáðgerða þar sem breidd súla endurspeglar mögulegt magn sem hægt er að binda með viðkomandi aðferð, en hámarks-kostnaður er 50 Evrur/tonnCO <sub>2</sub> . ....	180

## Töflur

Tafla 2-1. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda 1990 – 2014. ....	28
Tafla 3-1. Iðnaðarframkvæmdir sem liggja til grundvallar útstreymisreikningum fyrir tilvikin þrjú. .	30
Tafla 3-2. Útstreymi í grunntilviki, miðtilviki og hátilviki í hverjum geira borið saman við útstreymi ársins 1990 (UNFCCC 2016, spátilvik). ....	32
Tafla 5-1. Kostnaðarskilvirkni (kr. á tonn) og samdráttur í útstreymi (tonn CO <sub>2</sub> ígildi) vegna mótvægisáðgerða. ....	44
Tafla 6-1. Lengd hjólreiðastíga í nokkrum borgum í Evrópu (Pucher og Buehler, 2008 og Reykjavíkurborg 2015). ....	48
Tafla 6-2. Samdráttur og kostnaður 2030 fyrir uppbyggingu og rekstur innviða fyrir göngu og hjólreiðar. Neikvæður kostnaður þýðir að heildarávinningur sé af aðgerðunum miðað við gefnar forsendur. ....	49
Tafla 6-3. Samdráttur og kostnaður 2030 fyrir uppbyggingu og rekstur innviða fyrir hraðvagna. ....	51
Tafla 6-4. Samdráttur og kostnaður 2030 fyrir uppbyggingu og rekstur innviða fyrir léttlestir. ....	53
Tafla 6-5 Samdráttur og kostnaður 2030 fyrir uppbyggingu og rekstur innviða fyrir allar samgönguáðgerðir. ....	56
Tafla 6-6. Samdráttur og kostnaður 2030 vegna innleiðingar sparneytnari dísil- og bensín fólksbíla. ....	58
Tafla 6-7. Samdráttur og kostnaður frá 2030 vegna innleiðingar dísilfólksbíla á kostnað bensínfólksbíla. ....	59
Tafla 6-8. Samdráttur og kostnaður frá 2030 við íblöndun lífdísilólú í hefðbundinn dísil. ....	62
Tafla 6-9 Samdráttur og kostnaður frá 2015-2013 við íblöndun alkóhólstegunda í bensín. ....	63
Tafla 6-10. Samdráttur og kostnaður frá 2015-2013 við íblöndun lífelsesneysis í bensín og dísilólú. ....	64
Tafla 6-11 Metinn útblástur gróðurhúsalofttegunda í CO <sub>2</sub> ígildum eftir eldsneytistegund og stærð bifreiðar. ....	67
Tafla 6-12. Áætlaður kostnaður við nýja bifreiðatækni. ....	67
Tafla 6-13. Áætlaður kostnaður vegna áfyllingarstöðva fyrir nýja bifreiðatækni. ....	68
Tafla 6-14. Samdráttur og kostnaður 2030 við innleiðingu rafmagnsbíla. ....	69
Tafla 6-15. Samdráttur og kostnaður 2030 við innleiðingu vetnisbíla. ....	71
Tafla 6-16. Samdráttur og kostnaður 2030 við innleiðingu E85-bíla. ....	72
Tafla 6-17. Samdráttur og kostnaður 2030 við innleiðingu metanbíla. ....	73
Tafla 6-18 Samantekt á niðurstöðum umhverfislegrar skilvirkni fyrir sviðsmyndir í samgöngumálum. ....	75
Tafla 7-1. Vistvænir orkugjafar sem metnir hafa verið (Mannvit, óbirt skýrsla 2008). ....	86
Tafla 7-2. Forsendur til þess að meta fjárhagslega skilvirkni vistvænna orkugjafa. ....	88
Tafla 7-3. Fjárhagsleg og umhverfisleg skilvirkni áðgerða til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda árin 2017-2030. ....	89
Tafla 8-1. Samantekt á uppsöfnuðu útstreymi gróðurhúsalofttegunda og kostnaði við mótvægisáðgerðir. Neikvæður kostnaður þýðir að fjárhagslegur ávinningur sé af áðgerðum. ....	103

Tafla 9-1. Afsetningarleiðir úrgangs á Íslandi árið 2013.....	108
Tafla 9-2 Kostnaður afsetningarleiða úrgangs á núvirði. Kostnaðartölur innihalda stofnkostnað (Mannvit, 2009).....	114
Tafla 9-3 Samantekt á uppsöfnuðu útstreymi gróðurhúsalofttegunda á tímabilinu 2015-2030 og kostnaði fyrir mótvægisáðgerðir stjórnvalda. Neikvæður kostnaður þýðir að fjárhagslegur ávinningur er af áðgerðum.....	114
Tafla 10-1. Framleiðslugeta starfandi fyrirtækja í álframleiðslu og áætlað útstreymi gróðurhúsalofttegunda.....	117
Tafla 10-2. Útblástur vegna PFC-efna í þúsundum tonna CO <sub>2</sub> ígilda (International Aluminium Institute). .....	118
Tafla 10-3. Meðallosun koldíoxíðs frá álframleiðslu á árunum 2008-2012.....	119
Tafla 10-4. Fyrirhugaður innflutningur á kolefnisgjöfum vegna kísilmálmframleiðslu. ....	127
Tafla 10-5. Iðnaðarframkvæmdir sem liggja til grundvallar útstreymisreikningum fyrir þrjú tilvik. .	128
Tafla 11-1. Útstreymi vegna landnotkunar frá árinu 1990 til 2014 eftir flokkum (þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafngildi). ....	131
Tafla 11-2. Áætlað árlegt umfang landgræðslu (árleg ný svæði skv. aðhvarfslínu 1 á mynd 11-2) og árleg kolefnisbinding þeirra sem CO <sub>2</sub> (ný binding hvers árs) frá og með 2015 til ársins 2030. .	133
Tafla 11-3. Samanlagt heildarumfang landgræðslu frá 1990 (í hekturum) og heildarbinding kolefnis sem tonn CO <sub>2</sub> á ári í landgræðslu. ....	133
Tafla 11-4. Samanlögð heildarbinding kolefnis sem tonn CO <sub>2</sub> á ári í skógrækt og uppsafnað magn nýskógræktar (ha) með birki.....	135
Tafla 13-1. Heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi árin 1990 og 2014.....	162
Tafla 13-2. Taflan sýnir að heildarútstreymi miðað við gefnar forsendur gæti aukist frá 51-99% á milli 1990 og 2030, ef binding er undanskilin. ....	163
Tafla 13-3. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í grunntilviki auk mótvægisáðgerða í helstu geirum. 173	
Tafla 13-4. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í grunntilviki auk mótvægisáðgerða í helstu geirum án geira sem falla undir ETS kerfið. ....	174
Tafla 13-5. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í hátilviki auk mótvægisáðgerða. ....	175
Tafla 13-6. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í hátilviki auk mótvægisáðgerða í helstu geirum án geira sem falla undir ETS kerfið. ....	176
Tafla 13-7. Kostnaður helstu mótvægisáðgerða (kr/tonn CO <sub>2</sub> jafngildi) .....	177

# 1 Inngangur

Loftslagsbreytingar af mannavöldum eru eitt alvarlegasta umhverfisvandamál samtímans. Vandinn er hnattrænn, og tóku ríki heimsins saman höndum til að takast á við hann saman undir merkjum Rammasamnings Sameinuðu þjóðanna um Loftslagsbreytingar (UNFCCC). Samningurinn var samþykktur á Ráðstefnu Sameinuðu Þjóðanna í Ríó árið 1992. Rammasamningurinn innihélt þó ekki bindandi markmið um minnkun á losun gróðurhúsalofttegunda, en slík markmið voru sett í Kyoto-bókuninni sem samþykkt var árið 1995, og gekk í gildi árið 2005 við staðfestingu Rússlands. Ísland er aðili að Rammasamningnum og Kyoto-bókuninni og samkvæmt henni skuldbatt Ísland sig til þess að halda útstreymi gróðurhúsalofttegunda innan 10% hækkunar miðað við útstreymi ársins 1990 á fyrsta skuldbindingartímabili bókunarinnar (2008-2012). Auk þess tilkynnti Ísland að það myndi nýta sér ákvæði 14/CP7. Ákvæðið leyfði ríkjum að undanskilja útstreymi koldíoxíðs frá einstökum verkefnum í iðnaði að því tilskildu að útstreymi vegna verkefnisins sé meira en 5% af heildarútstreymi koldíoxíðs frá viðkomandi ríki árið 1990, að endurnýjanleg orka sé notuð, að bestu fánlegu tækni sé beitt og bestu umhverfisvenjur séu viðhafðar við framleiðsluna. Einnig þurfti útstreymi viðkomandi ríkis árið 1990 að vera minna en 0,05% af heildarútstreymi þeirra ríkja sem tilgreind eru í viðauka I við loftslagssamninginn. Annað tímabil Kyoto-bókunarinnar hófst árið 2013 og skuldbatt Ísland sig að halda útstreymi á öðru skuldbindingartímabili eða til ársins 2020 eigi hærra en 80% af losun ársins 1990.

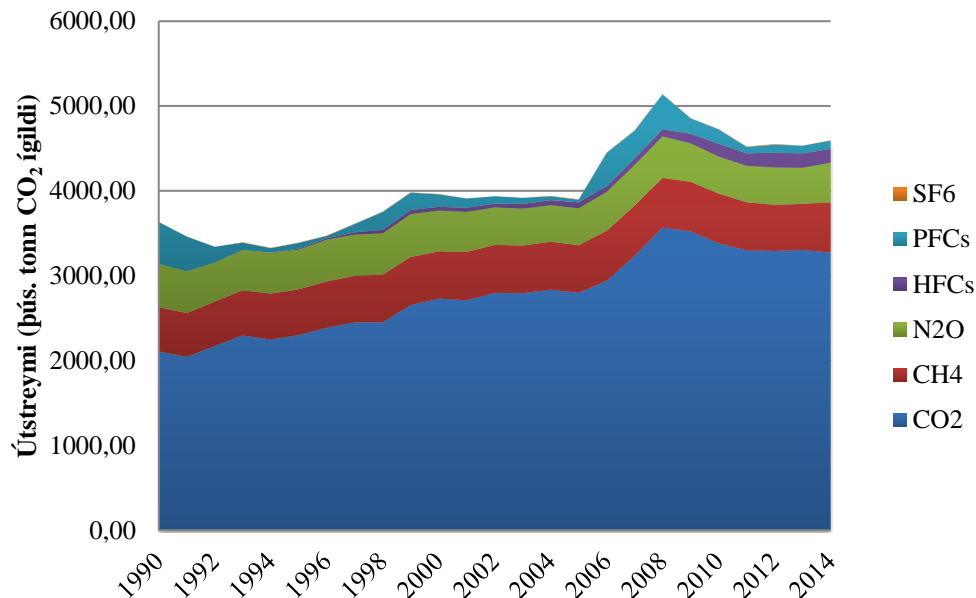
Kyoto-bókunin rennur út árið 2020 og reynt var að ná samningum um áframhaldið í Kaupmannahöfn árið 2009, en sú tilraun mistókst. Í París í desember 2015 tókst hins vegar að ná samkomulagi um áframhaldið en þar skuldbundu ríki sig til að draga nægilega úr losun til að halda hlýnun vel innan við 2°C hækkunar á þessari öld. Þann 4. nóvember 2016 öðlaðist Parísarsamkomulagið gildi þegar 30 dagar höfðu liðið frá því að 55 ríki höfðu fullgilt samkomulagið. Ísland er aðili að Parísarsamkomulaginu og fullgilti það 21. september 2016. Landsmarkmið Íslands er að taka þátt í markmiði Evrópusambandsins um að draga úr losun þannig að nettólosun ársins 2030 verði 40% lægri en útstreymi ársins 1990. Ísland ætlar að ná þessu markmiði annars vegar með að taka áfram þátt í viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir og hins vegar með að draga úr losun í þeim geirum sem ekki falla undir viðskiptakerfið sem og að auka bindingu kolefnis með landgræðslu, skógrækt og endurheimt votlendis. Íslensk stjórnvöld lögðu fram sóknaráætlun í loftslagsmálum í nóvember 2015 þar sem kynnt voru átta verkefni sem miða að því að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Auk þess voru lagðar fram hugmyndir um verkefni sem eiga annars vegar að draga úr losun á heimsvísu og hins vegar að styrkja innviði til að halda utan um málaflokkinn. Verkefni átta sem snúa að því að draga úr útstreymi innanlands eru:

- **Orkuskipti í samgöngum.** Aðgerðir miða að því að hlutfall visthæfra endurnýjanlegra orkugjafa verði 10% árið 2020.
- **Rafbílar – efling innviða á landsvísu.** Aðgerðir miða að því að styrkja innviði sem mikilvægir eru rafbílavæðingu svo sem uppsetningu hraðhleðslustöðva.
- **Vegvísir sjávarútvegs um samdrátt í losun.** Aðgerðir miða að því að draga úr losun um 40% í sjávarútvegi árið 2030 miðað við 1990.
- **Loftslagsvænni landbúnaður.** Unnið verður að því að setja fram vegvísi um samdrátt frá landbúnaði.
- **Efling skógræktar og landgræðslu.** Áætlað er að setja meira fjármagn í skógrækt og landgræðslu.
- **Endurheimt votlendis.** Áætlað er að setja á fót verkefni sem miðar að endurheimt votlendis.
- **Kolefnisjöfnun í ríkisrekstri.** Styrkja á verkefni sem stuðla að kolefnisjöfnun í ríkisrekstri.
- **Átak gegn matarsóun.** Efla á verkefni sem stuðla að minni matarsóun.

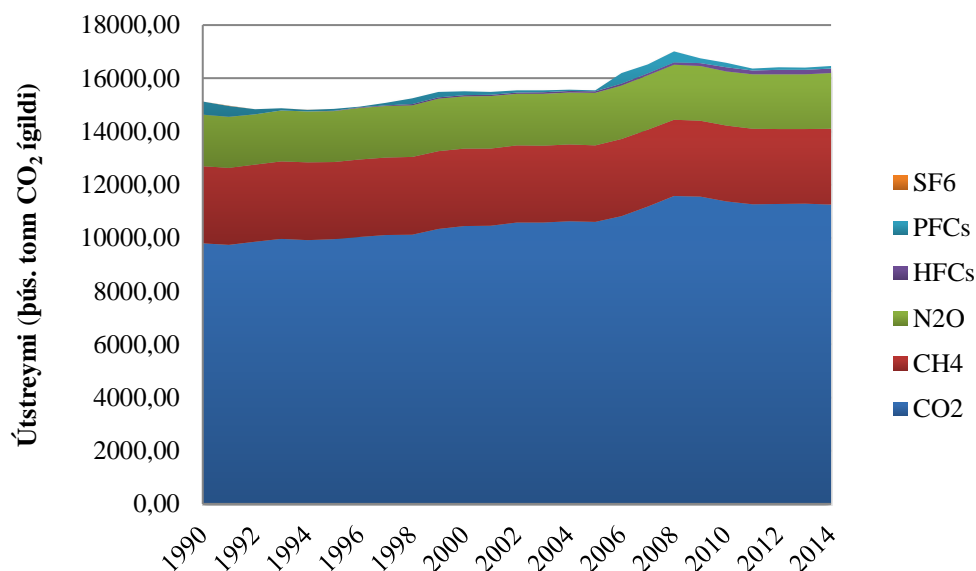
## 2 Gróðurhúsalofttegundir og útsreymi þeirra

### 2.1 Heildarlosun Íslands skv skiptingu loftslagssamningsins

Umhverfisstofnun heldur utan um losunarbókhald Íslands sem nær yfir þær gróðurhúsalofttegundir sem tilgreindar eru í Kyoto-bókuninni, þ.e. koldíoxíð (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), glaðloft (N<sub>2</sub>O), vetnisflúorkolefni (HFC), perflúorkolefni (PFC) og brennisteinshexaflúoríð (SF<sub>6</sub>). Heildarútsreymi þeirra er gefið upp í CO<sub>2</sub>-ígildum en lofttegundirnar hafa mismikil áhrif á hitastig. Svipað og í öðrum löndum er langstærsti hluti losunarinnar koldíoxíð, eða um 71% (sjá mynd Mynd 2-1).



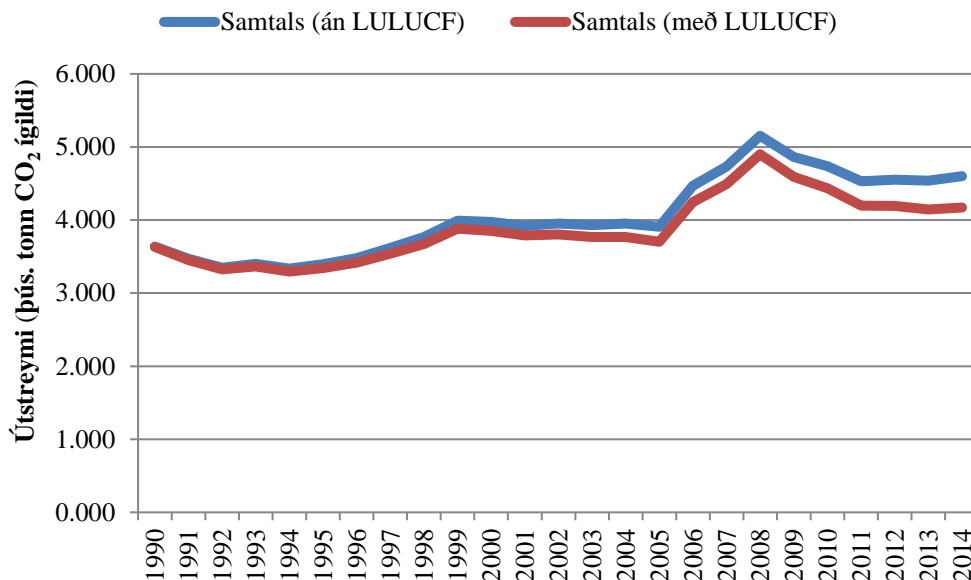
Mynd 2-1. Losun gróðurhúsalofttegunda eftir tegund frá 1990 til 2014 án landnotkunar (LULUCF).



Mynd 2-2. Losun gróðurhúsalofttegunda eftir tegund frá 1990 til 2014 með landnotkun (LULUCF).

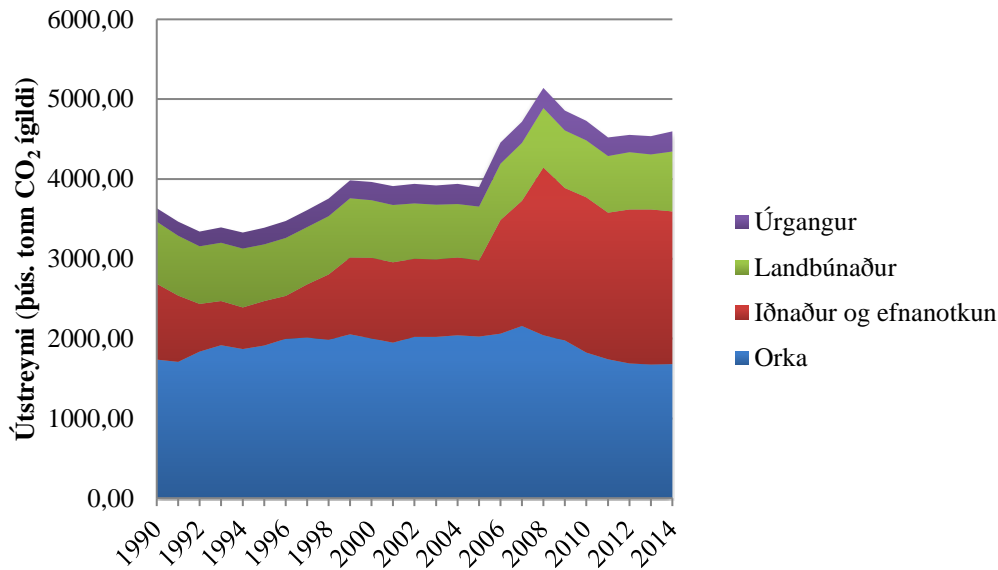
Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda árið 2014 var 4.600 Gg CO<sub>2</sub>-ígildi, og hafði þá aukist um 26% síðan 1990. Losun vegna landnotkunar, breyttrar landnotkunar og skógræktar (land-use, land-use change and forestry; LULUCF) sem átti sér stað fyrir árið 1990 reiknast ekki með í bókhaldi vegna Kyoto-bókunarinnar. Hér á landi er um umtalsverða losun að ræða, aðallega frá framræstu landi. Ef þessi losun er tekin með var heildarlosun Íslands mun meiri en sú losun sem fellur undir bókunina, eða 16.465Gg CO<sub>2</sub>-ígildi árið 2014, og hafði aukist um rúm 8% frá 1990 (sjá myndMynd 2-2). Ekki verður frekar fjallað um þessa losun hér í þessarri skýrslu, en mikilvægt er þó að halda til haga umfangi heildarlosunar landsins.

Binding í gróðri eða losun sem verður vegna athafna eftir 1990 reiknast hins vegar inn í bókhald vegna Kyoto-bókunarinnar. Nettó binding vegna skógræktar og landgræðslu nam 409 Gg CO<sub>2</sub> árið 2014. Mynd 2-3 sýnir glögg áhrif bindingar á heildarlosun skv bókhaldi Kyoto-bókunarinnar, þar sem losun án bindingar hafði aukist um rúm 26% ef miðað er við útstreymi ársins 1990, en með bindingu hafði nettólosun aukist um rúm 15% síðan 1990. Landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt hafa í heild síðan 1990 bundið um 2,6 (landgræðsla) og 1,6 milljónir tonna (skógrækt) CO<sub>2</sub>.



Mynd 2-3. Heildarlosun með og án bindingar vegna aðgerða eftir 1990.

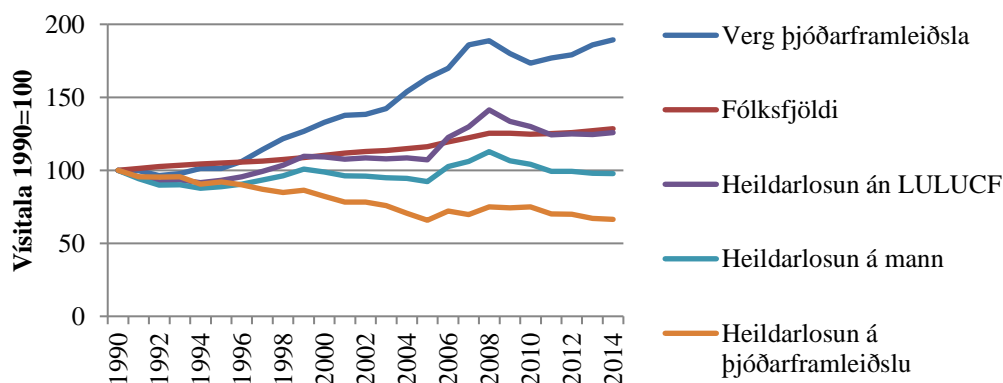
Í bókhaldi loftslagssamningsins er útstreymi gróðurhúsalofttegundanna skipt í sex flokka eftir eðli losunar en þeir eru: orka, iðnaðarferlar, efnanotkun, landbúnaður og úrgangur, auk útstreymis vegna landnotkunar, breyttrar landnotkunar og skógræktar (LULUCF). Mynd 2-4 sýnir breytingar á útstreymi eftir þessum flokkum frá 1990, að undanskilinni losun vegna landnotkunar, breytinga á landnotkun og skógrækt. Á myndinni má sjá að losun vegna orku, sem tekur til útstreymis vegna orkuframleiðslu sem og orkunotkunar, hefur minnkað um rúmlega 3% síðan 1990 og munar þar mestu um samdrátt í útstreymi frá sjávarútvegi sem hefur dregist saman um 43% síðan 1990. Losun frá landbúnaði hefur einnig minnkað um rúm 4%. Hins vegar hefur losun vegna úrgangs aukist um 52% og losun vegna iðnaðar og efnanotkunar aukist um 79%. Mestu munar þar um aukningu í útstreymi vegna álframleiðslu sem hefur aukist um 114% síðan 1990. Nánar verður fjallað um þessa geira síðar í skýrslunni.



Mynd 2-4. Losun gróðurhúsalofttegunda eftir flokkum loftslagssamningsins.

## 2.2 Útstreymi og drifkraftar

Oft getur verið nytsamlegt að skoða breytingar á útstreymi gróðurhúsalofttegunda í samhengi ytri drifkrafta, svo sem hagvaxtar eða fjölgunar íbúa, orkuverðs sem og ýmissa reglugerða sem áhrif hafa á breytingar á útstreymi. Mynd 2-5 sýnir annars vegar að þjóðarframleiðsla á föstu verðlagi, hefur aukist mun hraðar en losun gróðurhúsalofttegunda, en hins vegar hefur aukning á losun haldist í hendur við aukinn fólksfjölda á Íslandi. Þetta má glögg sjá á myndMynd 2-5, þar sem sést að heildarlosun á mann hefur nánast því staðið í stað síðan 1990, um 14 tonn á hvern einstakling, en losun á þjóðarframleiðslu dregist saman um 33% eða að meðaltali um 1,3% á ári. Þetta þýðir að nokkur afkolun (*e: decarbonization*) hagkerfisins hefur átt sér stað. Ef skoðaður er ferillinn í heild sinni má þó sjá að útstreymi á þjóðarframleiðslu dróst saman jafnt og þétt til ársins 2006, en eftir það hefur útstreymi staðið nokkuð í stað. Hrunárin 2008 til 2010 jókst útstreymi miðað við þjóðarframleiðslu lítillega og var það vegna þess að þjóðarframleiðsla dróst saman, en útstreymi ekki að sama skapi enda er t.d. útstreymi frá stóriðju fremur stöðugt.

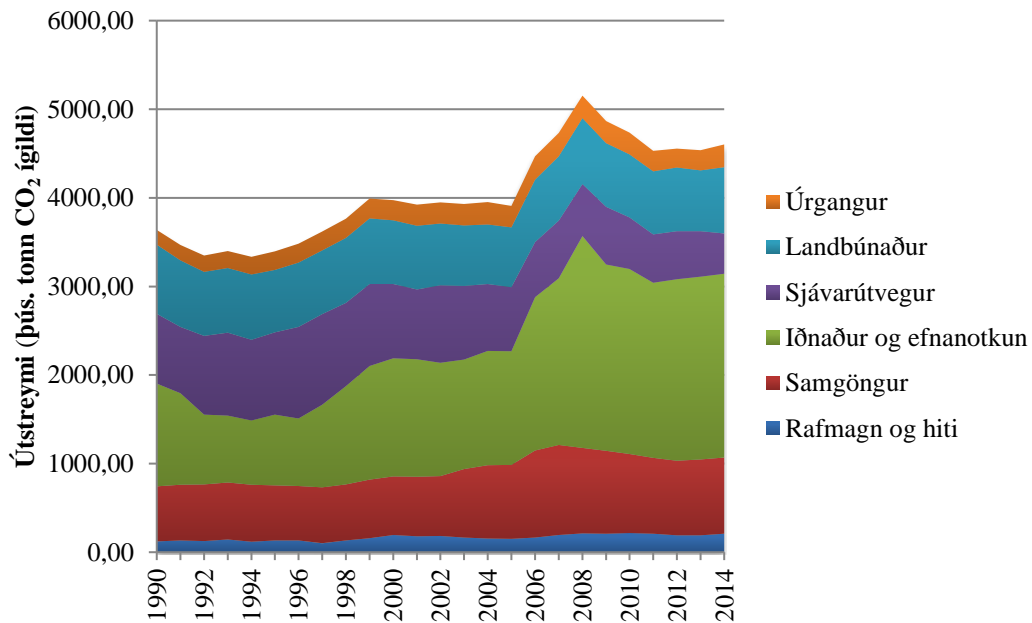


Mynd 2-5. Losun gróðurhúsalofttegunda, fólksfjölgun og hagvöxtur.

### 2.3 Losun einstakra geira frá 1990 til 2014

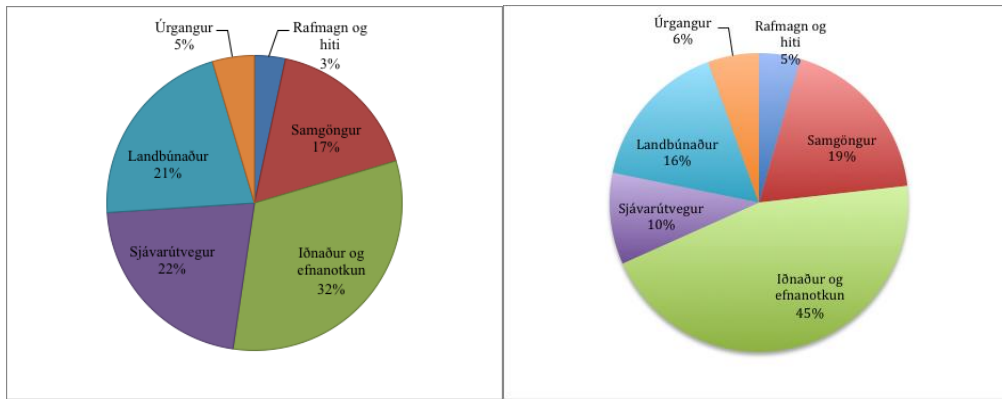
Eins og fram kemur hér að framan skiptir loftslagssamningur SP útstreymi í sex aðalflokka. Við þá greiningu sem hér er kynnt er útstreymi hins vegar skipt upp á örlítið annan hátt, sem hentar betur greiningu á möguleikum á að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. Flokkarnir sem hér eru notaðir eru:

- Rafmagn og hiti
- Samgöngur
- Sjávarútvegur
- Iðnaður og efnanotkun
- Landbúnaður
- Úrgangur
- Landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt (LULUCF)



Mynd 2-6. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda 1990 - 2014 án landnotkunar (LULUCF).

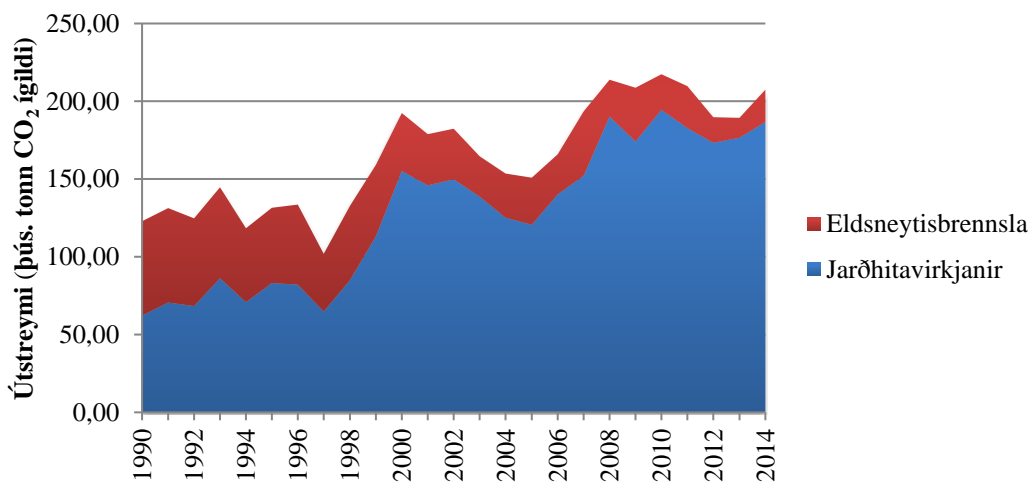
Mynd 2-6 sýnir hvernig útstreymi skiptist niður á þessa flokka frá 1990 til 2014, og verður hér að neðan fjallað stuttlega um hvern flokk fyrir sig. Eins og myndMynd 2-6 sýnir hefur útstreymi aukist mest í flokknum iðnaður og efnanotkun, eða um 79% síðan 1990, útstreymi frá raforkuframleiðslu hefur aukist um 69% og útstreymi frá samgöngum hefur aukist um 39%. Hlutfall losunar frá iðnaði og efnanotkun hefur því aukist hlutfallslega úr 32% í 45% árið 2014 eins og sést á myndMynd 2-7. Samgöngur einnig hafa aukið hlutdeild sína úr 17% í 19%, sem og hlutdeild rafmagns og hita úr 3% í 5% af heildarlosun. Hlutdeild sjávarútvegs og landbúnaðar hefur minnkað annars vegar í 10% og hins vegar í 16% frá 1990 þar sem útstreymi frá sjávarútvegi hefur minnkað um 43% og landbúnaði um 4% síðan 1990. Útstreymi vegna úrgangs jókst um 52% og hlutdeild úrgangs í heild jókst úr 5% í 6%. Hafa ber þó í huga að hér er ekki talin með losun vegna framræslu lands til ræktunar sem er umtalsverð.



Mynd 2-7. Hlutfallsleg losun gróðurhúsalofttegunda 1990 (til vinstri) og 2014 (til hægri).

### 2.3.1 Rafmagn og hiti

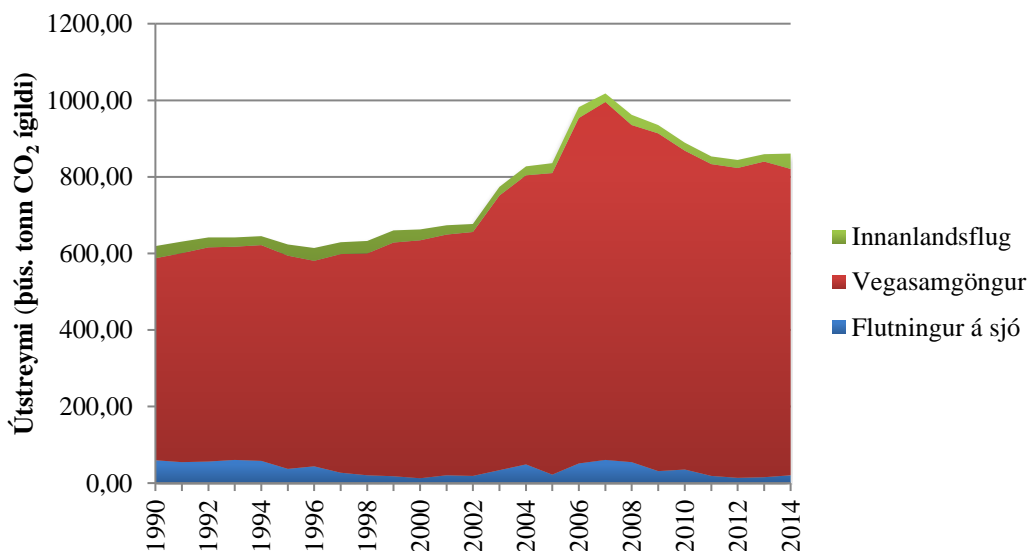
Yfir 99% íslenskrar raforkuframleiðsla kemur frá endurnýjanlegum orkuauðlindum, þ.e. jarðvarma og vatnsafla og um 90% heimila eru kynt með jarðvarma. Aðeins eru nokkur hús, sumarbústaðir og einstaka sundlaugar þar sem raforka er framleidd með dísilrafstöð og kynt er með eldsneyti. Er því útstreymi frá orkuframleiðslu á Íslandi fremur lítið miðað við önnur lönd eða um 5%. Eins og mynd Mynd 2-8 gefur til kynna skiptist útstreymi vegna orkuframleiðslu á milli útstreymis vegna rafmagnsframleiðslu jarðvarmavirkjana (90%) og bruna jarðefnaeldsneytis (10%). Heildarlosun vegna orkuframleiðslu hefur aukist um 69% síðan 1990 en útstreymi frá jarðvarmavirkjunum hefur aukist um 200% frá árinu 1990 vegna aukinnar framleiðslu rafmagns með jarðvarma en að meðaltali losar hver framleidd kWst um 59g CO<sub>2</sub>/kwh. Útstreymi vegna bruna jarðefnaeldsneytis hefur á sama tíma dregist saman um 66%. Í aðgerðaáætlun stjórnvalda frá 2010 til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda var ekki lagt upp með sértækar aðgerðir sem draga eiga úr útstreymi vegna rafmagnsframleiðslu en áhersla var lögð á tilraunaverkefni sem snúa að föngun koltvísýrings og bindingu eða nýtingu hans. Þessi tilraunaverkefni hafa gengið vel og því líklegt að útstreymi á kílóvattstund sem framleidd er með jarðvarma muni dragast saman á næstu árum þar sem Orkuveita Reykjavíkur og HS Orka fanga nú koltvísýring úr útstreymi sínu og annars vegar binda í jarðlög á Hellisheiði og hins vegar nýta til framleiðslu metanóls í verksmiðju Carbon Recycling International.



Mynd 2-8. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu.

### 2.3.2 Samgöngur

Samgöngur voru ábyrgar fyrir um 19% af heildarútsreymi Íslands árið 2014. Útsreymið árið 2014 skiptist í útsreymi vegna innanlandsflugs (5%), strandsiglinga (2%) og vegasamgangna (93%). Hafa þessi hlutföll breyst nokkuð síðan 1990, en það ár voru strandsiglingar með 10% útsreymis en vegasamgöngur um 85%. Hlutdeild innanlandsflugs árið 1990 var það sama og árið 2014 eða 5%. Í heildina jókst útsreymi frá samgöngum um 39% milli 1990 og 2014 eða úr 608 þúsund tonnum árið 1990 í 861 þúsund tonn árið 2014. Útsreymi frá innanlandsflugi jókst um 27% á tímabilinu, og munar þar mestu um aukningu í útsreymi upp á rúm 100% milli 2013 og 2014. Útsreymi frá vegasamgöngum jókst frá 1990 til 2014 um 52%. Eins og sjá má á myndMynd 2-9, varð aukningin mest frá 2002 til 2007, en síðan 2007 hefur útsreymi frá vegasamgöngum dregist saman um 14%. Samdráttinn í útsreymi vegna vegasamgangna má skýra að hluta til með samdrætti í akstri vegna efnahagsþrenginga og að hluta vegna þróunar í sparneytni nýrra bifreiða á heimsvísu (Umhverfisstofnun, 2014). Þess að auki beindist aðgerðaáætlun í loftslagsbreytingum frá árinu 2010 að nokkru leyti að útsreymi frá samgöngum. Aðgerðaáætlunin gerði ráð fyrir að sett yrði kolefnisgjald á fljótandi eldsneyti, áætlað var að breyta sköttum og gjöldum á bifreiðar, að almenningssamgöngur og hjólréiðar yrðu eflaðar, auk þess að stjórnvöld áætluðu að fjárfesta í sparneytnum og vistvænum bifreiðum. Margt af þessu hefur gengið eftir. Kolefnisgjald var sett á árið 2009, vörugjöld af bifreiðum síðan 2011 miðast við losun koltvísýrings, og virðisaukaskattur felldur m.a. niður af rafbílum. Einnig hafa innviðir til hjólréiða á höfuðborgarsvæðinu verið eflaðir og notkun almenningssamgangna hefur aukist. Líklegt má telja að þessar aðgerðir stjórnvalda sem og sveitarfélaga hafi dregið úr aukningu á útsreymi gróðurhúsalofttegunda eftir árið 2011 þegar hagkerfið tók við sér á ný eftir efnahagshrunið árið 2008. Aðgerðaáætlunin frá 2010 gerir ráð fyrir að útsreymi frá samgöngum verði undir 750 þúsund tonn árið 2020. Mikilvægt er að aðgerðir stjórnvalda haldi áfram til að sá árangur náist.

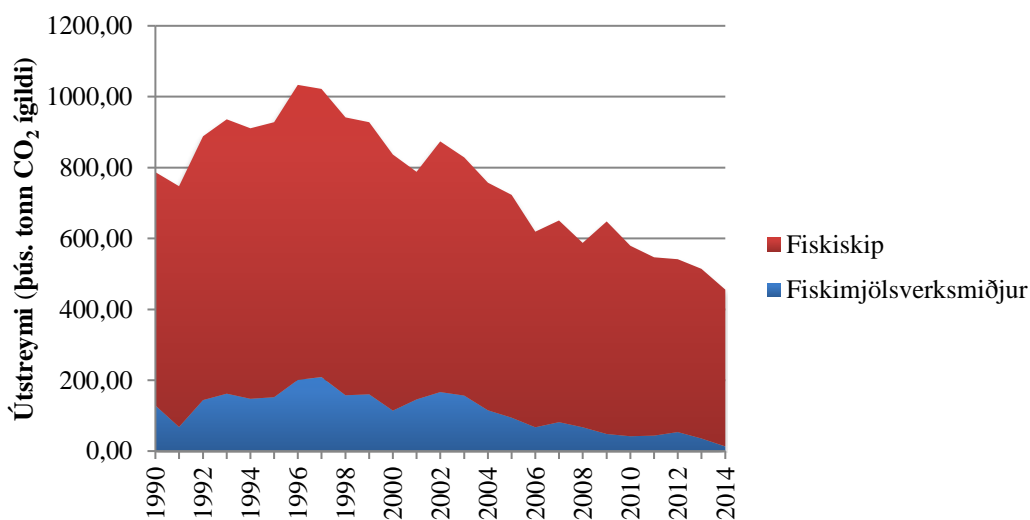


Mynd 2-9. Útsreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum.

### 2.3.3 Sjávarútvegur

Sjávarútvegur var ábyrgur fyrir um 10% af heildarútsreymi Íslands árið 2014 en 22% árið 1990. Útsreymið árið 2014 skiptist í útsreymi vegna fiskiskipa (98%) og fiskimjölverksmiðja (2%) eins og sjá má á myndMynd 2-10. Hafa þessi hlutföll breyst nokkuð síðan 1990, en það ár voru fiskiskip ábyrg

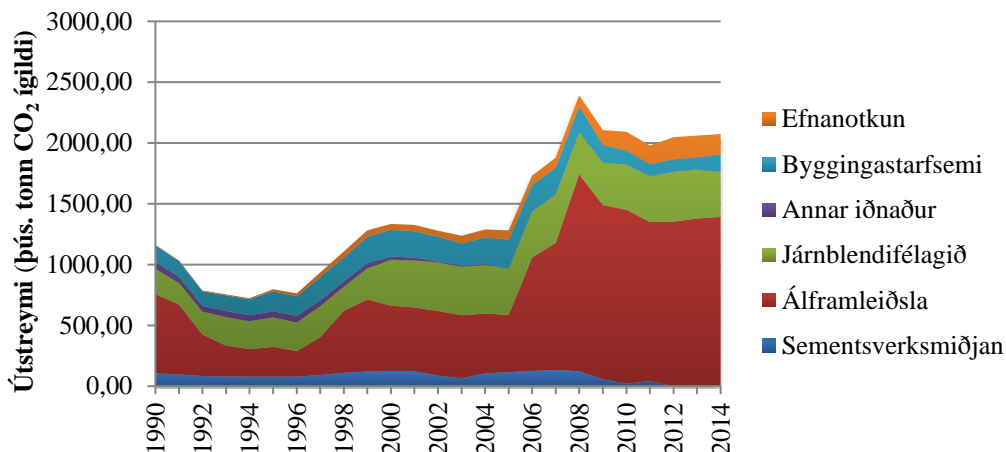
fyrir um 84% útstreymis en fiskimjölsværksmiðjur um 16%. Í heildina dróst útstreymi saman frá sjávarútvegi um 43% milli 1990 og 2014. Útstreymi frá fiskimjölsværksmiðjum jókst milli 1990 og 1997, en hefur síðan dregist saman og hefur í heildina dregist saman um 95% síðan 1990. Samdráttur síðustu ár hefur aðallega átt sér stað vegna rafvæðingar værksmiðjanna. Útstreymi frá fiskiskipum jókst milli 1990 og 1997, þegar sókn á fjarlæg mið var sem mest, en hefur dregist saman síðan. Heildarsamdráttur á milli 1990 og 2014 var 33%. Hátt olíuverð, samþjöppun í greininni og minnkandi heildarafli sem og aukin skilvirkni eru helstu skýringar á þessari þróun frá 1997. Aðgerðaáætlun stjórnvalda frá 2010, lagði áherslu á samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi m.a. með aukinni notkun lífoldsneytis hjá fiskiskipum og með rafvæðingu fiskimjölsværksmiðja en gert var ráð fyrir að útstreymi frá geiranum yrði undir 450 þúsund tonnum árið 2020. Líklegt má telja að það markmið náist. Væntingar um rafvæðingu fiskimjölsværksmiðja hafa gengið eftir með tilheyrandi samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda en notkun lífoldsneytis hjá fiskiskipum hefur þó ekki aukist að neinu marki.



Mynd 2-10. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi.

### 2.3.4 Iðnaður og efnanotkun

Flokkurinn iðnaður og efnanotkun nær til útstreymis vegna iðnaðarferla, eldsneytisnotkunar í iðnaði og efnanotkunar. Útstreymið árið 2014 skiptist í útstreymi vegna álframleiðslu (67%), járnblendis (18%), byggingarstarfsemi (7%) og efnanotkunar (8%), en í dag fellur útstreymi frá stóriðju undir viðskiptakerfi ESB um losun gróðurhúsalofttegunda. Í heildina jókst útstreymi í flokknum úr 1.162 þúsund tonnum árið 1990 í 2.074 þúsund tonn árið 2014, eða um 79%. Útstreymi frá áliðnaði dróst saman frá 1990 til 1996 en hefur aukist síðan (sjá mynd Mynd 2-11). Samdráttinn á árunum 1990 til 1996 má rekja til minna útstreymis PFC frá áliðnaði vegna skilvirkari framleiðslustýringar, en PFC myndast við spennur í álverum. Frá 1997 hefur orðið mikil framleiðsluaukning í áliðnaði hérlendis en á tímabilinu var álverið í Straumsvík stækkað, álverksmiðja Norðuráls gangsett og árið 2007 tók Fjarðarál á Reyðarfirði til starfa. Vegna þessarar framleiðsluaukningar, og þrátt fyrir að losun gróðurhúsalofttegunda á framleitt tonn af áli hafi minnkað umtalsvert, sem er að meðaltali með því minnsta sem gerist í heiminum í dag, eða um 1,64 tonn CO<sub>2</sub> eq/tonn af áli, jókst útstreymi vegna álframleiðslu um 114% frá 1990. Mikilvægt er þó að benda á að á sama tíma jókst framleiðsla úr í 88 þúsund tonnum í 839 þúsund tonn. Útstreymi vegna framleiðslu járnblendis jókst úr 208 þúsund tonnum árið 1990 í 367 þúsund tonn árið 2014, eða um 76%. Var sú aukning vegna framleiðsluaukningar, en framleiðsla ársins 2014 var 108 þúsund tonn. Útstreymi sem og framleiðsla minnkuðu þó um 9% á milli 2013 og 2014.

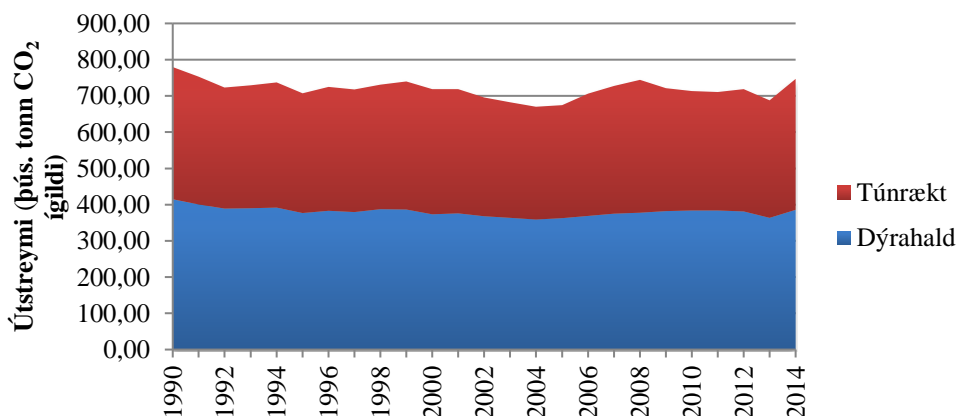


Mynd 2-11. Útstreymi vegna iðnaðarframleiðslu.

Útstreymi vegna sementsframleiðslu minnkaði úr 103 þúsund tonnum árið 1990 í ekkert árið 2014 þar sem Sementsverksmiðjan á Akranesi lokaði árið 2011. Útstreymi frá mannvirkjagerð jókst lítillega, eða um 6,5%. Efnanotkun er að mestu útstreymi vegna HFC efna sem eru notuð í kælimiðlum og brennisteinshexaflúríðs (SF6) sem notað er sem neistavari í rafbúnaði, en þessi efni eru 97% af heildarlosun vegna efnanotkunar. Innflutningur HFC efna hófst um 1993 þegar dregið var úr notkun ósón-eyðandi efna. Í mun minna magni er útstreymi vegna notkunar leysiefna, en þau eru um 3% af heildarlosun vegna efnanotkunar og hefur magn þeirra að mestu staðið í stað síðan 1990. Í heildina hefur útstreymi vegna efnanotkunar aukist frá 5 þúsund tonnum 1990 í 171 þúsund tonn árið 2014.

### 2.3.5 Landbúnaður

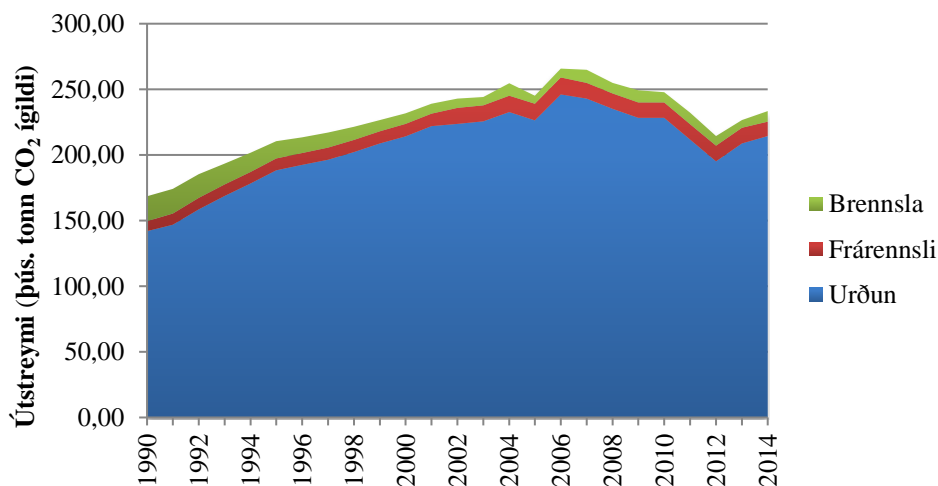
Útstreymi frá landbúnaði minnkaði um 4% á milli 1990 og 2014 en eins og sjá má á myndMynd 2-12 hefur losun frá geiranum haldist nokkuð stöðug síðan 1990 og var 747 þúsund tonn árið 2014. Skiptist útstreymið á milli dýrahalds (52%) og túnræktar (48%). Minnkun í útstreymi má aðallega rekja til þess að útstreymi vegna dýrahalds dróst saman um 7% frá 1990. Má það aðallega rekja til breytinga á fjölda búfjár þrátt fyrir að fjöldi nautgripa stóð nánast því í stað þá fækkaði sauðfé um 11%. Í aðgerðaáætlun stjórnvalda frá 2010 var búist við að útstreymi frá landbúnaði gæti orðið um 500 þúsund tonn árið 2020 en ekki var gripið til sérstakra aðgerða til að ná því takmarki fyrir utan áherslu á að skoða aðgerðir svo sem vinnslu metans frá hauggasi. Líklegt er að því takmarki verði ekki náð án sérstakra aðgerða.



Mynd 2-12. Útstreymi frá landbúnaði.

### 2.3.6 Meðferð úrgangs

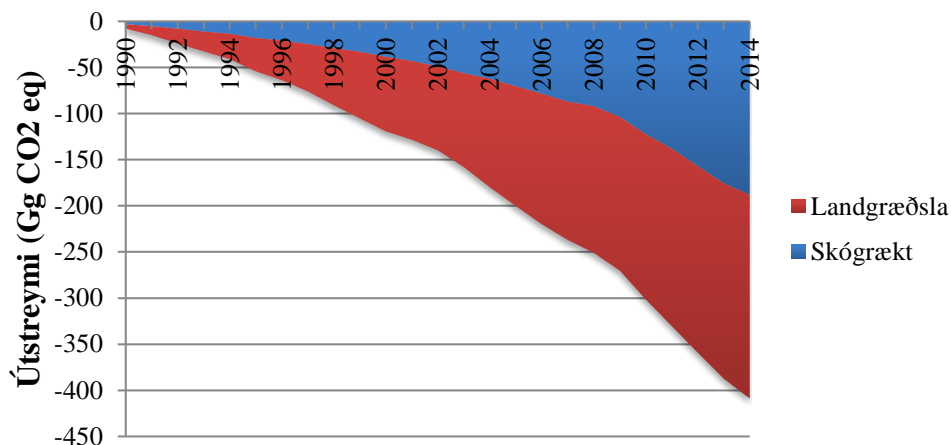
Útstreymi vegna meðferðar úrgangs má rekja til frárennslis (5%) annars vegar og urðunar (92%) og brennslu (3%) hins vegar (myndMynd 2-13). Í heildina jókst útstreymi um 52% frá árinu 1990 til 2014. Útstreymi vegna brennslu minnkaði um 57%, en útstreymi vegna urðunar jókst um 64% og vegna frárennslis um 63%. Magn og útstreymi urðaðs úrgangs minnkaði eftir efnahagshrunið 2008, en hefur aukist á ný síðan 2012. Ekki var gripið til sérstakra ráðstafana í aðgerðaáætluninni frá 2010 til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda frá meðferð úrgangs þar sem búist var við að draga muni úr útstreymi vegna almennrar stefnu og lagasetningar sem leiða muni til minni úrgangs, auknu hlutfalli endurvinnslu og banni á urðun á lífrænum úrgangi.



Mynd 2-13. Útstreymi vegna meðferðar úrgangs.

### 2.3.7 Landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt (LULUCF)

Breytingar á útstreymi vegna landnýtingar hérlendis vegna skógræktar og landgræðslu frá 1990, koma til frádráttar frá annarri losun landsins þar sem binding CO<sub>2</sub> á sér stað. Frá 1990 hefur binding vegna skógræktar og landgræðslu aukist jafnt og þétt (myndMynd 2-14). Hefur landgræðsla bundið 2,6 milljónir tonna og skógrækt 1,6 milljónir tonna CO<sub>2</sub> samanlagt frá 1990 til 2014, og var nettóbinding ársins 2014 um 429 þúsund tonn. Aðgerðaáætlunin um samdrátt í gróðurhúsalofttegundum frá 2010 lagði áherslu á aukna bindingu með landgræðslu og skógrækt og gerði ráð fyrir að bundin yrðu um 775 þúsund tonn árið 2020. Ljóst er að auka þarf bindingu umtalsvert til að það takmark náist. Aðgerðaáætlunin frá 2010 að auki lagði til að votlendi yrði endurheimt til að draga úr nettólosun. Ekki hefur verið ráðist með skipulögðum hætti í slíkar aðgerðir enn.



Mynd 2-14. Binding koltvísyrings vegna skógræktar og landgræðslu.

### 2.3.8 Samantekt

Í heildina hefur útstreymi gróðurhúsalofttegunda aukist um 26% síðan 1990 ef nettóbinding vegna landnotkunar er ekki tekin með. Aukningin er um 15% ef nettóbinding er tekin með. Eins og sést í töfluTafla 2-1 hefur útstreymi aukist mest frá iðnaði og efnanotkun, bæði ef talið er í tonnum sem og prósentum. Samdráttur í útstreymi var mestur frá sjávarútvegi, bæði í tonnum sem og prósentum. Binding hefur dregið verulega úr nettóútstreymi yfir tímabilið og var 429 þúsund tonn árið 2014. Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum frá 2010 miðaði að því að útstreymi án stóriðju og án bindingar yrði 9% lægra árið 2020 en árið 1990 og 32% lægri án stóriðju og með bindingu. Útstreymi ársins 2014 án stóriðju var þó 6% hærra en útstreymi ársins 1990, en 9% lægra ef binding er tekin með. Ljóst er að nokkur árangur hefur náðst svo sem í samgöngum og sjávarútvegi en mikilvægt er að tryggja áframhaldandi árangur í þessum geirum. Einnig er ljóst að frekari aðgerða er þörf í t.d. landbúnaði og bindingu með landgræðslu, skógrækt eða endurheimt votlendis.

Tafla 2-1. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda 1990 – 2014.

	1990	2014	Breyting (þúsund tonn) frá 1990	Breyting (%) frá 1990
<b>Samtals (án LULUCF)</b>	3638	4595	963	26
<b>Samtals (með LULUCF)</b>	3630	4172	541	15
<b>RAFMAGN OG HITI</b>	123	207	85	69
<b>SAMGÖNGUR</b>	619	861	242	39
<b>IÐNAÐUR OG EFNANOTKUN</b>	1162	2074	913	79
<b>SJÁVARÚTVEGUR</b>	787	450	-337	-43
<b>LANDBÚNAÐUR</b>	780	748	-32	-4
<b>ÚRGANGUR</b>	168	255	88	52
<b>LANDNOTKUN (nettóbinding)</b>	-7	-429	-429	-

### 3 Sviðsmyndir útstreymis til 2030

#### 3.1 Aðferðafræði og helstu forsendur

Þegar framtíðarmöguleikar til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda eru ígrundaðir þurfa fyrst að liggja fyrir sviðsmyndir fyrir útstreymi gróðurhúsalofttegunda, miðað við afskiptalaus eða venjubundna þróun, svokölluð grunnspá eða grunnsviðsmynd. Með útstreymi miðað við afskiptalaus þróun er átt við að hvorki stjórnvöld, einstaklingar né fyrirtæki grípi til sérstakra aðgerða til að draga úr útstreymi umfram þær aðgerðir sem þegar eru til staðar. Slík spá tekur því mið af lögum og reglum sem eru í gildi á þeim tíma sem spáin er unnin. Jafnframt er gert ráð fyrir því að framvinda tækniþróunar sé eðlileg, án stöðnunar eða byltinga.

Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda í einstökum geirum til ársins 2030 sem hér er lögð fram byggist aðallega á tveimur þáttum. Þessir þættir eru annars vegar nýjasta eldsneytisspá Orkuspárnefndar frá árinu 2016, og þeim forsendum sem þar eru lagðar til grundvallar (Orkuspárnefnd 2016) og hins vegar breytingar í umsvifum stóriðju. Því er hér með vísað í forsendur eldsneytisspárinnar hvað varðar breytingar í eldsneytisnotkun í m.a. samgöngum og sjávarútvegi. Box 1 sýnir þær forsendur sem almennar eru og sem breytast ekki milli tilvika. Vakin er athygli á því að útstreymi vegna millilandaflugs eða flutningum á sjó milli landa er ekki metið í þessarri skýrslu.

#### **Box 1. Helstu almennar forsendur sem eiga við öll tilvik**

**Forsendur varðandi hagvöxt, fólksfjölda og notkun eldsneytis eru fengnar úr aðalspá eldsneytisspár Orkuspárnefndar (Orkuspárnefnd 2016):**

Hagvöxtur: 2,5% árið 2025; 2,5% árið 2030

Fólksfjöldi: 346.213 íbúar árið 2020; 377.699 íbúar árið 2050

Eldsneytisverð: Verð á hráolíu á föstu verðlagi 79 USD/tunnu árið 2020; 106 USD/tunnu árið 2030. Gert er ráð fyrir að verð á olíu innanlands fylgi þessari verðþróun.

#### **Vegasamgöngur, notkun tækja í byggingariðnaði, flug og skipaflutningar**

Bifreiðatíðni eftir aldri stendur í stað hjá körlum en hækkar hjá konum

Akstur fólksbíla: 12.200 km/bíl árið 2016; 12.000 km/bíl árið 2025

Fjöldi sendibíla og hópferðabíla fylgir landsframleiðslu. Fjöldi vörubíla fylgir landsframleiðslu, þó einu prósentustigi hægar.

Akstur millistórra flutningabíla: 12.200 km/bíl árið 2016; 12.000 km/bíl árið 2025

Akstur stórra flutningabíla: 25.200 km/bíl árið 2016; 26.000 km/bíl árið 2025

Notkun tækja, margföldunarstuðull landsframleiðslu: 0,5 árið 2025

Aukning innanlandsflugs, fólksflutningar: Fylgir fólksfjölda

Skipaflutningar innanlands, aukning; 0%

#### **Fiskveiðar:**

Fiskafli vaxi skv. S-ferli upp í langtímaafli. Nær 50% frávíksins á 8 árum.

Olíunotkun til veiða fylgir hlutfalli afla

Minnkuð orkunotkun vélbáta: 3% til 2020, 10% til 2030

Minnkuð orkunotkun togskipa sem og loðnu-, síldveiði- og kolmunaskipa: 3% til 2020, 10% til 2030

hagkerfisins hafa einstakar framkvæmdir í stóriðju mikil áhrif á heildarútsreymi. Það skiptir því miklu máli hvaða forsendur eru hafðar til hliðsjónar varðandi framleiðslu, sérstaklega á áli og nýjum iðnaði, svo sem í kísilverum. Til að spá fyrir um breytingar á heildarútsreymi frá stóriðju var notast við þrjú tilvik, grunntilvik, miðtilvik og hátilvik. Grunntilvikið nýtir sömu forsendur og lagðar eru til grundvallar í eldsneytisspá Orkuspárnefndar. Þar er ekki gert ráð fyrir neinni uppbyggingu umfram þann iðnað sem þegar er starfandi auk kísilvers PCC á Bakka. Starfsemi United Silicon í Helguvík hefur þegar hafist og bygging kísilversins á Bakka er hafin en stefnt er á gangsetningu árið 2017. PCC Bakki mun hafa framleiðslugetu um 33.000 tonn í fyrsta áfanga sem lýkur 2017. Seinni áfanga lýkur árið 2020 og verður þá framleiðslugeta kísilversins um 66.000 tonn. Framleiðslugeta kísilversins verður 100.000 tonn og mun haldast óbreytt út spátímam, eða til 2030. Gert er ráð fyrir að framleiðsla álfyrirtækjanna sem og járnblendiverksmiðjunnar við Grundartanga haldist stöðug.

Í miðtilviki er gert ráð fyrir að tvö kísilver til viðbótar hafi hafið framleiðslu árið 2020. Kísilver Thorsil, einnig í Helguvík, mun hefja framleiðslu 2017 uppá 55.000 tonn. Seinni áfanga lýkur árið 2022 og gert er ráð fyrir að þá verði framleiðslugetan um 110.000 tonn. Kísilver Silicor Materials á Grundartanga mun taka til starfa árið 2020 en útsreymi mun vera óverulegt og því er framleiðsla þess ekki talin fram í töflu Tafla 3-1. Eins og í grunntilviki er gert ráð fyrir að framleiðsla annarrar stóriðju haldist stöðug.

Allar forsendur miðtilviksins eru einnig notaðar við hátilvikið en til viðbótar er gert ráð fyrir að Rio Tinto Alcan ljúki fyrirætlaðri stækkun sinni árið 2020 og gert er ráð fyrir að Norðurál auki framleiðslu úr 300.000 tonnum í 360.000 tonn árið 2017. Tvær stækkanir verða hjá Alcoa Fjarðaál í hátilviki. Framleiðslugetan fer því úr 340.000 tonnum í 367.000 tonn árið 2020 og eykst aftur í 556.000 tonn árið 2030. Þar að auki bætist við eitt nýtt álver með framleiðslugetu upp á 215.000 tonn sem mun hefja framleiðslu árið 2030. Tafla 3-1 sýnir þær verksmiðjur sem teknar eru inn í hvert tilvik fyrir sig og box 2 sýnir þá framleiðslu sem leiðir til útsreymis í hverju tilviki fyrir sig.

Framleiðsluaukning í stóriðju hefur í för með sér aukna framleiðslu á rafmagni og því aukningu í útsreymi vegna orkuframleiðslu. Gert er ráð fyrir að 71% aukningar í raforkuframleiðslu komi frá vatnsafla og 29% frá jarðvarma, það er að núverandi hlutfallsskipting jarðvarma og vatnsafls haldi sér.

**Tafla 3-1. Iðnaðarframkvæmdir sem liggja til grundvallar útsreymisreikningum fyrir tilvikin þrjú.**

Fyrirtæki	Staður	Grunnspá	Miðspá	Háspá
<b>Rio Tinto Alcan</b>	Straumsvík	X	X	X
<b>Alcoa Fjarðaál</b>	Reyðarfirði	X	X	X
<b>Norðurál</b>	Grundartanga	X	X	X
<b>ELKEM</b>	Grundartanga	X	X	X
<b>PCC</b>	Bakka	X	X	X
<b>United Silicon</b>	Helguvík	X	X	X
<b>Thorsil</b>	Helguvík		X	X
<b>Silicor Materials</b>	Grundartanga		X	X
<b>Nýtt álver</b>	NA			X

**Box 2. Forsendur í framleiðslu í járnbendi, áli og kísil.****Tilvik 1: grunntilvik**

Járnbendi: 120.000 tonn til 2030

Álfraframiðsla: 790.000 tonn til 2030

Kísilframiðsla: 166.000 tonn 2020; 166.00 tonn til 2030

**Tilvik 2**

Járnbendi: 120.000 tonn til 2030

Álfraframiðsla: 790.000 tonn til 2030

Kísilframiðsla: 221.000 tonn 2020; 276.00 tonn til 2030

**Tilvik 3**

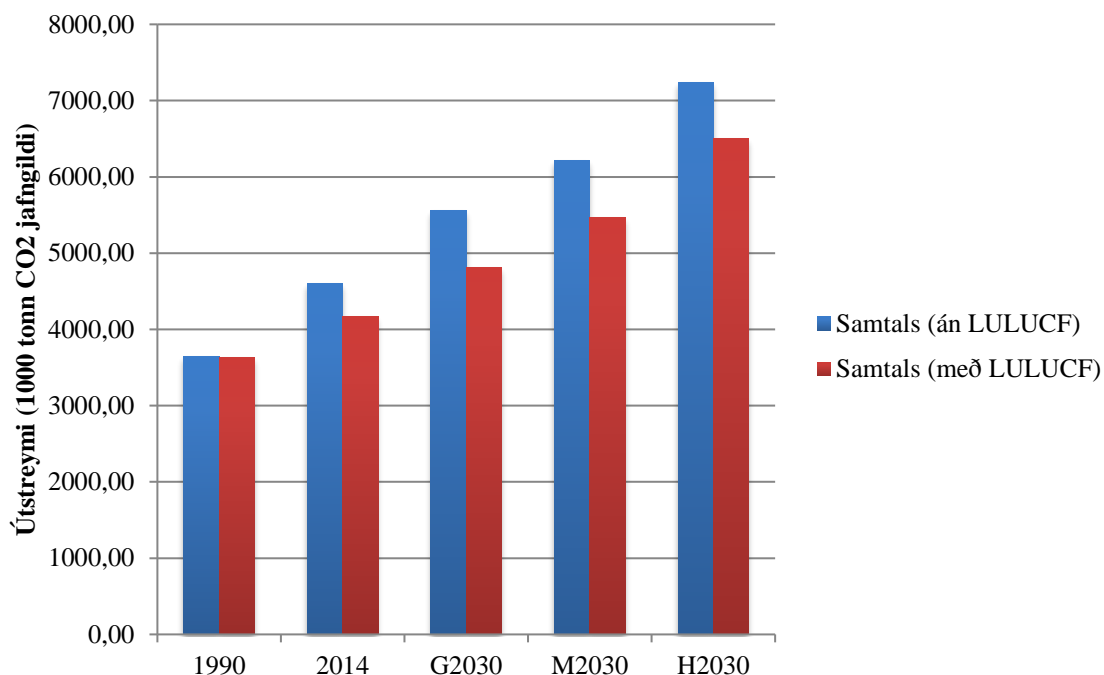
Járnbendi: 120.000 tonn til 2030

Álfraframiðsla: 877.000 tonn 2020; 1281.000 þúsund tonn 2030

Kísilframiðsla: 221.000 tonn 2020; 276.00 tonn til 2030

**3.2 Niðurstöður**

Tafla 3-2 sýnir niðurstöður spátílvikanna þriggja. Gert er ráð fyrir að án bindingar kolefnis aukist útstreymi um 53% umfram losun ársins 1990 í grunntilviki (35% með bindingu), um 71% í miðtilviki (53% með bindingu) og 99% í hátilviki (82% með bindingu) eins og sést einnig á myndMynd 3-1. Ef stóriðja er ekki tekin breytist heildarútstreymi umtalsvert. Í grunntilviki, án bindingar gæti útstreymi orðið 9% hærra en útstreymi ársins 1990 en í hátilviki 15% hærra en útstreymi ársins 1990. Ef binding er tekin með gæti útstreymi ársins 2030 orðið 9,5% lægra en útstreymi ársins 1990 í grunntilviki, en 12% lægra í hátilviki. Ef miðað er við útstreymi ársins 2020 í grunntilviki, án bindingar og án stóriðju gæti útstreymi orðið 15% hærra en útstreymi ársins 1990 en í hátilviki 17% hærra en útstreymi ársins 1990. Ef binding er tekin með gæti útstreymi ársins 2020 orðið 5% lægra en útstreymi ársins 1990 í grunntilviki, en 4% lægra í hátilviki. Nánar er fjallað um breytingu í útstreymi í hverjum geira í köflunum hér á eftir.



Mynd 3-1. Heildarútstreymi með og án bindingar vegna landnotkunar árin 1990, 2014, í grunntilviki 2030 (G2030), miðtilviki (M2030) og hátilviki (H2030).

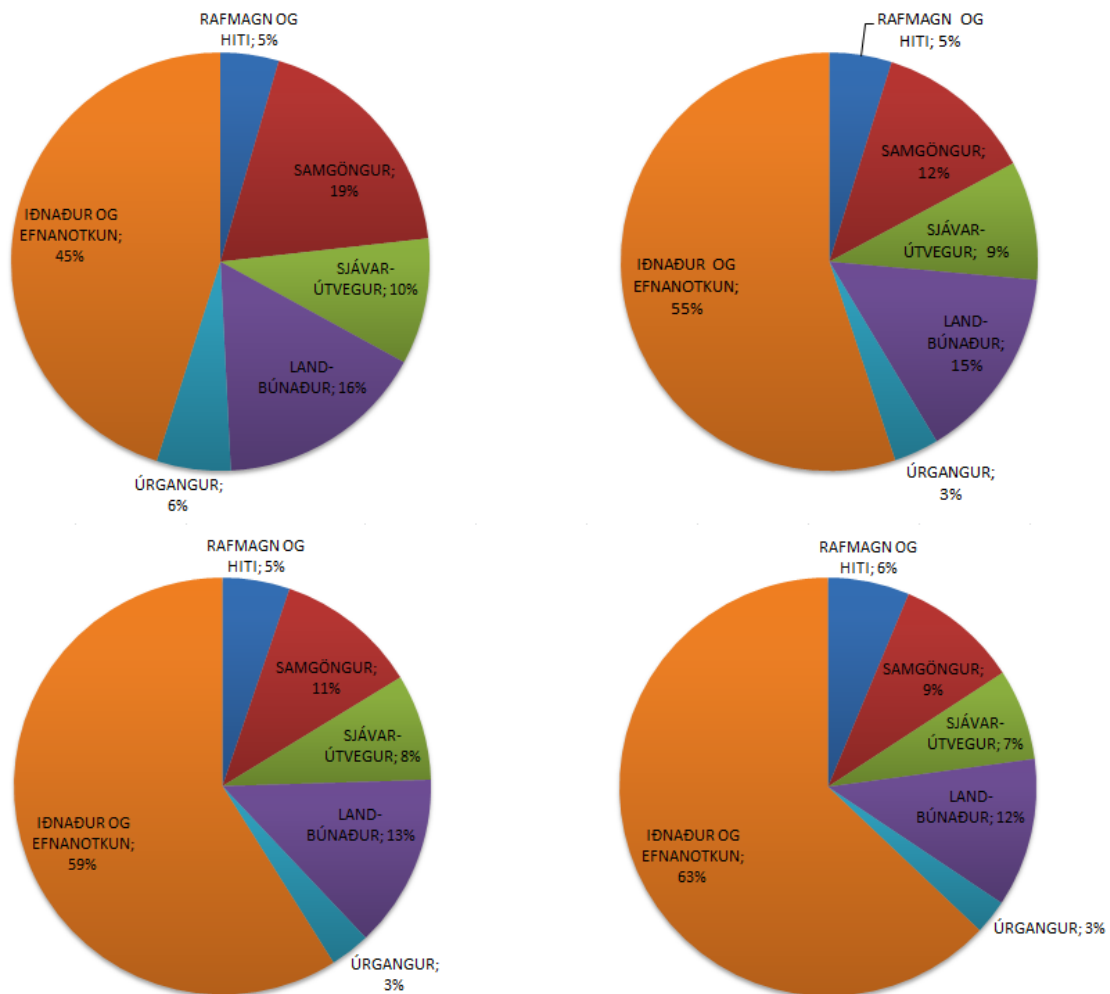
Miðað við gefnar forsendur er aukningin í útstreymi mest í iðnaði og efnanotkun í öllum tilvikum, með samsvarandi aukningu í útstreymi frá raforkuframleiðslu. Ekki er gert ráð fyrir aukningu í útstreymi frá samgöngum né úrgangi í mið- né hátilviki umfram grunntilvik þar sem óljóst er hver áhrif framleiðniaukningar í stóriðju verða á neyslu og hagvöxt. Vænta má þó að áhrifin verði jákvæð og því má gera ráð fyrir að aukning á útstreymi frá samgöngum og úrgangi verði hærri en hér er gert ráð fyrir. Einnig er rétt að benda á að hin mikla aukning í ferðaþjónustu innanlands og þá útstreymi vegna hennar er ekki sérstaklega skoðað heldur er sömu forsendum beitt og í nýjstu eldsneytisspá Orkuspárnefndar.

Tafla 3-2. Útstreymi í grunntilviki, miðtilviki og hátilviki í hverjum geira borið saman við útstreymi ársins 1990 (UNFCCC 2016, spátílvik).

	Útstreymi 1990 '000 tonn	% breyting frá 1990	Grunntilvik % breyting frá 1990	Miðtilvik % breyting frá 1990	Hátilvik % breyting frá 1990
	1990	2014	2030	2030	2030
<b>Samtals (án bindingar)</b>	3638	26%	53%	71%	99%
<b>Samtals (með bindingu)</b>	3630	15%	33%	51%	79%
<b>RAFMAGN OG HITI</b>	123	69%	146%	164%	272%
<b>SAMGÖNGUR</b>	619	39%	11%	11%	11%
<b>IÐNAÐUR OG EFNANOTKUN</b>	1162	79%	161%	213%	290%
<b>SJÁVARÚTVEGUR</b>	787	-42%	-35%	-35%	-35%
<b>LANDBÚNAÐUR</b>	780	-4%	7%	7%	7%
<b>ÚRGANGUR</b>	168	52%	15%	15%	15%
<b>LANDNOTKUN (nettóbinding tonn CO<sub>2</sub> jafngildi)</b>	-7	-429	-744	-744	-744

Binding vegna landnotkunar, sem sýnd er sem neikvæð tonn þar sem um samdrátt í nettóústreymi er að ræða, eykst umtalsvert til 2030 og í grunntilviki er gert ráð fyrir að binding verði um 744 þúsund tonn árið 2030. Binding breytist ekki milli sviðsmynda.

Mynd 3-2 sýnir hlutföll útstreymis árið 2014 samanborið við tilvikin þrjú. Myndin sýnir að árið 2030 er líklegt að hlutfall útstreymis frá stóriðju hafi aukist umtalsvert, eða í grunntilviki í 55%, í miðtilviki í 59% og í hátilviki í 63% af heildarústreymi. Hlutdeild sjávarútvegs heldur áfram að minnka og fer niður í 7% í hátilviki og útstreymi frá samgöngum í hátilviki verður um 10%.



Mynd 3-2. Hlutföll útstreymis árið 2014 (efst til vinstri) borin saman við tilvikin þrjú fyrir stöðu mála árið 2030. Efst til hægri er grunntilvik, neðst til vinstri er miðtilvik og neðst til hægri er hátilvik.

## 4 Valkostir til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda

### 4.1 Inngangur

Mikill munur er á geirum íslensks samfélags þegar kemur að útstreymi gróðurhúsalofttegunda sem og möguleikum á að draga úr útstreymi. En þrátt fyrir mikinn mun leynast tækifæri til samdráttar víða. Kaflarnir sem hér fara á eftir greina margvíslega möguleika, svo kallaðar mótvægisáðgerðir sem eru þegar til staðar sem hægt er að beita til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. Geirarnir sem fjallað er um eru: orkuframleiðsla, samgöngur, sjávarútvegur, iðnaður og efnanotkun, landbúnaður, úrgangur og landnotkun (þar með talin skógrækt, landgræðsla og endurheimt votlendis). Fyrst er þó gerð grein fyrir aðferðafræðinni sem beitt var.

### 4.2 Aðferðafræði

Í skýrslu sérfræðinganefndar um mótvægisáðgerðir til samdráttar í útstreymi gróðurhúsalofttegunda (Brynildur Davíðsdóttir og fleiri 2009) var þeirri aðferðafræði lýst ítarlega sem beitt er í þessari skýrslu. Hér er því aðeins stiklað á stóru en vísað í fyrri skýrslu til frekari upplýsinga.

Aðferðafræðinni sem beitt er skiptist í fjóra þætti: grunnsviðsmynd, mótvægisáðgerðir og umhverfisleg skilvirkni þeirra, kostnaður og ábati hvernar áðgerðar og uppsetning framboðsferils mótvægisáðgerða.

#### 4.2.1 Grunnsviðsmynd

Til að meta þann samdrátt í útstreymi sem hver mótvægisáðgerð hefur í för með sér þarf fyrst að liggja fyrir grunnspá um breytingar í útstreymi til ársins 2030. Grunnsviðsmynd, sem lýst er í kafla 3, metur mögulegt útstreymi gróðurhúsalofttegunda miðað við fyrirfram gefnar forsendur. Til að nýtast sem grunnsviðsmynd er mikilvægt að gert sé ráð fyrir því að engin breyting verði á hegðun eða stjórnvaldsáðgerðum að því er varðar útstreymi (þ.e. afskiptalaus þróun), frá grunnári sviðsmyndarinnar sem er árið 2015. Svíðsmyndin miðast því við núgildandi lög og reglur. Í þessari skýrslu var Eldsneytisspá Orkusparnefndar lögð til grundvallar sem og þær forsendur sem þar voru settar fram (sjá kafla 3).

#### 4.2.2 Mótvægisáðgerðir og umhverfisleg skilvirkni

Líkt og í skýrslu sérfræðinganefndarinnar frá 2009, lýsa mótvægisáðgerðir þeim möguleikum sem eru fyrir hendi til samdráttar í útstreymi. Lögð er áhersla á mótvægisáðgerðir sem eru tæknilegs eðlis, en þó eru áðgerðir í samgöngum sem tengjast samgönguhegðan einnig metnar. Mótvægisáðgerðum er lýst fyrir hvern geira fyrir sig og **umhverfisleg skilvirkni** hvernar mótvægisáðgerðar til ársins 2030 er metin. Umhverfisleg skilvirkni hvernar áðgerðar er skilgreind sem minnkun í útstreymi umfram útstreymi í grunntilviki. Hafa ber í huga að mat á umhverfislegri skilvirkni mótvægisáðgerða gerir ráð fyrir að áhrif mótvægisáðgerðarinnar skili fullum nettósamdrætti. Slíkt þarf þó ekki að vera raunin. Til dæmis er hægt að hugsa sér að fjárfesting í sparneytnari bifreiðum skili umtalsverðum samdrætti, sem síðan geti tapast þar sem neytendur aki meira en áður. Einnig skiptir máli hvaða stjórnvaldsáðgerðum er beitt, svo sem sköttum, kvótum eða reglum um bestu fánlega tækni.

#### 4.2.3 Kostnaður og ábati

Kostnaður mótvægisáðgerða er skilgreindur sem kostnaður vegna fjárfestinga umfram kostnað í grunntilviki auk rekstrarkostnaðar vegna þeirra. Ábati af mótvægisáðgerðum er skilgreindur sem mögulegur samdráttur í fjárfestingakostnaði eða breytilegum kostnaði umfram grunnsviðsmynd. Taka

ber fram að sem fyrr er ekki metinn heilsu- eða lífsgæðatengdur kostnaður eða ávinningur sem hlýst vegna innleiðingar mótvægisáðgerða.

Við kostnaðar- og ábatamið er gert ráð fyrir að meginmarkmið áðgerða sé að draga úr ústreymi gróðurhúsalofttegunda og því reiknast allur kostnaður sem og ábati til áðgerðarinnar. Mikilvægt er að hafa í huga að í reynd er slíkt er ekki endilega þannig, svo sem í landgræðslu eða skógrækt. Nettókostnaður í öllum tilvikum var metinn sem mismunur kostnaðar og ábata frá 2015-2030. Nettókostnaður er metinn á fast verðlag ársins 2015 og reiknivextir eru 5%. Afskriftatími er metinn í hverju tilfelli fyrir sig, enda er hann mismunandi milli áðgerða.

#### 4.2.4 Framboðsferill mótvægisáðgerða

Framboðsferill mótvægisáðgerða lýsir nettókostnaði við hverja mótvægisáðgerð (y-ás) á móti þeim samdrætti sem væntur er vegna áðgerðarinnar (x-ás). Eftirfarandi skref eru tekin til að meta framboðsferilinn.

- Grunnsviðsmynd er sett fram sem lýsir breytingum í ústreymi gróðurhúsalofttegunda til ársins 2030. Sviðsmyndin byggir á núgildandi lögum og reglum, og lýsir afskiptalausri þróun.
- Mótvægisáðgerðir eru skilgreindar og áhrif þeirra (minnkun) á nettóústreymi gróðurhúsalofttegunda umfram grunnsviðsmynd eru metin.
- Kostnaður og ábati vegna hvernar mótvægisáðgerðar er metinn með 5% reiknivöxtum yfir matstímann (2015-2030). Summa kostnaðar og ábata gefur nettókostnað áðgerða.
- Nettókostnaði áðgerða er deilt á hvert tonn af minnkuðu ústreymi gróðurhúsalofttegunda sem gefur nettókostnað á hvert tonn samdráttar (kr/tonn). Áðgerðum er síðan raðað upp eftir kostnaði í eiginlegan framboðsferil mótvægisáðgerða.

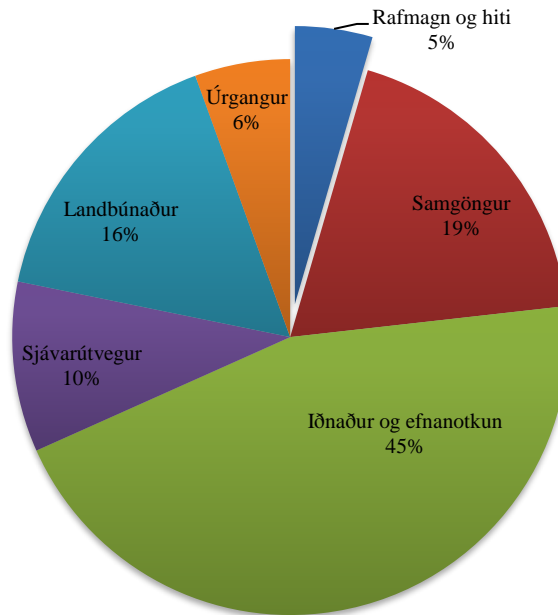
Rétt er að taka fram að framboðsferillinn sýnir aðeins þann nettókostnað sem hlýst af innleiðingu einstakra mótvægisáðgerða. Þjóðhagsleg áhrif vegna stjórnvaldsáðgerða eða vegna innleiðingar mótvægisáðgerðanna eru ekki sýnd. Frekari útlistun á aðferðafræði má finna í skýrslu sérfræðinganefndar frá 2009 (Brynhildur Davíðsdóttir og fleiri 2009).

## 5 Orkuframleiðsla

### 5.1 Yfirlit

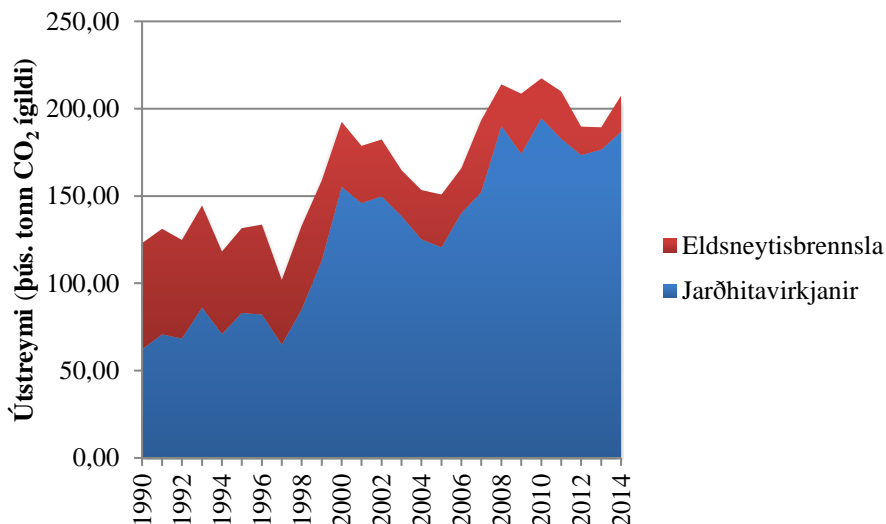
Útstreymi frá orkuframleiðslu á Íslandi er lítið miðað við önnur lönd enda er nánast allt rafmagn framleitt úr endurnýjanlegum orkuauðlindum, þ.e. jarðvarma og vatnsafla.

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu var um 5% af heildarútstreymi Íslands árið 2014, eða 207 þúsund tonn (sjá myndMynd 5-1).



Mynd 5-1. Hlutfall hita- og rafmagnsframleiðslu í heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda 2014.

Mynd 5-2 sýnir þróun útstreymis í ígildum koltvísýrings frá orkuframleiðslu á Íslandi frá árinu 1990 til 2014. Eins og myndMynd 5-2 sýnir hefur útstreymi vegna hita- og rafmagnsframleiðslu u.þ.b. tvöfaldast frá árinu 1990, þrátt fyrir að samdráttur hafi orðið í notkun jarðefnaeldsneytis og losunar vegna þess. Ástæða þessa er að á sama tíma hefur raforkuvinnsla aukist rúmlega fjórfalt, úr rúmum 4.000 GWst árið 1990 í rúmar 18.100 GWst árið 2014. Því hefur hlutfallslegur samdráttur í losun átt sér stað eða um 58% per framleidda kWst síðan 1992.

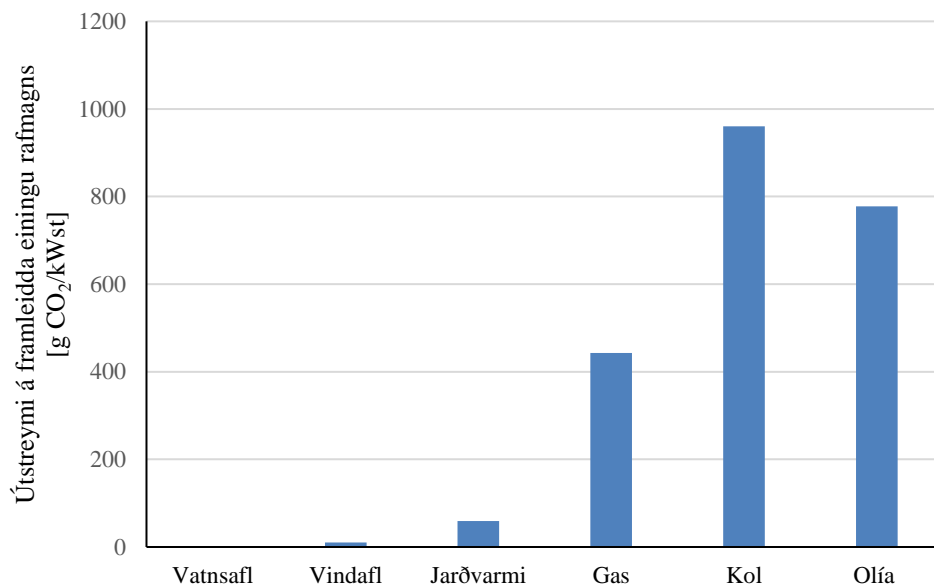


Mynd 5-2. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu 1990 – 2014.

Í dag er útstreymi frá orkuframleiðslu fyrst og fremst vegna jarðvarmanýtingar til rafmagnsframleiðslu. Útstreymi frá vatnsaflsvirkjunum á sér aðallega stað vegna rotnunar lífmassa í uppistöðulónum (Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, 2008). Útstreymi frá uppistöðulónum er þó hverfandi, en í umhverfisskýrslu Landsvirkjunar frá árinu 2014 kemur fram að 27% af útstreymi fyrirtækisins megi rekja til uppistöðulóna en 71% vegna jarðvarmavinnslu þrátt fyrir að vatnsafl sé 96% af uppsettum aflstöðum fyrirtækisins en jarðvarmi einungis 3,9% (Landsvirkjun, 2014). Miðað við þróun undanfarinna áratuga má gera ráð fyrir að aukning á útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu verði nær eingöngu samfara nýjum virkjunum á jarðvarma. Þess ber að geta að útstreymi vegna hitunar húsa með jarðvarma er talið hverfandi.

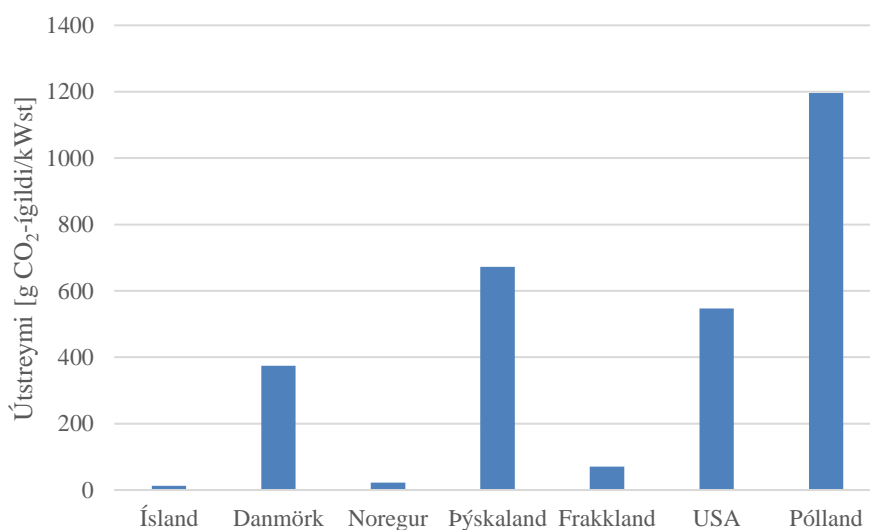
## 5.2 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Ísland hefur þá sérstöðu að nánast öll raforka og varmi til húshitunar er fengin frá endurnýjanlegum orkugjöfum meðan flest önnur lönd heims framleiða stærstan hluta raforku sinnar úr jarðefnaeldsneyti, s.s. olíu, kolum og jarðgasi. Mynd 5-3 sýnir samanburð á útstreymi nokkurra orkugjafa sem grömm CO<sub>2</sub>/kWh.



**Mynd 5-3. Samanburður á útstreymi eftir orkugjöfum. Annars vegar eru þrjár endurnýjanlegir orkugjafar og hinsvegar þrjár tegundir af jarðefnaeldsneyti (IPCC 2014).**

**Mynd 5-4 sýnir samanburð á útstreymi koldíoxíðs á hverja kWh við framleiðslu rafmagns á Íslandi, í Bandaríkjunum og nokkrum Evrópulöndum.**

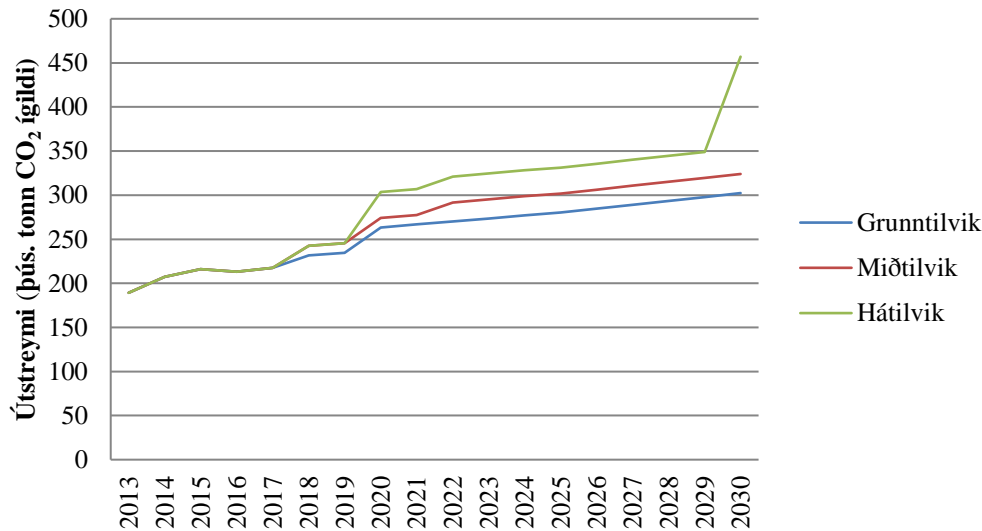


**Mynd 5-4. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á framleidda kWh rafmagns á Íslandi, og nokkrum nágrannalöndum (Brander et al, 2011).**

Í Noregi er nánast allt rafmagn framleitt með vatnsafl og flest hús rafhituð eða kynt með viði. Í Þýskalandi og Bandaríkjunum er mikið um notkun jarðgass og nýrra kolaorkuvera sem losa ívið minni koltvísýring en eldri orkuver. Í Póllandi er mest notað af kolum og mikið af eldri orkuverum.

### 5.3 Útstreymisspá

Útstreymisspá vegna orkuframleiðslu byggir á áætlaðri aukningu á eftirspurn eftir raforku skv. uppfærðri raforkuspá frá 2016, auk stigvaxandi aukningar í stóriðju (sjá kafla 3), og því er um þrjú tilvik að ræða. Mynd 5-5 sýnir útstreymi í hverju tilviki fyrir sig. Gert er ráð fyrir að hlutfall þess rafmagns sem framleitt er með jarðhita verði 29% af heildarframleiðslu og að útstreymi jarðvarmavirkjana á hverja kWh sé 59 g/kWh.



Mynd 5-5. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu.

### 5.4 Tæknilegir möguleikar til að draga úr útstreymi

Til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu á Íslandi er annars vegar hægt að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis og jarðvarma til raforkuframleiðslu en auka þess í stað notkun vatnsafls og vindorku og hins vegar að kanna leiðir til að fanga og binda eða nýta útstreymi frá jarðvarmavirkjunum. Þrjár aðferðir við bindingu/nýtingu á CO<sub>2</sub> þykja hentugastar, en það eru binding í jarðlögum, efnaframleiðsla og framleiðsla lífmassa. Almenn séð þykir útblástur jarðvarmaorkuvera henta vel til þess að fanga koltvísýring vegna hás hlutfalls CO<sub>2</sub> í útstreyminu sem getur verið um 90%. Útblástur hefðbundinna iðjuvera og kolaraforkuvera er blandaður kælilofti sem þynnir út koltvísýringinn og eykur orkuþörf við föngun til muna. Því er mun ákjósanlegra að fanga kolefni frá jarðvarmaorkuverum, en t.d. frá álverum.

#### 5.4.1 Binding í bergi

Binding koldíoxíðs í balsalti, sem steindin kalsít, er vel þekkt og nátturlegt ferli á jarðhitasvæðum. Undanfarnir ár hefur verið unnið að verkefninu CarbFix í samstarfi Háskóla Íslands og Orkuveitu Reykjavíkur auk fjölda erlendra rannsóknarstofnana þar sem koldíoxíð er leyst upp í vatni undir þrýstingi og vökvanum dælt niður um borholur á um 400-800 m dýpi. Mælingar benda til þess að binding CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S eigi sér stað og spili nú þegar mikilvægt hlutverk innan jarðhitasvæðisins við Hellisheiði (Edda Aradóttir et al., 2014).

## 5.4.2 Efnaframleiðsla

Nýta má koldíoxíð sem hráefni í efnaframleiðslu. ELKEM Ísland hefur sýnt aðferðinni áhuga og unnið að forathugunum fyrir föngun og endurvinnslu og fyrirtækið CRI (Carbon Recycling International) framleiðir metanól úr CO<sub>2</sub> sem fangað hefur verið frá jarðvarmaverinu í Svartsengi.

Með því að virkja koltvísýring efnafræðilega með vetnisbætingu er hægt að framleiða lofttegundina CO. Blanda CO, vetnis og súrefnis kallast efnasmíðagas (e. Synthesis gas). Með því að leiða efnasmíðagasið í hvarfakút yfir mismunandi efnahvata við mismunandi aðstæður má framleiða mikla flóru lífrænna efna sem öll eiga það sameiginlegt að vera samsett úr vetni, kolefni og súrefni. Hægt er að framleiða flestar tegundir af hefðbundnu eldsneyti eins og bensín og metan úr vetni, súrefni og kolefnisgjafa eins og kolum, lífmassa eða CO<sub>2</sub>.

Hafa ber í huga að ef koltvísýringur er notaður í framleiðslu t.d. byggingarefna eins og plastefna, binst kolefni. Ef CO<sub>2</sub> er hins vegar notað til eldsneytisframleiðslu sem nýta á í samgöngum er útblásturinn færður frá raforkuframleiðslu til samgangna og kemur þar í stað ústreymis vegna notkunar jarðefnaeldsneytis. Má þannig líta á framleiðslu eldsneytis úr koltvísýringi sem tilfærslu á orku úr rafmagni í fljótandi orkumiðil. Kolefni er því einskonar geymslumiðill orkunnar.

## 5.4.3 Framleiðsla á lífmassa

Fjölmargar tegundir örvera geta bundið koltvísýring í frumum sínum. Þróun á örveruræktun með afgasi frá jarðvarmaverum hefur farið fram í samstarfi fyrirtækisins Prókatín og Orkuveitu Reykjavíkur við Nesjavalla- og Hellisheiðarvirkjun. Örverunar eru ræktaðar í tönkum og nýta vetni og brennisteinsvetni í jarðhitagasinu til að binda CO<sub>2</sub>. Ferlið myndar próteinríkan lífmassa svipaðan fiskimjöli.

Nokkuð hefur verið rannsakaður möguleikinn á framleiðslu olíu með hjálp örþörungum og er afurð slíkrar framleiðslu annarsvegar olía sem nýta má í lífdísil og hinsvegar lífmassi. Úr lífmassa má vinna margvíslegar vörur, s.s. eldsneyti, fóður, matvæli og ýmsar verðmætar lífrænar afurðir. Þó svo að það sé nokkuð langt þar til eldsneytisframleiðsla með hjálp örþörungum sé tæknilega fýsileg, lofa rannsóknir góðu. Gert er ráð fyrir að hægt sé að framleiða allt að 25 sinnum meiri lífdísil á hektara með þörungum samanborið við ræktun annarra orkuplantna (Hannon et al., 2011).

## 5.4.4 Bætt nýtni við orkuvinnslu

### 5.4.4.1 Vatnsafl

Ljóst er að nýtni við orkuvinnslu úr vatnsafl á Íslandi er mjög mikil, en algengt er að miðað sé við 92% orkunýtni í því samhengi. Þegar er búið að fara í þó nokkrar framkvæmdir til að auka orkunýtni eldri vatnsorkuvera og má þar nefna að heildarafl Búrfellsvirkjunar var aukið úr 220 MW 270 MW með uppfærslu á tækjabúnaði. Hér er ekki gert ráð fyrir að unnt sé að auka orkunýtingu í íslenskum vatnsaflsvirkjunum frekar en nú hefur þegar verið gert.

### 5.4.4.2 Jarðvarmi

Orkunýting við vinnslu jarðvarma til raforku er að jafnaði mjög lítil, eða um 10-13%. Ef affallsvarmi sem ekki nýtist til raforkuframleiðslu, er nýttur við hitaveitu með svipuðum hætti og Orkuveita Reykjavíkur gat gert á fyrstu áratugum sínum, eykst heildarnýtni talsvert. Með aukinni áherslu á raforkuvinnslu úr jarðvarma fellur meira til af ónýttum afgangsvarma og orkunýtni minnkar. Eru því mikil tækifæri fólgin í iðnaðarferlum þar sem varmaflek ferli geta nýtt afgangsvarma frá jarðvarmavirkjunum. Tvívökvakerfi eru talin geta bætt nýtni jarðvarmavara, en þar er notast við vökva,

aðra en vatn, sem betur geta nýtt lægri hita. Tæknilegar lausnir á tvívökvakerfum sem hafa verið þróaðar byggja á Rankine-, Stirling- eða Kalina-hringrásum sem hver um sig hefur sína tæknilegu kosti og galla. Ljóst er að þó nokkrir möguleikar eru til að auka nýtni raforkuvinnslu frá jarðvarma.

Aukin nýting jarðvarmans ein og sér myndi draga úr útstreymi á hverja framleidda orkueiningu en hins vegar myndi hún engin áhrif hafa á nettó útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkugeiranum.

#### 5.4.4.3 Aukin nýtni við notkun raforku og/eða varma

Bætt nýtni við orkuvinnslu leiðir til minna útstreymis gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu á hverja framleidda orkueiningu. Mikið er horft til aukinnar orkunýtni í löndum þar sem rafmagn er framleitt að miklu leyti úr jarðefnaeldsneyti og orkuframleiðsla leggur hlutfallslega mikið til heildarútstreymis.

Miklar framfarir hafa átt sér stað á undanförunum árum þegar kemur að orkunotkun raftækja. Neytendur geta nú einnig lagt sitt af mörkum með því að nota tæki og búnað þannig að sem minnst orka fari til spillis. Dæmi um slíkt eru ljósastýring og þegar slökkt er á tækjum sem ekki eru í notkun. Í fyrirtækjum og opinberum byggingum geta orkusparandi perur, hreyfiskynjarar og tímarofar sparað talsverða orku. Víða í fyrirtækjum eru tækifæri til orkusparnaðar í sérhæfðum og orkufrekum búnaði. Greining á orkunotkun fyrirtækja er fyrsta skrefið, og leiðir til úrbóta unnar í framhaldi af því. Þar sem óverulegur hluti rafmagns fer til heimila eða þjónustu munu slíkar aðgerðir á Íslandi ekki skila miklum samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda og því er ekki fjallað frekar um þessa þætti hér. Þess ber þó að geta að minni orkunotkun getur sparað neytandanum allverulegan kostnað.

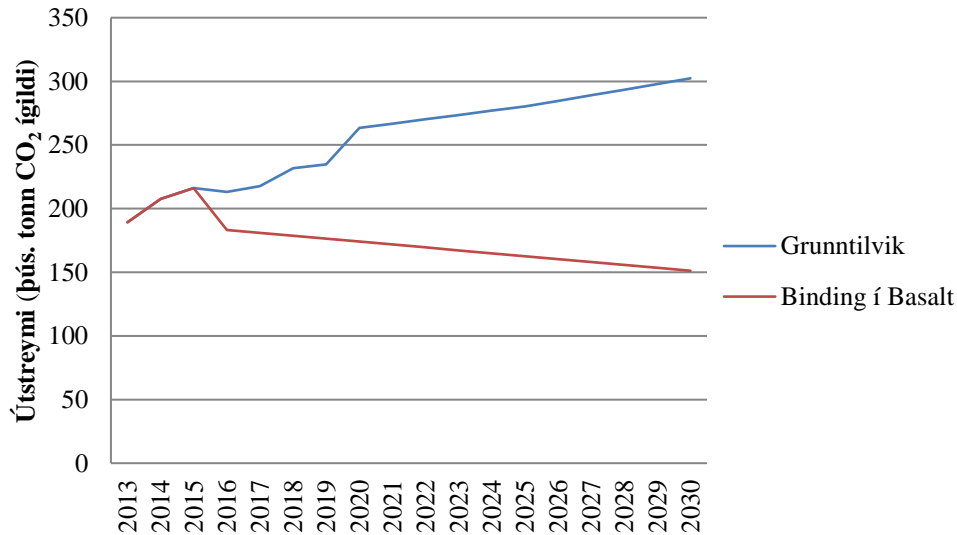
Hérlendis er raforka notuð til húshitunar á svokölluðum köldum svæðum. Það er kostnaðarsamara en notkun jarðhita og því hefur verið skoðað hvernig megi draga úr rafhitun. Varmadælur hafa gefið góða raun við að minnka þörf á hitunarorku (Ragnar Ásmundsson, 2005). Betri einangrun húsa og orkustýring í opinberum byggingum gefa einnig góða raun. Það á einnig við um byggingar sem hitaðar eru með jarðvarma. Þar sem óverulegt útstreymi gróðurhúsalofttegunda á sér stað vegna hitunar húsa hérlendis var ekki lagt mat á þessa möguleika.

## 5.5 Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni aðgerða

Draga má úr útstreymi á CO<sub>2</sub> frá jarðvarmavirkjunum með öllum þeim aðferðum sem fjallað er um fyrr í kaflanum, en aðeins er umhverfisleg skilvirkni þriggja þeirra metin. Ein leiðin væri að fanga kodíoxíð og dæla niður í berg, önnur að framleiða efnavörur og eldsneyti úr megninu af útstreyminu og sú þriðja að framleiða lífmassa. Hér á eftir er umhverfisleg skilvirkni hvernar aðferðar fyrir sig metin og sett fram spá um þróun á næstu áratugum í samanburði við grunntilvik.

### 5.5.1 Binding í basalt

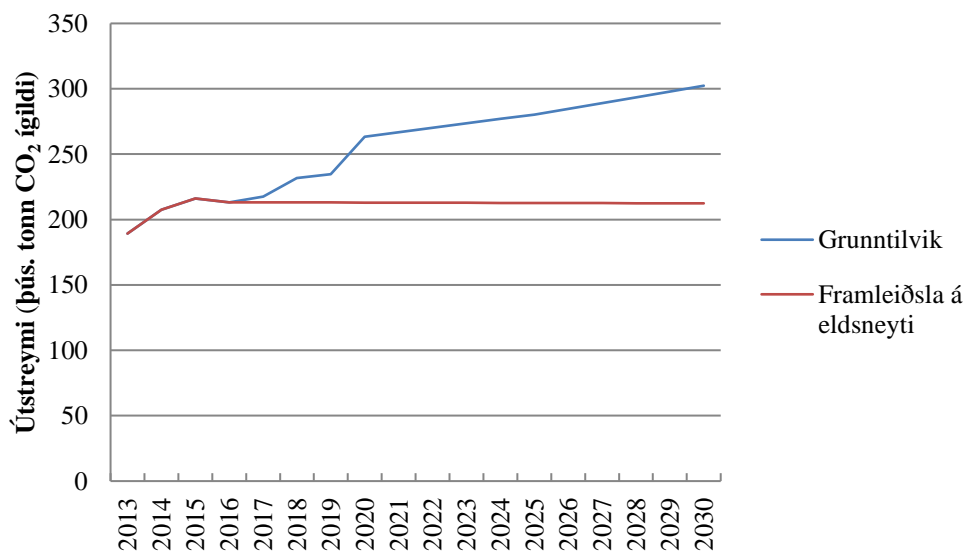
Tilraunir við föngun og niðurdælingu CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S hafa verið framkvæmdar við Hellisheiðarvirkjun frá árinu 2009. Niðurstöður lofa góðu og benda til að hægt sé að fanga stærstan hluta þess koltvísýrings sem losaður er frá virkjuninni, en árið 2016 var um 30% af útstreymi Hellisheiðarvirkjunar fangað. Hér er gert ráð fyrir að árið 2030 verið hægt að fanga helming CO<sub>2</sub> frá jarðvarmavirkjunum og binda með niðurdælingu í basalt, sjá myndMynd 5-6.



Mynd 5-6. Spá um samdrátt í útstreymi koldíoxíðs með bindingu í basalt til ársins 2030.

### 5.5.2 Efnaframleiðsla

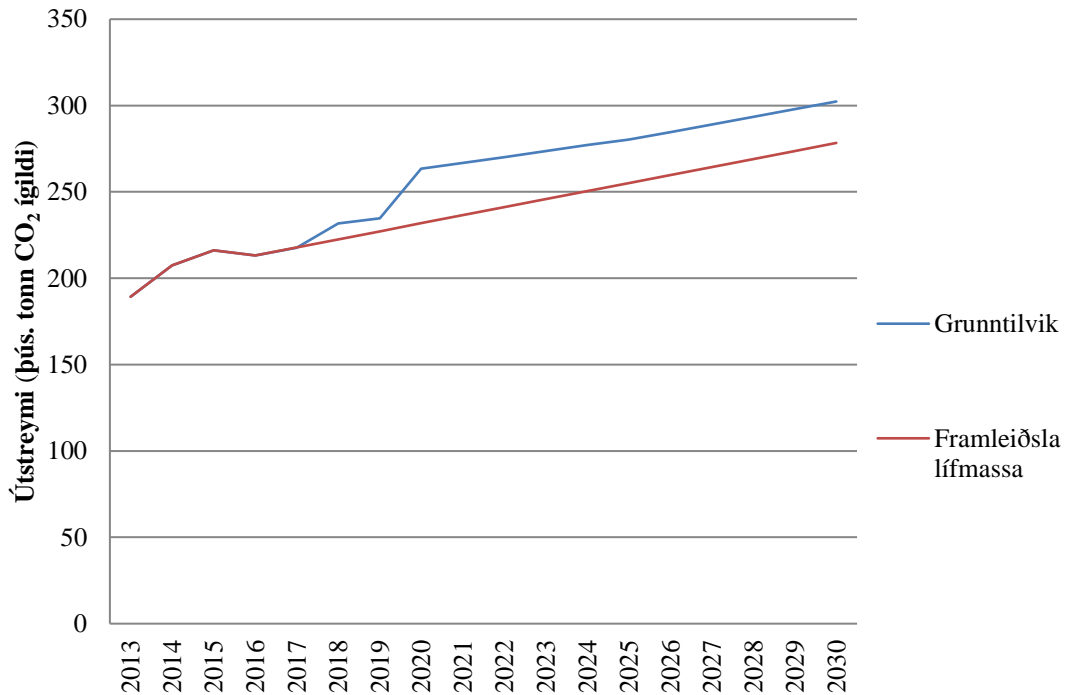
Fyrirtækið CRI hefur byggt verksmiðju sem framleiðir metanól úr CO<sub>2</sub> útblæstri jarðvarmaorkuvers HS Orku við Svartsengi. Verksmiðjan getur nú framleitt um 5 milljónir lítra af eldsneyti. Stefnir er að því að tífalda framleiðslugetuna og fanga þá um 50-60 þúsund tonn af CO<sub>2</sub> á ári. Nýtni framleiðsluferlisins er um 90% og er reiknað með að fyrir árið 2050 væri hægt að fanga 90% af öllum koltvísýringuútblæstri frá íslenskum jarðvarmavirkjunum. Mynd 5-7 sýnir hversu mikið er talið að hægt sé að fanga af CO<sub>2</sub> frá jarðvarmavirkjunum með efnaframleiðslu til ársins 2030, eða um 30%



Mynd 5-7. Spá um samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá jarðvarmavirkjunum með framleiðslu á eldsneyti.

### 5.5.3 Framleiðsla lífmassa

Mögulegt er að binda koldíoxíð úr útblæstri orku- og iðjuvera í einfrumulífmassa, s.s. örþörungum. Við Hellisheiðarvirkjun hefur fyrirtækið Prókatín unnið að tilraunum á þörungum sem bundið geta bæði brennisteinsvetni og koldíoxíð með vexti sínum. Þörungarækt til lífmassa og eldsneytisframleiðslu er ennþá á tilraunarstigi en áætlanir gera ráð fyrir að fanga megi um 10% af útstreymi jarðvarmavirkjana með þessum hætti á fýsilegan máta (Kadam, 2001). Á myndMynd 5-8 má sjá mögulegan samdrátt í útblæstri gróðurhúsalofttegunda með aukinni framleiðslu á lífmassa með þörungarækt.



Mynd 5-8. Spá um samdrátt í útstreymi koldíoxíðs frá raforkuframleiðslu með lífmassaframleiðslu.

### 5.5.1 Heildarsamdráttur

Mótvægisáðgerðir þær sem kynntar eru í þessum kafla eru allar fremur ungar en þróun þeirra hefur farið fram nokkur undanfarin ár. Afar erfitt er því að spá fyrir um hvernig þessar lausnir munu þróast í framtíðinni og hverjar kunni að verða valdar við hverja virkjun. Niðurstöður áðgerðanna sem hafa verið kynntar hér að framan gefa þó til kynna að hægt sé að fanga stóran hlut af CO<sub>2</sub>-útstreymi jarðvarmavirkjana árið 2030. Spá um mögulegan samdrátt útstreymis gróðurhúsalofttegunda frá jarðvarmavirkjunum vegna allra áðgerða sem lýst er í þessum kafla er sýnd á myndMynd 5-9. Eins og myndin sýnir er gert ráð fyrir að draga megi úr losun frá raforkuframleiðslu um allt að 88% árið 2030 miðað við grunntilvik, og gert er ráð fyrir að 57% samdráttarins verði vegna föngunar og bindingar, 34% vegna föngunar og eldsneytisframleiðslu og 9% verði vegna föngunar og bindingar í lífmassa.



Mynd 5-9. Möguleikar á heildarsamdrætti í nettólosun CO<sub>2</sub> ígilda frá jarðvarmavirkjunum.

### 5.5.2 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni

Til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu á Íslandi er annars vegar hægt að nýta endurnýjanlega orkugjafa í staðinn fyrir það litla jarðefnaeldsneyti sem enn er notað og hinsvegar að finna leiðir til að fanga og nýta útstreymi frá jarðvarmavirkjunum. Leiðir til þess eru enn í þróun og erfitt að spá nákvæmlega fyrir um kostnað í framtíðinni.

Kostnaður við föngun kolefnis og nýtingu í efnaframleiðslu eða framleiðslu lífmassa er hér talinn vera sá sami. Gert er ráð fyrir að kostnaðurinn sé bundinn við hreinsimannvirki sem framleiðir háhreinan CO<sub>2</sub>-straum úr afgasi jarðvarmaveranna. Fangað CO<sub>2</sub> má svo senda áfram sem hráefni í framleiðslu, t.d. efnavara eða lífmassa þar sem úr því eru búnar til verðmætar vörur til endursölu. Finnist ekki markaður fyrir CO<sub>2</sub> er hægt að leysa það upp í niðurdælingarvatni og binda það basalti. Þá bætist við kostnaður vegna niðurdælingarinnar. Ekki er gert ráð fyrir að nokkurt verð fáiast fyrir hreinsaðan CO<sub>2</sub> strauminn og framleiðslufyrirtæki taka við honum að kostnaðarlausu.

Kostnaður við föngun og bindingu CO<sub>2</sub> hefur verið metinn af alþjóðlegu orkustofnuninni (IEA) og er meðalkostnaður í OECD-ríkjum um 43 \$/tonn CO<sub>2</sub> (Finkenrath, 2011). Umhverfisverndarstofnun Bandaríkjanna (EPA) áætla að kostnaður við flutning og niðurdælingu sé um 15\$/tonn CO<sub>2</sub> (Dooley et al., 2008). Tilraunir Orkuveitu Reykjavíkur í Carbfix verkefninu gefa þó til kynna raunkostnað uppá 2.800 kr per tonn CO<sub>2</sub> ígildi fyrir föngun og niðurdælingu og er stuðst við þann kostnað hér. Kostnaðinn má sjá í töfluTafla 5-1.

Tafla 5-1. Kostnaðarskilvirkni (kr. á tonn) og samdráttur í útstreymi (tonn CO<sub>2</sub> ígildi) vegna mótvægisáðgerða.

Flokkur	Minnkun útstreymis vegna mótvægisáðgerða árið 2030 [Þúsund tonn CO <sub>2</sub> ígildi]	Kostnaður per tonn CO <sub>2</sub> -ígildi [kr/tonn]
<b>Föngun og binding í basalt</b>	151	2.800
<b>Föngun og binding í lífmassa</b>	24	5.430
<b>Föngun og efnaframleiðsla</b>	90	5.430

## 5.6 Samantekt

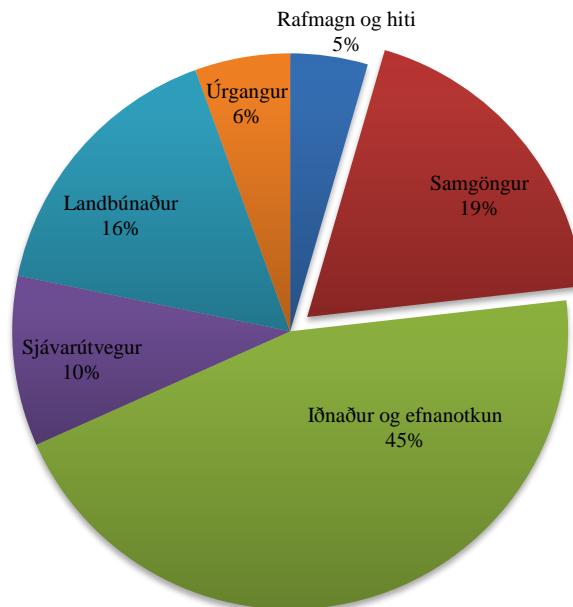
Til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu á Íslandi er annars vegar hægt að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis með aukinni notkun endurnýjanlegra orkugjafa og hins vegar að kanna leiðir til að fanga og nýta útstreymi CO<sub>2</sub> frá jarðvarmaorkuverum. Föngun koltvísýringsins er tæknilega einfaldasti þáttur þeirrar leiðar og hægt væri að fanga nálægt 90% af útstreymi frá öllum íslenskum jarðvarmaorkuverum á tiltölulega skömmum tíma. Finnist aðilar sem tilbúnir eru til að taka við fönguðu og hreinsuðu CO<sub>2</sub> til að vinna úr því verðmætar afurðir má draga úr nettókostnaði við föngun. Tilraunir Orkuveitu Reykjavíkur og Háskóla Íslands á Hellisheiði sýna þó að föngun og binding með niðurdælingu er hagkvæmur kostur að því gefnu að ekki þarf að bora niðurdælingarholur.

## 6 Samgöngur

### 6.1 Yfirlit

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum stafar fyrst og fremst af bruna jarðefnaeldsneytis. Langstærsti hluti útstreymisins er því koldíoxíð, eða um 96%. Við bruna jarðefnaeldsneytis myndast einnig hláturgas (N<sub>2</sub>O) og er það um 4% útstreymisins.

Árið 2014 nam útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum á landi 861 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda eða 19% af heildarútstreymi frá Íslandi. Samgöngur voru þá næststærsta uppsprettan á eftir útstreymi frá iðnaði og efnanotkun eins og sést á myndMynd 6-1. Vegasamgöngur eru 93% af heildarútstreymi frá samgöngum, sjóflutningar rúmlega 2% og innanlandsflug um 5%. Frá 1990 til 2014 jókst útstreymi frá vegasamgöngum um 51,7% og varð sú aukning aðallega eftir 2002. Frá árinu 2009 hefur útstreymi frá samgöngum dregist saman um 9% sem að hluta til stafar af samdrætti í akstri vegna efnahagsþrenginga og að hluta vegna þróunar í sparneytni nýrra bifreiða á heimsvísu (Umhverfisstofnun, 2014). Auk þessa hafa reglugerðir sem miða að því að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda haft þau áhrif að útstreymi frá vegasamgöngum hefur ekki aukist í samræmi við aukinn vöxt hagkerfisins frá 2011. Útstreymi frá innanlandsflugi jókst um 27% en útstreymi frá sjóflutningum minnkaði um 66% á milli 1990 og 2014.



Mynd 6-1. Útstreymi frá samgöngum sem hlutfall af heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2014.

### 6.2 Útstreymisspá

Grunnsviðsmynd sem sýnir breytingar í útstreymi byggir á eldsneytisspá Orkuspárnefndar fyrir árin 2015-2030 (Orkuspárnefnd 2016). Sviðsmyndin gerir ráð fyrir 20% samdrætti í útstreymi frá 2014 til 2030 vegna samgangna. Samdráttur í útstreymi vegna vegasamgangna frá 2014 – 2030 er 24% og í innanlandsflugi er samdrátturinn 6,2%. Gert er þó ráð fyrir aukningu í útstreymi vegna sjóflutninga uppá 21% yfir sama tímabil.

### 6.3 Aðgerðir til að draga úr útstreymi

Í þessum kafla er lagt mat á umhverfislega skilvirkni og efnahagsleg áhrif af (i) samgönguáðgerðum, þ.e. bættum almenningssamgöngum, göngu og hjólreiðum, (ii) bættri orkunýtingu hefðbundinna farartækja, (iii) nýjum orkugjöfum, þ.e. endurnýjanlegu eldsneyti blönduðu í bensín og dísilolíu, og (iv) nýrri bifreiðatækni, s.s. vetnis- og rafbíla.

Í kaflanum eru settar fram nokkrar sviðsmyndir. Sviðsmyndirnar eru:

- Ganga og hjólreiðar
- Almenningsamgöngur
- Sparneytnari bensín- og dísilbílar
- Dísilfólksbílar í stað bensínfólksbíla
- Íblöndun lífdísilolíu í dísilolíu
- Íblöndun alkóhóla í bensín
- Rafmagnsbílar
- Vetnisbílar
- E85 bílar
- Metanbílar

Hver sviðsmynd lítur því eingöngu á áhrif þess að innleiða eina tæknilausn eins hratt og fýsilegt er, og er algerlega ótengd hinum. Sviðsmyndin um rafmagnsbíla gerir þannig óbeint ráð fyrir að innleiðing etanol-íblöndunar eigi sér ekki stað, á meðan sviðsmyndin um vetnisbíla gerir ekki ráð fyrir frekari innleiðingu lífdísilolíu, o.s.frv. Sjálfsagt á þróun vistvænna lausna í samgöngum eftir að verða mun flóknari en nokkur ein þessara sviðsmynda spáir fyrir um. En þessar sviðsmyndir voru ekki valdar til þess að búa til raunhæfa spá, heldur til þess að bera saman, á eins óhlutdrægan hátt og mögulegt er, ávinning og kostnað hverrar aðferðar fyrir sig.

Samantektin í lokin er því samanburður á þessum sviðsmyndum. Samlegðaráhrif allra sviðsmyndanna voru ekki metin, enda erfitt að ímynda sér að allar tæknilausnirnar verði jafngildar og því jafn ákjósanlegar. Þó voru samlegðaráhrif samgönguáðgerðanna (ganga, hjólreiðar og almenningssamgöngur) metin, sem og samlegðaráhrif margvíslegrar íblöndunar lífeldsneytis.

Í grunnsviðsmynd er gert ráð fyrir að hluti samgangna á landi verði knúinn „nýjum orkugjöfum“ en ekki er tekin afstaða til hvaða orkugjafa er um að ræða (Orkuspárnefnd 2016). Þegar reynt er að meta ávinning einhverrar sviðsmyndar *umfram* afskiptalausna þróun, getur því verið nokkuð snúið að átta sig á því hversu mikill sá ávinningur er. Í öllum tilfellum var gert ráð fyrir því að hinir „nýju orkugjafar“ væru umfram þá sem grunnsviðsmyndin átti við. Niðurstöður gefa engu að síður góða mynd af skilvirkni aðgerðanna og samanburð þeirra á milli.

## 6.4 Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni aðgerða

### 6.4.1 Samgönguáðgerðir: Ganga, hjólreiðar og almenningssamgöngur

#### 6.4.1.1 Ganga og hjólreiðar

Hjólreiðar og ganga eru án efa með umhverfisvænustu ferðamátum sem völ er á. Þegar ferðir innan þéttbýlis eru til umfjöllunar ættu ganga og hjólreiðar að vera í fararbroddi sjálfbærra ferðamáta. Auk umhverfislegs ávinnings af sviðsmyndinni eru jákvæð heilsufarsáhrif göngu og hjólreiða óumdeild og

hafa verið talin ein gagnlegasta aðferðin til að stuðla að bættri heilsu almennings (Rojas-Rueada et al., 2011, Whyte et al., 2014).

Hlutdeild ferða sem farnar eru gangandi eða hjólandi innan höfuðborgarsvæðisins hefur aukist undanfarin ár. Þannig hefur hlutfall þeirra sem ferðast yfirleitt með einkabíl minnkað úr 87% árið 2007 í 75% árið 2014. (Bjarni Reynarsson, 2014)

Aðstæður til hjólreiða á höfuðborgarsvæðinu má meta með því að bera saman lengd hjólastíga í nokkrum borgum í Evrópu með tilliti til íbúafjölda og flatarmáls (Pucher and Buehler, 2008 og Ólafur Bjarnarson 2015). Tafla 6-1 sýnir niðurstöður samanburðarins. Eins og sjá má af töflunni er þéttleiki hjólastíga mun minni en í þeim borgum sem liggja til viðmiðunar. Það gefur til kynna að aðgengi að hjólreiðastígum sé lakara hérlendis. Hinsvegar má sjá að höfuðborgarsvæðið kemur betur út þegar litið er á lengd hjólreiðastíga á hvern íbúa.

Til að ná fram markmiðum um aukna hlutdeild hjólandi og gangandi mætti efna til sérstaks átaks í uppbyggingu hjólreiðastíga og hjólreiðakreina, þ.e. aðskildum hjólreiðastígum og sérstökum hjólreiðakreinum á götum þar sem hámarkshraði bifreiðumferðar er 50 km/klst eða lægri.

Í sviðsmyndinni er gert ráð fyrir uppbyggingu hjólreiðakerfis til 2050 þannig að heildarlengd hjólastíga á höfuðborgarsvæðinu verði 900 km að tímabilinu loknu. Gert er ráð fyrir jafnri uppbyggingu sérstakra hjólastíga og hjólaakreina á umferðargötum. Áætlað er að 40% af uppbyggingu verði lokið árið 2030.

Við mat á kostnaði við uppbyggingu innviðanna eru notaðar kostnaðartölur úr nýlegum framkvæmdum Reykjavíkurborgar við göngu- og hjólastígakerfi. Á árunum 2009 -2014 hafa verið lagðir 27,2 km af göngu- og hjólastígum í Reykjavík (Ólafur Bjarnarson, 2015). Heildarkostnaður við lagningu stíga á tímabilinu var 1.951 mkr eða að meðaltali um 72 milljónir króna á hvern lagðan kílómetra (Hreinn Ólafsson, 2015). Er kostnaður á tímabilinu 2009-2014 nokkru hærri en gert var ráð fyrir í áætlun 2009 sem hlýst að mestu leyti af auknum kostnaði af göngu- og hjólabrú yfir Elliðaárósa við Geirsnef. Er áætlaður einingarkostnaður við lagningu nýrra göngustíga án kostnaðar við brúarmannvirki 40 milljónir króna á kílómetra.

Frumáætlun bendir til að stofnkostnaður við uppbyggingu innviða til 2030 verði 13 milljarðar króna sem dreifist jafnt yfir tímabilið. Á tímabilinu 2030 og 2050 er gert ráð fyrir að stofnkostnaður nemi 870 milljónum króna á ári. Rekstrarkostnaður er áætlaður 45 milljónir króna á ári fram til ársins 2030 en hækki í 75 milljónir króna á ári frá 2031-2050.

**Tafla 6-1. Lengd hjólreiðastíga í nokkrum borgum í Evrópu (Pucher og Buehler, 2008 og Reykjavíkurborg 2015).**

	Íbúar	Flatarmál [km <sup>2</sup> ]	Þéttleiki [íbúar/km <sup>2</sup> ]	Lengd hjólastíga [km]	Hjólastígar á íbúa [m/íbúa]	Hjólastígar á km <sup>2</sup> [km/km <sup>2</sup> ]
<b>Berlín</b>	3,400,000	892	3,812	1,140	0.34	1.28
<b>Amsterdam</b>	735,000	219	3,356	400	0.54	1.83
<b>Kaupmannahöfn</b>	504,000	456	1,105	400	0.79	0.88
<b>Óðinsvé</b>	185,000	304	609	500	2.70	1.64
<b>Groningen</b>	181,000	84	2,155	420	2.32	5.00
<b>Höfuðborgarsvæðið</b>	200,000	1,042	192	157	0.79	0.15

Við mat á skilvirkni aðgerða er gert ráð fyrir að með uppbyggingu innviða fyrir auknar göngu- og hjólreiðasamgöngur, auk markvissra stuðningsaðgerða og áherslna í skipulagi byggðar, aukist hlutdeild gangandi og hjólandi úr 14% árið 2014 og í 22% árið 2030.

Niðurstöður benda til að heildarávinningur af uppbyggingu og rekstri bættra innviða fyrir gangandi og hjólandi vegfarendur á höfuðborgarsvæðinu nemi 23.000 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda til ársins 2030. Áætlaður ávinningur er því meiri en kostnaður (sjá töfluTafla 6-2), en það kemur fram sem neikvæður kostnaður í töflunni. Ávinningur byggir á minni fjárfestingakostnaði og minni kostnaði við rekstur samgöngumannvirkja.

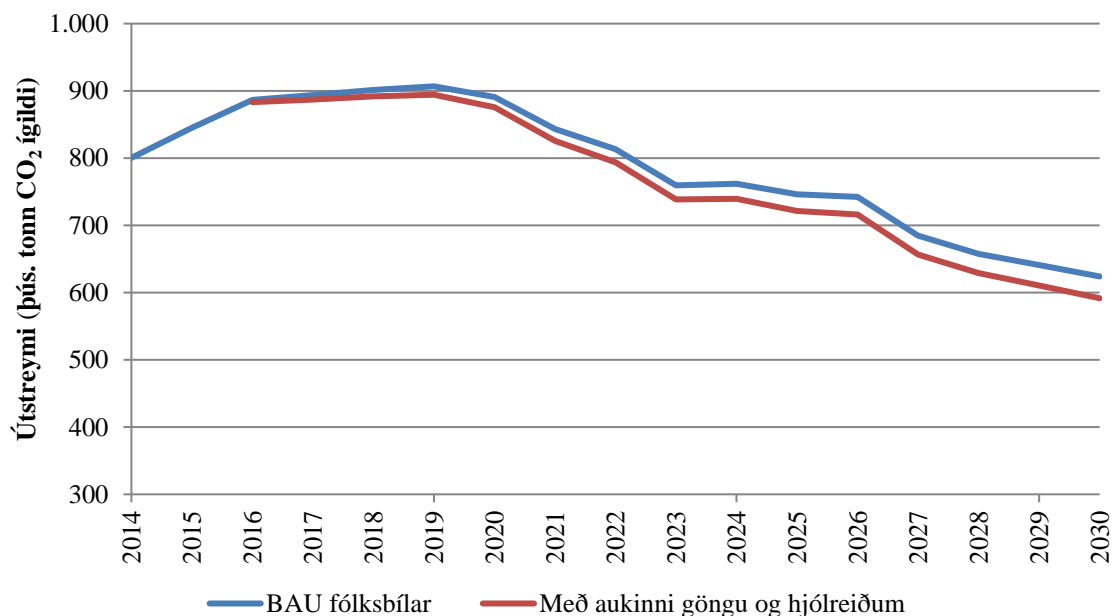
**Tafla 6-2. Samdráttur og kostnaður 2030 fyrir uppbyggingu og rekstur innviða fyrir göngu og hjólréiðar. Neikvæður kostnaður þýðir að heildarávinningur sé af aðgerðunum miðað við gefnar forsendur.**

	2030	2015-2050*
<b>Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi)</b>	32	1,160
<b>Heildarkostnaður (kr/tonn CO<sub>2</sub>-ígildi)</b>	-23.000	

\*Útgefinn samdráttur í útstreymi til 2050 er einungis til viðmiðunar því erfitt er að meta áhrif svo langt fram í tímann. Kostnaður á tonn er því ekki reiknaður fyrir þetta tímabil

Þess ber að geta að við mat á kostnaði er einungis reiknað með kostnaði við uppbyggingu innviða, þ.e. kostnaður við stuðningsaðgerðir er ekki áætlaður. Jafnframt er sparnaður í heilbrigðiskerfi og þjóðhagslegur sparnaður vegna minnkaðs vinnutaps vegna jákvæðra áhrifa göngu og hjólréiða á heilsufar ekki tekinn með.

Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda vegna aukinna göngu og hjólréiða er sýndur á mynd Mynd 6-2. Eins og myndin sýnir mun útblástur gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum dragast saman umfram spá um afskiptalausá þróun sem nemur allt að 5,2% árið 2030.



**Mynd 6-2. Samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólkubílum umfram afskiptalausá þróun (BAU fólkubílar) vegna aukningar göngu og hjólréiða.**

#### 6.4.1.2 Almenningsamgöngur

Almenningsamgöngum í þéttbýli má almennt skipta í fjórar megingerðir:

- Hefðbundin strætisvagnakerfi
- Hraðvagnakerfi
- Léttlestarkerfi
- Jarðlestarkerfi

Í stefnumörkun Samtaka Sveitarfélaga á Höfuðborgarsvæðinu (SSH) er stefnt að uppbyggingu „hágæðaalmenningsamgöngukerfis“. Það er í sinni einföldustu mynd kerfi sem er óháð bílaumferð, afkastar miklu og er með háa ferðatíðni. Hágæðakerfi býður þannig upp á áreiðanlegar tímaáætlanir og öruggan ferðamáta (Mannvit, 2014). Léttlestir og hraðvagnakerfi eru þau hágæðakerfi sem helst hafa verið inleidd síðustu áratugi í borgum á stærð við höfuðborgarsvæðið. Uppbygging léttlesta og hraðvagnaleiða er talin líklegri til að skila langtíma árangri en frekari uppbygging hefðbundins strætisvagnkerfis, enda eru hraðvagnakerfi í eðli sínu aðeins skilvirkari útfærsla af hefðbundnu strætisvagnakerfi. Er því í sviðsmyndinni ekki gert ráð fyrir frekari uppbyggingu núverandi kerfis almenningsamgangna en lagt er mat á áhrif uppbyggingar hraðvagna og léttlestarkerfis.

Jarðlestarkerfi hafa nær eingöngu verið inleidd í mun stærrri og fjölmennari borgum. Í samræmi við þá reynslu er ekki gert ráð fyrir að líta megi á jarðlestir sem raunhæfan kost í almenningsamgöngum á höfuðborgarsvæðinu fyrir árið 2030 og verður því ekki fjallað nánar um þann kost.

#### 6.4.1.3 Hraðvagnakerfi

Hraðvagnakerfi er nokkurs konar millistig milli hefðbundinna strætisvagnakerfa og lestarkerfa. Hraðvagnakerfi er samþætt kerfi innviða, þjónustu og þæginda sem saman bæta hraða, áreiðanleika og yfirbragð strætisvagna (TCRP, 2003). Hraðvagnakerfi er í raun fágað strætisvagnakerfi sem keyrir á sínum eigin akreinum í bæjarrýminu og er oft kallað léttlest á gúmmíhjólum.

Ýmsar útfærslur eru mögulegar varðandi hraðvagnakerfi, s.s.:

- Sérakreinar, gjarnan með forgangi á umferðarljósum. Hraðvagnakerfi eru sveigjanleg og geta ekið bæði á sérakreinum og í blandaðri umferð. Þar sem nauðsynlegt er að tryggja hraða vagna og ekki er rými fyrir sérakreinar á yfirborði eru dæmi um að grafin hafi verið göng fyrir hraðvagna, t.d. undir miðbæjarkjarna með biðstöðvum neðanjarðar.
- Skjólgóðar biðstöðvar með „lestarpalli“ þannig að farþegar þurfi ekki að ganga upp eða niður tröppur á leið í vagnana. Á biðstöðvum eru skilti með rauntímaupplýsingum um komutíma vagna og sjálfsalar fyrir fargjaldasölu. Farþegar greiða því fyrir ferð sína á biðstöðinni áður en gengið er um borð í vagninn. Starfsmenn sem flakka á milli vagna kanna reglulega hvort farþegar hafi ekki örugglega greitt fyrir farið og sekta þá sem reyna að komast hjá því.

Hraðvagnar eru gjarnan með lágu gólfi og að innan líkjast þeir meira lestum en strætisvögnum. Farþegar hafa þegar greitt fyrir farið á biðstöðinni og geta því gengið um borð um dyr bæði að framan og aftan. Þar með er sá tími sem vagninn er kyrrstæður lágmarkaður. Um borð eru breytileg upplýsingaskilti sem sýna nafn næstu biðstöðvar og greinargóðar upplýsingar um leiðakerfi. Nafn næstu biðstöðvar og möguleg skipti yfir í aðra vagna eru tilkynnt í hátalarakerfi.

Farartæki sem notuð eru í hraðvagnakerfum ganga gjarnan fyrir rafmagni eða öðrum vistvænum orkugjöfum. Sumir vagnar eru búnir fjarlægðarskynjurum og tækni sem gerir þeim kleift að leggja þétt

upp að palli á biðstöðvum líkt og lest á spori. Um borð er nýjasta tækni til samskipta við umferðarljós til að kalla eftir forgangi eða lengingu á grænum tíma.

Við mat á samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda er gert ráð fyrir að allir nýir vagnar í hraðlestarkerfi verði knúnir endurnýjanlegum orkugjöfum svo sem metani, vetni eða rafmagni. Þá er gert ráð fyrir að hlutdeild almenningssamgangna í öllum ferðum innan höfuðborgarsvæðisins aukist úr um 4% árið 2015 í 8% árið 2030 og 14% árið 2050.

Í núverandi strætisvagnakerfi höfuðborgarsvæðisins eru sex stofnleiðir. Vagnarnir aka eftir stofnbrautum frá miðborginni til helstu hluta höfuðborgarsvæðisins. Í sviðsmyndinni er gert ráð fyrir að á tímabilinu 2015-2030 verði stofnleiðunum sex skipt út fyrir hraðvagnaleiðir ásamt leið 15 sem tengir saman Mosfellsbæ, Hlemm og Vesturbæ. Á tímabilinu 2030-2050 er gert ráð fyrir að einni hraðvagnaleið til viðbótar sé bætt við kerfið en að léttlestir komi í stað eldri hraðvagnaleiða á tímabilinu.

Reynsla frá öðrum löndum sýnir að stofnkostnaður við uppbyggingu hraðvagnakerfis geti verið mjög breytilegur eftir aðstæðum hverju sinni. Þannig geti kostnaður verið á bilinu 70 – 1.100 milljónir króna fyrir hvern lagðan kílómetra. Til samanburðar er kostnaður við jarðlestarkerfi á bilinu 4 – 15 milljarðar kr./km (Wright, 2004).

Kostnaður við uppbyggingu hraðvagnaleiðar í stað núverandi strætisvagnaleiðar 1 sem gengur frá Firði í Hafnarfirði að BSÍ í Reykjavík var metin árið 2012 af Mannviti. Niðurstöður gáfu til kynna að heildarkostnaður vegna uppbyggingarinnar væri á bilinu 6.000 – 7.000 milljónir kr eða 520-620 kr/km (Mannvit, 2012a). Gróflega áætlaður stofnkostnaður fyrir uppbyggingu hraðvagnakerfis á 7 stofnleiðum innan höfuðborgarsvæðisins er metin um 36 milljarðar sem dreifist jafnt á 15 ára tímabil frá 2015-2030. Stofnkostnaður vegna stækkunar kerfisins á tímabilinu 2030-2050 er áætlaður um 6 milljarðar króna sem dreifist jafnt yfir það tímabil.

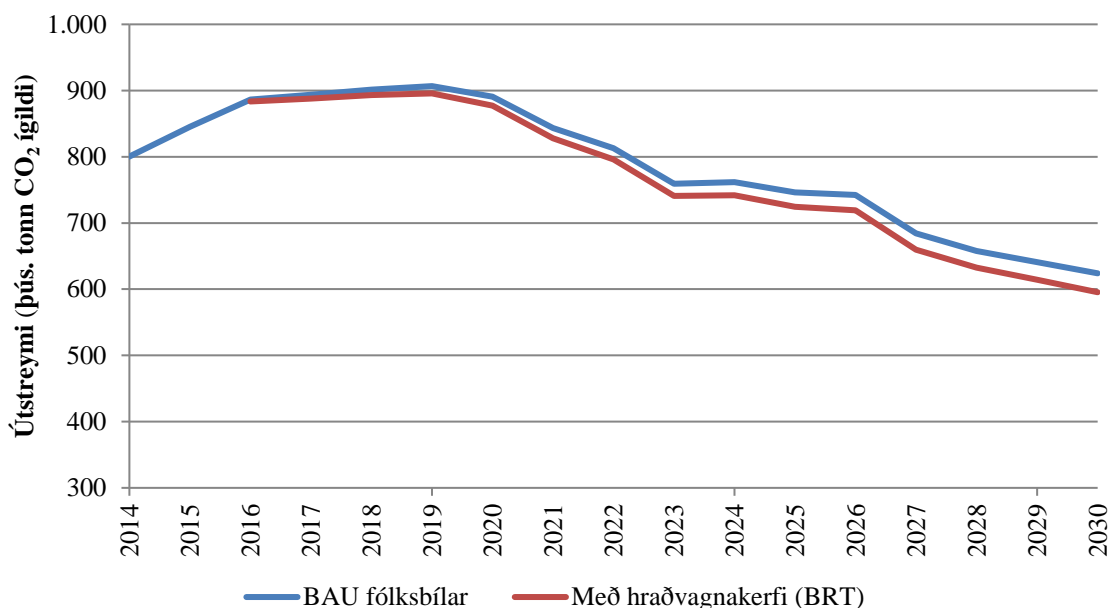
Gert er ráð fyrir að árlegur rekstrarkostnaður af rekstri hraðvagnakerfis sé að hálfu greiddur með fargjöldum en að hálfu af hinu opinbera. Þetta er algeng kostnaðarskipting fyrir borgir á stærð við höfuðborgarsvæðið. Af erlendri reynslu að dæma myndi hraðvagnakerfi á höfuðborgarsvæðinu kosta hið opinbera um 600 milljónir króna á ári á tímabilinu 2015-2030.

Niðurstöður benda til að kostnaður af því að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda um hvert tonn með uppbyggingu og rekstri hraðvagnakerfis á höfuðborgarsvæðinu verði 35.400 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda til ársins 2030 (sjá töfluTafla 6-3) og að útstreymið minnki af þessum sökum um 29.000 tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári.

**Tafla 6-3. Samdráttur og kostnaður 2030 fyrir uppbyggingu og rekstur innviða fyrir hraðvagna.**

	2030	2015-2050
<b>Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi)</b>	29	1.082
<b>Heildarkostnaður (kr/tonn CO<sub>2</sub>-ígildi)</b>	35.400	

Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda vegna hraðvagnakerfis sést á myndMynd 6-3. Niðurstöður benda til að með tilkomu hraðvagnakerfis á höfuðborgarsvæðinu verði útblástur gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum allt að 4,6% minni árið 2030 en ella.



Mynd 6-3. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda með innleiðingu hraðvagnakerfis.

#### 6.4.1.4 Líttlestakerfi

Í líttlestakerfi eru þeir þættir sporvagna og neðanjarðarlesta sem reynst hafa vel sameinaðir í eitt. Eiginleikar líttlesta eru mjög fjölbreyttir eftir aðstæðum. Þær geta gengið hvort heldur sem er á sameiginlegum eða aðgreindum akreinum/brautum og stærð þeirra og rúmtak er mjög fjölbreytilegt. Þær líttlestir sem til eru í dag ganga fyrir rafmagni (Hansen et al., 2005).

Kostnaður vegna uppbyggingar líttlestakerfis getur verið afar misjafn eftir aðstæðum. Stærstu munar þar um hvort grafa þurfi göng eða byggja upphækkunar fyrir lestarteina þar sem ekki er rými fyrir þá á yfirborði. Stofnkostnaður við uppbyggingu líttlestakerfis á höfuðborgarsvæðinu var metinn af Mannviti verkfræðstofu fyrir SSH árið 2012. Út frá erlendum reynslutölum má ætla að kostnaður við uppbyggingu 15 km líttlestarleiðar á höfuðborgarsvæðinu sé á bilinu 55-75 milljarðar kr. Hér er notast við miðgildi bilsins 65 ma.kr. Á sambærilegan hátt er rekstrarkostnaður metinn sem 1,75 ma.kr. á ári árið 2050.

Í sviðsmyndinni er gert ráð fyrir að einni líttlestarlínu verði komið í gagnið á höfuðborgarsvæðinu árið 2030 og að vinna og útgjöld við hana hefjist árið 2025, frekari framkvæmdir við uppbyggingu kerfisins eigi sér stað milli 2030 og 2050 en á þeim tíma er gert ráð fyrir að kerfið verði tvöfaldað að stærð. Gert er ráð fyrir að uppbygging líttlestakerfis muni draga úr ekinni vegalengd bifreiða á höfuðborgarsvæðinu um 14,4% árið 2050 miðað við árið 2015 en ávinningur er óverulegur fyrir 2030.

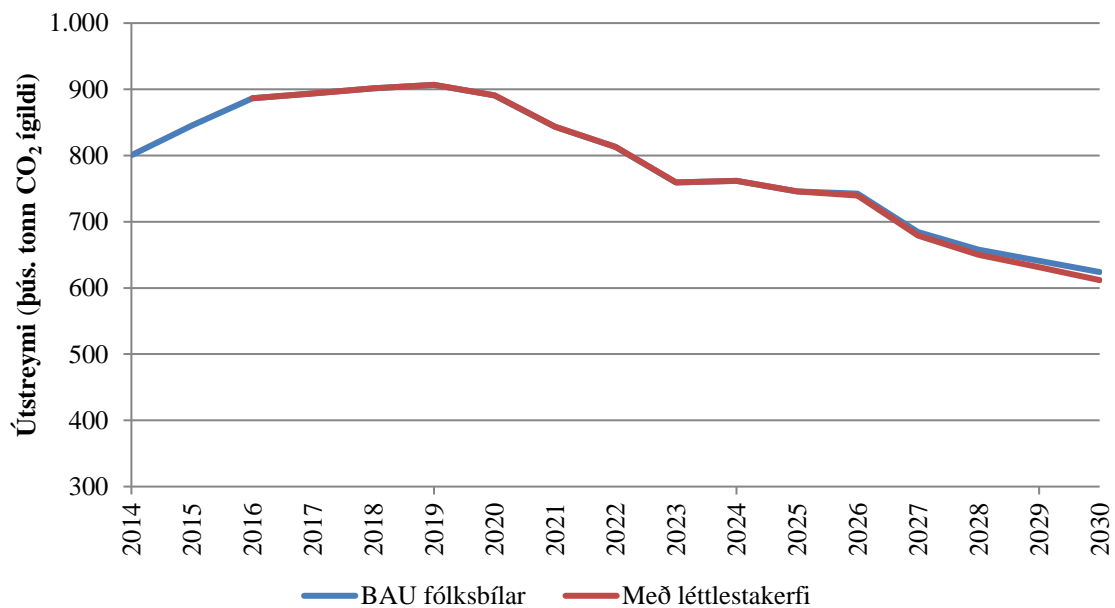
Niðurstöður benda til að heildarkostnaður við samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda með uppbyggingu og rekstri líttlestakerfis á höfuðborgarsvæðinu verði 225.600 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda til ársins 2030 (sjá töflu

Tafla 6-4). Samdráttur í útstreymi fer hinsvegar ekki að gæta að nokkru marki fyrir en vel upp úr 2030.

Tafla 6-4. Samdráttur og kostnaður 2030 fyrir uppbyggingu og rekstur innviða fyrir léttlestir.

	2030	2015-2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	12	699
Heildarkostnaður (kr/tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	225.600	

Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda vegna léttlestakerfis er sýndur á mynd Mynd 6-4. Niðurstöður benda til að með tilkomu léttlestakerfis megi á höfuðborgarsvæðinu draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum um 2,0% árið 2030.



Mynd 6-4. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda með tilkomu léttlestakerfis.

#### 6.4.1.5 Samgönguáðgerðir –Kostnaður og samfélagslegur ábati

Hér á undan hafa verið kynntar mögulegar samgönguáðgerðir hins opinbera til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum ásamt áætluðum kostnaði við hverja áðgerð. Áætlaður kostnaður og umhverfisleg skilvirkni áðgerðanna er reiknuð sem viðbót við grunntilvik spá um óbreytta þróun (BAU fólksbílar). Að því gefnu að umræddar fjárfestingar stuðli að breyttu ferðamátavali og samdrætti í aukningu umferðar þá munu á móti sparast fjármunir í uppbyggingu stofnbrautamannvirkja, sparnaður eldsneytis auk samfélagslegs sparnaðar vegna minni ytri áhrifa bílaumferðar.

#### Uppbygging stofnbrauta á höfuðborgarsvæðinu

Með breyttu ferðamátavali og minnkandi vægi einkabíla þarf stofnbrautarkerfið á minna rými að halda. Ef gert er ráð fyrir að samdráttur í ekinni vegalengd einkabíla innan svæðisins nemi um 15 % árið 2030 miðað við grunnspá sem og að nýting núverandi umferðarmannvirkja aukist, m.a. með bættri stýringu umferðarljósá og öðrum tæknilausnum, má áætla að sparnaður við stofnbrautarkerfið nemi allt að 20%.

Í tillögu til þingsályktunar um samgönguáætlun fyrir árin 2007-2018 sem lögð var fyrir Alþingi er gert ráð fyrir um 50 milljörðum króna í framkvæmdir á grunnneti höfuðborgarsvæðisins. Ef gert er ráð fyrir 20% sparnaði í stofnkostnaði við stofnbrautarkerfið nemur þá áætlaður sparnaður á tímabilinu 2015-

2030 10 milljörðum króna. Auk þess er gert ráð fyrir 12% sparnaði í rekstrar- og viðhaldskostnaði sem má búast við að nemi 130 milljónum króna á ári árið 2030.

Ef gert er ráð fyrir áframhaldandi uppbyggingu stofnbrautarkerfisins frá 2031 til 2050 í takt við tillögu að samgönguáætlun 2007-2018 nemur heildarkostnaður tímabilsins um 130 milljörðum kr. Með áframhaldandi samdrætti í umferð einkabíla má gera ráð fyrir að 30% af þeirri upphæð sparist og að sama skapi sparist um 220 milljónir á ári í rekstrar- og viðhaldskostnað við lok tímabilsins.

#### *Slysakostnaður*

Kostnaður vegna umferðarslysa (samfélagslegur og óbeinn) hefur verið metinn af Hagfræðistofnun Háskóla Íslands og Vegagerðinni. (Sveinn Agnarsson og Brynjólfur Mogensen, 2012; Haraldur Sigþórsson, Vilhjálmur Hilmarsson, 2014). Niðurstöður Hagfræðistofnunar benda til þess að heildarkostnaður við umferðarslys árið 2009 hafi verið á bilinu 22,6-23,5 milljarðar króna á verðlagi þess árs. Miðað við heildarakstur bifreiða það árið má reikna samfélagslegan kostnað umferðarslysa á hvern ekinn kílómetra. Niðurstöður sýna að slysakostnaður á hvern ekinn kílómetra á höfuðborgarsvæðinu var að meðaltali 8,75 kr./km á verðlagi ársins 2009.

Óvarlegt er að gera ráð fyrir að heildarslysakostnaður aukist línulega með ekinni vegalengd til framtíðar. Þegar umferð eykst þá hægist á henni, að því gefnu að umferðarrýmnd sé ekki aukin, og ökumenn verða varkárari. Það leiðir til þess að slys verða ekki eins alvarleg og þeim getur jafnvel fækkað. Sambandið þarna á milli hefur þó ekki verið skilgreint að fullu en vegna þessa er hér reiknað með að slysakostnaður á ekinn kílómetra verði lægri en meðaltal síðustu ára, eða 7 kr./km (Parry et al., 2007).

Þess ber að geta að með fjölgun þeirra sem ganga, hjóla eða nýta sér almenningssamgöngur eykst kostnaður við slys hjá þeim hópi fólks. Að mati skýrsluhöfunda má þó gera ráð fyrir að sá kostnaður sé margfalt minni en slysakostnaður vegna einkabílaumferðar.

#### *Mengunarkostnaður*

Mengunarkostnaði vegna bílaumferðar má skipta í þrennt:

- Kostnað vegna loftmengunar.
- Kostnað vegna hljóðmengunar.
- Kostnað vegna annarrar mengunar.

#### Loftmengun

Bílaumferð á mikinn þátt í almennri loftmengun, ekki síst á þéttbýlum svæðum, meðfram þjóðvegum og innan í göngum.

Í þéttbýli á Íslandi má ætla að þessi hlutdeild sé enn hærri þar sem hér eru fáar aðrar uppsprettur af CO og NOx en útblástur frá umferð. Rannsókn frá árinu 2003 sýndi að 7% af fíngræðu svifryki (PM10) mætti rekja til sótmengunar og um 55% til götuslits ef skoðuð voru vetrarsýni (Umhverfisstofnun, 2003). Rannsóknin var endurtekin árið 2013 þar sem í ljós kom að hlutfall PM10 sem stafar af götusliti hafði minnkað í 17%, hins vegar hafði sótmengun aukist í 30% sem gæti stafað af aukinni hlutdeild díselbifreiða í bílaflotanum (Páll Höskuldsson, 2013).

Kostnað vegna loftmengunar bílaumferðar má aðallega rekja til þeirra áhrifa sem loftmengun hefur á heilsu manna og vistkerfið auk sjónrænna áhrifa. Ýmsar aðferðir hafa verið þróaðar til að reikna út kostnað vegna loftmengunar frá umferð að gefnum ákveðnum forsendum. Hér er notast við tölur frá CE Delft í Hollandi (van Essen et al., 2007) sem tók saman kostnað við mengun frá bílaumferð í Vestur-Evrópu (byggt á UNITE-verkefninu (UNITE, 2008), rannsókn Small og Kazimi (1995) og tölur frá Victoria Transport Policy Institute (VTPI, 2006), sem hefur tekið saman kostnað við mengun í Bandaríkjunum (með aðferðafræði Wang og Santini (1994)).

Í mati á mengunarkostnaði er gert ráð fyrir að kostnaður á hvern ekinn kílómetra vegna loftmengunar innan höfuðborgarsvæðisins sé nær lágildi en hágildi erlendra rannsóknarstofnana og verði óbreyttur 3,22 kr./km á verðlagi ársins 2013.

Í samræmi við umferðarspár og afskiptalausna þróun (BAU) er áætlað að um 2030 verði sparnaður vegna loftmengunar frá bílaumferð á höfuðborgarsvæðinu um 800 milljónir kr. á ári og um 1,7 milljarðar kr. á ári um 2050.

Það er vel hugsanlegt að kostnaður vegna loftmengunar verði eitthvað lægri en tölur hér að ofan gefa til kynna enda ekki ólíklegt að einhverjar framfarir verði í mengunarvörnum bíla í framtíðinni. Á hinn bóginn er það staðreynd að hluti loftmengunarinnar tengist ekki bruna eldsneytis og veltur því fyrst og fremst á ekinni vegalengd. Einnig virkar það á móti að hinir svokölluðu „gram-per-mile“ staðlar, sem bifreiðaframleiðendur starfa eftir, gera það að verkum að loftmengun frá bílum veltur orðið meira á því hversu langt þeir keyra, frekar en hversu mikið eldsneyti þeir nota (Parry et al., 2007).

### Hljóðmengun

Hávaði er hvítleiður fylgifyskur umferðar. Reyndar er umferð bíla langstærsti orsakavaldur hljóðmengunar. Þegar kostnaður vegna hennar er metinn er litið til eftirfarandi þátta (Litman, 2007):

- Fasteignaverð og lækun þess í nánd við hávaðasama staði.
- Kostnaður vegna óþæginda.
- Kostnaður vegna heilsubreysts.
- Byggðapéttleiki í grennd við hávaðasama staði.
- Dagur/nótt: Hávaði hefur meiri afleiðingar á nóttu en degi. Fyrir næturtíma er rétt að margfalda kostnaðinn með þremur, enda hefur hljóðmengun mun meiri neikvæðar afleiðingar á þeim tíma sem flestir sofa (Bickel et al., 2006).

Líkt og með loftmengun er mat á kostnaði vegna umferðarhávaða umdeilt. Við mat á kostnaði vegna umferðarhávaða í Reykjavík voru notaðar tvær meginheimildir. Annars vegar mat á hávaðakostnaði frá INFRAS/IWW fyrir Evrópu og hins vegar frá Federal Highway Administration (FHWA) í Bandaríkjunum. Talsverður munur er á kostnaðartölum frá þessum tveimur aðilum. Hann skýrist að hluta til af því að FHWA mælir jaðarkostnað hvers nýs farartækis á stórum hraðbrautum, en ekki á minni vegum í þéttbýli (Litman, 2007).

Að mati skýrsluhöfunda eiga tölur INFRAS/IWW betur við þegar kostnaður vegna umferðarhávaða í Reykjavík er áætlaður, en þar er kostnaður vegna umferðarhávaða 0,06 kr. á ekinn kílómetra. Þrátt fyrir að Reykjavík sé tiltölulega dreifbýl borg er víðast hvar tiltölulega stutt í umferðaþungar stofnbrautir, tengibrautir og safngötur. Ætla má að árið 2006 hafi 4,8% Reykvíkinga búið við hljóðvistarvandamál, eða umferðarhávaða yfir 65dB við húshlið (Hjalti J. Guðmundsson, 2007) og hafði það hlutfall þá lækkað úr 6,2% frá 1997. Í samanburði hefur verið áætlað að 20% íbúa Evrópusambandsins búi við sams konar hljóðvistarvandamál (Berglund et al., 1999). Rétt er að benda á að þrátt fyrir að hávaða sé náð undir 65dB markið er ekki þar með sagt að kostnaður vegna umferðarhávaða sé úr sögunni. Samkvæmt Umhverfistofnun Þýskalands (UBA) munar um kostnað vegna hljóðmengunar þegar hávaðinn fer yfir 45dB hljóðstig (van Essen et al., 2007).

Miðað við gefnar forsendur má ætla að kostnaður vegna hljóðmengunar á höfuðborgarsvæðinu árið 2006 hafi verið um 90 milljónir króna á verðlagi þess árs. Í samræmi við umferðarspár og afskiptalausna þróun er áætlað að um 2030 verði kostnaður vegna hljóðmengunar frá bílaumferð á höfuðborgarsvæðinu um 200 milljónir kr. á ári og um 227 milljónir kr. á ári um 2050 á verðlagi ársins 2013. Gera má ráð fyrir að með samdrætti í vexti umferðar mætti spara samfélaginu 15,9 milljónir króna á ári frá 2015 til 2030.

### Annar ytri kostnaður bifreiðaumferðar

Önnur umhverfismengun sem hlýst af umferð bifreiða er m.a. vatns- og jarðvegsmengun, ljósmengun, landslagsmengun, mengun vegna framvæmda við mannvirki og einangrunaráhrif sem koma fram þegar stórar umferðaræðar hamla samgöngum milli hverfa. Öll þessi atriði hafa vissulega kostnað í för með sér fyrir borgarbúa en eiga það hins vegar sameiginlegt að gríðarlegum vandkvæðum er bundið að meta kostnað við þau vegna bílaumferðar (INFRAS/IWW, 2004). Kostnaður vegna annarrar umhverfismengunar en loft og hljóðvistarmengunar er ekki metinn í þessu verkefni.

Rannsóknir sýna að regluleg hreyfing minnkar líkurnar á ýmsum sjúkdómum. Fullorðnir ættu að stunda miðlungs erfiða hreyfingu í minnst 30 mínútur daglega. Heildartímanum má skipta upp í nokkur styttri tímabil yfir daginn, t.d. 10-15 mínútur í senn. Þeir sem ganga, hjóla eða nýta sér almenningssamgöngur til að ferðast á milli staða eru líklegri til að hreyfa sig meira en þeir sem nota einkabílinn (Lýðheilsustöð, 2008). Þó svo að ákvarðanir í samgöngumálum geti haft jákvæð áhrif á lýðheilsu og dregið úr kostnaði við heilbrigðiskerfið er sparnaður við heilbrigðiskerfið vegna aukinnar notkunar almenningssamgangna ekki metinn í þessu verkefni.

#### 6.4.1.6 Samgönguaðgerðir – samlegðaráhrif:

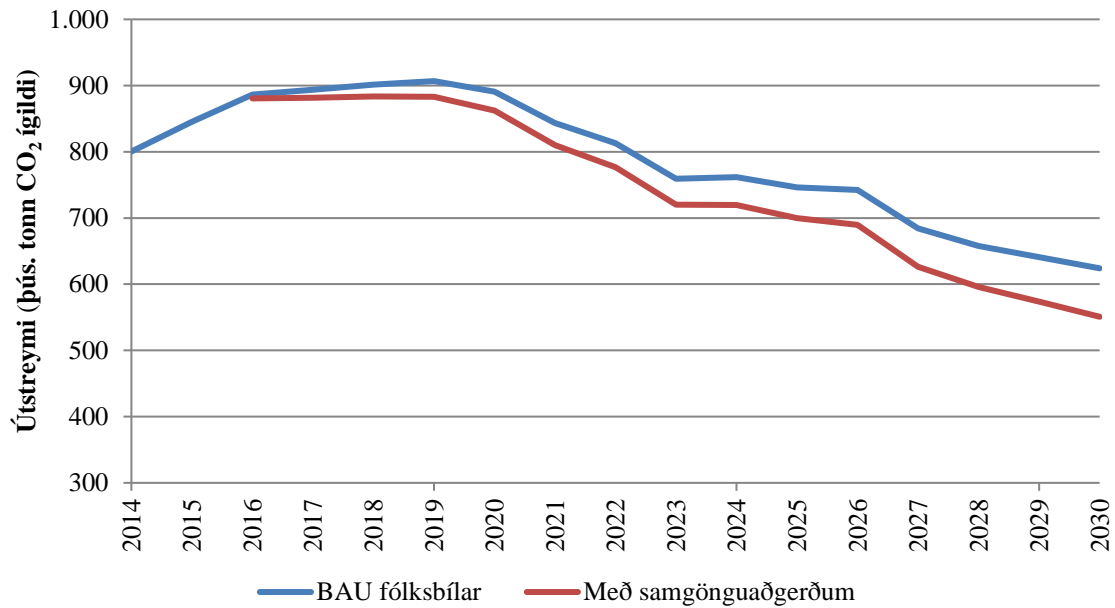
Í sviðsmynd þar sem áhersla er lögð á allar raunhæfar aðgerðir til eflingar almenningssamgangna sem og göngu og hjólreiða má meta samlegðaráhrif samgönguaðgerðanna til sparnaðar í útblæstri.

Benda niðurstöður til þess að á tímabilinu 2015-2030 verði heildarkostnaður af aðgerðunum um 41.200 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töfluTafla 6-5), og vegur hinn mikli kostnaður vegna uppbyggingar léttlestakerfis þungt. Ábatinn af samgönguaðgerðunum felst einkum í minni ytri kostnaði bílaumferðar og minni kostnaði við vegasamgöngur. Ekki er tekinn með í reikninginn sá ábati sem hlýst vegna bættrar heilsu.

Tafla 6-5 Samdráttur og kostnaður 2030 fyrir uppbyggingu og rekstur innviða fyrir allar samgönguaðgerðir

Aðgerð	Minnkun 2030 (tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	Kostnaður á tonn (kr/tonn CO <sub>2</sub> ígildi)
Ganga + Hjól	32	-23.000
Hraðvagnar	29	35.400
Léttlestir	12	225.600
Samtals	73	41.200

Niðurstöður benda til að með þeim samgönguaðgerðum sem taldar hafa verið upp megi draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum um allt að 11,7% árið 2030 miðað við spá um afskiptalaus þróun. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda vegna samlegðaráhrifa samgönguaðgerða er sýndur á myndMynd 6-5.



Mynd 6-5. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Samlegðaráhrif samgönguáðgerða.

Gert er ráð fyrir að til ársins 2025 verði ráðist í ódýrar framkvæmdir, þ.e. uppbyggingu innviða fyrir gangandi og hjólandi sem, miðað við gefnar forsendur, skila fjárhagslegum nettóábata sem og uppbyggingu hraðvagnakerfis. Samspil þessara framkvæmda er mikilvægt þar sem bætta almenningssamgöngur koma í stað lengri bílferða. Ganga og hjólréiðar eru ferðamáti fyrir ferðir allt að 2 til 4 km.

Samlegðaráhrif áðgerða eru töluverð. Þegar göngur og hjólréiðar aukast, er líklegt að fólk nýti sér almenningssamgöngur oftar, enda orðið minna mál að ganga eða hjóla að biðstöð. Á sama hátt er líklegt að þegar fólk nýtir sér almenningssamgöngur, sé minna mál en áður að ganga eða hjóla stuttar vegalengdir.

Samlegðaráhrif samgönguáðgerða eru þó enn víðtækari. Heimildir benda til að einstakar áðgerðir skili litlum árangri. Þannig þýðir lítið að leggja fjármuni í styrkingu almenningssamgangna, göngu og hjólréiða ef stuðningsáðgerðir sem ætlað er að draga úr vægi einkabílsins fylgja ekki með. Hægt er að margfalda skilvirkni styrkingar vistvænna samgangna með hagrænum hvötum, fjárhagslegri umbun til þeirra sem nota vistvæna ferðamáta um leið og sýnilegur kostnaður (bílastæðagjöld, eldsneytisskattar og önnur gjaldtaka) við notkun einkabíla er aukinn.

Frá árinu 2026 til 2050 snýr uppbygging almenningssamgangna fyrst og fremst að uppbyggingu léttlestakerfis sem leysir hraðvagnakerfi af hólmi. Þær framkvæmdir eru fjárhagslega ekki eins hagkvæmar og framkvæmdirnar frá 2015-2025.

## 6.4.2 Bætt orkunýting

### 6.4.2.1 Sparneytnari bensín-og díselbílur

Ef hluti nýrra fólksbíla yrði töluvert sparneytnari en hann er í dag og spáð er í grunnspá mætti draga nokkuð úr losun gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum. Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að frá og með árinu 2016 aukist sala bensín- og díselbílur sem eyða að jafnaði 20% minna eldsneyti en gert er ráð fyrir

miðað við afskiptalausá þróun. Þegar minnst er á sparneytnar bifreiðar hér á eftir er þá átt við slíkar bifreiðar. Gert er ráð fyrir að aukning í sölu sparneytnari fólksbíla umfram grunnspá hefjist árið 2015.

Gert er ráð fyrir að kostnaður við sparneytnar bifreiðar sé sá sami og fyrir hefðbundnar bifreiðar sem þær leysa af hólmi. Þá er gert ráð fyrir að innleiðing sparneytnari bifreiða eigi sér stað í takt við eðlilega endurnýjun bílaflotans. Þar af leiðandi er enginn nettókostnaður fólgin í kaupum á nýjum bifreiðum. Ávinningur sem hlýst af aukinni innleiðingu sparneytnari bifreiða felst í sparnaði við eldsneytiskostnað.

Niðurstöður benda til þess að á tímabilinu 2015-2030 verði verulegur ávinningur af fjölgun sparneytnari bensín og dísilfólksbíla. Efnahagslegur ávinningur af aðgerðunum er áætlaður um 53.300 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda til ársins 2030 (sjá töfluTafla 6-6).

Tafla 6-6. Samdráttur og kostnaður 2030 vegna innleiðingar sparneytnari dísil- og bensín fólksbíla.

Aðgerð	2030	2015-2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	32	1,382
Heildarkostnaður (kr/tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	-53.300	

Miðað við spá um afskiptalausá þróun verður samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegnda vegna aðgerðanna rúm 5,2% árið 2030. Þróun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda miðað við afskiptalausá þróun má sjá á myndMynd 6-6.



Mynd 6-6. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Sparneytnari fólksbílar.

#### 6.4.2.2 Dísilfólksbílar

Ef hlutur dísilfólksbíla af nýjum fólksbílum yrði meiri en hann er í dag og spáð er við afskiptalausá þróun mætti draga nokkuð úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda, þar sem nýjar dísilvélar eru nokkru nýtnari en sambærilegar bensínvélar og hafa í för með sér minni losun gróðurhúsalofttegunda.

Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að frá og með árinu 2015 aukist sala dísilfólksbíla miðað við afskiptalausá þróun á kostnað bensínbíla.

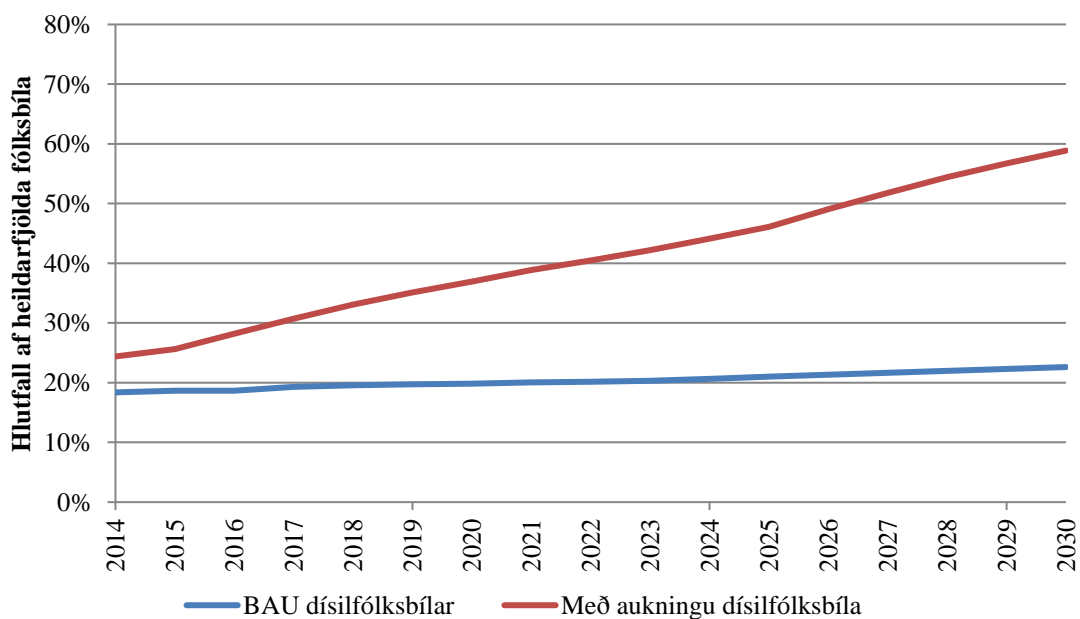
Gert er ráð fyrir að hlutur dísilfólksbíla í fólksbílaflotanum aukist úr 17% árið 2015 í 53% árið 2050 og verði þá allir fólksbílur sem ekki ganga fyrir óhefðbundum orkugjöfum á þeim tíma dísilfólksbílur. Mynd 6-7 sýnir þróun í innleiðingu díselfólksbíla.

Gert er ráð fyrir að dísilfólksbílur kosti jafnmikið og þær bifreiðar sem þær taka við af. Þá er gert ráð fyrir að innleiðing dísilfólksbifreiða eigi sér stað í takt við eðlilega endurnýjun bílaflotans. Þar afleiðandi er engin nettókostnaður fólgin í kaupum í nýjum bifreiðum. Ávinningur sem hlýst af aukinni innleiðingu dísilfólksbíla felst í sparnaði við eldsneytiskostnað.

Niðurstöður benda til að ávinningur sé af fjölgun dísilfólksbíla á kostnað bensínfólksbíla. Fjárhagslegur ávinningur er áætlaður um 10,200 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda frá 2015-2030 (tafla Tafla 6-7).

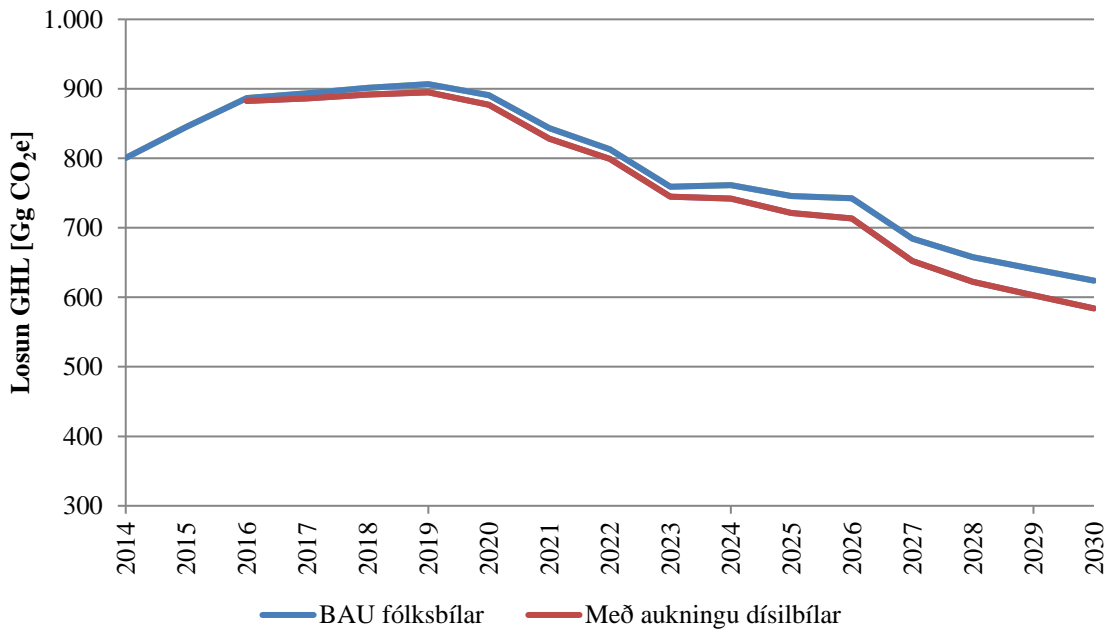
Tafla 6-7. Samdráttur og kostnaður frá 2030 vegna innleiðingar dísilfólksbíla á kostnað bensínfólksbíla.

	2030	2015-2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	40	1.288
Heildarkostnaður (kr/tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	-10,200	



Mynd 6-7. Þróun í innleiðingu dísilfólksbíla á kostnað bensínbíla.

Þróun í losun gróðurhúsalofttegunda með aukinni innleiðingu dísilfólksbíla miðað við spá um afskiptalausá þróun er sýnd á mynd Mynd 6-8. Niðurstöður benda til að með innleiðingu dísilfólksbíla á kostnað bensínfólksbíla megi draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum um allt að 6,4% miðað við spá um afskiptalausá þróun fyrir árið 2030.



Mynd 6-8. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Dísilfólkabílar.

### 6.4.3 Óhefðbundnir orkugjafar

Síðastliðinn áratug hefur síaukin áhersla verið lögð á rannsóknir og notkun annarra orkumiðla en hefðbundins jarðefnaeldsneytis. Þar er einkum horft til eldsneytis á ökutæki, þ.e. bensíns og dísilólú, í því skyni að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda, en oft einnig til að auka orkuöryggi. Í sumum tilfellum er um að ræða eldsneyti sem hefur verið þekkt í fjöldamörg ár, en hafði ekki verið nýtt að ráði þar sem mun hagkvæmara var að nota hefðbundið jarðefnaeldsneyti. Sem dæmi um slíkt eldsneyti má nefna s.s. ýmis alkóhól, jurtaolíu og umestradar afleiður hennar (lífdísil) og gastegundir eins og metan, própan og bútan.

Lífeldsneyti má almennt skipta í tvo meginflokk: (i) venjulegt lífeldsneyti, sem þegar er til sem verslunarvara og er einnig kallað fyrstu kynslóðar lífeldsneyti, og (ii) þróað, annarrar kynslóðar lífeldsneyti, sem almennt er enn á tilraunastigi.

Fyrstu kynslóðar lífeldsneyti er ýmist gert úr dýra- eða jurtaolíu eða sykrum og sterkju úr jurtum sem einnig eru ræktaðar til manneldis. Úr sykrum og sterkjum plantna má vinna etanól og úr dýra- og jurtafitum má vinna lífídislólú með umestrun eða vetnisbætingu. Að auki er metangas unnið úr hauggasi eða framleitt í gasgerðarstöðvum með loftfirrtri gerjun lifræns úrgangs.

Annarrar kynslóðar lífeldsneyti byggir á tæknilausnum þar sem eldsneyti er unnið úr cellulósa og lífrænum úrgangi. Þessar gerðir eldsneytis eru fæstar framleiddar fyrir almennan markað. Af þeim annarrar kynslóðar tæknilausnum sem næst eru komnar iðnaðarskala má nefna framleiðslu Fischer-Tropsch dísilólú með lífmassagösun og vinnslu metanóls, dímetýleters og FT-dísilólú úr koldíoxíði með vetnisbætingu.

Hægt er að blanda alkóhólum svo sem etanóli og metanóli í bensín, allt að 5–15%, án þess að breyta bíl vélum. Á markaði eru einnig bílar sem geta gengið á eldsneytisblöndu með allt að 85% af etanóli og kallast slíkt eldsneyti E85. Með því að umbreyta jurtaolíu með metanóli í metýlestera er hægt að nota hana beint á dísilvélar eða blanda hana dísilólú.

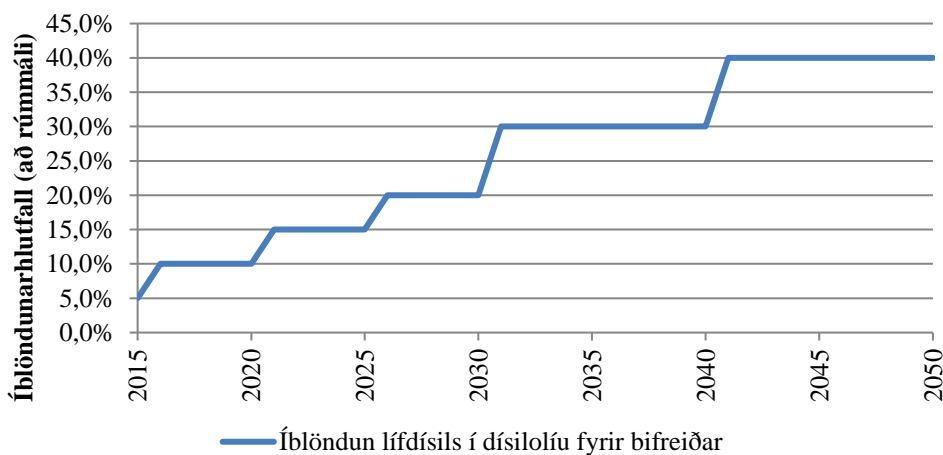
Miklar umræður hafa verið undanfarin ár um sjálfbærni við framleiðslu lífoldsneytis. Máli skiptir hvaða land er tekið til ræktunar, t.d. hvort skógi er rutt úr vegi eða votlendi þurrkað. Einnig þarf að gæta að verndun líffræðilegrar fjölbreytni, áhrifum á matvælaframleiðslu, vernd vatns- og jarðvegsgæða og samfélagslegum áhrifum. Framleiðsla lífoldsneytis veldur útstreymi gróðurhúsalofttegunda og því er nauðsyn á upplýsingum um raunverulegan ábata af því að nota lífoldsneyti í stað jarðefnaeldsneytisins. Í drögum að tilskipun Evrópusambandsins um endurnýjanlega orkugjafa er, auk ákvæða um sjálfbærni, ákvæði um að samdráttur m.t.t. útstreymis gróðurhúsalofttegunda sé a.m.k. 35%. Frá árinu 2017 er ákvæðið hert og gert ráð fyrir 50% samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda vegna notkunar lífoldsneytis framleiddu af starfandi fyrirtækjum og 60% ábata af notkun lífoldsneytis frá fyrirtækjum sem taka til starfa 2017 eða síðar. Hér er gert ráð fyrir að allt lífoldsneyti sem hér verði notað uppfylli þessi ákvæði.

Á Íslandi er hægt að rækta lífmassa til framleiðslu fyrstu kynslóðar lífoldsneytis, en hagkvæmnin er hæpin. Líklegt er að ódýrara sé að flytja inn lífoldsneyti þar til annarrar kynslóðar lífoldsneyti fer að ryðja sér til rúms.

#### 6.4.3.1 Lífdísilolía í dísilolíu

Íblöndun lífdísilolíu í hefðbundna díselolíu hefur átt sér stað í litlu magni hérlendis um árabil. Innlend framleiðsla á lífdísil fer fram hjá nokkrum litlum framleiðendum þar sem dýra- og jurtafitur eru umestraðar til að mynda lífdísilolíu. Með setningu laga nr 40/2013 var söluaðilum eldsneytis gert að tryggja að minnst 3,5 % af orkugildi heildsölu alls eldsneytis endursöluaðila sé af endurnýjanlegum uppruna og skuli hlutfall þess aukast í 5% árið 2015.

Í sviðsmyndinni er gert er ráð fyrir að árið 2015 verði íblöndun lífdísils í dísilolíu fyrir bifreiðar sem nemur 5% af allri dísilolíu. Þróun íblöndunarhlutfalls kemur fram á myndMynd 6-9, en gert er ráð fyrir að það verði aukið í 10% árið 2016, 15% árið 2021, 20% árið 2026, 30% árið 2031 og loks 40% árið 2041.



Mynd 6-9. Þróun íblöndunarhlutfalls lífdísilolíu í hefðbundin dísil.

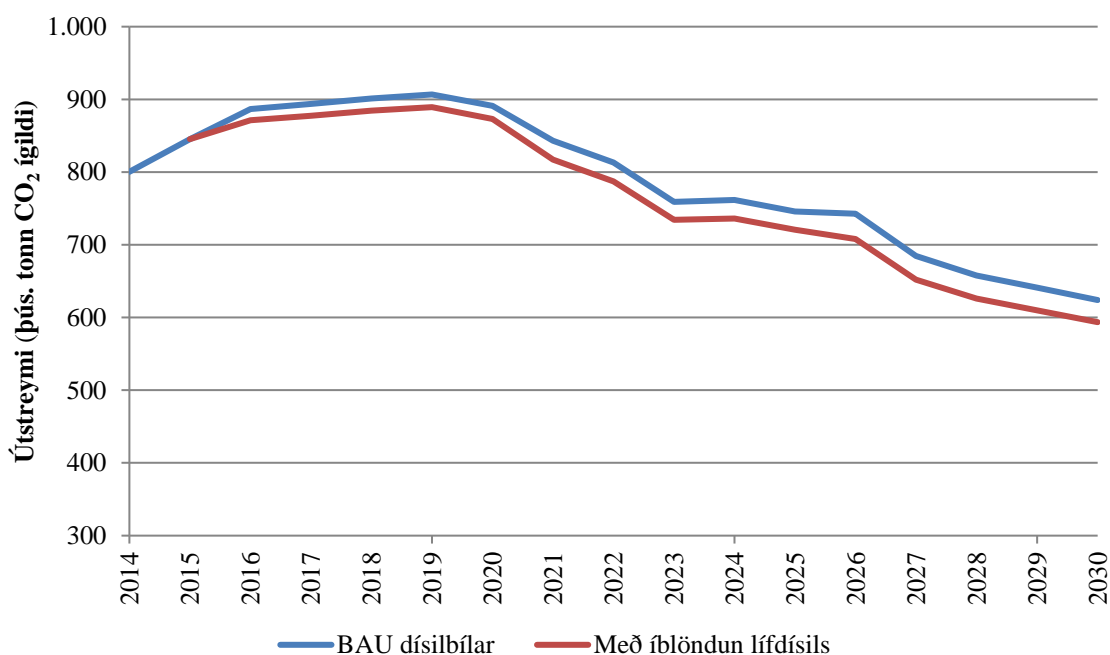
Kostnaður við sviðsmyndina um íblöndun lífdísilolíu í hefðbundinn dísil er áætlaður út frá væntum kostnaðarmun orkugjafa. Niðurstöður benda til að kostnaður við íblöndun lífdísilolíu í hefðbundinn dísil sé um 800 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda 2030 eins og sést í töflu

Tafla 6-8.

Tafla 6-8. Samdráttur og kostnaður frá 2030 við íblöndun lífdísilólíu í hefðbundinn dísil.

	2030	2015-2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	30	1,000
Heildarkostnaður (kr/tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	800	

Þróun í útblæstri gróðurhúsalofttegunda með íblöndun lífdísilólíu í hefðbundinn dísil er sýnd á myndMynd 6-10. Niðurstöður benda til að með íblöndun lífdísilólíu í hefðbundna dísilólíu megi draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum um allt að 4,9% miðað við spá um afskiptalausá þróun fyrir árið 2030.

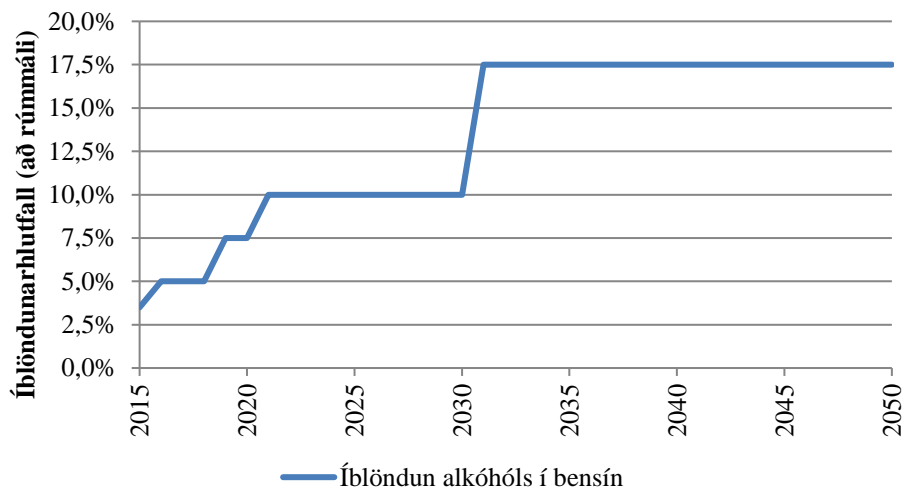


Mynd 6-10. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Íblöndun lífdísilólíu í hefðbundinn dísil.

#### 6.4.3.2 Alkóhól í bensín

Íblöndun endurnýjanlegra alkóhólstegunda (eins og metanól, etanól og butanól) í bensín á Íslandi hófst í kjölfar setningar laga nr 40/2013 þar sem söluaðilum eldsneytis er gert að tryggja að minnst 3,5% af orkugildi heildarsölu alls eldsneytis á landinu skuli vera af endurnýjanlegum uppruna. Frá og með árinu 2015 skuli íblöndunarhlutfall hækka í 5,0%. Lögin fólu í sér innleiðingu Evróputilskipunar 2009/28/EB um innleiðingu endurnýjanlegra orkugjafa. Etanól er ekki framleitt á Íslandi en metanól er framleitt á litlum skala af nýsköpunarfyrirtækinu CRI.

Í sviðsmyndinni er gert ráð fyrir að árið 2015 verði allt bensín fyrir bifreiðar íblandað 3,5% af alkóhóli að rúmmáli en hækki í 5% strax árið 2016. Þróun íblöndunarhlutfalls kemur fram á myndMynd 6-11, en gert er ráð fyrir að það verði aukið í 7,5% árið 2019, 10% árið 2021 og loks 17,5% árið 2031. Skýrsluhöfundar telja lítinn ávinning í herra íblöndunarhlutfalli alkóhóls í bensín, þar sem að það muni þá krefjast fjölkubifreiða og því væri skilvirkara að hefja frekar innleiðingu E85 eldsneytis og bifreiða.



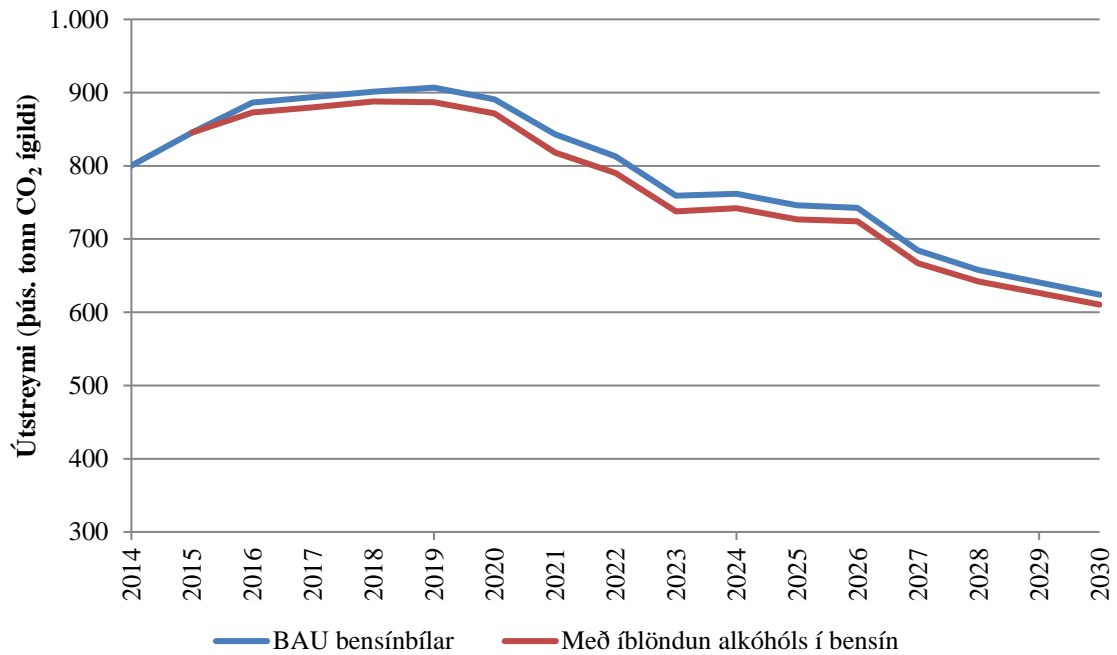
**Mynd 6-11. Þróun íblöndunarklutfalls alkóhóls í bensín.**

Kostnaður við sviðsmyndina um íblöndun alkóhóla í hefðbundið bensín er áætlaður út frá væntum kostnaðarmun orkugjafa. Niðurstöður benda til að ávinningur sé af íblöndun alkóhóls í bensín. Fjárhagslegur ávinningur er áætlaður um 1.280 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda 2030 eins og sést í töfluTafla 6-9.

**Tafla 6-9 Samdráttur og kostnaður frá 2015-2013 við íblöndun alkóhólstegunda í bensín**

	2030	2015-2050
<b>Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi)</b>	14	831
<b>Heildarkostnaður (kr/tonn CO<sub>2</sub>-ígildi)</b>	-1.280	

Niðurstöður sviðsmyndarinnar eru sýndar á myndMynd 6-12. Niðurstöður benda til að með íblöndun alkóhóls í hefðbundið bensín megi draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum um allt að 2,2% miðað við spá um afskiptalausá þróun fyrir árið 2030.



Mynd 6-12 Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Íblöndun alkóhóls í hefðbundið bensín

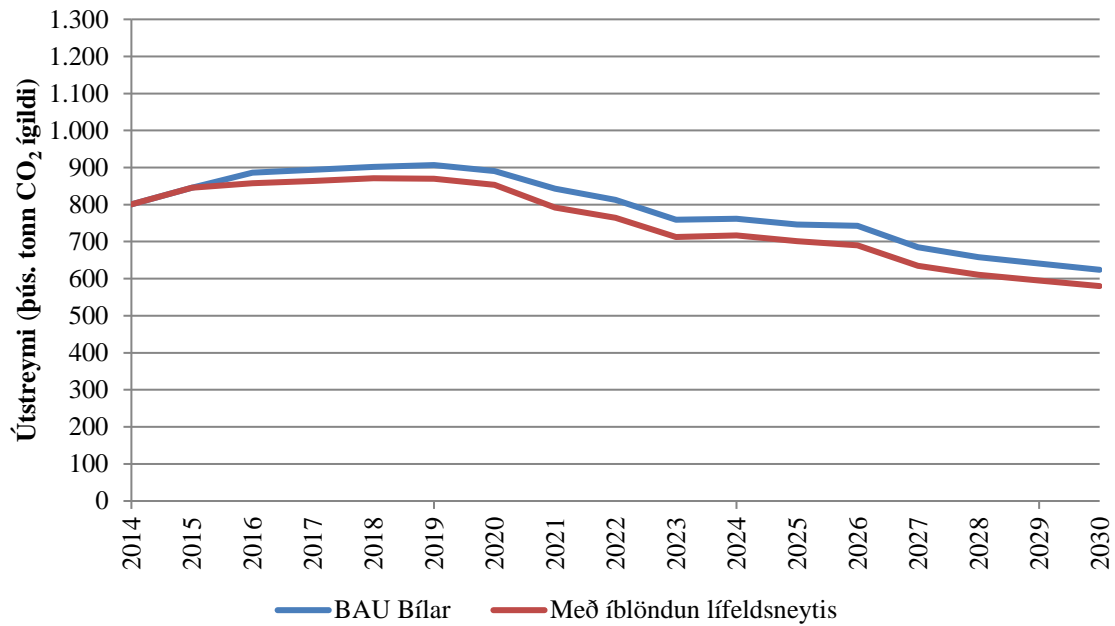
#### 6.4.3.3 Samantekt: Óhefðbundnir orkugjafar

Séu samlegðaráhrif sviðsmyndanna sem snúa að óhefðbundnum orkugjöfum metnar benda niðurstöður til þess að á tímabilinu 2015-2030 sé heildarávinningur af aðgerðunum 873 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda eins og sjá má á töfluTafla 6-10. Samanlagt yrði samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda 44 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda árið 2030.

Tafla 6-10. Samdráttur og kostnaður frá 2015-2013 við íblöndun lífildsneytis í bensín og dísilólíu.

Aðgerð	Minnkun 2030 (Þús. tonn CO <sub>2</sub> ígildi)	Heildarkostnaður (kr/tonn CO <sub>2</sub> ígildi)
Lífildsill í dísilólíu	30	800
Alkóhól í bensín	14	-1.280
Samtals	44	160

Niðurstöður sviðsmyndarinnar eru sýndar á myndMynd 6-13. Niðurstöður benda til að með íblöndun lífildsneytis í hefðbundið bensín og díselólíu megi draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum um allt að 7,0% miðað við spá um afskiptalaus þróun fyrir árið 2030.



Mynd 6-13. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Íblöndun lífoldsneytis í hefðbundið bensín og dísil.

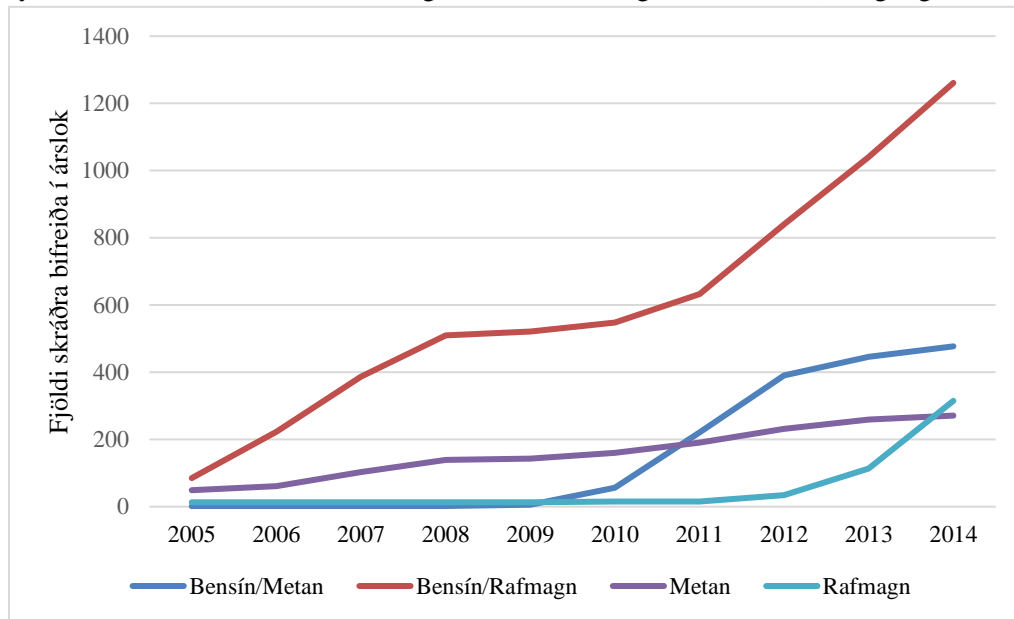
#### 6.4.4 Ný bifreiðatekni

Þróun á nýjum tegundum farartækja fyrir fólks- og flutningabifreiðar hefur verið í hámarki undanfarin ár. Þær tæknilausnir sem hafa verið kynntar byggja á notkun margs konar orkumiðla, s.s. rafmagni, vetni, alkóhóli og brennanlegum lífrænum gösum, t.d. metani. Farartækin eru ýmist hönnuð til að nýta einn endurnýjanlegan orkumiðil eða sem svokallaðir fjölorkubílar (Flexible fuel vehicle) sem geta gengið fyrir bæði endurnýjanlegum og hefðbundnum orkumiðlum. Sem dæmi um fjölorkubifreiðar eru E85 bifreiðar sem ganga fyrir blöndum af etanóli og bensíni þar sem hlutfall etanóls er allt að 85% og bifreiðar sem ganga fyrir lífrænum gastegundum eins og metani og eru gjarnan með annan eldsneytistank fyrir fljótandi jarðefnaeldsneyti til að auka drægni. Loks má nefna tvinn tengilbíla sem sem knúnir eru rafmótor en eru einnig útbúnir bensín- eða dísilvél til að auka drægni.

Á seinustu árum hafa margir hefðbundnir bílaframleiðendur tilkynnt áform um að setja á markað bifreiðar knúnar endurnýjanlegum orkugjöfum. Þannig bjóða flestir framleiðendur upp á metan- eða jarðgasknúna bíla sem og bíla sem ganga fyrir hærri blöndum af alkahóli, E85 bíla. Þá hafa á árunum 2014-2015 flestir hefðbundnir bílaframleiðendur tilkynnt um útgáfur nýrra tegunda tengiltvinn- og rafhlöðurafbíla. Minna hefur farið fyrir þróun vetnisbíla undanfarin ár þó svo að einhverjir framleiðendur hafi tilkynnt um áform um markaðsetningu vetnisbíla á næstu misserum. Hægar framfarir í þróun efnarafala (e. Fuel cell) hafa valdið minnkandi áhuga á vetnisbílatekni og eru þeir vetnisbílar sem gert er ráð fyrir í þessu verkefni knúnir sprengihreyfli.

Á undanförunum árum hefur verið nokkur innleiðing á nýrri bifreiðatekni á Íslandi. Mest hefur aukningin verið í innflutningi bifreiða sem knúnar eru metani eða rafmagni. Á myndMynd 6-14 má sjá þróun í skráðum bifreiðum eftir orkugjafa í árslok frá 2005-2014. Af myndinni má sjá að þó nokkur aukning varð á nýskráningu bifreiða knúnum metani á árunum 2010-2012, en hægst hefur á fjölgun þessara bíla á allra síðustu árum. Frá 2012 hefur nýjum rafbílum fjölgað nokkuð, sem og tvinnbílum sem ganga bæði

fyrir bensíni og rafmagni. (Samgöngustofa, 2015).



Mynd 6-14. Þróun í skráðum bifreiðum í árslok eftir orkugjafa 2005-2014.

Rafmagnsbílar og vetnisbílar eru einu bílarnir sem fjallað er um í þessari skýrslu sem hafa engan útblástur gróðurhúsalofttegunda í för með sér vegna aksturs. Við mat á útblæstri annarra bíla voru stuðlar úr töfluTafla 6-11 notaðir.

Tafla 6-11 Metinn útblástur gróðurhúsalofttegunda í CO<sub>2</sub>: ígildum eftir eldsneytistegund og stærð bifreiðar

Bifreiðategund	Eldsneyti	CO <sub>2</sub> -ígildi (g/kg eldsneyti) <sup>a</sup>
Fólksbíll	Bensín, með þrívirkum hvarfakút	3180
	Dísill	3140
	Etanól, með þrívirkum hvarfakút	1100
	Metanól, með þrívirkum hvarfakút	117
	Lífdísill (FAME)	942
	Metan, með þrívirkum hvarfakút	292
Millistór Flutningabíll	Bensín	3180
	Dísill	3140
	Etanól	1100
	Metanól	16
	Lífdísill (FAME)	942
	Metan	39
Stór Flutningabíll	Bensín	3180
	Dísill	3140
	Etanól	1100
	Metanól	23
	Lífdísill (FAME)	942
	Metan	41

<sup>a</sup> (Umhverfisstofnun, 2014 and Munos et al 2013)

Gert er ráð fyrir að vetni og rafmagn sem notað verði í sviðsmyndunum sem á eftir koma sé framleitt hérlendis úr endurnýjanlegum orkugjöfum. Gert er ráð fyrir að metan sé framleitt hérlendis með gasvinnslu úr lífrænu sorpi og að innleiðing metanbifreiða takmarkist við fáanlegt magn hráefnis til framleiðslu eldsneytisins.

Áætlaður kostnaður við bifreiðar með þeim tæknilausnum sem eru til skoðunar er sýndur í töfluTafla 6-12. Í töflunni er einnig sýnd áætluð breyting í kostnaði við hverja tækni. Þannig er t.a.m. gert ráð fyrir að rafmagnsbílar lækki í verði um 0,43% á ári á skoðunartímabilinu (IEA 2016).

Tafla 6-12. Áætlaður kostnaður við nýja bifreiðatækni.

Bifreiðatækni	Verð [2010\$] <sup>a</sup>	Verðmínkun [%/ári] <sup>b</sup>
Hefðbundinn fólksbíll	24,168	-
Hefðbundinn flutningabíll	72,504	-
E85 fólksbílar	24,168	-
Metan fólksbílar	26,453	0.06
Vetnis fólksbílar	39,804	0.5
Rafmagns fólksbílar <sup>b</sup>	28,917	0.43

Umfram fjárfestingu í nýjum bifreiðum sem nýta óhefðbundna orkumiðla er fólgin kostnaður í uppbyggingu dreifikerfis og endursölukerfis fyrir nýjar tegundir eldsneytis. Áætlaður kostnaður við uppbyggingu dreifikerfis fyrir mismunandi bifreiðatækni er sýndur í töflu Tafla 6-13. Taflan sýnir kostnað og áætlaða verðlækkun á ári fyrir þær tæknilausnir sem eru til skoðunar. Kostnaður er sýndur sem verð á einni áfyllingardælu. Í tilfalli rafhleðslu er um kostnað að ræða við uppsetningu á einni hraðhleðslustöð.

Tafla 6-13. Áætlaður kostnaður vegna áfyllingarstöðva fyrir nýja bifreiðatækni.

Tegund áfyllingar	Áfyllingargeta	Kostnaður [k\$] <sup>a</sup>	Kostnaðarmínkun [%/ári]
<b>Hefðbundið bensín</b>	2,274 L/h	731	-
<b>Lífdísill</b>	2,274 L/h	731	-
<b>Lífetanól (E85)</b>	2,274 L/h	73	-
<b>Metan</b>	822 m <sup>3</sup> /h	1,140	0.3
<b>Vetni</b>	216 kg/h	3,100	1.2
<b>Hraðhleðslustöðvar</b>	62.5 kW	72	0.44

Rekstrar- og viðhaldskostnaður við hraðhleðslu og vetnisstöðvar var metinn sem 7% af upphaflegri fjárfestingu á ári. Fyrir orkumiðla með lengri notkunarreynslu eins og E85 og metan áfyllingarstöðvar var rekstrar- og viðhaldskostnaður áætlaður 3,5% af upphaflegri fjárfestingu árlega. Ávinningur við hverja sviðsmynd er áætlaður út frá sparnaði í notkun jarðefnaeldsneytis að viðbættum kostnaði við nýjan orkumiðil.

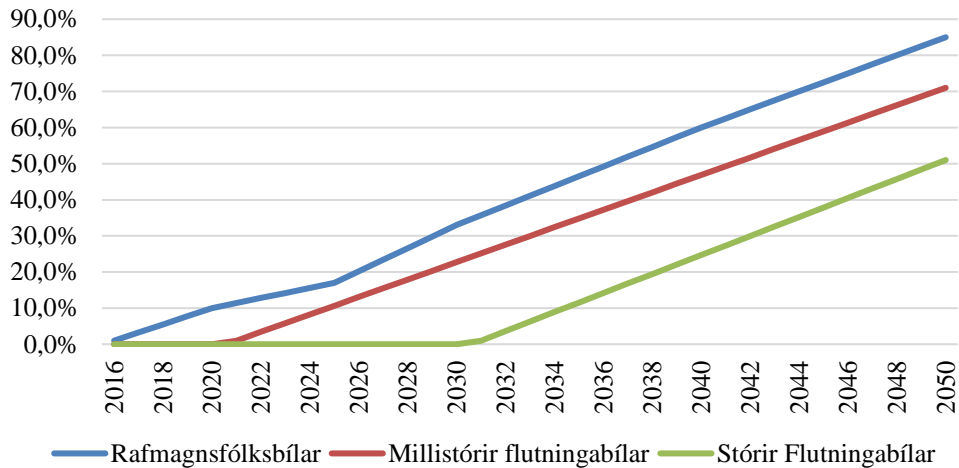
#### 6.4.4.1 Rafmagnsbílar

Þróun í innleiðslu og framleiðslu bifreiða knúnum rafmótorum hefur verið hröð undanfarin ár. Innleiðing rafknúinna bifreiða hófst í kringum aldarmót með sölu svokallaðra tvinnbíla sem knúnir eru hvoru tveggja, jarðefnaeldsneyti og rafmagni. Fyrstu kynslóðar tvinnbílar voru ekki búnir rafkerfi sem hægt var að tengja hefðbundnu dreifikerfi, heldur nýttu bílarnir tilfallna orku, m.a. við hemlun, til að framleiða raforku og auka drægni brunavélarinnar.

Nýjar útgáfur tvinnbíla eru búnar tengilmöguleika og eru kallaðir tengiltvinnbílar. Rafgeyma slíkra bíla má hlaða með því að tengja þá við dreifikerfi raforku en þeir eru einnig búnir bensín- eða dísilrafali sem getur framleitt rafmagn ef rafhlöðuafl er á þrotum, til að auka drægni bifreiðarinnar. Umfram tengiltvinnbíla hefur framboð á hreinum rafhlöðubílum sem eingöngu eru knúnir rafafli aukist undanfarin ár. Þar sem þróun í innleiðingu nýrra rafbíla hefur að mest leyti færst yfir í tengiltvinn- og rafhlöðubifreiðar verður ekki fjallað um kostnað og ávinning af innleiðingu hefðbundinna tvinnbíla.

Gert er ráð fyrir að rafmagnsbílar komi að stórum hluta í stað bensín- og dísilbíla á næstu áratugum. Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að frá árinu 2015 aukist sala á rafmagnsfólksbílum á kostnað hefðbundinna bensín- og dísilbíla og að sama þróun hefjist fyrir millistóra flutningabíla árið 2020 og árið 2030 í tilfalli stórra flutningabíla. Ekki er gert ráð fyrir að framboð af raforku eða nýjum virkjunarkostum takmarki innleiðingu rafmagnsbíla.

Gert er ráð fyrir að vélarafli rafmagnsbíla sé það sama og þeirra bensín- og dísilbíla sem þeir koma í staðinn fyrir. Mynd 6-15 sýnir þróun í innleiðingu á rafmagnsbílum í bifreiðafлотanum. Eins og myndin sýnir er gert ráð fyrir að hlutur rafmagnsbíla verði um 1% árið 2016, um 10% árið 2020 um 33% árið 2030, um 60% árið 2040 og 81% árið 2050. Þannig muni árið 2050 85% fólksbíla, 71% millistórri flutningabíla og 51% stórra flutningabíla ganga fyrir rafmagni.



Mynd 6-15. Þróun í rafbílavæðingu.

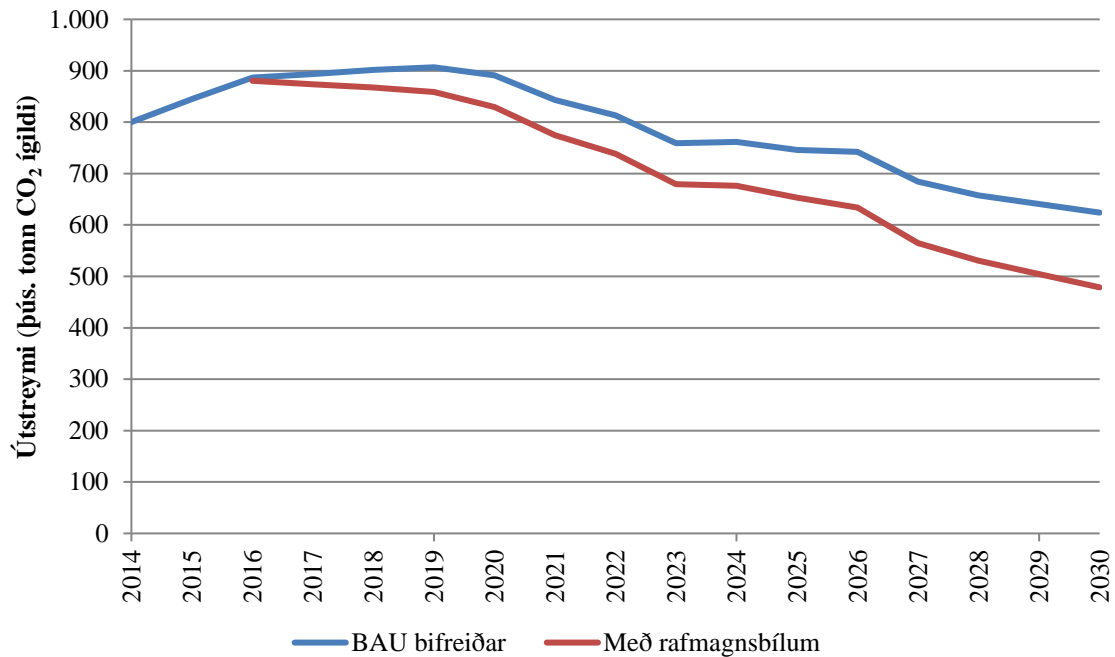
Við uppbyggingu dreifikerfis fyrir rafhleðslu er gert ráð fyrir uppsetningu 20 nýrra hraðhleðslustöðva á ári á tímabilinu 2015-2025, eftir 2025 aukist fjárfesting í dreifikerfi í 40 nýjar stöðvar á ári. Verði þannig árið 2030 um 440 hraðhleðslustöðvar um allt land.

Niðurstöður benda til að 2030 nemi heildarkostnaður af aðgerðunum um 15.300 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda eins og sjá má á töfluTafla 6-14.

Tafla 6-14. Samdráttur og kostnaður 2030 við innleiðingu rafmagnsbíla.

	2030	2015-2050
<b>Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi)</b>	145	6,753
<b>Heildarkostnaður (kr/tonn CO<sub>2</sub>-ígildi)</b>	15.300	

Niðurstöður sviðsmyndarinnar eru sýndar á myndMynd 6-16. Niðurstöður benda til að með rafbílavæðingu bílaflotans megi draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá vegasamgöngum um allt að 23,3% miðað við spá um afskiptalausá þróun fyrir árið 2030.



Mynd 6-16. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Rafbílavæðing.

Ekki var sérstaklega gert ráð fyrir tvinntengibílum í sviðsmyndinni en gert var ráð fyrir að færsla yfir í rafmagnsbíla ætti sér stað að fullu yfir í rafhlöðu- eða efnarafalsdrifna rafbíla. Tvinntengibílar eru rafbílar sem hægt er að tengja við hefðbundið dreifikerfi raforku en eru einnig búnir bensín- eða dísilvél og eru því eins konar millistig milli hefðbundinna bifreiða og rafmagnsbíla. Gera má ráð fyrir að ávinningur við innleiðingu tengiltvinnbíla verði því einhverstaðar á milli ávinnings af rafbílum og spár um afskiptalausá þróun.

#### 6.4.4.2 Vetnisbílar

Vetni er hægt að nota ýmist til að knýja ökutæki búnin sprengihreyflum eða efnarafölum. Á undanföllum árum hafa farið fram rannsóknir á þessum möguleikum vetnis. Hér á landi hafa m.a. farið fram tilraunir með notkun vetnis á bifreiðir og strætisvagna. Efnarafalar nýta eldsneytið betur en sprengihreyflar (brunavélar) en eru töluvert dýrari í framleiðslu og viðhaldi. Á Íslandi myndi vetni líklega vera framleitt úr vatni með rafgreiningu og þá er vetnið í raun orkuberi fyrir raforku. Vetni er möguleg lausn á drægnisvandamáli rafmagnsbíla, en bílarnir og innviðirnir verða mun dýrari.

Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að vetnisbílar með sprengihreyflum komi að stórum hluta í stað bensín- og dísilbíla. Fyrir fólkubíla gerir sviðsmyndin ráð fyrir að frá árinu 2016 aukist sala á vetnisbílum á kostnað hefðbundinna bensín- og dísilbíla með sömu hlutföllum og í tilviki rafbíla, og sama þróun hefjist í tilfelli millistórra flutningabíla árið 2021 og árið 2031 í tilfelli stórra flutningabíla. Ekki er gert ráð fyrir að fjöldi vetnisbíla geti takmarkast af framboði af raforku og möguleikum til bygginga nýrra virkjana.

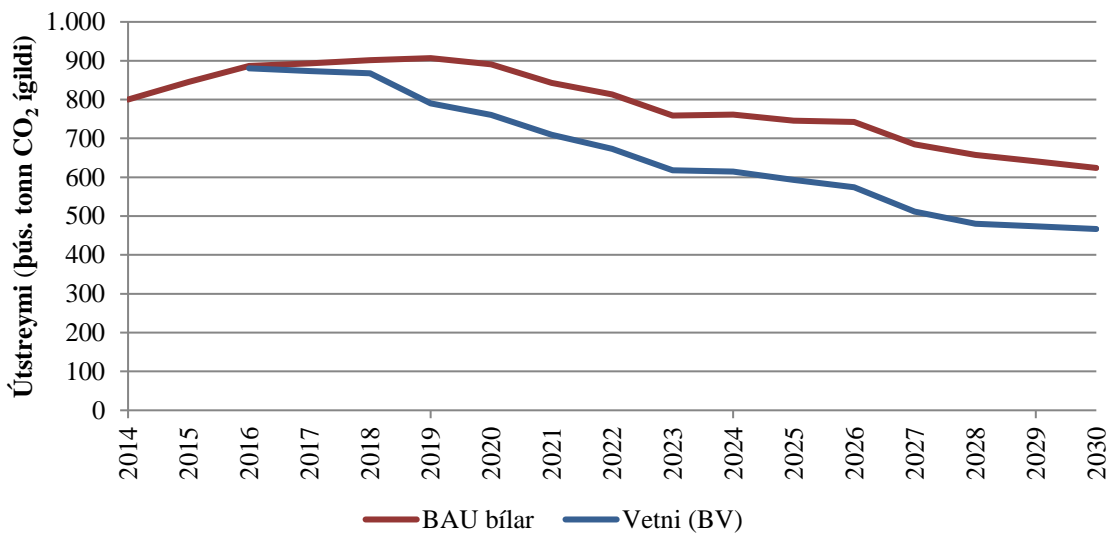
Við uppbyggingu dreifikerfis fyrir vetnisbíla er gert ráð fyrir uppsetningu tveggja nýrra vetnisstöðva á ári á tímabilinu 2015-2030. Verði þannig 30 vetnisstöðvar um allt land árið 2030.

Niðurstöður benda til að á tímabilinu nemi heildarkostnaður vegna aðgerða til innleiðingu vetnisbíla um 203.900 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda eins og sjá má á töfluTafla 6-15.

Tafla 6-15. Samdráttur og kostnaður 2030 við innleiðingu vetnisbíla.

	2030	2015-2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	157	6,832
Heildarkostnaður (kr/tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	203.900	

Niðurstöður sviðsmyndarinnar eru sýndar á myndMynd 6-17. Niðurstöður benda til að með vetnisbílavæðingu megi draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum um allt að 25,2% miðað við spá um afskiptalaus þróun fyrir árið 2030.



Mynd 6-17. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Vetnisbílavæðing.

#### 6.4.4.3 E-85 bílar

Svokallaðir E85-bílar eru ein tegund fjölorkubíla (flexible fuel vehicle) sem geta gengið fyrir blöndu af etanóli og bensíni, þar sem hlutfall etanóls er allt að 85%. Vegna lægra orkuinnihalds etanólsins eyða bílarnir meira af E85 eldsneytinu en þegar þeir ganga fyrir óblönduðu bensíni. Notkun etanóls í stað bensíns leiðir hins vegar til minna ústreymis gróðurhúsalofttegunda, en ávinningurinn er háður því ústreymi gróðurhúsalofttegunda sem verður við framleiðslu etanólsins.

Gert er ráð fyrir að frá árinu 2015 aukist sala á fólksbílum, millistórum flutningabílum og stórum flutningabílum sem ganga fyrir E85 á kostnað hefðbundinna bensín- og dísilbíla. Gert er ráð fyrir að vélarafli E85 bíla sé það sama og þeirra hefðbundnu bifreiða sem þeir koma í stað.

Gert er ráð fyrir að innleiðing E85 bifreiða hefjist árið 2016 og eigi sér stað hlutfallslega jafn hratt fyrir fólksbíla sem og millistóra og stóra flutningabíla. Þannig verði árið 2020 10% af bílaflofanum E85 bifreiðar, 33% árið 2030 og 85% árið 2050.

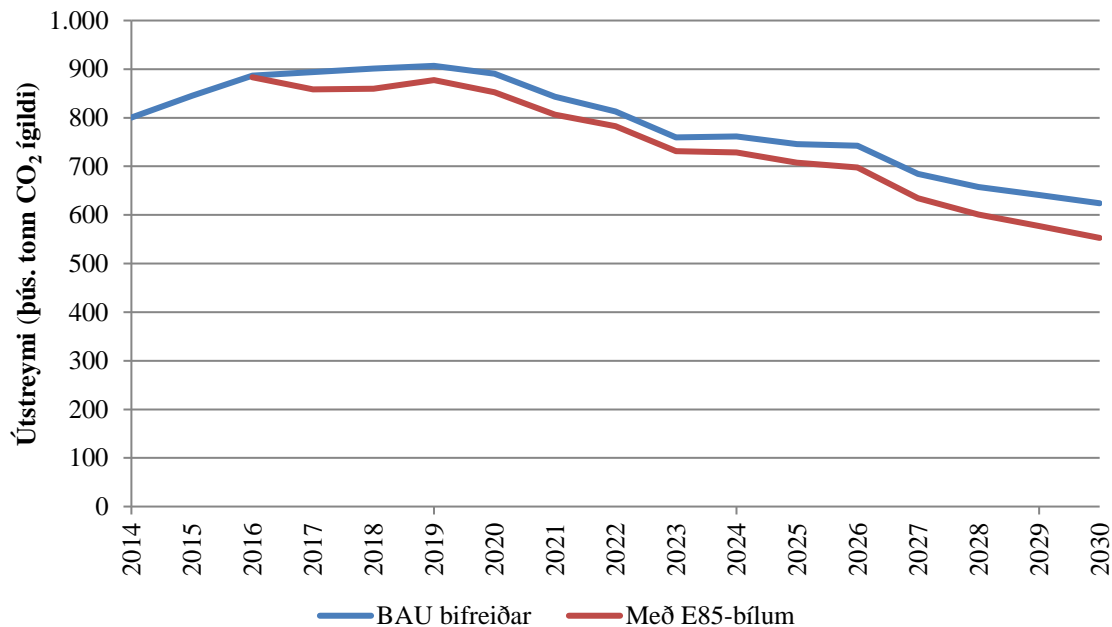
Við uppbyggingu dreifikerfis fyrir E85 bíla er gert ráð fyrir uppsetningu 10 nýrra eldsneytisdeila fyrir E85 á ári á tímabilinu 2015-2030. Verði þannig 150 E85 dælur um allt land árið 2030.

Niðurstöður benda til að á tímabilinu nemi heildarkostnaður vegna aðgerða til innleiðingar E85-bíla um 30.600 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda eins og sjá má á töfluTafla 6-16.

Tafla 6-16. Samdráttur og kostnaður 2030 við innleiðingu E85-bíla.

	2030	2015-2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	71	3,264
Heildarkostnaður (kr/tonn CO <sub>2</sub> -ígilda)	30.600	

Niðurstöður sviðsmyndarinnar eru sýndar á myndMynd 6-18. Niðurstöður benda til að með fjölgun E85 bíla megi draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum um allt að 11,4% miðað við spá um afskiptalausá þróun fyrir árið 2030.



Mynd 6-18. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: E85 bifreiðar.

#### 6.4.4.4 Metanbílar

Notkun metans sem farartækjaeldsneytis hófst á Íslandi árið 2000 með innflutningi VW metanbifreiða. Frá árinu 2005 var hafinn influtningur þungabifreiða, s.s. strætisvagna og sorphirðubifreiða, sem knúnir eru metani. Árið 2008 var opnuð gasleiðsla sem flytur metangas frá landfyllingunni í Álfsnesi að afgreiðslustöðu N1 í Ártúnshöfða. Síðan þá hefur afgreiðslustöðum fjölgað og eru nú fjórar eldsneytisstöðvar sem afgreiða metangas á bíla á landinu öllu. Fljótlega eftir opnun afgreiðslustöðvarinnar á Ártúnshöfða jókst nýskráning metanbifreiða og breyting bensínbifreiða í metan/bensín fjölorkubíla (Metan.is, 2010).

Gert er ráð fyrir að innleiðing metanbifreiða verði bundin við innleiðingu millistórra og stórra flutningabifreiða sem knúnar eru metani vegna takmarkana á magni. Þróun innleiðingarinnar verði línuleg fram til ársins 2050 þegar 34,5% af öllum flutningabifreiðum í bílaflotanum verði knúin metani.

Áætluð ársnotkun metans árið 2030 er þá áætluð 34,2 MNm<sup>3</sup> en tilsvareandi magn af lífrænu sorpi sem þarf til framleiðslu þess er um 341 þúsund tonn á ári.

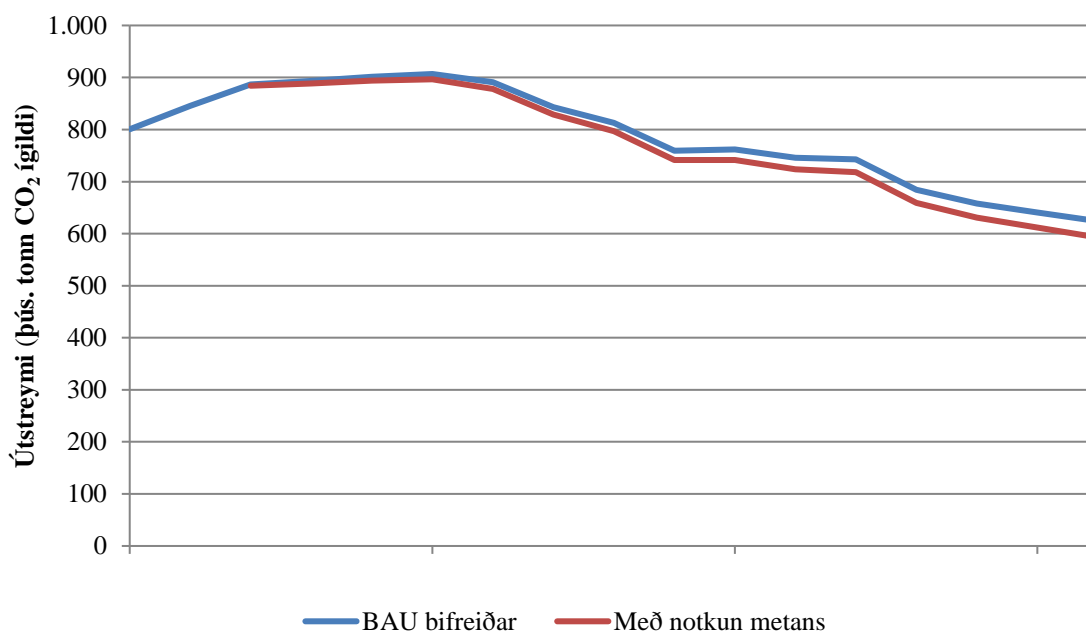
Við uppbyggingu dreifikerfis fyrir metanbíla er gert ráð fyrir uppsetningu tveggja nýrra metandæla á ári á tímabilinu 2015-2030. Verði þannig 30 metanstöðvar um allt land árið 2030.

Niðurstöður benda til að á tímabilinu nemi heildarkostnaður vegna aðgerða til innleiðingar metanbíla um 13.900 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda eins og sjá má á töfluTafla 6-17.

Tafla 6-17. Samdráttur og kostnaður 2030 við innleiðingu metanbíla.

	2030	2015-2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	31	1.210
Heildarkostnaður (kr/tonn CO <sub>2</sub> -ígilda)	13.900	

Niðurstöður sviðsmyndarinnar eru sýndar á myndMynd 6-19. Niðurstöður benda til að með metanvæðingu flutningabílaflotans megi draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum um allt að 4,5% miðað við spá um afskiptalausá þróun.



Mynd 6-19. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda: Metanvæðing flutningabíla.

## 6.5 Samantekt

Þeim aðgerðum sem beita má til að draga úr útstreymi frá samgöngum á landi má skipta í fjóra flokka. Í þann fyrsta falla aðgerðir sem styrkja almenningsamgöngukerfið og ýta að auki undir að fólk fari ferða sinna gangandi eða hjólandi. Í annan flokk falla möguleikar á að blanda lífelsesneyti í bensín og dísilolíu og einnig má blanda alkóhólum svo sem etanóli eða metanóli í bensín. Í þriðja lagi má beita aðgerðum til að bæta orkunýtingu, svo sem að fjölga sparneytnum fólksbílum og auka hlut dísilfólksbíla og

tvinnbíla í bílaflotanum. Loks má draga úr útstreymi með nýrri tækni, svo sem E85-bílum, metanbílum, rafmagnsbílum og vetnisbílum.

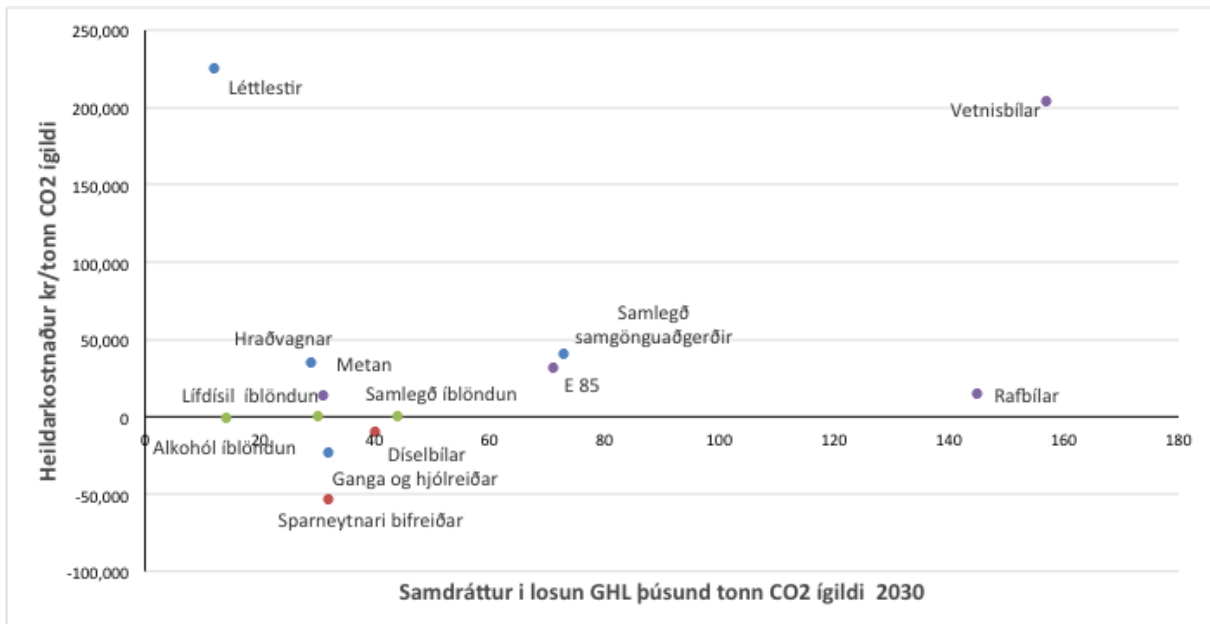
Til skemmri tíma, þ.e. á tímabilinu 2015-2030 skilar vetnis- og rafbílavæðing mestum árangri í samdrætti á útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Þar á eftir koma almennar samgönguaðgerðir, þ.e. uppbygging fyrir göngu og hjólréiðar ásamt hraðvagna- og léttlestarkerfi á höfuðborgarsvæðinu og innleiðing E85 bifreiða. Íblöndun lífoldsneytis, innleiðing metanbíla og sparneytnari fólksbílar hafa svipuð áhrif á útblástur gróðurhúsalofttegunda. Til lengri tíma, til ársins 2050, hafa vetnis- eða rafbílar langmest áhrif á útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

Í töfluTafla 6-18 má sjá samantekt fyrir allar sviðsmyndir sem voru til skoðunar. Er þar metinn kostnaður í kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda og €/tonn CO<sub>2</sub> ígilda. Í sviðsmyndunum „Samlegð Almenningsamgöngur“ og „Samlegð Íblöndun“ er gert ráð fyrir samlegðaráhrifum aðgerðanna innbyrðis. Af töflunni má sjá að innleiðing sparneytnari bifreiða og aukning í göngu og hjólréiðum skila mestum ávinningi til skamms tíma. Einnig sést að íblöndun lífoldsneytis er ódýr kostur til að ná miðlungs samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda til skamms tíma.

Tafla 6-18 Samantekt á niðurstöðum umhverfislegrar skilvirkni fyrir sviðsmyndir í samgöngumálum

Sviðsmynd	Samdráttur m.v. afskiptalausá þróun		Kostnaður við aðgerð 2015-2030	
	2030	2050	kr/tonn CO <sub>2</sub> ígildi	€/tonn CO <sub>2</sub> ígildi
<b>Ganga og hjólréiðar</b>	5,2%	8,7%	-23.000	-155
<b>Hraðvagnar</b>	4,6%	8,2%	35.400	239
<b>Léttlestir</b>	2,0%	8,4%	225.600	1.523
<b>Samlegð Almenningsamgöngur</b>	11,7%	25,3%	41.200	278
<b>Sparneytnari bifreiðar</b>	5,2%	11,6%	-53.300	-360
<b>Dísilfólksbilar</b>	6,4%	3,8%	-10.200	-69
<b>Lífdísilíblöndun</b>	4,9%	8,0%	800	5
<b>Alkóhól íblöndun</b>	2,2%	3,7%	-1.280	-9
<b>Samlegð-íblöndun</b>	7,0%	11,7%	160	1
<b>Rafmagnsbílar</b>	23,3%	71,2%	15.300	103
<b>Vetnisbílar</b>	25,2%	72,7%	203.900	1.377
<b>E85 bílar</b>	11,4%	22,8%	31.800	215
<b>Metanbílar</b>	5,0%	13,3%	13.900	94

Á myndMynd 6-20 má sjá sömu niðurstöður. Af myndinni má sjá að til skemmri tíma skila vetnis- og rafbílavæðing mestum samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda. Vetnisbílavæðing er þó nokkru dýrari aðgerð en rafbílavæðing. Léttlestarkerfi skilar litlum samdrætti en miklum kostnaði til skamms tíma, hafa þó í huga að búist er við að skilvirkni léttlesta aukist þegar lítið er til lengri tíma.



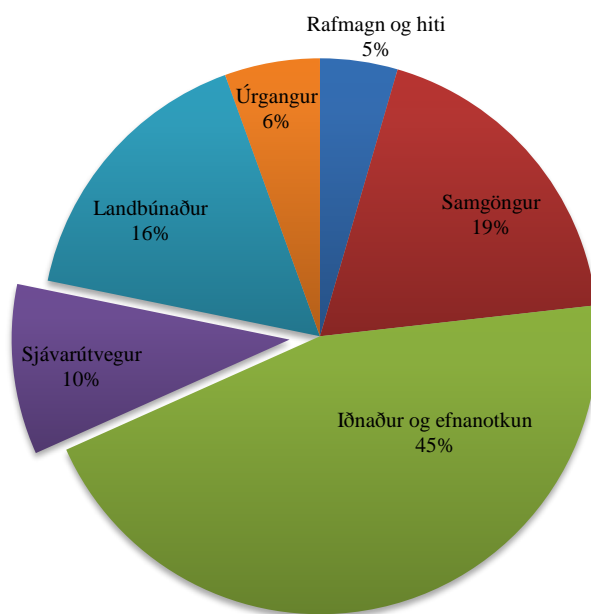
Mynd 6-20. Samantekt á niðurstöðum fyrir sviðsmyndir til 2030. Samdráttur í útstreymi 2030 og nettókostnaður á tonn CO<sub>2</sub> ígilda á tímabilinu 2015-2030.

Þegar litið er til lengri tíma eykst óvissa um kostnað. Þegar tækninýjungar sem þykja mjög fjarlægjar í dag komast í almenna notkun minnkar jafnan framleiðslukostnaður. Því er ekki ólíklegt að sviðsmyndir sem eru mjög dýrar í dag, s.s. vetnisbílavæðing, annarrar kynslóðar lífelsesneyti og jafnvel löttlestir verði hagfelldari ef litið er til lengri tíma en hér er gert.

## 7 Sjávarútvegur

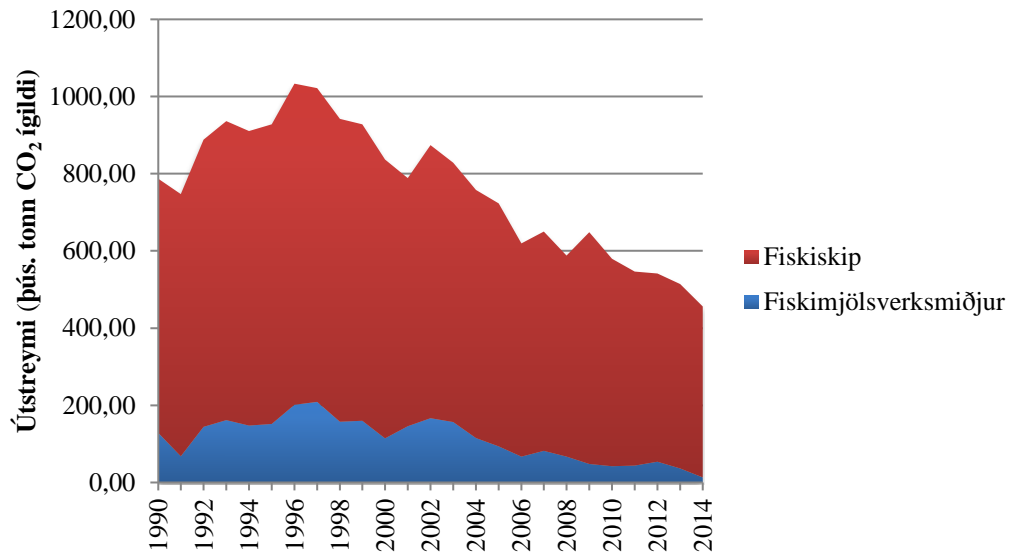
### 7.1 Inngangur

Árið 2014 var heildarústreymi vegna notkunar jarðefnaeldsneytis í sjávarútvegi 449 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígildi eða um 10% af heildarústreymi Íslands (myndMynd 7-1).



Mynd 7-1. Hlutdeild sjávarútvegs af heildarústreymi Íslands.

Útstreymi frá sjávarútvegi hefur í heildina minnkað um 42% síðan árið 1990. Útstreymi frá fiskiskipum var 442 þúsund tonn árið 2014 og hefur dregist saman um 33% síðan 1990. Útstreymi frá fiskimjölsverksmiðjum var metið 7 þúsund tonn árið 2014 og hefur því minnkað um 95% síðan 1990 (myndMynd 7-2). Útstreymi vegna kælimiðla er ekki talið með en það fellur innan iðnaðargeirans.

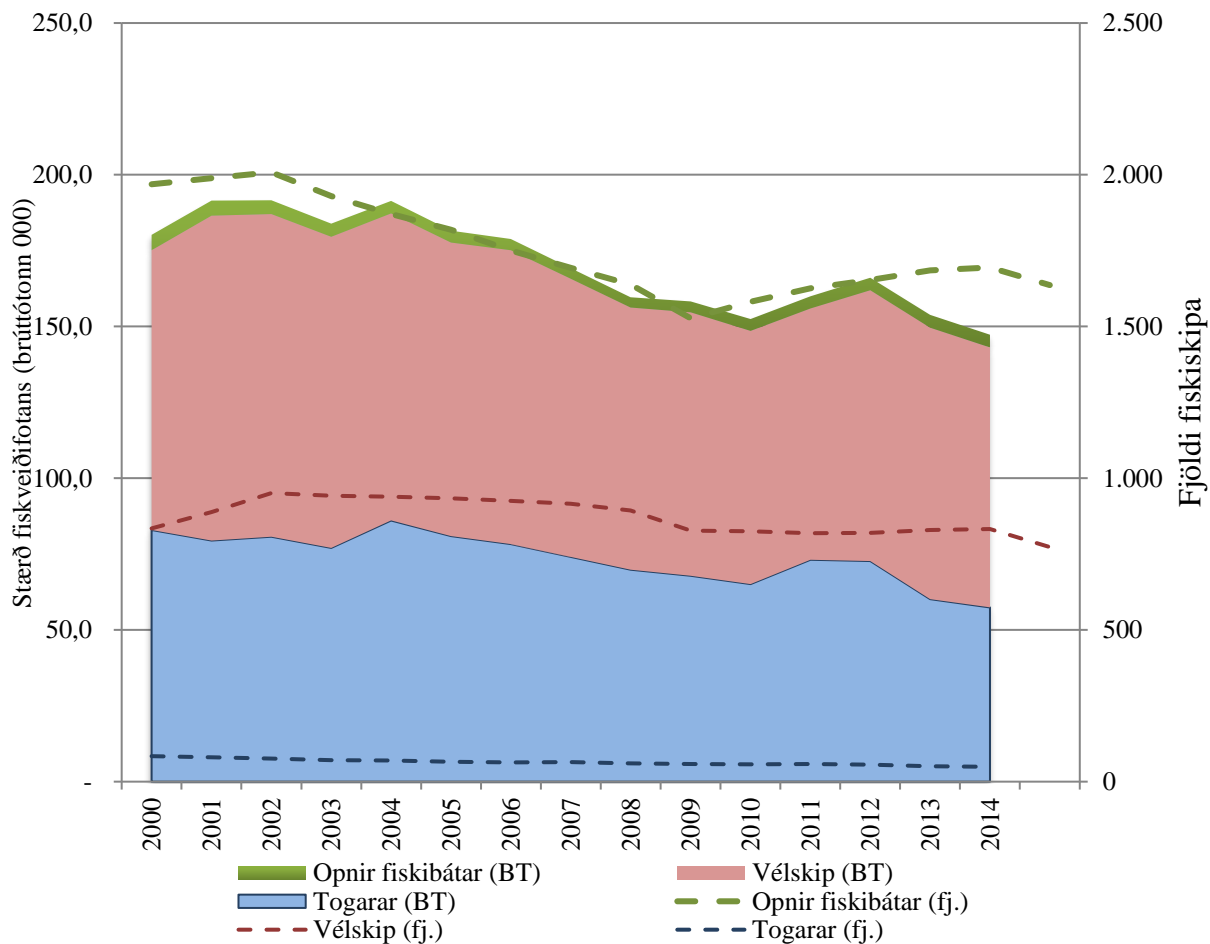


Mynd 7-2. Heildarútsreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi árin 1990-2015

## 7.2 Fiskiskip

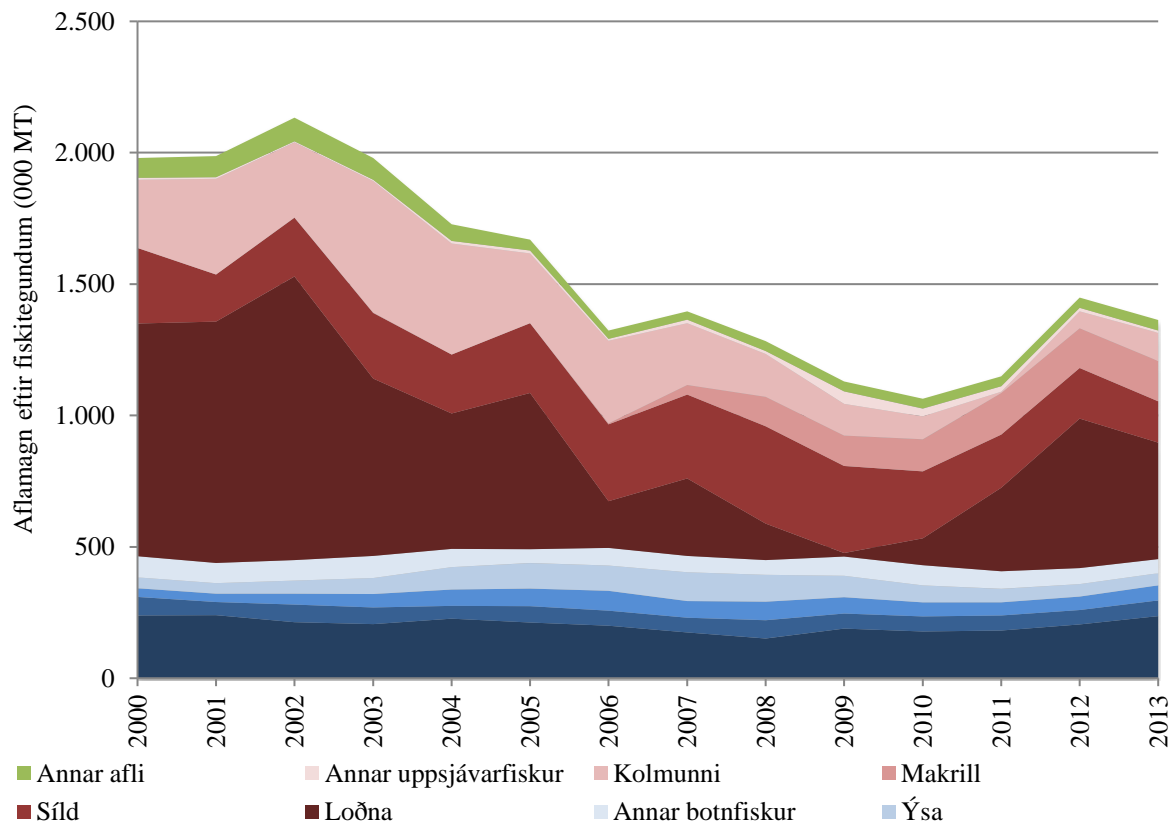
### 7.2.1 Samsetning flotans og afla

Árið 2014 var fiskiskipaflotinn rúmlega 147 þúsund brúttótonn að stærð en hefur minnkað um 33 þúsund brúttótonn eða um 18% síðan árið 2000. Minnkunin varð aðallega vegna fækkunar togara sem voru 91 árið 2000 en 49 árið 2014. Vélskipaflotinn stækkaði hratt í byrjun aldarinnar og náði hámarki árið 2001 en hefur síðan minnkað og var orðinn jafn stór 2014 og hann var árið 2000 miðað við fjölda og stærð skipa. Opnum fiskibátum hefur fækkað um 15% síðan 2000 en áhrif þess á heildarstærð flotans eru óveruleg (myndMynd 7-3) (Hagstofa Íslands).



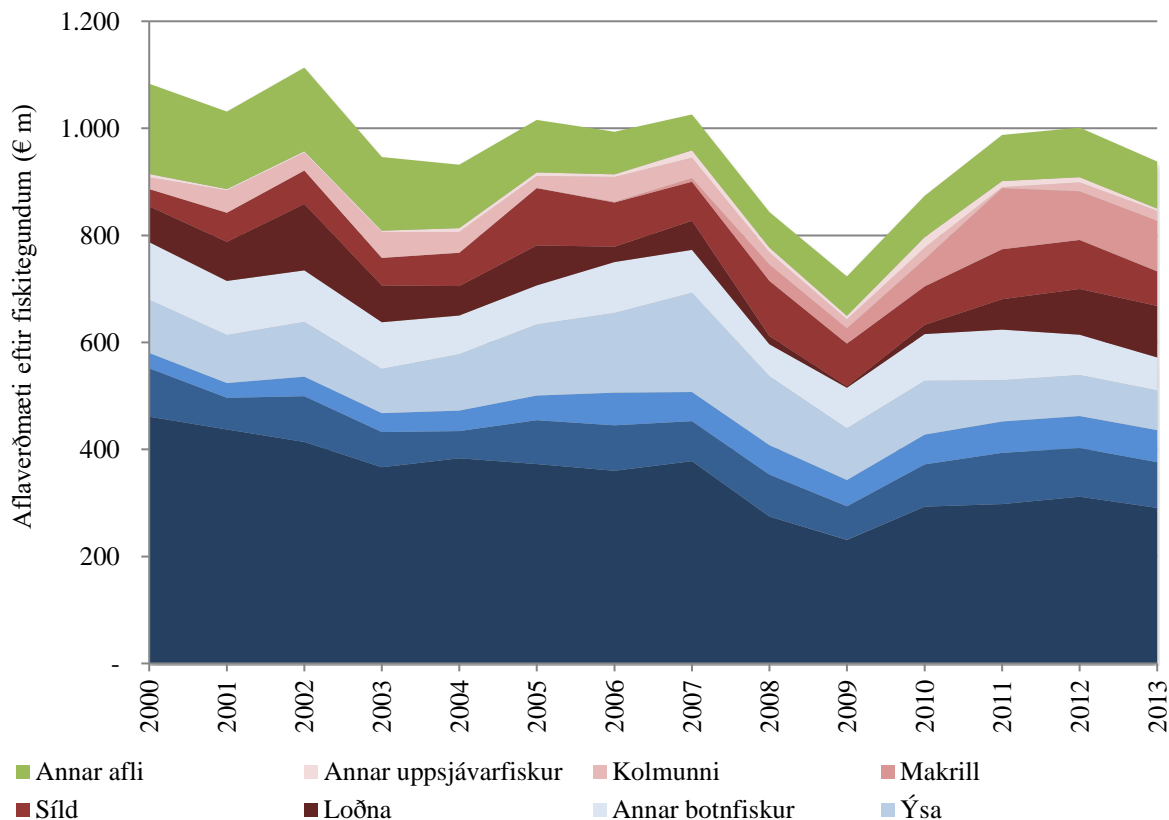
Mynd 7-3. Þróun fiskveiðiflotans (stærð og fjöldi) árin 2000-2014

Eins og sést á myndMynd 7-4 dróst aflamagn saman milli 2000 og 2013 um 617 þúsund tonn en afli helstu uppsjávarfiska minnkaði umtalsvert (loðna, síld og kolmunnir lækkuðu samanlagt um 724 þúsund tonn). Aflinn náði lágmarki 2009-10 en hefur aukist síðan. Makrill er undantekning og hefur veiðst síðan 2008 í auknum mæli en árið 2013 var aflinn 154 þúsund tonn.



Mynd 7-4. Heildaraflamagn eftir fisktegundum (Hagstofa Íslands).

Eins og sést á myndMynd 7-5 var heildaraflaverðmæti árið 2013, 153 milljarðar króna en bróðurparturinn eða 61% var botnfiskaflí. Þorskaflí var 47 milljarðar króna og karfi, ýsa og ufsi voru samanlagt virði 36 milljarða króna. Mælt í evrum (árlegt meðalgengi og 2013 vísitölu neysluverðs) var aflaverðmæti € 938 milljónir sem er 13% lægra en 2000, aðallega vegna lægra kílóverðs botnfiskaflans.



Mynd 7-5. Heildaraflaverðmæti eftir fiskitegundum (Hagstofa Íslands, Seðlabanki Íslands).

Botnfiskaflinn hefur veiðst helst með botnvörpu og línu (56% og 26% miðað við magn í 2013) en þessi hlutföll hafa verið stöðug síðan 2005-6. Flotvarpa og nót eru að mestu leyti notuð við uppsjávarfiskveiði (55% og 45% miðað við magn í 2013) en hlutdeild flotvörpu hefur aukist um 23% síðan 2000 sem skýrist að hluta til af makrílveiði sem hefur einungis verið stunduð með flotvörpu.

### 7.2.2 Olíunotkun og útstreymisspá

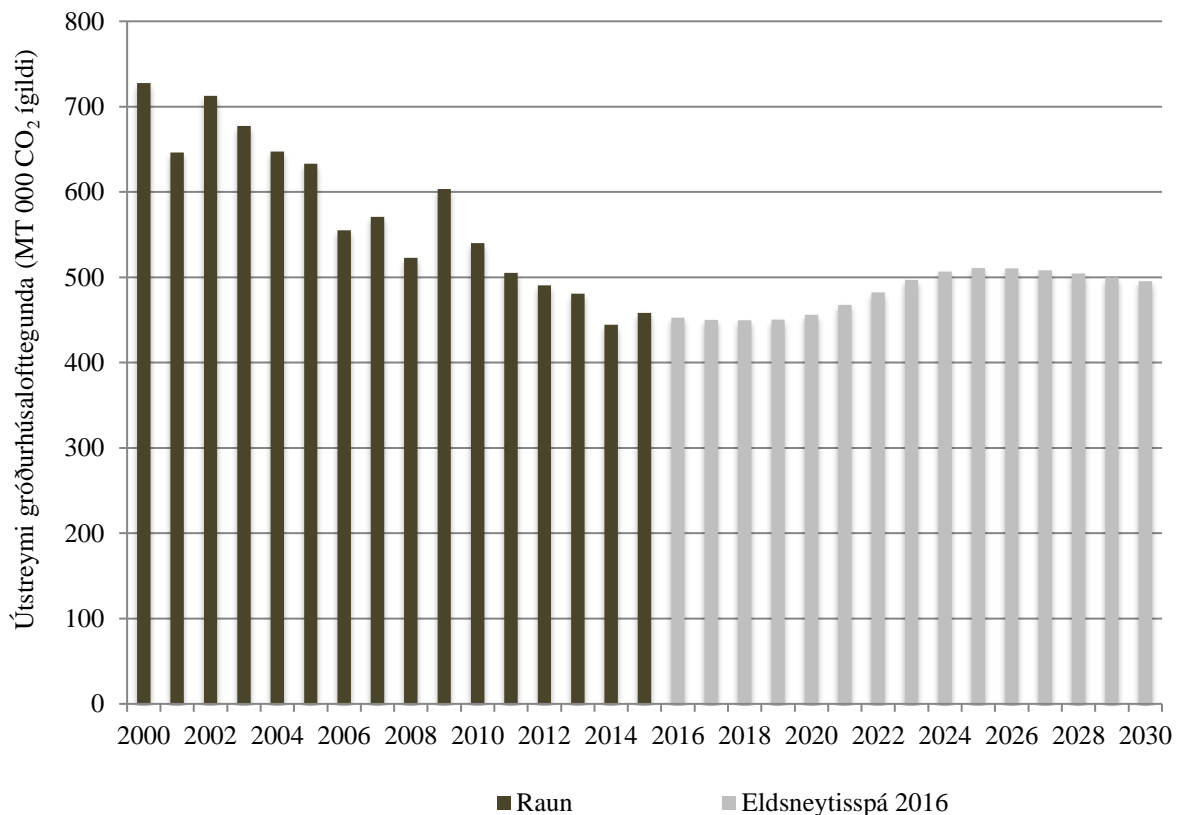
Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum stafar af notkun jarðefnaeldsneytis, aðallega gasolíu og svartolíu, sem og notkun HFC kæliefna sem leka úr kæli- og frystibúnaði um borð í skipunum en það er talið með útblæstri iðnaðargeirans.

Útstreymið var 458 þúsund tonn 2015 sem er 37% lækkun frá árinu 2000 (mynd Mynd 7-6) en á sama tímabili dróst aflamagn saman um 33% og raun aflaverðmæti um 10% og hefur útstreymið á aflaeiningu því lækkað um 4% miðað við magn en 27% miðað við verðmæti.

Samkvæmt eldsneytisspá frá 2016 um olíunotkun fiskiskipa mun útstreymi frá fiskiskipum í grunntilviki fara vaxandi næstu árin og verða 495 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi árið 2030. Þessi vöxtur byggist á eftirfarandi forsendum:

- Heildarafli vex upp í jafnstöðuafla, samkvæmt S-ferli og nær 50% frávíksins eftir 8 ár (2024). Afli vegna loðnu, síldar og kolmunna samanlagt hækkar úr 767 þúsund tonnum 2015/16 í 950 þúsund tonn árið 2050.
- Hlutdeild vélbáta í botnfiskveiði hækkar um 7% og hlutdeild ísfisktogara lækkar um 9%.
- Eldsneytisnotkun á aflaeiningu lækkar um 3% fram til 2020 og 10% fram til 2030 vegna bættrar veiðitækni og hagkvæmari orkunýtingar. Þessi lækkun á við vélbáta, togskip, vinnsluskip, loðnu-, síldveiði- og kolmunnaskip.

- Hætt verður að brenna svartolíu á spátímabilinu vegna mengunaráhrifa.
- Notkun nýrra orkugjafa verður 1% eftir 15 ár (2030) og 50% eftir 50 ár (2066) og fylgir S-ferli.



Mynd 7-6. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum árin 2000-2030.

### 7.3 Tæknilegir möguleikar til að draga úr útstreymi

Þrjár leiðir koma helst til greina til þess að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda:

- Eldsneytissparnaður – notkun jarðefnaeldsneytis í fiskiskipum minnkar og tilheyrandi útstreymi með.
- Loftslagsvænni orkugjafar – hlutfall jarðefnaeldsneytis lækkar og tilheyrandi útstreymi með.
- Aukin notkun landrafmagns - olúnotkun fiskiskipa í höfnum minnkar sem og útstreymi.

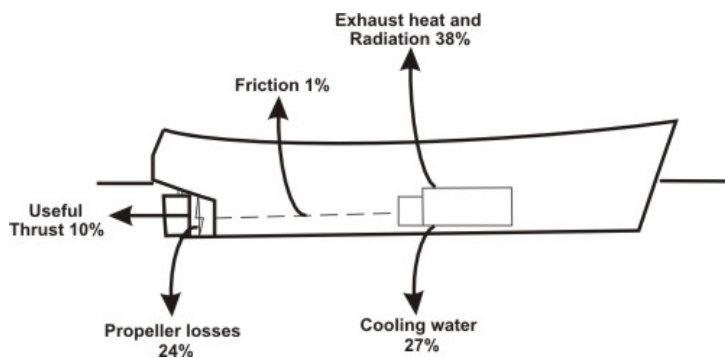
#### 7.3.1 Eldsneytissparnaður

Orkuskilvirkni fiskveiða ræðst af mörgum tæknilegum þáttum, meðal annars hönnun skipa og framdriftsbúnaðar, veiðarfærum, rekstri fiskiskipa og áhrifum á orkunotkun. Hafa skal þó í huga að ávinningur ofangreindra tæknilausna er háður rekstrarumhverfi og kostnað vegna eldsneytis, miðað við aðra kostnaðarþætti og tekjur.

#### 7.3.2 Hönnun skipa og framdriftsbúnaðar

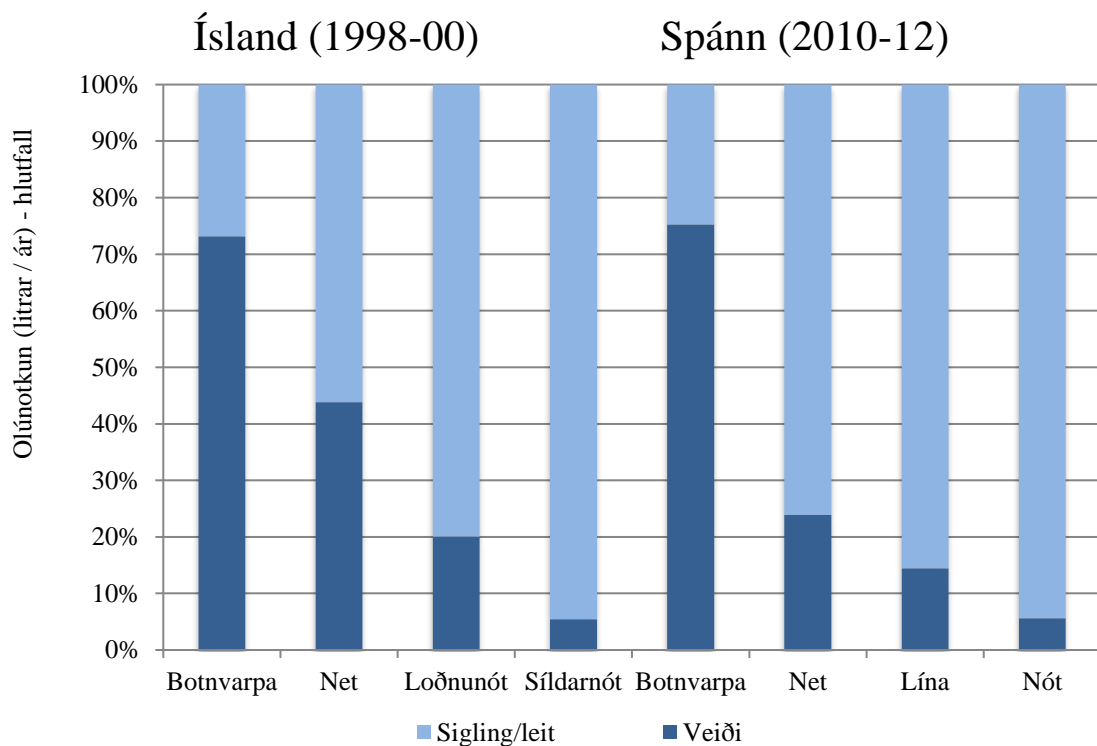
Orkunýtni fiskiskipa ræðst af því hversu mikil orka tapast þegar eldsneyti knýr skipið áfram, eða þá að veiðarfæri eru sett út og búnaður um borð er gangsettur. Það er áætlað að aðeins 10-15% af eldsneytisorku fari í framdriftskraft (myndMynd 7-7) þar sem orkunýtni aðalvéla er í kringum 35-40% og skrúfunýtni er 30-50% og svo er að auki smávægilegt tap í girkassa og drifskafli. Orkutap verður

einnig vegna mótstöðu fiskiskips og sjólags en slíkt tap er áætlað um 65% (Seagrant Alaska 2011). Auk þess tapast orka vegna mótstöðu veiðarfæra.



Mynd 7-7. Orkutap á litlum togara (Wilson, 1999).

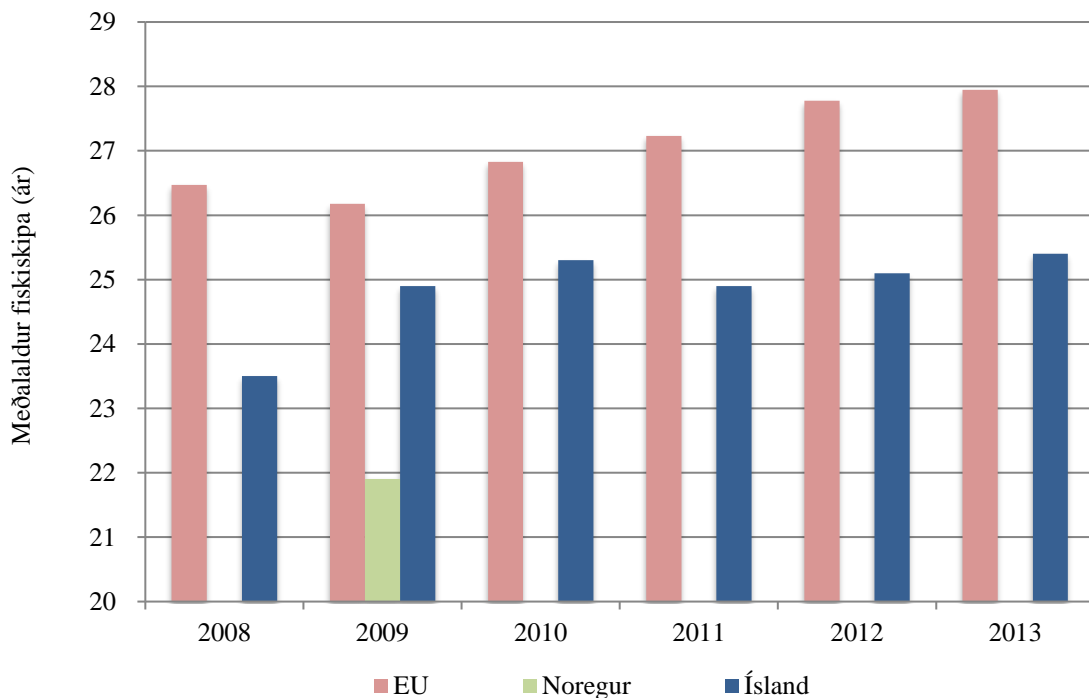
Til þess að hanna orkuskilvirkari fiskiskip þarf einnig að taka tillit til þess hvernig veiðum er háttað en hlutfall orkunotkunar sem fer í siglingu eða veiði er háð veiðarfærum og fiskitegund (myndMynd 7-8).



Mynd 7-8. Orkunotkun í siglingu og veiði eftir veiðarfærum (Björnsson 2004, Basurko et al 2013).

Skipaframleiðendur eru sífellt að leita leiða til þess að auka orkuskilvirkni skipa, en nýjustu fiskiskip á Íslandi eru til dæmis með stærri skrúfur, skrúfuhring, stillanleg skrúfublöð, minni vélar, vélstýrikerfi sem taka tillit til þess hvort skipið sé á veiðum eða siglingu og nota rafmagnsknúinn búnað í stað vökvaknúins búnaðar. Samkvæmt fréttatilkynningu frá vélaframleiðandanum MAN mun snúningshraðinn lækka um allt að 17% með tilheyrandi eldsneytissparnaði.

Þótt að flotinn hafi tekið upp nýjungar eins og skrófuhring með því að uppfæra núverandi skip er það oft óraunhæft út af tæknilegum ástæðum (til dæmis vantar pláss fyrir stærri skrófu) eða óhagstætt þar sem fjárfestingarlífítminn er styttri. Endurnýjun flotans skiptir því höfuðmáli ef ná á árangri í orkunýtni fiskiskipa. Meðalaldur íslenskra fiskiskipa hefur verið stöðugur undanfarið, í kringum 25 ár (Hagstofan). Íslensk skip eru því nýrri en floti innan Evrópusambandsins sem hefur elst frá 2009 (myndMynd 7-9) (EC DCF).



Mynd 7-9. Meðalaldur fiskiskipa á Íslandi, EU og Noregi (Statistics Norway) árin 2008-13.

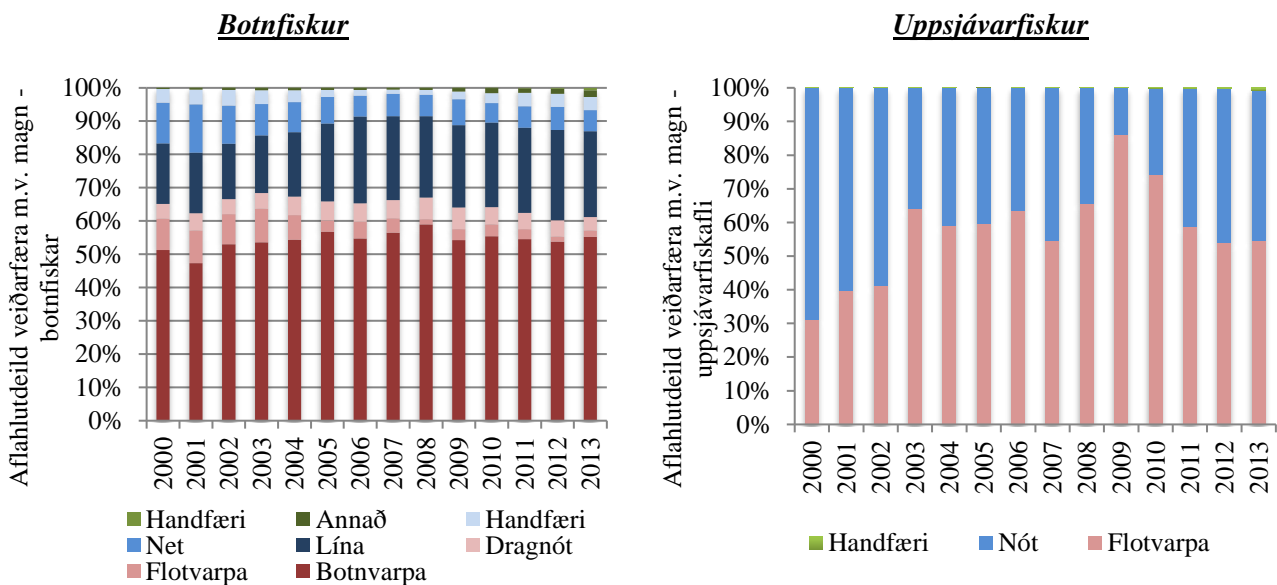
### 7.3.2.1 Veifarferi

Veifarferi geta skipt mjög miklu máli fyrir olúnotkun og losun gróðurhúsalofttegunda, enda geta þau aukið mótstöðu fiskiskips um meira en 90% (Laurens & Dasira 2014). Tækifæri til orkusparnaðar geta því falist í að minnka mótstöðu veifarfera eða gera þau afkastameiri. Aflamagn eftir veifarferum 2003 til 2013 má sjá á myndMynd 7-10.

Veifarferi eru margskonar. Þau eru sérhönnuð með tilliti til fiskitegunda, dýpis sjávar og botngerð, og reglugerða. Fiskiskip eru síðan útbúin miðað við ákveðin veifarferi. Helstu veifarferi á Íslandi eru botnvarpa, flotvarpa, lína og nót en þau jafngilda 92% af aflamagni og 84% af aflaverðmæti árið 2013 (Hagstofan). Þar sem draga þarf botnvörpu með hafsbotni krefst hún meiri orku en veifarferi sem notuð eru nær yfirborði (flotvarpa), eða veifarferi sem umlykja fiskinn (nót) eða eru kyrr (lína). Mismunurinn getur verið mikill. Veifar með flotvörpu og nót í loðnu- og síldveiði hafa mælst með 10-80 lítra olú á hvert tonn fisks en botnvarpa (aðallega notuð í botnfiskveiði) með 300-400 lítra olú á hvert tonn fisks (Björnsson 2004). Þessar niðurstöður samræmast rannsóknum erlendis (Schau et al 2009, Thrane 2004, Cheilari et al. 2013). Hafa ber þó í huga að þessar niðurstöður endurspeglu að hluta til einnig mismunandi fiskitegundir en minni orku þarf til að veiða uppsjávartegundir þar sem þær eru nær yfirborði og safnast saman í þéttum hópum.

Rannsóknir benda samt til þess að hægt sé að spara eldsneyti með því að nota kyrrstæð eða umlykjandi veifarferi (Driscoll & Tyedmers 2010) en notkun á Íslandi hefur undanfarið ár þróast í þessa átt. Notkun

Línu í botnfiskveiði hefur aukist á meðan notkun flotvörpu og dragnótar hefur dregist saman og frá 2008 hefur uppsjávarfiskur verið veiddur með nót í stað flotvörpu í auknum mæli.



Mynd 7-10. Fiskaflamagn eftir veiðarfærum árin 2000-2013 (Hagstofan).

Veiðarfæri eru í sífelltri þróun hvað varðar efni, hönnun og notkun. Það er hins vegar flókið að bera saman frammistöðu veiðarfæra og markviss tilraunaverkefni eru nauðsynleg til þess að sanna ávinning miðað við núverandi tækni og einnig að umhverfisáhrif séu ekki meiri. Stórvægilegar nýjungar geta því verið mörg ár í bígerð (sjá box 3 fyrir neðan).

**Box 3 Nýjung í botnvörpu – notkun rafmagnsstraums**

Á tunda áratugnum fór hollenska útgerðin að breyta botnvörputækni með því að nota rafstraum í stað keðja til þess að koma flatfiski og rækju af hafsbotni. Kostur rafmagnsvörpu er að snerting við hafsbotninn minnkar og tilheyandi tjón minnkar sem og olíunotkun, sem er háð mótstöðu veiðarfærisins. Olúsparnaður er talinn vera mismunandi eftir fisktegund en hann er allt að 50% í flatfiskveiði (Soetart et al. 2015). Áhugi á rafmagnsvörpu hefur því farið vaxandi, sérstaklega í Hollandi en Evrópusambandið hefur síðan 2007 heimilað takmarkaða notkun tækisins. Tæknin er hins vegar umdeild þar sem áhrif á fiskistofna eru óljós. Tæknin hefur sætt gagnrýni breskra veiðimanna og var bönnuð á Zheijiang-miðum við Kína (British Sea Fishing).

**7.3.2.2 Orkustjórnun**

Rekstrarákvæðanir, eins og til dæmis hraði á siglingu og veiði, hafa mikil áhrif á eldsneytisnotkun en til þess að stjórna henni þurfa skipstjórar að vera upplýstir um frammistöðu og þætti sem haft geta mest áhrif. Orkustjórnunarkerfi gerir skipstjórum kleift að taka tillit til orkunotkunar í ákvörðunartökuferli og lágmarka eldsneytisnotkun miðað við rekstrarþarfir. Svo er hægt að bera saman fjölda skipa innan sama fyrirtækis og greina ástæður fyrir mismunandi eldsneytisnotkun. Marorka er íslenskt þekkingarfyrirtæki sem hefur þróað og selt orkustjórnunarkerfi til skipaeigenda um allan heim. Í íslenskum sjávarútvegi er Brim með þrjú Marorkukerfi um borð fiskiskipum og tilheyrandi olúsparnaður samkvæmt Brimi er talinn vera 12%. Ávinningur af orkustjórnunarkerfinu byggist á núverandi stöðu og því leggur Marorka mikla áherslu á það hvernig staðið er að innleiðingu kerfisins og þjálfun þeirra sem stjórna því.

Eins og áður hefur komið fram er í Eldsneytisspá 2016 gert ráð fyrir eldsneytissparandi aðgerðum um 3% fram til 2020 og 10% fram til 2050. Þótt að það séu margir tæknilegir möguleikar til þess að ná enn betri árangri er vandasamt að meta ávinning af hverri leið fyrir sig án þess að meta núverandi stöðu til samanburðar. Meðal annars skiptir máli hvort um nýtt eða eldra fiskiskip er að ræða, en slík greining liggur ekki fyrir.

### 7.3.3 Loftslagsvænni orkugjafar

Notkun vistvæns eldsneytis í stað jarðefnaeldsneytis getur dregið úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Vistvæn orka er yfirleitt framleitt með raforku frá endurnýjanlegum orkugjöfum eða náttúrulegu hráefni (jurtaolía, lífmassi). Dæmi um hugsanlega vistvæna orkugjafa má sjá í töfluTafla 7-1.

Tafla 7-1. Vistvænir orkugjafar sem metnir hafa verið (Mannvit, óbirt skýrsla 2008).

Orkugjafi	Orkugrunnur	Í stað	Hlutfall	Breytingar
<b>Jurtaolía</b>	Matarolía	Svartolía / Gasolía	100%	Tankahitarar ef notuð í stað gasolíu.
<b>Lífdísil (FAME)</b>	Matarolía	Gasolía	20% íblöndun	Engar miðað við 20% íblöndun.
<b>Tilbúin (HDRD)</b>	<b>gasolía</b> Matarolía Lífmassi	Gasolía	100%	Engar – efnislega sambærileg gasolíu.
<b>Dímetýleter (DME)</b>	<b>gas</b> Raforka / Lífmassi (gösun)	Gasolía	100%	Gastankur - geymt við 6 bar þrýsting. Breyta eldneyniskerfinu.
<b>Lífmétan gas</b>	Lífmassi (loftfirt gerjun)	Gasolía	100%	Gastankur - geymt við 250-300 bar þrýsting. Ný vél og breyta eldsneytiskerfinu.
<b>Vetni gas</b>	Raforka	Gasolía	10% íblöndun	Gastankur - geymt við 1.000 bar þrýsting. Nýtt eldsneytiskerfi og vélabreytingar.

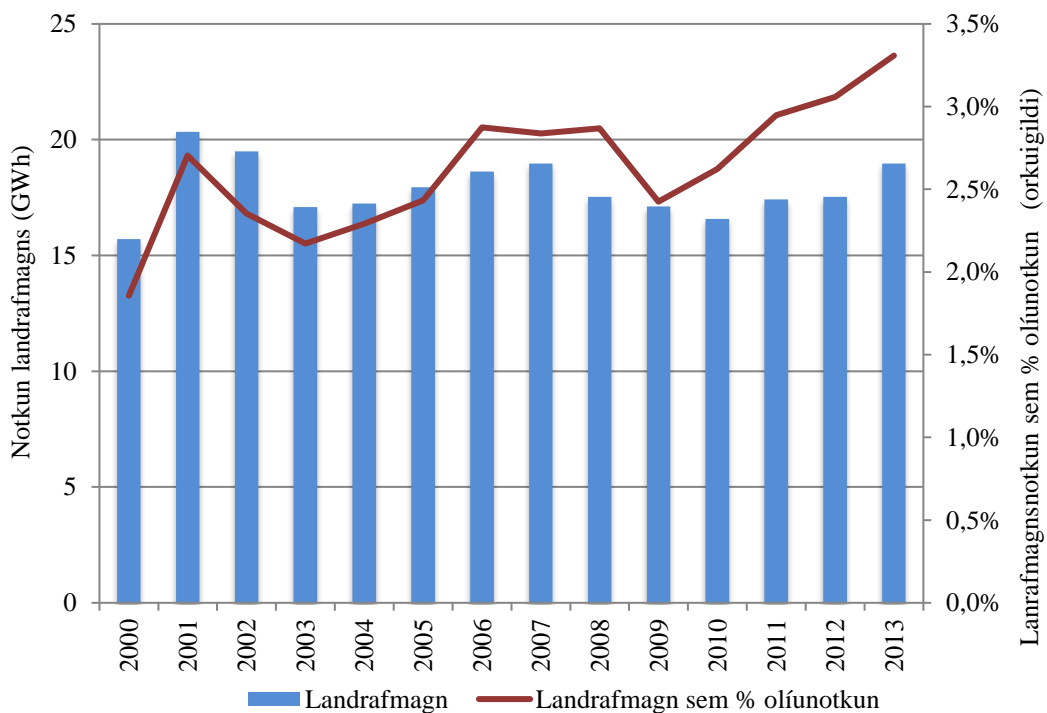
Notkun ofangreindra orkugjafa er talin tæknilega raunhæf í núverandi fiskiskipum með því að gera breytingar á aðalvél sem brennur svart- eða gasolíu og eldsneytistönkum. Til lengri tíma gæti verið möguleiki að nota einungis rafmagnsvél með rafhlöðum, eða eldsneytissellur knúnar af vetni eða endurnýjanlegum orkugjöfum. Tæknilegar og fjárhagslegar hindranir eru hins vegar miklar þar sem það þarf að geyma nægilega orku fyrir margaradaga veiðiferðir og rekstraraðstæður eru krefjandi en tryggja þarf öryggi áhafafnarinnar og því áreiðanleika vélanna.

### 7.3.4 Aukin notkun landrafmagns

Árið 2013 var notkun fiskiskipa af landrafmagni 19 GWh (Raforkuspá 2014-2050) sem er 21% aukning frá því árið 2000 en á sama tímabili dróst olíunotkun saman um 38% og aflamagn minnkaði um 31%. Landrafmagnsnotkun árið 2013 samsvarar um það bil 5 þúsund tonnum af olíunotkun eða 3.3% af heildarolíunotkun fiskiskipa árið 2013 en hlutfallið var 1.9% árið 2000. Notkun fiskiskipa á landrafmagni árin 2006 til 2013 má sjá á myndMynd 7-11. Því má áætla að oliunotkun fiskiskipa hafi lækkað frá árinu 2000 um 1,4% vegna aukinnar notkunar landrafmagns. Samkvæmt rannsóknnum á Íslandi (Björnsson 2004) mældist olíunotkun á tilteknum fiskiskipum í höfnum milli 1-8% af

heildarolíunotkun árin 1998 til 2000 og því er hugsanlegt að hægt væri að draga enn frekar úr olíunotkun fiskiskipa í höfnum. Samkvæmt niðurstöðum Darra Eypórssonar (2016) á mögulegum samdrætti vegna landtengingar allra skipa sem koma inn á Faxaflóahafnir gæti það leitt til samdráttar um 17,5 kt af CO<sub>2</sub> ígildum árlega, eða sem nemur um 3,9% af heildarútstreymi frá íslenskum sjávarútvegi. Ef aðeins er einblínt á fiskiskip og gert væri ráð fyrir 80% tengingarhlutfalli í Faxaflóahöfnum yrði samdrátturinn 0,8% af heildarútstreymi frá íslenskum fiskiskipum (Darri Eypórsson, 2016).

Frekari greininga er þörf til að meta möguleika til samdráttar vegna aukinnar landtengingar fiskiskipa um allt land, en ljóst er að ábati útgerða við að tengjast rafdreifikerfi hafna yrði umtalsverður. Rannsókn Darra Eypórssonar (2016) sýnir m.a. að orka með landtengingu kostar 16,1 kr./kWst en um 41 kr./kWst með ljósavélum, miðað við að verð á flotaolíu sé 136 kr./l og eyðslustuðull véla sé 0,3 l/kWst (Mannvit, 2012).



Mynd 7-11. Notkun fiskiskipa á landrafmagnin árin 2006-2013

#### 7.4 Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni aðgerða

Umhverfisleg og fjárhagsleg áhrif aðgerða eru metin fyrir neðan en einungis er tekið tillit til vistvænni orkugjafa þar sem upplýsingar liggja ekki fyrir til þess að meta áhrif eða kostnað eldsneytissparandi tæknilausna umfram það sem gert er ráð fyrir í grunnsþá Orkusparnefndar. Auk þess vantar frekari rannsóknir til að meta áhrif og kostnað vegna aukinnar notkunar landrafmagns og því er skilvirkni slíkra lausna ekki metin að svo stöddu hér.

##### 7.4.1 Forsendur

Forsendur til þess að meta fjárhagslega skilvirkni vistvænna orkugjafa má sjá í töflu Tafla 7-2. Umhverfisleg áhrif eru áætluð út frá CO<sub>2</sub>-ígildisstuðlum fyrir mismunandi orkugjafa en stuðullinn er 3.1-3.2 kg CO<sub>2</sub>-ígildi / lítra af svart- og gasolíu en óverulegur fyrir vistvænni orkugjafa.

Fjárhagsleg áhrif eru metin með því að bera saman olúkostnað og kostnað af vistvænni orkugjöfum miðað við sama orkuígildi. Innkaupsverð olíu byggist á langtímaolíuverðspá (EIA Annual Energy Outlook 2016) auk álagningar og flutningskostnaðar olúfélaganna. Spáð er innkaupsverði á vistvænni orkugjöfum með hliðsjón af olíuverðspá (miðað við orkuígildi) eða raforkuverðspá ef orkugjafinn er framleiddur með raforku (vetni, DME). Meðalolíuverð yfir spátímabilið 2017-2030 er \$85 á tunnu (WTI) en meðalraforkuverð er \$38 á MWh. Þar sem í sumum tilfellum er um búnaðarbreytingar að ræða er tilheyrandi fjárfestingarkostnaður núvirtur miðað við 5% raunarðsemiskröfu og 20 ára líftíma búnaðar. Viðhaldskostnaður búnaðar er 0.4 – 0.6% á ári af heildarfjárfestingarkostnaðinum.

**Tafla 7-2. Forsendur til þess að meta fjárhagslega skilvirkni vistvænna orkugjafa.**

Orkugjafi	CO <sub>2</sub> -ígildi (kg/kg)	Orku-ígildi (MJ/kg)	Meðalverð 2017 - 2030 (€/MT)	Fjárfestinga-kostnaður (€/MWh á ári)	Innleiðing	
					Hröð	Hæg
<b><i>Jarðefnaeldsneyti</i></b>						
<b>Gasolía</b>	3,1	40	773		Á ekki við	
<b>Svartolía</b>	3,2	43	534			
<b><i>Vistvænni orkugjafar</i></b>						
<b>Jurtaolía (í stað gasolíu)</b>	0,0	37	784	3 - tankar	2017-2027	2017-2032 (50% í 2027)
<b>Jurtaolía (í stað svartolíu)</b>	0,0	37	784	-	2017-2022	2017-2027
<b>Lífdísil (FAME) - 20% íblöndun</b>	0,2	38	908	-	2017-2022	2017-2027
<b>Tilbúin gasolía (HDRD)</b>	0,0	43	1.045	-	2022-2032	2022-2037 (50% í 2032)
<b>Dímetýleter gas (DME)</b>	0,0	29	868	58 – tankar 3 – vélabreytingar	2022-2032	2022-2037 (50% í 2032)
<b>Lífmétan gas</b>	0,0	50	681	309 – tankar 88 – vélabreytingar	2022-2032	2022-2037 (50% í 2032)
<b>Vetni gas – 10% íblöndun</b>	0,1	122	3.626	628 - tankar 39 - vélabreytingar	2022-2027	2022-2032

\* Miðað við vísitölu neysluverðs í júlí 2016

Umhverfisleg áhrif eru metin með því að bera saman útstreymi í grunnspá samkvæmt Eldsneytisspá frá 2016 og útstreymi ef vistvænni orkugjafi er notaður að hluta til í staðinn, miðað við ákveðið 88

innleiðingarferli. Innleiðingarferlið er misjafnt eftir eldsneytistegund og hvað tæknin er þróuð og kallar eftir stórvægilegum breytingum í búnaði fiskiskips, en alltaf er búið að skilgreina tvær sviðsmyndir miðað við hraða eða hæga innleiðingu. Innleiðing er hröðust í tilfelli jurtaolíu (í stað svartolíu) og lífdísil (20% íblöndun) þar sem tæknilegar hindranir eru taldar minnstar en vistvænni orkugjafinn yrði samt að uppfylla tæknileg skilyrði til þess að vera nothæfur sem eldsneyti.

#### 7.4.2 Niðurstöður

Niðurstöður greiningar á fjárhagslegri og umhverfislegri skilvirkni aðgerða til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda árin 2017 til 2030 má sjá í töfluTafla 7-3. Skilvirkni þess að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda með því að nota vistvænni orkugjafa í stað jarðefnaeldsneytis er skilgreint sem viðbótarkostnaður þess að minnka útstreymi um eitt tonn af CO<sub>2</sub>-ígildum. Möguleg minnkun útstreymis er metin miðað við Eldsneytisspá 2016. Hún er því grunnspá sem borin er saman við sviðsmyndirnar. Til samanburðar er kolefnisgjald 5,84 krónur á hvern lítra gas- og svartolíu sem samsvara 2.200 krónum á tonn CO<sub>2</sub>-ígildi (Lög um umhverfis- og auðlindaskatta 2009/129).

Tafla 7-3. Fjárhagsleg og umhverfisleg skilvirkni aðgerða til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda árin 2017-2030.

Orkugjafi	Krónur á tonn CO <sub>2</sub> -ígildi* Meðaltal 2017-30	Möguleg minnkun útstreymis vegna aðgerða Meðaltal 2017-2030 (%)		Möguleg minnkun útstreymis vegna aðgerða árið 2030 (%)	
		Hæg	Hröð	Hæg	Hröð
(Minnkun er metin miðað við útstreymi í Eldsneytisspá 2016)					
<b><u>Innleiðingarferlið</u></b>		<b>Hæg</b>	<b>Hröð</b>	<b>Hæg</b>	<b>Hröð</b>
<b>Jurtaolía (í stað gasolíu)</b>	6.800	34%	59%	73%	92%
<b>Jurtaolía (í stað svartolíu)</b>	14.300	6%	8%	7%	7%
<b>Lífdísil - 20% íblöndun</b>	11.900	12%	14%	17%	17%
<b>Tilbúin gasolía (HDRD)</b>	11.700	14%	31%	38%	77%
<b>Dímetýleter gas (DME)</b>	23.100	14%	31%	38%	77%
<b>Lífmetan gas</b>	8.200	14%	31%	38%	77%
<b>Vetni gas – 10% íblöndun</b>	49.300	3%	5%	8%	9%

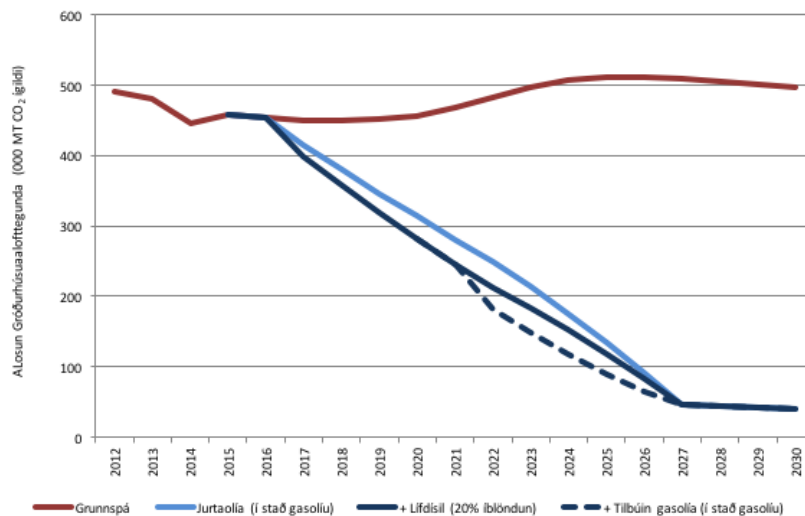
\* Vegið meðaltal 2017-2030, miðað við gengi í júlí 2016 og hraða innleiðingu (til samanburðar er meðalkostnaður miðað við hæga innleiðingu +/-2%).

#### 7.4.3 Samsetning í eina sviðsmynd

Miðað við niðurstöðurnar kemur helst til greina að nota jurtaolíu í stað gasolíu en þessi valkostur er ódýrastur, hefur mest áhrif á útstreymi og kallar á fáar breytingar (tankahitara). Notkun jurtaolíu í stað svartolíu er ekki hagkvæm þar sem svartolía er ódýrari heldur en gasolía miðað við orkuígildi.

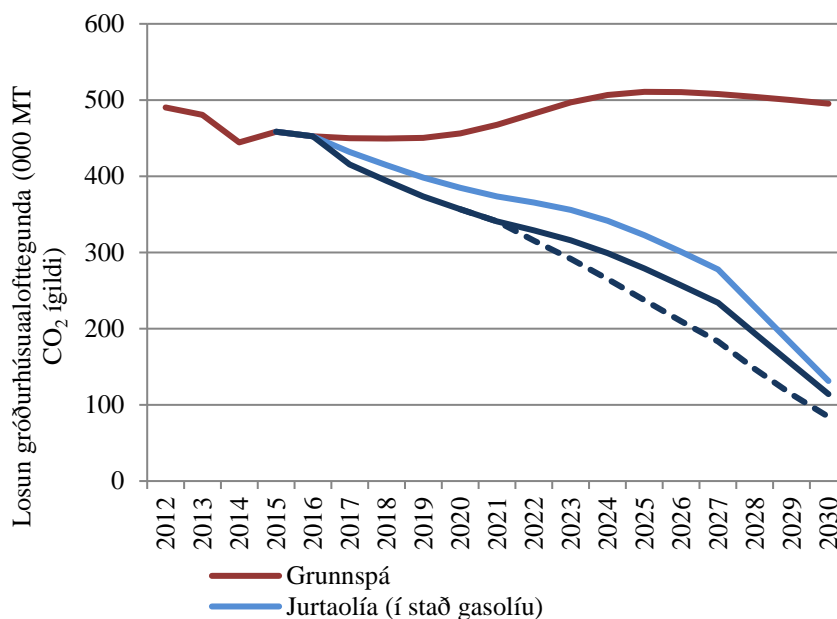
Næstóðyrasti valkostur væri lífmetan en breyta þarf vélum mikið til þess að nota það, og það verður dýrt. Lífdísill og tilbúin gasolía eru kostnaðsamari leiðir til þess að draga úr útstreymi (11.700-11.900 króna á tonn CO<sub>2</sub>-ígildi) en krefjast ekki breytinga á búnaði og þar að auki gæti innleiðing hugsanlega hafist fyrr.

Þessir þrjú valkostir (jurtaolía í stað gasolíu, lífdísill 20% íblöndun, og tilbúin gasolía) eru settir saman í eina sviðsmynd en miðað við hratt innleiðingarferli er áætlað að losun gróðurhúsalofttegunda vegna fiskveiða gæti dregist saman árið 2030 um 92% (sjá myndMynd 7-12) en heildarlosun yfir tímabilið 2017-2030 minnkar um 65% miðað við grunnspá (Eldsneytisspá 2016). Þessi árangur stafar af hraða innleiðingaferlis á notkun jurtaolíu en miðað er við að 10% af gasolíu sé skipt út fyrir jurtaolíu árið 2017 en 100% árið 2027 og þess vegna eru áhrif notkunar lífdísils og tilbúinnar gasolíu tiltölulega lítil og skammvinn.



**Mynd 7-12. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda vegna fiskiskipa árin 2017-2030 – Sviðsmynd miðuð við notkun jurtaolíu í stað gasolíu, lífdísils og tilbúinnar gasolíu (hröð innleiðing)**

Til samanburðar skilar sama sviðsmynd með hægri innleiðingu samdrætti útstreymis miðað við Eldsneytisspá frá 2016 um 45% að meðaltali árin 2017-2030 og 83% árið 2030 (sjá myndMynd 7-13).



Mynd 7-13. Samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda vegna fiskiskipa árin 2017-2030 – Sviðsmynd miðuð við notkun jurtaolífu í stað gasolíu, lífdísils og tilbúinnar gasolíu (hæg innleiðing)

#### 7.4.4 Vottun nýrra orkugjafa

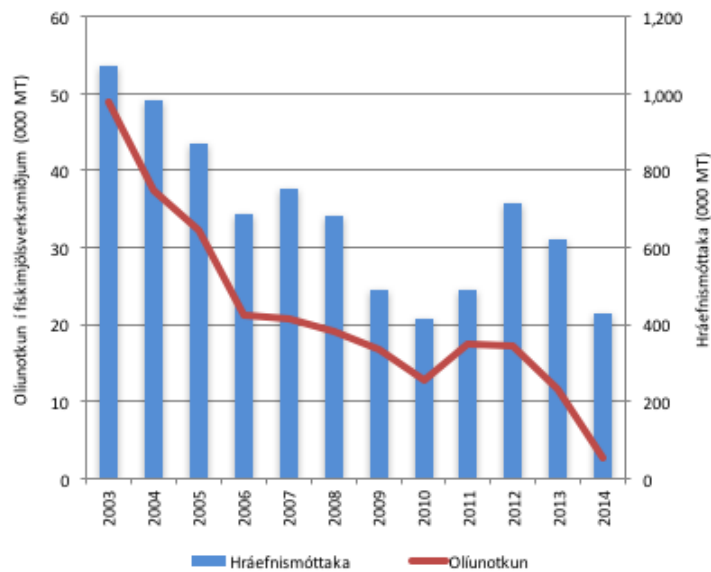
Þótt að notkun nýrra orkugjafa sé tæknilega möguleg þarf að uppfylla tæknileg skilyrði áður en þeir fara í almenna notkun (Lin 2013, CIMAC 2013). Meðal annars verður að skilgreina nákvæmlega efnislega samsetningu og eðliseiginleika viðkomandi eldsneytis miðað við alþjóðlega stuðla áður en vélaframleiðendur geta vottað að eldsneyti megi notast á tiltekna vél. Ekki er ljóst hvenær nýir orkugjafar verða vottaðir fyrir notkun um borð í fiskiskipum af Evrópusambandinu sem og framleiðendum.

#### 7.5 Fiskimjölsværksmiðjur

Það eru 11 starfandi fiskimjölsværksmiðjur á Íslandi en þær framleiða fiskimjöl og lýsi úr hráefni sem byggir t.d. á loðnu, kolmuna sem og afgangi frá vinnslu annarra stærra fiskitegunda. Hráefnismóttaka árið 2013 var 621 þúsund tonn en til samanburður var loðnu- og kolmunnaafllinn sama ár 550 þúsund tonn og heildarafli á Íslandi 1.363 þúsund tonn. Olía er notuð í gufuframleiðslu (til þess að sjóða og eima hráefnið) og í mjölpurrkun. Olíunotkun í vinnslu getur verið jafnmikil og í veiði en 2003 var hún 39 lítrar á hráefnistonn en í loðnu- og kolmunaveiði getur olíunotkun verið 19-85 lítrar á tonn (Schau et al. 2009, Björnsson 2004, Tyedmers). Framleiðsla fiskimjölsværksmiðja er árstímabundin þar sem loðna og kolmuni veiðast mest á fyrsta ársfjórðungi.

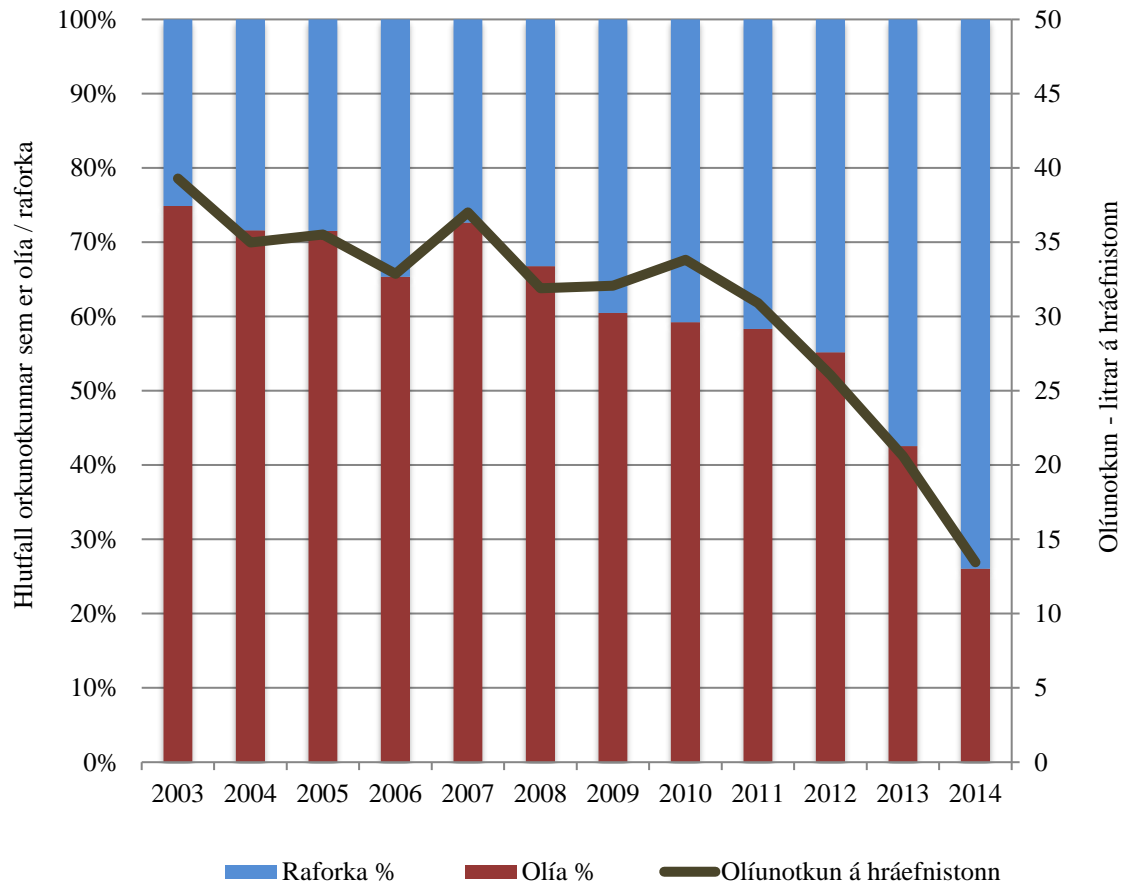
##### 7.5.1 Olíunotkun og útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda fiskimjölsværksmiðja árið 2015 var um 30 þúsund tonn eða 7% af heildarútstreymi sjávarútvegsins en olíunotkun fiskimjölsværksmiðja hefur dregist saman um 68% frá því 2000. Útstreymið er því smávægilegt samanborið við 449 þúsund tona útstreymi vegna fiskiskipa árið 2014. Samdráttur útstreymis fiskimjölsværksmiðja skýrist að hluta til af minni hráefnismóttöku þar sem hún var 430 þúsund tonn árið 2014 en 1.073 þúsund tonn árið 2003 (Félag íslenskra fiskimjölsværksmiðjaframleiðenda) og getur verið sveiflukennd milli ára (myndMynd 7-14).



Mynd 7-14. Olíunotkun og hráefnismóttaka árin 2000-2014.

Helstu leiðir til þess að draga úr olíunotkun eru annarsvegar að nota rafskautaketil til þess að framleiða gufu og hins vegar rafmagnsknúinn loftþurrkara ef við á, en stundum er mjöl þurrkað með gufu af rafskautakatli. Búið er að rafvæða flestar verksmiðjanna undanfarin ár en í dag eru níu verksmiðjur með rafskautaketil og því reknar með raforku að hluta til. Af þeim eru fimm verksmiðjur sem eru reknar að mestu með raforku og olíunotkun er einungis til þess að halda starfseminni gangandi á meðan rafmagn er skert. Árið 2014 var um 75% af orkuþörf fiskimjölsverksmiðja uppfyllt með raforku og einungis 25% með olíu (miðað við meðal rafmagns- og olíuknúnar verksmiðjur) (myndMynd 7-15). Olíunotkun hefur þar af leiðandi minnkað talsvert síðan 2003, eða í 13 lítra á hráefnistonn árið 2014 (Félag íslenskra fiskimjölsframleiðenda).

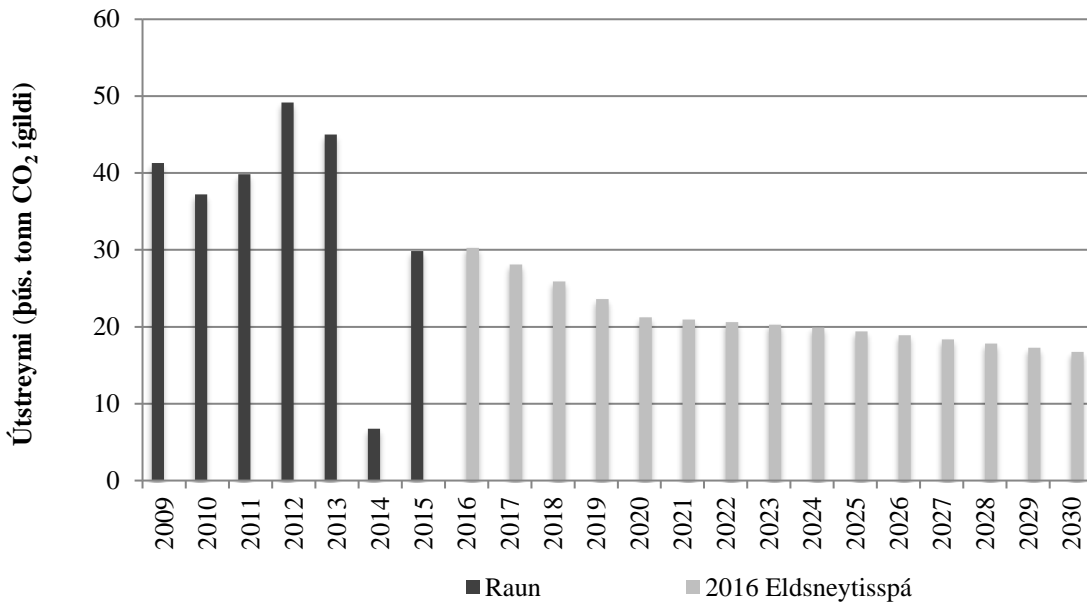


**Mynd 7-15. Orkunotkun eftir orkugjafa og olíunotkun á hráefnistonn í litrum 2003-2014.**

Breytingar á útstreymi vegna starfsemi fiskimjölsverksmiðja byggir á forsendum eldsneytisspár Orkuspárnefndar (Orkuspárnefnd 2016). Forsendur Eldsneytisspárinnar frá 2016 eru meðal annars eftirfarandi:

- Olíunotkun á tonn hráefnis lækkar úr 15 kg 2015 í 10 kg árið 2020, og 2 kg árið 2050.
- Magn loðnu-, síldar- og kolmunna- og makrílsafla verða samtals 950 þúsund tonn árið 2050 en var 767 þúsund tonn 2015/2016.

Leiðir þetta til 89% samdráttar í útstreymi gróðurhúsalofttegunda miðað við útstreymi ársins 1990, og 59% samdráttar miðað við árið 2009 (sjá myndMynd 7-16).



Mynd 7-16. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskimjölsverksmiðjum árin 2009-2030.

### 7.5.2 Tæknilegir möguleikar til samdráttar í útstreymi

Möguleikar til þess að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda fela í sér frekari raforkuvæðingu fiskimjölsverksmiðja en enn eru tvær verksmiðjur með olúkynta katla (Ísfélag Vestmannaeyja, verksmiðjur á Þórshöfn og í Vestmannaeyjum) og þrjár eru með olúknúna loftþurrkara (HB Grandi verksmiðja á Akranesi og Síldarvinnslan, verksmiðjurnar á Seyðisfirði og í Helguvík). Að auki eru verksmiðjur sem geta ekki fullnýtt rafskautakatla sína vegna skerts framboðs raforku, til dæmis Vinnslustöðin í Vestmannaeyjum og HB Grandi á Akranesi.

Almennt er mikill áhugi á að nota raforku í stað olú í verksmiðjunum enda getur það verið hagkvæmara og þægilegra í rekstri. Samkvæmt viðtölum við fiskimjölsverksmiðjustjóra er meginástæðan fyrir því að nokkrar fiskimjölsverksmiðjur eiga eftir að raforkuvæða eða fullnýta núverandi rafmagnsbúnað, takmarkaður aðgangur að raforku vegna annars vegar slæmrar tengingar við dreifikerfið og hins vegar lítils framboðs af raforku.

Samkvæmt Kerfisáætlun Landsnets 2014-23 er stefnt að því að efla tengingu við Vestmannaeyjar (spennuhækkun sem tvöfaldar flutningsgetu) og Akranes (endurnýjun tengivirkisins) árin 2014-15 en þessar aðgerðir munu gera þremur fiskimjölsverksmiðjum (tveimur í Vestmannaeyjum og einni á Akranesi) kleift að minnka olúnotkun sína verulega.

Af þeim þremur verksmiðjum sem nota mikla olú munu þær á Seyðisfirði og Þórshöfn líklega halda áfram óbreyttar þar sem áætlanir um aðgerðir til þess að efla framboð raforku til Seyðisfjarðar og Þórshafnar liggja ekki fyrir. Verksmiðjan í Helguvík er talin hafa nægilegan aðgang að raforku til þess að nota rafmagnsloftþurrkara en framleiðslan hefur ekki verið nægileg til þess að standa undir fjárfestingakostnaði.

Þrátt fyrir mikla og áframhaldandi raforkuvæðingu fiskimjölsverksmiðja nota þær áfram smávægilega olú þar sem fiskimjölsverksmiðjur kaupa skerðanlega raforku og þurfa því stundum að nota olú í staðinn. Skerðanleiki hentar rekstri fiskimjölsverksmiðja þar sem hann er árstímabundinn og sveiflukennndur eftir afla en verksmiðjurnar njóta þess á móti að borga lægra raforkuverð. Til þess að vernda verðmæti hráefnis og vara í framleiðslu er mikilvægt að fiskimjölsverksmiðjur geti haldið rekstri

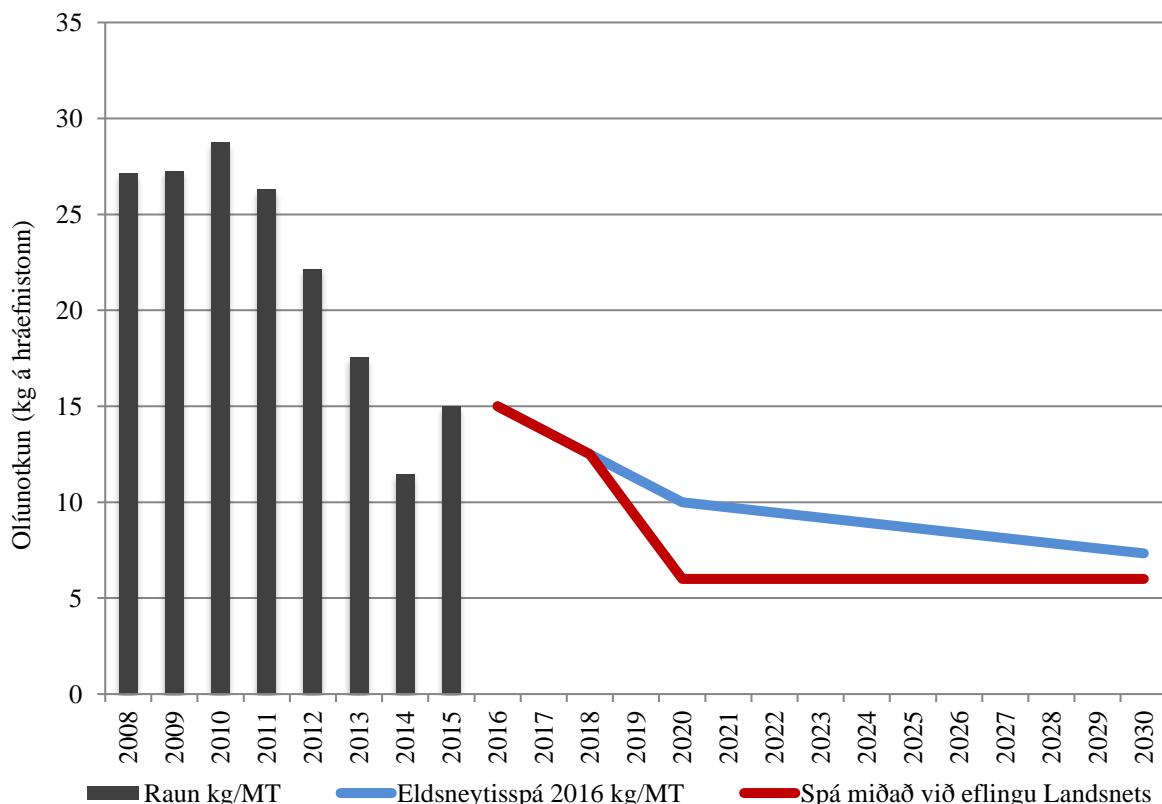
áfram án raforku. Þess vegna er olúknúinn varabúnaður til staðar en olíunotkun fylgir því að halda honum tilbúnum og keyra hann meðan rafmagn er skert. Gera má ráð fyrir því að olíunotkun yrði því ekki minni en 2-4 lítrar á hráefnistonn á meðan olúknúinn varabúnaður er nauðsynlegur.

### 7.5.3 Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni aðgerða

Notkun fiskimjölsværsmiðja á rafmagn er helsta aðgerðin til þess að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda, enda getur olíunotkun minnkað úr 40-50 lítrum á hráefnistonn í 2-4 lítra. Um 75% af framleiðslu árið 2014 voru unnin með raforku í stað olíu árið 2014 og olíunotkun var því að meðaltali 13 lítrar á hráefnistonn (eða 11 kg á hráefnistonn). Talið er líklegt að þessi þróun haldi áfram með fyrirhugaðri uppbyggingu Landsnets í Vestmannaeyjum og á Akranesi þar sem þrjár verksmiðjur eru staðsettar.

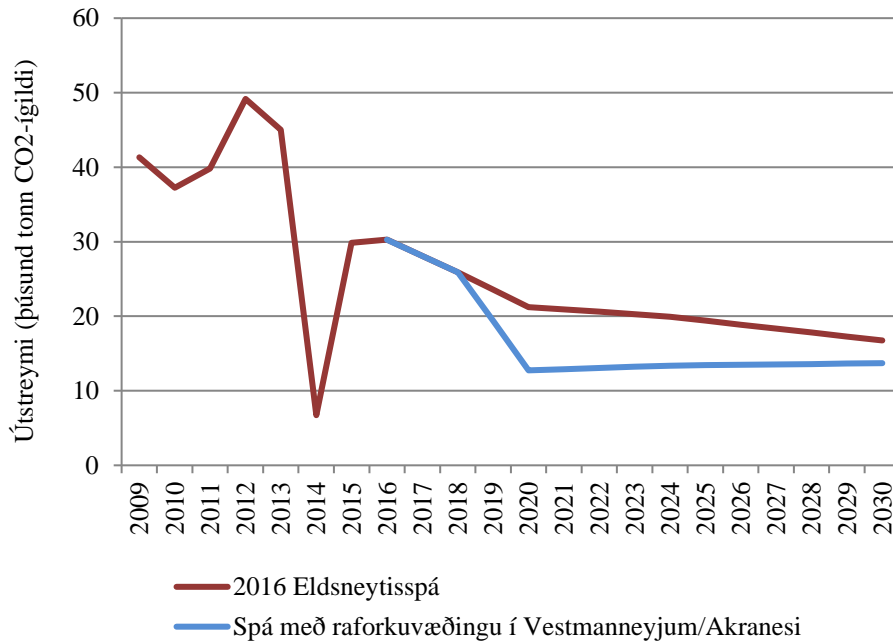
Enn má draga úr olíunotkun með því að bæta tengingu Seyðisfjarðar og Þórshafnar við flutningskerfið annars vegar og með kaupum fiskimjölsværsmiðja á óskerðanlegri raforku hins vegar. Fjárhagsleg hagkvæmni þessara aðgerða er ekki metin hér þar sem upplýsingar um kostnað vegna fjárfestinga í innviðum liggja ekki fyrir.

Sett er saman sviðsmynd sem byggist á Eldsneytisspá 2016 sem eins og áður hefur komið fram gerir ráð fyrir lækkun í olíunotkun í 10 kg á hráefnistonn árið 2020. Frekari lækkun á olíunotkun er áætluð vegna betri tengingar Vestmannaeyja og Akraness við flutningskerfi raforku. Gert er ráð fyrir því að Landsnet klári framkvæmdir 2016 og að verksmiðjurnar skipti yfir í raforku árin 2017-18. Í kjölfar þessa verður meðalolíunotkun 6 kg á hráefnistonn árið 2020 (myndMynd 7-17).



Mynd 7-17. Forsendur um olíunotkun á hráefnistonn árin 2008-2030.

Áhrif þessara aðgerða eru svo metin með því að leiðrétta spá um útstreymi samkvæmt Eldsneytisspá frá 2016 út frá lægri lægri olúnotkun í Vestmannaeyjum og á Akranesi árin frá og með 2018-19 en slíkur árangur er háður því að viðkomandi áætlanir Landsnets um framkvæmdir standist. Heildarsamdráttur í útstreymi miðað við grunntilvik árið 2030 er 18% (myndMynd 7-18) og er útstreymi ársins 2030 89% lægri en útstreymi ársins 1990. Þar sem kostnaður vegna áætlana Landsnets liggur ekki fyrir er kostnaður vegna aðgerðanna ekki metinn.



Mynd 7-18. Sviðsmynd – útstreymi gróðurhúsalofttegunda fiskimjölsverksmiðja árin 2009-2030

## 7.6 Samantekt

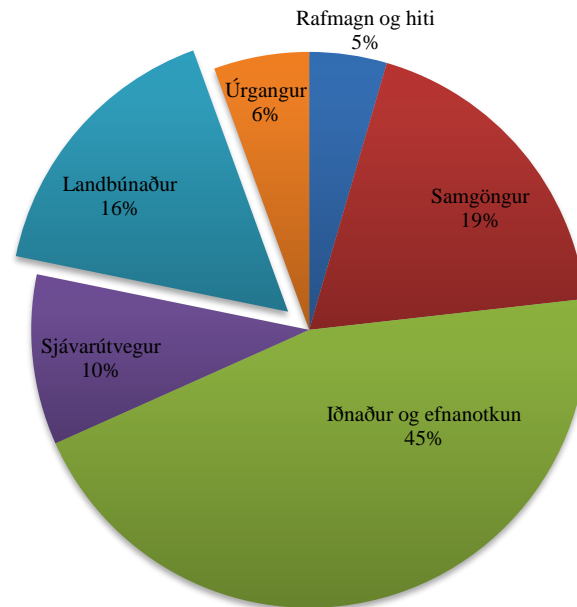
Möguleikar til samdráttar í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi eru umtalsverðir. Til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda fiskveiðiflotans má grípa til margvíslegra aðgerða sem miða að því að spara eldsneyti, auka nýtingu loftslagsvænni orkugjafa eða auka notkun landrafmagns við landlegur. Til að draga úr útstreymi fiskimjölsverksmiðja þyrfti að ráðast í frekari rafvæðingu verksmiðjanna.

Niðurstöður greininga í þessum kafla sýna að hægt er að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna fiskveiða umfram útstreymi ársins 1990 um allt að 92% og útstreymi fiskimjölsverksmiðja allt að 89% miðað við útstreymi ársins 1990.

## 8 Landbúnaður

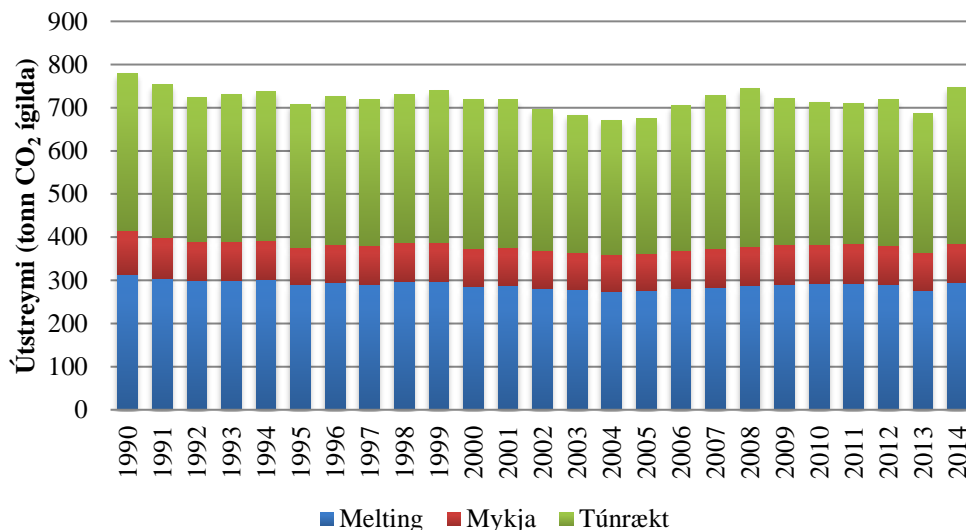
### 8.1 Yfirlit

Gróðurhúsalofttegundir streyma frá skepnum og landi sem nýtt er fyrir landbúnað. Metan kemur úr meltingarfærum dýra og mykju. Hláturgas, N<sub>2</sub>O, kemur til vegna áburðarnotkunar á landbúnaðarlandi og mykju. Árið 2014 var útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði um 750 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda eða um 16% af heildarútstreymi Íslands eins og sést á myndMynd 8-1. Heildarútstreymi minnkaði því um 4% síðan 1990. Taka ber þó fram að breytingar á útstreymi vegna framræsingar lands eru teknar fyrir í kafla um landnotkun.



Mynd 8-1. Hlutfall landbúnaðar í heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2013.

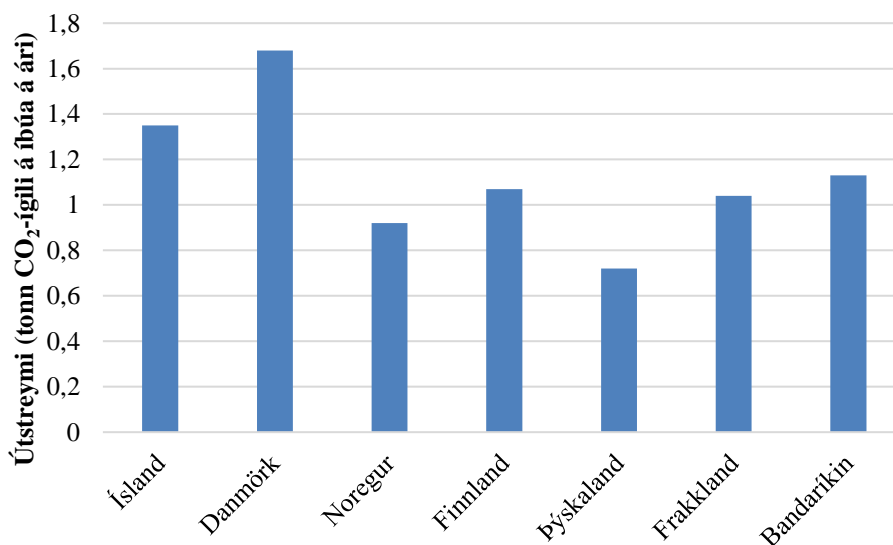
Útstreymi metans (CH<sub>4</sub>) frá meltingarfærum dýra kemur einkum frá jórturdýrum, s.s. nautgripum og sauðfé, en einnig frá sumum einmaga dýrum, s.s. hestum og svínunum, þó í minna mæli sé. Við mat á útstreymi frá meltingarfærum dýra er stuðst við stuðla IPCC um myndun metans (Umhverfisstofnun, 2015). Útstreymið er metið út frá búfjárfjölda og er að langmestu leyti tilkomið vegna jórturdýra. Íslensku búfjárkynin, kýr, sauðfé og hestar eru á hinn bóginn mun minni en þau kyn sem stuðlar IPCC eiga að endurspegla. Leiða má líkur að því að stuðlarnir ofmeti því útstreymi íslensku búfjárkynjanna. Meðan rannsóknir skortir á raunverulegu útstreymi íslensku búfjárkynjanna er erfitt að meta að hve miklu leyti losunartölur endurspegla raunverulegt útstreymi frá landbúnaði hérlandis. Svipaða sögu er reyndar einnig að segja um útstreymi vegna meðhöndlunar mykju. Þar er um að ræða staðlaðar áætlanir sem byggja á stuðlum frá IPCC fyrir útstreymi CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O vegna útstreymis frá mykju. Stuðst er við stuðla frá IPCC við matið ásamt innlendum stuðlum um magn köfnunarefnis í búfjáraður. Mynd 8-2 sýnir útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði eftir tegund útstreymis reiknað sem CO<sub>2</sub> tonn ígildi. Ef miðað er við að núverandi losunarstuðlar séu nærri lagi er ljóst að útstreymi íslensks landbúnaðar á gróðurhúsalofttegundum, að óbreyttri tækni, er fyrst og fremst fall af búfjárfjölda.



Mynd 8-2. Heildarústreymi frá landbúnaði, reiknað sem CO<sub>2</sub> ígilda og flokkað eftir tegund útstreymis.

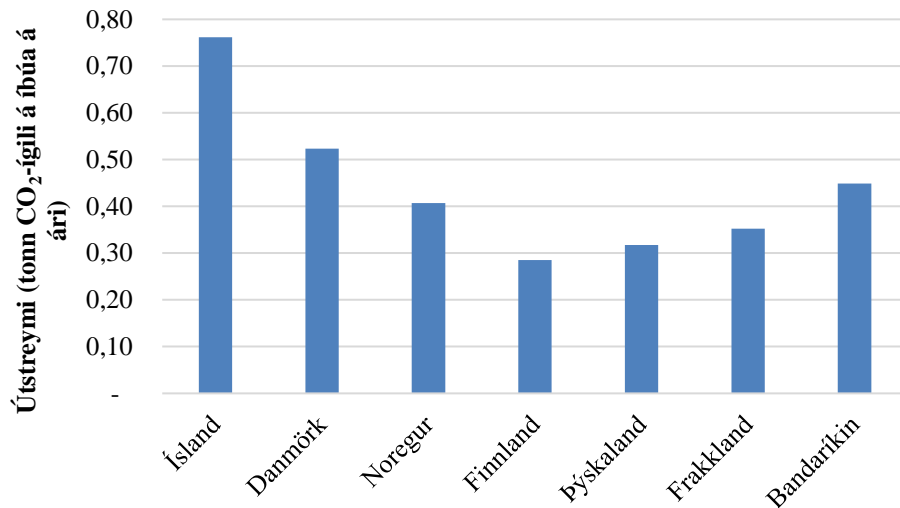
## 8.2 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði hér á landi einskorðast við útstreymi frá meltingarfærum jörturdýra, mykju og útstreymi frá ræktarlandi vegna notkunar áburðar. Til að auðvelda samanburð milli landa er hér borið saman útstreymi á íbúa í tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári. Mynd 8-3 sýnir heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði í tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári á íbúa.



Mynd 8-3. Heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði hér á landi og í nokkrum nágrennalöndum í tonnum af CO<sub>2</sub> ígildum á ári á íbúa (WRI, 2012).

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði er nokkuð mikið hér á landi samanborið við helstu nágrennaríki, en árið 2012 var útstreymi Íslands á hvern íbúa meira en bæði Bandaríkjanna og Frakklands, sem bæði flytja út umtalsvert magn landbúnaðarafurða. Losun Íslands var þó nokkru minni en losun Danmerkur það ár. Kjötframleiðsla hér á landi einkennist af afurðum jörturdýra, þ.e. sauðfé og nautgripum. Skýrist stór hluti útstreymis frá landbúnaði af ræktun sauðfjár og nautgripa eins og sjá má á myndMynd 8-4.

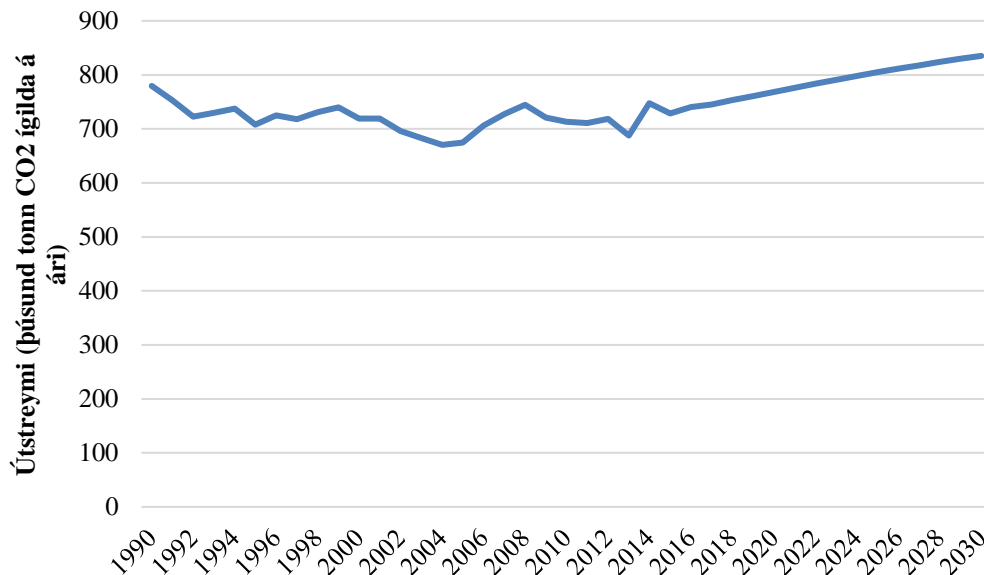


Mynd 8-4. Útstreymi frá meltingarfærum dýra hér á landi og í nokkrum nágrennalöndum í tonnum af CO<sub>2</sub>-ígilda á ári á íbúa (UNFCCC, 2012)

Á mynd 8-4 kemur greinilega fram sérstaða íslensks landbúnaðar hvað varðar mikilvægi búgreina sem byggja á jórturdýrum og afurðum þeirra. Athygli vekur að tölur um útstreymi Íslands eru langt umfram sambærilegar tölur fyrir umfangsmikla kjötútflytjendur eins og Dani. Hugsanlegt er að skýringuna á þessu ósamræmi sé að finna í notkun staðlaðra útstreymisstuðla frá IPCC, en ljóst er, eins og áður hefur komið fram, að íslensku búfjáarkynin eru nokkru minni en þau búfjáarkyn sem notuð eru til viðmiðunar. Það gæti leitt til ofmats á raunútstreymi vegna meltingar jórturdýra og meðhöndlunar mykju

### 8.3 Útstreymisspá

Í grunnspá er gert ráð fyrir að neysla landbúnaðarafurða á mann haldist stöðug í sömu hlutföllum og að meðaldali árin 2012- 2014. Heildarbreyting í útstreymi til 2030 er því háð þróun fólksfjölda sem er tekin frá eldsneytisspá 2016. Mynd 8-5 sýnir niðurstöður spárinnar.



Mynd 8-5. Spá um heildarútstreymi landbúnaðar á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO<sub>2</sub> ígildi.

Eins og myndin sýnir er gert ráð fyrir að nokkrar breytingar verði á útstreymi frá landbúnaði á tímabilinu til 2030, eða um 11,7% umfram losun ársins 2014. Spáin gerir hvorki ráð fyrir breytingum á

innflutnings- né útflutningshlutfalli matvæla, en ljóst er að slíkar breytingar myndu breyta útstreymi landbúnaðarins.

Margt virðist benda til að útstreymi frá landbúnaði hér á landi sé ofmetið. Erfitt er að meta mikilvægi og árangur mögulegra aðgerða til að draga úr útstreymi ef raunverulegt útstreymi er óvíst. Því er afar mikilvægt að raunverulegt útstreymi íslensks landbúnaðar verði rannsakað rækilega.

#### **8.4 Tæknilegir möguleikar til minnkunar á útstreymi**

Eins og áður sagði er í þessum kafla aðeins tekið fyrir útstreymi frá landbúnaði vegna búfjár og fódurræktar en ekki t.d. vegna breyttrar landnotkunar sem fjallað er um í kafla 11. Þó ber að hafa í huga að breytingar í framleiðsluáherslum í landbúnaði breyta landnýtingu og landnýtingarmöguleikum. Að sama skapi framkalla breytingar á áherslum í landnýtingu á breytingar í landbúnaði. Samdráttur í sauðfjárrækt á undanförunum árum hefur auðveldað landgræðslu stærri og samfelldari svæða og aukna skógrækt á svæðum sem áður voru nýtt til beitar. Að sama skapi ýtir stuðningur við landnýtingarverkefni, s.s. endurheimt votlendis, undir það að land hverfur úr landbúnaðarnotkun vegna þess að arðbærara er að nýta það í annað. Ákvarðanir landeigenda, sem jafnan eru bændur, um landnýtingu ákvarða því bæði umfang útstreymis í landbúnaði og mögulegar mótvægisáðgerðir með breyttri landnýtingu.

##### **8.4.1 Samdráttur í útstreymi metans frá meltingarvegi búfánaðar**

Um helmingur útstreymis frá íslenskum landbúnaði er frá meltingarvegi dýra. Aðferðir til að draga úr þessu útstreymi hafa verið til rannsóknar undanfarin ár og gefa niðurstöður fyrstu rannsókna til kynna nokkra möguleika til að draga úr útstreymi. Rannsóknir sýna að með bættri fódurgjöf er unnt að draga úr loftfirrtri gerjun í maga jörturdýra og draga úr framleiðslu metans (t.d. McGinn et al., 2004). Rannsóknir gefa einnig til kynna að draga megi verulega úr útstreymi með því að fódra búfánað á olíuríku fódri. Niðurstöður sýna að draga megi úr útstreymi um 12% í mjólkurkúm með aukinni notkun olíuríks fódurs á sama tíma og mjólkurframleiðsla eykst um 15% (Grainger et al., 2008). Svipaðar rannsóknir hafa sýnt að góðum árangri megi ná með notkun ýmissa olía í fóðrun, s.s. kókósólíu og pálmaolíu. Þessar aðferðir eru enn nokkuð umdeildar og meiri rannsókna er þörf til að meta langtíma fýsileika þess að draga úr útstreymi frá meltingarvegi búfánaðar með því að bæta olíu í kjarnafóður.

Hægt væri að draga úr útstreymi frá meltingarvegi búfánaðar með erfðatækni eða kynbótum sem myndu draga úr metangerjun í maga jörturdýra. Nýleg rannsókn bendir til þess að draga megi úr útstreymi metans um allt að 25% á þann hátt (Britten, N., 2009). Einnig er rétt að benda á að samdráttur í neyslu jörturdýraafurða, s.s. mjólkur, lambakjöts og nautakjöts myndi draga úr þessu útstreymi (Thorpe, A., 2009). Slíkt myndi hinsvegar fela í sér talsverðar breytingar á neyslumynstri þjóðarinnar og er ekki gert ráð fyrir að slíkt verði að veruleika á spátímanum.

Ljóst er að innflutingur á stærri búfjárkynjum, t.d. mjólkurkúm, myndi valda samdrætti í reiknuðu útstreymi frá búfánaði samkvæmt núverandi aðferðarfræði við mat á losun, þó svo raunáhrifin séu óviss. Hagkvæmni þess að flytja inn nýtt kyn mjólkurkúna hefur verið rannsakað af Landbúnaðarháskóla Íslands. Niðurstöður benda til þess að slíkur innflutningur sé mjög hagkvæmur út frá rekstrarlegu sjónarmiði (Daði Már Kristófersson et al., 2007). Erfitt er að meta hver samanlagður árangur af slíkum aðgerðum geti verið en erlendar rannsóknir benda til að hægt sé að draga úr útstreymi samanlagt um 5% fyrir sauðfé og um 20% fyrir nautgripi (Smith et al., 2008). Slíkar aðgerðir myndu því leiða til um 11% samdráttar í útstreymi frá búfánaði.

Verulegur galli á aðgerðum af þessum toga, sem byggja á samdrætti í dreifðu útstreymi margra smárra eininga við fjölbreyttar aðstæður, er hve erfitt er að staðfesta að raunverulegur samdráttur á útstreymi hafi átt sér stað. Þó svo að vísindalegur grunnur aðferðanna sé góður er ljóst að mikil vandkvæði eru á því að ráðast í aðgerðir á stórum skala sem ætlað er að breyta fóðrun jórturdýra. Sem dæmi væri mögulegt að hvetja til meiri notkunar á annars konar fóðri sem dregur úr loftfirrtu niðurbroti í maga búfenaðs með niðurgreiðslum, en óvíst er hve miklar þær þyrftu að vera til að viðunandi árangur náist. Skilvirkni niðurgreiðslna á aðföngum er jafnframt lítil og árangur slíkra aðgerða hefur jafnan verið lítil miðað við tilkostnað (OECD 2001, 2003). Þó ætti ekki að afskrifa aðgerðir sem þessar og nauðsynlegt er að fylgjast með þróun sem verður á þessu sviði í nágrannalöndunum m.t.t. aðgerða, árangurs og eftirlits.

#### **8.4.2 Samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun mykju**

Nokkrir möguleikar eru á að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun mykju. Hafa má áhrif á útstreymið með bættri meðferð búfjáráburðar. Brunagildi hauggass, gassins sem losnar úr mykju, er um 2/3 af brunagildi metans. Hægt er að geyma mykju þannig að safna megi hauggasinu, annað hvort á staðnum eða í sérstökum vinnslueiningum þar sem safnað er mykju og öðrum lífrænum úrgangi af stærra svæði (t.d. Triolo et al., 2013; Muha et al., 2015). Hagkvæmar virkjanir af þessu tagi má þegar finna í ýmsum nágrannalöndum, t.d. Danmörku, en þar eru fjölmargar samlagsvinnslur og vinnslur fyrir einstaka bú. Dönsk yfirvöld stefna að því að auka notkun húsdýraúrgangs til orkuframleiðslu úr núverandi hlutfalli sem er um 5% í 40% fyrir árið 2020 (Klimatkommisionen, 2010). Arðsemi slíkrar vinnslu er mjög háð verði þeirra orkuafurða sem verða til í vinnslunni og markaðsvirði samkeppnishæfra afurða. Innlendar rannsóknir benda til að talsverður ávinningur sé af metanvinnslu til húshitunar á stökum bóndabýlum á köldum svæðum og geti varmavinnsla úr mykju séð býlunum fyrir stærstum hluta kyndiþarfar (Smári Guðfinnsson, 2013). Gerð hefur verið úttekt á fýsileika samlagsvinnslu í þéttbyggðum landbúnaðarhéruðum og var Eyjafjörður sérstaklega skoðaður í því tilliti. Niðurstöður gefa til kynna að vænt framleiðslugeta miðlægrar metanstöðvar í Eyjafirði sé jafnmikil eða meiri en sambærilegra miðlægra stöðva í rekstri í Evrópu í dag og ef allir mjólkurframleiðendur í Eyjafirði myndu leggja til mykju í vinnsluna væri hún arðbær (Svanhildur Ósk Ketilsdóttir, 2010). Önnur leið til að draga úr útstreymi felur einfaldlega í sér að geyma húsdýraúrgang í loftþéttum geymslum (Oenema et al., 2012). Hagnaðurinn af slíkri geymslu er tvíþættur. Annars vegar dregur mjög úr útstreymi rokgjarnra efna, s.s. þvagefnis (NH<sub>4</sub>) og hláturgass (N<sub>2</sub>O). Hins vegar stuðlar slík geymsla að bættri nýtingu áburðarefna sem dregur úr þörf fyrir tiltekinn áburð. Minni notkun tilbúins áburðar dregur út útstreymi frá landbúnaðarlandi.

#### **8.4.3 Samdráttur í útstreymi frá landbúnaðarlandi**

Draga má úr útstreymi frá landbúnaðarlandi með nokkrum aðferðum. Beinast liggur við að auka framleiðni með endurræktun og kynbótum. Með því eykst afrakstur hvernar einingar lands og dregur úr heildarnotkun áburðar. Meira landi má þá verja til aðgerða sem stuðla að bindingu fremur en útstreymi. Þá má bæta nýtingu búfjáráburðar, sem dregur úr þörf fyrir tilbúinn áburð. Þetta má gera bæði með vali á dreifingartíma og dreifingaraðferð. Jafnframt má bæta verulega nýtingu áburðarefna með rétttri samsetingu búfjáráburðar og tilbúins áburðar með það fyrir augum að hámarka nýtingu búfjáráburðar (Þóroddur Sveinsson, 2009). Slíkt krefst hinsvegar úrbóta í tækni við nýtingu búfjáráburðar, upplýsinga um efnainnihald jarðvegs og búfjáráburðar og áætlanagerðar um dreifingu og næringarsamsetningu áburðar. Kannanir á möguleikum til að bæta nýtingu búfjáráburðar benda til þess að hagkvæmt væri að draga úr notkun tilbúins áburðar ef búfjáráburður yrði nýttur á réttum tíma. Nýlegar mælingar benda til að átak í þessum efnum gæti leitt til 10% samdráttar í notkun tilbúins áburðar sem svarar til um 5% samdráttar í útstreymi frá landbúnaðarlandi (Þóroddur Sveinsson, 2009).

### 8.5 Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni

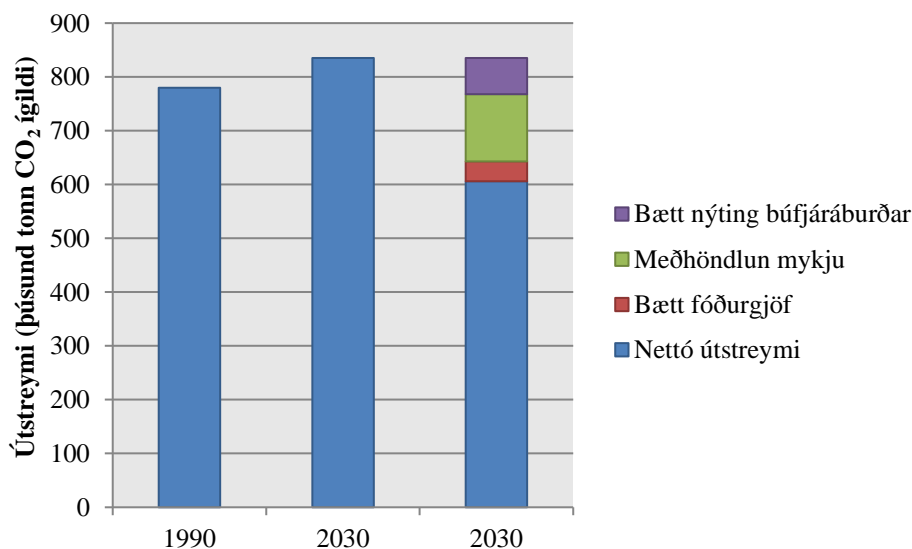
Samhæft regluverk um fóðrun jörturdýra sem hefði það að markmiði að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meltingarfærum búfænaðar gæti skilað um 11% samdrætti í útstreymi frá búfænaði (Smith et al., 2008). Miðað við útstreymi ársins 2014 myndi slíkt regluverk skila sér í samdrætti sem næmi um 4,4% heildarsamdrætti í útstreymi frá landbúnaði.

Rannsóknir hafa sýnt að draga megi úr næringarefnatapi frá húsdýraáburði um 30-90% með réttum geymsluáðferðum (Oenema et al., 2012). Besta niðurstaðan fæst ef mykjan er á fljótandi formi og geymd í lokuðum þróm. Ef slíkar aðferðir yrðu almennt teknar upp á kúa- og svínabúum mætti draga úr útstreymi um sem nemur um 7% af heildarútstreymi frá landbúnaði.

Bætt nýting búfjáraburðar ætti að gera kleift að draga úr innkaupum á tilbúnum köfnunarefnisáburði um allt að 10%. Slíkt myndi leiða til samdráttar á útstreymi frá landbúnaðarlandi, um 3% af heildarútstreymi frá landbúnaði. Átak í bættri nýtingu búfjáraburðar m.t.t. dreifingartíma og besta samspils við aðra áburðardreifingu gæti skilað um 5% samdrætti í útstreymi frá landbúnaðarlandi til viðbótar því sem bætt meðferð mykju skilar, samkvæmt þeim forsendum sem reifaðar voru hér að framan.

Með metangasgerð úr mykju, eða söfnun metangass við geymslu, er unnt að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá húsdýraáburði enn frekar. Hauggas sem losnar frá mykju inniheldur um 2/3 metan að rúmmáli sem nýta mætti til raforkuvinnslu, húshitunar eða sem eldsneyti fyrir landbúnaðarvélar og farartæki. Gert er ráð fyrir að mögulegt sé að fanga 75% af hauggasi frá mykju til metangasgerðar fyrir árið 2030. Slíkt myndi leiða til samdráttar á um 8% af heildarútstreymi frá landbúnaði.

Samanlagt væri því hægt að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði um 27% af heildarútstreymi frá landbúnaði miðað við losun ársins 2030 í grunntilviki. Mynd 8-6 sýnir þróun á útstreymi frá landbúnaði miðað við að ráðist verði í þær aðgerðir sem lagðar eru til hér að framan og að þeim verði öllum lokið árið 2030.



Mynd 8-6. Samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna aðgerða, þ.e. mismunur á afleiðingum þeirra aðgerða sem þegar hefur verið gripið til og þeirra aðgerða sem eru tæknilega mögulegar.

### 8.5.1 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni

Óvíst er um kostnað vegna breytinga á fóðurkerfum. Enda spilar inn í það óvissa um hve mikið þyrfti að breyta fóðrun fyrir íslensku búfjáarkynin, hvaða fóðurbætiefni yrðu notuð og hvað þau kosta. Erlendar rannsóknir benda til þess að kostnaðurinn sé um \$60 á tonn CO<sub>2</sub>-ígilda (Smith et al., 2008). Sem gerir um 7.800 ISK á tonn CO<sub>2</sub>-ígilda miðað við gengi dollars þann 3. mars. 2016.

Kostnaður við endurbætur á geymslum fyrir búfjáraður er nokkur. Hér er stuðst við tölur frá Oeneama et al., (2012) um kostnað við að meðhöndla mykju betur. Á móti þeim kostnaði sparast tilbúinn áburður. Reiknað er með að kostnaður umfram tekjur vegna áburðarsparnaðar nemi um €1/kg N sem gerir um 140 ISK/kg N miðað við gengi evru þann 3. mars 2016. Miðað við að dregið sé úr útstreymi eins og hægt er mun kostnaður nema um 3,6 milljónum á ári eða um 80 ISK/ tonn CO<sub>2</sub>-ígilda. Hláturgas er afar virk gróðurhúsalofttegund og er kostnaður við að draga úr útstreymi með þessum hætti ekki mikill. Þó svo að umfang samdráttar sé ekki mikið er bætt meðhöndlun mykju fremur hagkvæm leið til að draga úr útstreymi.

Kostnaður við tilbúinn áburð í íslenskum landbúnaði er umtalsverður og getur numið allt að 40-50% af breytilegum ræktunarkostnaði kúabúa (Ingvar Björnsson & Runólfur Sigursveinsson, 2008). Talið er að sparnaður í kostnaði við tilbúinn köfnunarefnisáburð réttlæti þá auknu fjárfestingu sem fylgir bættri nýtingu búfjáraðurar (Þóroddur Sveinsson, 2008; Erna Bjarnadóttir, 1992). Þar af leiðandi er ekki gert ráð fyrir kostnaði af þessum aðgerðum heldur hagnaði sem nemur um 2.500 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígilda.

Kostnaður vegna metangasgerðar frá íslenskum landbúnaði hefur verið metinn með hliðsjón af erlendum reynslutölum. Miðað við reynslu frá nágrannalöndum er meðalkostnaður við gasgerð úr mykju um 13.850 ISK á hvert tonn af mykju og sýna áætlanir að gera megir ráð fyrir svipuðum kostnaði hérlendis (Kristján Hlynur Ingólfsson, 2011). Nýtni gasgerðarferilsins getur verið mjög misjöfn eftir vinnsluáðstæðum og hráefni, en algeng nýtnihlutföll sem notuð eru við hönnun gasgerðastöðva í Danmörku gera ráð fyrir að um 200 lítrar af gasi fái á hvert kíló af mykju (Möller H. B., 2013). Áætlanir hafa sýnt að miðað við framleiðslu um 4,5 milljón Nm<sup>3</sup> af metangasi sparist um 514 milljónir króna á ári vegna innflutnings á eldsneyti (Metanorka, 2013). Hagnaður vegna samdráttar útstreymis gróðurhúsalofttegunda með þessari aðferð gæti því orðið um 1.850 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígildi.

Tafla 8-1 sýnir samantekt á mögulegum samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði á tímabilinu 2015-2030 með þeim aðferðum sem lýst hefur verið í þessum kafla ásamt áætluðum kostnaði við hverja aðferð.

Tafla 8-1. Samantekt á uppsöfnuðu útstreymi gróðurhúsalofttegunda og kostnaði við mótvægisáðgerðir. Neikvæður kostnaður þýðir að fjárhagslegur ávinningur sé af aðgerðum.

Aðgerðir til samdráttar á útstreymi	Samdráttur 2015-2030 [þúsund tonn CO <sub>2</sub> ígilda]	Kostnaður [ISK/tonn CO <sub>2</sub> ígildi]
Bætt fóðurgjöf	310	7.800
Geymsla búfjáraðurar	471	80
Bætt nýting búfjáraðurar	383	-2.500
Metangasgerð	582	-1.850
<b>Samtals:</b>	<b>1745</b>	

### 8.6 Samantekt

Árið 2014 var útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði um 747 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda eða um 16% af heildarútstreymi Íslands. Útstreymi vegna landbúnaðar er einkum vegna myndunar metans í

meltingarvegi búfénaðar, vegna loftfirrts niðurbrots mykju og vegna niðurbrots áburðarefna á landbúnaðarlandi. Losun vegna framræslu lands er þó m.a ekki talið til útstreymis frá landbúnaði.

Útreikningar á útstreymi byggja á stuðlum IPCC sem eru byggðir á mælingum á skepnum sem eru þó nokkru stærri en íslensku búfjárstofnarnir og fyrir landsvæði sem eru í rækt mun lengri hluta árs en landbúnaðarland hérlendis. Skortur er á innlendum rannsóknum varðandi þetta útstreymi en ætla má að stuðlar IPCC ofmeti talsvert útstreymi frá þessum þáttum. Nýjar rannsóknir á útstreymi vegna landbúnaðar hérlendis gætu því dregið nokkuð úr bókfærðu heildarútstreymi Íslands. Íslenskar mjólkurkúr eru að jafnaði um 25-40% minni en erlendar kúr og sömu sögu er að segja m.a. um hesta (Daði Már Kristófersson et al., 2009). Sé útstreymi frá landbúnaði sambærilega vanáætlað um 30% nemur það um 224 þúsundum tonna CO<sub>2</sub> ígilda á ári sem er á við lítið álver og meira en allt útstreymi frá samgöngum hérlendis.

Helstu leiðir til þess að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði eru bætt fóðrun búfénaðar til að draga úr framleiðslu metans, loftþétt geymsla búfjáráburðar, metangasgerð úr mykju og aukin notkun búfjáráburðar á kostnað tilbúins köfnunarefnisáburðar. Rannsóknir á breyttri fóðrun búfénaðar hafa að mestu farið fram erlendis og talsverð óvissa er um skilvirkni þeirrar aðgerðar á íslenskum bústofnum. Talið er að talsverður hagnaður sé af því að auka nýtingu búfjáráburðar, annars vegar til að draga úr innflutningi tilbúins áburðar og hinsvegar til metangasgerðar.

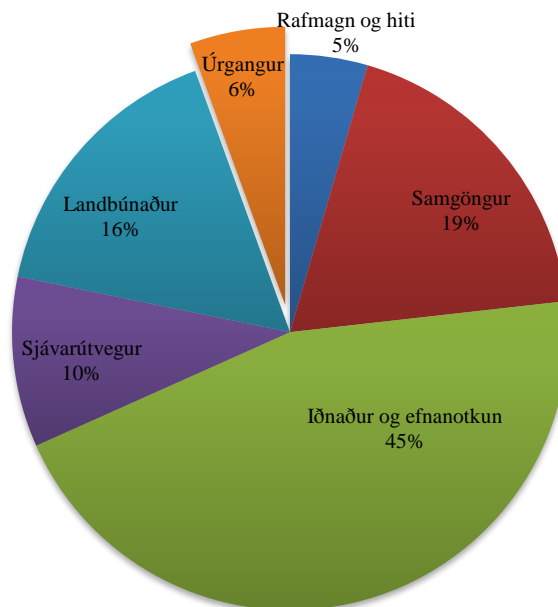
## 9 Meðferð úrgangs

### 9.1 Yfirlit

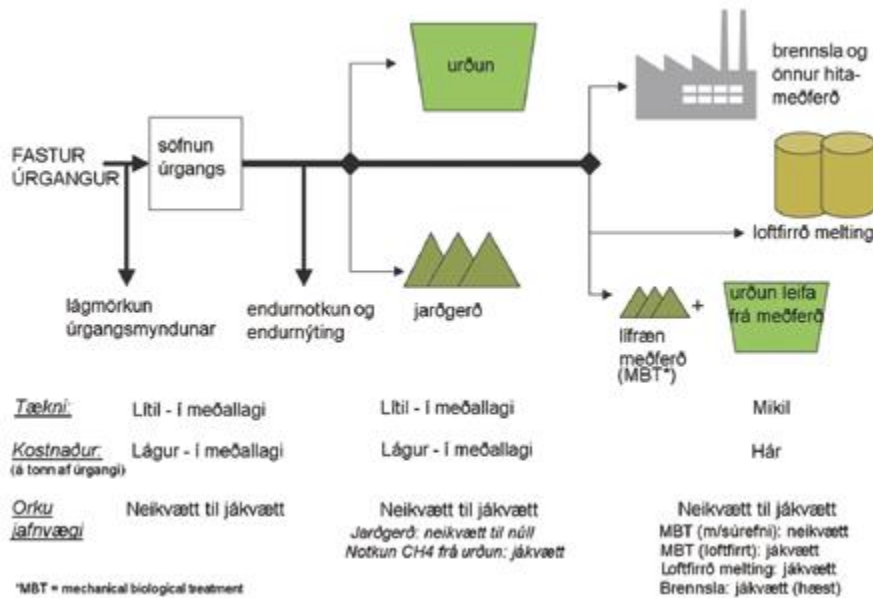
Hlutfall úrgangs í heildarústreymsi gróðurhúsalofttegunda árið 2014 var 6% eins og má sjá á myndMynd 9-1. Ústreymsi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi á að mestu uppruna sinn að rekja til urðunarstaða víðsvegar um landið. Þar losnar hauggas frá loftfirrtu niðurbroti lífræns úrgangs, s.s. matarleifa, pappa, pappírs og gróðurleifa o.fl. út í andrúmsloftið. Hauggas inniheldur almennt um 50-65% metan sem er 21 sinnum öflugri gróðurhúsalofttegund en koltvísýringur (CO<sub>2</sub>). Hauggas inniheldur einnig CO<sub>2</sub> og hláturgas (N<sub>2</sub>O) í örlitlu magni, en það er 310 sinnum öflugri gróðurhúsalofttegund en CO<sub>2</sub> (SORPA, 2015). CO<sub>2</sub> losnar einnig við brennslu úrgangs, en þar sem einunigs litlu hlutfalli úrgangs hérlendis er brennt vegur það útstreymsi nú minna en útstreymsi metans frá urðunarstöðvum. Sé varmi frá sorpbrennslu nýttur til orkuframleiðslu telst útstreymsi gróðurhúsalofttegunda vera af völdum bruna eldsneytis en ekki úrgangs. Orkuvinnsla er lítið stunduð við sorpbrennslur á Íslandi í dag. Í þessari skýrslu telst útstreymsi frá sorpbrennslu til úrgangs.

Til þessa kafla heyrir einnig skólp frá heimilum og iðnaði, en aðstæður í sjó, vötnum og rotþróum geta valdið því að niðurbrot lífrænna efnasambanda verði loftfirrt og losnar þá metan, CO<sub>2</sub> og N<sub>2</sub>O. Hérlendis eru skólphreinsistöðvar með stýrðu loftháðu niðurbroti.

Helstu leiðir til meðhöndlunar á úrgangi eru urðun, jarðgerð, metangasvinnsla, brennsla og endurvinnsla. Kostnaður og umhverfisáhrif þessara leiða eru mismikil og er hægt að flokka þær á einfaldan hátt eftir tæknistigi, kostnaði og orkujafnvægi eins og gert er í skýrslu IPCC (Bogner, et al. 2007) (myndMynd 9-2). Almennt gætir töluverðrar ónákvæmni í gagnasöfnun í þessum geira, bæði vegna mismunandi aðferða og eins er gagnasöfnun víða ábótavant. Almennt hefur gagnasöfnun aukist og orðið ítarlegri hérlendis á síðustu árum (Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2013)

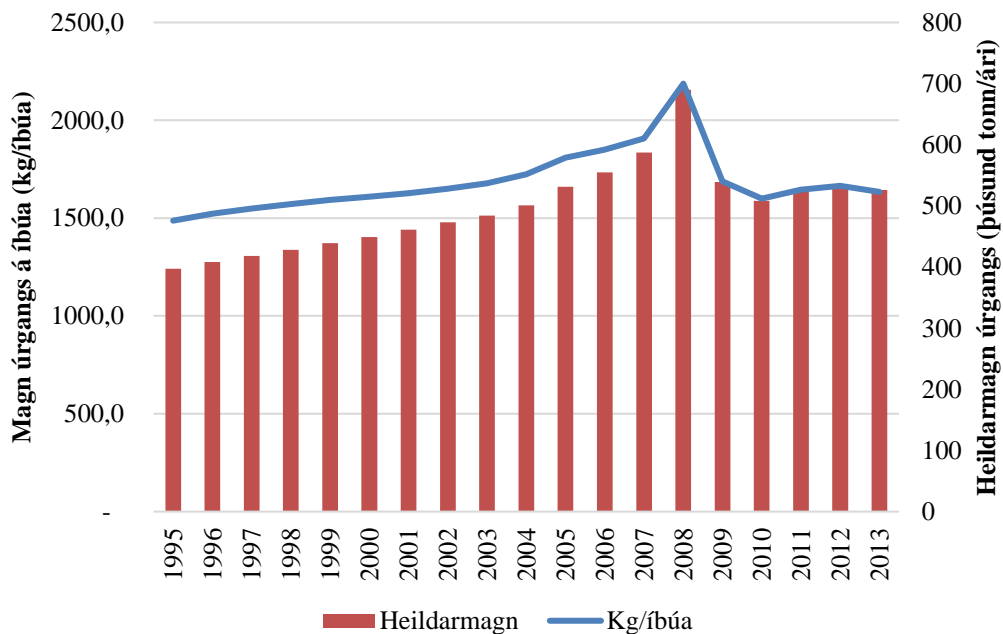


Mynd 9-1. Hlutfall úrgangs í heildarústreymsi gróðurhúsalofttegunda árið 2014.



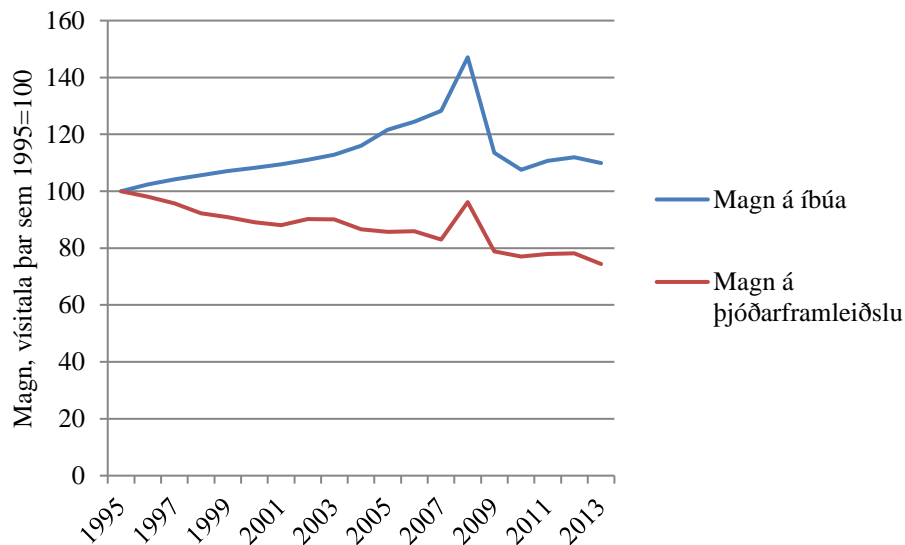
Mynd 9-2. Helstu leiðir fyrir meðferð úrgangs (Bogner et al., 2007).

Árið 2013 var heildarmagn úrgangs á landinu 526 þúsund tonn, og hafði aukist úr 397 þúsundum tonna árið 1995 eða um 32%. Á þessu tímabili hafði árlegt magn úrgangs á hvern íbúa á árunum 1990 - 2008 aukist um allt að 47% en hefur á allra síðustu árum dregist saman í rúm 1,6 tonn á mann eins og sést á myndMynd 9-3.



Mynd 9-3. Þróun í heildarmagni úrgangs og magni úrgangs á hvern íbúa frá 1995-2013.

Mynd 9-4 sýnir síðan samanburð á magni úrgangs á íbúa og magni úrgangs per landsframleiðslu. Eins og áður sagði jókst magn úrgangs per íbúa til 2007, en hefur minnkað eftir það í rúm 1,64 tonn per mann. Úrgangur á landsframleiðslu hefur hins vegar verið að minnka nánast línulega, ef frá er skilið árið 2007 og minnkaði um tæp 26% frá 1995 til 2013.



Mynd 9-4. Samanburður á magni úrgangs á íbúa og magni úrgangs per landsframleiðslu.

Þrjár meginleiðir eru færar til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun úrgangs:

- Föngun hauggass á urðunarstöðum, annað hvort til brennslu í opnum loga eða til vinnslu á efnavörum, eldsneyti eða orku.
- Minnkun á urðun lífræns úrgangs með því að beina honum í endurvinnslu, jarðgerð, gasgerð eða brennslu með orkuvinnslu
- Draga úr myndun úrgangs, sem er forgangsríði skv. Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2013-2024 (Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2013)

## 9.2 Staða úrgangsmála

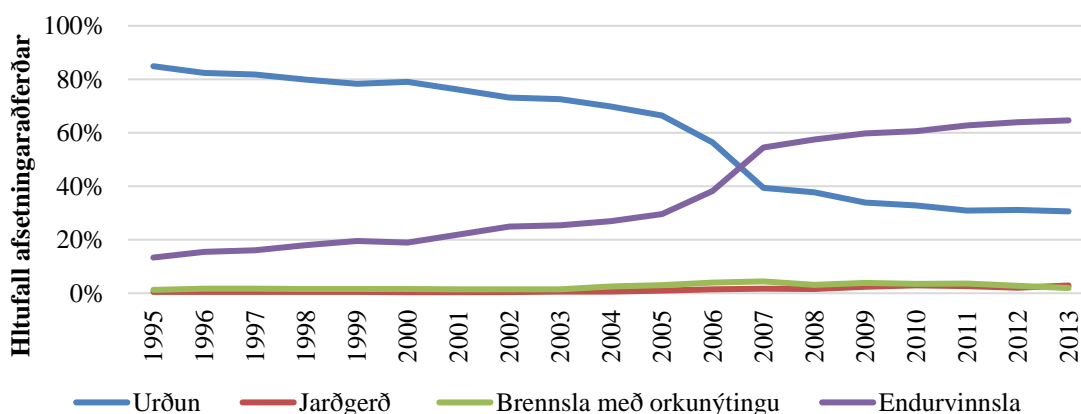
Árið 2013 féllu til alls um 526 þúsund tonn af úrgangi. Þar af var heimilisérgangur um 30% en rekstrarúrgangur nam um 70% (Gallup, 2016). Gera má ráð fyrir að, eins og kannanir hafa sýnt fram á, að um 60% af heildarúrgangi sé lífrænn, hvort sem um heimilis- eða rekstrarúrgang er að ræða. Með lífrænum úrgangi er átt við allan úrgang af því tagi, s.s. úrgang frá matvælavinnslu, eldhúsúrgang, pappa, pappír, gróðurleifar og timbur.

Síðustu ár hefur endurvinnsla verið algengasta aðferðin við meðhöndlun úrgangs, en urðun er næst algengust. Samtals var 30% úrgangs urðað árið 2013 en afgangurinn fór að mestu í ýmiss konar endurvinnslu, t.d. jarðgerð (Hagstofan, 2016). Öðrum frumstæðum aðferðum s.s. brennslu í opnum gryfjum hefur nú alfarið verið hætt og var seinustu opnu brennslunni á Grímsey lokað árið 2010. Yfirlit yfir magn úrgangs eftir afsetningarleiðum má sjá í töfluTafla 9-1.

Tafla 9-1. Afsetningarleiðir úrgangs á Íslandi árið 2013.

Afsetningarleið	Magn (þúsund tonn)	Hlutfall
Urðun	159	30%
Jarðgerð	15	3%
Brennsla með orkunýtingu	10	2%
Önnur endurvinnsla	340	65%
Samtals:	<b>526</b>	<b>100%</b>

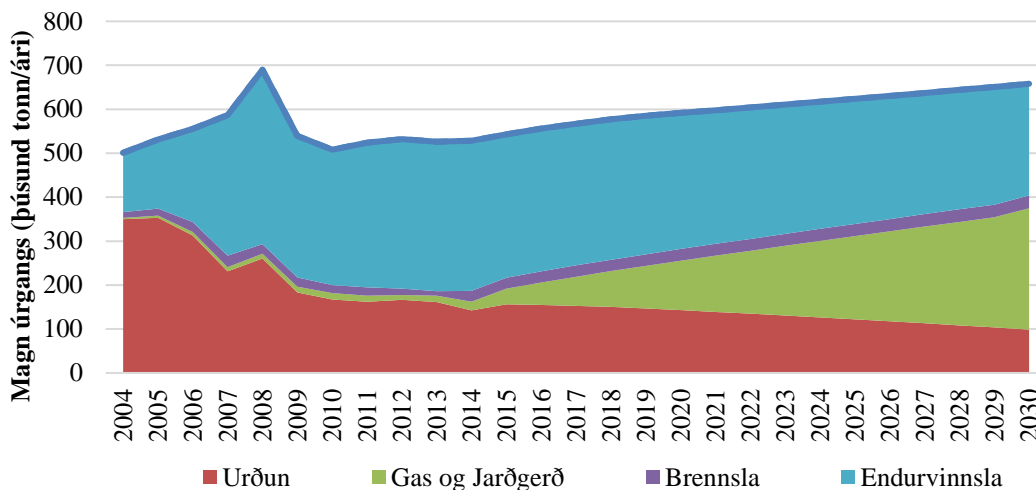
Mynd 9-5 sýnir þróun í hlutfalli úrgangs eftir afsetningarleið frá 1995 til 2013. Myndin sýnir að á tímabilinu hefur hlutfall endurvinnslu aukist til muna á kostnað urðunar. Aðkoma Úrvinnslusjóðs hefur ýtt undir endurvinnslu og starfa fjölmargir aðilar í þeim geira. Nýjar jarðgerðarstöðvar hafa verið teknar í notkun, t.d. á Sauðárkróki, Hafnarfirði og í Eyjafirði. Litlum brennslustöðvum víðsvegar um land hefur verið lokað á undanförunum árum vegna úrelts tækjabúnaðar, m.a. á Húsavík, Ísafirði, Kirkjubæjarklaustri og í Vestmannaeyjum. Er nú aðeins eins sorpbrennslustöð starfandi á landinu, í Reykjanesbæ. Fyrirhuguð er frekari uppbygging gas- og jarðgerðarstöðva víðsvegar um land á næstu árum.



Mynd 9-5. Hlutfall úrgangs eftir afsetningaraðferð á tímabilinu 1995-2013.

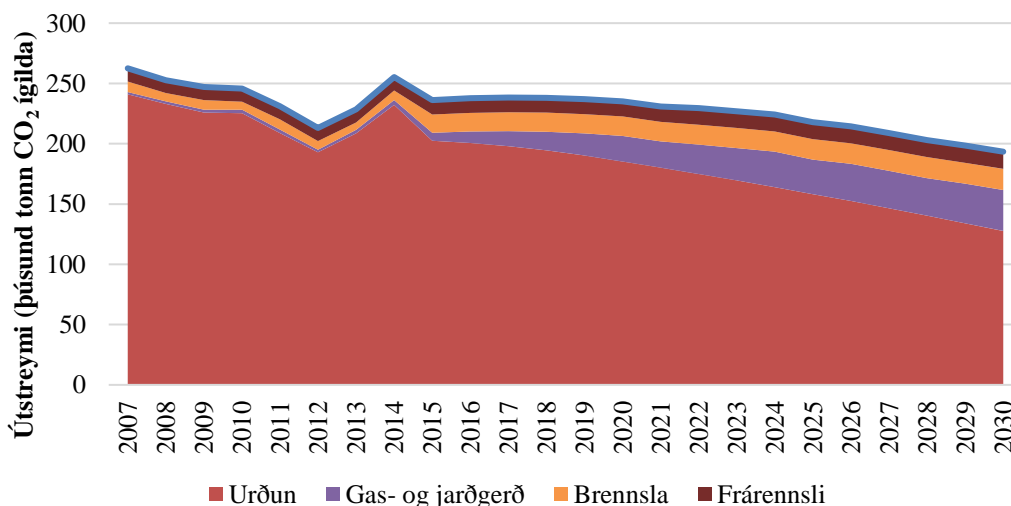
### 9.3 Útstreymisspá

Í útstreymisspá sem hér er stuðst við er gert ráð fyrir að staða úrgangsmála verði nokkuð breytt frá því sem var árið 2013. Gert er ráð fyrir að heildarmagn úrgangs stýrist af breytingum á þjóðarframleiðslu, en að magn úrgangs per þjóðarframleiðslu haldi áfram að minnka línulega á sama hraða og hefur verið raunin undanfarin ár. Gert er ráð fyrir því að heildarmagn úrgangs verði um 650 þúsund tonn árið 2030. Í grunntilviki er gert ráð fyrir að hlutfall urðaðs úrgangs minnki línulega til 15% af heildarmagni árið 2030 (sjá myndMynd 9-6). Einnig er gert ráð fyrir að lífbrjótanlegur úrgangur sem berist urðunarstöðum verði 35% af heildarmagni árið 2020 en haldist stöðugt eftir þann tíma.



Mynd 9-6. Magn úrgangs eftir meðhöndlunaraðferðum.

Heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda helgast af þeim hlutföllum meðhöndlunaraðgerða sem gert er ráð fyrir í útstreymisspá. Gert er ráð fyrir að heildarústreymi árið 2030 verði 192 þúsund tonn, eða 24% lægra en árið 2014 (myndMynd 9-7) en 15% hærra en útstreymi ársins 1990.



Mynd 9-7. Heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda eftir meðhöndlunaraðferðum.

#### 9.4 Tæknilegir möguleikar til samdráttar í útstreymi

Eins og áður segir eru þrjár meginleiðir færar til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi, þ.e. að draga úr myndun úrgangs, að fanga hauggas á urðunarstöðvum og draga úr urðun lífræns úrgangs með því að beina honum í endurvinnslu, jarðgerð, gasgerð eða í brennslu. Hér á eftir er fjallað um þær leiðir sem helst eru til skoðunar.

##### 9.4.1 Urðun og meðferð hauggass

Urðun hefur verið stunduð um allt land og lengi vel voru ekki gerðar miklar kröfur um frágang urðunarsvæðanna. Síðustu áratugi hafa kröfur um frágang svæðanna aukist til muna sem og kröfur um mengunarvarnir og vöktun á urðunarstöðum, jafnvel í áratugi eftir að þeim er lokað. Vegna strangari krafna hefur kostnaður við urðun aukist verulega og aðrar afsetningarleiðir, s.s. endurvinnsla hafa í

kjölfarið orðið samkeppnishæfari. Þá hafa stjórnvöld ákveðið að urðun skuli minnka í áföngum þar til allri urðun lífnidurbjótanlegs úrgangs verður hætt árið 2021.

Lífrænn úrgangur brotnar niður við loftfirrtar aðstæður á urðunarstöðum og myndast þá hauggas. Álfsnes í Reykjavík er eini urðunarstaðurinn á landinu þar sem hauggasi er safnað. Gasinu er safnað, það hreinsað og svo selt sem eldsneyti á metanbíla, einnig er til staðar búnaður til að vinna raforku úr gasinu með brennslu þess. Því hauggasi sem hvorki er safnað til eldsneytisnotkunar á bifreiðum né til raforkuframleiðslu er brennt til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Árið 2013 voru um 900 tonn metangass fönguð í Álfsnesi og var allt það magn selt sem eldsneyti á bifreiðar. Heildarútstreymi metans frá urðunarstöðum á landinu var þá um 8.200 tonn og hafði það þá aukist um 45% frá því 1990.

Árið 2011 gerði EFLA verkfræðistofa og umhverfis- og byggingarverkfræðideild HÍ fyrir hönd Sambands íslenskra sveitarfélaga úttekt á útstreymi frá 10 urðunarstöðum á Íslandi sem hafa fengið undanþágu frá gassöfnunarákvæði reglugerðar nr. 738/2003. Niðurstöður gáfu til kynna að tæknilega sé mögulegt að safna hauggasi frá 7 af 10 urðunarstöðum. Miðað við þýsk og finnsk söfnunarviðmið hinsvegar framleiðir einungis einn staður (Akureyri) nægilegt magn gass til að fýsilegt sé að safna því (Atli Geir Júlíusson, 2011).

#### **9.4.2 Brennsla**

Úrgangi er brennt við háan hita og við brennsluna losnar varmi. Þetta er mikilvæg uppspretta orku víða í Evrópu, t.d. framleiða Danir og Svíar raforku á þennan hátt og nota brennsluvarma til húshitunar. Hérlendis hefur brennsluvarmi verið nýttur m.a. til húshitunar á Ísafirði og til að hita sundlaug á Kirkjubæjarklaustri, en þessum brennslustöðvum hefur verið lokað. Í sorpbrennslustöð Kölkú á Suðurnesjum var nýverið undirritað samstarf við Hitaveitu Suðurnesja um að framleiða 440 kW af raforku úr brennsluvarma (Kalka, 2016).

#### **9.4.3 Jarðgerð**

Jarðgerð er náttúruleg aðferð til að umbreyta lífrænum úrgangi í mold með hjálp örvera. Raki og aðgengi að súrefni eru mikilvægir þættir í ferlinu sem og samsetning efnis og hlutföll næringarefna, s.s. kolefnis og köfnunarefnis. Við jarðgerð losnar varmi og CO<sub>2</sub>, auk þess sem raki hverfur úr efninu. Algengt er að úrgangsmagnið rýrni allt að 35% að þyngd og 50% að rúmmáli. Við jarðgerðina myndast molta sem nota má til uppgræðslu á landi sem og áburð, þó með vissum takmörkunum er lúta að smitvörnum. Samkeppni getur myndast við aðra endurvinnslu um hráefni, sérstaklega pappír, pappa og timbur sem nú þegar er endurunnið í pappírs- og járnblendiframleiðslu. Nokkur reynsla er komin á jarðgerð hérlendis og hefur jarðgerðarstöðvum fjölgað undanfarin ár.

#### **9.4.4 Metangasgerð**

Við loftfirrt niðurbrot á lífrænu efni myndast metangas sem nota má sem eldsneyti á bíla eða til framleiðslu á rafmagni og hita. Ásamt gasinu myndast næringarrík molta sem nota má sem áburð. Hugsanlega getur þessi aðferð nýst við sérstakar aðstæður eins og á þéttbýlum landbúnaðarsvæðum þar sem húsdýraúrgangi frá mörgum bæjum væri safnað saman og unnið úr honum metangas og áburðinum síðan dreift á tún. Eins gætu útfærslur á aðferðinni hentað á þéttbýlli svæðum landsins, en þá aðallega til framleiðslu á eldsneyti.

Ekki þarf mikinn leka metangass frá framleiðslunni til að tapa þeim árangri sem annars næst í minnkun útstreymis gróðurhúsalofttegunda. Eins losar framleiðsla metangass CO<sub>2</sub> en um 35% af gasframleiðslunni í stýrðu ferli myndar CO<sub>2</sub>. Kannaðir hafa verið margvíslegir möguleikar á að framleiða eldsneyti beint úr úrgangi hér á landi, m.a. á höfuðborgarsvæðinu og Norðurlandi. Nokkur fyrirtæki eru þegar starfandi sem vinna lífdísilólú úr úrgangsfitu, s.s. notaðri steikingarolíu og sláturúrgangi. Til eru fleiri tæknilausnir til framleiðslu eldsneytis úr úrgangi, s.s. framleiðsla etanóls úr

pappír og pappa sem og gösun kolefnisríks úrgangs til framleiðslu á efnavörum og eldsneyti, s.s. Fischer-Tropsch dísilolíu og metanóli.

#### **9.4.5 Endurvinnsla**

Endurvinnsla úrgangs dregur í mörgum tilvikum úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda, m.a. vegna minna útstreymis frá brennslu og urðun úrgangs. En það kemur fleira til. Ef borin eru saman heildarumhverfisáhrif endurunninnar vöru og nýrrar kemur sú endurunna gjarnan betur út. Mestu munar oftast um minna útstreymi gróðurhúsalofttegunda við endurvinnslu en frumvinnslu. Til framleiðslu á nýjum vörum getur t.d. þurft hráefni sem flutt er langar leiðir og framleiðslan er oft orkufrek. Hér á landi er nokkuð um endurvinnslu, t.d. á málmum, gleri, dekkjum, pappa, pappír, plasti, timbri, garðaúrgangi, slátur- og fiskiúrgangi og öðrum matvælaúrgangi. Til skoðunar eru fleiri leiðir, s.s. framleiðsla á föstu endurunnu eldsneyti (e. *solid recovered fuel*) úr brennanlegum úrgangi. Í því felst að framleitt er fast eldsneyti úr lífrænum úrgangi, hvort sem er í lausu kurlí eða kubbum. SRF er notað sem eldsneyti, t.d. í kolakynntum orkuverum og minnkar þannig notkun á kolum.

Úrvinnslusjóður hefur starfað frá árinu 2003 og undanfari hans, Spilliefnanefnd, frá árinu 1997. Undir úrvinnslusjóð falla spilliefni, hjólbarðar, bifreiðar, raftæki, veiðarfæri, pappa-, plast- og pappírsumbúðir og heyrúlluplast. Úrvinnslugjald og skilagjald byggja á því að gjald er lagt á innflutning og framleiðslu vörflokka sem lög um úrvinnslugjald nr 162/2002 ná yfir og eru fjármunir notaðir til að örva flokkun og endurvinnslu úrgangs. Hvatt hefur verið til nýsköpunar á þessu sviði með því að leggja áherslu á lokamarkmiðið, rétta förgun spilliefna og endurnýtingu annarra vara. Reynslan hefur sýnt að ýmsar nýjungar í söfnunaraðferðum hafa komið fram, s.s. endurvinnslutunnur fyrir heimili. Reynt er með hagrænum hvötum að stuðla að sem mestri endurnýtingu og endurvinnslu.

#### **9.4.6 Flokkun úrgangs**

Flokkun á úrgangi er alla jafna talin vera forsenda endurvinnslu. Flokkun á úrgangi hefur aukist hérlandis undanfarin ár. Löng hefð er fyrir flokkun og endurvinnslu í framleiðslufyrirtækjum þar sem einsleitur úrgangur fellur til í miklu magni. Fólk og lítil fyrirtæki hafa aðgang að flokkunarstöðvum um allt land og stendur til boða að koma til skila ýmsum flokkuðum úrgangi. Stutt er síðan farið var að bjóða íbúum sumra sveitarfélaga endurvinnslutunnur heim að húsi en slíkt er nú gert á höfuðborgarsvæðinu og í Eyjafirði. Reynslan af endurvinnslutunnum er góð, áhugi mikill og flokkun nokkuð góð.

Tiltölulega ódýrt er að ná úrgangi sem fellur til í miklu magni á fáum stöðum eins og sláturúrgangi, fiskiúrgangi og öðrum framleiðsluúrgangi, en hirða á flokkuðum úrgangi verður dýrari eftir því sem lengra er seilst og þarf að sækja úrgang á fleiri staði. Til að auka hagkvæmni í söfnun og endurvinnslu er mikilvægt að ná góðum árangri, bæði hvað varðar magn og gæði. Illa flokkaður úrgangur veldur miklum kostnaði í endurvinnsluferlum. Kostnaðarreikningar sýna að vélrænar flokkunarstöðvar eru dýrari í rekstri á Íslandi þar sem magnið er hlutfallslega lítið, miðað við það sem til fellur á þéttbýlisstöðum erlendis. Hinsvegar hefur tekist vel til með sambland af flokkun á úrgangi á heimilum í endurvinnslutunnum og endanlegri flokkun í einföldum flokkunarstöðvum.

#### **9.4.7 Dregið úr magni úrgangs**

Ef hægt verður að minnka magn þess úrgangs sem fellur til minnka í kjölfarið öll umhverfisáhrif af völdum úrgangs, þ.m.t. útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Í *Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2013-2024* eru lagðar fram hugmyndir um hvernig megi draga úr myndun úrgangs.

Í áætluninni er bent á það lykilhlutverk sem hið opinbera getur gegnt í viðleitninni til að draga úr myndun úrgangs. Með góðu fordæmi í vistvænni innkaupum, betri nýtingu hráefna o.s.frv. getur hið opinbera stuðlað að breyttri hegðun birgja. Það gæti líka haft áhrif á þjónustu þeirra við atvinnulíf og heimili.

Með aukinni fræðslu til íbúa og fyrirtækja er gert ráð fyrir að miklum árangri megi ná í að draga úr magni úrgangs.

#### 9.4.8 Fráveitur

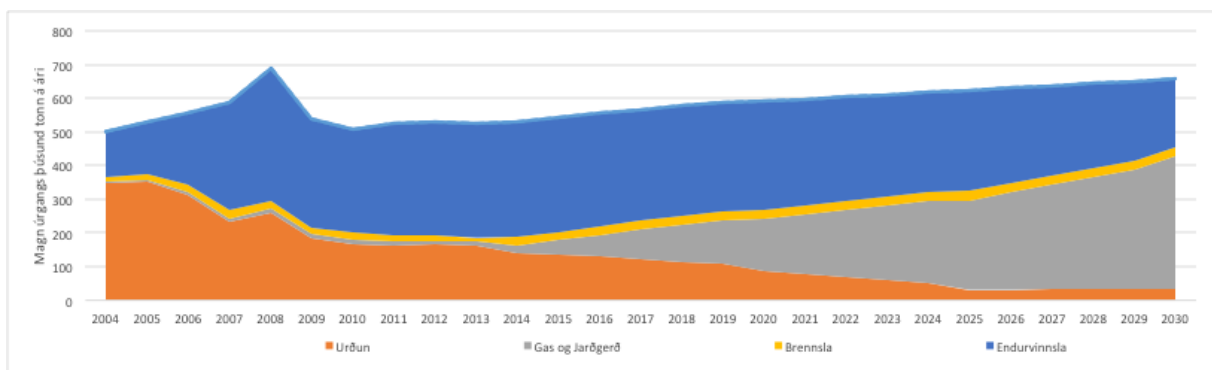
Þegar skólþ rennur í sjó, vötn eða rotþrær geta aðstæður verið þannig að niðurbrot lífrænna efnasambanda verði loftfirt. Þá losna gróðurhúsalofttegundirnar metan og hláturgas. Í skólphreinsistöðvum með stýrðu loftháðu niðurbroti er lofti blásið inn til að halda aðstæðu loftháðum og er þá að mestu komið í veg fyrir myndun metans og hláturgass. Í kjölfarið má fella út lífrænt efni og nýta til jarðgerðar eða metangasgerðar. Hérlandis eru fáar slíkar stöðvar enda má víðast uppfylla umhverfisstaðla með ódýrari lausnum. Hægt er að vinna metangas sem kemur frá skólphreinsistöðvum en vegna lítills magns fráveitu samanborið við annan lífrænan úrgang er talið að slík vinnsla sé ekki fýsileg og að metangasvinnsla hérlandis muni fyrst og fremst nýta lífrænan úrgang sem kemur frá heimilum og fyrirtækjum.

### 9.5 Umhverfisleg og fjárhagsleg skilvirkni

Árið 2014 var útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun úrgangs um 255 þúsund tonn CO<sub>2</sub> - ígilda eða um 6% af heildarútstreymi Íslands. Þar af voru 232 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda vegna urðunar (91%), 11 þúsund tonn vegna frárennslis (4,3%), 3,8 þúsund tonn vegna jarðgerðar (1,5%) og 8 þúsund tonn vegna brennslu (3,1%).

#### 9.5.1 Spá um þróun í magni úrgangs og útstreymis með aðgerðum

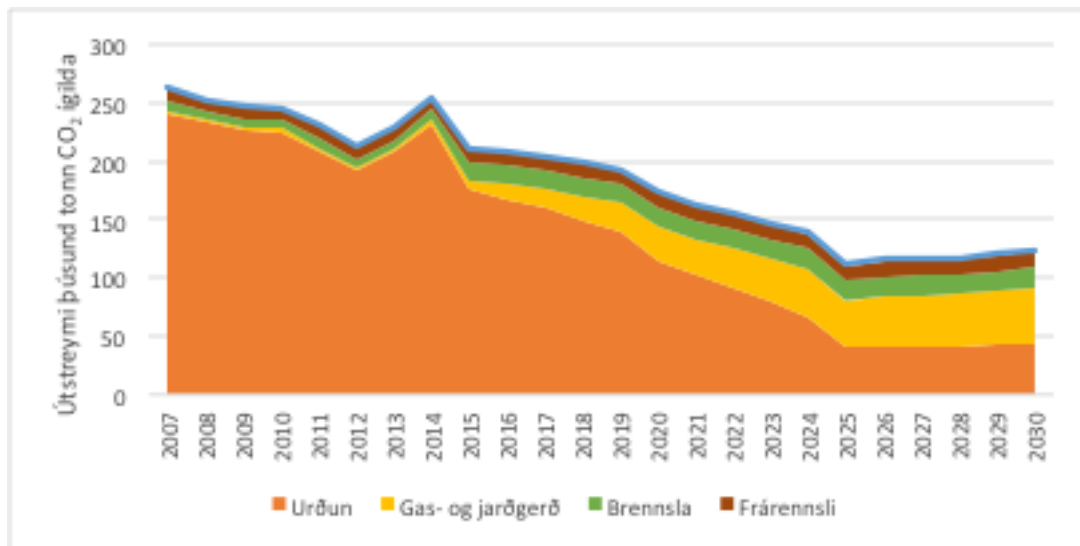
Árið 2013 var gefin út *Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2013-2024* samkvæmt 4 gr. laga nr. 55/2003 um meðhöndlun úrgangs og koma þar fram markmið stjórnvalda í úrgangsmálum. Stefna stjórnvalda felst m.a. í því að draga markvisst úr myndun úrgangs og auka endurvinnsluhlutfall. Samkvæmt stefnunni skal draga úr hlutfalli urðunar af heildarmagni úrgangs sem fellur til á hverju ári svo að árið 2015 sé það að hámarki 25%, að hámarki 15% árið 2020 og að hámarki 5% árið 2025 (myndMynd 9-8). Gert er ráð fyrir að þessum markmiðum verði náð. Hversu mikið útstreymi gróðurhúsalofttegunda minnkar í kjölfarið er háð þeim aðferðum sem notaðar verða til að ná markmiðinu.



Mynd 9-8. Spá um magn úrgangs á Íslandi frá 2004-2030 eftir afsetningaraðferðum.

Spáin um breytingu á útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun úrgangs fram til ársins 2030 byggir á stefnumörkun Umhverfis- og auðlindaráðuneytisins sem sýnd er hér að neðan á myndMynd 9-9. Gert er ráð fyrir að brennsla verði takmörkuð við tvær sorpbrennslur sem munu að mestu meðhöndla sóttmengaðan og hættulegan úrgang og því er gert ráð fyrir að lífniðurbrotanlegum hluta heimilis og

rekstrarúrgangs verði beint í jarð- og gasgerð. Ekki er gert ráð fyrir að söfnun metangass frá urðunarstöðum aukist umfram það sem nú er. Niðurstöður sem kynntar eru á mynd Mynd 9-9, sýna að útstreymi ársins 2030 gæti orðið 122 þúsund tonn CO<sub>2</sub> jafngildi, eða um 28% lægra en útstreymi ársins 1990 og 37% lægra en útstreymi ársins 2030 í grunntilviki.



Mynd 9-9. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi til ársins 2030.

### 9.5.2 Kostnaður, ávinningur og kostnaðarskilvirkni

Kostnaður við meðhöndlun úrgangs er nokkuð mismunandi eftir afsetningarleiðum, kröfum sem gerðar eru til mengunarvarna og stærð þjónustusvæðis. Við mat á kostnaði á mismunandi leiðum var stuðst við gögn úr skýrslu Mannvits verkfræðistofu frá 2009 um sameiginlega svæðisáætlun um meðhöndlun úrgangs, sem og reynslutölur sérfræðinga Mannvits sem notaðar voru í loftslagsskýrslunni frá 2009. Kostnaður við umfangsmikla gas- og jarðgerð er talinn verða um 4-6 kr./kg úrgangs, en hann yrði nokkru hærri ef umfangið er undir 10.000 tonnum á ári. Jarðgerð er almennt ódýrari en gasgerð, bæði hvað varðar fjárfestingar og rekstrarkostnað, en á móti kemur að gas er mun verðmætara en mold. Kostnaður við brennslu er áætlaður um 12-14 kr./kg og við urðun er hann um 10 kr./kg. Innifalinn í þessum kostnaðartölum er einnig stofnkostnaður, þ.e. tækjabúnaður, land, byggingar og fleira. Fyrir endurvinnslu er fundið meðalverð því að sumir efnisflokkar eru dýrari í endurvinnslu en aðrir. Haft var til hliðsjónar reynsla sérfræðinga og greiðslur Úrvinnslusjóðs til þjónustuaðila vegna úrgangsflokka sem bera úrvinnslugjald.

Miðað við núverandi tækni er kostnaður við brennslu mestur, þar á eftir urðun og endurvinnsla og loks gas- og jarðgerð. Í töflu Tafla 9-2 er ekki tekið tillit til kostnaðar vegna brennslu metangass frá urðun eða ábata vegna gasgerðar til varma- og/eða raforkuframleiðslu né vinnslu þess til eldsneytisnotkunar á bíla þar sem gera má ráð fyrir að tekjur komi á móti þeim kostnaði. Á sama hátt er ekki tekið tillit til kostnaðar við að nýta varma frá brennslu.

Tafla 9-2 Kostnaður afsetningarleiða úrgangs á núvirði. Kostnaðartölur innihalda stofnkostnað (Mannvit, 2009).

Afsetningaraðferð	Kostnaður (kr./kg)
Urðun	10
Jarðgerð/gasgerð	5
Brennsla	13
Endurvinnsla	10

Eins og sést í töfluTafla 9-3 draga mótvægisáðgerðir úr heildarústreymi GHG um 1.076 þúsund tonn, eða um 30% í heildina. Þetta þýðir að ústreymi frá meðhöndlun úrgangs er árið 2030 37% lægri þegar mótvægisáðgerðum er beitt, en 28% lægri en árið 1990. Kostnaður með áðgerðum er þó lægri en í grunntilviki og gefur það til kynna beinan fjárhagslegan ávinning af áðgerðunum upp á 4.432 kr á tonn CO<sub>2</sub> jafngildi. Hafa ber þó í huga að ekki er tekinn inn í reikningana kostnaður við söfnun og flokkun úrgangs.

Tafla 9-3 Samantekt á uppsöfnuðu ústreymi gróðurhúsalofttegunda á tímabilinu 2015-2030 og kostnaði fyrir mótvægisáðgerðir stjórnvalda. Neikvæður kostnaður þýðir að fjárhagslegur ávinningur er af áðgerðum.

	Grunntilvik	Með áðgerðum	Mismunur
Ústreymi 2015-2030 (1000 tonn)	3.562	2.486	-1.076 (-30%)
Uppsafnaður kostnaður 2015-2030 (Mkr)	86.128	81.357	-4.771 (-5,5%)
Kostnaður per mótvægisáðgerðir (kr./tonn CO <sub>2</sub> ígildi)			-4.432

## 9.6 Samantekt

Ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi á að mestu uppruna sinn að rekja til urðunarstaða víðsvegar um landið. Þar losnar hauggas frá loftfirrtu niðurbroti lífræns úrgangs, s.s. matarleifa, pappa, pappírs og gróðurleifa o.fl. út í andrúmsloftið. Til þessa kafla heyrir einnig skólp frá heimilum og iðnaði, en aðstæður í sjó, vötnum og rótþróum geta valdið því að niðurbrot lífrænna efnasambanda verði loftfirt og losnar þá metan, CO<sub>2</sub> og N<sub>2</sub>O. Helstu leiðir til meðhöndlunar á úrgangi eru urðun, jarðgerð, metangasvinnsla, brennsla og endurvinnsla.

Árið 2014 var ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun úrgangs um 255 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda eða um 6% af heildarústreymi Íslands. Heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda helgast af þeim hlutföllum meðhöndlunaraðgerða sem gert er ráð fyrir í ústreymisspá. Gert er ráð fyrir að heildarústreymi árið 2030 verði 192 þúsund tonn, eða 24% lægri en árið 2014

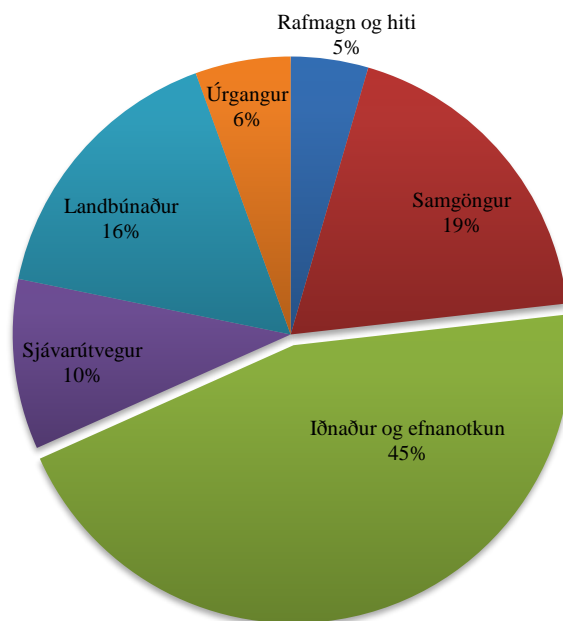
Niðurstöður sýna að ústreymi ársins 2030 með mótvægisáðgerðum gæti orðið 122 þúsund tonn CO<sub>2</sub> jafngildi, eða um 28% lægra en ústreymi ársins 1990 og 37% lægra en ústreymi ársins 2030 í grunntilviki. Kostnaður áðgerðanna gefur til kynna beinan fjárhagslegan ávinning af áðgerðunum uppá 4.432 kr á tonn CO<sub>2</sub> ígildi.

## 10 Iðnaðarferlar og efnanotkun

### 10.1 Yfirlit

Í þessum kafla er gerður greinarmunur á útstreymi vegna iðnaðar annars vegar og efnanotkunar hins vegar. Til útstreymis frá iðnaði telst útstreymi vegna framleiðslu á áli og járnblendi sem og frá kísilverksmiðjum og vegna byggingar mannvirkja. Efnanotkun felur að mestu í sér útstreymi vegna HFC efna sem eru notuð í kælimiðlum og brennisteinshexaflúríðs (SF6) sem notað er sem neistavari í rafbúnaði

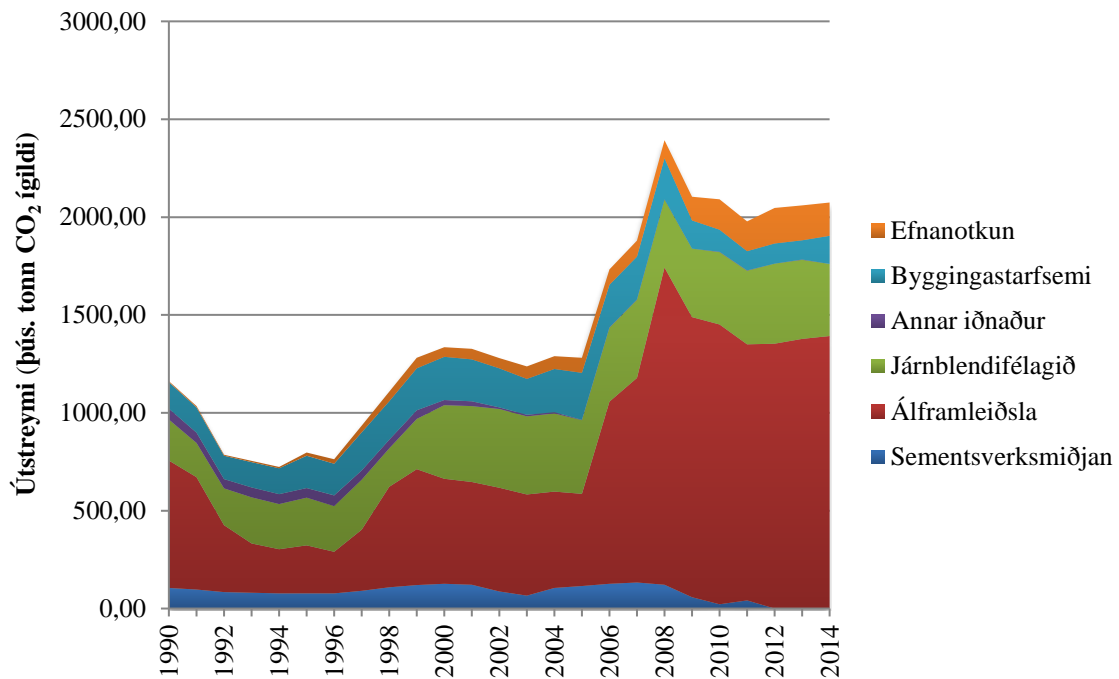
Iðnaður og efnanotkun er stærsti einstaki þáttur útstreymis á Íslandi sem samtals nam um 45% af heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2014 eða 2.074 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda eins og sést á myndMynd 10-1.



**Mynd 10-1 Hlutfall iðnaðar og efnanotkunar í heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2014**

Útstreymi frá áliðnaði nam um 30% af heildarútstreymi Íslands árið 2014 og var 67% af öllu útstreymi frá iðnaðargeiranum. Útstreymi frá járnblendi var árið 2014 um 18% af útstreymi iðnaðargeirans meðan efnanotkun var um 8% og mannvirkjagerð og annar iðnaður um 7%.

Mynd 10-2 sýnir þróun í heildarútstreymi frá iðnaði á Íslandi frá árinu 1990 til ársins 2014. Eins og sést á myndinni eiga sér stað tvö stór stökk í heildarútstreymi á tímabilinu, annars vegar rétt fyrir aldamótin vegna álvers Norðuráls á Grundartanga sem gangsett var 1998 og hinsvegar vegna gangsetningar álvers Alcoa Fjarðaáls á Reyðarfirði sem hóf framleiðslu árið 2007. Heildaraukning í útstreymi iðnaðar og efnanotkunar frá 1990 – 2014 var 78,5%.



Mynd 10-2 Heildarútsreymi gróðurhúsalofttegunda frá iðnaði á tímabilinu 1990-2013

Nokkrar breytingar hafa orðið á rekstri orkufreks iðnaðar á Íslandi undanfarnin ár. Helst ber að nefna að Sementsverksmiðjan hætti rekstri árið 2011 eftir töluverðan samdrátt í framleiðslu frá 2007. Útsreymi koldíoxíðs vegna sementsframleiðslu nam 128.000 tonnum árið 2007 en hafði dregist saman í 40.000 tonn árið 2011. Sement er nú innflutt og telst því það útsreymi sem verður til við framleiðslu þess til bókhalds framleiðslulandsins. Þá hafa álframleiðslufyrirtæki aukið við framleiðslu sína á tímabilinu eins og áður sagði, og fyrirætlanir eru uppi um að auka á næstu árum framleiðslu þeirra iðjuvera sem þegar starfa hér á landi.

## 10.2 Álframleiðsla

### 10.2.1 Yfirlit

Ál er framleitt með rafgreiningu í kerum. Súráli er dælt inn á kerin sem leysist þar upp í sérstakri flúorríkri efnabráð (raflausn) við 960°C. Þegar rafstraumur fer um bráðina klofnar súrálið í ál og súrefni, kallast það ferli rafgreining. Forskautin sem eru úr kolefni hafa það hlutverk að koma rafstraumi í gegnum kerin. Straumurinn fer gegnum raflausnina og út úr kerinu um bakskautin, sem eru á botni kersins. Álið fellur til botns en súrefnið leitar uppávið, brennur þar með kolefni forskautana og myndar koldíoxíð CO<sub>2</sub>. Þannig brenna forskautin upp á u.þ.b. 28 dögum og þarf þá að setja ný skaut í kerid. Leifar af notuðum skautum eru send utan til endurvinnslu þar sem þær eru notaðar í framleiðslu á nýjum skautum. Myndun CO<sub>2</sub> á hvert framleitt tonn af áli er nokkuð stöðug og erfitt er að minnka það útsreymi nema með nýrri framleiðslutækni, sem kann að kalla á mikla endurnýjun framleiðslubúnaðar.

Ef súralsinnihald raflausnarinnar í kerinu fer undir 1% forðast raflausnin forskautin. Þunnt lag af gasi myndast þá undir forskautunum, eftir að hafa klofnað úr raflausninni, og straumrásin frá forskauti til bakskauts verður ekki jafn greið og áður. Í stað raflausnar undir forskautum hafa myndast gaspúðar og þar sem lofttegundir leiða mjög illa straum eykst viðnámið í kerinu. Þarf þá meiri kraft til að knýja strauminn í gegnum kerid sem orsakar spennuris. Við spennuris hvarfast flúor í raflausninni við kolefni forskautanna og við það myndast flúorkolefni. Undanfarnin ár hafa framleiðendur náð betri tókum á að takmarka tíðni spennurisa í kerum (RioTintoAlcan, 2016).

Frumframleiðsla á áli fer fram víða um heim. Árið 2015 voru framleidd 57,8 milljónir tonna af áli í heiminum en framleiðslan var 31,9 milljónir tonna árið 2005. Heimsframleiðsla áls hefur þannig næstum því tvöfaldast á tíu ára tímabili (International Aluminium Institute, 2016). Endurvinnsla áls krefst einungis um 5% af þeirri orku sem þarf til að búa til ál. Endurvinnslan losar aðeins um 5% af gróðurhúsalofttegundum sem verða til við frumframleiðslu. Endurrunnið ál annar um 30% af álmarkaði heims og hefur það hlutfall haldist nokkuð stöðugt undanfarin ár þó að heildarframleiðsla hafi aukist til muna. Endurvinnsluhlutfall í Evrópu er nokkuð hátt og er um 60% fyrir drykkjarumbúðir, 95% fyrir samgöngutæki og um 85% fyrir byggingarefni (EAA, 2009).

Árið 2009 var heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna álframleiðslu á heimsvísu talið vera um 547 Mt CO<sub>2</sub>-ígilda á ári, þar af stafar 55% útstreymi af raforkuframleiðslu. Útstreymi samsvarar því um 14,7 tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á hvert framleitt tonn af áli. Undanfarin ár hafa álframleiðendur í heiminum náð verulegrum árangri í því að takmarka útstreymi flúorkolefna (PFC) sem myndast við spennuris í álkerum. Á tímabilinu 1990-2009 dróst heildar PFC útstreymi í heiminum saman um 75% (úr 96 í 22 Mt CO<sub>2</sub> ígilda) á sama tíma og heildarframleiðsla jókst um 90% (úr 19,5 í 37 Mt) (Tyabji and Nelson, 2010).

### 10.2.2 Álframleiðsla á Íslandi

Álframleiðsla hefur aukist í stórum skrefum á Íslandi undanfarin ár. Árið 2015 voru þrjú álver starfandi hérlendis, Rio Tinto Alcan í Straumsvík, Norðurál á Grundartanga og Alcoa Fjarðaál á Reyðarfirði. Yfirlit yfir álverin má sjá í töfluTafla 10-1. Alcoa Fjarðaál hóf framleiðslu árið 2007 og er þeirra stærst, með framleiðslugetu upp á 350.000 tonn. Árið 2014 var álframleiðsla Alcoa Fjarðaáls 335 þús. tonn og útstreymi nam um 593 þús. tonnum CO<sub>2</sub> ígilda (Umhverfisstofnun 2016).

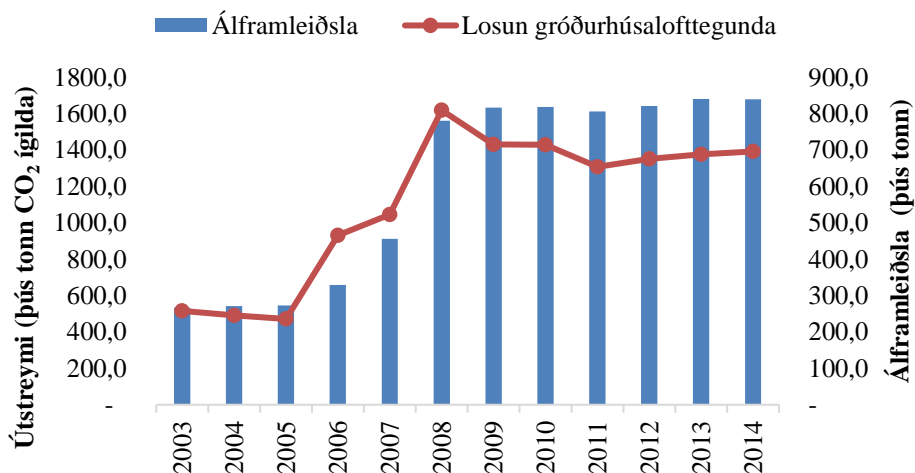
Rio Tinto Alcan hefur nú framleiðslugetu upp á 206.000 tonn og stefnir á aukningu upp í 230.000 tonn. Árið 2014 nam útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá RioTintoAlcan 317 þús. tonnum CO<sub>2</sub> ígilda (Umhverfisstofnun 2016). Norðurál á Grundartanga framleiddi rétt tæp 300 þúsund tonn áls árið 2014 og nam útblástur það ár um 482 þúsund tonnum CO<sub>2</sub> ígilda (Umhverfisstofnun 2016).

Samtals nam útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá álframleiðslu árið 2014 1.392 þúsund tonnum CO<sub>2</sub> ígilda, og er þar innfalið útstreymi frá PFC efnun vegna spennurisa í kerskálum. Áætla má að heildarútstreymi þessara þriggja álframleiðenda vegna framleiðsluferla nemi um 1,6 tonnum CO<sub>2</sub> ígilda á hvert framleitt tonn. Þannig er meðalútstreymi á heimsvísu af hverju framleiddu tonni af áli nánast tífalt hærri en á Íslandi, sem stafar að mestu af því að jarðefnaeldsneyti er notað til raforkuframleiðslunnar.

Tafla 10-1. Framleiðslugeta starfandi fyrirtækja í álframleiðslu og áætlað útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

	Framleiðslugeta (tonn/ári)	Áætlað útstreymi (tonn CO <sub>2</sub> ígildi/ári)
<b>RioTintoAlcan</b>	206.000	317
<b>Norðurál</b>	300.000	482
<b>Alcoa Fjarðaál</b>	350.000	593
<b>Samtals:</b>	856.000	1392

Á myndMynd 10-3 má sjá útstreymi og framleiðslu í áliðnaði Íslandi frá 2003 til 2014. Myndin sýnir að á tímabilinu hefur álframleiðsla aukist til muna hérlendis og að beint sambengi er á milli framleiðsluaukningar og aukningar á útstreymi gróðurhúsalofttegunda.



Mynd 10-3. Útstreymi og magnframleiðslutölur í áliðnaði frá 2003-2014.

Góður árangur hefur náðst hérlandis við framleiðslustýringu sem takmarkar tíðni spennurisa sem valda auknum útblæstri PFC efna. Eins og sést í töflu Tafla 10-2 er útblástur íslenskra álvera á PFC efnunum á hvert tonn af framleiddu áli vel undir heimsmeðaltali.

Tafla 10-2. Útblástur vegna PFC-efna í þúsundum tonna CO<sub>2</sub> ígilda (International Aluminium Institute).

PFC útblástur 2014 (tonn CO <sub>2</sub> -ígilda /tonn ál)	
<b>Rio Tinto Alcan</b>	0.04
<b>Norðurál</b>	0.06
<b>Alcoa Fjarðaál</b>	0.13
<b>Heimsmeðaltal (öll tækni)</b>	0.63
<b>Heimsmeðaltal (forbökun skaut)</b>	0.24

Algennt er að við gangsetningu nýrra framleiðslueininga aukist tíðni spennurisa og myndun PFC efna í kjölfarið. Aukin tíðni og lengd spennurisa var greinileg hjá Norðuráli þegar ný kerlína var sett í gang árið 2006. Þessi aukning var einnig sjáanleg við gangsetningu álvers Alcoa þar sem fyrsta árið eftir gangsetningu var losun PFC efna um 0,5 tonn CO<sub>2</sub> ígilda/tonn Al sem er tvöfalt heimsmeðaltal þeirrar tækni sem Alcoa notar.

Við mat á breytingum í útstreymi gróðurhúsalofttegunda var lagt mat á mögulegar breytingar í áliðnaði. Í grunnsviðsmynd er gert ráð fyrir að álframleiðsla breytist ekki frá 2014 sem og útstreymi til 2030. Sömu forsendur eiga við í miðsviðsmynd, en í hásviðsmynd er gert ráð fyrir mikilli aukningu í framleiðslu áls og útstreymi verður að sama skapi hærra, eða 2.559 þúsund tonn árið 2030. Nánari umfjöllun má sjá í kafla 3.

### 10.2.3 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Útstreymi frá álframleiðslu með þeirri tækni sem beitt er á Íslandi er tvíþætt. Annars vegar losnar CO<sub>2</sub> frá rafskautum sem gerð eru úr kolum og eyðast í framleiðsluferlinu í bættri framleiðslustýringu. Það

útreymi er um 1,5 tonn CO<sub>2</sub>/tonn ál og er alltaf svipað enda háð því efnaferli sem á sér stað í kerinu. Hins vegar myndast PFC efni við spennuris í kerunum. Helstu möguleikar til minnkunar á útreymi eru í bættri framleiðslustýringu og þá fækkun tilvika spennurisa. Fjöldi spennurisa í íslenskum álverum er almennt lágur og undir alþjóðlegum meðaltölum og er tengt útreymi nálægt tæknilegum lágmarkum.

Rio Tinto Alcan hefur tekist að halda spennurisi í lágmarki og losuðu þeir 0,04 tonn CO<sub>2</sub> ígilda/tonn ál árið 2014 vegna PFC efna. Árið 2014 losaði Alcoa mest íslenskra álvera af PFC efnunum og er unnið að því að ná því útreymi niður. Áður en framleiðsla hófst í nýrri kerlínu Norðuráls árið 2006 var hlutfall PFC efna með því lægsta sem þekktist eða 0.01 t CO<sub>2</sub>e/t ál (Norðurál, 2010). Árið 2014 var útreymi vegna PFC efna frá álverum rúmlega tuttugu sinnum minna að meðaltali en vegna kolarafskauta.

#### 10.2.4 Tæknilegir möguleikar

Eins og fram hefur komið hafa framleiðslufyrirtæki á Íslandi þegar náð góðum árangri í minnkun útreymis flúorkolefna með bættri framleiðslustýringu. Þar sem slíkt útreymi er nálægt tæknilegu lágmarki er ekki búist við því að unnt verði að draga úr útreymi miðað við þá tækni sem notuð er. Tafla 10-3 sýnir útreymi á hvert tonn af áli.

Tafla 10-3. Meðallosun koldíoxíðs frá álframleiðslu á árunum 2008-2012.

Útreymi (tonn CO <sub>2</sub> -ígilda á ári /tonn ál)	
<b>Rio Tinto Alcan</b>	1.59
<b>Norðurál</b>	1.52
<b>Alcoa Fjarðarál</b>	1.52

Á heimsvísu er talið að helstu möguleikar til samdráttar útreymis frá áliðnaði í heild séu bæt ferilstýring, aukin enduvinnsla á áli og að fleiri framleiðendur taki upp bestu fánlegu tækni. Eru aðstæður á Íslandi á þessum sviðum hagstæðar í alþjóðlegum samanburði. Hér eru taldar upp þær tæknilegu lausnir til að draga úr útblæstri íslenskra álvera sem eru til skoðunar í dag.

##### 10.2.4.1 Útreymi frá jarðefnaeldsneyti

Notast hefur verið við olúkyndingu og gashitun til að hita biðofna. Markvisst hefur verið dregið úr kyndingu með jarðefnaeldsneyti hjá Rio Tinto Alcan undanfarin ár með aukinni rafvæðingu ofna. Hjá Norðuráli og Fjarðaáli eru biðofnar þegar kyntir með raforku og eru ekki mikil tækifæri til frekari minnkunar á útreymi möguleg.

##### 10.2.4.2 Niðurdæling kolefnis eða nýting í aðra framleiðslu

Leitað hefur verið leiða til að hefta útreymi gróðurhúsalofttegunda sem verða til við framleiðslu í iðnaði eða orkuvinnslu. Rannsakadur hafa verið margar tæknilausnir til þess að fanga koltvísýring í útblæstri orku- og iðjuvera sem má svo annað hvort nýta sem hráefni í efnaframleiðslu eða farga með niðurdælingu og bindingu í jarðlög (t.d. Leung et al., 2014). Nánar er fjallað um þessa möguleika í kaflanum um orkuframleiðslu.

##### 10.2.4.3 Eðalrafskaut

Við bruna kolarafskauta losnar um 1,5 tonn CO<sub>2</sub> á hvert tonn af framleiddu áli. Talsverðar rannsóknir hafa farið fram á kolefnislausum rafskautum, svokölluðum eðalrafskautum. Eðalrafskaut eru skaut sem leggja ekki til kolefni til sundrunar áloxíðs en losa fyrst og fremst um súrefni. Rafefnafræðileg spenna

eykst en vegna minni skautunar við forskaut er búist við lægri spennuþörf. Enn hefur ekki verið þróuð lausn sem notuð hefur verið í fullri framleiðslu.

Ekki hefur verið sýnt fram á efnahagslegan fýsileika eðalrafskauta en hann fer að mestu eftir líftíma skautanna og verði á málmum sem notaðir eru við framleiðslu þeirra. Talsverðrar þróunar er enn þörf til að geta nýtt eðalrafskaut í álframleiðslu á samkeppnishæfum skala. Búast má við að ný tækni verði sett upp í nýjum framleiðslueiningum. Síðar mætti hugsanlega uppfæra eldri álver en kostnaður við það er alveg óviss þar sem vera má að endurskoða þurfi kerhönnun frá grunni (Kvande and Droblos, 2014). Hér er gert ráð fyrir að tilraunir með uppfærslur á eldri álverum geti hafist í fyrsta lagi árið 2025.

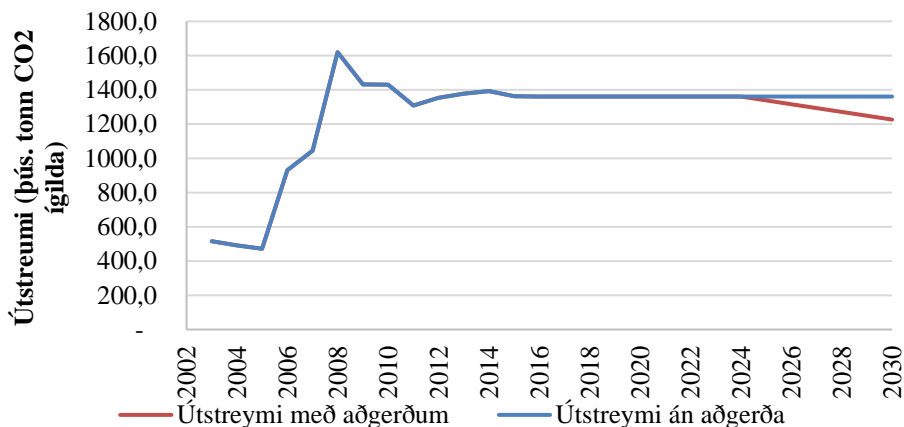
#### 10.2.4.4 Kolavarmaferli

Eitt þeirra ferla sem vonir eru bundnar við á sviði álvinnslu er hið svokallaða kolavarmaferli (e. carbothermic process). Tilraunir hafa sýnt að kolavarmaferlið getur framleitt ál með notkun um 8,5-10 kWh/kg og leiðir það til um 25% sparnaðar í framleiðslukostnaði. Orkuþörfin minnkar um allt að þriðjung og svipuðu máli gegnir um CO<sub>2</sub> útstreymi þegar jarðefnaeldsneyti er notað við framleiðsluna (Balomenos et al, 2011). Útstreymi frá sjálfu framleiðsluferlinu eykst þó til muna, úr 1,5 í 2,44 kg CO<sub>2</sub>/kg ál. Þessi aðferð myndi litlu skila hérlandis þar sem CO<sub>2</sub> útstreymi frá raforkuvinnslunni er lítið.

### 10.2.5 Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati

Á undanförunum árum hefur dregið umtalsvert úr útstreymi frá álframleiðslu á hverja framleidda einingu. Segja má að tæknilegu lágmarki miðað við núverandi framleiðslutækni sé nánast náð. Við spá um mögulegan samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda er gert ráð fyrir því að byrjað verði að taka eðalrafskaut í notkun frá árinu 2025 í áföngum og gæti það leitt til 66% samdráttar útstreymis árið 2050. Ef eðalrafskaut verða ekki að tæknilegum möguleika fyrir íslensk álver á spátímanum er gert ráð fyrir að ná megi sambærilegum árangri með föngun kolefnis með svipuðum aðferðum og beitt er við föngun kolefnis hjá jarðvarmaverum.

Mynd 10-4 sýnir dæmi um hugsanlega þróun á útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá þeim álverum sem nú eru á Íslandi með öllum þeim fyrirvörum sem unnt er að hafa í grunnsviðsmynd þar sem gert er ráð fyrir að framleiðslugeta standi í stað. Erfitt er að spá fyrir um tækniþróun en hér er því spáð að tilkoma eðalrafskauta og/eða endurheimt kolefnis muni draga úr útstreymi á næstu áratugum. Gert er ráð fyrir að tæknilausnir geti byrjað að koma til uppúr árinu 2025 þar sem eðalrafskaut eru ekki fullþróuð og aðrir fýsilegri straumar til föngunar kolefnis eru til staðar hérlandis, t.d. eins og gert hefur verið vegna útstreymis jarðvarmavirkjana. Gert er ráð fyrir að árið 2030 hafi 10% af útstreymi frá álverum verið fangað og á það jafnt við um grunn-, mið- og hásviðsmyndir.



Mynd 10-4. Spá um heildarútstreymi álframleiðslu á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildum til 2030 (grunnsviðsmynd).

Þó hér séu eðalrafskaut og endurheimt kolefnis nefnd sem dæmi um tækniþróun þá getur tæknin að sjálfsögðu þróast á annan og ófyrirsjáanlegan veg. Víst er að það er verulegur þrýstingur á fyrirtækin að ná árangri á þessu sviði. Þar sem möguleikar til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda byggjast á tæknilausnum sem enn eru í þróun og sem búast má við um og eftir árið 2025 eru ekki forsendur að sinni til að meta kostnað við þær lausnir.

### 10.2.6 Heildarkostnaður og –ávinningur

Búast má við því að framleiðslufyrirtæki sjái hag sinn í því að auka enn árangur bættrar ferilstýringar og takmörkun þeirra truflana sem spennuris valda í rekstri fyrirtækjanna. Frá árinu 2013 hefur áliðnaður fallið undir viðskiptakerfi Evrópusambandsins með útstreymisheimildir og þurfa nú fyrirtækin að kaupa hluta af sínum útstreymisheimildum á markaði ef útstreymi þeirra er meira en sem nemur úthlutuðum losunarheimildum.

Útilokað er á þessu stigi að segja nokkuð til um þann kostnað sem fylgir eðalrafskautum eða notkun annarrar framleiðslutækni. Þessar aðferðir eru hvergi í notkun á iðnaðarskala og nokkuð í að svo verði. Kostnaður við föngun og förgun kolefnis er áætlaður sá sami og við föngun frá útblæstri jarðvarmaorkuvera, (sjá kafla um orkuvinnslu).

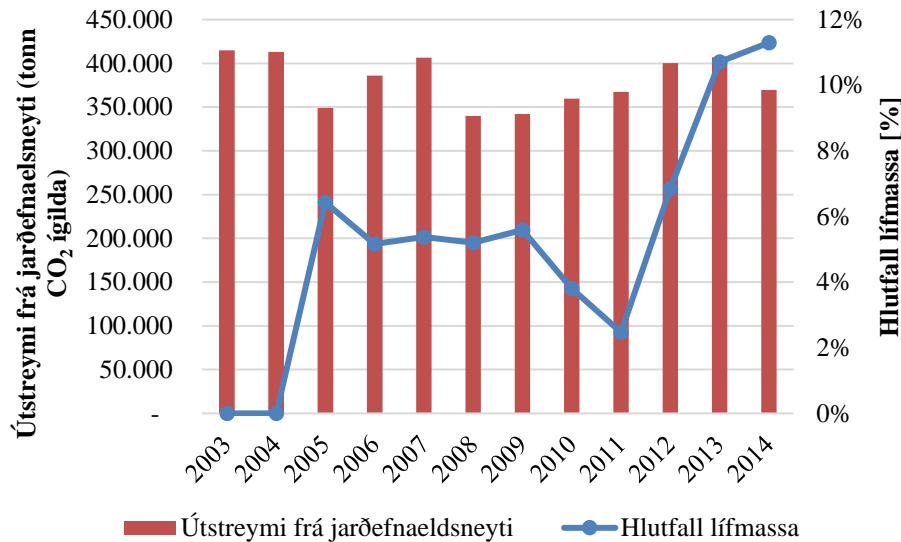
### 10.3 Járnbendi

Elkem rekur járnblendiverksmiðju á Grundartanga. Verksmiðjan hefur framleiðslugetu upp á 120.000 tonn á ári og framleiðir kísilmálm. Við framleiðsluferlið er kolefni notað og við það losnar koldíoxíð. Magn kolefnisins sem notað er við framleiðsluna er beintengt afköstum verksmiðjunnar og er því ekki hægt að minnka heildarmagn þess koldíoxíðs sem losnar. Hins vegar er hægt að nota timburkurl og viðarkol í stað kola og koks. Timburkurl og viðarkol eru talin til lífmassa og teljast kolefnishlutlaus. Einn möguleiki til minnkunar útstreymis væri því að auka hlut lífmassa í framleiðsluferlinu.

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá jarðefnaeldsneyti í framleiðslunni árið 2014 var 367.000 tonn og hefur útstreymi því aukist um 76% síðan 1990 (Elkem, 2015). Útstreymi vegna framleiðsluferla er 99.5% af heildinni og 0.5% vegna eldsneytisnotkunar og var útstreymi frá járnblendiverksmiðjunni um 8% af heildarútstreymi Íslands árið 2014.

Mynd 10-5 sýnir útstreymi frá járnblendiverksmiðju Elkem á Grundartanga frá 2003-2014 og hlutfall lífmassa sem hefur verið notaður í verksmiðjunni á þeim tíma. Elkem hefur gert samning við Sorpu og

fær nú allt sitt viðarkurl þaðan. Hlutur lífmassa í framleiðslu Elkem hefur aukist undanfarin ár. Hlutfall lífmassa var 13% árið 2014 og hafði aukist úr 12% árið áður. Notkun lífmassa hófst á Grundartanga árið 2005.



Mynd 10-5. Útstreymi frá járnblendiverksmiðju Elkem á Grundartanga og hlutfall lífmassa eldsneytis.

### 10.3.1 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Meðalútstreymi við framleiðslu járnblendis er um 4,0 tonn CO<sub>2</sub> á hvert framleitt tonn miðað við 75% kísilinnihald og liggur útstreymi hérlandis neðan við það gildi. Útstreymi á tímabilinu 2003-2014 hefur verið hjá fyrirtækinu að meðaltali 3,2 tonn CO<sub>2</sub> á hvert tonn af kísiljárn. Útstreymi er þó mjög háð kísilinnihaldi og er frá 2,5 tonn CO<sub>2</sub> / tonn kísiljárn miðað við 45% kísilinnihald upp í 5,0 tonn CO<sub>2</sub> / tonn fyrir hreinan kísilmálm (IPCC, 2006).

### 10.3.2 Tæknilegir möguleikar

Helstu möguleikar til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá járnblendi eru aukin notkun á lífmassa og/eða endurheimt kolefnis úr útstreymi verksmiðjunnar til bindingar í jarðlög eða efnaframleiðslu.

#### 10.3.2.1 Aukin notkun á timburkurli

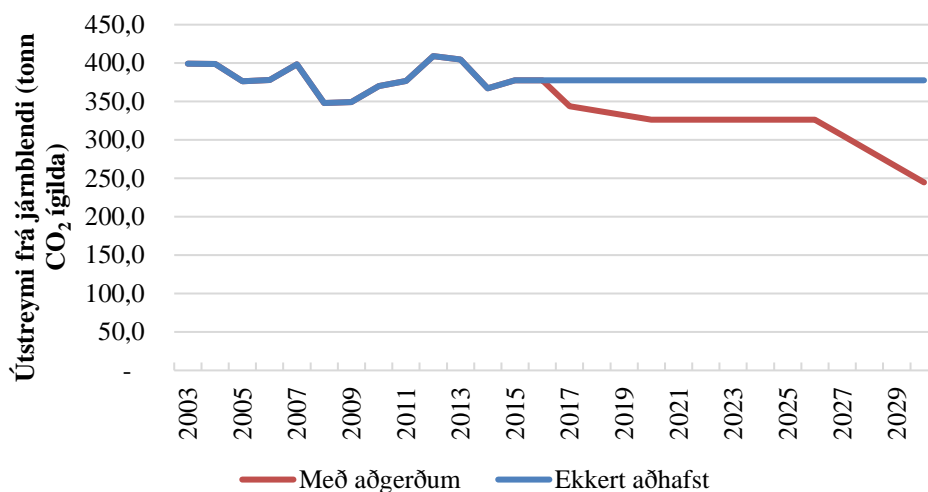
Auka má hlutfall lífræns massa, viðarkurls, sem kemur í stað koks og kola í framleiðslunni. Árið 2014 voru notuð um 40.000 tonn af lífmassa í framleiðsluna sem er ígildi 47.000 tonna af CO<sub>2</sub> sem er um 13% af heildarlosun fyrirtækisins. Hér er gert ráð fyrir að hægt sé að auka hlutfall lífmassa á spátímabilinu upp í 20% árið 2020 og muni notkun haldast í því hlutfalli út spátímabilið með samsvarandi minnkun á útstreymi vegna minni notkunar kola eða koks. Þar sem aðgengi að lífmassa sem hægt er að nota er takmarkað og innflutningur ólíklegur er einungis gert ráð fyrir að hlutfall lífmassa verði 20%.

### 10.3.2.2 Endurheimt kolefnis

Hægt er að fanga kolefni úr útstreymi og útblæstri frá ofnum. Frá ofnum kemur kolmónoxíð sem brennur við ofnfylluna og myndar koldíoxíð. Nýta má kolmónoxíðið til framleiðslu á efnavörum og tilbúnu eldsneyti með því að hvarfa það við vetni. Ellegar mætti fanga koldíoxíðið og binda það í jarðlögum. Fræðilega væri unnt að fanga allt að 90% af útblæstri verksmiðjunnar með þessum hætti líkt og útblástur jarðvarmaorkuvera, en nánar er fjallað um það í kafla um orkuframleiðslu.

### 10.3.3 Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati

Með aukinni nýtingu lífmassa í framleiðsluferlinu má áætla að unnt sé að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda um 12% árið 2020 miðað við útblástur ársins 2014. Hér er gert ráð fyrir að á árunum 2025 – 2050 verði unnt að endurheimta kolefni frá þremur bræðsluofnum í verksmiðjunni. Gert er ráð fyrir að ofnar séu uppfærðir einn af öðrum á tíu ára fresti. Mynd 10-6 sýnir áhrif þessara mótvægisáðgerða á útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna járnblandiframleiðslu til ársins 2030.



Mynd 10-6. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna járnblandiframleiðslu til ársins 2030.

Eins og myndMynd 10-6 sýnir má búast við því að útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna járnbendis verði nokkuð sambærilegt því sem nú á sér stað verði ekkert aðhafst þar sem ekki er búist við aukningu í framleiðslu á spátímabilinu. Með mótvægisáðgerðum er áætlað að þó nokkrum árangri megi ná á spátímabilinu. Til skamms tíma litið má auka nýtingu lífmassa í verksmiðjunni. Til lengri tíma þarf að kanna dýrari tæknilausnir á borð við füngun kolefnis. Með þeim áðgerðum sem kynntar hafa verið í þessum kafla er gert ráð fyrir að draga megi úr útstreymi um allt að 34% fyrir árið 2030 miðað við óbreytta þróun.

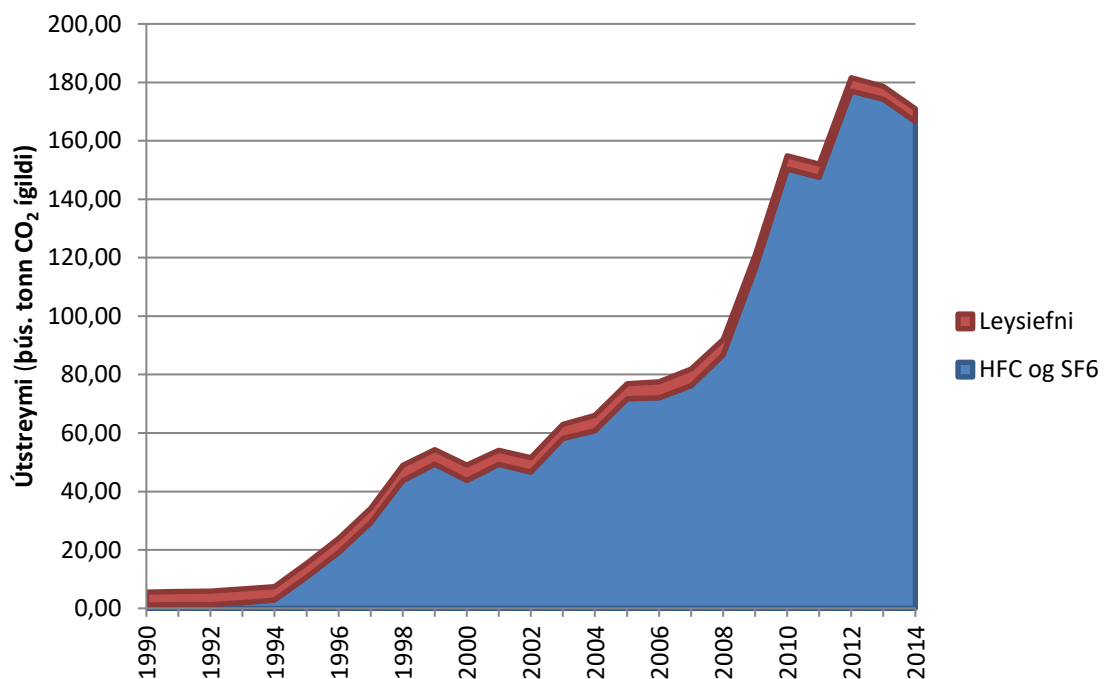
Aukin notkun á timburkurli krefst góðs samstarfs milli þeirra sem safna því saman og verksmiðjunnar, til að tryggja að nóg sé af góðu kurli. Áætla má að kostnaður við notkun timburkurlisins sé jafn eða minni en kostnaður við jarðefnaeldsneyti og útstreymisheimildir og fyrirtækið komi því annað hvort út á sléttu eða hagnist á að nota meira af því.

Fræðilega er unnt að fanga kolefni frá járnblandiverksmiðjunni. Slíkar mengunarvarnir er þó ekki að finna í neinni járnblandiverksmiðju í heiminum í dag. Sú lausn mundi því kalla á verulega rannsókn-

og þróunarvinnu og eru rekstrarforsendur slíkrar endurvinnslu alls óþekktar og liggja því ekki fyrir neinar áætlanir um umfang hugsanlegra fjárfestinga og arðsemi þeirra.

#### 10.4 Efnanotkun

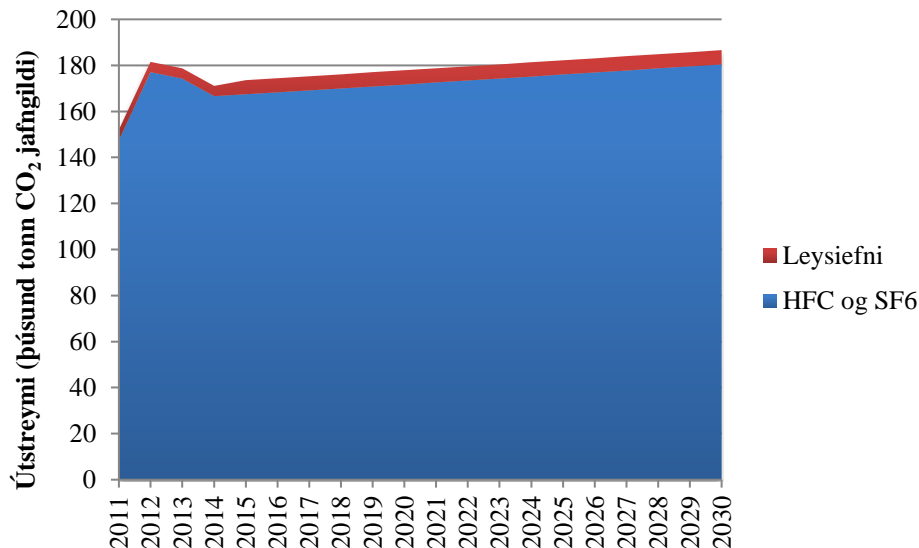
Útstreymi frá efnanotkun telst í þrjú flokka, HFC efni, SF<sub>6</sub> og leysiefni. HFC efni eru notuð sem kælimiðill í kælikerfum, ísskápum og loftkælíbúnaði bíla. Einnig er HFC notað sem drifefni í lyf og í gabb- og spaugvarning, þó að í mjög litlum mæli sé. Útstreymi frá SF<sub>6</sub> er eingöngu vegna leka úr rafmagnsbúnaði. Innflutningur á leysiefnum hefur haldist jafn og því hefur útstreymi vegna leysiefna haldist stöðugt í um 4 þúsund tonn síðan 1990. Útstreymi SF<sub>6</sub> og HFC hefur aukist gríðarlega síðan 1990 eða 150 falt, frá rúmu 1 tonni uppí 166 tonn árið 2014. Mynd 10-7 sýnir útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá efnanotkun á tímabilinu 1990-2014.



Mynd 10-7. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna efnanotkunar tímabilið 1990-2014.

Aukið útstreymi HFC efna eftir árið 1993 hlaut af því að þau komu í staðinn fyrir ósóneyðandi efni, en síðari ár vegna þess að stór kælikerfi hafa verið tekin í notkun í verslunarmiðstöðvum. Leki frá stórum kælikerfum er þó að jafnaði frekar lítill. Töluverð aukning hefur einnig verið í notkun þessara efna í loftkælíbúnaði bíla. Endurfylla þarf loftkælikerfin á þriggja ára fresti og eins hugsanlega ef bílar lenda í óhöppum.

Spá um útstreymi frá efnanotkun gerir ráð fyrir að aukningu á útstreymi HFC-efna vegna kælikerfa sé að mestu lokið og að losun aukist um 0,5% á ári til ársins 2030. Mynd 10-8 sýnir spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá efnanotkun til ársins 2030.



Mynd 10-8 Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna efnanotkunar til ársins 2030

#### 10.4.1 Tæknilegir möguleikar til samdráttar í útstreymi

Það er ljóst að hægt er að minnka útstreymi vegna efnanotkunar, til dæmis hvað varðar notkun kælimiðla í verslunarmiðstöðvum og sjávarútvegi. Mögulegt er að draga úr þessu útstreymi, t.d. með notkun kælimiðla sem innihalda ekki gróðurhúsalofttegundir heldur aðra kælimiðla, s.s. ammóníak (Loftslagsnefnd sjávarútvegsins, 2009). Ekki er þessi möguleiki metinn hér þó sérstaklega, né kostnaður vegna slíkra breytinga.

#### 10.5 Kísilmálmframleiðsla

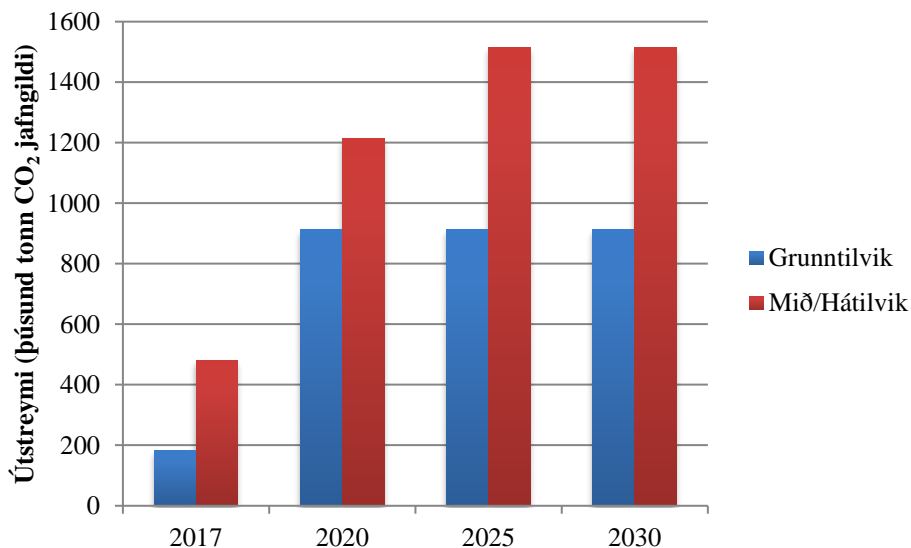
Síðustu ár hafa verið uppi mikil áform um framleiðslu kísilmálms hérlendis. Verksmiðja United Silicon í Helguvík hefur þegar hafið framleiðslu, PCC á Bakka er þegar í byggingu og Thorsil á Reykjanesi hefur tilkynnt áform um byggingu verksmiðju. Í öllum þessum verksmiðjum er háhreinn kísilmálmur framleiddur úr kvasi. Aukinheldur hefur fyrirtækið Silicor materials tilkynnt áform um byggingu verksmiðju sem framleiðir sólarkísil, en þar er háhreinn kísill (99,9999% hreinn) framleiddur úr 99,5% hreinum kísli með notkun á bráðnu áli sem einskona hreinsilög fyrir kísilinn (Rut Kristinsdóttir et al., 2014). Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá framleiðslu Silicor á sólarkísli er undir 1000 tonnum á ári og hverfandi í samanburði við frumvinnslu kísilmálms og verður því ekki fjallað um mögulegan samdrátt á útstreymi frá þeirri verksmiðju. Verksmiðjur PCC, United Silicon og Thorsil hafa allar staðist umhverfismat Skipulagsstofnunar en Silicor materials þurfti ekki að fara í umhverfismat (EFLA, 2013; Mannvit, 2015; S9, 2013).

Framleiðsla á hreinum kísli (> 98,5% hreinn) úr kvasi fer fram í ljósbogaofnum í hefðbundnu málmvinnsluferli. Ferlið er að mörgu leyti svipað því sem notað er við framleiðslu kísiljárns á Grundartanga. Kísiljárn er blanda járns og kísils, en þegar hlutfall kísils er yfir 98% er talað um kísilmálm. Kolarafskaut eru notuð í framleiðslunni til að mynda ljósbogann sem gengur niður í ofninn. Rafskautin eyðast smám saman upp í ferlinu þegar súrefni sem losnar af kvasinu brennir upp kolefni rafskautanna og myndar hreinan kísilmálm og kolmónoxíð. Auk þess er einnig notaður kolefnisgjafi í efnaferlið til að auka endingartíma rafskautanna, sem getur verið kol, koks eða timburkurl.

Kolmónoxíðið sem myndast er blandað við loft við yfirborð ofnsins þar sem það oxast í koldíoxíð áður en því er blásið út í andrúmsloftið. Aðalhræfni sem flutt verða til landsins vegna framleiðslunnar eru

kvars, kol og koks. Fyrirhugaðar kísilmálmsverksmiðjur munu allar notast við Bestu Fáanlegu Tækni (e. BAT) og stefna að því að losun gróðurhúsalofttegunda frá framleiðslunni verði sambærilegt viðmiðunargildi IPCC loftlagssamnings Sameinuðu þjóðanna sem er um 5 tonn CO<sub>2</sub> ígilda/tonn kísil. Því er framleiðsla kísilmálms ein sú málmvinnsla, utan járnvinnslu, sem losar hvað mest af koldíoxíði á hvert framleitt tonn. Samtök kísilframleiðenda benda þó á að aukin notkun kísilafleiða í nýjar vörur og tæknilausnir geti dregið úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda á lífsferilsgrundvelli allt að nífalt (Brandt et al., 2011).

Við mat á breytingum í útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna kísilmálmverksmiðjanna voru settar fram 3 sviðsmyndir. Í grunnsviðsmynd er gert ráð fyrir að framleiðsla kísils verði 166 þúsund tonn árið 2020 og haldist stöðug til 2030. Í miðsviðsmynd var gert ráð fyrir að framleiðsla kísils verði 221 þúsund tonn árið 2020 og 276 þúsund tonn árið 2030. Í hásviðsmynd er gert ráð fyrir sömu framleiðslu og í miðsviðsmynd. Nánari umfjöllun um sviðsmyndirnar má sjá í kafla 3. Mynd 10-9 sýnir heildarútstreymi frá kísilverksmiðjum árin 2017, 2025 og 2030 í grunn- og miðsviðsmyndum.



Mynd 10-9. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá kísilverum árin 2017, 2020, 2025 og 2030 í grunn- og mið/há tilvikum.

Niðurstöður sviðsmynda sýna að útstreymi frá kísilverum gæti orðið allt frá 16% til 24% af heildarútsstreymi Íslands á árinu 2030.

### 10.5.1 Tæknilegir möguleikar til samdráttar í útstreymi

Helstu möguleikar til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá kísilmálmframleiðslu eru aukin notkun á lífmassa og/eða endurheimt kolefnis úr útstreymi verksmiðjunnar til bindingar í jarðlög eða efnaframleiðslu. Þá er einnig fræðilega hægt að framleiða kísilmálm með rafgreiningu (Lindstadt et al., 2010).

#### 10.5.1.1 Aukin notkun lífmassa

Framleiðsla kísilmálms krefst kolefnisgjafa í framleiðsluna, kolefnið getur komið frá rafskautum, kolum, koxi og tréflísum. Komi kolefnið í framleiðsluna frá jarðefnaeldsneyti telst það til útstreymis gróðurhúsalofttegunda, sé hinsvegar notast við lífmassa s.s. tréflísar er hráefnið talið kolefnishlutlaust

og því hægt að draga úr nettó útstreymi með aukinni lífmassanotkun. Öll fyrirtækin sem huga að framleiðslu kísilmálms hérlendis hafa hug á því að flytja inn tréflísar sem hráefni í framleiðsluna. Tafla 10-4 sýnir innflutning kolefnisgjafa vegna fyrirhugaðra kísilmálmverksmiðja í þúsundum tonna á ári miðað við fulla framleiðslu.

Tafla 10-4. Fyrirhugaður innflutningur á kolefnisgjöfum vegna kísilmálmframleiðslu.

	Thorsil	United Silicon	PCC	Samtals
<b>Kol + koks + rafskaut (þús. tonna)</b>	195	154	122	471
<b>Timburflís/viðarkurl (þús. tonna)</b>	185	130	90	405

Fyrirhugaðar kísilmálmverksmiðjur munu því flytja inn 405 þúsund tonn af tréflísum á ári og 471 tonn af jarðefnakolefni. Til samanburðar þá notaði járnblendiverksmiðja ELKEM á Grundartanga um 47 þúsund tonn af viðarkurli árið 2014. Miðað við áætlanir um framleiðslutækni verksmiðjanna verður notkun lífmassa í tæknilegu hámarki og ekki búist við því að auka megi þá notkun í nánustu framtíð.

#### 10.5.1.2 Föngun kolefnis

Hægt er að fanga kolefni úr útstreymi og útblæstri frá ofnum í kísilmálmframleiðslu. Frá ofnum kemur kolmónoxíð sem brennur við ofnfulluna og myndar koldíoxíð. Nýta má kolmónoxíðið til framleiðslu á efnavörum og tilbúnu eldsneyti með því að hvarfa það við vetni. Ellegar mætti fanga koldíoxíðið og binda það í jarðlögum. Fræðilega væri unnt að fanga allt að 90% af útblæstri verksmiðjanna með þessum hætti líkt og útblástur jarðvarmaorkuvera, en nánar er fjallað um það í kafla um orkuframleiðslu.

#### 10.5.1.3 Framleiðsla kísilmálms með rafgreiningu

Kísilmálm má framleiða með rafgreiningu. Er þá kvars, kísilflúríd eða kísilkloríd leyst upp í raflausn og brotið niður með raforku. Ferlið myndar súrefni, koldíoxíð, flúörgas (F<sub>2</sub>) og/eða klörgas (Cl<sub>2</sub>) eftir því hver hráefnin eru í vinnslunni. Raforkuþörf ferlisins er sambærileg og núverandi framleiðsluferli með ljósbogaofni en útstreymi CO<sub>2</sub> um helmingi minni ef koltvísýringur er aðal myndefni við rafskautið. Ef hlutlaus eðalrafskaut eru notuð við vinnsluna verður ekkert útstreymi CO<sub>2</sub> frá vinnsluferlinu. Framleiðsla kísilmálms með rafgreiningu hefur nokkuð verið rannsökuð undanfarin ár en enn sem komið er fer öll þróun fram á tilraunaskala (Lindstadt et al., 2010).

Ekki er talið að framleiðsla kísilmálms með rafgreiningu verði fýsileg á spátímabilinu. Þegar þessi tækni tekur að ryðja sér rúms á iðnaðarskala er líklegt að henni verði fyrst beitt í nýjum verksmiðjum, enda þarf allveg nýja hönnun framleiðslulína, áður en henni verður beitt í eldri framleiðslueiningum. Þar sem allar fyrirhugaðar verksmiðjur á Íslandi sem verða byggðar á næstu árum byggja á notkun ljósbogaofna er ekki talið líklegt að ný framleiðslutækni taki að ryðja sér rúms þar fyrir en eftir 2040.

## 10.6 Sviðsmyndir um heildarútstreymi frá orkufrekum iðnaði

Til að meta mögulegar breytingar á heildarútstreymi frá orkufrekum iðnaði voru eins og segir í kafla 3, settar fram þrjár sviðsmyndir. Grunnsviðsmynd gerir ekki ráð fyrir neinni uppbyggingu umfram þann iðnað sem þegar er starfandi, auk kísilvers PCC á Bakka og kísilvers United Silicon í Helguvík. Starfsemi United Silicon í Helguvík hefur þegar hafist og hafin er smíði kísilvers á Bakka en stefnt á gangsetningu árið 2017. PCC á Bakka mun hafa framleiðslugetu um 33.000 tonn í fyrsta áfanga. Fyrsta

áfanga lýkur 2017 og seinni áfanga 2020. Þá verður framleiðslugeta kísilversins 66.000 tonn. Framleiðslugeta kísilvers United Silicon verður 100.000 tonn og mun haldast óbreytt út spátímann. Heildarútreymi frá orkufrekum iðnaði í þessu tilviki gæti orðið 163% hærra en útreymi frá orkufrekum iðnaði árið 1990, eða um 55% af heildarútreymi Íslands.

Í miðsviðsmynd er gert ráð fyrir að tvö kísilver til viðbótar hafi hafið framleiðslu árið 2020. Kísilver Thorsil, einnig í Helguvík, mun einnig hefja framleiðslu 2017 og gert er ráð fyrir að í fyrsta áfanga verði framleidd 55.000 tonn. Seinni áfanga lýkur árið 2022 og gert er ráð fyrir að framleiðslugeta verði 110.000 tonn. Kísilver Silicor Materials á Grundartanga mun taka til starfa árið 2020 en útreymi mun vera óverulegt. Heildarútreymi frá orkufrekum iðnaði í miðtilviki gæti því orðið 215% hærra en útreymi frá orkufrekum iðnaði árið 1990, eða um 59% af heildarútreymi Íslands.

Allar forsendur miðtilviksins eru einnig notaðar við hátilvikið en til viðbótar er gert ráð fyrir að Rio Tinto Alcan ljúki fyrirætlaðri stækkun sinni árið 2020 og gert er ráð fyrir að Norðurál auki framleiðslu úr 300.000 tonnum í 360.000 tonn árið 2017. Gert er ráð fyrir tveimur stækkunum hjá Alcoa Fjarðaál í sviðsmyndinni. Framleiðslugetan fer úr 340.000 tonnum í 367.000 tonn árið 2020 og eykst aftur í 556.000 tonn árið 2030. Þar að auki bætist við eitt nýtt álver með framleiðslugetu upp á 215.000 tonn sem mun hefja framleiðslu árið 2030. Heildarútreymi frá orkufrekum iðnaði í hásviðsmynd gæti því orðið 292% hærra en útreymi frá orkufrekum iðnaði árið 1990, eða um 63% af heildarútreymi Íslands.

Tafla 10-5 sýnir þær verksmiðjur sem teknar eru inn í hvert tilvik fyrir sig.

Tafla 10-5. Iðnaðarframkvæmdir sem liggja til grundvallar útreymisreikningum fyrir þrjú tilvik.

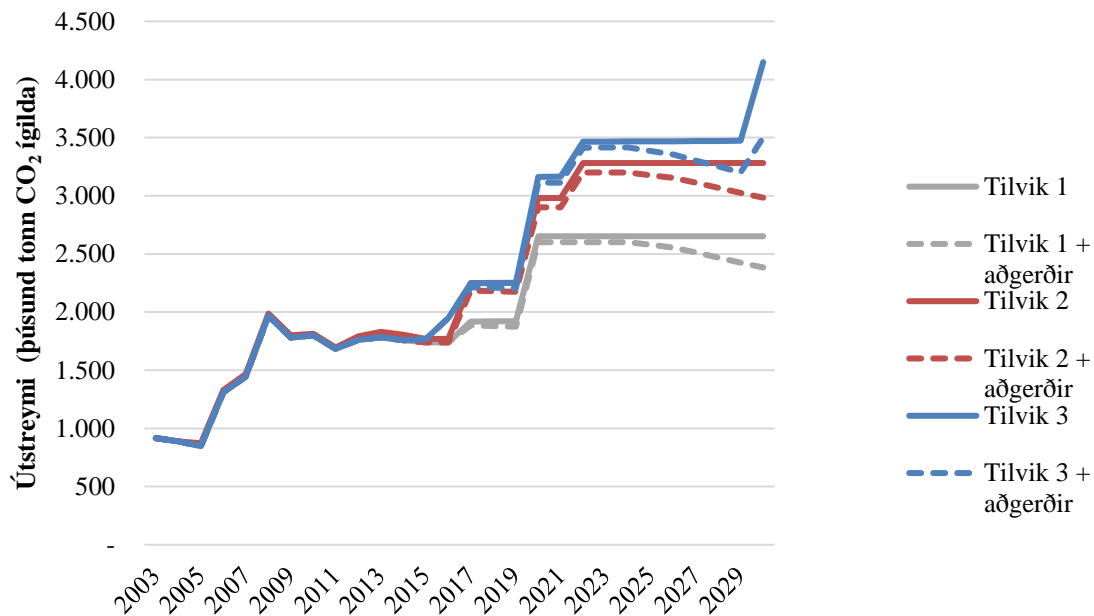
Fyrirtæki	Staður	Grunnspá	Miðspá	Háspá
RioTintoAlcan	Straumsvík	X	X	X
AlcoaFjarðarál	Reyðarfirði	X	X	X
Norðurál	Grundartanga	X	X	X
ELKEM	Grundartanga	X	X	X
PCC	Bakka	X	X	X
United Silicon	Helguvík	X	X	X
Thorsil	Helguvík		X	X
Silicor Materials	Grundartanga		X	X
Nýtt álver	NA			X

### 10.6.1 Aukning á útreymi vegna rafmagnsframleiðslu

Miðað við þær sviðsmyndir sem taldar eru upp hér að framan mun raforkuþörf orkufreks iðnaðar aukast nokkuð til ársins 2030. Þessa aukningu er fjallað um í kafla um raforkuframleiðslu og losun vegna hennar.

### 10.6.2 Útreymi og mótvægisáðgerðir

Mynd 10-10 sýnir spá um útreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkufrekum iðnaði á tímabilinu 2003-2030 miðað við þau þrjú tilvik sem hefur verið lýst hér að ofan, auk útreymis ef tekið er tillit til mótvægisáðgerða sem rætt var um hér að framan.



Mynd 10-10. Spá um útstreymi frá orkufrekum iðnaði á tímabilinu 2015-2030 miðað við þrjú ólík tilvik

Mynd 10-10 sýnir að hægt er að draga úr útstreymi frá orkufrekum iðnaði um 20% með mótvægisáðgerðum árið 2030, borið saman við útstreymi án áðgerða.

### 10.7 Samantekt

Árið 2014 var útstreymi vegna iðnaðar og efnanotkunar um 2.074 tonn koldíoxíðs ígilda, eða um 45% af heildarútstreymi Íslands. Þrjár sviðsmyndir voru metnar með tilliti til breytinga á losun gróðurhúsalofttegunda þar sem lagt var mat á mögulega aukningu í útstreymi miðað við breytta framleiðslugetu.

Niðurstöður sýna að heildarútstreymi frá orkufrekum iðnaði í grunntilviki gæti orðið 163% hærra en útstreymi frá orkufrekum iðnaði árið 1990, eða um 55% af heildarútstreymi Íslands. Heildarútstreymi gæti orðið 215% hærra en útstreymi frá orkufrekum iðnaði árið 1990, eða um 59% af heildarútstreymi Íslands og heildarútstreymi frá orkufrekum iðnaði í hásviðsmynd gæti orðið 292% hærra en útstreymi frá orkufrekum iðnaði árið 1990, og orðið um 63% af heildarútstreymi Íslands.

Með frekari umbótum og framleiðslustýringu í álverum má minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá álverum, en íslensk álver eru þó nálægt tæknilegu lágmarki útstreymis miðað við núverandi framleiðslutækni. Ekki þykir líklegt að veruleg minnkun geti orðið í útstreymi fyrr en upp úr 2030 þegar eðalrafskaut taka hugsanlega að ryðja sér rúms í álframleiðslu eða endurheimt kolefnis mun verða fýsileg. Þó er talið að samdráttur árið 2030 gæti orðið um 10%. Kostnaður við að minnka útstreymi frá álverum er ekki þekktur, en gert er ráð fyrir að minnkun í útstreymi vegna betri framleiðslustýringar sé fyrirtækjunum að kostnaðarlausu.

Helstu leiðir til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá járnblendiframleiðslu eru að auka notkun á timburkurli í framleiðslu eða endurheimta kolefni í framleiðslunni. Talið er að hægt sé að auka notkun á timburkurli miðað við núverandi tækjabúnað um 8%, miðað við það sem nú er notað, og minnka þar með útstreymi gróðurhúsalofttegunda um 30-40 þúsund tonn á ári. Ef föngun kolefnis hefst er talið að hægt væri að draga úr útstreymi um 33%. Fræðilega er unnt að fanga allan kolefnisútblástur úr járnblendiverksmiðjunni og álverunum og nýta í efnaframleiðslu eða binda í bergi líkt og við

jarðvarmaorkuverin. Fýsileiki slíkrar endurheimtar er þó nokkuð óljós og kallar á nokkra rannsóknar- og þróunarvinnu.

Nú starfar ein kísilmálmsverksmiðja hérlendis, en gert er ráð fyrir þremur öðrum verksmiðjum á næstu árum. Framleiðsluleyfi eru miðuð við bestu fáanlegu tækni. Í öllum verksmiðjunum stendur til að flytja inn lífmassahráefni sem kolefnisgjafa í framleiðsluna til að draga úr ústreymi gróðurhúsalofttegunda af völdum jarðefnaeldsneytis. Ekki er gert ráð fyrir því að unnt verði að auka frekar notkun lífmassa í verksmiðjunum miðað við núverandi áætlanir og framleiðsluferli. Í öllum verksmiðjum er gert ráð fyrir að ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá notkun jarðefnakolefnis verði sambærilegt viðmiðum IPCC fyrir kísilmálmframleiðslu.

Fræðilega er unnt að endurheimta kolefni frá kísilmálmframleiðslu og nýta í efnaframleiðslu eða binda í jarðlögum. Slík lausn mundi kalla á verulega rannsóknar- og þróunarvinnu líkt og í ál- og kísilverum. Einnig er fræðilega mögulegt að framleiða kísilmálm með rafgreiningu, en slíkt er hvergi stundað á iðnaðarskala í dag. Slík lausn myndi krefjast mikillar þróunarvinnu og eru því engar forsendur til að meta fýsileika slíkrar fjárfestingar. Þá er ekki talið líklegt að eigendur þeirra verksmiðja sem fyrirhugað er að byggja verði viljugir til að endurnýja alla sína framleiðslulínu fyrr en í fyrsta lagi starfsleyfi þeirra kemur til endurskoðunar, en það er t.d. árið 2031 fyrir Thorsil og 2030 fyrir United Silicon. Þrátt fyrir þessa óvissu er talið að hægt sé að draga úr ústreymi allt að 30% árið 2030 með föngun og bindingu.

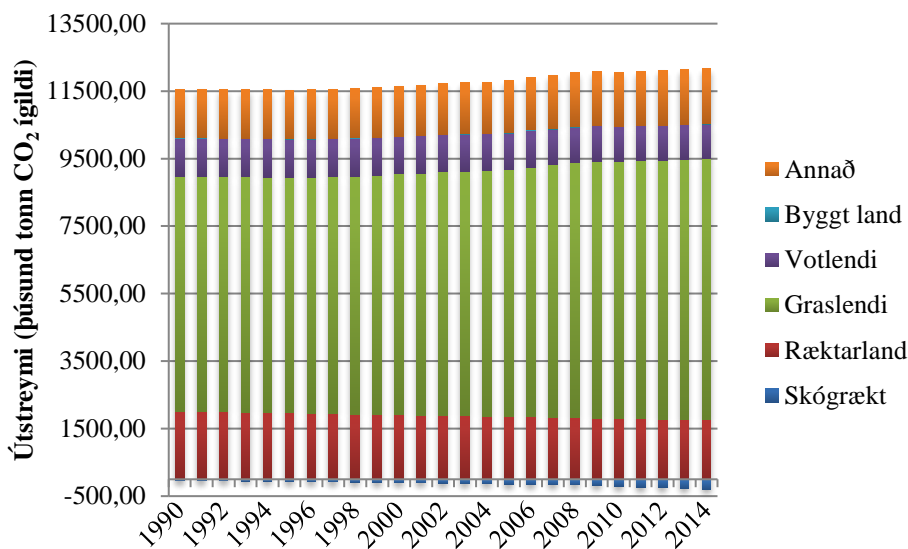
Undir annan iðnað fellur ústreymi vegna starfsemi annarra iðnaðarfyrirtækja, s.s. áburðarverksmiðju, steinullarverksmiðju, malbikunarstöðva og vegna brennslu eldsneytis í öðrum iðnaði. Ústreymi frá þessari starfsemi hefur farið minnkandi undanfarin ár enda nokkur fyriræki í þessum geira nú hætt starfsemi. Ekki var spáð fyrir um breytingar í ústreymi vegna starfsemi í öðrum iðnaði.

Flokkurinn efnanotkun skiptist í leysiefni og HFC efni og telur um 7% af heildarústreymi Íslands. Mögulegar mótvægisáðgerðir vegna efnanotkunar voru ekki skoðaðar en talið er að þær liggi helst í notkun annarra kælimiðla með lægri hlýnunarmátt en HFC efni í kælibúnaði fiskiskipa og verslunarmiðstöðva.

## 11 Skógrækt, landgræðsla, endurheimt votlendis; Breytt landnotkun

### 11.1 Yfirlit

Flokkurinn landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt (e. land use, land use change and forestry; LULUCF), sýnir ústreymi frá sex flokkum lands (sjá myndMynd 11-1 og töfluTafla 11-1). Nettóústreymi gróðurhúsalofttegunda vegna landnotkunar hér á landi var um 11.890 tonn CO<sub>2</sub>-ígildi árið 2014. Mynd 11-1 sýnir niðurbrot ústreymis vegna landnotkunar frá árinu 1990 til 2014, og taflaTafla 11-1 sýnir ústreymi valdra ára á sama tímabili. Eins og myndin og taflan sýna hefur heildarústreymi vegna landnotkunar aukist um 3% síðan 1990.



Mynd 11-1. Ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá sex flokkum lands árin 1990 til 2014.

Aðalástæða ústreymis vegna landnotkunar er ústreymi frá framræstum mýrum og er mestur hluti af ústreymi annað hvort koldíoxíð (CO<sub>2</sub>) eða hláturgas (N<sub>2</sub>O). Til frádráttar ústreyminu kemur síðan kolefnisbinding vegna landgræslu og skógræktar sem og endurheimt votlendis.

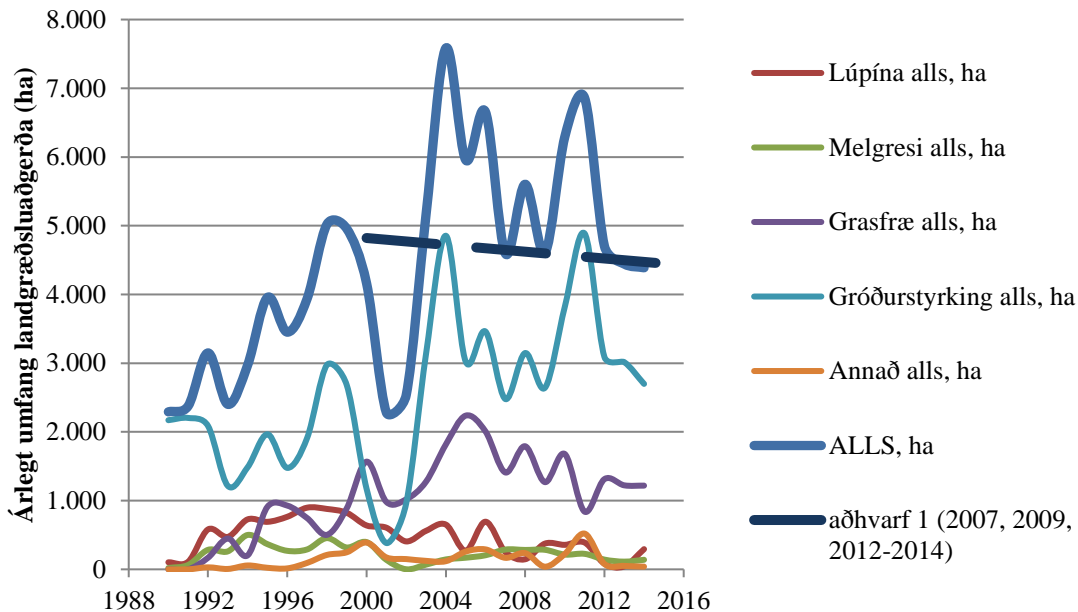
Tafla 11-1. Ústreymi vegna landnotkunar frá árinu 1990 til 2014 eftir flokkum (þúsund tonn CO<sub>2</sub> jafngildi).

	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
<b>Skógrækt</b>	-44,11	-66,28	-100,33	-150,01	-203,39	-265,42	-289,92
<b>Ræktarland</b>	2014,28	1963,50	1911,53	1858,55	1804,39	1771,60	1760,66
<b>Graslendi</b>	6961,08	6987,60	7134,58	7315,20	7611,38	7710,20	7738,24
<b>Votlendi</b>	1124,55	1128,60	1109,04	1082,36	1043,12	1029,68	1026,70
<b>Byggt land</b>	13,19	6,22	14,91	19,95	5,50	4,60	4,70
<b>Annað</b>	1426,67	1440,02	1479,56	1526,37	1595,70	1621,26	1628,50
<b>Samtals</b>	11495,65	11459,65	11549,29	11652,42	11856,69	11871,92	11868,89

## 11.2 Landgræðsla

### 11.2.1 Inngangur

Rannsóknir sýna að með landgræðslu binst kolefni í plöntum og jarðvegi yfir lengri tíma, en binding fer eftur landgæðum og aðstæðum. Er binding metin um 100-500 tonn CO<sub>2</sub> ígildi á km<sup>2</sup> á ári (Ása Aradóttir o.fl., 2000; Ólafur Arnalds o.fl., 2000; Ása Aradóttir o.fl. 2006). Árleg binding landgræðsluverkefna sem hófust eftir árið 1990 var metin um 221 þúsund tonn árið 2014 (Umhverfisstofnun 2016) en myndMynd 11-2 sýnir árlegt umfang landgræðsluverkefna eftir tegund, mælt í hekturum. Mat eða spá um bindingu kolefnis vegna landgræðsluverkefna ræðst af forsendum um árlegt umfang, árlega bindingu og tímabil bindingar. Miðað er við meðaltals-bindingarstuðulinn 2,1 tonn CO<sub>2</sub> á ha ári, óháð aðferð.



Mynd 11-2. Umfang allra landgræðsluaðgerða frá 1990 ásamt umfangi einstakra aðgerða. Aðhvarfslína er einnig sýnd (aðhvarf 1), fyrir heildarumfang landgræðsluaðgerða. Þessi lína er síðan notuð til að reikna kolefnisbindingu í grunntilviki.

### 11.2.2 Tæknilegir möguleikar

Þrjár sviðsmyndir voru skoðaðar til með meta tæknilega möguleika til landgræðslu, grunntilvik eða venjubundin þróun (e. business as usual), miðtilvik og hátilvik. Í grunntilviki er gert ráð fyrir að umfang landgræðsluverkefna verði svipað og undanfarin ár. Í miðtilviki er gert ráð fyrir að umfang verði tvisvar sinnum hærra en í grunntilviki og í hátilviki er gert ráð fyrir að umfang verði fjórum sinnum hærra en í grunntilviki.

Við að meta umfang landgræðsluverkefna í grunntilviki var stuðst við aðhvarfslínu sem er byggð á árunum 2007, 2009, 2012, 2013, 2014 (sjá aðhvarfslínu á myndMynd 11-2). Sú lína sýnir raunsanna mynd af þróun umfangs landgræðsluaðgerða síðustu ár. Allir útreikningar eru byggðir á þessari aðhvarfslínu og gert er ráð fyrir að meðallandgræðsluhektari sé 5% lúpína, 61% gróðurstyrking (áburðargjöf), grassáningar séu 30% og melgresissáningar 4%. Bindistuðull fyrir landgræðslu sem nú er tilkynntur til Loftslagsnefndar Sameinuðu þjóðanna (LSþ) og Kyoto-samningsins (Ks) er ein meðaltala, 2,1 tonn CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ár<sup>-1</sup> (Wöhl et al., 2014). Fyrirliggjandi niðurstöður árunum 2007 - 2009 eru hins vegar 2,5 tonn CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ár<sup>-1</sup> +/- 17% (2,08 – 2,93) svo uppgefin tala til LSþ og Ks er í neðri viki vikmörkum vegna núverandi óvissu í gögnum.

Mynd 11-3 og töflurTafla 11-2 ogTafla 11-3, sýna heildarumfang landgræðsluaðgerða frá 1990 – 2014 ásamt sviðsmyndunum þremur. Allar þrjár sviðsmyndirnar gera ráð fyrir síminnkandi umfangi landgræðsluaðgerða sbr. valda aðhvarfsgreiningu. Efri taflan sýnir flatarmál nýaáðgerða hvers árs frá 1990 í hverri sviðsmynd og er umfang árlegra nýrra áðgerða frá 4.076 hekturum í grunnspá upp í 16.304 hektara í háspá. Neðri taflan sýnir heildarstærð landgræðslusvæða í sviðsmyndunum þremur.

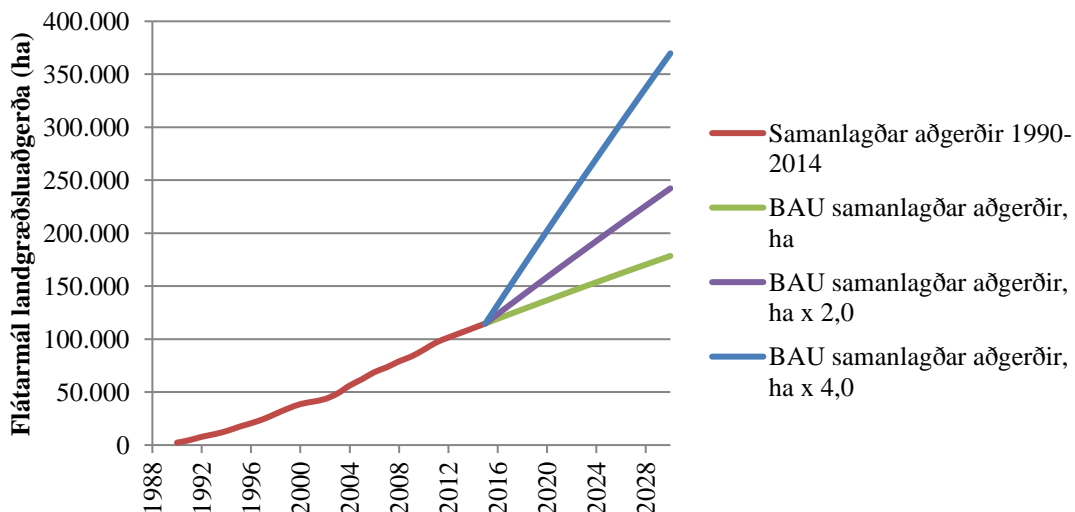
Mynd 11-4 sýnir áætlaða samanlagða kolefnisbindingu áðgerða í landgræðslu frá 1990 - 2014 ásamt sviðsmyndunum þremur. Tafla 11-3 sýnir sömu upplýsingar fyrir valin ár á tímabilinu 2015 – 2030. Niðurstöður sýna að heildarumfang bindingar er allt frá 375 þúsund tonnum í 777 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda árið 2030.

Ár	Grunntilvik ha	Miðtilvik ha	Hátílvik ha	Binding grunn- tilvik (t CO <sub>2</sub> /ár )	Binding miðtilvik (t CO <sub>2</sub> /ár )	Binding hátílvik (t CO <sub>2</sub> /ár)
2015	4.448	8.897	17.794	9.342	18.684	37.367
2020	4.324	8.649	17.297	9.081	18.162	36.324
2030	4.076	8.152	16.304	8.559	17.119	34.238

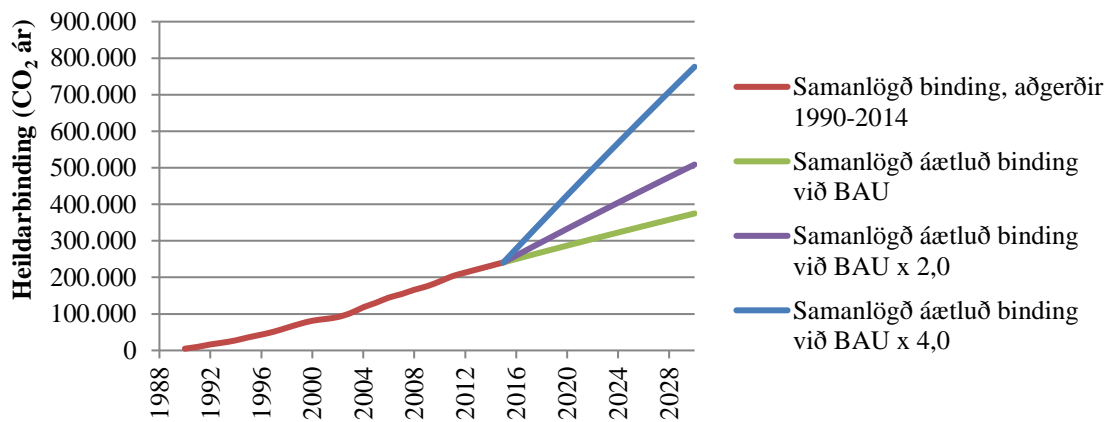
Tafla 11-2. Áætlað árlegt umfang landgræðslu (árleg ný svæði skv. aðhvarfslínu 1 á myndMynd 11-2) og árleg kolefnisbinding þeirra sem CO<sub>2</sub> (ný binding hvers árs) frá og með 2015 til ársins 2030.

Ár	Grunntilvik ha	Miðtilvik ha	Hátílvik ha	Binding grunn- tilvik (t CO <sub>2</sub> /ár )	Binding miðtilvik (t CO <sub>2</sub> /ár )	Binding hátílvik (t CO <sub>2</sub> /ár)
2015	114.790	114.790	114.790	241.060	241.060	241.060
2020	136.660	158.530	202.270	286.986	332.913	424.767
2030	178.537	242.284	369.777	374.928	508.796	776.533

Tafla 11-3. Samanlagt heildarumfang landgræðslu frá 1990 (í hekturum) og heildarbinding kolefnis sem tonn CO<sub>2</sub> á ári í landgræðslu.



Mynd 11-3. Samanlagt flatarmál allra landgræðsluaðgerða frá 1990 til 2014 ásamt BAU, BAU × 2 og BAU × 4 frá og með 2015 til ársins 2030 (hektarar).



Mynd 11-4. Samanlögð heildarbinding allra landgræðsluaðgerða frá 1990 til 2014 ásamt BAU, BAU × 2 og BAU × 4 frá og með 2015 til ársins 2030.

### 11.2.3 Kostnaður

Kostnaðarútreikningar eru byggðir á áætlunum fyrir árið 2014. Inn í þá eru teknir allir liðir sem tengjast efniskostnaði (fræ, áburður), dreifingarkostnaði (fræsáning, áburðardreifing), einnig er metinn kostnaður vegna eftirfylgni (kostnaður vegna misfarinnar dreifinga) og umsýslukostaðar. Gert er ráð fyrir að miðað sé við að meðallandgræðsluhektari sé 5% lúpína, 61% gróðurstyrking og 34% annað og að binding eigi sér stað í 60 ár með 5% reiknivöxtum (e. discount rate). Kostnaður er reiknaður m.t.t. þessa. Samkvæmt þessu kostar uppgræðsla per hektara yfir líftíma bindingar 5.760 kr/ha og miðað við 2,1 tonna bindingu per ha kostar 2.743 kr að binda tonn af kolefni með landgræðslu (Jóhann Þórisson o.fl 2015, óbirt skýrsla).

## 11.3 Skógrækt

### 11.3.1 Inngangur

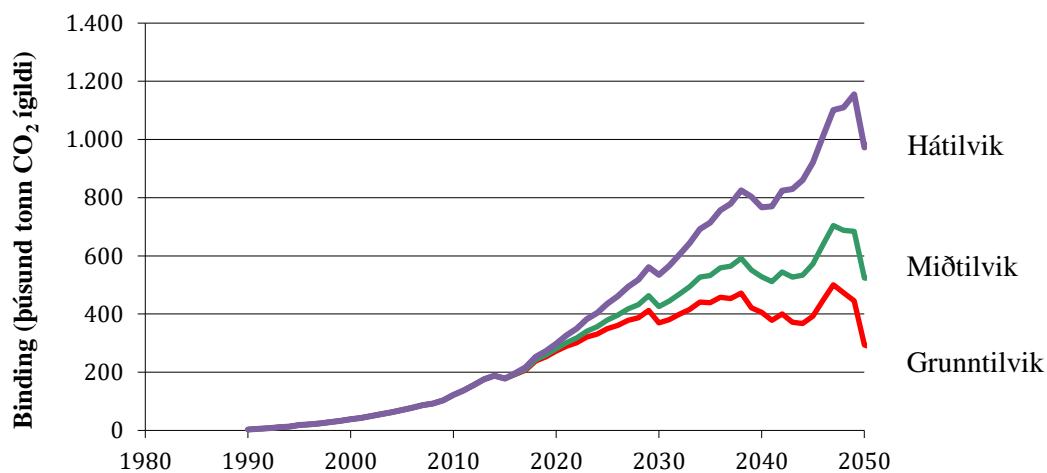
Einungis líttill hluti Íslands er þakinn skógi, eða um 1,9%, en markmið stjórnvalda í skógrækt sem sett voru með lögum um landshlutaverkefni í skógrækt er að auka ræktun skóga á láglendi þannig að um 5% lands undir 400 m verði þakið skógi. Rannsóknir sýna að verulegt magn kolefnis binst í skógi, og að umtalsverður breytileiki er á magninu eftir aldri, trjátegund og staðsetningu eða frá 60 til 1120 tonn CO<sub>2</sub> á km<sup>2</sup> á ári (Arnór Snorrason o.fl. 2002, Bjarni D. Sigurðsson og fleiri 2008). Rannsóknir hafa jafnframt leitt í ljós að verulegt magn kolefnis binst í jarðvegi skóga hér á landi, eða 130-200 tonn CO<sub>2</sub> á km<sup>2</sup> á ári.

Skógrækt ríkisins heldur utan um töluleg gögn sem tengjast kolefnisbindingu í skógum á Íslandi. Flatarmál ræktaðra skóga á Íslandi árið 2013 var metið um 39,05 kha. Árleg plöntun hefur numið um 1.092 ha á ári en hefur vegna niðurskurðar í málaflokknum farið minnkandi undanfarin ár.

Nettóbinding íslenskra skóga árið 2014 sem plantað var eftir árið 1990 að meðtöldu birki var 188 þúsund tonn.

### 11.3.2 Tæknilegir möguleikar

Líkt og í landgræðslu voru þrjár sviðsmyndir skoðaðar til með meta tæknilega möguleika til bindingar kolefnis með skógrækt; grunntilvik eða venjubundin þróun (e. business as usual), miðspá og háspá. Við mat á umfangi skógræktarverkefna og því kolefnisbindingar í grunntilviki var gert ráð fyrir ræktun sem samsvarar meðaltali árunna 2011-2013, eða 1.068 hektarar árlega. Í miðtilviki var gert ráð fyrir að fjöldi hektara tvöfaldist, og í hátilviki er gert ráð fyrir að fjöldi hektara fjórfaldist. Aðrar forsendur spárinnar er að finna í tímariti Mógilsár. Spána má sjá í töfluTafla 11-4 og á myndMynd 13-5.



Mynd 11-5. Samanlögð heildarbinding nýskógræktar frá 1990 til 2014 ásamt grunntilviki, mið- og hátilviki frá og með 2015 til ársins 2030.

Niðurstöður sýna að heildarumfang bindingar árið 2030 vegna skógræktar að gefnum forsendum gæti orðið 369 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda í grunntilviki (venjubundin þróun) og uppí 535 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda í hátilviki þar sem aðgerðahraði er fjórum sinnum hærri en í grunntilviki. Vakin er athygli á því að myndMynd 11-5 sýnir bindingu ársins 2050.

Tafla 11-4. Samanlögð heildarbinding kolefnis sem tonn CO<sub>2</sub> á ári í skógrækt og uppsafnað magn nýskógræktar (ha) með birki.

Ár	Grunntilvik ha	Miðtilvik 2x aðgerðahraði	Hátilvik 4x aðgerðahraði	Nettó binding grunntilvik (t CO <sub>2</sub> /ár)	Nettó binding 2x (t CO <sub>2</sub> /ár)	Nettó binding 4x (t CO <sub>2</sub> /ár)
2015	45.536	-	-	177.790	-	-
2020	52.798	58.310	69.333	272.516	280.954	297.829
2030	67.409	83.944	113.813	369.153	425.939	534.756

### 11.3.3 Kostnaður

Núverandi áætlanir gera ráð fyrir að ræktaðir verða um 11 km<sup>2</sup> af skógi hvert ár. Hér eru rakin áhrif þess að auka við þær áætlanir. Aðeins er tekið mið af kostnaði og bindingu sem hlýst af umfangi umfram núverandi áætlun.

Hver km<sup>2</sup> af nýræktuðum skógi kostar um 35 milljónir króna (á verðlagi nóvember 2015) sé miðað við kostnaðarlíkan Skógræktarinnar sem byggir á rauntölum árið 2017.<sup>1</sup> Þar er allur beinn kostnaður tekinn með, svo sem stjórnunarkostnaður. Gert er ráð fyrir að kostnaðurinn verði óbreyttur til frambúðar og að engin stærðarhagkvæmni náist með auknu umfangi. Á móti kostnaðinum koma tekjur vegna skógarhöggs, 13.900 kr. á hvern m<sup>3</sup>. Er það byggt á mati frá Rannsóknarstöð skógræktar, sem lagði einnig mat á bindingu gróðurhúsalofttegunda í koldíoxíð ígildum og viðartekjur miðað við mismunandi umfang skógræktar. Miðað er við 5% reiknivexti á bæði nettó kostnað og á bindingu gróðurhúsalofttegunda.

Niðurstöður sýna að í skógrækt kosti um 2.500 kr. að binda hvert tonn af CO<sub>2</sub> ígildi. Óvissan í þessu mati felst fyrst og fremst í kostnaði við trjásetningu.

Þar sem stærstur hluti kostnaðar fellur til við gróðursetningu, en binding gróðurhúsategunda á sér stað árum og áratugum síðar eru niðurstöðurnar næmar fyrir vali á reiknivöxtum. Ef reiknivextir væru 4% væri kostnaðurinn við að binda hvert tonn af CO<sub>2</sub> gildi um 1500 kr. og ef reiknivextir væru 3% væri kostnaðurinn um 500 kr.

## 11.4 Endurheimt votlendis

### 11.4.1 Inngangur

Þegar votlendi er ræst fram nær súrefni niður í jarðveginn og við það losna gróðurhúsalofttegundir út í andrúmsloftið þegar rotnun plöntuleifa hefst. Losun gróðurhúsalofttegunda frá framræstu votlendi á Íslandi árið 2013 var metin 11,7 milljónir tónna CO<sub>2</sub> ígildi sem er 73% af um 16 milljóna tónna heildarlosun landsins. Endurheimt votlendis getur því vegið mjög þungt í mótvægisáðgerðum Íslands gegn loftslagsbreytingum. Þó ber að minna á að losun vegna lands sem framræst var fyrir árið 1990 er ekki talið fram í bókhalda sem varðar skuldbindingar Íslands innan Kyoto bókunarinnar.

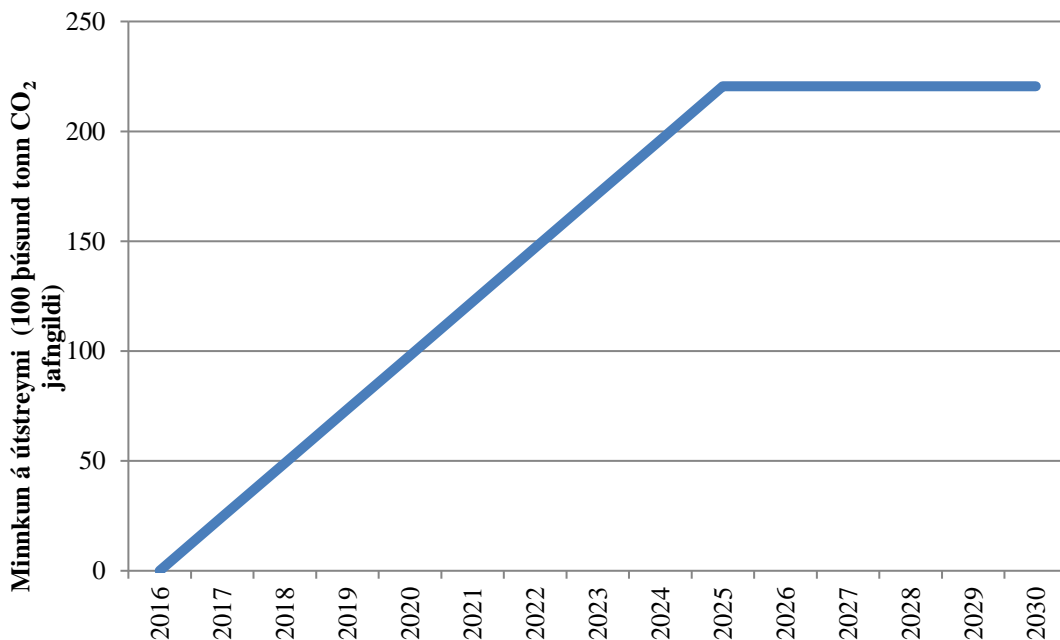
Um 4.200 km<sup>2</sup> votlendis hafa verið ræstir fram hér á landi með um 34 þúsund km af skurðum, en einungis 570 km<sup>2</sup> þess lands eru nýttir til jarðræktar og um 36 km<sup>2</sup> eru ræktaðir skógar eða birkiskógar (Samráðshópur 2016). Því er framræst land sem stendur utan túna og skóga um 3.600 km<sup>2</sup>. Nokkur hluti þessa lands eru ríkisjarðir en Íslenska ríkið er eigandi um 450 bújarða. Af þessum jörðum eru um 170 jarðir í ábúð og landbúnaði og um 130 til viðbótar eru nýttar á annan hátt. Mikilvægt er að meta hvaða jarðir sem eru í eigu ríkisins gætu hentað til endurheimtar votlendis og hvort ríkið sem eigandi þeirra vilji ráðast í slíkar aðgerðir. Endurheimt votlendis á landi í einkaeign þarf að fara fram í góðri sátt við landeigendur (Samráðshópur 2016). Að þessu gefnu mætti ætla að nokkuð miklir möguleikar séu á að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda með endurheimt votlendis.

---

<sup>1</sup> Teknar voru rauntölur vegna plöntukaupa 2017 hjá Skógræktinni en meðalplöntuverð er 51,55 krónur. Kostnaður við gróðursetningu er 16,62 krónur á plöntu, áburður og áburðargjöf 8,20 krónur og kostnaður við jarðvinnslu er 4,96 krónur. Umsýslukostnaður var reiknaður 15% ofan á allan annan kostnað. Reiknað er með að gróðursettar séu að jafnaði 2350 plöntur í hvern hektara lands en aðeins 75% lands sem gróðursett er í vex upp sem skógur. Þetta er sama aðferð sem notuð er í líkani sem reiknar út kolefnisbindingu og stemmir mjög vel við flatarmál nýskógræktar samkvæmt landsskógarúttekt. Fyrir árin 2013-2015 var flatarmál samkvæmt landsskógarúttekt 1% meira en flatarmál reiknað með þessari forsendu. Þessi forsenda er því kvörðuð um 1%, um sem nemur þessum mun, því þarf til að rækta upp einn hektara skógar 3103 plöntur.

### 11.4.2 Tæknilegir möguleikar og kostnaður

Af því landi sem ræst hefur verið fram eru um 900 km<sup>2</sup> í lítilli beinni notkun. Samkvæmt skýrslu samráðshóps um endurheimt votlendis (Samráðshópur 2016), ræsir hver skurður fram um 25 ha af votlendi. Því er áætlað að um 4 km af skurðum þurfi til að ræsa fram 1 km<sup>2</sup> af votlendi. Þegar fyllt er í skurði hækkar vatnsstaða mýranna og útstreymi gróðurhúsalofttegunda stöðvast. Þó er ekki um að ræða nettó bindingu gróðurhúsalofttegunda þar sem útstreymi metans frá mýrlendi vegur upp á móti söfnun lífræns efnis. Skv. rannsóknum frá Landbúnaðarháskólanum má áætla að losun gróðurhúsaloft-tegunda minnki um 24,5 tonn af CO<sub>2</sub> ígildi á hvern hektara ef fyllt er í skurði, eða 2.450 tonn á hvern km<sup>2</sup> sem endurheimtur er á ári. Ef gert er ráð fyrir að endurheimt þeirra 900 km<sup>2</sup> sem eru í lítilli notkun vaxi línulega frá árinu 2017 og að endurheimt hafi náðst að fullu á árinu 2025, auk þess að sömu kostnaðar- og ábata forsendur eru notaðar og nýttar voru í skýrslu frá árinu 2009, er meðaltals kostnaður per tonn 916 kr/tonn CO<sub>2</sub> ( 11-6).



Mynd 11-6. Binding gróðurhúsalofttegunda með endurheimt votlendis

### 11.5 Samantekt

Rannsóknir sýna að með landgræðslu binst kolefni í plöntum og jarðvegi í langan tíma en binding fer eftur landgræðum og aðstæðum og er um 100-500 tonn CO<sub>2</sub> ígildi á km<sup>2</sup> á ári. Mat á bindingu kolefnis vegna landgræðsluverkefna ræðst af forsendum um árlegt umfang, árlega bindingu og tímabil bindingar. Þrjár sviðsmyndir voru skoðaðar til með meta tæknilega möguleika til landgræðslu, grunntilvik, miðtilvik og hátílvik. Í grunntilviki er gert ráð fyrir að umfang landgræðsluverkefna verði svipað og undanfarin ár. Í miðtilviki er gert ráð fyrir að umfang verði tvisvar sinnum hærra en í grunntilviki og í hátílviki er gert ráð fyrir að umfang verði fjórum sinnum hærra en í grunntilviki.

Niðurstöður sýna að umfang árlegra nýrra aðgerða í landgræðslu er frá 4.076 hekturum í grunntilviki upp í 16.304 hektara í hátílviki. Samsvarandi heildarumfang bindingar er frá 375 þúsund tonnum í 777

þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda árið 2030. Kostnaður við bindinguna með landgræðslu per hektara yfir líftíma bindingar er 5.760 kr/ha og miðað við 2,1 tonna bindingu per ha kostar 2.743 kr að binda tonn af kolefni með landgræðslu.

Rannsóknir sýna að verulegt magn kolefnis binst í skógi, og að umtalsverður breytileiki er á magninu eftir aldri, trjátegund og staðsetningu eða frá 60 til 1120 tonn CO<sub>2</sub> á km<sup>2</sup> á ári.

Líkt og í landgræðslu voru þrjár sviðsmyndir skoðaðar til með meta tæknilega möguleika til bindingar kolefnis með skógrækt; grunntilvik, miðtilvik og hátílvik. Í grunntilviki var gert ráð fyrir skógrækt sem samsvarar meðaltali ræktunarumfangs áráanna 2011-2013, eða 1.068 hektarar árlega. Í miðtilviki var gert ráð fyrir að fjöldi hektara í grunntilviki tvöfaldist, og í hátílviki er gert ráð fyrir að fjöldi hektara í grunntilviki fjórfaldist.

Niðurstöður sýna að heildarumfang bindingar árið 2030 vegna skógræktar gæti orðið 369 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda í grunntilviki og 535 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda í hátílviki. Kostnaður við bindinguna var metinn um 2.500 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub> ígildi.

Þegar votlendi er ræst fram nær súrefni niður í jarðveginn og við það losna gróðurhúsalofttegundir út í andrúmsloftið þegar rotnun plöntuleifa hefst. Losun gróðurhúsalofttegunda úr framræstu votlendi á Íslandi árið 2013 var metin 11,7 milljónir tonna CO<sub>2</sub> ígildi sem er 73% af um 16 milljóna tonna heildarlosun landsins. Þó ber að minna á að losun vegna lands sem framræst var fyrir árið 1990 er ekki talið fram í bókhalda sem varðar skuldbindingar Íslands innan Kyoto-bókunarinnar.

Um 4.200 km<sup>2</sup> votlendis hafa verið ræstir fram hér á landi með um 34 þúsund km af skurðum. Af því landi sem ræst hefur verið fram er um 900 km<sup>2</sup> í lítilli beinni notkun. Skv. rannsóknnum frá Landbúnaðarháskólanum má áætla að ef fyllt er í skurði þá stöðvast losun GHG um 24,5 tonn af CO<sub>2</sub> ígildi á hvern hektara, eða 2.450 tonn á hvern km<sup>2</sup> sem endurheimtur er á ári. Líkt og í tilviki landgræðslu og skógræktar voru 3 sviðsmyndir metnar þar sem metið var ef 10%, 50% eða 100% endurheimt af þeim 900 km<sup>2</sup> sem eru í lítilli notkun hafi náðst á árinu 2025. Ef gert er ráð fyrir að 10% af þeim 900 km<sup>2</sup> sem eru í lítilli notkun hafi náðst má gera ráð fyrir að komið hafi í veg fyrir losun um 220 þúsund tonna af CO<sub>2</sub> ígildi. Ef um 50% hefur verið endurheimt má gera ráð fyrir bindingu uppá 1,1 milljón tonn. Ef gert er ráð fyrir að endurheimt 100% þeirra 900 km<sup>2</sup> sem eru í lítilli notkun hafi náðst að fullu á árinu 2025 gæti heildarbinding vegna endurheimt votlendis verið um 2,2 milljónir tonna af CO<sub>2</sub> ígildi árið 2030. Ef sömu kostnaðar- og ábata forsendur eru notaðar og notaðar voru í skýrslu sérfræðinganeftdar frá árinu 2009, er meðaltalskostnaður per tonn 920 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígildi.

## 12 Markaðstengdar aðgerðir

### 12.1 Viðskipti með losunarheimildir og önnur markaðstengd stjórnæki í loftslagsmálum

#### 12.1.1 Losunarheimildir - stjórnæki til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda

Loftslagsbreytingar eru hnattrænt viðfangsefni og aðgerðir til að sporna við skaðlegum afleiðingum þeirra eru sameiginlegt verkefni allra ríkja heims.<sup>2</sup> Almennt hefur ekki þýðingu hvar á jarðarkringlunni mótvægisáðgerðir fara fram, að því gefnu að dregið sé úr heildarmagni gróðurhúsalofttegunda sem losað er í andrúmsloftið. Möguleikar á hagkvæmum mótvægisáðgerðum eru hins vegar mismunandi eftir svæðum heims, meðal annars vegna þess hve þróun hreinna orkugjafa og loftslagsvænnar tækni er mislangt á veg komin. Tækifæri til að draga úr losun með ódýrum aðferðum eru yfirleitt fleiri í þróunarríkjum þar sem stuðst er við eldri og orkufrekari tækni, enda má þar oft ná miklum árangri með einföldum endurbótum á framleiðsluferlum og mengunarvörnum. Auk þess eru möguleikar til mótvægisáðgerða mismiklir eftir geirum samfélagsins og þeir geta tekið breytingum á skömmum tíma vegna tækniþróunar og breyttrar eftirspurnar.

Markaðstengd stjórnæki hafa af þessum sökum þótt ákjósanlegur valkostur í loftslagsmálum, en með þeim er leitast við að fella kostnað vegna mengunar inn í beinan kostnað við þá framleiðslu eða þjónustu sem orsakar mengunina. Áhrif mengunar á samfélagið eru með öðrum orðum verðlögð og fjárhagsleg ábyrgð lögð á mengunarvaldinn og þá sem kjósa að nota mengandi vörur og þjónustu, í stað samfélagsins í heild. Með því skapast fjárhagslegur hvati til að leita loftslagsvænna lausna, auk þess sem líkur aukast á að mótvægisáðgerðir fari fram þar sem mestur árangur fæst fyrir fjárfestingar hverju sinni. Þannig er hægt að draga úr heildarkostnaði við mótvægisáðgerðir, stýra fjármagni í loftslagsvænnar tækninýjungar og stuðla að því að ríki gangist undir metnaðarfullri skuldbindingar en ella. Þetta er sérstaklega mikilvægt í baráttunni við loftslagsbreytingar þar sem nauðsynlegar mótvægisáðgerðir hafa umtalsverð áhrif á efnahagslíf ríkja og snerta flest svið samfélagsins.

Viðskipti með losunarheimildir eru dæmi um markaðstengd stjórnæki sem beitt er til að sporna gegn losun gróðurhúsalofttegunda.<sup>3</sup> Losunarheimildir fela í sér rétt til að losa gróðurhúsalofttegundir. Ef sá réttur er gerður framseljanlegur skapast hvati fyrir fyrirtæki og ríki til að draga úr losun og komast þannig hjá því að kaupa losunarheimildir, auk þess sem hægt er að koma ónotuðum losunarheimildum í verð. Þessi hvati er þó eingöngu fyrir hendi ef markaðsvirði losunarheimilda er meira en kostnaður við að draga úr losun. Næg eftirspurn eftir losunarheimildum og sterkur kolefnismarkaður er því lykilsenda fyrir umhverfislegum ávinningi af viðskiptum með losunarheimildir.

Til eru tvær megingerðir viðskipta með losunarheimildir. Hefðbundin viðskiptakerfi með losunarheimildir, sem nefnast á ensku „cap and trade“, byggjast á því að ákveðið sé tiltekið losunarhámark fyrir tiltekið tímabil. Losunarheimildum er síðan úthlutað til aðila innan kerfisins, ýmist endurgjaldslaust eða gegn gjaldi. Viðskipti með úthlutaðar losunarheimildir Kýótó-bókunarinnar eru dæmigerð fyrir þessa tegund. Hin megingtegund viðskiptakerfa miðast við árangur fremur en magntakmarkanir og nefnist á ensku „baseline and credit“. Markmið slíkra viðskiptakerfa er að draga úr losun miðað við tiltekið ástand. Til að mæla árangur af verkefnum í slíku kerfi þarf í upphafi að skilgreina viðmiðunarástand, þ.e. þá losun sem orðið hefði á svæðinu án verkefnisins, og mæla árangur verkefnisins með hliðsjón af því. Ef ljóst er að verkefnið hefur leitt til minni losunar en orðið hefði ella

<sup>2</sup> Upplýsingar í kaflanum miðast við 1. ágúst 2016, nema annað sé tekið fram.

<sup>3</sup> Af öðrum markaðstengdum stjórnækjum sem notuð eru í loftslagsmálum má til dæmis nefna kolefnisskatta sem eru ýmist lagðir á losunina sjálfa eða vörur og þjónustu sem leiða til losunar. Sjá nánar *Market Mechanisms: Understanding the Options*, C2ES: Center for Climate and Energy Solutions, Arlington VA, 2015, bls. 3.

eru gefnar út nýjar losunarheimildir sem endurspeгла þann árangur. Loftslagsvæn þróunarverkefni (CDM), sem byggjast á ákvæði í Kýótó-bókuninni, eru dæmi um þessa tegund viðskipta.

Þrátt fyrir að skiptar skoðanir séu um hvort og hvernig nýta eigi markaðsöflin í baráttunni gegn loftslagsbreytingum hefur viðskiptum með losunarheimildir vaxið fiskur um hrygg undanfarin ár og er nú víða um heim litið á þau sem öflugt stjórnþæki til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. International Carbon Action Partnership (ICAP) tók saman skýrslu sem inniheldur yfirlit yfir kolefnismarkaði sem nú eru starfræktir (2016). Kolefnismarkaðurinn leikur stórt hlutverk við framkvæmd Kýótó-bókunarinnar, en iðnríkjum sem tóku á sig tölulegar skuldbindingar er heimilt að efna skyldur sínar að hluta til með loftslagsvænum fjárfestingum í öðrum ríkjum eða með því að kaupa losunarheimildir af öðrum ríkjum. Auk þess hefur Evrópusambandið um árábil skilgreint viðskiptakerfi með losunarheimildir sem lykilstjórnþæki sambandsins í loftslagsmálum, og lítur á öflugan kolefnismarkað sem forsendu þess að sambandið nái langtímamarkmiði sínu um 80% samdrátt í losun gróðurhúsalofttegunda fyrir árið 2050. (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 2011, bls. 6-7). Á síðustu árum hefur lands- og svæðisbundnum viðskiptakerfum með losunarheimildir verið komið á fót víða um heim og svonefndum valfrjálsum kolefnismörkuðum hefur fjölgað. Fjallað verður nánar um mismunandi tegundir viðskipta með losunarheimildir í eftirfarandi köflum.

## 12.2 Alþjóðleg viðskipti með losunarheimildir

### 12.2.1 Almennt um sveigjanleikaákvæði Kýótó-bókunarinnar

Kýótó-bókunin við loftslagssamning Sameinuðu þjóðanna endurspeglar þá þróun sem orðið hefur undanfarna áratugi í átt að aukinni nýtingu markaðstengdra stjórnþækja í umhverfismálum.<sup>4</sup> Bókunin felur í sér margs konar sveigjanleika fyrir ríki og færir sér markaðsöflin í nyt til að draga úr kostnaði við mótvægisáðgerðir. Sveigjanleikaákvæðin gera ríkjum kleift að afla fleiri losunarheimilda en þeim var úthlutað, annað hvort með beinum viðskiptum eða með því að fjárfesta í loftslagsvænum verkefnum í iðnríkjum eða þróunarríkjum, eins og nánar verður lýst í næstu köflum.

Hugmyndin að baki sveigjanleikaákvæðunum var umdeild meðal sammingsaðila Kýótó-bókunarinnar. Þróunarríki og ýmis Evrópuríki töldu að með ákvæðunum væri ríkjum sem mesta ábyrgð bæru á loftslagsbreytingum gert kleift að „kaupa sig undan ábyrgð“ í stað þess að grípa til aðgerða heima fyrir. (Yamin, Farhana og Depladge, 2004, bls. 139-140). Til að koma til móts við þessi sjónarmið var það skilyrði sett að iðnríki skyldu efna skyldur sínar að umtalsverðu leyti innanlands og að aðgerðir á grundvelli sveigjanleikaákvæðanna skyldu eingöngu koma til viðbótar slíkum mótvægisáðgerðum. (d-liður 1. mgr. 6. gr., b-lið 3. mgr. 12. gr. og 17. gr. Kýótó-bókunarinnar).

Sveigjanleikaákvæði Kýótó-bókunarinnar hafa verið talsvert nýtt af aðildarríkjum hingað til. Engu að síður hafa kerfin ekki reynst jafnárangursrík stjórnþæki og vonast var eftir. Það skýrist að hluta til af því að um er að ræða nýstárleg og flókin kerfi og hafa ýmsir hnökror verið á framkvæmd þeirra, einkum að því er varðar loftslagsvæn þróunarverkefni. Ekki hefur tekist að girða fyrir svik og misnotkun og erfiðlega hefur gengið að tryggja landfræðilega dreifingu verkefna. Vandinn felst þó fyrst og fremst í því að framboð alþjóðlegra losunarheimilda hefur farið langt fram úr eftirspurn og verð þeirra hefur því lækkað statt og stöðugt. Þetta hefur orðið til þess að veikja tiltrú ríkisstjórna og fjárfesta á alþjóðlegum

---

<sup>4</sup> Texti bókunarinnar, bæði á ensku og íslensku, var birtur sem fylgiskjal með þingsályktunartillögu um aðild Íslands að bókuninni. Sjá Alþt. 2001-2002, A-deild, 127. löggjafarþing, þskj. 1100, bls. 5115-5152.

viðskiptum með losunarheimildir. (*Climate Change, Carbon Markets and the CDM: A Call to Action*, Report of the High-Level Panel on the CDM Policy Dialogue, 2012, bls. 19).

Offramboð alþjóðlegra losunarheimilda á sér ýmsar skýringar, en sú helsta er talin vera hve skammt ríki heims hafa viljað ganga í að skuldbinda sig til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. (World Bank/Ecofys, 2014, bls. 38). Þau ríki sem hafa skuldbundið sig til magntakmarkana á öðru skuldbindingartímabili Kýótó-bókunarinnar (2013-2020) losa samanlagt um 14-15% af heimslosun, sem er enn lægra hlutfall en á fyrsta skuldbindingartímabilinu (2008-2012) þar sem Kanada, Japan, Nýja-Sjáland og Rússland hafa nú sagt sig frá bókuninni. (European Commission, 2013). Þá hefur óvissa um framtíðarskuldbindingar ríkja haft áhrif. Lengi var óvíst hvort framhald yrði á Kýótó-bókuninni eftir 2012 og enn fremur um hvort sveigjanleikaákvæðin yrðu hluti nýs alþjóðlegs samnings sem samþykktur var á 21. aðildarríkjaþingi loftslagssamningsins í París í desember 2015.

Spár gera ráð fyrir að verð losunarheimilda muni áfram haldast lágt. (World Bank/Ecofys, 2015, bls. 34). Sveigjanleikaákvæði Kýótó-bókunarinnar fela af þessum sökum í sér stöðugt minni hvatningu til loftslagsvænna fjárfestinga og hafa ríki verið hikandi við að setja sér stefnu um að nýta alþjóðleg viðskipti og loftslagsvæn verkefni til að efna alþjóðlegar skuldbindingar sínar.<sup>5</sup>

### 12.2.2 Viðskipti með alþjóðlegar losunarheimildir

Þeim aðildarríkjum Kýótó-bókunarinnar sem hafa gengist undir magntakmarkanir á losun gróðurhúsalofttegunda er að ákveðnu marki heimilt að efna skuldbindingar sínar með því að kaupa losunarheimildir af öðrum ríkjum (e. international emissions trading, IET).<sup>6</sup> Lýsa má viðskiptunum sem samvinnu tveggja ríkja um efndir þjóðréttarlegra skuldbindinga sinna samkvæmt bókuninni. Ríkjum sem ekki geta staðið við magntakmarkanir sínar er gefinn kostur á að kaupa losunarheimildir af ríkjum sem ekki þurfa á öllum sínum úthlutuðu heimildum að halda. Heimilt er að leyfa einkaaðilum að taka þátt í slíkum viðskiptum en ríkið ber eftir sem áður ábyrgð á því að fylgt sé reglum sem aðildarríkjaþingið hefur komið sér saman um. Þátttaka einkaaðila er sömuleiðis háð því að ríkið uppfylli öll nauðsynleg skilyrði þess að mega stunda viðskipti með alþjóðlegar losunarheimildir.<sup>7</sup>

Talsverður afgangur varð af úthlutuðum heimildum eftir fyrsta skuldbindingartímabil Kýótó-bókunarinnar 2008-2012 og hefur aðildarríkjaþing loftslagssamningsins samþykkt ýmsar takmarkanir á alþjóðlegum viðskiptum til að koma í veg fyrir að þau grafi undan árangri alþjóðasamvinnunnar. (World Bank/Ecofys, 2013, bls. 26-27). Vegna offramboðs á alþjóðlegum heimildum undanfarin ár hefur verð úthlutaðra eininga verið lágt, en það féll um tæplega 90% árið 2012 og hefur haldist lágt síðan. (World Bank/Ecofys, 2015, bls. 37).

Heimildin til að eiga viðskipti gildir um allar tegundir losunarheimilda sem gefnar eru út á grundvelli Kýótó-bókunarinnar.<sup>8</sup> Bókunin hefur ekki að geyma reglur um framkvæmd viðskiptanna eða kröfur um

---

<sup>5</sup> Sjá til hliðsjónar: *Climate Change, Carbon Markets and the CDM: A Call to Action*, bls. 18.

<sup>6</sup> Sjá 17. gr. Kýótó-bókunarinnar. Sjá einnig viðauka við ákvörðun nr. 11/CMP.1 (*Modalities, rules and guidelines for emissions trading under Article 17 of the Kyoto Protocol*), FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.2. („Leiðbeiningarreglur um viðskipti með losunarheimildir.“) Með „iðnríkjum“ er hér átt við aðildarríki sem getið er í viðauka B við Kýótó-bókunina.

<sup>7</sup> Sjá 5. gr. leiðbeiningarreglna um viðskipti með losunarheimildir. Meðal þeirra skilyrða er að ríkið mæli losun í samræmi við reglur aðildarríkjaþingsins og uppfylli kröfur um skýrsluskil til aðildarríkjaþingsins. Sjá 2. gr. leiðbeiningarreglna um viðskipti með losunarheimildir.

<sup>8</sup> Um er að ræða fjórar tegundir losunarheimilda: úthlutaðar einingar (AAUs), bindingareiningar (RMUs), samvinnueiningar (ERUs) og þróunareiningar (CERs). Sérhver framangreindra eininga veitir heimild til að losa

form eða efni samninga. Ríkjum, eða eftir atvikum einkaaðilum, er því frjálst að eiga viðskipti með hverjum þeim hætti sem þau kjósa, t.d. í formi framvirkra samninga eða gegnum sjóði eða aðra milliliði. Afhending losunarheimilda, þ.e. flutningur losunarheimilda milli skráningarkerfa ríkja, getur á hinn bóginn ekki farið fram nema fullnægt sé skilyrðum Kýótó-bókunarinnar um viðskiptin. (Witt Wijnen, Rutger de, 2005, bls. 410).

### 12.2.3 Samvinnuverkefni

Samvinnuverkefni (e. joint implementation, JI) fara þannig fram að tvö iðnríki, eða einkaaðilar sem hafa fengið heimild viðkomandi ríkis til þátttöku, ákveða með samningi að vinna saman að mótvægisáðgerð í öðru ríkinu, s.s. verkefni á sviði endurnýjanlegrar orku eða uppsetningu nýs mengunarvarnarbúnaðar.<sup>9</sup> Ef verkefnið leiðir til samdráttar í losun eða kolefnisbindingar sem ekki hefði orðið án verkefnisins er greitt fyrir árangurinn með losunarheimildum sem skiptast milli þátttakenda verkefnisins samkvæmt samningi þeirra á milli.

Skilyrði fyrir þátttöku í samvinnuverkefnum eru meðal annars að ríki hafi tekið á sig magntakmarkanir á losun gróðurhúsalofttegunda samkvæmt Kýótó-bókuninni og uppfylli ýmsar formlegar kröfur varðandi vöktun losunar og skýrslugjöf. Auk þess þarf ríkið að hafa tilnefnt stofnun sem kemur fram fyrir hönd ríkisins í tengslum við verkefnið.<sup>10</sup> Ríki sem taka þátt í samvinnuverkefnum hafa öll fengið úthlutað losunarheimildum samkvæmt Kýótó-bókuninni og má í reynd segja að verkefnið feli í sér viðskipti með þessar heimildir. Þegar ljóst verður hvaða árangur hefur orðið af verkefninu fer uppgjör þannig fram að úthlutaðum losunarheimildum (e. assigned amount units, AAUs) ríkisins þar sem samdráttur verður í losun er breytt í svokallaðar samvinnueiningar (e. emission reduction units, ERUs) og þær fluttar í skráningarkerfi ríkisins sem fjármagnaði verkefnið eða studdi það með öðrum hætti.<sup>11</sup>

Samvinnuverkefni hafa verið umtalsvert færri en loftslagsvæn þróunarverkefni, sem lýst verður í næsta kafla, en hvert verkefni felur þó í sér viðskipti með hlutfallslega fleiri losunarheimildir. (Redmond, Luke og Covery, Frank, 2014, bls. 14). Frá upphafi var búist við að samvinnuverkefni færu einkum fram í löndum Austur-Evrópu þar sem markaðshagkerfi var að ryðja sér rúms á síðasta áratug 20. aldar. Sú hefur orðið raunin, en stærsti hluti skráðra samvinnuverkefna hefur farið fram í Rússlandi og Úkraínu. (World Bank/Ecofys, 2013, bls. 25). Verð losunarheimilda úr kerfinu hefur verið mjög lágt undanfarin ár og óvíst er hvort kerfið verði starfrækt út tímabilið 2013-2020, ekki síst í ljósi þess að Rússland hefur sagt sig frá Kýótó-bókuninni. (World Bank/Ecofys, 2013, bls. 26).

---

eitt tonn af hverri þeirra sex gróðurhúsalofttegunda sem getið er í viðauka A með Kýótó-bókuninni, reiknað í koldíoxíðsígildum. Sjá 5. gr. leiðbeiningarreglna um viðskipti með losunarheimildir.

<sup>9</sup> Sjá 6. gr. Kýótó-bókunarinnar. Sjá einnig viðauka við ákvörðun nr. 9/CMP.1 (*Guidelines for the implementation of Article 6 of the Kyoto Protocol*), FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.2. („Leiðbeiningarreglur um samvinnuverkefni“.)

<sup>10</sup> Sjá a-lið 20. gr. leiðbeiningarreglna um samvinnuverkefni.

<sup>11</sup> Sjá 29. gr. viðauka við ákvörðun nr. 13/CMP.1 (*Modalities for the accounting of assigned amounts under Article 7, paragraph 4, of the Kyoto Protocol*), FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.2. („Leiðbeiningarreglur um skráningu losunarheimilda“.)

#### 12.2.4 Loftslagsvæn þróunarverkefni

Loftslagsvænum þróunarverkefnum (e. clean development mechanism, CDM) svipar á margan hátt til samvinnuverkefna, sem lýst var hér að ofan.<sup>12</sup> Sá meginmunur er á að loftslagsvæn þróunarverkefni eru unnin í þróunarríkjum, þ.e.a.s. ríkjum sem ekki eru bundin af magntakmörkunum Kýótó-bókunarinnar. Verkefnin fela því ekki í sér tilfærslu á losunarheimildum frá einu iðnríki til annars heldur útgáfu nýrra losunarheimilda, svonefndra þróunareininga (e. certified emission reduction units, CERs), sem hægt er að nýta til að efna skuldbindingar iðnríkja samkvæmt Kýótó-bókuninni.

Með loftslagsvænum þróunarverkefnum er leitast við að samtvinna hagsmuni iðnríkja og þróunarríkja og koma þannig á samvinnu þeirra við að draga úr og bregðast við skaðlegum áhrifum loftslagsbreytinga. Til viðbótar við þann sveigjanleika sem loftslagsvæn þróunarverkefni veita iðnríkjum til að efna skuldbindingar sínar er kerfinu ætlað að hvetja til loftslagsvænna fjárfestinga í þróunarríkjum, með tilheyrandi tilfærslu á fjármunum og tækniþekkingu, og stuðla þannig að sjálfbærri þróun.<sup>13</sup> Að auki fara 2% af útgefnum þróunareiningum í sérstakan sjóð sem ætlað er að fjármagna aðgerðir á sviði aðlögunar í þróunarríkjum sem eru sérstaklega viðkvæm fyrir áhrifum loftslagsbreytinga.<sup>14</sup>

Um 7.700 verkefni hafa nú verið skráð sem loftslagsvæn þróunarverkefni, þar af nær helmingurinn í Kína.<sup>15</sup> Verulega hefur dregið úr skráningu nýrra verkefna síðan 2013.<sup>16</sup> Verkefnin eru á ýmsum sviðum en stærsti hluti þeirra tengist endurnýjanlegum orkugjöfum og orkuframleiðslu.<sup>17</sup> Nokkuð hefur verið um jarðvarmaverkefni og má sem dæmi nefna að svissnesk og hollensk fyrirtæki hafa tekið þátt í þróunarverkefnum á sviði jarðvarma í Níkaragúa, Kenía, Filippseyjum og Indónesíu.<sup>18</sup> Viðskipti með losunarheimildir sem gefnar eru út í kerfinu fara bæði fram á frummarkaði, þ.e. í beinum tengslum við fjármögnun viðkomandi verkefna, og á eftirmarkaði, þ.e. gegnum sjóði og aðra milliliði sem selja þróunareiningarnar án tengsla við verkefnin. Helsta eftirspurnin eftir þróunareiningum hefur verið hjá fyrirtækjum sem heyra undir viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir, en þessum fyrirtækjum er að ákveðnu marki heimilt að efna skyldur sínar með einingum sem upprunnar eru í sveigjanleikakerfum Kýótó-bókunarinnar. (Redmond, Luke og Covery, Frank, 2014, bls. 2).

Á aðildarríkjaþinginu í Doha árið 2012 var ákveðið að kerfi loftslagsvænna þróunarverkefna skyldi starfrækt að minnsta kosti út árið 2020. Sem fyrr segir hefur þó dregið verulega úr eftirspurn eftir einingum úr kerfinu. Gert er ráð fyrir að framboð eininga úr verkefnum verði talsvert meira en eftirspurnin á tímabilinu 2013-2020 og að eftirspurnin verði að mestu leyti bundin við viðskiptakerfi

---

<sup>12</sup> Mælt er fyrir um loftslagsvæn þróunarverkefni í 12. gr. Kýótó-bókunarinnar og viðauka við ákvörðun nr. 3/CMP.1 (*Modalities and procedures for a clean development mechanism as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol*), FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1. („Leiðbeiningarreglur um loftslagsvæn þróunarverkefni“.)

<sup>13</sup> Sjá 2. mgr. 12. gr. Kýótó-bókunarinnar.

<sup>14</sup> Sjóðurinn nefnist Adaptation Fund. Sjá 20. gr. ákvörðunar 1/CMP.8 (*Amendment to the Kyoto Protocol pursuant to its Article 3, paragraph 9 (the Doha Amendment)*), FCCC/KP/CMP/2012/13/Add.1.

<sup>15</sup> Sjá [https://cdm.unfccc.int/Statistics/Public/files/201606/proj\\_reg\\_byHost.pdf](https://cdm.unfccc.int/Statistics/Public/files/201606/proj_reg_byHost.pdf). (Upplýsingar miðast við 30. júní 2016.)

<sup>16</sup> Sjá <https://cdm.unfccc.int/Statistics/Public/files/201606/regnum.pdf>. (Upplýsingar miðast við 30. júní 2016.)

<sup>17</sup> Sjá [https://cdm.unfccc.int/Statistics/Public/files/201606/proj\\_reg\\_byScope.pdf](https://cdm.unfccc.int/Statistics/Public/files/201606/proj_reg_byScope.pdf). (Upplýsingar miðast við 30. júní 2016.)

<sup>18</sup> Sjá <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>.

Evrópusambandsins og kaup Evrópuríkja á heimildum til að efna losunarmörk utan viðskiptakerfisins. (World Bank/Ecofys, 2013, bls. 20).

## 12.3 Markaðstengd stjórnæki Evrópusambandsins í loftslagsmálum

### 12.3.1 Viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir

Viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir (e. EU Emissions Trading System, EU ETS) hefur verið starfrækt frá árinu 2005 og er lykilaðgerð Evrópusambandsins til að ná markmiði loftslags- og orkupakkans svonefnda, um 20% samdrátt í losun gróðurhúsalofttegunda fyrir árið 2020, miðað við árið 1990. Kerfinu var komið á fót með tilskipun 2003/87/EB, sem hefur verið breytt nokkrum sinnum, meðal annars með tilskipun 2009/29/EB sem fól í sér gagngera endurskoðun á uppbyggingu og framkvæmd kerfisins.<sup>19</sup>

Viðskiptakerfið er í eðli sínu kvótakerfi sem byggist á því að í upphafi hvers tímabils er tekin ákvörðun um heildarmagn losunar gróðurhúsalofttegunda frá starfsemi sem heyrir undir kerfið. Losunarheimildum er síðan úthlutað til viðkomandi rekstraraðila eftir tilteknum reglum, ýmist endurgjaldslaust eða gegn gjaldi. Ef losun starfsstöðvar er innan losunarheimilda á tilteknu ári er rekstraraðilanum heimilt að framselja umframheimildir, en fari losunin fram úr heimildum þarf hann að kaupa þær sem upp á vantar, ýmist á uppboði eða á frjálsum markaði. Kerfið felur þannig í sér hagræna hvata og sveigjanleika fyrir stjórnendur fyrirtækja sem falla undir kerfið til að draga úr losun á sem hagkvæmastan hátt og er ætlað að beina mótvægisáðgerðum þangað sem mestur árangur fæst fyrir peningana hverju sinni. Með því að verðleggja losun gróðurhúsalofttegunda er ætlunin einnig að ýta undir aukna umhverfisvernd í rekstri fyrirtækja og gera stjórnendur þeirra meðvitaðri um þann kostnað sem samfélaginu stafar af loftslagsbreytingum.

Yfirstandandi tímabil viðskiptakerfisins er frá 1. janúar 2013 til 31. desember 2020, sem samsvarar öðru skuldbindingartímabili Kýótó-bókunarinnar. Reglur kerfisins tóku miklum breytingum í upphafi tímabilsins; úthlutunarreglur voru samræmdar og úthlutunin færð undir vald framkvæmdastjórnar Evrópusambandsins í stað þess að heyra undir hvert aðildarríki eins og áður var. Auk þess er stærri hluti losunarheimilda en áður boðinn upp og gert er ráð fyrir að losunarheimildum verði með tímanum aðeins úthlutað endurgjaldslaust til starfsemi sem hætt er við að flytjist til ríkja utan Evrópusambandsins vegna áhrifa kerfisins á samkeppnisstöðu, en verði að öðru leyti boðnar upp.<sup>20</sup>

Yfir 11 þúsund starfsstöðvar í iðnaði og orkuvinnslu heyra nú undir viðskiptakerfið. Auk Evrópusambandsríkjanna 28 nær kerfið einnig til Íslands, Noregs og Liechtenstein vegna Samningsins um Evrópskt efnahagssvæði (EES-samningsins). Samanlögð losun starfsstöðva sem heyra undir kerfið jafngildir nú um 45% af heildarlosun á Evrópska efnahagssvæðinu.<sup>21</sup> Þá heyrir fjöldi flugrekenda undir kerfið eftir að flug innan Evrópska efnahagssvæðisins var fellt undir gildissvið þess árið 2012.<sup>22</sup>

---

<sup>19</sup> Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC. Stjtíð. ESB, L 275, 25.10.2003, bls. 32; Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community. Stjtíð. ESB, L 140, 5.6.2009, bls. 63.

<sup>20</sup> Sjá 10. gr. tilskipunar 2003/87/EB, sbr. 11. tölul. 1. gr. og 21. tölul. aðfaraorða tilskipunar 2009/29/EB.

<sup>21</sup> [http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm)

<sup>22</sup> Directive 2008/101/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 amending Directive 2003/87/EC so as to include aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within

Evrópski markaðurinn með losunarheimildir er nú sá stærsti sinnar tegundar í heiminum og hefur viðskiptakerfi Evrópusambandsins verið fyrirmynd að stofnun sambærilegra kerfa víða um heim. Allt frá stofnun kerfisins árið 2003 hefur Evrópusambandið stefnt að því að kerfið verði með tímanum hluti af alþjóðlegum kolefnismarkaði sem muni leika lykilhlutverk við að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda á heimsvísu. Mikilvægt skref í þessa átt var stigið strax árið 2004 þegar evrópska kerfið var tengt verkefnatengdum markaðskerfum Kýótó-bókunarinnar, loftslagsvænum þróunarverkefnum og samvinnuverkefnum, og fyrirtækjum í evrópska kerfinu þannig gert kleift að efna skuldbindingar sínar að hluta með alþjóðlegum einingum.<sup>23</sup>

Losun í þeim geirum sem heyra undir viðskiptakerfið dróst saman um 13% á tímabilinu 2005-2013, sem þykir sýna fram á þýðingu kerfisins sem stjórnækis til að ná markmiði Evrópusambandsins í loftslagsmálum. (ICAP, 2015, bls. 8). Mikill vandi blasir hins vegar við kerfinu á tímabilinu 2013-2020 vegna offramboðs losunarheimilda og tilheyrandi verðhruns á evrópska kolefnismarkaðnum. Verð evrópskra losunarheimilda (e. European Union allowances, EUA) náði hámarki við upphaf annars viðskiptatímabilsins árið 2008, þegar það var um 30 evrur á tonn af CO<sub>2</sub> ígildum. (ICAP, 2015, bls. 8). Árið 2007 spáði framkvæmdastjórn Evrópusambandsins því að verð á evrópskum losunarheimildum yrði áfram 30 evrur árið 2020. Verð losunarheimilda hefur hins vegar verið mun lægra undanfarin ár eða um 5 evrur á tonn af CO<sub>2</sub> ígildum. (World Bank Group/Ecofys, 2016, bls. 10). Helstu skýringar á ójafnvæginu sem skapaðist á framboði og eftirspurn losunarheimilda hafa verið taldar annars vegar alþjóðlega fjármálakreppan árið 2008 og hins vegar mikil notkun á losunarheimildum úr sveigjanleikakerfum Kýótó-bókunarinnar. Þar sem verð alþjóðlegra losunarheimilda hefur verið nokkru lægra en verð evrópskra losunarheimilda undanfarin ár hafa fyrirtæki innan viðskiptakerfisins í auknum mæli kosið að kaupa alþjóðlegar heimildir til að efna skyldur sínar, og dregið þannig úr kostnaði sínum vegna kerfisins. Mikill fjöldi evrópskra losunarheimilda hefur hins vegar verið fluttur yfir á næsta viðskiptatímabil, líkt og reglur kerfisins leyfa. (Redmond, Luke og Covery, Frank, 2014, bls. 5).

Ljóst er að hið lága verð á losunarheimildum hefur áhrif á virkni viðskiptakerfisins sem stjórnækis, enda felur það í sér minni hvata til langtímafjárfestinga í loftslagsvænni tækni og dregur úr tiltrú fólks og fyrirtækja á kerfinu. (Redmond, Luke og Covery, Frank, 2014, bls. 5). Til að bregðast við þessu vandamáli hefur Evrópusambandið ákveðið að fresta uppboði á hluta af losunarheimildum kerfisins til síðustu ára yfirstandandi viðskiptatímabils (e. back-loading) auk þess að gera sérstakar ráðstafanir til að koma í veg fyrir offramboð á markaðnum.<sup>24</sup>

### 12.3.2 Viðskipti með losunarrétt utan viðskiptakerfisins

Viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir nær sem fyrr segir til um 45% losunar gróðurhúsalofttegunda innan sambandsins. Til að koma böndum á losun sem fellur utan gildissviðs kerfisins var í loftslags- og orkupakkanum frá 2008 ákveðið að hverju aðildarríki yrðu sett bindandi

---

the Community, Stjtið. ESB, L 8, 13.1.2009, bls. 3. Upphaflega var ætlunin að kerfið næði einnig yfir flug milli Evrópska efnahagssvæðisins og þriðju ríkja, en vegna andstöðu tiltekinna ríkja utan sambandsins var fallið frá þeim áformum með því skilyrði að samþykktar yrðu aðgerðir um að draga úr losun frá alþjóðaflugum á vettvangi Alþjóðaflugmálastofnunarinnar. Sjá Decision No 377/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 24 April 2013 derogating temporarily from Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, Stjtið. ESB, L 113, 25.4.2013, bls. 1.

<sup>23</sup> Sjá Directive 2004/101/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 amending Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, in respect of the Kyoto Protocol's project mechanisms, Stjtið. ESB, L 338, 13.11.2004, bls. 18.

<sup>24</sup> Sjá [http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/reform/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/reform/index_en.htm)

losunarmörk fyrir geira sem ekki heyra undir viðskiptakerfið. (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 2008, bls. 7). Losunarmörkunum er ætlað að nægja til að standa megi við skuldbindingu Evrópusambandsins samkvæmt Kýótó-bókuninni um 20% samdrátt í losun fyrir 2020, miðað við 1990.<sup>25</sup> Kveðið er á um losunarmörkin og tilheyrandi reglur í ákvörðun nr. 406/2009/EB<sup>26</sup> sem á ensku gengur vanalega undir heitinu *effort sharing decision* og hefur verið kölluð *ákvörðun um skiptingu byrða* á íslensku. (Umhverfisstjórnuneytið, 2010, bls. 6).

Losunarmörkin ná til losunar á flestum sviðum samfélagsins, s.s. frá landsamgöngum, iðnaði, landbúnaði og úrgangi, að því leyti sem viðkomandi losun heyrir ekki undir viðskiptakerfið.<sup>27</sup> Landnotkunaraðgerðir, t.d. landgræðsla og skógrækt, falla þó ekki undir ákvörðunina. Aðildarríki Evrópusambandsins geta því ekki nýtt árangur sem stafar af landnotkunaraðgerðum til að standa við losunarmörk sín samkvæmt ákvörðun um skiptingu byrða.<sup>28</sup>

Ríkjum voru sett mismunandi losunarmörk sem tóku einkum mið af vergri þjóðarframleiðslu á hvern íbúa.<sup>29</sup> Losunarmörkin eru allt frá því að krefjast 20% samdráttar í losun fyrir árið 2020 miðað við 2005, til þess að heimila 20% aukningu losunar. Þau ríki sem skuldbundu sig til að ná mestum árangri voru Lúxemborg, Danmörk og Írland, sem þurfa að draga úr losun um 20%. Svíþjóð þarf að minnka losun um 17%, Bretland um 16% og Frakkland og Þýskaland um 14%. Verr stæðu ríkin fengu á hinn bóginn heimild til að auka losun á tímabilinu. Tékkland má til að mynda auka losun um 9%, Ungverjaland um 10%, Pólland um 14%, Rúmenía um 19% og Búlgaría um 20%.<sup>30</sup> Þó ber að hafa í huga að jafnvel þótt ríki hafi heimild til að auka losun fela losunarmörkin í sér takmörkun miðað við þá aukningu sem annars hefði hugsanlega orðið á tímabilinu.<sup>31</sup>

Í framkvæmd virka losunarmörkin þannig að hvert ríki er skuldbundið til að ná tilteknu takmarki árlega, sem felur almennt í sér samdrátt í losun með línulegum hætti á tímabilinu 2013-2020.<sup>32</sup> Viðkomandi ríki er síðan úthlutað losunarrétti (e. annual emission allocation, AEAs) fyrir sérhvert ár tímabilsins sem samsvarar hinum árlegu mörkum.<sup>33</sup> Á ákveðnum sviðum hefur löggjöf Evrópusambandsins að geyma samræmdar kröfur sem er ætlað að stuðla að samdrætti í losun, s.s. útblásturskröfur fyrir bifreiðar, kröfur um orkunýtni í nýbyggingum, reglur um meðhöndlun flúorgasa og reglur um meðhöndlun úrgangs. (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 2008, bls. 7). Að öðru leyti er aðildarríkjum í sjálfsvald sett hvaða aðferðum og stjórnækjum þau beita til að halda losun innan tilskilinna marka og er því frjálst að beita þeim aðferðum sem best hæfa efnun þeirra og aðstæðum.

---

<sup>25</sup> Sjá sömu heimild.

<sup>26</sup> Decision No 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020, Stjttíð. ESB, L 140, 5.6.2009, bls. 136.

<sup>27</sup> Sjá 1. tölul. 2. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB, sbr. viðauka I.

<sup>28</sup> Sjá 9. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB. Sjá einnig [http://ec.europa.eu/clima/policies/effort/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/effort/index_en.htm).

<sup>29</sup> Sjá 8. tölul. aðfaraorða ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>30</sup> Sjá 1. tölul. 3. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB, sbr. einnig viðauka II.

<sup>31</sup> Sjá 8. tölul. aðfaraorða ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>32</sup> Sjá 2. tölul. 3. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB, sbr. einnig viðauka II.

<sup>33</sup> Sjá 2. tölul. 3. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

(Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 2008, bls. 7).

Ákvörðun um skiptingu byrða veitir ríkjum ýmiss konar svigrúm um hvernig standa má við losunarmörkin. Ríkjum er heimilt að flytja ónotaðan losunarrétt milli ára og nýta allt að 5% af losunarrétti næsta árs fyrirfram.<sup>34</sup> Þá er ríkjum, að ákveðnum skilyrðum uppfylltum, heimilt að eiga viðskipti sín á milli með losunarréttinn. Framselja má allt að 5% af losunarrétti hvers árs,<sup>35</sup> auk þess sem heimilt er að framselja allan ónotaðan losunarrétt frá liðnu ári.<sup>36</sup> Ríkinu sem kaupir losunarréttinn er heimilt að nota hann á hverju af eftirstandandi árum tímabilsins.<sup>37</sup> Loks býðst ríkjum að uppfylla kröfur um losunarmörk með losunarheimildum sem verða til í verkefnatengdum sveigjanleikakerfum Kýótó-bókunarinnar.<sup>38</sup> Notkun slíkra losunarheimilda er þó takmörkuð til að tryggja að stærsti hluti mótvægisáðgerða fari fram innan lögsögu aðildarríkja Evrópusambandsins.<sup>39</sup>

Hugmyndin að baki viðskiptum með losunarrétt í geirum utan viðskiptakerfis með losunarheimildir er sú sama og bak við viðskiptakerfið sjálf: að draga úr heildarkostnaði við að ná markmiði Evrópusambandsins í loftlagsmálum.<sup>40</sup> Viðskiptunum er auk þess ætlað að jafna út kostnað ríkja við mótvægisáðgerðir.<sup>41</sup> Aðstæður ríkja og möguleikar þeirra til að draga úr losun eru mismunandi, en ávinningurinn hinn sami hvar sem aðgerðirnar fara fram. Með því að gera losunarréttinn framseljanlegan er ríkisstjórnnum gefið val um hvort grípa eigi til tiltekinna mótvægisáðgerða eða kaupa frekar losunarrétt af öðru ríki. Gera má ráð fyrir að slík ákvörðun ráðist af því hvort sé ódýrara hverju sinni, og er þannig stuðlað að því að dregið sé úr losun á hagkvæmasta hátt sem völ er á.

Öll viðskipti með losunarrétt skulu tilkynnt framkvæmdastjórn Evrópusambandsins og skráð í skráningarkerfi viðkomandi ríkis.<sup>42</sup> Engar kröfur eru hins vegar gerðar um form eða vettvang viðskiptanna og geta þau farið fram á uppboði, gegnum milliliði, með tvíhliða samningi ríkja eða öðrum hætti sem ríki kjósa.<sup>43</sup> Þar sem viðskipti með losunarrétt hafa eingöngu verið heimil frá janúar 2013 ríkir enn óvissa um áhrif þeirra á aðstæður einstakra ríkja og stjórn loftslagsmála í Evrópu. Vætanlegt umfang viðskiptanna á einnig eftir að koma í ljós, en það veltur á ýmsum þáttum hversu líklegt er að ríki eigi ónotaðan losunarrétt sem unnt er að selja öðrum ríkjum, svo sem því hversu hagfelld hin upphaflega úthlutun losunarréttar var í ákvörðun um skiptingu byrða og því hversu stór hluti af heildarlosun ríkis fellur undir viðskiptakerfi með losunarheimildir. (Schiellerup, Pernille o.fl., 2011, bls. 27). Einnig ríkir óvissa um eftirspurn og þar með verð á losunarrétti, þótt bent hafi verið á að markmið Evrópusambandsins um 20% samdrátt kunní að vera of hóflegt til að skapa mikla eftirspurn eftir losunarrétti samkvæmt ákvörðuninni. (Schiellerup, Pernille o.fl., 2011, bls. 27).

---

<sup>34</sup> Sjá 3. tölul. 3. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>35</sup> Sjá 4. tölul. 3. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>36</sup> Sjá 5. tölul. 3. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>37</sup> Sjá 4. og 5. tölul. 3. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>38</sup> Sjá 5. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>39</sup> Sjá 11. tölul. aðfaraorða ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>40</sup> Sjá 10. tölul. aðfaraorða ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>41</sup> Sjá 10. tölul. aðfaraorða ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>42</sup> Sjá 11. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

<sup>43</sup> Sjá 10. tölul. aðfaraorða ákvörðunar nr. 406/2009/EB.

### 12.3.3 Samvinna við að uppfylla kröfur um hlutdeild endurnýjanlegrar orku

Eitt af markmiðum loftslags- og orkupakka Evrópusambandsins er að 20% af orkunotkun innan sambandsins verði upprunnin í endurnýjanlegum orkugjöfum fyrir árið 2020. (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 2008, bls. 2) Árið 2009 samþykkti Evrópusambandið tiltekið lágmarkshlutfall endurnýjanlegrar orku. Hlutfallið er mishátt eftir aðildarríkjum en er samanlagt ætlað að nægja til að ná markmiðinu um 20% hlutfall af heildarorkunotkun sambandsins. Mælt er fyrir um hlutfall ríkja í tilskipun 2009/28/EB um endurnýjanlega orku.<sup>44</sup> Í tilskipuninni er einnig að finna kröfu um að árið 2020 verði í það minnsta 10% af eldsneytisnotkun í samgöngum innan hvers ríkis úr lífoldsneyti eða öðrum endurnýjanlegum orkugjöfum.<sup>45</sup>

Krafan um hlutfall endurnýjanlegrar orku í samgöngum gildir með samræmdum hætti fyrir öll aðildarríkin.<sup>46</sup> Almenna markmiðinu var á hinn bóginn deilt niður á aðildarríkin eftir því hversu hátt hlutfall orkunotkunar byggðist þá þegar á endurnýjanlegum orkugjöfum, auk þess sem litið var til efnahagslegra aðstæðna ríkja og getu þeirra til að auka hlut endurnýjanlegrar orku.<sup>47</sup> Bretland skuldbatt sig til að tryggja 15% hlutdeild endurnýjanlegrar orku árið 2020, Þýskaland 18%, Frakkland 23%, Danmörk 30% og Svíþjóð 49%, svo að nokkur dæmi séu nefnd.<sup>48</sup>

Ríkin hafa að mestu leyti val um hvaða aðferðir þau nota til að auka notkun endurnýjanlegrar orku. Hverju aðildarríki ber að samþykkja landsáætlun þar sem því er lýst í hvaða geirum aukningin mun eiga sér stað, hvaða endurnýjanlegu orkugjafar verða nýttir og hvaða stjórnþækjum verður beitt.<sup>49</sup> Til að draga úr heildarkostnaði af löggjöfinni og áhrifum á neytendur gerir Evrópusambandið þó ráð fyrir talsverðri samvinnu aðildarríkja og felur löggjöfin í sér þrjá meginvalkosti:<sup>50</sup>

1. Í fyrsta lagi er ríkjum heimilt að gera samkomulag sín á milli um viðskipti með hlutfallstölur (e.statistical transfer) á hlutfalli endurnýjanlegrar orku.<sup>51</sup> Í því felst í grófum dráttum að ríki sem þegar hefur gert nægar ráðstafanir til að ná markmiði sínu framselur öðru ríki hluta af sinni endurnýjanlegu orkunotkun. Þetta má kalla viðskipti með einingar endurnýjanlegrar orku.<sup>52</sup> Ekki er nauðsynlegt að orkan sjálf fylgi með í kaupunum, þótt sú sé oft raunin, og er hinn hreini eiginleiki orkunnar því skilinn frá henni sem sjálfstæð söluvara. Viðskipti með einingar

---

<sup>44</sup> Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, Stjtið. ESB, L 140, 5.6.2009, bls. 16.

<sup>45</sup> 1. og 4. tölul. 3. gr. tilskipunar 2009/28/EB. Sjá einnig *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - 20 20 by 2020 - Europe's climate change opportunity*, COM(2008) 30 final, bls. 7-8.

<sup>46</sup> 4. tölul. 3. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>47</sup> Sjá 15. tölul. aðfaraorða tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>48</sup> 1. tölul. 3. gr. tilskipunar 2009/28/EB, sbr. viðauka I.

<sup>49</sup> Sjá 4. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>50</sup> Sjá nánar um valkostina: *Commission Staff Working Document, Guidance on the use of renewable energy cooperation mechanism*, SWD(2013) 440 final. Þessir valkostir eiga eingöngu við um heildarmarkmiðið um 20% hlutfall endurnýjanlegrar orku af heildarorkunotkun, en ekki markmiðið um 10% hlutfall í samgöngum.

<sup>51</sup> Sjá 6. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>52</sup> Á ensku er stundum vísað til vörunnar sem „renewable credits“.

endurnýjanlegrar orku eru tilkynningaskyld til framkvæmdastjórnar Evrópusambandsins og er skylt að upplýsa um kaupverð.<sup>53</sup>

2. Í öðru lagi geta tvö eða fleiri ríki unnið saman að framkvæmd og fjármögnun sameiginlegra verkefna (e. joint projects) sem fela í sér framleiðslu endurnýjanlegrar orku, eða falið einkaaðilum að eiga slíka samvinnu.<sup>54</sup> Ríkinu sem fjármagnaði eða studdi verkefnið er í kjölfarið heimilt að telja sér til tekna það magn endurnýjanlegrar orku sem varð til með stuðningi þess.<sup>55</sup> Þessi verkefni geta einnig farið fram í ríkjum utan Evrópusambandsins og er fjármögnunarríkinu þá heimilt að ítarlegum skilyrðum uppfylltum að telja sér til tekna aukningu á framleiðslu endurnýjanlegrar orku í viðkomandi ríki, þó aðeins ef orkan er flutt til Evrópusambandsins.<sup>56</sup>
3. Í þriðja lagi er ríkjum heimilt að sameina styrkjakerfi sem komið hefur verið á fót til að hvetja til aukinnar framleiðslu endurnýjanlegrar orku (e. joint support schemes).<sup>57</sup> Slík samvinna getur haft þau áhrif að hluti af framleiðslu endurnýjanlegrar orku verði talinn öðru ríki til tekna en þar sem framleiðslan fór fram.<sup>58</sup>

Samvinna ríkja á grundvelli tilskipunar 2009/28/EB felur í sér nýstárlega nálgun í stjórn orkumála innan Evrópusambandsins. Þar sem framkvæmd þessara kerfa er ekki útfærð nema að litlu leyti í löggjöf sambandsins kemur það í hlut aðildarríkja og einkaaðila sem kjósa að nýta sér kerfin að þróa þau nánar. Enn er lítil reynsla af notkun kerfanna og er því talsverð óvissa um hvernig þau virka í framkvæmd og hvaða áhrif þau munu hafa á framleiðslu endurnýjanlegrar orku í Evrópu. (Poschmann, André og Ide, Anne-Maria, 2013). Vert er að nefna að nú stendur yfir endurskoðun á tilskipun 2009/28/EB og stefnir framkvæmdastjórn Evrópusambandsins að því að afnema kröfur um lágmarkshlutfall ríkja og gera gagngerar breytingar á þeim kerfum sem hér hefur verið lýst.<sup>59</sup>

Til viðbótar má nefna að tilskipun 2009/28/EB kom á fót kerfi með svokallaðar upprunaábyrgðir, sem gerir orkuframleiðendum kleift að selja, óháð orkunni sjálfri, þá staðreynd að orkan sé framleidd úr endurnýjanlegum orkugjöfum.<sup>60</sup> Kaupendum upprunaábyrgðanna, sem geta til dæmis verið kolaorkuframleiðendur í Evrópu, er heimilt að selja framleiðslu sína sem orku úr endurnýjanlegum orkulindum, en seljendur upprunaábyrgðanna mega í kjölfar sölunnar ekki lengur markaðsetja og selja viðkomandi orku sem hreina orku. Viðskiptin fela því í sér nokkurs konar framsal á tilkallinu til hreinleika orkunnar. Tilgangur kerfisins er að fjölga valkostum orkukaupenda í Evrópu til að styðja framleiðslu endurnýjanlegrar orku og leita þannig uppi þá sem reiðubúnir eru til að borga meira fyrir slíka orku. Sala upprunaábyrgða milli landa hefur hins vegar ekki áhrif á framleiðslutölur sem ríkin vísa í til að efna skuldbindingar tilskipunarinnar um lágmarkshlutfall endurnýjanlegrar orku, né á heimildir

---

<sup>53</sup> Sjá 2. tölul. 6. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>54</sup> Sjá 7. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>55</sup> Sjá 8. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>56</sup> Sjá 9. og 10. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>57</sup> Sjá 11. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>58</sup> Sjá 11. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>59</sup> Sjá nánari umfjöllun síðar í kaflanum.

<sup>60</sup> Sjá 15. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

ríkisins til að efna skuldbindingar sínar með viðskiptum með hlutfallstölur, sameiginlegum verkefnum eða þátttöku í sameiginlegum styrkjakerfum.<sup>61</sup>

#### 12.4 Lands- og svæðisbundnir kolefnismarkaðir utan Evrópusambandsins

Markaðurinn sem varð til á grundvelli viðskiptakerfis Evrópusambandsins með losunarheimildir er nú stærsti kolefnismarkaður heims og hefur ýtt undir þróun sambærilegra markaða víða um heim. Sautján lands- og svæðisbundnir kolefnismarkaðir eru nú starfræktir í 35 löndum, þar á meðal í Sviss, Suður-Kóreu, Kaliforníu, á Nýja-Sjálandi, Quebec, Kaliforníu og í samstarfi níu ríkja á austurströnd Bandaríkjanna (e. Regional Greenhouse Gas Initiative, RGGI). (ICAP, 2016, bls. 27). Kína hefur sett á laggirnar nokkur svæðisbundin viðskiptakerfi og undirbýr nú stofnun markaðar sem ætlað er að ná til alls landsins árið 2017. (ICAP, 2016, bls. 58). Í Japan hafa verið stofnuð viðskiptakerfi sem heimila japönskum fyrirtækjum að efna skuldbindingar sínar um takmörkun losunar með þátttöku í loftslagsvænum verkefnum í tilteknum þróunarríkjum sem Japan hefur gert tvíhliða samninga við. (Redmond, Luke og Covery, Frank, 2014, bls. 7). Fjöldmörg önnur viðskiptakerfi eru í undirbúningi og virðast kolefnismarkaðir víða álitnir ákjósanlegir sem framtíðarstjórnun tæki í loftslagsmálum.

Þrátt fyrir að gildissvið, regluverk og framkvæmd ofangreindra viðskiptakerfa sé með ýmsum hætti er markmið þeirra allra hið sama: að verðleggja losun gróðurhúsalofttegunda og ýta þannig undir hreinni og loftslagsvænni tækniþróun. Þannig er hægt að beina fjárfestingum í hagkvæmar mótvægisáðgerðir og minnka þannig heildarkostnað við að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. (Redmond, Luke og Covery, Frank, 2014, bls. 8). Ljóst er að hægt er að auka enn frekar stærðarhagkvæmni kolefnismarkaða með því að tengja þá saman og fjölga þannig valkostum við mótvægisáðgerðir. (Redmond, Luke og Covery, Frank, 2014, bls. 8). Einnig hefur verið bent á að stærri kolefnismarkaðir stuðli að auknu flæði losunarheimilda á markaðnum og skapi verðstöðugleika. (Redmond, Luke og Covery, Frank, 2014, bls. 8). Viðskiptakerfi Kaliforníu og Quebec voru tengd saman í upphafi árs 2014 eftir nokkurra ára viðræður og er hinn sameiginlegi kolefnismarkaður þessara kerfa nú sá stærsti í Norður-Ameríku. (IETA, 2014, bls. 60). Evrópusambandið hefur einnig lengi stefnt að því að tengjast viðskiptakerfum annarra ríkja, og undirritaði nýlega samkomulag við Sviss um að tengjast svissneska kolefnismarkaðnum.<sup>62</sup>

#### 12.5 Valkvæðir kolefnismarkaðir

Þeir kolefnismarkaðir sem fjallað er um í köflunum hér á undan eiga það sameiginlegt að hafa orðið til sem hluti af regluverki um losun gróðurhúsalofttegunda og tengjast skyldum ýmist ríkja eða einkaaðila til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. Til viðbótar hinum lagalegu mörkuðum hafa þróast svokallaðir valkvæðir markaðir með losunarheimildir (e. voluntary carbon markets). Viðskipti á slíkum mörkuðum ganga oft undir heitinu kolefnisjöfnun og felast í því að ríki, einstaklingar, fyrirtæki eða samtök fjármagna loftslagsvæn verkefni til að „bæta fyrir“ eigin losun, til dæmis vegna bílnotkunar eða flugferða.<sup>63</sup> Einingar sem keyptar eru á slíkum mörkuðum verða ekki nýttar til að efna lagalegar

---

<sup>61</sup> Sjá 2. tölul. 15. gr. tilskipunar 2009/28/EB.

<sup>62</sup> Sjá <http://www.bafu.admin.ch/klima/03449/12696/index.html?lang=en&msg-id=60425>

<sup>63</sup> Haites, Erik: *Carbon Markets*, Margaree Consultants, Toronto, 2007, bls. 14. Slík viðskipti fara gjarnan fram gegnum sérstaka sjóði. Dæmi um um slíkan sjóð er Kolviður, sem stofnaður var af Skógræktarfélagi Íslands og Landvernd. Sjá vefsíðu sjóðsins: <http://www.kolvidur.is>.

skuldbindingar nema sérstaklega sé kveðið á um það í lögum eða alþjóðasamningi, en slíkt hefur hvorki verið gert í Kýótó-bókuninni né í viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir.

Ýmsar ástæður ráða því að fólk og fyrirtæki kolefnisjafna starfsemi sína og athafnir á valkvæðum mörkuðum, án þess að lagalegar kröfur séu fyrir hendi. Kolefnisjöfnun hefur verið talin bæta ímynd fyrirtækja og vera til marks um samfélagslega ábyrgð, en viðskiptavinir fyrirtækja gera í auknum mæli kröfur um að starfsemi fyrirtækja byggi á loftslagsvænum aðferðum. Í sumum tilfellum hefur kolefnisjöfnun verið nýtt til að undirbúa fyrirtæki undir væntanlegar lagalegar kröfur. Loks má nefna að kolefnisjöfnun hefur í auknum mæli verið nýtt af ríkisstjórnnum, stofnunum og einstaklingum sem vilja minnka svokallað kolefnisfótspor sitt.<sup>64</sup>

Valkvæðir markaðir eru almennt ekki undir umsjón og eftirliti yfirvalda eða alþjóðastofnana. Engu að síður hafa þróast tiltekin alþjóðleg viðmið sem hægt er að nota til að ganga úr skugga um ósvikinn uppruna og gæði eininga sem ganga kaupum og sölum.<sup>65</sup> Þá hafa þróast ýmiss konar samræmdir staðlar við losunarmælingar og bókhald sem gera fyrirtækjum og stofnunum kleift að gefa trúverðugar og samanburðarhæfar upplýsingar um losun gróðurhúsalofttegunda í starfsemi sinni.<sup>66</sup>

## 12.6 Langtímahorfur - viðskipti með losunarheimildir eftir 2020

### 12.6.1 Parísarsamningurinn

#### 12.6.1.1 Breytt nálgun í alþjóðlegri loftslagssamvinnu

Þótt skiptar skoðanir séu meðal aðildarríkja loftslagssamningsins um hvort viðskipti með losunarheimildir séu ákjósanleg aðferð til að ná markmiðum í loftslagsmálum miðuðu undirbúningsviðræður fyrir aðildarríkjaþingið í París í desember 2015 að því að markaðstengd stjórnþæki yrðu hluti af nýjum alþjóðasamningi.<sup>67</sup> Ljóst var þó að viðskiptin gætu ekki haldið áfram í sömu mynd og áður. Eftir mislukkaðar tilraunir síðustu ára til að koma á alþjóðasamningi með bindandi tölulegum losunarmörkum ríkja („top-down“ nálgun) þróaðist samstarfið á vegum loftslagssamningsins í átt að fyrirkomulagi þar sem hverju ríki er heimilað að ákveða markmið sín í loftslagsmálum með einhliða hætti („bottom-up“ nálgun).

Eins og kunnugt er varð niðurstaða aðildarríkjaþingsins í París sú að skuldbindingar ríkja um árangur í loftslagsmálum skyldu koma fram í landsmarkmiðum þeirra (e. intended nationally determined contributions, INDC) og er efni, form og skuldbindingargildi þeirra með ýmsum hætti.<sup>68</sup> Markmiðin fela meðal annars í sér stefnu um samdrátt í losun miðað við tiltekið ástand (núverandi ástand eða spá um framtíðarástand), miðað við tiltekið hlutfall af losun ríkisins í fortíðinni (á viðmiðunarári eða viðmiðunartímabili) eða miðað við þróun annarra þátta, svo sem þjóðarframleiðslu. Sum ríki hafa sett sér markmið um hlutfall endurnýjanlegrar orku í heildarorkunotkun, aukna skógrækt eða jafnvel

---

<sup>64</sup> Sjá <http://www.goldstandard.org/frequently-asked-questions/carbon-market>.

<sup>65</sup> Sjá nánar um valkvæða markaði: *Mapping Carbon Pricing Initiatives, Developments and Prospects*, bls. 20.

<sup>66</sup> Mest notaðu staðlarnir tilheyra Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) sem er samstarfsverkefni World Resources Institute (WRI) og World Business Council on Sustainable Development (WBCSD). Sjá <http://ghgprotocol.org/>.

<sup>67</sup> Sjá til dæmis: *Reflections on progress made at the fourth part of the second session of the Ad Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action, Note by the Co-Chairs*, 17. apríl 2014, UNFCCC, ADP.2014.3.InformalNote.

<sup>68</sup> Yfirlit yfir innsend landsmarkmið ríkja er að finna á vefsíðunni <http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>.

kolefnishlutleysi fyrir tiltekið tímamark.<sup>69</sup> Af þessu leiðir að losunarheimildum verður ekki úthlutað í skráningarkerfi ríkja á samræmdan hátt líkt og áður var. Það torveldar viðskipti þar sem engin „sameiginleg mynt“ verður lengur fyrir hendi í hinni alþjóðlegu samvinnu. (Marcu, Andrew, 2014).

Þróunin í átt að dreifðum einhliða ákvörðunum í stað miðlægs hnattræns samkomulags endurspeglar erfiðleika undanfarinna ára í samstarfi ríkja á vettvangi loftslagssamningsins. Eftir 15. aðildarríkjaþing loftslagssamningsins í Kaupmannahöfn árið 2009, þar sem tilraunir til að samþykka nýjan alþjóðasamning um loftslagsmál fóru út um þúfur, hafa ríki og ríkjasambönd í auknum mæli gripið til aðgerða að eigin frumkvæði til að draga úr hnattrænum loftslagsbreytingum. (World Bank/Ecofys, 2014, bls. 25). Slíkar aðgerðir hafa að miklu leyti falist í að hvetja til loftslagsvænna fjárfestinga og tækniþróunar með því að verðleggja losun kolefnis, svo sem með því að fella starfsemi undir viðskiptakerfi með losunarheimildir, leggja á kolefnisgjöld og kolefnisskatta og ívilna fyrirtækjum fyrir notkun hreinnar orku og orkunýtni.<sup>70</sup>

Á grundvelli Balí-aðgerðaáætlunarinnar sem samþykkt var á 13. aðildarríkjaþingi loftslagssamningsins árið 2007 hafa undirnefndir aðildarríkjaþingsins unnið að tillögum um hvernig nota megi markaði í því skyni að hvetja til metnaðarfullra skuldbindinga ríkja í loftslagsmálum og til að auka kostnaðarlega hagkvæmni mótvægisáðgerða.<sup>71</sup> Í þessari vinnu hefur verið horft til fyrrnefndra frumkvæðisaðgerða ríkja og stefnt að því að nýta þau margvíslegu kerfi sem þegar hefur verið komið á fót, auk þess sem lögð er áhersla á að taka tillit til mismunandi aðstæðna ríkja. Það hefur þó verið sett sem skilyrði fyrir notkun hvers konar markaðstengdra aðgerða að þær leiði til raunverulegs og sannanlegs samdráttar í nettólosun gróðurhúsalofttegunda sem er til viðbótar þeim árangri sem orðið hefði án þeirra, og að tryggt sé að árangur af slíkum aðgerðum sé ekki tvítalinn.<sup>72</sup>

#### 12.6.1.2 Ákvæði Parísarsamningsins um alþjóðlega samvinnu

Stefnt var að því að útfæra fullmótaðar tillögur um markaðstengd stjórnþæki fyrir aðildarríkjaþingið í París. Viðræður gengu hins vegar hægar en vænst var og voru tillögurnar enn á undirbúningsstigi þegar þingið hófst í lok nóvember 2015. Töfin skýrðist meðal annars af andstöðu tiltekinna aðildarríkja sem gjalda almennt varhug við notkun markaðsafla í alþjóðlegu samstarfi í loftslagsmálum og telja árangurinn af markaðstengdum ákvæðum Kýótó-bókunarinnar ekki gefa tilefni til að setja á laggirnar ný kerfi með losunarheimildir. Auk þess greindi ríki á um hversu mikið vald skyldi falið stofnunum loftslagssamningsins og gagnrýnisráddir heyrðust um að markaðstengd kerfi væru einkum til þess fallin að þjóna þörfum iðnríkja. (Redmond, Luke og Covery, Frank, 2014, bls. 12 og 17).

Málamiðlun náðist engu að síður í París um að heimila ríkjum að eiga viðskipti sín á milli til að ná landsmarkmiðum sínum, en ákvæði 6. gr. samningsins fjallar um „valfrjálsa samvinnu“ ríkja.<sup>73</sup> Kemur fram í ákvæðinu að sumir samningsaðilar kjósi að nýta slíka samvinnu, meðal annars til þess að geta

<sup>69</sup> Sjá til hliðsjónar Briner, Gregory og Prag, Andrew: *Establishing and understanding post-2020 climate change mitigation commitments*, Climate Change Expert Group Paper No. 2013 (3), OECD, Paris, 2013.

<sup>70</sup> Slík stjórnþæki eru nú í notkun í 40 löndum og ná til nær 25% af árlegri heimslosun. Sjá *Carbon Pricing Watch 2016, An advance brief from the State and Trends of the Carbon Pricing 2016 report, to be released late 2016*, bls. 2.

<sup>71</sup> Sjá v-lið b-liðar 1. gr. ákvörðunar nr. 1/CP.13 (*Bali Action Plan*). FCCC/CP/2007/6/Add.1, bls. 3.

<sup>72</sup> Sjá 79. gr. ákvörðunar nr. 2/CP.17 (*Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention*), FCCC/CP/2011/9/Add.1, bls. 17.

<sup>73</sup> Ákvörðun nr. 1/CP.21 (*Adoption of the Paris Agreement*). FCCC/CP/2015/10/Add.1

sett sér metnaðarfullri markmið um mótvægisáðgerðir og aðlögun. Greinin fjallar ekki berum orðum um viðskipti eða markaði en gengur út frá því að ríki geti flutt sín á milli einingar sem tengjast árangri þeirra við að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda (e. internationally transferred mitigation outcomes).

Auk þess kveður greinin á um stofnun nýs kerfis sem skal lúta umsjón aðildarríkjaþings Parísarsamningsins og er ætlað að stuðla að samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda og sjálfbærri þróun. Markmið kerfisins er meðal annars að skapa hvata fyrir ríki og einkaaðila til að grípa til mótvægisáðgerða, og er sérstaklega tekið fram að árangur sem næst í einu ríki geti nýst öðru ríki við að ná landsmarkmiði sínu. Tekið er fram að kerfið skuli hafa í för með sér heildarsamdrátt í losun gróðurhúsalofttegunda í heiminum og er lögð áhersla á að koma í veg fyrir að árangur við að draga úr losun sé talinn ríkjum til tekna oftar en einu sinni. Hluti af tekjum kerfisins skal nýttur til að standa straum af kostnaði við rekstur kerfisins og til að aðstoða þróunarríki við aðlögun.

Að öðru leyti eru reglur um alþjóðlega samvinnu og viðskipti útfærðar í Parísarsamningnum, en aðildarríkjaþingi hans var þess í stað falið að ákveða nánar reglur og leiðbeiningar á fyrsta fundi sínum. Ljóst er að texti Parísarsamningsins lætur mörgum mikilvægum spurningum ósvarað, svo sem um hvort loftslagsvæn þróunarverkefni (CDM) geti haldið áfram í óbreyttri mynd, um hvernig árangur við að draga úr losun skuli skilgreindur og mældur og með hvaða hætti einingar skuli fluttar milli ríkja. Auk þess þarf að ákveða hvort og hvernig lands- og svæðisbundin viðskiptakerfi skuli tengd hinu nýja alþjóðlega kerfi, en sem fyrr segir var í undirbúningsviðræðum fyrir Parísarfundinn leitað leiða til að byggja á þeim stjórnækjum sem þegar hefur verið komið á fót í einstökum ríkjum.<sup>74</sup>

## 12.6.2 Framtíð markaðstengdra stjórnækja innan Evrópusambandsins

Evrópusambandið stefnir að 40% samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda fyrir árið 2030, miðað við 1990, auk þess sem sambandið hyggst fyrir sama ár tryggja minnst 27% hlutdeild endurnýjanlegrar orku og 27% aukningu á orkunýtni.<sup>75</sup> Langtímamarkmið Evrópusambandsins í loftslagsmálum er að draga úr losun um 80-95% fyrir árið 2050.<sup>76</sup>

### 12.6.2.1 Viðskiptakerfi með losunarheimildir

Sambandið hyggst áfram nýta viðskiptakerfið sem lykilstjórnækki við að ná markmiðum sínum í loftslagsmálum eftir 2020.<sup>77</sup> Í samræmi við hert markmið um losun gróðurhúsalofttegunda mun árlegur samdráttur innan kerfisins aukast úr 1,74% í 2,2%.<sup>78</sup> Áfram er gert ráð fyrir að losunarheimildum verði í einhverjum mæli úthlutað endurgjaldslaust til geira í alþjóðlegri samkeppni, en að úthlutunarreglurnar hvetji þó til áframhaldandi tækniþróunar og framfara í orkunýtni.<sup>79</sup> Framkvæmdastjórn Evrópusambandsins hefur brugðist við offramboði losunarheimilda á evrópska kolefnismarkaðnum með því að fresta uppboði tiltekins hluta losunarheimilda fram til síðustu ára yfirstandandi viðskiptatímabils

<sup>74</sup> Sjá nánar Marcu, Andrew: *The Framework for Various Approaches and the New Market Mechanism*, Centre for European Policy Studies (CEPS), Special Report No. 90, 2014, bls. 5.

<sup>75</sup> Sjá European Council, EUCO 169/14, Brussel, 24. október 2014, bls. 1-5.

<sup>76</sup> Sjá [http://ec.europa.eu/clima/citizens/eu/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/citizens/eu/index_en.htm)

<sup>77</sup> European Council, EUCO 169/14, bls. 2.

<sup>78</sup> Sama heimild.

<sup>79</sup> Sama heimild.

(back-loading). Sem langtímalausn á vandamálinu mun sambandið stofna nokkurs konar banka (market stability reserve) þar sem losunarheimildir verða bundnar ef þörf er á til að tryggja stöðugleika á kolefnismarkaðnum.<sup>80</sup>

#### 12.6.2.2 Viðskipti með losunarrétt utan viðskiptakerfisins

Evrópusambandið stefnir jafnframt að því að framlengja reglur um losunarmörk aðildarríkja í geirum utan viðskiptakerfisins.<sup>81</sup> Áfram er gert ráð fyrir því að framlag aðildarríkja verði mismunandi og miðist við þjóðarframleiðslu á íbúa. Losunarmörkin munu jafnframt áfram miðast við árið 2005 en gert er ráð fyrir að skuldbindingar ríkja spanni skalann frá óbreyttri losun til 40% samdráttar.<sup>82</sup> Stefnt er að því að auka verulega möguleika aðildarríkja á að eiga viðskipti með losunarrétt til að auka kostnaðarlega hagkvæmni aðgerða í geirum utan viðskiptakerfisins. Einnig er ætlunin að koma á laggirnar nýju hvatakerfi sem nýtir losunarheimildir úr viðskiptakerfinu til að auðvelda ríkjum með íþyngjandi losunarmörk að efna skuldbindingar sínar. Þá er stefnt að því að heimila ríkjum að nýta tilteknar landnotkunaraðgerðir til að ná markmiðum Evrópusambandsins eftir 2020, en sem fyrr segir geta aðildarríki ekki nýtt slíkar aðgerðir til að efna skyldur sínar samkvæmt núgildandi ákvörðun um skiptingu byrða.<sup>83</sup>

#### 12.6.2.3 Samvinna og viðskipti ríkja á sviði endurnýjanlegrar orku

Framkvæmdastjórn Evrópusambandsins lagði í júlí 2014 fram tillögu að endurskoðun löggjafar um endurnýjanlega orku eftir 2020.<sup>84</sup> Í meðferð málsins innan Evrópusambandsins er komin fram sú veigamikla breytingartillaga að horfið verði frá því að setja hverju ríki bindandi takmark um hlutfall endurnýjanlegrar orku en að ríki muni þess í stað leggja til eigin markmið um hvernig þau hyggist halda áfram á þeirri braut sem mörkuð var fram til 2020.<sup>85</sup> Ástæðan er að Evrópusambandið vill veita ríkjum aukinn sveigjanleika til að auka hlutfall endurnýjanlegrar orku í samræmi við aðstæður sínar og stuðla að því að þau setji sér metnaðarfullri markmið.<sup>86</sup> Í samræmi við þetta má ætla að breytingar verði gerðar á heimildum til að uppfylla kröfur tilskipunarinnar með viðskiptum og samvinnu eftir 2020.<sup>87</sup>

---

<sup>80</sup> Sjá Decision (EU) 2015/1814 of the European Parliament and of the Council of 6 October 2015 concerning the establishment and operation of a markets stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and amending Directive 2003/87/EC, Stjóð. ESB, L 264, 9.10.2015, bls. 1. Sjá einnig European Council, EUCO 169/14, bls. 2.

<sup>81</sup> Sama heimild, bls. 4.

<sup>82</sup> Tillaga framkvæmdastjórnarinnar um skiptingu byrða milli aðildarríkja var kynnt í júlí 2016. Sjá [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-16-2499\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-2499_en.htm).

<sup>83</sup> Sama heimild. Sjá einnig [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-16-2496\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-2496_en.htm).

<sup>84</sup> Sjá *Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy, Communication from the Commission to the European Parliament and the Council*, COM(2014) 520 final.

<sup>85</sup> Sjá European Council, EUCO 169/14, bls. 5.

<sup>86</sup> Sama heimild.

<sup>87</sup> Sjá til hliðsjónar: Wyns, Tomas, Khatchadourian, Arianna og Oberthür, Sebastian: *EU Governance of Renewable Energy post-2020 – risks and options*, A report for the Heinrich-Böll-Stiftung European Union, Institute for European Studies – Vrije Universiteit Brussel, 2014, bls. 8-9.

## 12.7 Þátttaka Íslands í viðskiptum með losunarheimildir

### 12.7.1 Alþjóðleg viðskipti

Ísland hefur ekki tekið þátt í alþjóðlegum viðskiptum með losunarheimildir á grundvelli Kýótó-bókunarinnar. Það skýrist meðal annars af því að vegna ákvörðunar nr. 14/CP.7, sem oftast gengur undir heitinu „íslenska ákvæðið“ voru ákveðnar takmarkanir á heimild Íslands til viðskipta með úthlutaðar losunarheimildir á fyrsta skuldbindingartímabili Kýótó-bókunarinnar, 2008-2012.<sup>88</sup>

Þá hafa íslensk stjórnvöld ekki aflað losunarheimilda með þátttöku í samvinnuverkefnum í iðnríkjum eða loftslagsvænum þróunarverkefnum og engin samvinnuverkefni hafa farið fram hér á landi. Umhverfissráðuneytið fól erlendum sérfræðingi árið 2006 gera úttekt á möguleikum Íslands og íslenskra fyrirtækja til að taka þátt í verkefnum af þessu tagi og lagði fyrir iðnaðarráðuneytið og utanríkisráðuneytið. Niðurstaðan af þeirri vinnu var að ekki reyndist vilji innan stjórnkerfisins til að byggja upp þekkingu á reglum verkefnanna og setja á fót landsskrifstofu, eins og áskilið er fyrir þátttöku í verkefnum.<sup>89</sup> Ísland uppfyllir því ekki formleg skilyrði til að efna skuldbindingar sínar samkvæmt Kýótó-bókuninni með þátttöku í samvinnuverkefnum og loftslagsvænum þróunarverkefnum.

Ísland var sjálfstæður samningsaðili Kýótó-bókunarinnar á fyrsta skuldbindingartímabilinu en hefur ákveðið að taka á sig sameiginlega skuldbindingu með aðildarríkjum Evrópusambandsins á öðru skuldbindingartímabilinu, 2013-2020.<sup>90</sup> Ísland tekur því þátt í markmiði Evrópusambandsins um 20% samdrátt í losun gróðurhúsalofttegunda fyrir 2020, miðað við 1990, og er kveðið á um hlutdeild Íslands í því markmiði í samningi við Evrópusambandið og aðildarríki þess.<sup>91</sup> „Íslenska ákvæðið“ var ekki framlengt og felur alþjóðlega regluverkið því ekki lengur í sér sérstakar hindranir á þátttöku Íslands í viðskiptum með losunarheimildir.

Samkvæmt *Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum* frá 2010 er stefnt að því að ná markmiði Íslands á tímabilinu 2013-2020 með aðgerðum innanlands, og eru kaup á alþjóðlegum losunarheimildum ekki ráðgerð á tímabilinu. (Umhverfissráðuneytið, 2010). Engu að síður er ljóst að Íslandi stendur til boða að afla aukalegra losunarheimilda með þátttöku í samvinnuverkefnum og loftslagsvænum þróunarverkefnum, að því tilskildu að landsskrifstofu fyrir slík verkefni verði komið á fót. Auk þess er Íslandi heimilt að kaupa og selja losunarheimildir á alþjóðlegum markaði.

Eins og áður kom fram er gert ráð fyrir offramboði á alþjóðlegum losunarheimildum út tímabilið 2020 og mun verð þeirra að líkindum haldast mjög lágt næstu árin. Óvissa ríkir um hvort eftirspurn eftir alþjóðlegum losunarheimildum muni aukast og um með hvaða hætti verður hægt að nýta verkefnatengd sveigjanleikakerfi eftir 2020. Þar af leiðandi er takmarkaður fjárhagslegur hvati til staðar eins og er til að byggja upp innviði hér á landi fyrir þátttöku í alþjóðlegum viðskiptum með losunarheimildir. Á hitt

---

<sup>88</sup> Sjá nánar: Hrafnhildur Bragadóttir: *Réttarreglur um losun gróðurhúsalofttegunda*, Ritroð Lagastofnunar Háskóla Íslands 8, Lagastofnun Háskóla Íslands, Reykjavík, 2009, bls. 66-67.

<sup>89</sup> Samtal við Huga Ólafsson, skrifstofustjóra í umhverfis- og auðlindaráðuneytinu, september 2015.

<sup>90</sup> Sjá <http://www.umhverfisraduneyti.is/frettir/nr/2610>.

<sup>91</sup> Samningurinn hefur verið undirritaður og birtur í Stjórnartíðindum Evrópusambandsins. Sjá Agreement between the European Union and its Member States, of the one part, and Iceland, of the other part, concerning Iceland's participation in the joint fulfilment of the commitments of the European Union, its Member States and Iceland for the second commitment period of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Stjtið. ESB, L 207, 4.8.2015, bls. 17. Þegar þetta er skrifað hefur samningurinn ekki tekið gildi (1. ágúst 2016).

ber að líta að þegar reglur um alþjóðleg viðskipti og samvinnu skv. 6. gr. Parísarsamningsins skýrast er rétt að bregðast fljótt við og undirbúa hugsanlega þátttöku í nýjum eða áframhaldandi markaðstengdum aðgerðum, svo sem með þátttöku í verkefnum sem viðurkennd verða í viðskiptakerfum eftir 2020.

### 12.7.2 Viðskiptakerfi Evrópusambandsins

Ísland er hluti af viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir vegna Samningsins um evrópskt efnahagssvæði og fellur um 40% af heildarlosun landsins undir gildissvið kerfisins. Fyrirtækin sem heyra undir kerfið eru ekki mörg talsins, en um er að ræða álver Rio Tinto Alcan í Straumsvík, álver Norðuráls á Grundartanga, álver Fjarðaáls á Reyðarfirði, járnblendiverksmiðju Elkem á Grundartanga, fiskimjölsverksmiðju Loðnuvinnslunnar á Fáskrúðsfirði, auk flugrekenda sem fljúga innan Evrópska efnahagssvæðisins.<sup>92</sup> Losun frá framangreindum aðilum hefur frá 1. janúar 2013 (1. janúar 2012 að því er varðar flugrekendur) verið háð losunarheimildum sem skila ber til Umhverfisstofnunar fyrir 30. apríl ár hvert.<sup>93</sup>

Losunarheimildum er úthlutað til rekstraraðila og flugrekenda eftir samevrópskum viðmiðum sem ætlað er að tryggja árlega minnkun losunar í viðkomandi atvinnugreinum.<sup>94</sup> Þar sem staðbundin starfsemi sem fellur undir gildissvið viðskiptakerfisins hér á landi flokkast undir atvinnurekstur sem hætt er við að flytjist til ríkja utan Evrópska efnahagssvæðisins vegna samkeppnislegra áhrifa viðskiptakerfisins hefur íslenskum rekstraraðilum að miklu leyti verið úthlutað losunarheimildum endurgjaldslaus.<sup>95</sup> Stórum hluta losunarheimilda er einnig úthlutað endurgjaldslaus til flugrekenda.<sup>96</sup> Þær losunarheimildir sem upp á vantar til að efna skyldur um árleg skil losunarheimilda til Umhverfisstofnunar geta fyrirtæki keypt á evrópska kolefnismarkaðnum.<sup>97</sup> Þeim er einnig heimilt að ákveðnu marki að efna skyldur sínar með alþjóðlegum losunarheimildum sem gefnar eru út vegna samvinnuverkefna eða loftslagsvænna þróunarverkefna samkvæmt Kýótó-bókuninni.<sup>98</sup>

Þrátt fyrir að losunarheimildir sem ganga kaupum og sölum á evrópska kolefnismarkaðnum séu tengdar alþjóðlegum losunarheimildum viðkomandi ríkja, eru viðskipti einkaaðila á markaðnum frjáls og fara fram án aðkomu stjórnvalda. Segja má að stjórn losunar sem heyrir undir viðskiptakerfið hafi verið færð undir miðlæga umsjón stofnana Evrópusambandsins og EFTA, og bera fyrirtækin innan kerfisins sjálf ábyrgð á að halda losun innan þeirra marka sem hafa verið ákveðin fyrir kerfið í heild. Íslenska ríkið er

---

<sup>92</sup> Sjá <http://www.ust.is/atvinnulif/vidskiptakerfi-esb/stadbundinn-idnadur/>; <http://www.ust.is/atvinnulif/vidskiptakerfi-esb/flug/>

<sup>93</sup> Sbr. 1. mgr. 9. gr. og 1. mgr. 17. gr. laga nr. 70/2012 um loftslagsmál.

<sup>94</sup> Sjá 10. gr. laga nr. 70/2012 um loftslagsmál.

<sup>95</sup> Sjá <http://www.ust.is/atvinnulif/vidskiptakerfi-esb/stadbundinn-idnadur/>; <http://www.ust.is/einstaklingar/frettir/frett/2014/03/06/Uthlutun-losunarheimilda-til-rekstraradila/>

<sup>96</sup> Sjá <http://www.ust.is/atvinnulif/vidskiptakerfi-esb/flug/>

<sup>97</sup> Sbr. 4. mgr. 9. gr. og 4. mgr. 17. gr. laga nr. 70/2012 um loftslagsmál.

<sup>98</sup> Sbr. 4. mgr. 9. gr. og 4. mgr. 17. gr., sbr. 33. gr., laga nr. 70/2012 um loftslagsmál, sbr. einnig reglugerð nr. 897/2012 um losunarheimildir og einingar sem viðurkenndar eru í viðskiptakerfi ESB með losunarheimildir, með síðari breytingum.

því ekki beinn þátttakandi í viðskiptum á evrópska markaðnum og getur ekki keypt losunarheimildir á markaðnum til að efna alþjóðlegar skuldbindingar sínar.<sup>99</sup>

### 12.7.3 Viðskipti með losunarrétt vegna geira sem ekki heyra undir viðskiptakerfið

Eins og áður var nefnt hafa Ísland og Evrópusambandið gert með sér samning um að taka á sig sameiginlega skuldbindingu samkvæmt Kýótó-bókuninni á öðru skuldbindingartímabili bókunarinnar, 2013-2020.<sup>100</sup> Samningurinn kveður á um losunarmörk fyrir Ísland að því er varðar geira utan viðskiptakerfisins. Íslandi er samkvæmt samningnum heimilt að losa samtals 15.327.217 tonn koldíoxíðsígilda á tímabilinu í geirum utan viðskiptakerfisins.<sup>101</sup> Gert er ráð fyrir að Ísland muni nýta skógrækt og landgræðslu til að ná markmiði sínu utan viðskiptakerfisins að um það bil helmingi, en að hinum hlutanum þurfi að ná með því að draga úr losun og hugsanlega með því að kaupa losunarheimildir.<sup>102</sup>

Í því sambandi vekur athygli að ákvörðun nr. 406/2009 um skiptingu byrða er ekki hluti Samningsins um evrópskt efnahagssvæði og ekki var tekin afstaða til þess í framangreindum samningi Íslands og Evrópusambandsins hvort Ísland gæti átt viðskipti við aðildarríki sambandsins með losunarréttinn sem Íslandi var úthlutað fyrir geira utan viðskiptakerfisins. Ekki virðist því gert ráð fyrir að Ísland geti tekið þátt í viðskiptum Evrópusambandsríkja með losunarrétt á tímabilinu 2013-2020, en Íslandi er eftir sem áður heimilt að kaupa alþjóðlegar losunarheimildir af aðildarríkjum Kýótó-bókunarinnar.

### 12.7.4 Samvinna við að auka hlut endurnýjanlegrar orku

Eins og áður var getið stefnir Evrópusambandið að því að endurnýjanleg orka verði 20% af heildarorkunotkun aðildarríkja árið 2020. Markmiðinu var skipt niður í mismunandi landsmarkmið einstakra ríkja með tilskipun 2009/28/EB, sem kveður einnig á um að hlutur orku frá endurnýjanlegum orkulindum í samgöngum verði orðinn að minnsta kosti 10% í hverju aðildarríki fyrir sig árið 2020. Ríki hafa val um hvaða aðferðir þau nota til að ná framangreindum markmiðum, en auk úrræða heima fyrir er þeim heimilt að hafa ýmiss konar samvinnu um aðgerðir til að auka notkun endurnýjanlegrar orku og að eiga viðskipti sín á milli með hlutfallstölur.

Tilskipun 2009/28/EB var tekin upp í Samninginn um evrópskt efnahagssvæði árið 2011 og gildir því um Ísland, með tilteknum aðlögunum.<sup>103</sup> Ísland er samkvæmt samningnum bundið af tilteknu markmiði um hlutfall endurnýjanlegrar orku af heildarorkunotkun árið 2020.<sup>104</sup> Að auki er Ísland líkt og önnur

---

<sup>99</sup> Sjá þó 7. tölul. 5. gr. ákvörðunar nr. 406/2009/EB, sem heimilar aðildarríkjum að nýta heimildir sem gefnar eru út vegna verkefna samkvæmt 24. gr. a tilskipunar 2003/87/EB, með síðari breytingum, til að efna skyldur sínar um minnkun losunar utan viðskiptakerfisins.

<sup>100</sup> Sjá Agreement between the European Union and its Member States, of the one part, and Iceland, of the other part, concerning Iceland's participation in the joint fulfilment of the commitments of the European Union, its Member States and Iceland for the second commitment period of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.

<sup>101</sup> Sbr. 1. mgr. 3. gr. samningsins, sbr. viðauka 2.

<sup>102</sup> <https://www.umhverfisraduneyti.is/frettir/nr/2610>

<sup>103</sup> Sjá 41. gr. viðauka IV við EES-samninginn, sbr. ákvörðun Sameiginlegu EES-nefndarinnar nr. 162/2011 frá 19. desember 2011.

<sup>104</sup> Sjá e-lið 41. gr. viðauka IV við EES-samninginn. Upphaflega var ákveðið að þetta hlutfall væri 64%, miðað við þá forsendu að hlutfall endurnýjanlegrar orku á Íslandi hafi verið 55% árið 2005. Síðar kom í ljós að hlutfallið

ríki bundið af samræmda markmiðinu um að minnst 10% af orkunotkun í samgöngum skuli stafa frá endurnýjanlegum orkugjöfum árið 2020. Íslandi ber að gera aðgerðaáætlun um aukningu á notkun endurnýjanlegrar orku og skila skýrslu um árangur sinn á tveggja ára fresti fram til 2021.<sup>105</sup>

Í skýrslum atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytisins um árangur Íslands kemur fram að almenna markmiðinu hafi þegar verið náð og gott betur. (Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, 2012). Ísland á hins vegar enn nokkuð í land með að ná markmiðinu um 10% hlutfall endurnýjanlegrar orku í samgöngum. Megináhersla í stefnumörkun og aðgerðum stjórnvalda er því lögð á að auka það hlutfall. (Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, 2012).

Samkvæmt Samningnum um evrópskt efnahagssvæði eru skuldbindingar Íslands og Noregs ekki formlegur hluti af markmiði Evrópusambandsins um 20% hlut endurnýjanlegrar orku í heildarorkunotkun árið 2020.<sup>106</sup> Íslandi er engu að síður heimilt að taka þátt í viðskiptum við önnur ríki með hlutfallstölur (e. statistical transfer), sameiginlegum verkefnum (e. joint projects) og sameiginlegum styrkjakerfum (e. joint support schemes). (Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, 2012). Þar sem Ísland hefur þegar náð markmiði sínu varðandi hlutfall endurnýjanlegrar orku af heildarorkunotkun fyrir árið 2020 er ljóst að íslenska ríkið á kost á að koma umframárangri sínum í verð með þátttöku í ofangreindum kerfum. (Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, 2012). Í aðgerðaáætlun Íslands frá 2012 kemur fram að slík þátttaka hafi verið til athugunar hjá íslenskum stjórnvöldum í nokkurn tíma, en að ákvörðun hafi ekki verið tekin. (Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, 2012). Í stöðuskýrslu frá 2015 kemur fram að mat standi enn yfir hjá stjórnvöldum varðandi hugsanlega þátttöku í þessum kerfum (Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, 2016).

Hér má einnig nefna að íslensk orkufyrirtæki hafa síðan árið 2011 selt upprunaábyrgðir til evrópskra kaupenda samkvæmt heimild í lögum nr. 30/2008 um upprunaábyrgð á raforku sem framleidd er með endurnýjanlegum orkugjöfum o.fl. Salan hefur sem fyrr segir ekki áhrif á bókhald Íslands um hlutfall endurnýjanlegrar orku samkvæmt tilskipun 2009/28/EB, né heimildina til þátttöku í viðskiptum og samvinnuverkefnum samkvæmt tilskipuninni.

### 12.7.5 Valkvæð kolefnisjöfnun - Kolviður

Sjóðurinn Kolviður var stofnaður árið 2006 af Skógræktarfélagi Íslands og Landvernd, með stuðningi ríkisstjórnarinnar.<sup>107</sup> Markmið sjóðsins er að auka bindingu kolefnis í gróðri og jarðvegi með því að gefa fyrirtækjum, stofnunum og einstaklingum kost á að fjármagna landgræðslu- og skógræktaraðgerðir

---

árið 2005 hafði verið vanáætlað og er nú gert ráð fyrir að það hafi verið 63,4%. Í samræmi við það var í fyrstu skýrslu Íslands vegna tilskipunar 2009/28/EB litið svo á að takmark Íslands fyrir hlutfall endurnýjanlegrar orku af heildarorkunotkun fyrir árið 2020 væri 72%. Sjá *The Icelandic Renewable Energy Action Plan for the promotion of the use of energy from renewable sources in accordance with Directive 2009/28/EC and the Commission Decision of 30 June 2009 on a template for the national renewable energy action plans (The Icelandic Renewable Energy Action Plan)*, atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, 2012, bls. 11. Í stöðuskýrslu Íslands frá 2016 kemur fram að í kjölfar nýrra endurútreikninga sé gengið út frá því að takmark Íslands fyrir hlutfall endurnýjanlegrar orku af heildarorkunotkun fyrir árið 2020 sé 67%. *Progress Report 2015, Iceland: Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources*, atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, 2016, bls. 4.

<sup>105</sup> Sjá c- og d-lið 41. gr. viðauka IV við EES-samninginn.

<sup>106</sup> Sjá b-lið 41. gr. viðauka IV við EES-samninginn. Jafnframt var kveðið á um að tilskipunin skyldi ekki gilda fyrir Liechtenstein. Sjá a-lið sömu greinar.

<sup>107</sup> Sjá 1. gr. skipulagsskrár fyrir Kolviðarsjóð. <http://kolvidur.is/wp-content/uploads/2013/05/StofnskarKolvidar.pdf>

vegna athafna sem leiða til losunar gróðurhúsalofttegunda.<sup>108</sup> Skógar sem Kolviður ræktar skulu samkvæmt reglum sjóðsins vera opnir almenningi sem yndisskógar og fer ræktun þeirra fram í samræmi við leiðbeiningar frá stofnunum loftslagssamningsins og leiðbeiningar sem unnar voru í samvinnu hérlandra stofnana á sviði náttúruverndar og landgræðslu, sem og umhverfissamtaka.<sup>109</sup>

Alls hafa 17 íslensk fyrirtæki gert samning við Kolvið um kolefnisjöfnun starfsemi sinnar að hluta til eða öllu leyti fyrir árið 2016. Flest þeirra hafa einnig samið um kolefnisjöfnun til næstu tveggja ára.<sup>110</sup> Ráðuneyti, stofnanir og fyrirtæki ríkisins hafa í litlum mæli kolefnisjafnað starfsemi sína hjá sjóðnum. Á fyrsta starfsári sjóðsins, 2007, fjármögnuðu ellefu ráðuneyti gróðursetningu meira en 85.000 trjáa, sem sjóðurinn áætlað að bindi yfir 9.000 tonn koldíoxíðs. Fjármálaráðuneytið fjármagnaði síðan gróðursetningu yfir 70.000 trjáa árið 2008. Síðan þá hafa ráðuneyti ekki kolefnisjafnað sig hjá sjóðnum.<sup>111</sup>

Hafa ber í huga að þrátt fyrir að binding kolefnis í gróðri og jarðvegi sé aukin að frumkvæði einkageirans, líkt og í tilviki Kolviðar, getur sú binding ekki talist íslenska ríkinu til tekna í alþjóðlegu losunarbókhaldi nema uppfyllt séu skilyrði alþjóðlegra reglna.

## 12.8 Valkostir Íslands varðandi viðskipti með losunarheimildir eftir 2020

### 12.8.1 Stefna Íslands í loftslagsmálum eftir 2020

Ísland stefnir að áframhaldandi samstarfi við Evrópusambandið í loftslagsmálum eftir 2020 og mun taka þátt í sameiginlegu markmiði sambandsins og Noregs um að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda um 40% fyrir árið 2030, miðað við árið 1990.<sup>112</sup> Það ræðst af væntanlegum samningi Íslands við Evrópusambandið hver verður hlutdeild Íslands í heildarmarkmiðinu.<sup>113</sup> Ísland hyggst ná markmiði sínu með áframhaldandi þátttöku í viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir og mun að auki skuldbinda sig til að tryggja árlegan samdrátt losunar í geirum utan viðskiptakerfisins eftir sambærilegum viðmiðum og gilda um aðildarríki Evrópusambandsins.<sup>114</sup>

Vegna Samningsins um evrópskt efnahagssvæði mun Ísland áfram verða bundið af reglum um viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir og mun að líkindum meira en 40% af losun Íslands heyra undir kerfið eftir 2020.<sup>115</sup> Það þýðir í reynd að stjórn losunar frá starfsemi sem heyrir undir

---

<sup>108</sup> Sjá <http://kolvidur.is/um-kolvid/markmid/>

<sup>109</sup> Sjá <http://kolvidur.is/um-kolvid/kolvidarskogar/>

<sup>110</sup> <http://kolvidur.is/fyrirtaeki-2/fyrirtaeki-sem-hafa-kolefnisjafnad-sig/>

<sup>111</sup> Sama heimild.

<sup>112</sup> Sjá <http://www.umhverfisraduneyti.is/frettir/nr/2760> Í tilkynningu um landsmarkmið Íslands, sem send var aðildarríkjaþingi loftslagssamningsins í júní 2015, kemur fram sá fyrirvari að ef ekki náist samkomulag við Evrópusambandið um sameiginlegt markmið og skiptingu ábyrgðar hyggist Ísland ákveða sitt eigið landsmarkmið fyrir 2030. *Submission by Iceland to the ADP, Iceland's Intended Nationally Determined Contribution*, sent skrifstofu loftslagssamningsins 30. júní 2015, bls. 1.

<sup>113</sup> *Submission by Iceland to the ADP, Iceland's Intended Nationally Determined Contribution*, bls. 1.

<sup>114</sup> Sama heimild, bls. 1.

<sup>115</sup> Sama heimild, bls. 3. Þó ber að hafa í huga að ef gildissvið viðskiptakerfisins verður rýmkað til fleiri lofttegunda og geira en nú er kann hlutfallið að aukast. Einnig er ljóst að ný iðnaðarverkefni á Íslandi geta haft hlutfallslega mikil áhrif á losunartölur vegna smáðar efnahagslífsins, og geta þannig aukið verulega það hlutfall losunar sem heyrir undir viðskiptakerfið. Sjá sömu heimild, bls. 3.

kerfið verður aðeins að hluta til í höndum íslenskra stjórnvalda þar sem hún heyrir undir miðlæga stjórn og eftirlit stofnana Evrópusambandsins og EFTA.<sup>116</sup> Ef aukning verður á losun innan kerfisins vegna nýrra verkefna eða aukinnar framleiðslu kemur það í hlut fyrirtækjanna sjálfra að afla þeirra losunarheimilda sem þarf.

Stefna Íslands um samdrátt í losun gróðurhúsalofttegunda eftir 2020 mun því einkum beinast að því að draga úr losun og auka kolefnisbindingu í geirum sem ekki heyra undir viðskiptakerfið, meðal annars í samgöngum, landbúnaði og landnotkun. Íslensk stjórnvöld hafa lýst því yfir að þau hyggist ná markmiði sínu fyrir 2030, fyrst og fremst með mótvægisáðgerðum innan sinnar lögsögu.<sup>117</sup> Ljóst er því að ekki er gert ráð fyrir að stjórnvöld nýti í miklum mæli úrræði til að kaupa losunarheimildir frá öðrum ríkjum. Þess ber þó að geta að aðstæður geta breyst hratt á Íslandi vegna smæðar efnahagslífsins og áhrifa einstakra verkefna á heildarlosun. Ef mikil aukning verður á losun frá starfsemi sem fellur ekki undir viðskiptakerfið kann að þurfa að afla viðbótar losunarheimilda til að standa við markmið Íslands.

### 12.8.2 Möguleikar á þátttöku í alþjóðlegum viðskiptum með losunarheimildir

Eins og áður kom fram var það niðurstaða aðildarríkjaþingsins í París í desember 2015 að ríkjum skyldi vera heimilt að eiga samvinnu sín á milli við að ná landsmarkmiðum sínum. Í 6. gr. Parísarsamningsins er gengið út frá því að unnt sé að flytja milli ríkja árangur við að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda eða auka kolefnisbindingu (e. internationally transferred mitigation outcomes). Einnig er í sömu grein kveðið á um stofnun kerfis sem gerir ríkjum meðal annars kleift að telja sér til tekna árangur vegna verkefna sem þau vinna að innan lögsögu annarra ríkja.

Það er því ljóst að alþjóðleg viðskipti með losunarheimildir verða áfram heimil í einhverri mynd eftir 2020, en það ræðst af nánari útfærslu aðildarríkjaþings Parísarsamningsins hvaða reglur munu gilda um viðskiptin, þ.á m. um skilyrði fyrir þátttöku, málsmeðferð og aðferðafræði við útreikning á árangri.

Of snemmt er að segja til um hvaða tækifæri markaðstengd kerfi Parísarsamningsins kunna að skapa ríkinu og íslenskum fyrirtækjum eftir 2020. Þó virðist mega búast við því að reglur sem samþykktar verða á grundvelli samningsins muni fela í sér fjárhagslega hvata til aðgerða sem draga úr losun og auka bindingu hér á landi, þar sem slíkur árangur kann að verða framseljanlegur til annarra ríkja sem sjá ekki fram á að ná markmiðum sínum. Skilyrði þess verður þó að árangurinn uppfylli bókhaldsreglur Parísarsamningsins og sé skráður og vottaður í samræmi við alþjóðlegar reglur. Forsendur gætu skapast fyrir auknu samstarfi ríkisins og einkaaðila við mótvægisáðgerðir innanlands, svo sem með stuðningi ríkisins við landnotkunaráðgerðir fyrirtækja og kolefnisjöfnunarsjóða á borð við Kolvið.

Auk þess kunna auknir hvatar að skapast til útflutnings á íslenskri þekkingu og tækni sem nýst getur í loftslagsmálum. Í því samhengi má til dæmis nefna að mikil þekking og reynsla er fyrir hendi á Íslandi á virkjun vatnsafls og jarðvarma og hafa íslensk fyrirtæki tekið þátt í jarðhitaverkefnum víða um heim, svo sem á Indónesíu, Filippseyjum, Eþíópíu og Kenía.<sup>118</sup> Ef alþjóðleg verkefni sem íslensk fyrirtæki eiga aðild að uppfylla skilyrðin sem sett verða af aðildarríkjaþingi Parísarsamningsins er hugsanlegt að unnt verði að selja árangurinn sem af þeim hlýst til annarra aðildarríkja. Það gæti aukið arðsemi

---

<sup>116</sup> Sama heimild, bls. 1.

<sup>117</sup> Sama heimild, bls. 2.

<sup>118</sup> Sjá til dæmis: <http://www.icelandgeothermal.is/files/david-stefansson---sokn-islenskra-fyrirtaekja-i-jardvarmaverkefni-erlendis--17.12.2013.pdf>.

viðkomandi verkefna og gæti einnig haft þýðingu við efndir Íslands á alþjóðlegum skuldbindingum sínum.

### **12.8.3 Möguleikar vegna EES-samningsins og samstarfs við Evrópusambandið**

Útlit er fyrir er að Ísland verði áfram hluti af viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir eftir 2020, sem þýðir að ábyrgðin á að afla losunarheimilda vegna losunar innan kerfisins verður áfram hjá viðkomandi fyrirtækjum en ekki íslenska ríkinu. Auk þess er líklegt að Íslandi muni standa til boða þátttaka í öðrum markaðstengdum stjórnækjum innan Evrópusambandsins, svo sem viðskiptum með losunarrétt vegna geira utan viðskiptakerfisins. Óvíst er hvort Evrópusambandið mun framlengja kerfi sem heimilar viðskipti og samvinnu ríkja í tengslum við aukningu endurnýjanlegrar orku. Nauðsynlegt er að fylgjast vel með þróun reglna Evrópusambandsins á því sviði enda kunna þar að skapast ýmis tækifæri til að hagnýta þá þekkingu og reynslu sem íslensk fyrirtæki búa yfir á nýtingu vatnsafls og jarðvarma.

## 13 Niðurstöður og samantekt

Fjölmargar tegundir mótvægisáðgerða nýtast við að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda og hafa þær verið skilgreindar fyrir hvern geira fyrir sig í köflunum hér að framan. Í þessum kafla verða þessir möguleikar skoðaðir í samhengi og áhrif mótvægisáðgerða á heildarútstreymi skoðuð. Möguleikar í samdrætti verða síðan skoðaðir í samhengi við metinn kostnað við hverja mótvægisáðgerð og framboðsferill mótvægisáðgerða sýndur.

### 13.1 Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í fortíð

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi var árið 2014 26% meira en ársins 1990 eða um 4.600 tonn CO<sub>2</sub> jafngildi, ef ekki er talin með binding vegna landnotkunar svo sem landgræðsla og skógræktar, en um 15% ef tekið er tillit til bindingar vegna landnotkunar. Eins og kemur fram í töfluTafla 13-1 hefur útstreymi aukist í öllum geirum nema í sjávarútvegi og landbúnaði á milli árunna 1990 og 2014. Mest var aukningin í prósentum vegna álframleiðslu og efnanotkunar, en í tonnum talið vegna framleiðslu áls.

Tafla 13-1. Heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi árin 1990 og 2014.

	Útstreymi 1990	Útstreymi 2014	% Breyting
<b>Orkuframleiðsla</b>	122	207	69,7%
<b>Iðnaður</b>	1156	1903	64,6%
<b>Álframleiðsla</b>	650	1393	114,3%
<b>Járnblendi</b>	208	367	76,4%
<b>Sementsframleiðsla</b>	105	0	NA
<b>Samgöngur</b>	619	861	39,1%
<b>Sjávarútvegur</b>	787	449	-42,9%
<b>Fiskveiðar</b>	659	442	-32,9%
<b>Fiskimjöl</b>	129	7	-94,6%
<b>Efnanotkun</b>	6	171	2750,0%
<b>Landbúnaður</b>	779	748	-4,0%
<b>Úrgangur</b>	168	255	51,8%
<b>Landgræðsla og skógrækt</b>	-7	-429	-
<b>Samtals án breyttrar landnotkunar</b>	3637	4595	26,3%
<b>Samtals með breyttri landnotkun</b>	3630	4175	15,1%

### 13.2 Útstreymi gróðurhúsalofttegunda til 2030

Við að meta útstreymi gróðurhúsalofttegunda til ársins 2030 var eldsneytisspá Orkuspárnefndar frá 2016 og forsendur hennar lagðar til grundvallar. Þar að auki voru settar fram þrjár sviðsmyndir sem mátu áhrif mismunandi framleiðslugetu í stóriðju. Tafla 13-2 sýnir breytingu á útstreymi eftir geirum. Taflan sýnir að heildarútstreymi miðað við gefnar forsendur gæti aukist frá 53-99% á milli 1990 og 2030, ef binding er undanskilin en 33 – 79% ef binding er tekin með.

Tafla 13-2. Taflan sýnir að heildarútstreymi miðað við gefnar forsendur gæti aukist frá 51-99% á milli 1990 og 2030, ef binding er undanskilin.

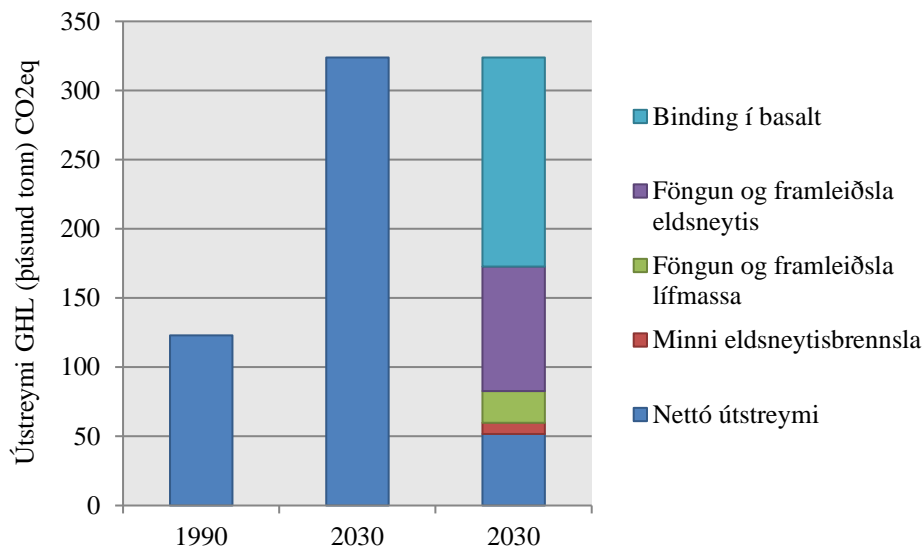
	Útstreymi 1990 '000 tonn	% breyting frá 1990	Grunntilvik % breyting frá 1990	Miðtilvik % breyting frá 1990	Hátilvik % breyting frá 1990
	1990	2014	2030	2030	2030
<b>Rafmagn og hiti</b>	123	69%	146%	164%	272%
<b>Samgöngur</b>	619	39%	11%	11%	11%
<b>Iðnaður og efnanotkun</b>	1162	79%	163%	215%	292%
<b>Sjávarútvegur</b>	787	-42%	-35%	-35%	-35%
<b>Landbúnaður</b>	780	-4%	7%	7%	7%
<b>Úrgangur</b>	168	52%	15%	15%	15%
<b>Landgræðsla og skógrækt (nettóbinding; þúsund tonn)</b>	-7	-429	-744	-744	-744
<b>Samtals (án LULUCF)</b>	3638	26%	53%	71%	99%
<b>Samtals (með LULUCF)</b>	3630	15%	33%	51%	79%

### 13.3 Mótvægisáðgerðir

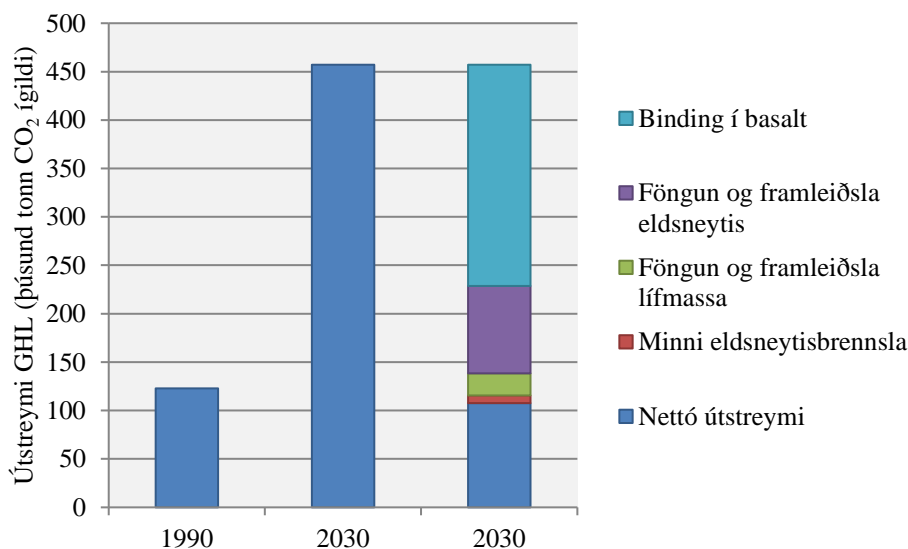
Eftirfarandi kaflar fara stuttlega yfir valdar mótvægisáðgerðir innan hvers geira sem og möguleg samlegðaráhrif þeirra.

#### 13.3.1 Orkuframleiðsla

Til að draga úr heildarútstreymi frá orkuframleiðslu á Íslandi er vænlegast að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis eins og kostur er sem og að fanga og binda koltvísýring frá jarðvarmavirkjunum. Áðferðirnar sem um ræðir er að binda koltvísýring með niðurdælingu í jarðlögum, að binda í lífmassa eða að nota til framleiðslu eldsneytis. MyndirMynd 13-1 ogMynd 13-2 sýna þessa möguleika, annars vegar í grunntilviki (myndMynd 13-1) og hátilviki (myndMynd 13-2).



Mynd 13-1. Heildarústreyami árið 1990, 2030 og heildarústreyami með mótvægisáðgerðum árið 2030. Grunntilvik.



Mynd 13-2. Heildarústreyami árið 1990, 2030 og heildarústreyami með mótvægisáðgerðum árið 2030. Hátilvik.

Niðurstöður benda til að hægt sé að draga úr útsreyami frá jarðvarmavirkjunum allt að 90% með þessum áðgerðum miðað við grunntilvik. Kostnaður við áðgerðirnar er nokkur eða frá 2.800 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígildi við föngun og bindingu til 5.430 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígildi fyrir föngun og framleiðslu.

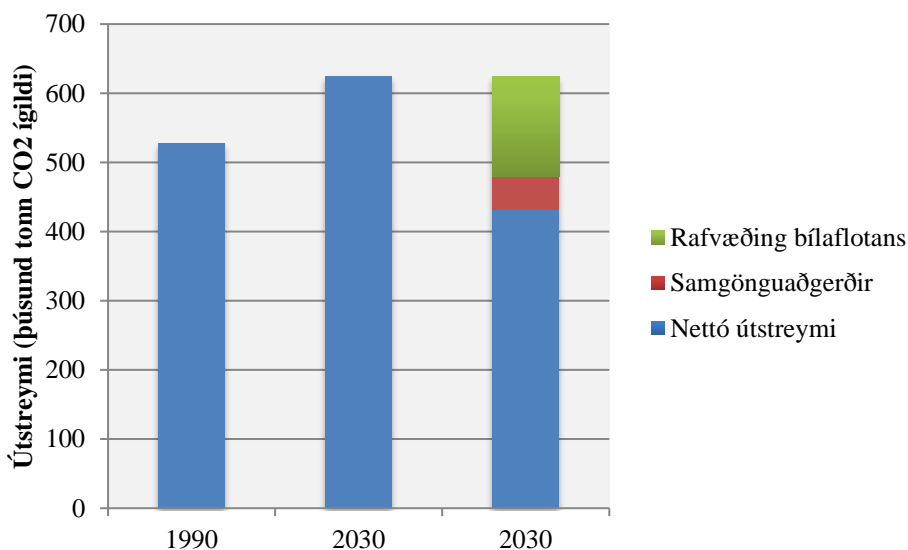
### 13.3.2 Samgöngur

Þeim áðgerðum sem beita má til að draga úr útsreyami frá vegasamgöngum á landi má skipta í fjóra flokka. Í þann fyrsta falla áðgerðir sem styrkja almenningsamgöngukerfið og að auki ýta undir að fólk fari ferða sinna gangandi eða hjólandi. Í annan flokk falla möguleikar á að blanda lífildsneyti í bensín og dísilolíu og einnig má blanda alkóhólum svo sem etanóli eða metanóli í bensín. Í þriðja lagi má beita áðgerðum til að bæta orkunýtingu, svo sem að fjölga sparneytnum fólksbílum og auka hlut dísilfólksbíla

og tvinnbíla í bílflotanum. Loks má draga úr útstreymi með nýrri tækni, svo sem E85-bílum, metanbílum, rafmagnsbílum og vetnisbílum.

Niðurstöður sýna að vetnis- og rafbílavæðing skilar mestum árangri í samdrætti á útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Þar á eftir koma almennar samgönguaðgerðir, þ.e. uppbygging fyrir göngu og hjólréiðar og hraðvagnakerfi á höfuðborgarsvæðinu sem og innleiðing E85-bifreiða. Íblöndun lífheldsneytis, aukning metanbíla og auknar fjárfestingar í sparneytnari fólksbílum hafa svipuð áhrif á útblástur gróðurhúsalofttegunda. Til lengri tíma, til ársins 2050, hafa vetnis- eða rafbílur langmest áhrif á útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Hafa þó í huga að kostnaður þessara aðgerða er mjög mismunandi og er nettócostnaður rafbílavæðingar 15.300 kr/tonn CO<sub>2</sub>, en vetnisvæðingar 203.900 kr/tonn CO<sub>2</sub>.

Þegar metin eru samlegðaráhrif aðgerða þarf að taka tillit til skörunar aðgerða. Hér er eitt slíkt tilvik sett fram. Í fyrsta lagi gert ráð fyrir að ráðist verði í aðgerðir í samgöngum, það er að efla göngu og hjólréiðar sem og fjárfest í hraðvagnakerfi. Í öðru lagi er gert ráð fyrir að ráðist verði í rafbílavæðingu. Niðurstöður eru settar fram í mynd Mynd 13-3. Þær sýna að þessar aðgerðir geta dregið úr losun gróðurhúsalofttegunda umfram grunnspá um 192 þúsund tonn árið 2030 eða um 20% fyrir samgöngur í heild sinni, en 30% fyrir vegasamgöngur.



Mynd 13-3. Heildarútstreymi frá vegasamgöngum árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvægisáðgerðum árið 2030.

Kostnaður þessara aðgerða er mjög breytilegur. Meiri ganga og hjólréiðar hafa í för með sér nettósparnað uppá 23.000 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ígilda. Nettócostnaður við uppbyggingu hraðvagnakerfis er metinn 35.400 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ígilda og nettócostnaður við rafbílavæðingu er 15.300 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ígilda. Eins og fjallað er um í kafla 6, eru margir aðrir kostir til að draga úr útstreymi, svo sem fjárfesting í sparneytnari bifreiðum og er hér með vísað í þann kafla til frekari umfjöllunar.

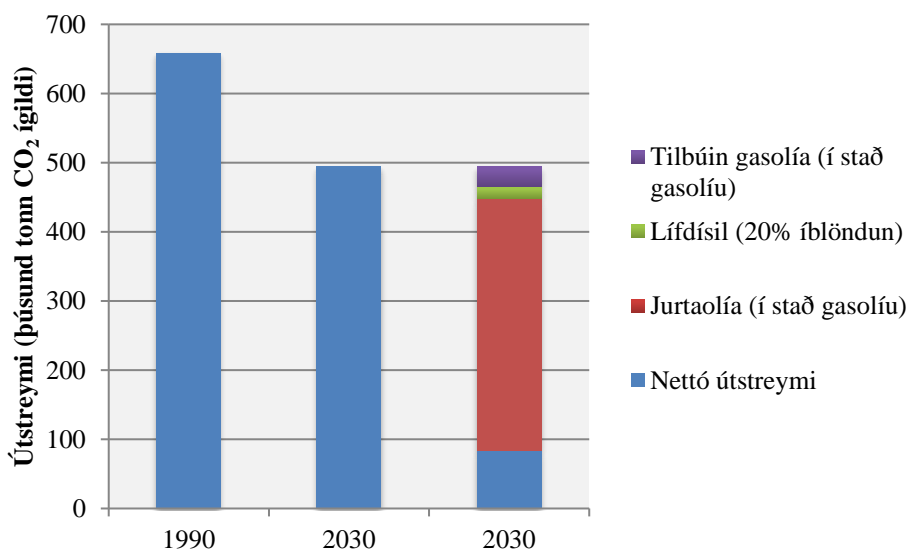
### 13.3.3 Fiskveiðar

Til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda fiskveiðiflotans má grípa til margvíslegra aðgerða sem miða að því að spara eldsneyti, auka nýtingu loftslagsvænni orkugjafa eða auka notkun landrafmagns við landlegur.

Miðað við niðurstöðurnar í kafla 7 kemur helst til greina að nota jurtaolíu í stað gasolíu en þessi valkostur er ódýrastur, hefur mest áhrif á útstreymi og kallar á tiltölulega fáar breytingar (tankahitara). Notkun jurtaolíu í stað svartolíu er ekki eins hagkvæm þar sem svartolía er ódýrari en gasolía miðað við orkuígildi.

Næstóðyrasti valkosturinn er lífmetan en breyta þarf vélum mikið til þess að nota það, og það verður hlutfallslega dýrt. Lífdísill og tilbúin gasolía eru kostnaðasamari leiðir til þess að draga úr útstreymi (11.700-11.900 krónur á tonn CO<sub>2</sub>-ígildi) en krefjast ekki breytinga á búnaði og þar að auki gæti innleiðing hugsanlega hafist fyrr.

Þessir þrjú valkostir (jurtaolíu í stað gasolíu, lífdísill 20% íblöndun og tilbúin gasolíu) eru settir saman í eina sviðsmynd. Miðað við hægt innleiðingarferli er áætlað að losun gróðurhúsalofttegunda vegna fiskveiða gæti dregist saman árið 2030 um 83% miðað við grunnspá (sjá myndMynd 13-4) en 87% miðað við útstreymi ársins 1990. Þessi árangur stafar af hraða innleiðingaferlis á notkun jurtaolíu en miðað er við að 10% af gasolíu sé skipt út fyrir jurtaolíu árið 2017 en 100% árið 2027 og þess vegna eru áhrif notkunar lífdísils og tilbúinnar gasolíu tiltölulega lítil og skammvinn. Ef miðað er við hratt innleiðingarferli gæti samdrátturinn orðið 92% miðað við grunnspá. Mikilvægt er þó að tryggja að lífheldsneyti uppfylli kröfur um raunverulegan samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Einnig skal minnt á að þó að notkun nýrra orkugjafa sé tæknilega möguleg þarf að uppfylla tæknileg skilyrði áður en þeir fara í almenna notkun í sjávarútvegi. Meðal annars verður að skilgreina nákvæmlega efnislega samsetningu og eðliseiginleika viðkomandi eldsneytis miðað við alþjóðlega staðla áður en vélaframleiðendur geta vottað að eldsneyti megi notast á tiltekna vél.



Mynd 13-4. Heildarútstreymi árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvægisáðgerðum árið 2030.

### 13.3.4 Fiskimjölsvinnsla

Það eru 11 starfandi fiskimjölsverksmiðjur á Íslandi en þær framleiða fiskimjöl og lýsi úr hráefni sem byggir t.d. loðnu, kolmuna sem og afgangi frá vinnslu annarra stærri fisktegunda. Olía er notuð í gufuframleiðslu (til þess að sjóða og eima hráefnið) og við mjölpurrkun.

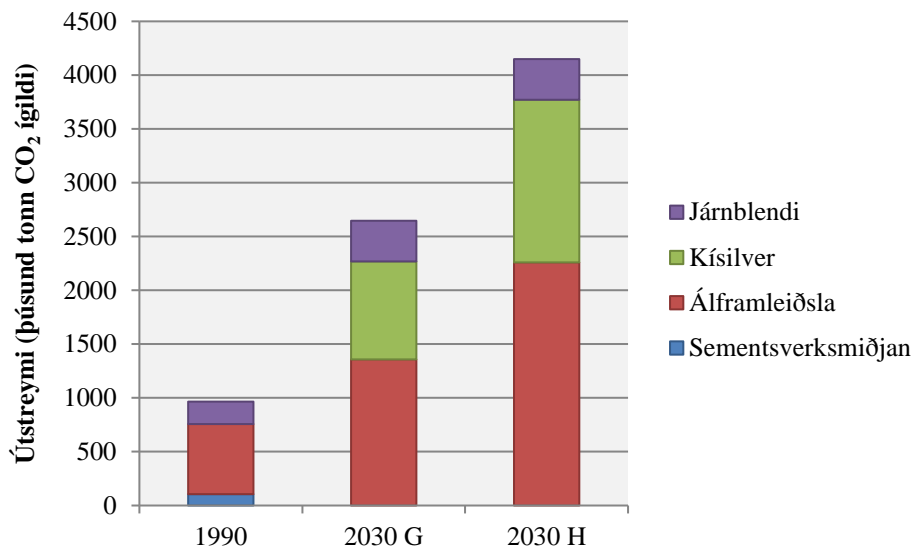
Helstu leiðir til þess að draga úr olíunotkun eru annarsvegar að nota rafskautaketil til þess að framleiða gufu og hins vegar rafmagnsknúinn loftþurrkari ef við á, en stundum er mjöl þurrkað með gufu af rafskautakatli. Búið er að rafvæða flestar verksmiðjanna undanfarin ár. Möguleikar til þess að draga úr útblástri gróðurhúsalofttegunda umfram grunntilvik fela í sér frekari raforkuvæðingu fiskimjölsverksmiðja í þeim verksmiðjum sem eru með olíukynta katla (Ísfélag Vestmannaeyja og verksmiðjur í Þórshöfn og Vestmannaeyjum) og olíuknúna loftþurrkara (HB Grandi verksmiðja á Akranesi og Síldarvinnslan, verksmiðjurnar á Seyðisfirði og Helguvík). Að auki eru verksmiðjur sem geta ekki fullnýtt rafskautakatla sína vegna skerts framboðs raforku, til dæmis Vinnslustöðin í Vestmannaeyjum og HB Grandi á Akranesi.

Samkvæmt Kerfisáætlun Landsnets 2014-23 er stefnt að því að efla tengingu við Vestmannaeyjar (spennuhækkun sem tvöfaldar flutningsgetu) og Akranes (endurnýjun tengivirkisins) en þessar aðgerðir munu gera þremur fiskimjölsverksmiðjunum (tveim í Vestmannaeyjum og einni á Akranesi) kleift að minnka olíunotkun sína verulega. Byggt á því var sett saman sviðsmynd sem byggist á Eldsneytisspá 2016 sem eins og áður hefur komið fram gerir ráð fyrir lækkun í olíunotkun í 10 kg á hráefnistonn árið 2020. Frekari lækkun í olíunotkun er síðan áætluð vegna betri tengingar Vestmannaeyjum og Akraness við flutningskerfi raforku. Gert er ráð fyrir því að Landsnet klári framkvæmdir 2016 og að verksmiðjurnar skipti yfir í raforku árin 2017-18. Í kjölfar þessa verður meðalolíunotkun 6 kg á hráefnistonn árið 2020. Við þetta verður heildarsamdráttur í útstreymi miðað við grunntilvik árið 2030 18%, og samdráttur 89% miðað við árið 1990. Eins og áður sagði er kostnaður vegna þessara aðgerða ekki metinn vegna óvissu um kostnað vegna áætlana Landsnets.

### 13.3.5 Iðnaður

Árið 2014 var útstreymi vegna iðnaðar og efnanotkunar um 2.074 tonn koldíoxíðs ígilda, eða um 45% af heildarútstreymi Íslands. Þrjár sviðsmyndir voru metnar með tilliti til breytinga á losun gróðurhúsalofttegunda þar sem lagt var mat á mögulega aukningu í útstreymi miðað við breytta framleiðslugetu.

Mynd 13-5 sýnir að heildarútstreymi frá orkufrekum iðnaði í grunntilviki gæti orðið 163% meira en útstreymi frá orkufrekum iðnaði árið 1990, eða um 54% af heildarútstreymi Íslands. Heildarútstreymi gæti orðið 215% meira en útstreymi frá orkufrekum iðnaði árið 1990, eða um 59% af heildarútstreymi Íslands. Heildarútstreymi frá orkufrekum iðnaði í hásviðsmynd gæti því orðið 292% meira en útstreymi frá orkufrekum iðnaði á árinu 1990. Það yrði þá um 63% af heildarútstreymi Íslands.



Mynd 13-5. Heildarútsreymi frá stóriðju árið 1990, árið 2030 í grunntilviki og árið 2030 í hátílviki.

Með meiri umbótum og framleiðslustýringu í álverum má minnka útsreymi gróðurhúsalofttegunda frá álverum, en íslensk álver eru reyndar nálægt tæknilegu lágmarki útsreymis miðað við núverandi framleiðslutækni. Ekki þykir líklegt að útsreymi geti dregist saman að ráði fyrr en upp úr 2030. Þá taka eðalrafskaut hugsanlega að ryðja sér rúms í álframleiðslu og einnig kann föngun kolefnis að verða fýsileg um það leyti. Þó er talið að samdráttur árið 2030 gæti orðið um 10%. Kostnaður við að draga úr útsreymi frá álverum er ekki þekktur, en gert er ráð fyrir að minnkun í útsreymi vegna betri framleiðslustýringar kosti fyrirtækin ekki neitt.

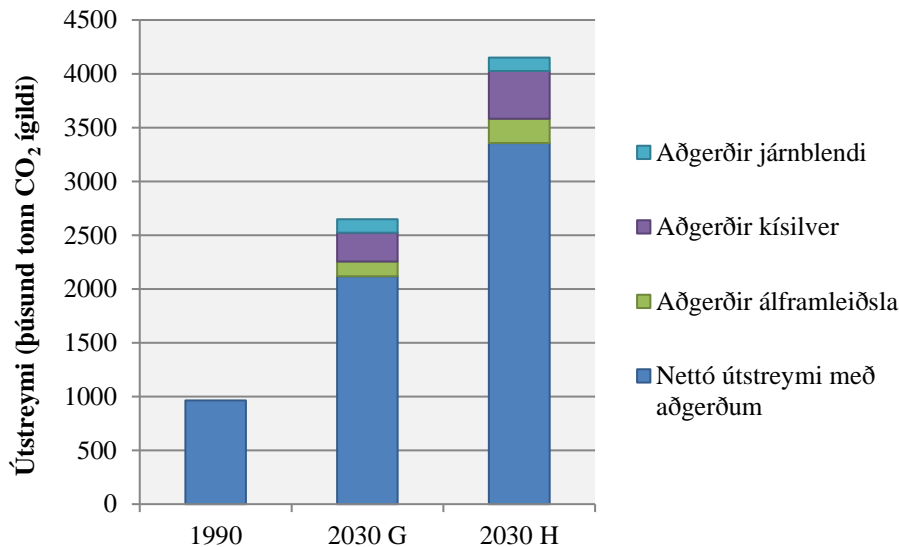
Helstu leiðir til að draga úr útsreymi gróðurhúsalofttegunda frá járnblendiframleiðslu eru að auka notkun á timburkurli í framleiðslu eða endurheimta kolefni í framleiðslunni. Talið er að hægt sé að auka notkun á timburkurli miðað við núverandi tækjabúnað um 8% miðað við það sem nú er notað og minnka þar með útsreymi gróðurhúsalofttegunda um 30-40 þúsund tonn á ári. Ef föngun kolefnis hefst er talið að hægt væri að draga úr útsreymi um 33%. Fræðilega er unnt að fanga allan kolefnisútblástur úr járnblendiverksmiðjunni og álverunum og nýta í efnaframleiðslu eða binda í bergi líkt og við jarðvarmaorkuverin. Fýsileiki slíkrar endurheimtar er þó nokkuð óljós og kallar á nokkra rannsóknar- og þróunarvinnu.

Nú þegar starfar ein kísilmálmverksmiðja hérlandis, en gert er ráð fyrir þremur öðrum verksmiðjum á næstu árum. Framleiðsluleyfi eru miðuð við bestu fáanlegu tækni. Í öllum verksmiðjunum stendur til að flytja inn lífmassahráefni sem kolefnisgjafa í framleiðsluna til að draga úr útsreymi gróðurhúsalofttegunda. Ekki er gert ráð fyrir því að unnt verði að auka notkun lífmassa í verksmiðjunum meira en gert er ráð fyrir miðað við núverandi áætlanir og framleiðsluferli. Í öllum verksmiðjum er gert ráð fyrir að útsreymi gróðurhúsalofttegunda frá notkun jarðefnakolefnis verði sambærilegt viðmiðum IPCC fyrir kísilmálmframleiðslu.

Fræðilega er unnt að fanga kolefni frá kísilmálmframleiðslu og nýta í efnaframleiðslu eða binda í jarðlögum/bergi. Slíkt er þó ekki að finna í neinni kísilmálmverksmiðju í heiminum í dag. Slík lausn mundi því kalla á verulega rannsóknar- og þróunarvinnu líkt og í ál- og járnblendiverksmiðjum. Einnig er fræðilega mögulegt að framleiða kísilmálm með rafgreiningu, en slíkt er hvergi stundað á iðnaðarskala í dag. Slík lausn myndi krefjast mikillar þróunarvinnu og eru því engar forsendur til að meta fýsileika slíkrar fjárfestingar. Þá er ekki talið líklegt að eigendur þeirra verksmiðja sem fyrirhugað

er að koma á fót vilji endurnýja alla sína framleiðslulínu fyrir en í fyrsta lagi þegar starfsleyfi þeirra kemur til endurskoðunar, en það er t.d. árið 2031 fyrir Thorsil og 2030 fyrir United Silicon. Þrátt fyrir þessa óvissu er talið að hægt sé að draga úr útstreymi allt að 30% fram til ársins 2030 með föngun og bindingu.

MyndMynd 13-6 sýnir heildarsamdrátt frá stóriðju miðað við framangreindar aðgerðir. Í heild minnka mótvægisáðgerðir á árinu 2030 útstreymi frá stóriðju um 20% miðað við útstreymi í grunnsviðsmynd, og um 19% í hásviðsmynd.



Mynd 13-6. Heildarútstreymi árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvægisáðgerðum árið 2030 í grunntilviki og hátílviki.

Undir annan iðnað fellur útstreymi vegna starfsemi annarra iðnaðarfyrirtækja, s.s. áburðarverksmiðju, steinullarverksmiðju, malbikunarstöðva og vegna brennslu eldstneytis í öðrum iðnaði. Útstreymi frá þessari starfsemi hefur farið minnkandi undanfarin ár enda nokkur fyriræki í þessum geira nú hætt starfsemi. Ekki var spáð fyrir um breytingar í útstreymi vegna starfsemi í öðrum iðnaði.

Flokkurinn efnanotkun skiptist í leysiefni og HFC efni og telur um 7% af heildarútstreymi Íslands. Mögulegar mótvægisáðgerðir vegna efnanotkunar voru ekki skoðaðar en talið er að þær liggi helst í notkun annarra kælimiðla með lægri hlýnunarmátt en HFC efni í kælibúnaði fiskiskipa og verslunarmiðstöðva.

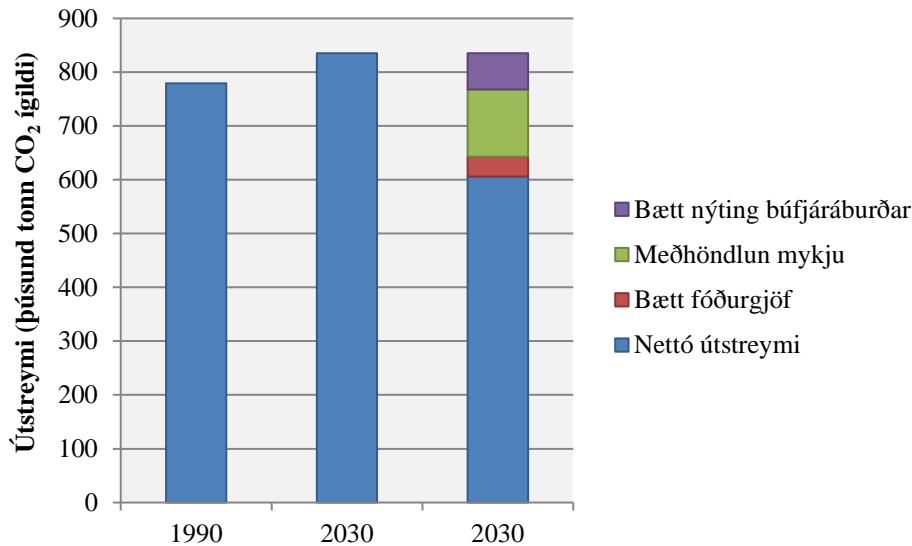
### 13.3.6 Landbúnaður

Árið 2014 var útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði um 747 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda eða um 16% af heildarútstreymi Íslands. Útstreymi vegna landbúnaðar verður einkum vegna myndunar metans í meltingarvegi búfænaðar, vegna loftfirrts niðurbrots mykju og vegna niðurbrots áburðarefna á landbúnaðarlandi. Þá er þó m.a. ekki talið með útstreymi vegna framræslu lands.

Helstu leiðir til þess að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði eru bætt fóðrun búfænaðar til að draga úr framleiðslu metans, loftþétt geymsla búfjáráburðar, metangasgerð úr mykju og aukin notkun búfjáráburðar á kostnað tilbúins köfnunarefnisáburðar. Rannsóknir á breyttri fóðrun búfænaðar hafa að mestu farið fram erlendis og talsverð óvissa er um skilvirkni þeirrar aðgerðar á

Íslenskum bústofnum. Talið er að talsverður hagnaður sé af því að auka nýtingu búfjáraburðar, annars vegar til að draga úr innflutningi tilbúins áburðar og hinsvegar til metangasgerðar.

Mynd 13-7 sýnir niðurstöður þess ef þessar aðgerðir eru settar saman í eina sviðsmynd gætu þær leitt til samdráttar í útstreymi frá landbúnaði um 27% og 22% miðað við útstreymi ársins 1990.



Mynd 13-7. Heildarútstreymi árið 1990, 2030 og heildarútstreymi með mótvegisaðgerðum árið 2030.

### 13.3.7 Meðferð úrgangs

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi á að mestu uppruna sinn að rekja til urðunarstaða víðsvegar um landið. Þar losnar hauggas frá loftfirrtu niðurbroti lífræns úrgangs, s.s. matarleifa, pappa, pappírs og gróðurleifa o.fl. út í andrúmsloftið. Til úrgangs heyrir einnig skólp frá heimilum og iðnaði, en aðstæður í sjó, vötnum og rótþróm geta valdið því að niðurbrot lífrænna efnasambanda verði loftfirrt og losnar þá metan, CO<sub>2</sub> og N<sub>2</sub>O. Helstu leiðir til meðhöndlunar á úrgangi eru urðun, jarðgerð, metangasvinnsla, brennsla og endurvinnsla.

Árið 2014 var útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun úrgangs um 255 þúsund tonn CO<sub>2</sub> -ígilda eða um 6% af heildarútstreymi Íslands. Heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda helgast af þeim hlutföllum meðhöndlunaraðgerða sem gert er ráð fyrir í útstreymisspá. Gert er ráð fyrir að heildarútstreymi árið 2030 verði 192 þúsund tonn, eða 24% lægra en árið 2014.

Niðurstöður sýna að útstreymi ársins 2030 gæti orðið 122 þúsund tonn CO<sub>2</sub> -jafngilda, eða um 28% lægra en útstreymi ársins 1990 og 37% lægra en útstreymi ársins 2030 í grunntilviki. Kostnaður aðgerðanna gefur til kynna beinan fjárhagslegan ávinning af aðgerðunum uppá 4.432 kr á tonn CO<sub>2</sub> -ígilda.

### 13.3.8 Landgræðsla, skógrækt og endurheimt votlendis

#### *Landgræðsla*

Rannsóknir sýna að með landgræðslu binst kolefni í plöntum og jarðvegi yfir lengri tíma en binding fer eftur landgræðum og aðstæðum og er um 100-500 tonn CO<sub>2</sub> -ígilda á km<sup>2</sup> á ári. Mat á bindingu kolefnis vegna landgræðsluverkefna ræðst af forsendum um árlegt umfang, árlega bindingu og tímabil bindingar. Miðað er við meðaltals bindingarstuðulinn 2,1 tonn CO<sub>2</sub> á ha á ári, óháð aðferð. Árleg binding landgræðsluverkefna sem hófust eftir árið 1990 var metin um 221 þúsund tonn árið 2014

Þrjár sviðsmyndir voru skoðaðar til með meta tæknilega möguleika til landgræðslu, grunntilvik eða venjubundin þróun (e. business as usual), miðspá og háspá. Í grunntilviki er gert ráð fyrir að umfang landgræðsluverkefna verði svipað og undanfarin ár. Í miðtilviki er gert ráð fyrir að umfang verði tvisvar sinnum meira en í grunntilviki og í hátilviki er gert ráð fyrir að umfang verði fjórum sinnum meira en í grunntilviki.

Niðurstöður sýna að umfang árlegra nýrra aðgerða er frá 4.076 hekturum í grunnspá uppí 16.304 hektara í háspá. Samsvarandi heildarumfang bindingar er frá 375 þúsund tonnum í 777 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2030. Kostnaður við bindinguna með landgræðslu er per hektara yfir líftíma bindingar 5.760 kr/ha og miðað við 2,1 tonna bindingu per ha kostar 2.740 kr að binda tonn CO<sub>2</sub> með landgræðslu.

#### *Skógrækt*

Rannsóknir sýna að verulegt magn kolefnis binst í skógi, og að umtalsverður breytileiki er á magninu eftir aldri, trjátegund og staðsetningu eða frá 60 til 1.120 tonn CO<sub>2</sub> á km<sup>2</sup> á ári. Rannsóknir hafa jafnframt leitt í ljós að verulegt magn kolefnis binst í jarðvegi skóga hér á landi, eða 130-200 tonn CO<sub>2</sub> á km<sup>2</sup> á ári. Samkvæmt þeim tölum sem skilað er til loftslagssamningsins var nettóbinding íslenskra skóga árið 2014 sem plantað var eftir árið 1990, auk birkis um 188 þúsund tonn.

Líkt og í landgræðslu voru þrjár sviðsmyndir skoðaðar til með meta tæknilega möguleika til bindingar kolefnis með skógrækt; grunntilvik, miðspá og háspá. Við að meta umfang skógræktarverkefna í grunntilviki var gert ráð fyrir ræktun sem samsvarar meðaltali ræktunarumfangs árána 2011-2013, eða 1.068 hektarar árlega. Í miðtilviki var gert ráð fyrir að fjöldi hektara í grunntilviki tvöfaldist, og í hátilviki er gert ráð fyrir að fjöldi hektara í grunntilviki fjórfaldist.

Niðurstöður sýna að heildarumfang bindingar árið 2030 vegna skógræktar gæti orðið 369 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda í grunntilviki og upp í 535 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda í hátilviki. Kostnaður við bindinguna var metinn á um 2.500 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildum.

#### *Endurheimt votlendis*

Þegar votlendi er ræst fram nær súrefni niður í jarðveginn og við það losna gróðurhúsalofttegundir út í andrúmsloftið þegar rotnun plöntuleifa hefst. Losun gróðurhúsalofttegunda úr framræstu votlendi á Íslandi árið 2013 var metin 11,7 milljónir tonna CO<sub>2</sub>-ígildi sem er 73% af um 16 milljóna tonna heildarlosun landsins. Þó ber að minna á að losun vegna lands sem framræst var fyrir árið 1990 er ekki talið fram í bókhalda sem varðar skuldbindingar Íslands innan Kyoto bókunarinnar.

Um 4.200 km<sup>2</sup> votlendis hafa verið ræstir fram hér á landi með um 34 þúsund km af skurðum. Af því landi sem ræst hefur verið fram eru um 900 km<sup>2</sup> í lítilli beinni notkun. Skv. rannsóknnum frá Landbúnaðarháskólanum má áætla að þegar fyllt er í skurði dragist losun gróðurhúsalofttegunda saman um 24,5 tonn af CO<sub>2</sub>-ígildum á hvern hektara, eða 2.450 tonn á hvern km<sup>2</sup> sem endurheimtur sé á ári.

Ef gert er ráð fyrir að endurheimt 10% af þeim 900 km<sup>2</sup> sem eru í lítilli notkun hafi náðst má gera ráð fyrir bindingu uppá um 220 þúsund tonna af CO<sub>2</sub> ígildi. Ef um 50% hefur verið endurheimt má gera ráð fyrir bindingu uppá 1,1 milljón tonn. Ef gert er ráð fyrir að endurheimt 100% þeirra 900 km<sup>2</sup> sem eru í lítilli notkun hafi náðst að fullu á árinu 2025 gæti heildarbinding vegna endurheimt votlendis verið um 2,2 milljónir tonna af CO<sub>2</sub> ígildi árið 2030. Ef sömu kostnaðar- og ábata forsendur eru notaðar og nýttar voru í skýrslu sérfræðinganeftndar frá árinu 2009, er meðaltals kostnaður per tonn 920 kr/tonn CO<sub>2</sub> ígildum.

### **13.4 Samlegðaráhrif mótvægisáðgerða**

#### **13.4.1 Grunntilvik**

Árið 2030 er gert ráð fyrir að heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda nemi samtals um 5.449 þúsund tonnum, þar sem heildarústreymi er skilgreint sem ústreymi án bindingar (tafla Tafla 13-3). Er þá miðað við grunnsviðsmynd. Með samsetningu mótvægisáðgerða (án áðgerða til bindingar) mætti hugsanlega draga úr ústreymi um 1.716 þúsund tonn, en þessar mótvægisáðgerðir hafa þegar verið útskýrðar í kafla 13.2 hér á undan. Taka ber þó fram að aðrar samsetningar mótvægisáðgerða eru að sjálfsögðu mögulegar. Ef ennfremur er gert ráð fyrir að árlegt umfang nýrra verkefna í landgræðslu og skógrækt haldist óbreytt m.v. núverandi umfang má áætla að sú kolefnisbinding sem af því hlytist myndi nema um 744 þúsund tonnum árið 2030 og því leiða til heildarsamdráttar á um 2.460 þúsund tonnum í nettóústreymi gróðurhúsalofttegunda, þar sem nettóústreymi er reiknað sem heildarústreymi að frádregnum mótvægisáðgerðum og bindingu. Þetta þýðir að heildarústreymi ársins 2030 verður 55% af áætluðu heildarústreymi ársins 2030, og 18% lægra en nettóústreymi ársins 1990.

Ef að auki er gert ráð fyrir auknum áðgerðum á sviði landnotkunar þannig að umfang skógræktar- og landgræðsluáðgerða verði tvöfaldað og ráðist verði í verkefni í endurheimt votlendis þannig að um 10% framræst lands sem sé í lítilli notkun sé endurheimt, má ætla að hægt verði að draga úr heildarlosun uppá 2.871 þúsund tonn. Verður þá heildarústreymi ársins 2030, 47% af áætluðu heildarústreymi ársins 2030, og 29% lægra en nettóústreymi ársins 1990.

Ef áðgerðahraði á sviði landnotkunar verður fjórfaldaður auk sama áðgerðahraða í endurheimt votlendis þá verður heildarústreymi 40% af áætluðu ústreymi ársins 2030 og 39% lægra en ústreymi ársins 1990. Mun meiri árangri er þó hægt að ná með aukinni endurheimt votlendis og ef 100% framræst lands sem er í lítilli notkun væri endurheimt yrði losun ársins 94% lægra en nettóústreymi ársins 1990.

Tafla 13-3. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í grunntilviki auk mótvægisáðgerða í helstu geirum.

	Útstreymi 1990	Útstreymi 2030	Mótvægisáðgerðir	Nettóútstreymi 2030	
	Þúsund tonn CO2 jafng.	Þúsund tonn CO2 jafng.	Þúsund tonn CO2 jafng.	m.t.t. mótvægisáðgerða Þúsund tonn CO2 jafng.	1990 - 2030 %
Olíubrennsla vegna orkuframleiðslu	61	14	8	6	-91%
Jarðhitavirkjanir	62	302	264	38	-39%
Samgöngur	619	686	192	494	-20%
Mannvirkjagerð	135	102	12	90	-33%
Annar iðnaður	57	-	-	-	-
Fiskiskip	659	495	411	84	-87%
Fiskimjöl	129	17	3	14	-89%
Landbúnaður	780	835	228	607	-22%
Úrgangur	168	192	70	122	-28%
Efnanotkun	6	165	0	165	2889%
Járblendiframleiðsla	208	367	123	244	17%
Kísilframleiðsla	0	913	269	644	-
Sementsframleiðsla	105	0	0	0	-
Álframleiðsla	651	1361	136	1225	88%
<b>Samtals</b>	<b>3638</b>	<b>5449</b>	<b>1716</b>	<b>3733</b>	<b>3%</b>
Landnotkun óbreyttar áðgerðir			744		
Samtals með óbreyttum áðgerðum				2989	-18%
Landnotkun 2x áðgerðahraði, 10% endurheimt			1155		
Samtals með 2x áðgerðahraða, 10% endurheimt votlendis				2578	-29%
Landnotkun 4x áðgerðahraði, 10% endurheimt votlendis			1531		
Samtals með 4x áðgerðahraða, 10% endurheimt votlendis				2202	-39%
50% endurheimt votlendis			1102		
Samtals með 4x áðgerðahraða, 50% endurheimt votlendis				1319	-64%
100% endurheimt votlendis			2205		
Samtals með 4x áðgerðahraða, 100% endurheimt votlendis				217	-94%

Þar sem stóriðja, svo sem framleiðsla járnlendis, áls og kísils fellur innan viðskiptakerfis Evrópusambandsins um losunarheimildir er nauðsynlegt að skoða hvað mótvægisáðgerðir geta skilað miklum ávinningi ef útstreymi frá þeim geirum sem falla innan kerfisins er ekki tekið með. Tafla 13-4 sýnir þær niðurstöður. Eins og sjá má á töflunni breytir þetta miklu um heildaráhrif mótvægisáðgerða. Niðurstöðurnar benda til þess að við venjubundna þróun í bindingu og ef allar mótvægisáðgerðir eru innleiddar gæti útstreymi ársins 2030 orðið 67% lægri en útstreymi ársins 1990. Ef áðgerðir í landgræðslu og skógrækt eru tvöfaldaðar auk bindingar vegna endurheimtar votlendis uppá 10% þess lands sem er í lítilli notkun, gæti útstreymi ársins 2030 orðið 83% lægra en útstreymi ársins 1990 og ef áðgerðahraði yrði fjórfaldaður gæti útstreymi ársins 2030 orðið 97% lægra en útstreymi ársins 1990.

Mun meiri árangri væri hægt að ná með aukinni endurheimt votlendis og ef 100% framræst lands sem er í lítilli notkun væri endurheimt yrði losun ársins 171% lægri en nettóústreymi ársins 1990.

**Tafla 13-4. Ústreymi gróðurhúsalofttegunda í grunntilviki auk mótvægisáðgerða í helstu geirum án geira sem falla undir ETS kerfið.**

	Nettóústreymi 2030				
	Ústreymi 1990	Ústreymi 2030	Mótvægisáðgerðir	m.t.t. mótvægisáðgerða	1990 - 2030
	Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	%
<b>Olíubrennsla vegna orkuframleiðslu</b>	61	14	8	6	-91%
<b>Jarðhitavirkjanir</b>	62	302	264	38	-39%
<b>Samgöngur</b>	619	686	192	514	-20%
<b>Mannvirkjagerð</b>	135	102	12	90	-33%
<b>Annar iðnaður</b>	57	-	-	-	NA
<b>Fiskiskip</b>	659	495	411	84	-87%
<b>Fiskimjöl</b>	129	17	3	14	-89%
<b>Landbúnaður</b>	780	835	228	607	-22%
<b>Úrgangur</b>	168	192	70	122	-28%
<b>Efnanotkun</b>	6	165	0	165	2889%
<b>Samtals</b>	2674	2808	1188	1620	-39%
<b>Landnotkun óbreyttar áðgerðir</b>			744		
<b>Samtals með óbreyttum áðgerðum</b>				876	-67%
<b>Landnotkun 2x áðgerðahraði, 10% endurheimt</b>			1155		
<b>Samtals með 2x áðgerðahraða, 10% endurheimt</b>				465	-83%
<b>Landnotkun 4x áðgerðahraði, 10% endurheimt</b>			1531		
<b>Samtals með 4x áðgerðahraða, 10% endurheimt</b>				89	-97%
<b>50% endurheimt votlendis</b>			1102		
<b>Samtals með 4x áðgerðahraða, 50% endurheimt votlendis</b>				-793	-130%
<b>100% endurheimt votlendis</b>			2205		
<b>Samtals með 4x áðgerðahraða, 100% endurheimt votlendis</b>				-1896	-171%

### 13.4.2 Hátilvik

Árið 2030 í hátilviki er gert ráð fyrir að heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda nemi samtals um 7.134 þúsund tonnum í þeim geirum sem taldir eru til hér að neðan. Með ýmsum mögulegum mótvægisáðgerðum (án áðgerða á sviði landnotkunar) mætti hugsanlega draga úr ústreymi um 2.041 þúsund tonn (taflaTafla 13-5). Ef ennfremur er gert ráð fyrir að árlegt umfang nýrra verkefna í landgræðslu og skógrækt haldist óbreytt m.v. núverandi umfang má áætla að sú kolefnisbinding sem af því hlytist myndi nema um 744 þúsund tonnum árið 2030 og því leiða til heildarsamdráttar á um 2.805

þúsund tonnum í nettóúttreymsi gróðurhúsalofttegunda. Þetta þýðir að heildarúttreymsi ársins 2030 verður 61% af áætlaðu heildarúttreymsi ársins 2030, og 19% hærra en nettóúttreymsi ársins 1990.

Ef að auki er gert ráð fyrir auknum aðgerðum á sviði landnotkunar þannig að umfang skógræktar- og landgræðsluaðgerða verði tvöfaldað og ráðist verði í verkefni í endurheimt votlendis á um 10% þess lands sem er í lítilli notkun, má ætla að hægt verði að draga úr heildarlosun uppá 3.216 þúsund tonn. Verður þá heildarúttreymsi ársins 2030, 55% af áætlaðu heildarúttreymsi ársins 2030, og 8% hærra en nettóúttreymsi ársins 1990.

Ef aðgerðahraði á sviði landnotkunar verður fjórfaldaður, auk endurheimtar votlendis þá verður heildarúttreymsi 50% af áætluðu úttreymsi ársins 2030 og 3% lægra en úttreymsi ársins 1990. Mun meiri árangri væri hægt þó að ná með aukinni endurheimt votlendis, og gera má ráð fyrir að ef 100% framræst lands sem er í lítilli notkun er endurheimt þá yrði heildarúttreymsi ársins 2030 57% minna en 1990.

Tafla 13-5. Úttreymsi gróðurhúsalofttegunda í hátílviki auk mótvægisáðgerða.

	Úttreymsi 1990 Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	Úttreymsi 2030 Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	Mótvægis- aðgerðir Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	Nettóúttreymsi 2030 m.t.t. mótvægis- aðgerða Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	1990 - 2030 %
Olíubrennsla vegna orkuframleiðslu	61	14	8	6	-91%
Jarðhitavirkjanir	62	457	342	115	85%
Samgöngur	619	686	192	514	-20%
Mannvirkjagerð	135	114	14	100	-26%
Annar iðnaður	57	-	-	-	-
Fiskiskip	659	495	411	84	-87%
Fiskimjöl	129	17	3	14	-89%
Landbúnaður	780	835	228	607	-22%
Úrgangur	168	192	70	122	-28%
Efnanotkun	6	186	0	186	3270%
Járblendiframleiðsla	208	367	123	244	17%
Kísilframleiðsla	0	1513	445	1068	-
Sementsframleiðsla	105	0	0	0	-
Álframleiðsla	651	2259	226	2033	212%
<b>Samtals</b>	<b>3638</b>	<b>7134</b>	<b>2061</b>	<b>5073</b>	<b>39%</b>
Landnotkun óbreyttar aðgerðir			744		
<b>Samtals með óbr. aðgerðum</b>				<b>4329</b>	<b>19%</b>
Landnotkun 2x aðgerðahraði, 10% endurheimt			1155		
<b>Samtals með 2x aðgerðahraða, 10% endurheimt</b>				<b>3918</b>	<b>8%</b>
Landnotkun 4x aðgerðahraða, 10% endurheimt			1531		
<b>Samtals með 4x aðgerðahraða, 10% endurheimt</b>				<b>3542</b>	<b>-3%</b>
50% endurheimt votlendis			1102		
<b>Samtals með 4x aðgerðahraða, 50% endurheimt votlendis</b>				<b>2650</b>	<b>-27%</b>
100% endurheimt votlendis			2205		
<b>Samtals með 4x aðgerðahraða, 100% endurheimt votlendis</b>				<b>1547</b>	<b>-57%</b>

Tafla 13-6 sýnir áhrif mótvægisáðgerða og útstreymi ef útstreymi frá geirum sem falla innan viðskiptakerfis með losunarheimildir er ekki tekið með í hátilviki. Eins og sjá má á töflunni breytir sem fyrr miklu um áhrif mótvægisáðgerða ef þessir geirar eru teknir út. Niðurstöðurnar benda til þess að við venjubundna þróun í bindingu og ef allar mótvægisáðgerðir eru innleiddar gæti útstreymi ársins 2030 orðið 63% lægra en útstreymi ársins 1990. Ef áðgerðir í landgræðslu og skógrækt eru tvöfaldaðar auk endurheimt votlendis uppá 10% þess lands sem er í lítilli notkun gæti útstreymi ársins 2030 orðið 79% lægra en útstreymi ársins 1990 og ef áðgerðahraði yrði fjórfaldaður gæti útstreymi ársins 2030 orðið 93% lægra en útstreymi ársins 1990. Mun meiri árangri væri þó hægt að ná með frekari endurheimt votlendis eða allt að 167% lægra en útstreymi ársins 1990 ef 100% framræst lands sem er í lítilli notkun væri endurheimt.

Tafla 13-6. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í hátilviki auk mótvægisáðgerða í helstu geirum án geira sem falla undir ETS kerfið.

	Nettóústreymi 2030				
	Útstreymi 1990	Útstreymi 2030	Mótvægisáðgerðir	m.t.t. mót­vægisáðgerða	1990 - 2030
	Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	Þúsund tonn CO <sub>2</sub> jafng.	%
Olíubrennsla vegna orkuframleiðslu	61	14	8	6	-91%
Jarðhitavirkjanir	62	457	342	115	85%
Samgöngur	619	686	192	514	-20%
Mannvirkjagerð	135	114	14	100	-26%
Annar iðnaður	57	-	-	-	NA
Fiskiskip	659	495	411	84	-87%
Fiskimjöl	129	17	3	14	-89%
Landbúnaður	780	835	228	607	-22%
Úrgangur	168	192	70	122	-28%
Efnanotkun	6	186	0	186	3270%
<b>Samtals</b>	<b>2674</b>	<b>2995</b>	<b>1268</b>	<b>1728</b>	<b>-35%</b>
Landnotkun óbreyttar áðgerðir			744		
Samtals með óbreyttum áðgerðum				984	-63%
Landnotkun 2x áðgerðahraði, 10% endurheimt			1155		
Samtals með 2x áðgerðahraða, 10% endurheimt				573	-79%
Landnotkun 4x áðgerðahraði, 10% endurheimt			1531		
Samtals með 4x áðgerðahraða, 10% endurheimt				197	-93%
50% endurheimt votlendis			1102		
Samtals með 4x áðgerðahraða, 50% endurheimt votlendis				-685	-126%
100% endurheimt votlendis			2205		
Samtals með 4x áðgerðahraða, 100% endurheimt votlendis				-1788	-167%

### 13.5 Kostnaður

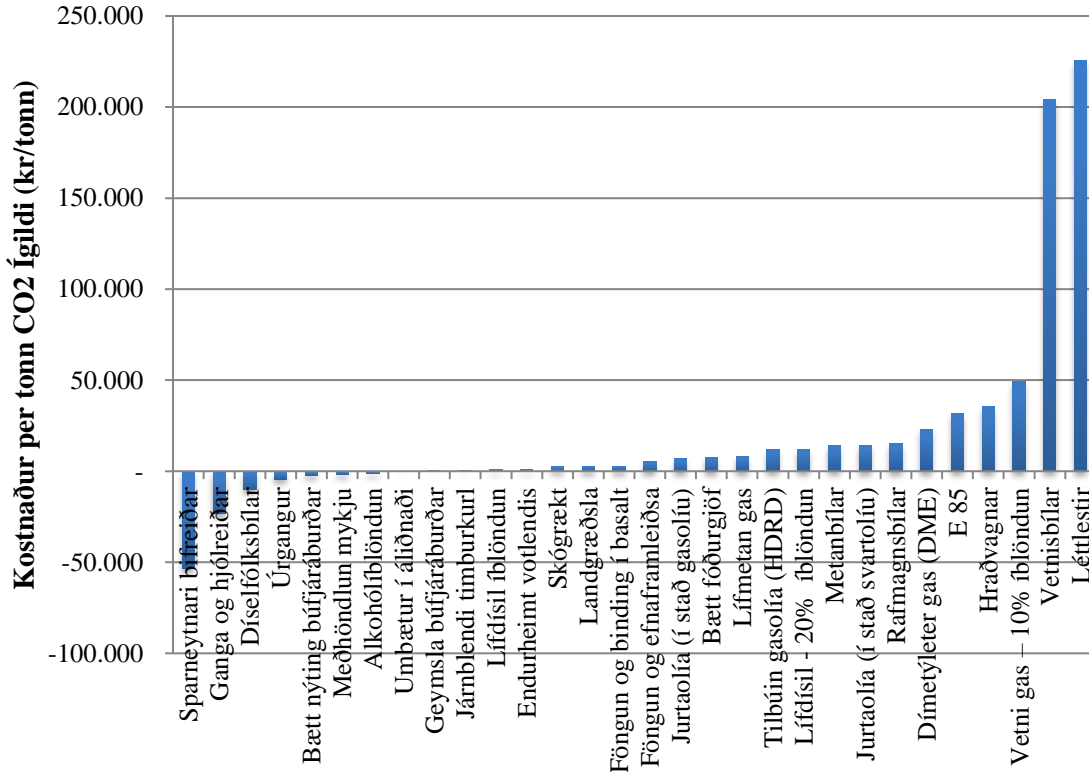
Þær aðgerðir sem fjallað hefur verið um í köflunum hér að framan eru misdýrar. Sumar, svo sem aukin áhersla á sparneytnari bifreiðar eða ganga og hjólreiðar, hafa í för með sér hreinan ávinning og er kostnaðurinn í því tilfelli neikvæður. Tafla 13-7 ber saman nettókostnað mótvægisáðgerða. Taflan nær til allra þeirra áðgerða sem rætt hefur verið um í skýrslunni sem eru tæknilega mögulegar nú þegar. Athygli vekur hinn gríðarlegi kostnaðarmunur milli áðgerða innan sama geira, svo sem innan samgangna. Langdýrustu kostirnir á hvert tonn af samdrætti af gróðurhúsalofttegundum er vetnisvæðing samgangna sem og bygging léttlestar á höfuðborgarsvæðinu. Aðrir kostir innan samöngugeirans munu eins og áður sagði leiða af sér hreinan ábata.

Tafla 13-7. Kostnaður helstu mótvægisáðgerða (kr/tonn CO<sub>2</sub> jafngildi)

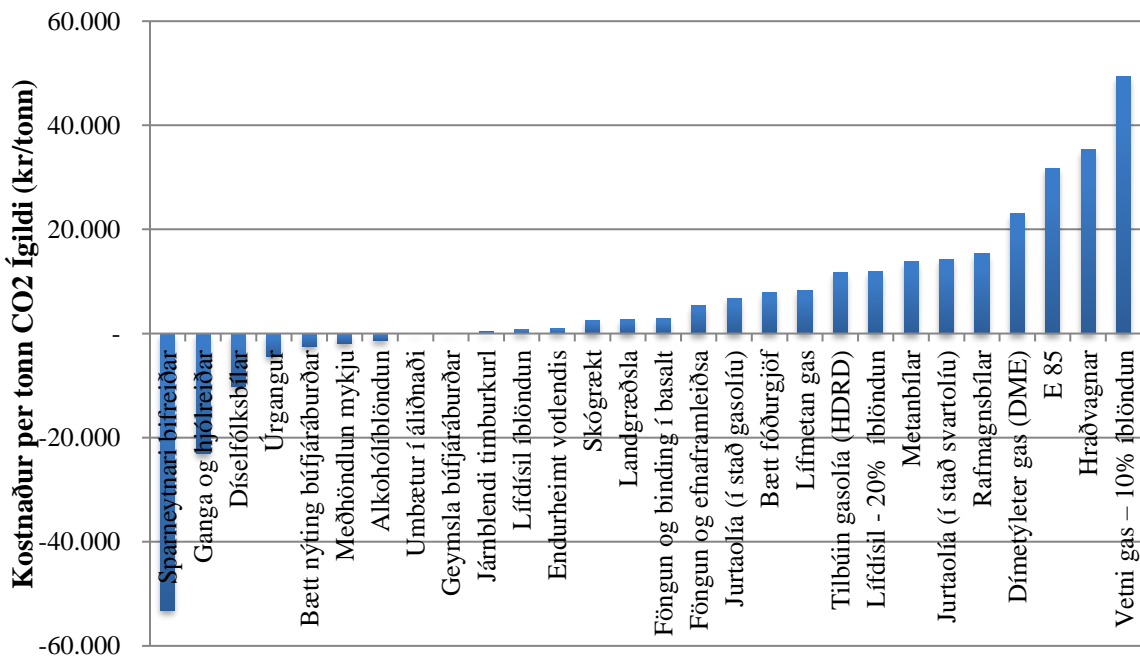
Aðgerð	Flokkur	Kostnaður per tonn CO <sub>2</sub> ígildi [kr/tonn]
Sparneytnari bifreiðar	Samgöngur	(53.300)
Ganga og hjólreiðar	Samgöngur	(23.000)
Díselfólksbílar	Samgöngur	(10.200)
Úrgangur	Úrgangur	(4.432)
Bætt nýting búfjáraburðar	Landbúnaður	(2.500)
Meðhöndlun mykju	Landbúnaður	(1.850)
Alkóhólíblöndun	Samgöngur	(1.300)
Umbætur í áliðnaði	Stóriðja	-
Geymsla búfjáraburðar	Landbúnaður	80
Járblendir timburkurl	Stóriðja	300
Lífdísil íblöndun	Samgöngur	800
Endurheimt votlendis	Landbúnaður	920
Skógrækt	Landgræðsla	2.500
Landgræðsla	Jarðvarmi	2.700
Föngun og binding í basalt	Skógrækt	2.800
Föngun og efnaframleiðsla	Jarðvarmi	5.430
Jurtaolía (í stað gasolíu)	Sjávarútvegur	6.800
Bætt fóðurgjöf	Landbúnaður	7.800
Lífmetan gas	Sjávarútvegur	8.200
Tilbúin gasolía (HDRD)	Sjávarútvegur	11.700
Lífdísil - 20% íblöndun	Sjávarútvegur	11.900
Metanbílar	Samgöngur	13.900
Jurtaolía (í stað svartolíu)	Sjávarútvegur	14.300
Rafmagnsbílar	Samgöngur	15.300
Dímetyleter gas (DME)	Sjávarútvegur	23.100
E 85	Samgöngur	31.800
Hraðvagnar	Samgöngur	35.400
Vetni gas – 10% íblöndun	Sjávarútvegur	49.300
Vetnisbílar	Samgöngur	203.900
Léttlestir	Samgöngur	225.600

### 13.6 Framboðsferill mótvægisáðgerða

Ef mótvægisáðgerðum er raðað í kostnaðarröð myndast hinn svokallaði framboðsferill mótvægisáðgerða sem sýnir glöggð hinn mikla kostnaðarmun (myndMynd 13-8). Á myndMynd 13-9 hafa dýrustu mótvægisáðgerðinar verið fjarlægðar og sést þá glöggð dreifing nettókostnaðar mótvægisáðgerða en 7 áðgerðir er hægt að framkvæma með nettóábata.

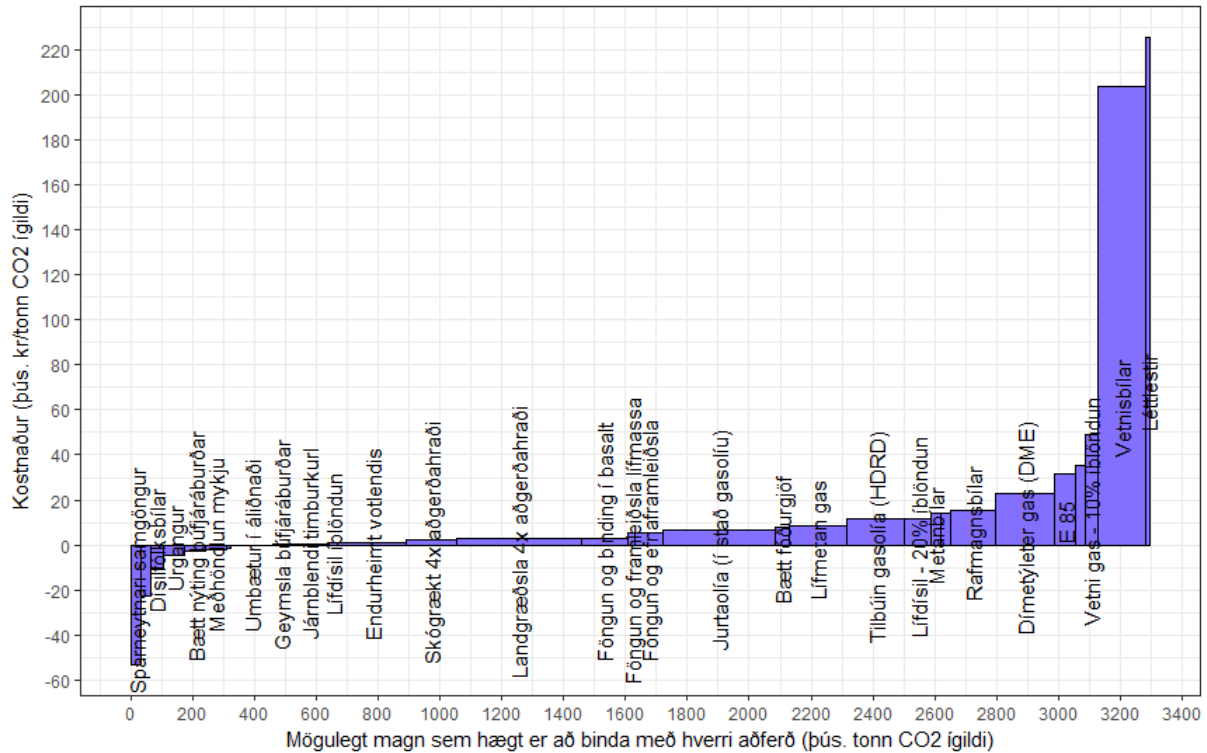


Mynd 13-8. Kostnaður við hverja mótvægisáðgerð (kr/tonn)

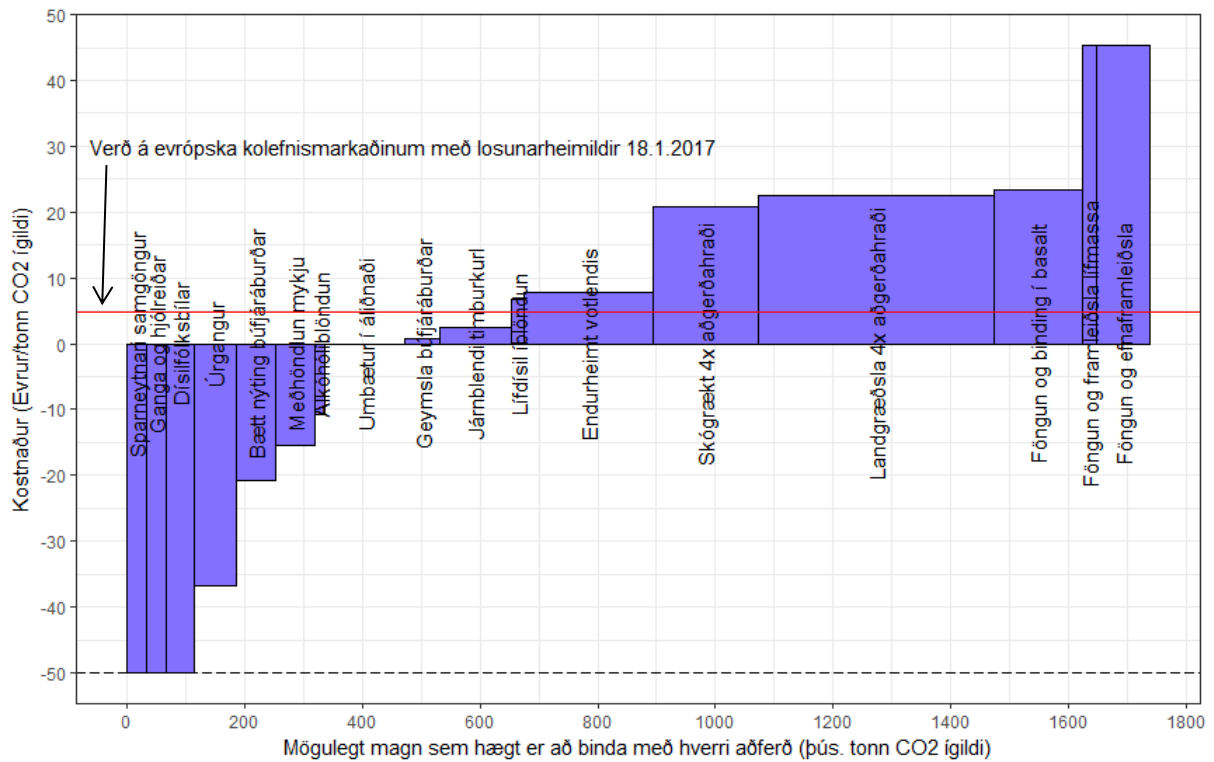


Mynd 13-9. Kostnaður við hverja mótvægisáðgerð (kr/tonn) án dýrustu kostanna.

Á myndum 13-10 og Mynd 13-11 má svo sjá framboðsferilinn þegar búið er að taka tillit til þess magns af CO<sub>2</sub> sem hver aðgerð getur staðið undir, annars vegar fyrir allar aðgerðir og hins vegar þegar búið er að taka út þær aðferðir sem kosta meira en 50 Evrur á hvert tonn CO<sub>2</sub> ígildi. Á mynd 13-11 má einnig sjá til samanburðar verð losunarheimilda per tonn af CO<sub>2</sub> ígildi á evrópska markaðinum með losunarheimildir í upphafi árs 2017 (rauð lína). Sá samanburður sýnir glögg möguleg áhrif hins lága verðs losunarheimilda en fáera má rök fyrir því að fyrirtæki sjái sér frekar hag í að kaupa sér losunarheimildir en að fjárfesta í aðgerðum sem kosta meira en 5 evrur á tonn af CO<sub>2</sub> ígildum.



Mynd 13-10. Framboðsferill mótvægisáðgerða þar sem breidd súla endurspeglar mögulegt magn sem hægt er að binda með viðkomandi aðferð.



Mynd 13-11. Framboðsferill mótvægisáðgerða þar sem breidd súla endurspeglar mögulegt magn sem hægt er að binda með viðkomandi aðferð, en hámarkskostnaður er 50 Evrur/tonnCO<sub>2</sub>.

## 14 Niðurlag

### 14.1 Þróun í losun gróðurhúsalofttegunda 1990 – 2014

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda jókst um 26% frá árinu 1990 til 2014 ef nettóbinding vegna landnotkunar er ekki tekin með og var um 4.600 tonn árið 2014. Aukningin var um 15% ef nettóbinding með landgræðslu og skógrækt er tekin með. Útstreymi jókst mest frá iðnaði og efnanotkun, eða um 79%. Útstreymi jókst einnig frá orkuframleiðslu (69%), úrgangi (52%) og samgöngum (39%). Samdráttur um 42% varð hins vegar í útstreymi frá sjávarútvegi og um 4% í landbúnaði. Á sama tímabili jókst binding með landgræðslu og skógrækt og var um 429 þúsund tonn árið 2014.

Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum frá 2010 miðaði að því að útstreymi án stóriðju og án bindingar með landgræðslu og skógrækt yrði 9% lægra árið 2020 en árið 1990 og 32% lægra árið 2020 án stóriðju en með bindingu. Útstreymi ársins 2014 án stóriðju var 6% hærra en útstreymi ársins 1990, en 10% lægra ef binding var tekin með. Ljóst er að nokkur árangur hefur náðst í samdrætti með aðgerðum svo sem í samgöngum og í sjávarútvegi en mikilvægt er að tryggja áframhaldandi og meiri árangur í þessum geirum. Góður árangur tilraunaverkefna í föngun og bindingu eða nýtingu CO<sub>2</sub> frá orkuframleiðslu einnig gefur góð fyrirheit. Þó er ljóst að frekari aðgerða er þörf í t.d. landbúnaði sem og í bindingu kolefnis með landgræðslu, skógrækt eða endurheimt votlendis til að ná takmarki aðgerðaáætlunarinnar frá 2010.

### 14.2 Sviðsmyndir

Þrjár sviðsmyndir voru settar fram til að greina mögulegar breytingar í útstreymi til ársins 2030 miðað við venjubundna þróun. Byggja sviðsmyndirnar á tveimur aðalþáttum. Þessir þættir eru annars vegar nýjasta eldsneytisspá Orkuspárnefndar frá árinu 2016, og þær forsendur sem þar eru lagðar til grundvallar og hins vegar breytingar í umsvifum stóriðju.

Niðurstöður sviðsmyndanna sýna að mögulegt er að aukning verði í útstreymi miðað við útstreymi ársins 1990 í öllum geirum nema sjávarútvegi. Mest gæti aukningin orðið vegna aukinna umsvifa í stóriðju eða frá 161% í grunntilviki upp í 290% í hátilviki. Heildarútstreymi frá Íslandi með stóriðju gæti því árið 2030 orðið frá 53% meira en útstreymi ársins 1990 (grunntilvik) til 99% meira en útstreymi ársins 1990 (hátalvik). Ef binding er tekin með er aukningin mun minni eða 33% í grunntilviki upp í 79% í hátalviki.

Ef stóriðjan er ekki talin með breytist útstreymi umtalsvert. Í grunntilviki, án bindingar gæti útstreymi orðið 6% meira en útstreymi ársins 1990 en í hátalviki 16% meira en útstreymi ársins 1990. Ef binding er tekin með gæti nettóútstreymi ársins 2030 orðið 18% lægra en útstreymi ársins 1990 í grunntilviki, en 12% lægra í hátalviki.

### 14.3 Mótvægisáðgerðir og heildarmöguleikar til samdráttar í útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Aðgerðir, svokallaðar mótvægisáðgerðir, voru greindar fyrir hvern geira og ljóst er af niðurstöðum að þær geta skilað umtalsverðum árangri. Lögð var áhersla á að greina mótvægisáðgerðir sem eru tæknilegs eðlis, en þó eru áðgerðir í samgöngum sem tengjast samgönguhegðan einnig metnar. Umhverfisleg skilvirkni hvernar mótvægisáðgerðar var skilgreind sem minnkun í útstreymi umfram grunntilvik eða afskiptalaus þróun.

Árið 2030 er í grunnsviðsmynd gert ráð fyrir að heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi nemi samtals um 5.449 þúsund tonnum, þar sem heildarútstreymi er skilgreint sem útstreymi án bindingar. Greining mótvægisáðgerða sýnir að með valinni samsetningu þeirra (frá kafla 13.2) en þó án bindingar

mætti hugsanlega draga úr útstreymi um 1.696 þúsund tonn. Ef enn fremur er gert ráð fyrir að umfang nýrra verkefna í landgræðslu og skógrækt haldist samkvæmt venjubundinni þróun má áætla að sú binding CO<sub>2</sub> sem af því hlytist myndi nema um 744 þúsund tonnum árið 2030 og því leiða til heildarsamdráttar á um 2.460 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda í nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda, þar sem nettóútstreymi er reiknað sem heildarútstreymi að fráðregnum mótvægisáðgerðum og bindingu. Þetta þýðir að nettóútstreymi ársins 2030 gæti orðið 18% lægra en nettóútstreymi ársins 1990. Samsvarandi niðurstöður fyrir hátílvik eru að nettóútstreymi ársins 2030 gæti orðið 19% hærra en nettóútstreymi ársins 1990.

Ef að auki er gert ráð fyrir auknum áðgerðum á sviði bindingar þannig að umfang skógræktar- og landgræðsluáðgerða verði tvöfaldað og ráðist verði í verkefni í endurheimt votlendis uppá 10% þess lands sem er í lítilli notkun, má ætla að hægt verði að draga úr heildarlosun um 2.871 þúsund tonn. Verður þá nettóútstreymi ársins 2030 29% lægra en nettóútstreymi ársins 1990 í grunntilviki. Ef áðgerðahraði sem leiðir til bindingar yrði fjórfaldaður þá yrði nettóútstreymi 39% lægra en árið 1990 í grunntilviki. Samsvarandi niðurstöður fyrir hátílvik eru að nettóútstreymi yrði um 50% af áætluðu útstreymi ársins 2030 og því 3% lægra en útstreymi ársins 1990. Mun meiri árangri væri þó hægt að ná með auknu átaki í endurheimt votlendis.

Þar sem stóriðja, svo sem framleiðsla járnblendis, áls og kísils fellur innan viðskiptakerfis Evrópusambandsins um losunarheimildir, er áhugavert að skoða hvað mótvægisáðgerðir geta skilað miklum ávinningi ef útstreymi frá þeim geirum sem falla innan kerfisins er ekki tekið með. Niðurstöður benda til þess að við venjubundna þróun í bindingu og ef valdar mótvægisáðgerðir eru innleiddar gæti nettóútstreymi ársins 2030 orðið 67% lægra en útstreymi ársins 1990. Ef áðgerðir í landgræðslu og skógrækt til bindingar væru tvöfaldaðar og auk þess ráðist yrði í endurheimt votlendis gæti nettóútstreymi ársins 2030 orðið 83% lægra en útstreymi ársins 1990. Ef áðgerðahraði í landgræðslu og skógrækt yrði fjórfaldaður auk þess að markvist yrði ráðist í endurheimt votlendis gæti nettóútstreymi ársins 2030 orðið 97% minna en útstreymi ársins 1990. Samsvarandi niðurstaða fyrir hátílvik árið 2030 með fjórföldun áðgerða í landgræðslu og skógrækt auk endurheimt votlendis, bendir til að nettóútstreymi gæti orðið 93% lægra en útstreymi ársins 1990. Líkt og bent hefur verið á hér að ofan væri hægt að ná mun meiri árangri með auknu átaki í endurheimt votlendis.

#### **14.4 Munu mótvægisáðgerðir skila tilætluðum árangri?**

Hafa ber í huga að við mat á umhverfislegri skilvirkni mótvægisáðgerða sem metið er í þessari skýrslu er gert ráð fyrir að lausnin sé innleidd og að áhrif mótvægisáðgerðarinnar skili fullum nettósamdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Slíkt þarf þó ekki að vera raunin. Til dæmis er hægt að hugsa sér að fjárfesting í sparneytnari bifreiðum skili umtalsverðum samdrætti í útstreymi á hvern ekinn kílómetra, sem síðan geti tapast þar sem neytendur aki meira en áður. Innleiðingarhraði mótvægisáðgerða fer síðan eftir hvaða stjórnvaldsáðgerðum er beitt í hverju tilviki fyrir sig sem og ytri breytum svo sem olíuverði. Stjórnvaldsáðgerðir geta verið blanda af m.a. sköttum, gjöldum eða fjárhagslegum ívilnunum, kvótar, reglur um fjárfestingu í bestu fáánlegu tækni, íblöndunarhlutföll eða reglur um hámarkslosun gróðurhúsalofttegunda á kílómetra fyrir hverja nýja bifreið sem seld er í landinu. Mikilvægt er að valdar verði þær stjórnvaldsáðgerðir sem skila sem mestum árangri í samdrætti í losun, með minnstum þjóðhagslegum tilkostnaði. Hér mættu stjórnvöld læra af nágrannaþjóðunum sem hafa náð áhugaverðum árangri í samdrætti í hinum ýmsu geirum. Sem dæmi má nefna rafbílavæðingu Noregs, notkun lífelfsneytis í Finnlandi og Svíþjóð og samdrátt í losun frá landbúnaði í Danmörku (Oras Tynkkynen og fleiri, 2016).

### 14.5 Kostnaður

Hver mótvægisáðgerð var metin með tilliti til kostnaðar sem metinn var sem nettókostnaður á samdrátt í tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda. Niðurstöður sýna að sjö áðgerðanna leiða af sér hreinan ábata (neikvæðan nettókostnað) sem geta leitt til samdráttar í útstreymi um sem nemur rúmum 320 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda. Fjölmargar áðgerðir eru auk þessa fremur hagfelldar, svo sem áðgerðir til bindingar CO<sub>2</sub> en aðrar kosta meira. Athygli vekur hinn mikli kostnaðarmunur á áðgerðum innan sama geira, svo sem innan samgangna þar sem ódýrustu kostirnir leiða af sér nettóábata (t.d. sparneytnari bifreiðar). Langdýrustu kostirnir á hvert tonn af minkaðri losun gróðurhúsalofttegundum er vetnisvæðing samgangna sem og léttlest á höfuðborgarsvæðinu.

Ljóst er, þegar hið lága verð á losunarheimildum er borið saman við kostnað vegna mótvægisáðgerða, að fyrirtæki gætu séð sér hag í því að kaupa frekar losunarheimildir frekar en að draga úr útstreymi. Mikilvægt er að fylgjast vel með þróun kolefnismarkaða á næstu misserum og árum.

### 14.6 Þjóðhagsleg áhrif áðgerða

Þjóðhagsleg heildaráhrif áðgerða voru ekki metin sérstaklega í þessu verkefni. Líklegt er þó að fjölmargar áðgerðanna sem bera nettó kostnað myndu leiða af sér þjóðhagslegan ábata, meðal annars vegna jákvæðra ytri áhrifa. Dæmi um ytri áhrif áðgerða t.d. í samgöngum er minni loftmengun og betri heilsa og ytri áhrif í landgræðslu og skógrækt eru t.d. tengd auknum landgæðum. Nýlegar rannsóknir gefa einnig til kynna að mögulegt er að þjóðhagslegur nettóábati yrði af rafbílavæðingu landsins þegar til lengri tíma er litið (Eshan Shafiei og fleiri 2015 og 2016). Mikilvægt er þó að hefjast handa strax við að innleiða mótvægisáðgerðir þar sem mótvægisáðgerðir skila samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda yfir langan tíma.

### 14.7 Lokaorð

Ljóst er að möguleikar Íslands eru miklir þegar kemur að samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda og eru möguleikar til samdráttar í flestum geirum íslensks samfélags. Hið mikla og aukið útstreymi frá stóriðju er þó líklegt til takmarka nokkuð heildaráhrif mótvægisáðgerða þar sem mögulegar tæknitengdar mótvægisáðgerðir í þeim geira eru nokkuð takmarkaðar enn sem komið er. Mögulegt er að ná fram þeim samdrætti í útstreymi sem Íslendingar gætu þurft að ná til að uppfylla skilyrði Parísarsamkomulagsins, ef útstreymi eykst ekki frá þeim geirum sem falla undir viðskiptakerfi Evrópusambandsins um losunarheimildir, eða ef útstreymi frá þeim geirum er undanskilið. Erfitt gæti reynst að ná kolefnishlutleysi ef útstreymi frá stóriðju stendur í stað eða eykst og nýjar tæknilausnir koma ekki fram.

## 15 Heimildaskrá

Heimildaskrá er í tveimur hlutum. Í kafla 14.1 er heimildaskrá fyrir kafla 1-11 en í kafla 14.2 er heimildaskrá fyrir kafla 12.

### 15.1 Kaflar 1-11

Arnór Snorrason, Bjarni D. Sigurðsson, Grétar Guðbergsson, Kristín Svavarsdóttir & Þorbergur H. Jónsson. 2002. Carbon sequestration in forest plantations in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, 15: 79-91.

Atli Geir Júlíusson, Helga Jóhanna Bjarnadóttir, Hrund Ólöf Andradóttir, Jónas Elíasson, Lúðvík E. Gústafsson, 2011, „Rannsóknir á hauggasmyndun á 10 urðunarstöðum“, Árbók VFÍ/TFÍ, [http://skemman.is/stream/get/1946/11148/27432/1/Ranns%C3%B3knir\\_%C3%A1\\_hauggasmyndun.pdf](http://skemman.is/stream/get/1946/11148/27432/1/Ranns%C3%B3knir_%C3%A1_hauggasmyndun.pdf) (sótt 23/02/16).

Ása L. Aradóttir, Kristín Svavarsdóttir og Jón Guðmundsson, 2006. Binding kolefnis á landgræðslu-svæðum. *Fræðaging landbúnaðarins* 2006:245-248.

Ása L. Aradóttir, Kristín Svavarsdóttir, Þorbergur Hjalti Jónsson, og Grétar Guðbergsson, 2000. Carbon accumulation in vegetation and soils by reclamation of degraded areas. *Búvísindi* 13:99-113.

Balomenos, E., Papias, D., Paspaliaris I., Friedrich, B., Jaroni, B., 2011, “Carbothermic Reduction of alumina: A Review of Developed Processes and Novel Concepts” *Proceedings of EMC 2011*, [http://www.labmet.ntua.gr/enexal/news/02\\_03\\_balomenos.pdf](http://www.labmet.ntua.gr/enexal/news/02_03_balomenos.pdf) (sótt 14/02/16).

Basurko, O., Gabina, G., & Uriondo, Z. (2013). Energy performance of fishing vessels and potential savings. *Journal of Cleaner Production*, 54, 30-40.

Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D., (1999), “*Guidelines for Community Noise*”. Geneva: World Health Organization.

Bickel, P., Friedrich, R., Link, H., Stewart, L., Nash, C., 2006. *Introducing Environmental Externalities into Transport Pricing: Measurement and Implications*. *Transport Reviews*, vol. 26, no. 4, pp. 389-415.

Bjarni D. Sigurðsson, Ásrún Elmarsdóttir, Brynhildur Bjarnadóttir og Borgþór Magnússon, 2008. Mælingar á kolefnisbindingu mismunandi skógargærða. *Fræðaging landbúnaðarins* 2008: 301-308.

Bjarni Reynarsson, (2014), „Sumarferðir 2014 – Viðhorfskönnun unnin fyrir Vegagerðina“ unnið af Land-ráð sf fyrir hönd Vegagerðarinnar.

Björnsson, E. (2004). Olíunotkun íslenska fiskiskipaflotans og losun gróðurhúsalofttegunda frá honum. Lokaverkefni í sjávarútvegsfræði, Háskólinn á Akureyri.

Bogner, J., M. Abdelrafie Ahmed, C. Diaz, A. Faaij, Q. Gao, S. Hashimoto, K. Mareckova, R. Pipatti, T. Zhang, Waste Management, In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Brander M., Sood A., Wylie C., Houghton A., Lowell J., 2011, „Technical Paper | Electricity-specific emission factors for grid electricity“ Ecometrica, <http://ecometrica.com/assets/Electricity-specific-emission-factors-for-grid-electricity.pdf> (Retrieved on 10/02/2016)

Brandt, B., Kletzer, E., Pilz, H., Hadzhiyska, D., Seizov, P., Bocher, C., Cooper, J., Hartlieb, S., 2011, „Silicon-chemistry carbon balance – An assessment of greenhouse gas emissions and reductions“ Report commissioned by the Global Silicones Council, [http://www.siliconescarbonbalance.eu/pdf/SIL\\_nutshell\\_en.pdf](http://www.siliconescarbonbalance.eu/pdf/SIL_nutshell_en.pdf) (sótt 24/02/16).

British Sea Fishing <http://britishseafishing.co.uk/pulse-trawling/>

Britten, N., 2009, „Cows that burp less methane to be bred“ UK Telegraph, June 25 2009, <http://www.telegraph.co.uk/news/science/science-news/5612957/Cows-that-burp-less-methane-to-be-bred.html> (sótt 02/03/16).

Brynhildur Davíðsdóttir o.fl. (2009). Möguleikar til að draga úr nettóútsreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi, skýrsla sérfræðinganevndar, Umhverfissráðuneytið.

Cheilari, A., Guillen, J., Damalas, D. & Barbas, T. (2013). Effects of the fuel price crisis on the energy efficiency and the economic performance of the European Union fishing fleets. *Marine Policy*, 40, 18-24.

CIMAC (2013). Guidelines for ship owners and operators on managing distillate fuels up to 7.0% v/v FAME (Biodiesel).

Daði Már Kristófersson, Emma Eyþórsdóttir, Grétar Hrafn Harðarsson, Magnús B. Jónsson, 2009, „Samanburður á rekstrarhagkvæmni mjólkurframleiðslu með íslenskum kúm og fjórum erlendum kúakynjum – niðurstöður starfshóps“, Fjölrit LbhÍ. Nr 15, 68 p.

Dooley J. J., Dahowski R. T., Davidsson C. L., (2008), „On the Long-Term Average Cost of CO<sub>2</sub> Transport and Storage“ Pacific Northwest National Laboratory, Prepare for U.S. Department of Energy [http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical\\_reports/PNNL-17389.pdf](http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-17389.pdf) (Retrieved on 11/02/2016)

Driscoll, J., & Tyedmers, P. (2010). Fuel use and greenhouse gas emissions implications on fisheries management: The case of the New England Atlantic herring fishery. *Marine Policy*, 34, 353-359.

EAA, 2009, “Global Aluminium Recycling: A cornerstone of Sustainable Development”, Report prepared for the European Aluminium Association, the International Aluminium Institute and the Organisation of European Aluminium Refiners and Remelters.

EC DCF (Data Collection Framework) <http://datacollection.jrc.ec.europa.eu/dd/fleet/trans/graphs>

Edda S.P. Aradóttir, Ingvi Gunnarsson, Bergur Sigfússon, Sigurður R. Gíslason, Magnús Th. Arnarsson, Knud Dideriksen, Bjarni M. Júlíusson, Wallace S. Broecker og Einar Gunnlaugsson , H. Sigurðardóttir, E. Sonnenthal, 2014, „Toward Cleaner Geothermal Energy Utilization: Capturing and Sequestering CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S Emissions from Geothermal Power Plants“, *Transport in Porous Media*, vol 108, pp 61-84, DOI 10.1007/s11242-014-0316-5

EFLA, 2013, „Kísilmálmverksmiðja PCC á Bakka við Húsavík með allt að 66 þúsund tonna framleiðslugetu“ Matskýrsla.

EIA, Annual Energy Outlook 2015. <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/>

Elkem, 2015, „Grænt Bókhald 2014“, [http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2014/Elkem\\_Grb\\_2014.pdf](http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2014/Elkem_Grb_2014.pdf) (sótt 14/02/16).

Erna Bjarnadóttir, Stefán Örn Valdimarsson, 1992, „Verðmæti búfjáraburðar“, Í Ríkharð Brynjólfsson (Ritstj.), Nýting Búfjáraburðar, Rit búvísindadeildar nr. 1.

Federal Highway Administration (FHWA), 1997. *1997 Federal Highway Cost Allocation Study*. Vefslóð: [www.fhwa.dot.gov/policy/hcas/final/index.htm](http://www.fhwa.dot.gov/policy/hcas/final/index.htm). Skoðað í mai 2015.

Félag íslenskra fiskimjölsframleiðenda [www.sf.is](http://www.sf.is)

Finkenrath M., 2011, „Cost and Performance of Carbon Dioxide Capture from Power Generation“ Working Paper produced for the International Energy Agency, IEA, [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/costperf\\_ccs\\_powergen.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/costperf_ccs_powergen.pdf) (Retrieved on 11/02/2016)

Fjarðaál. 2014, „Grænt Bókhald 2014“, [http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2014/Alcoa\\_Grb\\_2014.pdf](http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2014/Alcoa_Grb_2014.pdf) (sótt 14/02/16).

Gallup, 2016, „Magn úrgangs eftir uppruna 1995-2012“ <https://gagnatorg.gallup.is/en/data/set/w98/magn-urgangs-efir-uppruna-1995-2012#!display=line&ds=w98!n=1qup.23j7> (sótt 22/02/16).

Grainger, C., Clarke C. T., Beauchemin, K. A., McGinn, S. M., Eckard, R. J., 2008, „Effect of whole cottonseed supplementation on energy and nitrogen partitioning and rumen function in dairy cattle on a forage and cereal grain diet“, Australian Journal of Experimental Agriculture, Vol 48, pp 860-865 DOI: 10.1071/EA07400.

Hagstofa Íslands [www.hagstofan.is](http://www.hagstofan.is)

Hannon M., Gimpel J., Tran M., Rasala B., Mayfield S., 2011, „Biofuels from algae: Challenges and potential“ Biofuels, vol 1(5) pp 763-784 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3152439/> (Retrieved on 10/02/2016)

Hansen, I.A., Wiggenraad, P.L.B., Goverde R.M.P., (2005), „Public Transport Design and Operation.“, Delft University of Technology.

Haraldur Sigbórsson, Vilhjálmur Hilmarsson, (2014), „Kostnaður umferðarslysa – Rannsóknarverkefni unnið með styrk frá Vegagerðinni“, Unnið af Háskólanum í Reykjavík fyrir hönd Vegagerðarinnar.

Hjalti J. Guðmundsson, (2007), „Umhverfissvið Reykjavíkurborgar 2002-2006“. UHR 03-2007-1. Umhverfissvið Reykjavíkurborgar.

Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, 2008, Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna, Rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006, LV-2008/028.

Hlynur Óskarsson, Ólafur Arnalds, Jón Guðmundsson og Grétar Guðbergsson, 2004. Organic carbon in Icelandic soils: geographical variation and impact of erosion. *Catena* 56:225-238

Hreinn Ólafsson, 2015, Fjármálastjóri Umhverfis- og skipulagssviðs, Persónuleg samskipti.

INFRAS/IWW, 2004. *External costs of transport - update study*. INFRAS/IWW on behalf of the International Union of Railways (UIC), Zurich/Karlsruhe: INFRAS / IWW, Universitaet Karlsruhe

Ingvar Björnsson, Runólfur Sigursveinsson, 2008, „Fóðuröflunarkostnaður íslenskra kúabúa“, Fræðing landbúnaðarins 2008, pp 189-193.

International Aluminium Institute, 2016, „Primary Aluminium Production“ <http://www.world-aluminium.org/statistics/> (sótt 14/02/16).

- IPCC, 2006, „Chapter 4: Metal Industry Emissions“ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3\\_Volume3/V3\\_4\\_Ch4\\_Metal\\_Industry.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_4_Ch4_Metal_Industry.pdf) (sótt 14/02/16).
- IPCC, 2007, „Climate change working group III mitigation of climate change - chapter 7.4.2 Non-ferrous metals“ [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-2.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-2.html) (sótt 24/02/16).
- IPCC, 2014, „Annex II Metrics and Methodology“, IPCC Working Group III – Mitigation of Climate change. [http://report.mitigation2014.org/report/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_annex-ii.pdf](http://report.mitigation2014.org/report/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf) (retrieved on 10/02/2016)
- JRC-IE, 2011, Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Tank-to-Wheels report, Version 2c (March). European Commission Joint Research Centre, Luxembourg.
- Kadam K. L., 2001, „Microalga Production from Power Plant Flue Gas: Environmental Implications on a Life Cycle Basis“ Technical Report prepared for NREL, NREL/TP-510-29417
- Kalka, 2016, „Brennslustöðin Kalka“ <http://kalka.is/Starfstodvar/BrennslustodinKalka/> (sótt 22/02/16).
- Klimatkommission, 2010, „Grøn energi – vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler, 28. September 2010, <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/politik/dansk-klima-energi/DOK%20MASTER%20FINAL%20u%20bilag%205%20okt%2010%20E-opt.pdf> (Retrieved on 02/03/16).
- Kloess, M., Muller, A., 2011, Simulating the impact of policy, energy prices, and technological progress on the passenger fleet in Austria – a model based analysis 2010-2050, Energy Policy, 39, 5045-5062.
- Kristján Hlynur Ingólfsson, 2011, „Búorka“ Meistararitgerð, Umhverfis- og auðlindafræðideild, Háskóli Íslands.
- Kvande, H., Drablos, P. A., 2014, „The Aluminium Smelting Process and Innovative Alternative Technologies” Journal of Occupational and Environmental Medicine, vol 56 pp S23-S32 DOI 10.1097/JOM.0000000000000062.
- Landsnet Kerfisáætlun 2014-2023 [www.landsnet.is](http://www.landsnet.is)
- Landsvirkjun, 2014, „Umhverfisskýrsla 2014“, <http://umhverfisskyrsla2014.landsvirkjun.is/>
- Laurens, J-M., & Dasira, A. Improving the Propulsive Efficiency of an Indonesian Trawler. *Third International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-fishing*, Vigo, Spain, May 2014.
- Leung, D. Y. C., Caramanna, G., Maroto-Valer, M. M., 2014, „An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies” Renewable and Sustainable Energy reviews, vol 39 pp 426-443.
- Lin, C., (2013). Strategies for Promoting biodiesel use in marine vessels. *Marine Policy*, 40, 84-90.
- Lindstadt, T., Monsen, B., and K.S. Osen., 2010, „How the ferroalloys industry can meet greenhouse gas regulations“ Proceedings of The twelfth International Ferroalloys Congress, Helsinki Finland <http://www.pyrometallurgy.co.za/InfaconXII/063-Lindstad.pdf> (sótt 24/02/16).
- Litman, T., (2009), “*Transportation Cost and Benefit Analysis – Techniques, Estimates and Implications [Second Edition]*”, Victoria: Victoria Transport Policy Institute. Vefslóð: [www.vtppi.org/tca/](http://www.vtppi.org/tca/). Skoðað í mai 2015.

Loftslagsnefnd sjávarútvegsins, 2009, óbirt greinargerð. McKinsey&Company, 2009, Pathways to a Low-Carbon Economy: version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve, McKinsey&Company.

Lýðheilsustöð, (2010), “Handbók um hreyfingu fyrir grunnskóla”Upplýsingar af heimasíðu. Vefslóð: [http://www.landlaeknir.is/servlet/file/store93/item12220/Handbok-um-hreyfingu\\_net\\_allt.pdf](http://www.landlaeknir.is/servlet/file/store93/item12220/Handbok-um-hreyfingu_net_allt.pdf) Skoðað í maí 2015.

Lög um umhverfis- og auðlindaskatta, 2009/129. <http://www.althingi.is/lagas/144a/2009129.html>

Mannvit, (2009), „Minnkun á losun gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum á landi – Raunhæfar aðgerðir til minnkunar á losun gróðurhúsalofttegunda og mat á umhverfislegri skilvirkni“ Skýrsla unnin fyrir sérfræðinefnd til að kanna möguleika á samdrætti í nettólosun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi

Mannvit, (2012a), “Höfuðborgarsvæðið 2040 – Fylgirit V: Mat á samgöngusviðsmyndum” Hluti af forsendum svæðisskipulags Höfuðborgarsvæðisins 2015-2040, Unnið fyrir Samtök Sveitarfélaga á Höfuðborgarsvæðinu

Mannvit, (2012b), „Höfuðborgarsvæðið 2040 – Næstu skref í þróun samgöngukerfa“, Fylgirit VI – Næstu skref í samgönguverkefnum, unnið fyrir Samtök Sveitarfélaga á höfuðborgarsvæðinu.

Mannvit, 2008, Minnkun losunar gróðurhúsalofttegunda frá fiskveiðum: forsendur og niðurstöður kostnaðargreiningar á notkun endurnýjanlegs eldsneytis á fiskiskip, Skýrsla unnin fyrir sérfræðinganefnd til að kanna möguleika á samdrætti í nettólosun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi og Umhverfissráðuneytið. Óbirt skýrsla.

Mannvit, 2009, „Sameiginleg svæðisáætlun um meðhöndlun úrgangs 2009-2020“ Skýrsla unnin fyrir SORPU, Sorpstöð Suðurlands, Kölku og Sorpurðun Vesturlands.

Mannvit, 2015, „Kísilmálmsverksmiðja Thorsil í Helgúvík, Reykjanesbæ“ Matskýrsla.

McGinn, S. M., Beauchemin, K. A., Coates T., Colombatto, D., 2004, „Methane emissions from beef cattle: Effects of monesin, sunflower oil, enzymes, yeast and fumaric acid“, Journal of Animcal Science, American Society of Animal Science, 2004.

Melaina MW, Heath G., Sandor D., Steward D., Wimmerstedt L., Warner E, et al., 2013, Alternative fuel infrastructure expansion: costs, resources, production capacity and retail availability for low carbon scenarios, Golder National Renewable Energy Laboratory, DOE/OG-102013-103710.

Metan.is, (2010), „Saga Metans“, Vefslóð: <http://metan.is/Um-fyrirtaekid/Saga-Metans/>, Skoðað í maí 2015.

Metanorka, 2013, „Hagkvæmni og umhverfisávinningur metanvinnslu á landsbyggðinni“, Verkefni unnið með styrk úr Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar, [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Hagkvaemni\\_metanvinnslu/\\$file/Hagkvaemni\\_metanvinnslu.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Hagkvaemni_metanvinnslu/$file/Hagkvaemni_metanvinnslu.pdf) (sótt 04/03/16).

Muha, I., Linke, B., & Wittum, G. (2015). A dynamic model for calculating methane emissions from digestate based on co-digestion of animal manure and biogas crops in full scale German biogas plants. *Bioresource technology*, 178, 350-358.

Munoz, I., Flury, K., Jungbluth N., Rigarlsford G., Canals L. M., King H., 2013, „Lifecycle assessment of biobased ethanol production from different agricultural feedstocks“ International Journal of Life Cycle Assessment DOI 10.1007/s11367-013-0613-1.

Möller, H. B., 2013, „Final Report: Biogas potential in manure and effects of pre-treatment“ Report prepared by the department of engineering at Aarhus University, <http://energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Forskning%20-%20PSO-projekter/10294%20Final%20Report.pdf> (sótt 04/03/16).

Norðurál (2010). *Skýrsla um losun koldíoxíðs*. <http://www.ust.is/library/Skrar/Atvinnulif/Loftslagsbreytingar/CO2-skyrslur/CO2%20sk%C3%BDrsla%202009%20Nor%C3%B0ur%C3%A1l.pdf>

Norðurál, 2015, „Grænt Bókhald 2014“, [http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2014/Nordural\\_Grb\\_2014.pdf](http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2014/Nordural_Grb_2014.pdf) (sótt 14/02/16).

OECD, 2001. The Incidence and Income Transfer Efficiency of Farm Support Measures, AGR/CA/APM(2001)24/FINAL, Paris.

OECD, 2003. Policy-Related Transaction Costs and Policy Choice: Main Report, AGR/CA/APM(2003)15/FINAL, Paris.

Oenema, O, Velthof, G., Klimont, Z., Winiwarer, W., 2012, “Emissions from Agriculture and their control potentials” Report prepared for the International Institute for applied systems analysis [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/TSAP-AGRI-20121129\\_v21.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/TSAP-AGRI-20121129_v21.pdf) (retrieved on 02/03/2016).

Offer, G. J., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., Brandon, N. P., 2010, Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system, Energy Policy, 39, 24-29.

Orkuspárnefnd, (2008), Eldsneytisspá 2008-2050, Orkustofnun OS-2008/009, Reykjavík.

Orkuspárnefnd, (2012), Eldsneytisspá 2012-2050, Orkustofnun OS-2012/01, Reykjavík.

Orkuspárnefnd, Raforkuspár (2001,2002,.....2014), Orkustofnun, Reykjavík.

Ólafur Arnalds, Grétar Guðbergsson og Jón Guðmundsson, 2000. Carbon sequestration and reclamation of severely degraded soils in Iceland. *Búvísindi* 13:87-98.

Ólafur Bjarnarson, (2015), Samgöngustjóri Reykjavíkurborgar, Persónuleg samskipti.

Parry, I., Walls, M., Harrington, W, (2007), “*Automobile Externalities and Policies*”, Discussion Paper. Washington DC: Resources for the Future.

Páll Höskuldsson, (2013), „Samsetning svifryks í Reykjavík – Rannsóknarverkefni Vegagerðarinnar 2012“, Unnið fyrir Vegagerðina.

Peterson S B., Michalek J. J., 2013, Cost effectiveness of plug in hybrid electric vehicle battery capacity and charging infrastructure investment for reducing US gasoline consumption“ Energy Policy, 52, 429-38.

Ragnar K. Ásmundsson , NOV 2005 Varmadætur: hagkvæmni á Íslandi 14635 Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-2005/024

RioTintoAlcan, 2015, „Grænt Bókhald 2014 – RioTintoAlcan á Íslandi“ [http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2014/ISAL\\_Grb\\_2014.pdf](http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2014/ISAL_Grb_2014.pdf) (sótt 14/02/16).

RioTintoAlcan, 2016, „Hvað er Spennuris“, tekið af heimasíðu RioTintoAlcan <http://www.riotintoalcan.is/?PageID=54> (sótt 11/02/16).

Rojas-Rueda. D., de Nazelle. A., Tainio. M., Nieuwenhuijsen. M. J., (2011), “The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: health impact assessment study”, *BMJ* 2011;343:d4521.

Rut Kristinsdóttir, Sigurður Ásbjörnsson, 2014, „Hreinsun kísilmálms til framleiðslu á 16.000 tonnum af sólarkísili, Grundartanga í Hvalfjarðarsveit – Ákvörðun um matskýrslu“ Skipulagsstofnun, 201403033.

S9, 2013, „Stakksbraut 9 – Mat á umhverfisáhrifum við framleiðslu kísils í Helguvík“ Matskýrsla.

Samráðshópur um endurheimt votlendis, 2016, Endurheimt votlendis: aðgerðaáætlun, Umhverfis og auðlindaráðuneytið.

Schau, E.M., Ellingsen, H., Endal, A., & Aanonsen, S.A. (2009). Energy Consumption in the Norwegian fisheries. *Journal of Cleaner Production*, 17, 325-334.

Sea Grant Alaska, (2011). Fuel-Saving Measures for Fishing Industry Vessels.

Seðlabanki Íslands [www.sedlabanki.is](http://www.sedlabanki.is)

Shafiei, E., B Davidsdóttir, J Leaver, H Stefansson, EI Asgeirsson, 2015, Comparative analysis of hydrogen, biofuels and electricity transitional pathways to sustainable transport in a renewable-based energy system, *Energy* 83:614-627.

Shroeder A, Traber T., The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles, *Energy Policy* 43, 136-44.

Small, K., Kazimi, C., 1994. *On the Costs Of Air Pollution From Motor Vehicles*, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 29, no. 1, pp. 7-32.

Smári Guðfinnsson, 2013, „Lífsgættisla úr kúamykju til aukinnar sjálfbærni í landbúnaði“ Tækni- og vísindagreinar, Verktækni vol 9, 2013. [http://www.vfi.is/media/utgafa/lifsgaettisla\\_ur\\_kuamykju\\_sjalfbærni.pdf](http://www.vfi.is/media/utgafa/lifsgaettisla_ur_kuamykju_sjalfbærni.pdf) (sótt 02/03/16)

Smith, P, Martino, D, Cai, Z, et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2008;363(1492):789-813. doi:10.1098/rstb.2007.2184.

Soetart, M., Decostere, A., Polet, H., Verschueren, B., & Chiers, K. (2015). Electrotrawling: a promising alternative fishing technique warranting further exploration. *Fish and Fisheries*, 16, 104-124.

SORPA, 2015, „Grænt Bókhalld 2014“, [http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhalld/2014/SORPA\\_grb\\_2014.pdf](http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhalld/2014/SORPA_grb_2014.pdf) (sótt 23/02/16)

Statistics Norway [www.ssb.no](http://www.ssb.no)

Steinunn Skúladóttir, Fagstjóri Upplýsingavinnslu hjá Samgöngustofu, 2015, Persónuleg samskipti.

Svanhildur Ósk Ketilsdóttir, 2010, „Gashæfni kúamykju og möguleikar metanvinnslu í Eyjafirði“ Meistarprófsritgerð, Auðlindadeild, Landbúnaðarháskóli Íslands.

Sveinn Agnarsson, Brynjólfur Mogensen, (2012), “Kostnaður við umferðarslys á Íslandi árið 2009” Skýrsla nr. C12:04, Unnin af Hagfræðistofnun Háskóla Íslands fyrir hönd Umferðarstofu.

Thiel, C., Perujo, A., Mercier, A., 2010, Cost and CO<sub>2</sub> aspects of future vehicle options in Europe under new energy policy scenarios, *Energy policy*, 38, 7142-7151.

Thomas, C., 2009, Fuel cell and battery electric vehicles compared, *Int. J. Hydrogen Energy*, 34, 6005-6020.

- Thorpe, A., 2009, „Enteric Fermentation and ruminant eructation: The role (and control?) of methane in the climate change debate“ *Climate Change*, DOI 10.1007/s10584-008-9506-x.
- Thrane, M. (2004). Energy Consumption in the Danish Fishery. *Journal of Industrial Ecology*, 8 (1-2), 223-239.
- Transit Cooperative Research Program (TCRP), 2003b. *Report 100: Transit Capacity and Quality of Service, Manual, 2nd Edition*. Transportation Research Board. Washington, D.C.
- Triolo, J. M., Ward, A. J., Pedersen, L., & Sommer, S. G. (2013). Characteristics of animal slurry as a key biomass for biogas production in Denmark. *Biomass Now—Sustainable Growth and Use*, 307-326.
- Tyabji, N., Nelson, W., 2010, „Mitigating Emissions from Aluminium – The GNCS factsheet“ Columbia Climate Center, Earth Institute, Columbia University <http://climate.columbia.edu/files/2012/04/GNCS-Aluminum-Factsheet.pdf> (sótt 14/02/16).
- Tyedmers, P. Energy Consumed by North Atlantic Fisheries. Sea Around Us Project.
- Tynkkynen Oras og fleiri, 2016, Nordic green to scale, Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Umhverfis- og auðlindarráðuneytið, 2013, “Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2013-2024 – Úrgangsstjórnun til framtíðar” Unnið af umhverfis- og auðlindarráðuneytinu.
- Umhverfisstofnun, 2003. *Samsetning svifryksmengunar í Reykjavík, Niðurstöður rannsókna á uppruna svifryks*. Vefslóð: [www.ust.is/NyttEfni/nr/1166\\_Skoðað\\_í\\_mai\\_2015](http://www.ust.is/NyttEfni/nr/1166_Skoðað_í_mai_2015)
- Umhverfisstofnun, 2014, „Emissions of Greenhouse gases in Iceland from 1990 to 2012 – National inventory report 2014“ Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.
- Umhverfisstofnun, 2015, “National Inventory Report 2015 – Emissions of greenhouse gases in Iceland from 1990-2013” Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, UST-2014-1.
- Umhverfisstofnun, 2015, “National Inventory Report 2015 – Emissions of greenhouse gases in Iceland from 1990-2013” Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, UST-2014-1.
- Umhverfisstofnun. National Inventory Report 2014 - Emissions of Greenhouse gases in Iceland from 1990 to 2012. <http://www.umhverfisstofnun.is/>
- UNFCCC, 2012, „Greenhouse Gas Inventory Data – Comparisons by Category“, United Nations Framework Convention on Climate Change, <http://unfccc.int/di/DetailedByCategory/Event.do?event=go> (sótt 02/03/16).
- UNITE, 2008. *Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency*. Vefslóð: <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite/>. Skoðað í mai 2015.
- Van Essen, H., Boon, B., Maibach, M., Schreyer, C., 2007. Methodologies for external cost estimates and internalisation scenarios – Discussion paper for the workshop of internalisation on March 15, 2007, Delft: CE Delft.
- Van Vliet, O., Kruithof, T., Turkenburg, W., Faaij, A., 2010, Tehcno-economic comparison of series hybrid, plug in hybrid, fuel cell and regular cars, *J. Power Sources*, 195, 6570-6585.
- Victoria Transport Policy Institute (VTPI), 2008. *Transit Oriented Development. Using Public Transit to Create More Accessible and Livable Neighborhoods*. Úr netvæddri alfræðiorðabók VTPI um stjórnun umferðarálags.

Wang, M., Santini, D., 1994. Estimation of Monetary Values of Air Pollutant Emissions in Various U.S. Areas, Argonne: Center for Transportation Research.0

Whyte. B., Crawford. F., (2014), “Assessing the health and economic benefits of cycling in Glasgow: Bruce Whyte”, the European Journal of Public Health, DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/eurpub/cku162.066>

Wilson, J.D.K. (1999). Fuel and financial savings for operators of small fishing vessels. FAO Fisheries Technical Paper 383.

WRI, 2012, „CAIT – Historical Emissions Data (Countries, States, UNFCCC)“, World Resources Institute, <http://www.wri.org/resources/data-sets/cait-historical-emissions-data-countries-us-states-unfccc>

Wright, L., 2004. *Bus Rapid Transit Planning Guide*. GTZ, Eschborn, Germany, pp. 225.

Póroddur Sveinsson, 2009, “Leið til að lækka áburðarkostnað á kúabúum – bætt nýting búfjáraburðar”, Fræðing landbúnaðarins 2009.

## 15.2 Heimildaskrá fyrir kafla 12

*Bækur, tímaritsgreinar, skýrslur o.þ.h.*

*Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum, umhverfisráðuneytið, Reykjavík, 2010.*

*Alþingistíðindi.*

Briner, Gregory og Prag, Andrew: *Establishing and understanding post-2020 climate change mitigation commitments*, Climate Change Expert Group Paper No. 2013 (3), OECD, Paris, 2013. [http://www.oecd.org/env/cc/CCXG%20EstablishingandUnderstanding\\_%20final%20full%20docOct2013.pdf](http://www.oecd.org/env/cc/CCXG%20EstablishingandUnderstanding_%20final%20full%20docOct2013.pdf)

*Carbon Pricing Watch 2016, An advance brief from the State and Trends of the Carbon Pricing 2016 report, to be released late 2016*, World Bank Group/Ecofys, 2016. <http://documents.worldbank.org/curated/en/418161467996715909/pdf/105749-REVISED-PUBLIC-New-CPW-05-25-16.pdf>

*Climate Change, Carbon Markets and the CDM: A Call to Action*, Report of the High-Level Panel on the CDM Policy Dialogue, 2012. <http://www.cdmpolicydialogue.org/report/rpt110912.pdf>

*Emissions Trading Worldwide, Status Report 2015*, International Carbon Action Partnership (ICAP), Berlín, 2015. [https://icapcarbonaction.com/images/StatusReport2015/ICAP\\_Report\\_2015\\_02\\_10\\_online\\_version.pdf](https://icapcarbonaction.com/images/StatusReport2015/ICAP_Report_2015_02_10_online_version.pdf)

*Emissions Trading Worldwide, Status Report 2016*, International Carbon Action Partnership (ICAP), Berlín, 2016. [https://icapcarbonaction.com/images/StatusReport2016/ICAP\\_Status\\_Report\\_2016\\_Online.pdf](https://icapcarbonaction.com/images/StatusReport2016/ICAP_Status_Report_2016_Online.pdf)

*Greenhouse gas market 2014*, IETA, 2014. <http://www.ieta.org/reports>

Haites, Erik: *Carbon Markets*, Margaree Consultants, Toronto, 2007.

Hrafnhildur Bragadóttir: *Réttarreglur um losun gróðurhúsalofttegunda*, Ritróð Lagastofnunar Háskóla Íslands 8, Lagastofnun Háskóla Íslands, Reykjavík, 2009.

*Mapping Carbon Pricing Initiatives, Developments and Prospects*, World Bank/Ecofys, Washington DC, 2013. <http://www.ecofys.com/files/files/world-bank-ecofys-2013-mapping-carbon-pricing-initiatives.pdf>

Marcu, Andrew: *The role of market mechanisms in a post-2020 climate change agreement*, Centre for European Policy Studies (CEPS), Special Report No. 87, 2014. Marcu, Andrew: *The Framework for Various Approaches and the New Market Mechanism*, Centre for European Policy Studies (CEPS), Special Report No. 90, 2014. <http://www.ceps.eu/system/files/No%2090%20CMF%20on%20FVA%20and%20NMM.pdf>

*Market Mechanisms: Understanding the Options*, C2ES: Center for Climate and Energy Solutions, Arlington VA, 2015. <http://www.c2es.org/docUploads/market-mechanisms-brief.pdf>

Poschmann, André og Ide, Anne-Maria: *Cooperation mechanisms and NREAPs*, CA-RES Working Group 1, 2013. <http://www.ca-res.eu/index.php?id=33>

*Progress Report 2015, Iceland: Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources*, atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, 2016. <https://www.atvinnuegaraduneyti.is/media/Acrobat/Iceland-Progress-report-2015.pdf>

Redmond, Luke og Convery, Frank: *The global carbon market-mechanism landscape: pre and post 2020 perspectives*, Climate Policy, DOI, 2014.

Schiellerup, Pernille o.fl.: *Achieving More Climate Ambition in the EU: Distribution Options*, A discussion paper by IEEP and the Öko-Institut for WWF, Greenpeace and CAN-Europe, 2011.

*State and Trends of Carbon Pricing 2014*, World Bank/Ecofys, Washington DC, 2014. <http://documents.worldbank.org/curated/en/2014/05/19572833/state-trends-carbon-pricing-2014>

*State and Trends of Carbon Pricing 2015*, World Bank/Ecofys, Washington DC, 2015. <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/State-and-Trend-Report-2015.pdf>

*The Icelandic Renewable Energy Action Plan for the promotion of the use of energy from renewable sources in accordance with Directive 2009/28/EC and the Commission Decision of 30 June 2009 on a template for the national renewable energy action plans*, Atvinnu- og nýsköpunarráðuneyti, 2012. <https://www.atvinnuegaraduneyti.is/media/Skyrslur/NREAP.pdf>

Witt Wijnen, Rutger de: „Emissions Trading under Article 17 of the Kyoto Protocol“, *Legal Aspects of Implementing the Kyoto Protocol Mechanisms: Making Kyoto Work*, ritstjórar David Freestone og Charlotte Streck, Oxford University Press, Oxford, 2005.

Wyns, Tomas, Khatchadourian, Arianna og Oberthür, Sebastian: *EU Governance of Renewable Energy post-2020 – risks and options*, A report for the Heinrich-Böll-Stiftung European Union, Institute for European Studies – Vrije Universiteit Brussel, 2014.

Yamin, Farhana og Depledge, Joanna: *The International Climate Change Regime: A Guide to Rules, Institutions and Procedures*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

*Íslensk lög og reglugerðir*

Lög nr. 70/2012 um loftslagsmál, með síðari breytingum.

Reglugerð nr. 897/2012 um losunarheimildir og einingar sem viðurkenndar eru í viðskiptakerfi ESB með losunarheimildir, með síðari breytingum.

#### *Milliríkjasamningar*

Samningurinn um Evrópska efnahagssvæðið (Agreement on the European Economic Area) (1992).

Kýótó-bókunin við loftslagssamning Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change) (1997).

#### *Skjöl sem tengjast loftslagssamningi SP*

Reflections on progress made at the fourth part of the second session of the Ad Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action, Note by the Co-Chairs, 17. apríl 2014, UNFCCC, ADP.2014.3.InformalNote.

[https://unfccc.int/documentation/documents/advanced\\_search/items/6911.php?preref=600007839](https://unfccc.int/documentation/documents/advanced_search/items/6911.php?preref=600007839)

Submission by Iceland to the ADP, Iceland's Intended Nationally Determined Contribution, sent skrifstofu loftslagssamningsins 30. júní 2015.

#### *Ákvarðanir aðildarríkjaþings loftslagssamningsins*

Ákvörðun nr. 1/CP.13 (Bali Action Plan). FCCC/CP/2007/6/Add.1.

Ákvörðun nr. 2/CP.17 (Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention). FCCC/CP/2011/9/Add.1.

Ákvörðun nr. 1/CP.21 (Adoption of the Paris Agreement). FCCC/CP/2015/10/Add.1

#### *Ákvarðanir aðildarríkjaþings Kýótó-bókunarinnar*

Ákvörðun nr. 3/CMP.1 (Modalities and procedures for a clean development mechanism as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol), FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1.

Ákvörðun nr. 9/CMP.1 (Guidelines for the implementation of Article 6 of the Kyoto Protocol), FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.2.

Ákvörðun nr. 11/CMP.1 (Modalities, rules and guidelines for emissions trading under Article 17 of the Kyoto Protocol), FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.2.

Ákvörðun nr. 13/CMP.1 (Modalities for the accounting of assigned amounts under Article 7, paragraph 4, of the Kyoto Protocol), FCCC/KP/CMP/2005/8/Add. 2.

Ákvörðun 1/CMP.8 (Amendment to the Kyoto Protocol pursuant to its Article 3, paragraph 9 (the Doha Amendment)), FCCC/KP/CMP/2012/13/Add.1.

#### *Skjöl sem stafa frá Evrópusambandinu*

Agreement between the European Union and its Member States, of the one part, and Iceland, of the other part, concerning Iceland's participation in the joint fulfilment of the commitments of the European

Union, its Member States and Iceland for the second commitment period of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Stjtið. ESB, L 207, 4.8.2015, bls. 17.

Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - 20 20 by 2020 - Europe's climate change opportunity, COM(2008) 30 final.

Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, COM(2011) 112 final.

European Commission: MEMO - Questions & Answers on EU ratification of the second commitment period of the Kyoto Protocol, 6. nóvember 2013. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-13-956\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-956_en.htm)

Commission Staff Working Document, Guidance on the use of renewable energy cooperation mechanism, SWD(2013) 440 final.

European Council, EUCO 169/14, Brussel, 24. október 2014.

Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy, Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, COM(2014) 520 final.

#### *Gerðir Evrópusambandsins*

Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC. Stjtið. ESB, L 275, 25.10.2003, bls. 32.

Directive 2004/101/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 amending Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, in respect of the Kyoto Protocol's project mechanisms, Stjtið. ESB, L 338, 13.11.2004, bls. 18.

Directive 2008/101/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 amending Directive 2003/87/EC so as to include aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, Stjtið. ESB, L 8, 13.1.2009, bls. 3.

Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, Stjtið. ESB, L 140, 5.6.2009, bls. 16.

Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community. Stjtið. ESB, L 140, 5.6.2009, bls. 63.

Decision No 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020, Stjtið. ESB, L 140, 5.6.2009, bls. 136.

Decision No 377/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 24 April 2013 derogating temporarily from Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, Stjtið. ESB, L 113, 25.4.2013, bls. 1.

Decision (EU) 2015/1814 of the European Parliament and of the Council of 6 October 2015 concerning the establishment and operation of a markets stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and amending Directive 2003/87/EC, Stjórn. ESB, L 264, 9.10.2015, bls. 1.

*Ákvarðanir sameiginlegu EES-nefndarinnar*

Ákvörðun sameiginlegu EES-nefndarinnar nr. 162/2011 frá 19. desember 2011.

*Vefsíður*

<http://unfccc.int>

<https://cdm.unfccc.int>

<http://ec.europa.eu>

<http://www.goldstandard.org>

<http://ghgprotocol.org>

<http://www.umhverfisraduneyti.is>

<http://www.ust.is>

<http://www.orkustofnun.is>

<http://www.kolvidur.is>

<http://www.bafu.admin.ch>