

## 4 Valkostir til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda

---

### 4.1 Inngangur

Eins og kom fram í kafla 4 þá er útstreymi gróðurhúsalofttegunda misjafnt eftir geirum samfélagsins. Mikilvægt er að skoða allar leiðir til að draga úr útstreymi án tillits til umfangs, þar sem tækifæri til minnkunar geta leynst víða. Geirarnir sem hér á eftir er fjallað um eru eftirfarandi: Orkuframleiðsla (rafmagn og hiti), samgöngur, iðnaður, sjávarútvegur, landbúnaður, meðhöndlun úrgangs, landnotkun og notkun sveigjanleikaákvæða. Samlegðaráhrif aðgerða milli geira eru sett fram í kafla 7. Möguleikar á að draga úr útstreymi eru hér eftir kallaðir mótvægisáðgerðir.

#### Aðferðafræði

##### *Grunnsþá*

Áður en hægt er að meta möguleika mótvægisáðgerða til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda er nauðsynlegt að setja fram grunnsþá um útstreymi. Grunnsþá þarf að vera þeim eiginleikum gædd að sýna mögulega þróun útstreymis gróðurhúsalofttegunda miðað við að engin breyting verði á hegðan eða stjórnvaldsáðgerðum að því er varðar útstreymi (þ.e. afskiptalaus þróun), frá grunnári spárinnar, þ.e. spá, sem miðar við gildandi lög og reglur. Í starfi nefndarinnar var grunnsþá Umhverfisstofnunar notuð sem viðmið, enda uppfyllir hún öll skilyrði til þess. Mögulegt hefði verið að nota grunnsþá sem byggist á því að engar tæknibreytingar myndu eiga sér stað til framtíðar. Útstreymi myndi þá aukast í réttu hlutfalli við breytingar á umfangi hvers geira. Slík þróun þykir þó ólíkleg og ráðleggur ráðgjafahópur milliríkjanefndar Sameinuðu þjóðanna, IPCC, að notaðar séu grunnsþár sem sýna eins vel og auðið er hvernig líklegt þykir að útstreymi muni breytast til framtíðar við afskiptalaus þróun (Munnleg heimild Leo Meyer 2008).

##### *Möguleikar til að minnka útstreymi; mótvægisáðgerðir*

Mótvægisáðgerðir lýsa möguleikum á að draga úr útstreymi umfram grunnsþá, án þess að valda samdrætti í starfsemi. Takmarkið er því að skilgreina þá möguleika sem nýst geta til þess að draga úr útstreymi á hverja framleiðslueiningu, en ekki áðgerðir

sem fela í sér samdrátt í framleiðslu. Einnig er lögð áhersla á mótvægisáðgerðir sem ekki fela í sér stórfelldar breytingar á neyslumynstri eða lífsgæðum, enda eru slíkar breytingar ekki tæknilegs eðlis.

Mótvægisáðgerðum er lýst fyrir hvern geira fyrir sig og metið hversu miklum samdrætti í útstreymi hver áðgerð geti skilað. Megináhersla er á áðgerðir sem skilað geta árangri til skamms tíma (til og með 2020), en einnig eru skilgreindir möguleikar til lengri tíma (til 2050). Niðurstöður eru settar fram með því að nota bæði töflur og fleyggröf innan hvers geira. Fleyggröfin sýna hversu miklum samdrætti hver áðgerð geti náð fram í samanburði við grunnspá Umhverfisstofnunar. Þegar skoðuð eru samlegðaráhrif geiranna er samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda fyrir hverja mótvægisáðgerð settur fram í fleyggröfum. Möguleikar innan geira eru settir fram í kafla 4, en í kafla 7 eru metin samlegðaráhrif mótvægisáðgerða innan og milli geira, auk kostnaðar.

### ***Kostnaður og ábati***

***Kostnaður*** áðgerða sem taldar eru draga úr útstreymi umfram grunnspá, er skilgreindur sem kostnaður vegna fjárfestinga umfram grunnspá auk breytilegs rekstrarkostnaðar vegna þeirra.

***Ábati*** hvorrar áðgerðar er skilgreindur sem möguleiki á að draga úr fjárfestingakostnaði og breytilegum rekstrarkostnaði vegna áðgerða sem gripið er til umfram áðgerðir sem miðað er við í grunnspá. *Annar ábati, svo sem áhrif á heilsu og lífsgæði getur verið verulegur, en er ekki tekinn inn í matið að þessu sinni. Engar beinar rannsóknir hafa verið gerðar á þessum þáttum á Íslandi og þótti óvarlegt að yfirfæra erlendar niðurstöður yfir á íslenskar aðstæður án íslenskra rannsókna.*

Við mat á kostnaði og ábata er gert ráð fyrir að ráðist verði í þær viðbótaráðgerðir sem fjallað er um í skýrslunni alfarið til að draga úr nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda. Því er kostnaður auk ábata að fullu reiknaður fyrir hverja og eina áðgerð. Þó ber að geta að þessi forsenda stenst ekki í öllum tilvikum svo sem í tilviki landgræðslu, þar sem mögulegt er að líta á bindingu kolefnis sem auka-ábata þess að græða landið. Nettókostnaður hvorrar áðgerðar var metinn sem mismunur kostnaðar og ábata á tímabilinu 2009–2020.

Við mat á nettókostnaði fyrir hverja mótvægisáðgerð er byggt á aðferðafræði sem mælt er með af Vinnuhóp 3 hjá IPCC og er einnig notuð af ráðgjafafyrirtækinu McKinsey við mat á nettókostnaði áðgerða hjá fjölmörgum þjóðlöndum (McKinsey 2009). Í öllum tilvikum er nettókostnaður reiknaður á fast verðlag miðað við 26. ágúst 2008 og reiknivextir eru 5%. Afskriftartími fjárfestinga er mismunandi fyrir hverja fjárfestingu, og er t.d. 25 ár í tilfellum samgöngumannvirkja en 10 ár í tilfellum bifreiða og áfyllingar- og dreifingarkerfa. Í öllum tilvikum er kostnaður einungis reiknaður fyrir þær áðgerðir sem draga úr útstreymi umfram grunnspá. Miðað er við að allur kostnaður og ábati stafi af því markmiði að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

Aðferðafræðin byggðist á eftirfarandi skrefum:

- Framtíðarspá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda í einstökum geirum til ársins 2050 var fengin frá Umhverfisstofnun. Sú spá byggir að miklu leyti á nýjstu eldsneytisþá Orkustofnunar frá árinu 2008, en skiptist í tilvik 1 og tilvik

2, þar sem tilvik 1 er hin eiginlega grunnspá (sjá box 5 og 6, kafla 3). Framtíðarspáin var síðan notuð til að setja fram grunnspá, sem lýsir væntanlegu útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi við afskiptalausá þróun. Það þýðir að hvorki stjórnmöld, einstaklingar né fyrirtæki grípi til sérstakra aðgerða umfram það sem leiðir af venjubundinni þróun.

- Útstreymi frá einstökum geirum og áhrif einstakra mótvægisáðgerða voru metin. Með því er átt við leiðir til minnkunar á útstreymi gróðurhúsalofttegunda *umfram grunnspá*, innan hvers geira.
- Möguleg minnkun á útstreymi, mæld í tonnum gróðurhúsalofttegunda á ári, var metin fyrir hverja mótvægisáðgerð. Síðan voru heildarmöguleikar til minnkunar á útstreymi innan hvers geira metnir og tekið mið af samlegðaráhrifum allra áðgerða. *Taka ber fram að þeir heildarmöguleikar til að draga úr útstreymi sem fjallað er um sýna einungis hvað geti verið mögulegt en fela ekki í sér framtíðarspá. Hvort sá samdráttur, sem fjallað er um, verður að veruleika er háð t.d. hagþróun, tækniþróun og stjórnmálsaðgerðum og þá ekki einungis hér á landi heldur einnig erlendis.*
- Kostnaður vegna hverrar mótvægisáðgerðar var metinn sem summa fjárfestingar- og rekstrarkostnaðar. Fjárfestingarkostnaði var dreift á líftíma fjárfestingar með 5% reiknivöxtum. Ábati hverrar áðgerðar var einnig metinn fyrir hvert ár fjárfestingar. Núvirtur heildarkostnaður (eða ábati) hverrar áðgerðar yfir tímabilið 2009 til 2020 var síðan metinn. Kostnaður vegna áðgerða síðar á tímabilinu var ekki metinn vegna mikillar óvissu þegar lengra er litið inn í framtíðina.
- Kostnaði sérhverrar mótvægisáðgerðar var síðan deilt á hvert tonn af minnkuðu útstreymi gróðurhúsalofttegunda fyrir tímabilið 2009-2020. Þessum kostnaðaraðgerðum var síðan raðað upp í kostnaðarferil, eiginlegan *framboðsferil mótvægisáðgerða*, sem lýsir framboði mótvægisáðgerða eftir núvirtum nettócostnaði á hvert tonn gróðurhúsalofttegunda sem komið er í veg fyrir að losni út í andrúmsloftið.

### *Hvað sýnir framboðsferillinn?*

Framboðsferillinn hefur því tvær víddir, sem er magn og kostnaður. Magnið sem er á lárétta ásnum sýnir minnkun á útstreymi gróðurhúsalofttegunda fyrir hverja áðgerð í þúsundum tonna af koldíoxíð-ígildum (sjá t.d. mynd 7-14). Ætíð er sýnd minnkun á útstreymi árið 2020, miðað við útstreymi í grunnspá, óháð því hvenær áðgerðin átti sér stað. Kostnaðurinn, sem er á lóðrétta ásnum, sýnir núvirtan kostnað á hvert tonn af minnkuðu útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

Mótvægisáðgerðum er síðan raðað eftir kostnaði fyrir hvert tonn sem ekki er losað út í andrúmsloftið. Lengst til vinstri eru neikvæðar súlur sem þýðir að áðgerðin hefur í för með sér hreinan fjárhagslegan ávinning. Lengra til hægri koma svo áðgerðir sem hafa í för með sér nettócostnað og því meiri sem lengra er haldið. Magnið er sýnt með því að súlurnar eru misbreiðar og því breiðari sem súlurnar eru því meiri minnkun útstreymis skilar áðgerðin.

### *Það sem ekki kemur fram*

Það er ljóst að stjórnvöld geta beitt ýmsum stjórnvaldsaðgerðum til að ná fram samdrætti í nettóútstreymi, svo sem með sköttum og kvótum auk ýmiss konar reglna varðandi innleiðingu bestu fáanlegrar tækni. Sérhver stjórnvaldsaðgerð mun hafa ýmsan þjóðfélagslegan kostnað og ábata í för með sér. Greiningin sem sett er fram í þessari skýrslu metur ekki kostnað eða ábata stjórnvaldsaðgerða, heldur einungis beinan fjárfestingar- og rekstrarkostnað auk ábata mótvægisáðgerða. *Því eru hvorki greind bein áhrif mótvægisáðgerða á þjóðarbúið, né áhrif stjórnvaldsáðgerða.* Greining á þjóðfélagslegum kostnaði mismunandi aðgerða auk áhrifa stjórnvaldsáðgerða, þarf því að fara fram síðar. Auk þessa er ekki metinn aukinn kostnaður vegna söfnunar úrgangs til endurvinnslu, né kostnaður vegna styrkingar raforkukerfisins.

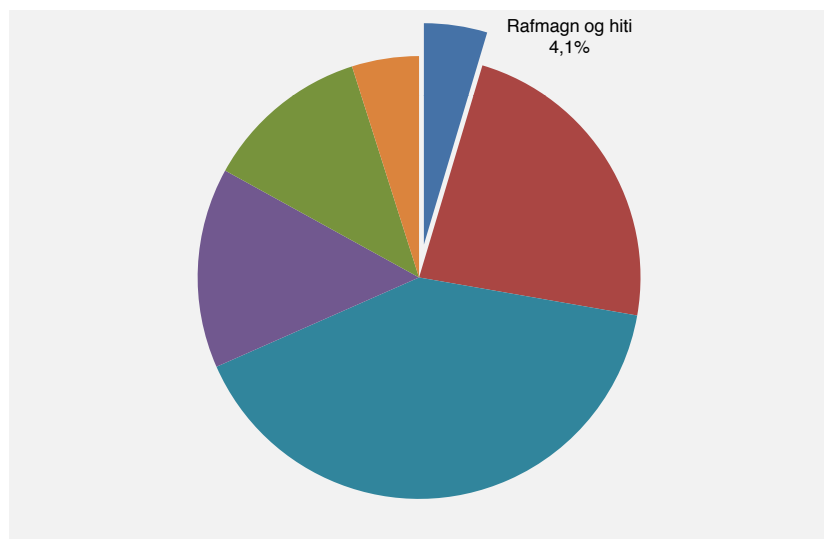
Hér á eftir eru lýsingar á þeim geirum þjóðfélagsins þar sem vænta má mótvægisáðgerða, lýsingar á mótvægisáðgerðum og þeim kostnaði og ábata sem þeim fylgja.

## 4.2 Orkuframleiðsla

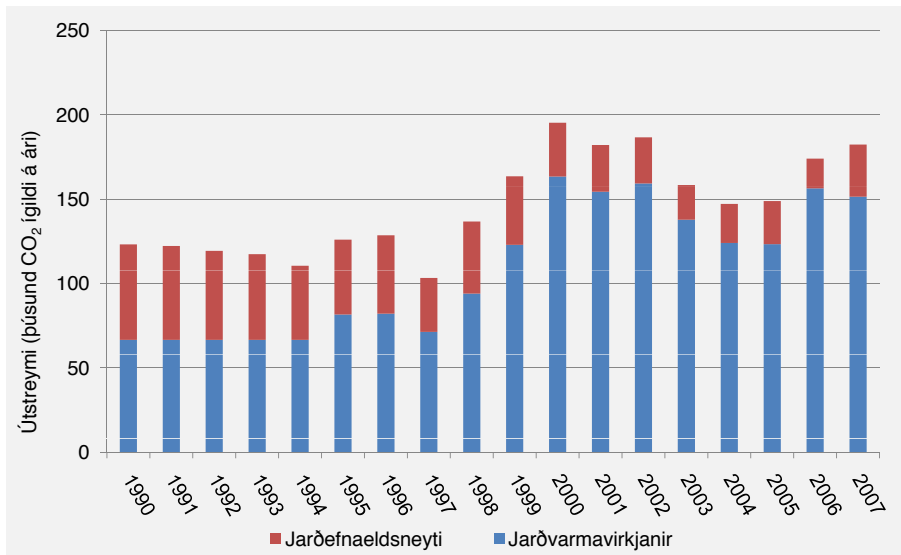
### 4.2.1 Yfirlit

Útstreymi frá orkuframleiðslu á Íslandi er lítið miðað við önnur lönd. Langstærsti hluti íslenskrar orku er frá endurnýjanlegum orkuauðlindum, þ.e. jarðvarma og vatnsaflí.

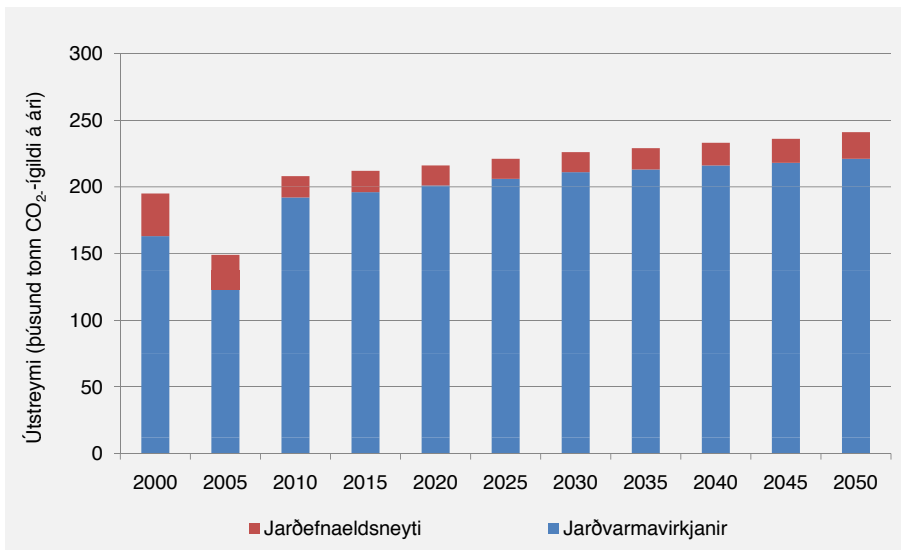
Útstreymi á gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu var um 4,1% af heildarútstreymi Íslands árið 2007 (sjá mynd 4-1). Mynd 4-2 sýnir þróun á útstreymi CO<sub>2</sub> frá orkuframleiðslu á Íslandi frá árinu 1990 til 2007. Ekkert útstreymi gróðurhúsalofttegunda reiknast frá vatnsaflsvirkjunum en útstreymi er talið vegna notkunar jarðfnaeldsneytis og frá jarðvarmavirkjunum. Taka ber þó fram að útstreymi hlýst af framleiðslu rafmagns með vatnsaflsvirkjunum og þá aðallega vegna rotnunar lífmassa í uppistöðulónum (Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson 2007). Þetta magn er talið með í bókhaldi vegna loftslagssamnings en ekki vegna Kyoto-bókunarinnar. Eins og sjá má hefur jarðvarmanotkun aukist verulega á meðan dregið hefur úr notkun jarðfnaeldsneytis til raforku og varmaframleiðslu.



Mynd 4-1. Hlutfall hita- og rafmagnsframleiðslu í heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda 2007.



Mynd 4-2. Heildarústreymi hita- og rafmagnsframleiðslu á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildi og flokkað eftir uppruna.

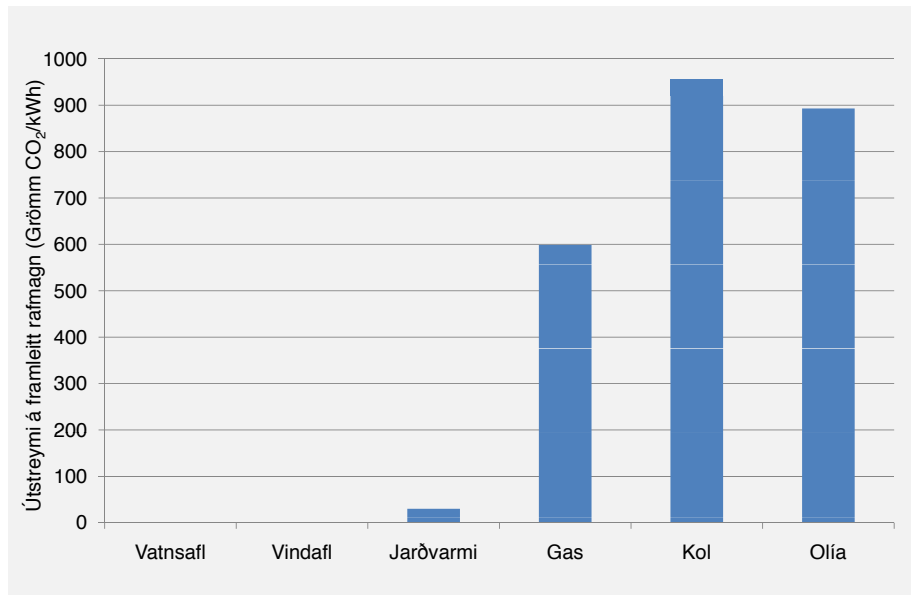


Mynd 4-3. Spá um heildarústreymi á gróðurhúsalofttegundum vegna hita- og rafmagnsframleiðslu (CO<sub>2</sub>-ígildi).

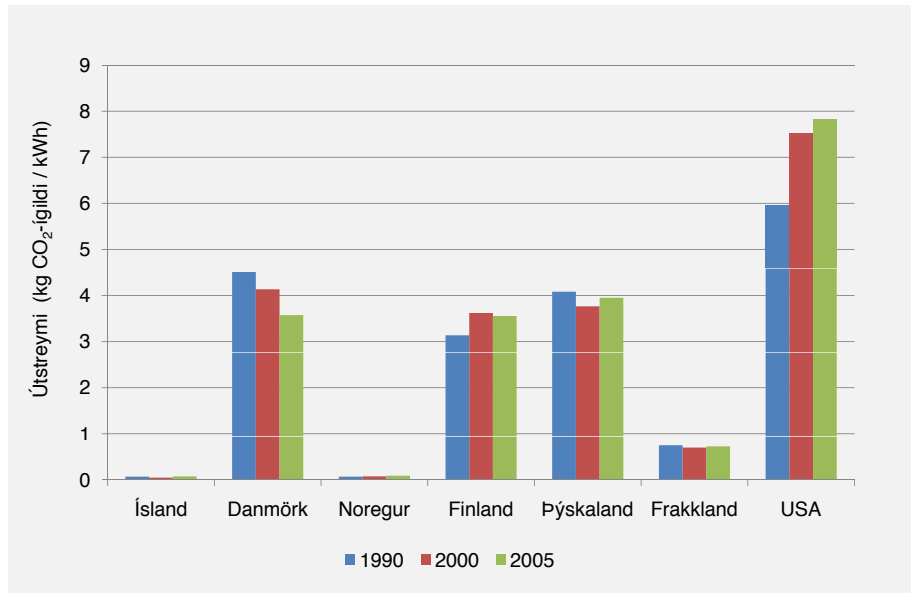
Notkun innflutts jarðefnaeldsneytis til orkuframleiðslu hefur dregist saman undanfarna áratugi. Á sama tíma hefur rafmagns- og hitaframleiðsla með endurnýjanlegum orkugjöfum aukist. Útstreymi frá orkuframleiðslu er fyrst og fremst vegna nýtingar á jarðvarma til rafmagnsframleiðslu. Útstreymi vegna hitanýtingar er talin hverfandi. Ef þróunin verður svipuð og undanfarin ár, þ.e. að á Íslandi verði ekki settar upp nýjar olíurafstöðvar, má gera ráð fyrir að aukning á útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu verði eingöngu samfara nýjum virkjunum á jarðvarma.

Spá um notkun eldsneytis byggir á eldsneytisspá Orkuspárnefndar (mynd 4-3, tilvik 1). Þar er gert ráð fyrir að eldsneytisnotkun til hitunar fari lítilla minnkandi á tímabilinu, m.a. vegna þess að þeim sundlaugum sem nota eldsneyti muni fækka. Varðandi frekari forsendur eldsneytisnotkunar í þessum geira er vísað í eldsneytisspá Orkuspárnefndar (Orkuspárnefnd 2008). Varðandi jarðhitavirkjanir er gert ráð fyrir

Mynd 4-4. Samanburður á CO<sub>2</sub> útstreymi eftir orkugjöfum. Annarsvegar eru þrjár endurnýjanlegir orkugjafar og hins vegar þrjár tegundir af jarðefnaeldsneyti (Et klimavennlig Norge 2006).



Mynd 4-5. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á framleidda kWh rafmagns á Íslandi, og nokkrum nágrannalöndum í tonnum af CO<sub>2</sub>-ígildi á ári (byggt á gögnum frá UNFCCC 2008 & CIA factbook).



að heildaraforkuframleiðsla aukist á tímabilinu eins og gert er ráð fyrir í raforkuspá Orkustofnunar frá 2008 og að hlutfall þess rafmagns sem framleitt er með jarðhita sé 20% af heildarframleiðslunni. Gert er ráð fyrir að útstreymi jarðhitavirkjana á hverja kWh sé jafnmikið og meðaltal síðustu þriggja ára, þ.e. um 59 g/kWh.

#### 4.2.2 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Ísland hefur þá sérstöðu að nánast öll raforka og varmi til húshitunar kemur úr endurnýjanlegum orkugjöfum á meðan mörg önnur lönd, s.s. Þýskalandi og Bandaríkin framleiða stóran hluta af raforku og varma úr jarðefnaeldsneyti: Olíu, kolum eða gasi. Á mynd 4-4 má sjá samanburð á CO<sub>2</sub> útstreymi milli nokkurra orkugjafa.

Mynd 4-5 sýnir samanburð á útstreymi koldíoxíðs á hverja kWh við framleiðslu rafmagns á Íslandi, í BNA og nokkrum Evrópulöndum. Í Noregi er nánast allt rafmagn

framleitt með vatnsaflsvirkjunum og flest hús eru rafhituð. Í Þýskalandi og Bandaríkjunum er notað mikið af jarðefnaeldsneyti til rafmagnsframleiðslu og til húshitunar. Eins og sjá má hefur útstreymi Dana minnkað mikið undanfarin ár og má rekja það til aukinnar rafmagnsframleiðslu með vindorku í Danmörku og stefnu stjórnvalda varðandi endurnýjanlega orkugjafa. Útstreymi Frakka m.v. CO<sub>2</sub> á kílóvattsstund er fremur lítið enda nýta þeir talsvert af kjarnorku til raforkuframleiðslu.

#### 4.2.3 Tæknilegir möguleikar

Til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu á Íslandi er annars vegar hægt að nýta endurnýjanlega orkugjafa í staðinn fyrir jarðefnaeldsneyti og hins vegar finna leiðir til að fanga útstreymi frá jarðvarmavirkjunum. Það eru til ýmsar aðferðir við föngun á CO<sub>2</sub> s.s. binding í jarðlögum, efnahvörf og líftækni. Hér á eftir verður fjallað ítarlega um þrjár aðferðir sem hafa verið til athugunar hér á landi. Þær eru binding í basalti, endurnýting kolefnis í eldsneyti og framleiðsla á lífmassa. Viða um heim hefur þótt áhugavert að binda í gips en hér á landi hefur sú hugmynd ekki náð miklu flugi, einkum vegna þess að hér hentar aðferðin aðstæðum ekki vel.

##### 4.2.3.1 Binding í basalti

Binding koldíoxíðs í basalti, sem steindina kalsít, er vel þekkt náttúrulegt ferli á jarðhitasvæðum. Þegar kvika storknar undir jarðhitasvæðum losnar CO<sub>2</sub> sem berst stöðugt upp í svæðin. Þar hvarfast koldíoxíð við kalsín í basalti og myndar kalsít. Þannig er CO<sub>2</sub> bundið á náttúrulegan hátt sem steind í þúsundir ef ekki milljónir ára á jarðhitasvæðum.

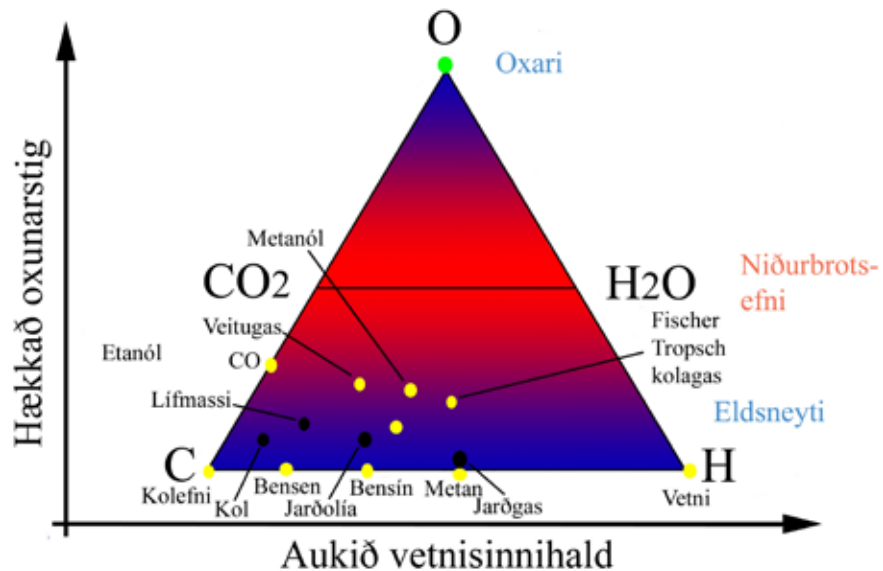
Þessi aðferð hefur verið þekkt um nokkurt skeið og Háskóli Íslands leiðir nú tilraun sem studd er af Orkuveitu Reykjavíkur og fleirum um að binda koldíoxíð í jarðhitaholum á Hellisheiði. Þar er ætlunin að líkja eftir og ýta undir þá náttúrulegu ferla sem beisla og binda CO<sub>2</sub> á jarðhitasvæðum (Umhverfisskýrsla Orkuveitu Reykjavíkur, 2007). Ráðgert er að leysa koldíoxíð upp í vatni undir þrýstingi og dæla vökvanum niður á 400 til 800 m dýpi um borholur þar sem taldar eru mestar líkur á að koldíoxíð hvarfist við basaltið. Að nokkrum tíma liðnum er talið að kalsít falli út í holrými bergsins. Hæfni bergs til að binda er mismikil. Í verkefninu er verið að mæla hraða og getu til bindingar og er unnið með reiknilíkön. Hugað er að áhrifum sem niðurdæling hefur á aðra þætti, s.s. á grunnvatnskerfið. Niðurdæling er hugsuð í tengslum við orkuver og iðjuver en staðsetning skiptir máli vegna berggerðar í nágrenni starfseminnar. Samkvæmt verkáætlun er ætlunin að hefja niðurdælingu árið 2009. Áætlanir um kostnað við niðurdælingu í miklum mæli mun ekki liggja fyrir fyrr en undirbúningur er lengra á veg kominn.

Lítið er til niðurdælingar í fleiri löndum. Norðmenn hafa dælt niður CO<sub>2</sub> í olíulindir í 10 ár og sjá fram á að halda áfram verkefnum á þessu sviði. Íslenska verkefnið hefur nokkra sérstöðu og sérfræðingar í löndum, sem hafa svipaða jarðfræðilega eiginleika og Ísland, fylgjast með þróun mála hér á landi. Ljóst er að ef vel tekst til gætu fleiri nýtt aðferðina.

##### 4.2.3.2 Framleiðsla á tilbúnu eldsneyti

Hægt er að fanga koldíoxíð og nýta sem hráefni í eldsneytisframleiðslu. Fyrirtækið Carbon Recycling International, hefur unnið að rannsóknum og hagkvæmniathugunum á þessu sviði. Einnig hefur ELKEM Ísland sýnt aðferðinni áhuga og unnið að

Mynd 4-6. Þríhyrningur sem sýnir samband kolefnis, vetnis og súrefnis og þær blöndur tilbúins eldsneytis sem gera má úr þessum frumefnum (Lackner og Sigfússon 2006).



forathugunum fyrir föngun og endurvinnslu. Þá hefur verið hafin samvinna við Mitsubishi Heavy Industries um þetta viðfangsefni.

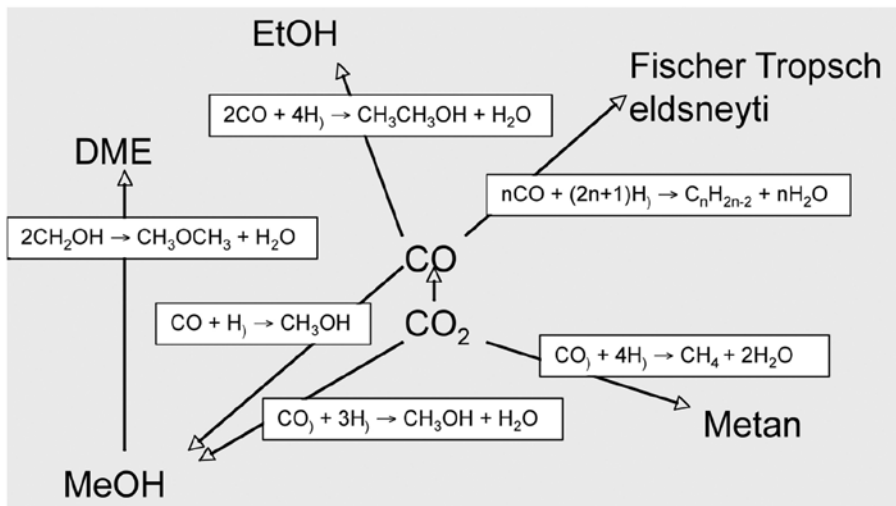
Tilbúið eldsneyti eða gervieldsneyti er orð yfir eldsneyti úr kolvetnum sem búið er til með iðnferlum (sjá mynd 4-6). Kolefni og vetni þarf til verksins og kemur orkan í eldsneytinu úr vetninu. Hér á landi myndi vetnið líklega fást með rafgreiningu, og framleiðsla tilbúins eldsneytis væri því leið til þess að breyta raforku í fljótandi eldsneyti. Kolefnið, sem getur komið úr kolum, lífmassa eða útblæstri stóriðju eða jarðvarmavirkjana, þjónar álíka hlutverki og rafhlaða, það er geymslumiðillinn.

Þjóðverjarnir Fischer og Tropsch settu fram á þriðja áratug síðustu aldar hugmyndir sínar um gerð tilbúins eldsneytis úr kolum (FT eldsneyti). Úr varð ferli sem studdist við framleiðslu kolagass, blöndu CO og H<sub>2</sub> sem aftur mátti breyta í kolefnisakeðjur með notkun hvata sem í fyrstu var járn en síðar kom í ljós að kóbolt hentaði betur. Þriðja ríkið braust í gegnum styrjaldir með þessari tækni og stríðsvél Þjóðverja gekk að hluta til fyrir FT eldsneyti. (Sigfússon 2007)

Það er eðlilegt að huga að nýtingu koldíoxíðs (CO<sub>2</sub>) til framleiðslu tilbúins eldsneytis, því það er auðfánleg og verðlítill gastegund. Þó er sameindin mjög stöðug og erfið til hvörfunar og ferlið við að fanga og hreinsa CO<sub>2</sub> er orkufrekt og nokkuð dýrt. Við nýtingu á CO<sub>2</sub> er annars vegar hægt að horfa til eðliseiginleika gastegundarinnar og nýta t.d. í gosdrykkjaframleiðslu eða slökkvitæki eða til efnaeiginleika sameindarinnar og nýta sem hvarfefni t.d. við framleiðslu karbónata, eða eldsneytis. Mynd 4-7 er yfirlitsmynd yfir mögulegar eldsneytistegundir sem hægt er að framleiða úr CO<sub>2</sub>.

Eins og sjá má er hægt að framleiða metanól eða metangas beint úr koldíoxíði. Hins vegar er hægt að framleiða flestar tegundir af eldsneyti ef farin er sú leið að hvarfa koldíoxíð (CO<sub>2</sub>) í kolmónoxíð (CO) og framleiða vetni og fara þaðan í aðrar gerðir eldsneytis. Blanda af CO og H<sub>2</sub> er kölluð synthesisgas-blanda, og er hráefni í bæði metanól og etanól framleiðslu og Fischer-Tropsch hvarf. Með Fischer-Tropsch hvarfaferli er hægt að búa til bæði hágæða-dísilolíu og hágæða-bensín.





Mynd 4-7. Yfirlitsmynd yfir eldsneytisframleiðslu úr koldíoxíði og afleiðu þess, kolmónoxíði.

Tveir áhugaverðustu kostirnir eru að framleiða metanól eða FT-dísilolíu. Metanól (MeOH) er hægt að framleiða beint, í einu skrefi, úr CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>. Möguleiki er á að framleiða hágæða dísilolíu með rafmagni, vetni rafgreindu úr vatni og CO<sub>2</sub>. Metanól er hægt að brenna í þar til gerðum hreyflum, nota til upphitunar eða á efnarafala. FT-dísilolía er hágæða dísilolía sem hægt er nota beint á dísilvélar eða sem íblöndunarefni í ódýrari olíu. Til viðmiðunar má nefna að orkuinnihald (LHV) FT-dísilolíu er 43,9 MJ/kg á móti 35,7 MJ/kg hjá venjulegri dísilolíu (setantala 45). Af hagkvæmniástæðum eru aðrir möguleikar ekki eins áhugaverðir hér á landi. Orkufrekt er að umbreyta CO<sub>2</sub> í CO og etanól, og dímetýleter (DME) er hugsanlega ekki nógu verðmætt eldsneyti fyrir svo flókið ferli. Af þeim tveimur eldsneytistegundum sem hægt er að framleiða beint úr CO<sub>2</sub> er metanól talsvert verðmætara og af þeim eldsneytistegundum sem hægt er að framleiða úr CO hefur dísilolía þann kost að hægt væri að nota hana beint á skipaflota Íslendinga.

#### 4.2.3.3 Framleiðsla á lífmassa

Fjölmargar tegundir örvera geta bundið CO<sub>2</sub> í frumum sínum líkt og plöntur. Til þess þurfa þær nýtanlega orku, annað hvort úr ljósi (ljóstíllífun) eða úr orkuríkum ólíf-rænum efnasamböndum (efnatíllífun). Sprotafyrirtækið Prokatín ehf. hefur undanfarið árið unnið að þróun aðferðar til að rækta örverur á afgangi frá jarðhitaorkuverum og gert tilraunir í orkuverinu á Nesjavöllum. Örverurnar eru ræktaðar í tönkum og nýta orkuna úr H<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S sem er í jarðhitagasinu og binda um leið CO<sub>2</sub>. Við þetta myndast prótínríkur lífmassi með svipaða efnasamsetningu og næringargildi og hágæða-fiskimjól.

Framleiðsla lífdísils úr örþörungum er önnur leið. Vaxandi áhugi er nú víða um heim á ræktun örþörungum (microalgae) bæði til að binda CO<sub>2</sub> og framleiða lífdísilolíu (biodiesel). Líkt og plöntur nota örþörungar ljós sem orkugjafa og binda kolefni í líf-massa sínum. Úr lífmassa má vinna eldsneyti, fóður, matvæli og ýmsar verðmætar

lífrænar afurðir. Örpörungar innihalda hátt hlutfall olíu og framleiðsla hráefnis til lífdísilframleiðslu úr þörungaræktun getur verið margfalt skilvirkari en úr plöntum m.t.t. þess landrýmis sem þarf til ræktunarinnar. Á þennan hátt má fá allt að 140.000 lítra af lífdísilolíu á hektara samanborið við í mesta lagi 6.000 lítra séu plöntur notaðar. Af þessum sökum hafa rannsóknir stóraukist á þessum möguleika og mörg verkefni eru í burðarliðnum. Ýmsir kostir gætu verið við ræktun örpörunga á Íslandi. Þar má nefna mikla birtu stóran hluta ársins, ódýrt rafmagn og aðgang að þéttum straumi af CO<sub>2</sub> frá jarðhitavirkjunum. Fýsilegt gæti verið að samnýta aðstöðu og búnað vegna fyrrgreindrar ræktunar sem nýtir H<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S og rækta jafnframt örpörunga á því CO<sub>2</sub> sem eftir væri í afgasinu. Þetta á þó eftir að rannsaka betur og ekki liggja fyrir tölur um hugsanlega hagkvæmni (munnleg heimild; Prokatin ehf, 2008).

#### 4.2.4 Umhverfisleg skilvirkni

Draga má úr útstreymi á CO<sub>2</sub> frá jarðvarmavirkjunum með öllum þeim aðferðum fjallað er um í kaflanum hér á undan. Ein leiðin væri að fanga allt koldíoxíð og dæla niður í berg, önnur að framleiða eldsneyti úr megninu af útstreyminu og sú þriðja að framleiða fóður, en með núverandi tækni væri líklega hægt að framleiða fóður úr um 20% af CO<sub>2</sub> útstreymi hvernar virkjunar. Hér á eftir er umhverfisleg skilvirkni hvernar aðferðar fyrir sig skoðuð og sett fram spá um þróun á næstu áratugum.

##### 4.2.4.1 Binding í basalti

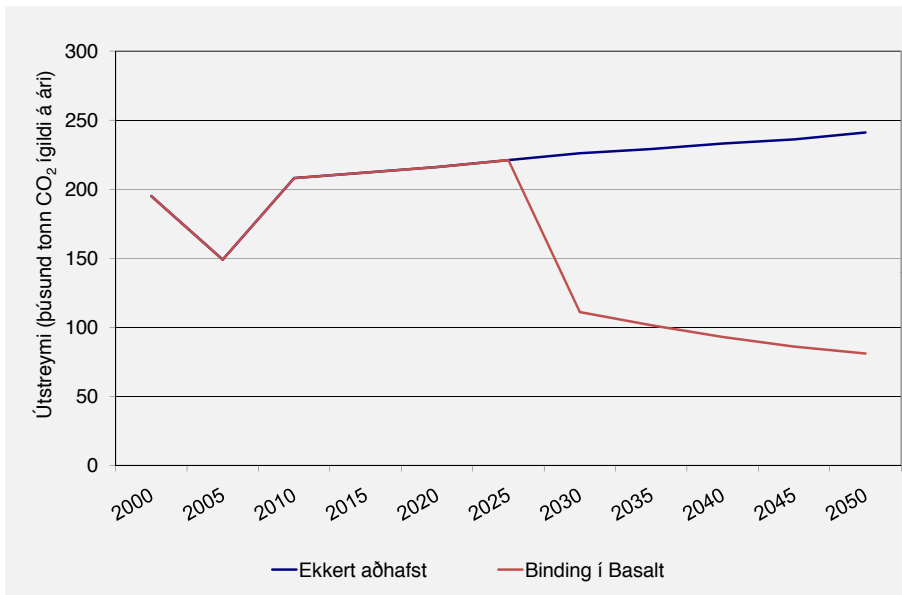
Samkvæmt upplýsingum frá Orkuveitu Reykjavíkur er stefnt að því að hefja tilraunir með föngun við Helligheiðarvirkjun árið 2009. Helligheiðarvirkjun losar um 30.000 tonn CO<sub>2</sub> á ári og talið er að fanga megi um 15.000 tonn til að byrja með. Hér gert ráð fyrir að árið 2030 verði hægt að fanga nálægt helming af CO<sub>2</sub> útstreymi frá jarðvarmavirkjunum og binda í basalti (sjá mynd 4-8). Ef vel gengur getur tæknin breiðst hraðar út og mætti þá gera ráð fyrir að hægt yrði að binda talsvert meira CO<sub>2</sub> í basalti.

##### 4.2.4.2 Framleiðsla á tilbúnu eldsneyti

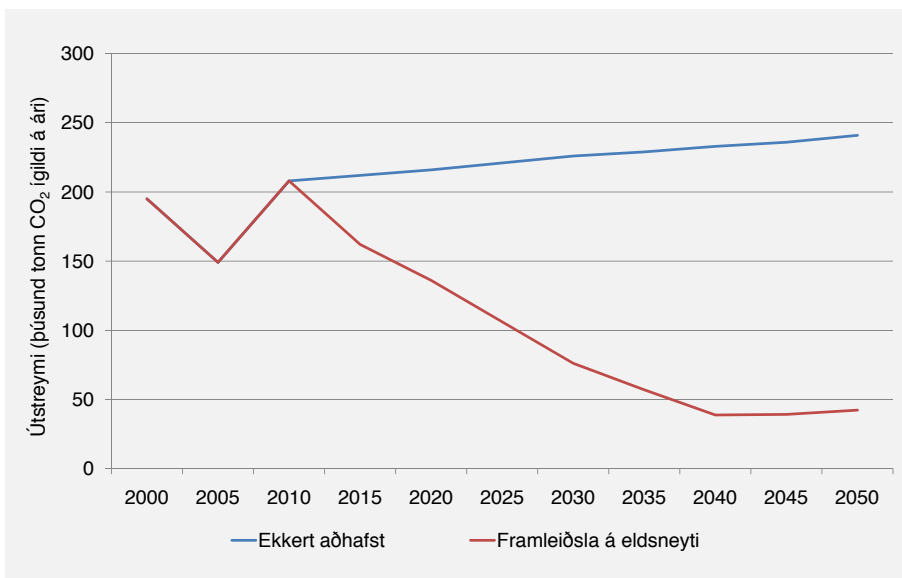
Fyrirtækið Carbon Recycling International hefur hafið undirbúning að byggingu verksmiðju sem framleiðir eldsneyti úr CO<sub>2</sub>. Með því yrði þá koldíoxíð fangað og búið til verðmæti úr því. Markmiðið er að setja fyrsta verkefnið í gang árið 2011 og framleiða fljótlega 50 milljón lítra af eldsneyti. Stefnt er að því að reisa alls 20 verksmiðjur sem hver um sig ætti að geta fangað um 55.000–70.000 tonn CO<sub>2</sub> á ári. Þannig mætti anna nánast öllu útstreymi frá jarðvarmavirkjunum árið 2030 með um 90% nýtni (Munnleg heimild: CRI, 2009). Mynd 4-9 sýnir hversu hratt og hversu mikið talið er að hægt sé að fanga og endurnýta CO<sub>2</sub> frá jarðvarmavirkjunum.

##### 4.2.4.3 Framleiðsla lífmassa

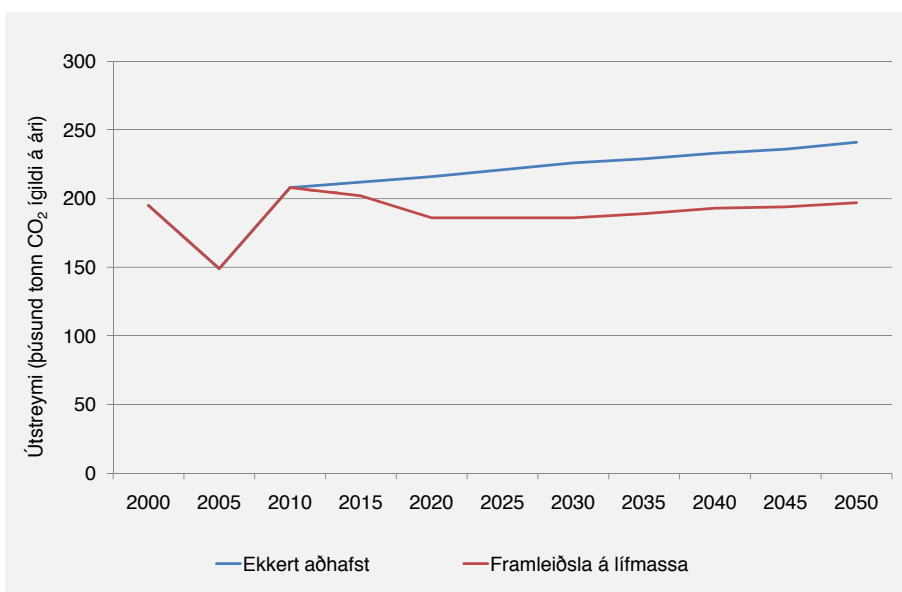
Verið er að þróa aðferð til að binda brennistein í útblæstri jarðhitavirkjana í einfrumúlífmassa. Framleiddur er próteinríkur lífmassi með svipaða efnasamsetningu og næringargildi og hágæða-fiskimjöl. Lífmassinn er markaðssettur og seldur til fóðurgerðar. Í ferlinu binst einnig nokkuð af CO<sub>2</sub> (Aðferð A). Talið er að með þessari aðferð mætti ná um 20% af CO<sub>2</sub> útblæstri jarðvarmavirkjana. Áætlanir gera ráð fyrir að tæknin verði tekin í notkun 2011 og árið 2020 má gera ráð fyrir að um 10% af útstreymi



Mynd 4-8. Spá um samdrátt í útstreymi koldíoxíðs með bindingu í basalti.

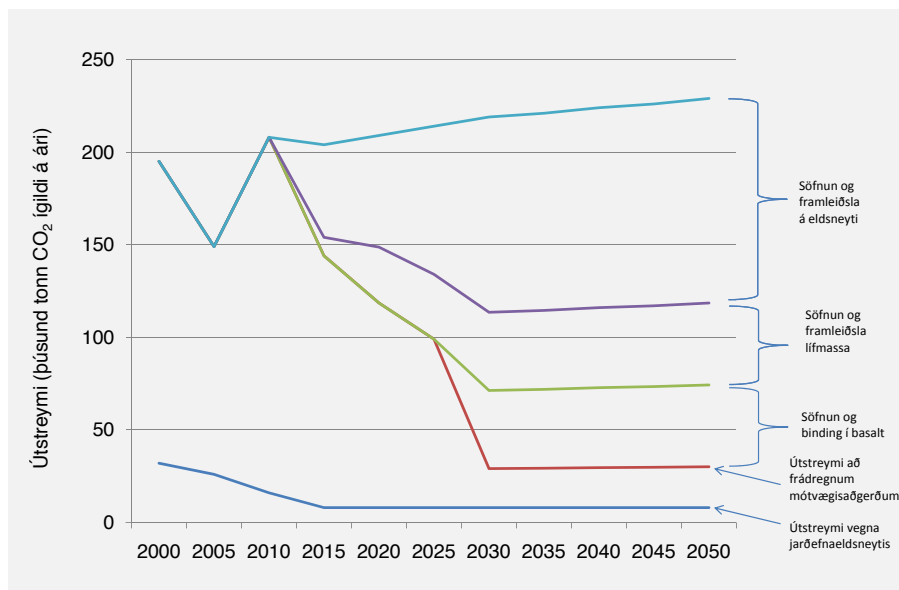


Mynd 4-9. Spá um samdrátt í útstreymi koldíoxíðs frá jarðvarmavirkjunum með bindingu í tilbúið eldsneyti.



Mynd 4-10. Spá um samdrátt í útstreymi koldíoxíðs með lífmassaframleiðslu.

Mynd 4-11. Möguleikar á samdrætti í nettólosun CO<sub>2</sub>-ígilda frá jarðvarmavirkjunum.



jarðvarmavirkjana verði bundin á þennan hátt, þó aðferðin sé fyrst og fremst þróuð til að binda brennisteinssambönd (Munnleg heimild: Prokatin ehf 2009).

Með vetnisframleiðslu mætti síðan auka slíka mjölframleiðslu enn meira (Aðferð B). Með 1 MW rafgreini má framleiða 128 tonn af vetni á ári. Það nægir til framleiðslu á tæpum 400 tonnum af slíku mjöli og bindur um leið 770 tonn af CO<sub>2</sub>.

Því er um tvær aðferðir að ræða. Annars vegar að binda brennstein úr útblæstri jarðhitavirkjana í einfrumulífmassa, en binding CO<sub>2</sub> fylgir þá með í kaupbæti og er því enginn kostnaður við þessa koldíoxíðbindingu (aðferð A). Hin aðferðin felst í því að rafgreina vetni og nota það við mjölframleiðsluna (aðferð B).

#### 4.2.4.4 Heildarsamdráttur

Aðferðir sem kynntar eru í þessum kafla eru allar á tilraunastigi. Því er erfitt að segja fyrir um hvernig þær munu spila saman í framtíðinni og hverjar verða valdar á hinum ýmsu stöðum til að fanga og nýta gróðurhúsalofttegundir sem streyma frá jarðvarmavirkjunum. Spá um þróun mála er því sett fram með fyrirvara (sjá mynd 4-11). Miðað við sett markmið verkefna sem kynnt eru hér að ofan ætti að vera hægt að fanga stóran hluta CO<sub>2</sub> útstreymis frá jarðvarmavirkjunum árið 2030 en gert ráð fyrir að þá verði um 20% fangað til fóðurgerðar, 50% til eldsneytisframleiðslu og 20% bundið í basalti. Árið 2020, er gert ráð fyrir að 15% sé fangað til fóðurgerðar, 35% til eldsneytisframleiðslu en ekkert bundið í basalt vegna þeirrar tæknilegu óvissu sem enn ríkir um aðferðina.

Í útreikningum er að auki reiknað með að nýir og endurnýjanlegir orkugjafar muni leysa af hólmi um helming þess jarðefnaeldsneytis sem notað er til rafmagnsframleiðslu og húshitunar í dag. Þar eru ýmsir möguleikar sem vert er að skoða. Fyrst má nefna rannsóknir og þróun á endurnýjanlegum orkugjöfum. Víðast hvar í nágrennalöndunum hafa vindmyllur verið að ryðja sér rúms og gæti verið að þær leystu einhverjar dísilrafstöðvar af hólmi, eins og t.d. í Grímsey. Sjávarfallavirkjanir eru áhugaverður möguleiki og hefur Breiðafjörður verið hvað mest skoðaður með það fyrir augum. Þar með gætu endurnýjanlegir orkugjafar leyst dísilrafstöðina í Flatey af

hólmi. Svo er líklegt að með betri nýtni og ódýrari tækni muni sólarcellur leysa af díslrafstöðvar á stöðum sem ekki eru tengdir rafdreifikerfinu. Einnig mætti setja upp efnarafala til húshitunar, þannig er vetni notað sem orkuberi og mætti þá nota t.d. vatnsaflsvirkjanir sem orkugjafa.

#### 4.2.5 Bætt nýtni við orkuvinnslu

##### 4.2.5.1 Vatnsafl

Þegar horft er til orkuvinnslu á Íslandi og miðað við vinnslu rafmagns úr vatnsafla er ljóst að nýtni þeirrar vinnslu er mjög há. Algengt er að miðað sé við um 92% orkunýtni. Hér á landi hafa orðið miklar framfarir í bættri orkunýtingu eldri vatnsorkuvera og þar ber hæst endurbætur sem gerðar voru á Búrfellsvirkjun þar sem eldri hönnun var endurbætt, bæði hvað varðar hönnun vatnshjóla og hluta rafbúnaðar, með þeim árangri að heildaraflíð var aukið úr 220 MW í 270 MW. Í Sigölduvirkjun jókst afl úr 150 MW í 165 MW og áform eru um endurbætur í ýmsum fleiri virkjunum Landsvirkjunar. Ekki er þó unnt að gera ráð fyrir að ofangreindar endurbætur gefi vísbendingar um þær framfarir sem búast megi við á næstu áratugum.

##### 4.2.5.2 Jarðvarmi

Við vinnslu raforku úr jarðvarma gegnir öðru máli um nýtingu sem er að jafnaði lág, eða á bili í kringum 10-13%. Þegar unnt er að nýta affallsvarma til hitaveitu með svipuðum hætti og Orkuveita Reykjavíkur gat gert á fyrstu áratugum jarðvarmavirkjunar, verður útkoman mjög góð heildarnýtni. Með síðari tíma virkjunum hefur þessi nýtni orðið minni af því að afgangsvarminn fellur til ónýttur. Mikil áskorun er fólgin í því að huga að iðnþróun þar sem varmafrek ferli eru nýtt með tiltækum afgangsvarma frá jarðhitavirkjunum. Helst er horft til þess að notkun tvívökvakerfa geti bætt nokkuð úr nýtni jarðvarmavirkjana. Um er að ræða mikinn fjölda vökvu, annarra en vatns, sem vegna eðliseiginleika eins og suðumarks geta hentað mjög vel til þess að virkja lægri hita. Eitt af merkilegum fyrirtækjum á þessu sviði er Turboden sem hefur höfuðstöðvar á Ítalíu og framleiðir tvívökvavélar sem byggja á lífrænum vökvum og svokallaðri *Rankine* hringrás. Búast má við framförum í þessari tækni á næstu áratugum enda þótt ekki sé gert ráð fyrir neinum stökkum. Bent hefur verið á að gufuhringrásir eins og *Stirling* hringrásin gætu verið áhugaverðar hér á landi. Þar er fræðileg nýting hærrí, en krefst flókinnar varmaskiptatækni.

Hér á landi hafa verið gerðar merkilegar prófanir með svokallaða Kalina-hringrás en þar er notast við eðliseiginleika ammóníaks í vatnslausn og tengist varmafræðilegri óreiðu uppleysts ammóníaks í vatni. Þessi tækni er snjöll frá eðlisfræðilegu sjónarmiði en hefur liðið fyrir efnistæknileg atriði eins og efnistæringu.

Þá er ónefnd eðlisfræðileg aðferð sem byggir á varmarafmagni og nokkuð hefur verið prófuð hér á landi en þar er notast við þann eiginleika varma og hitamunar að geta örvað rafspennu og drifið rafstraum. Tæknin byggir í eðli sínu á því að ekki eru hreyfanlegir hlutir og þar með minna slit; hún byggir á eðlisfræði fastra efna. Tilraunir eru gerðar með svokallaðar vacuum-díóður og má búast við miklum framförum þegar sú eðlisfræðilega áskorun er leyst.

#### 4.2.6 Aukin nýtni við notkun raforku eða varma

Betri orkunýtni leiðir til minna útstreymis gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu. Mikið er horft til þessa þáttar í löndum þar sem rafmagnsframleiðsla er háð

jarðefnaeldsneyti og orkuframleiðsla leggur hlutfallslega mikið til heildarútstreymis. Hér er ekki lagt mat á hve miklu orkusparandi aðgerðir geta skilað hérlendis en rétt er að nefna helstu leiðir sem þekktar eru.

Miklar framfarir hafa orðið á undanförunum árum þegar kemur að orkunotkun tækja. Heimilistæki og algeng skrifstofutæki fást nú merkt með orkumerkingum sem leiðbeina neytendum við að velja vörur sem nota sem minnsta orku. En neytendur geta 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. Vinnubrögð við matargerð og þvotta skipta einnig máli. Í fyrirtækjum og opinberum byggingum geta orkusparandi þerur, hreyfiskynjarar og tímarofar sparað talsverða orku. Víða í fyrirtækjum eru tækifæri til betri orkunýtingar í sérhæfðum og orkufrekum búnaði. Greining á orkunotkun fyrirtækja er fyrsta skrefið og leiðir til úrbóta unnar í framhaldi af því.

Hérlendis er raforka notuð til húshitunar á svokölluðum köldum svæðum. Það er kostnaðarsamara en að nota jarðhita og því hefur verið skoðað hvernig draga megi úr rafhitun. Tilraunir hafa verið gerðar með varmadælur og gefa þær góða raun við að minnka þörf á rafhitun (Ásmundsson 2005). Betri einangrun húsa og orkustýring í opinberum byggingum gefa einnig góða raun og á það einnig við um byggingar sem hitaðar eru með jarðvarma.

#### 4.2.7 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni

Til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu á Íslandi er annarsvegar hægt að nýta endurnýjanlega orkugjafa í staðinn fyrir jarðefnaeldsneyti og hins vegar finna leiðir til að fanga útstreymi frá jarðvarmavirkjunum með endurnýtingu kolefnis í eldsneyti, bindingu kolefnis í einfrumulífmassa og með bindingu í basalti. Þessar leiðir eru enn á rannsóknastigi og því erfitt að spá fyrir um skilvirkni og kostnað í framtíðinni. Hér eru settar fram áætlanir sem til eru eða viðmiðanir frá verkefnum sem þykja sambærileg. Það verður því að hafa varann á þegar litið er á neðangreindar kostnaðartölur. Gert ráð fyrir 5% reiknivöxtum og 20 ára afskriftatíma fjárfestinga.

Kostnaður við endurnýtingu kolefnis í eldsneyti er áætlaður 5.600 kr. á hvert tonn

Flokkur	Minnkun útstreymis vegna mótvægisáðgerða árið 2020 þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi	Kostnaður per tonn CO <sub>2</sub> -ígildi (kr. á tonn)
Minnkun á notkun jarðefnaeldsneytis	8	óþekkt
Nýting jarðvarma		
Binding í basalt	0	óþekkt
Binding í lífmassa (A/B)	30	0/5.700
Föngun og framleiðsla eldsneytis	70	5.600

Tafla 4-1. Kostnaðarskilvirkni (kr. á tonn) og samdráttur í útstreymi (tonn CO<sub>2</sub>-ígildi) vegna mótvægisáðgerða.

af CO<sub>2</sub>-ígildi (Munnleg heimild: CRI, 2009). Þar af er rekstrarkostnaður um 2.900 kr/ tonn CO<sub>2</sub>-ígildi. Kostnaður við að binda kolefni í einfrumulífmassa ræðst af því hvaða aðferð er notuð. Tvær koma til greina. Annars vegar með því að binda brennistein í útblæstri jarðhitavirkjana í einfrumulífmassa, en binding CO<sub>2</sub> fylgir þá með í kaupbæti og er því enginn kostnaður við þessa koldíoxíðbindingu. Hin aðferðin felst í því að framleiða vetni með rafgreiningu og ná þannig aukinni mjölframléiðslu og er kostnaður áætlaður um 5.700 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi (Munnleg heimild: Prokatin, 2008).

#### 4.2.8 Samantekt

Til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkuframléiðslu á Íslandi er annarsvegar hægt að nýta endurnýjanlega orkugjafa í staðinn fyrir jarðefnaeldsneyti og hins vegar finna leiðir til að fanga útstreymi frá jarðvarmavirkjunum, svo sem með bindingu í basalti, endurnýtingu kolefnis í eldsneyti og bindingu í einfrumulífmassa. Ef tilraunir með bindingu í basalt ganga vel ættu möguleikar á bindingu í basalti að geta aukist hratt á næstu áratugum og árið 2030 ætti að vera hægt að fanga um 50% af öllu CO<sub>2</sub> útstreymi frá jarðvarmavirkjunum og binda í basalt. Um svipað leyti gæti verið komin fram tækni er gerði kleift að nýta koldíoxíðútstreymi frá jarðvarmavirkjunum ásamt vetni til eldsneytisframléiðslu. Slík framléiðsla gæti nýtt allt að 90% útstreymisins. Þá er í þróun aðferð til að binda brennistein í útblæstri jarðhitavirkjana í einfrumulífmassa en binding CO<sub>2</sub> myndi fylgja með í kaupbæti. Hér er gert ráð fyrir að árið 2020 verði hægt að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda um 70 þúsund tonn með því að endurnýta kolefni í eldsneyti og um 30 þúsund tonn með því að binda kolefni í einfrumulífmassa og um 8 þúsund tonn með að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis, eða í heildina um 108 þúsund tonn eða um 50% af áætluðu útstreymi frá orkuframléiðslu árið 2020 við afskiptalaus þróun.

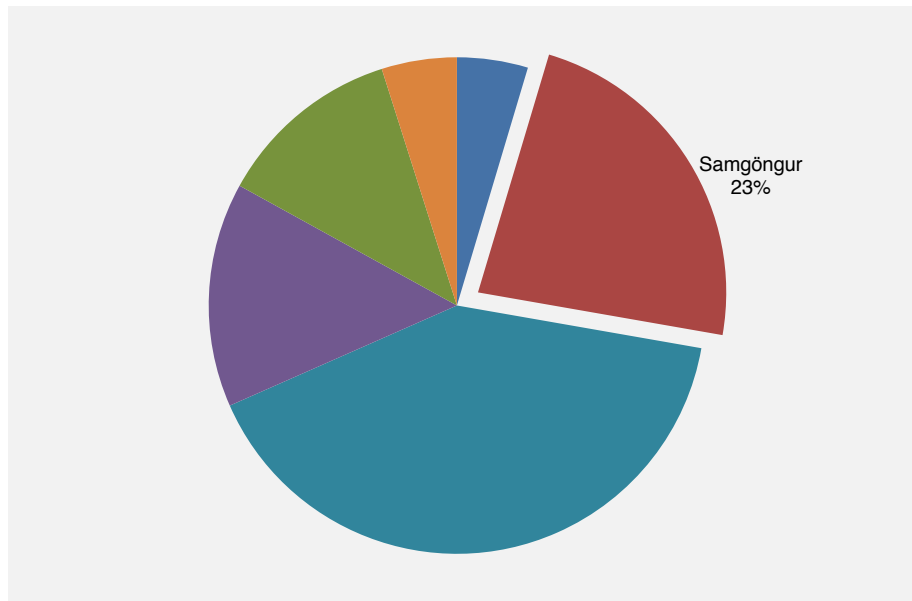
### 4.3 Samgöngur

#### 4.3.1 Inngangur

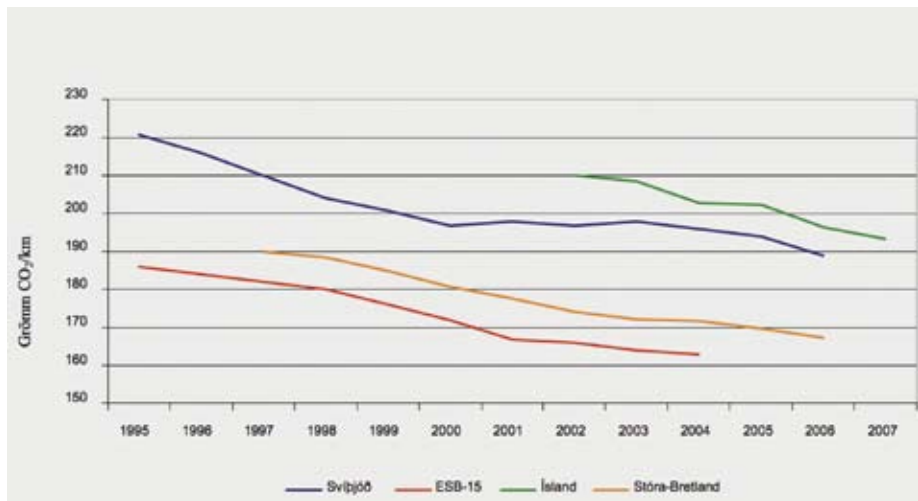
Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá ökutækjum stafar fyrst og fremst af bruna jarðefnaeldsneytis. Langstærsti hluti útstreymisins er því koldíoxíð, eða um 96%. Við bruna jarðefnaeldsneytis myndast einnig hláturgas (N<sub>2</sub>O) og er það 4% útstreymisins. Lítilsháttar útstreymi HFC efna er frá kælikerfum bifreiða. Nánar er fjallað um kælikerfi í kafla 4.4.5.

Árið 2007 nam útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum 1.017 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda eða 23% af heildarútstreymi frá Íslandi. Samgöngur voru þá næststærsta uppsprettan á eftir útstreymi frá iðnaði og efnanotkun. Vegasamgöngur vógu þyngst og var útstreymi frá þeim 934 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda, útstreymi frá innanlandsflugi var 22 þúsund tonn og siglingar milli hafna á Íslandi losuðu 61 þúsund tonn. Milli árána 1990 og 2007 jókst útstreymi frá vegasamgöngum um 81% og varð sú aukning aðallega eftir 2002. Árið 2007 voru 666 fólksbílar á hverja 1.000 íbúa á Íslandi sem er með því mesta sem gerist í heiminum. Í Evrópu voru aðeins Lúxemborg og Liechtenstein með fleiri bíla m.v. fólksfjölda. Til samanburðar voru í aðildarríkjum Evrópska efnahagssvæðisins (EES 32) að meðaltali 460 bílar á hverja 1.000 íbúa árið 2005.

Mynd 4-12. Útstreymi frá samgöngum sem hlutfall af heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2007.



Mynd 4-13. Meðallosun CO<sub>2</sub> frá nýjum fólksbílum (Heildarstefnumótun um skattlagningu ökutækja og eldsneytis, skýrsla starfshóps á vegum fjármálaráðherra, 2008)

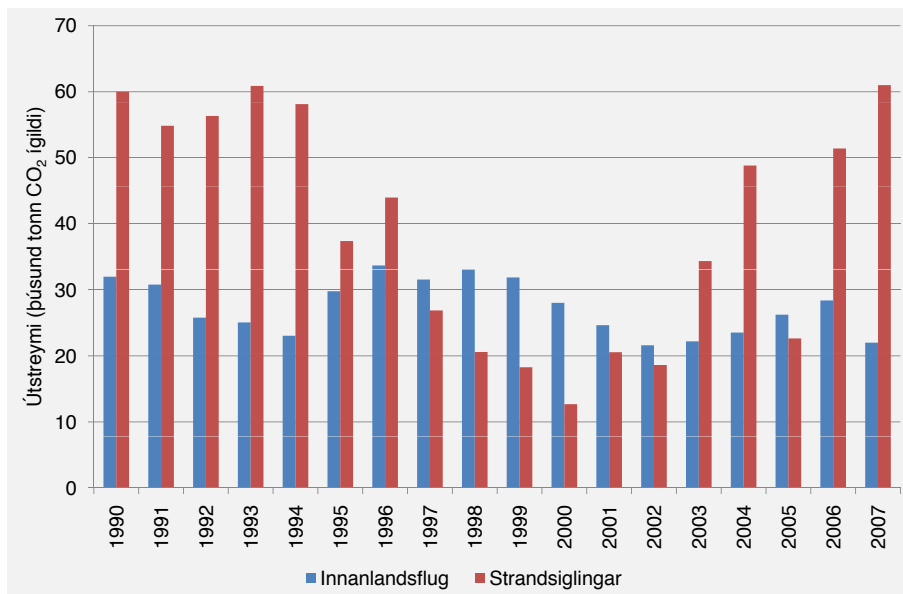


Undanfarin ár hefur meðaltalsútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá nýjum bifreiðum verið hærra á Íslandi en í öðrum Evrópulöndum. Meðalútstreymi frá hverjum nýskráðum bíl minnkaði þó um 8% milli árunna 2002 og 2007 en þá var það 193,3 g CO<sub>2</sub>/km. (Heildarstefnumótun um skattlagningu ökutækja og eldsneytis, skýrsla starfshóps á vegum fjármálaráðherra, 2008). Þessi þróun sést á mynd 4-13, sem sýnir meðalútstreymi frá nýskráðum bílum í samanburði við ríki í Evrópu. Þróun í átt að sífellt minna útstreymi á hvern kílómetra skýrist að mestu leyti af betri hönnun bílvéla. Munur á milli landa skýrist hins vegar aðallega af vali neytenda.

Útstreymi frá innanlandsflugi náði hámarki árið 1996, var tæp 34 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda, en minnst var útstreymið árið 2002 eða 21 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda.

Miklar sveiflur hafa verið í útstreymi frá strandsiglingum frá árinu 1990. Á árunum 1990–1994 var útstreymið á bilinu 55–60 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári, en það féll





Mynd 4-14. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá innanlandsflugi og strandsiglingum.

síðan ört og var orðið um 13 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2000 sem er eðlilegt í ljósi þess að strandsiglingar lögðust mikið til af um það leyti. Árið 2001 var strandsiglingum Samskipa hætt og Eimskip lagði þær af í árslok 2004. Í kjölfar aukinna framkvæmda á Austurlandi jukust strandsiglingar aftur.

Ekki er fjallað nánar um innanlandsflug eða strandsiglingar í þessari skýrslu. Benda má þó á nefndarálit um þróun flutninga innanlands frá árinu 2005. Í álitinu er komist að þeirri niðurstöðu að veruleg óvissa ríki um ávinning sem ná mætti með auknum strandsiglingum hvað varðar útstreymi gróðurhúsalofttegunda og líklegast yrði hann óverulegur. Líklegri til árangurs séu aðgerðir til að auka sparneytni og minnka útstreymi frá flutningabílum (Samgönguráðuneytið, 2005).

#### 4.3.2 Umhverfisleg skilvirkni og fjárhagsleg áhrif

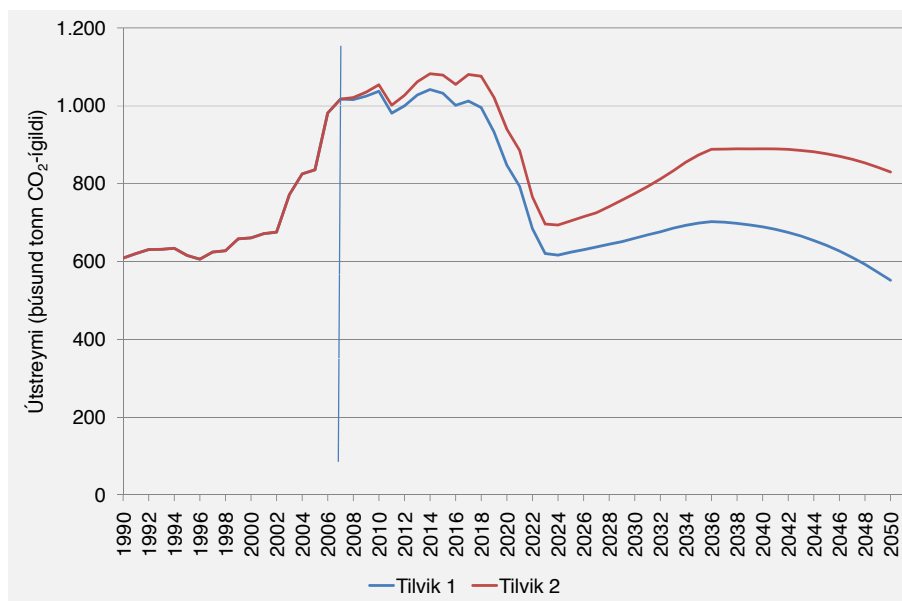
Í þessum kafla er lagt mat á umhverfislega skilvirkni og fjárhagsleg áhrif af (i) samgönguáðgerðum þ.e. bættum almenningssamgöngum, göngu og hjólríðum, (ii) bættri orkunýtingu, (iii) nýjum orkugjöfum, þ.e. metanóli og lífheldsneyti blönduðu í bensín og dísilolíu, og (iv) nýrri bifreiðatækni.

Grunntilvik um afskiptalaus þróun byggir á eldsneytisspá Orkusparnefndar fyrir árin 2008–2050 og losunarspá Umhverfisstofnunar sem eins og áður sagði byggir á eldsneytisspánni. Mynd 4-15 sýnir niðurstöður losunarspárinnar fyrir tilvik 1 og tilvik 2. Tilvik 1 myndar hið eiginlega grunntilvik og samkvæmt því er gert ráð fyrir 13% minnkun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bifreiðum og tækjum milli áranna 2009 og 2020. Árið 2050 er gert ráð fyrir að útstreymið hafi minnkað um þriðjung m.v. 2009. Í eldsneytisspánni er gert ráð fyrir að hlutfall bensíns í orkunotkun bifreiða og tækja minnki úr 50% í um 12% 2005 til 2050. Á sama tíma er gert ráð fyrir aukinni notkun annarra orkugjafa. Gert er ráð fyrir samdrætti í notkun dísilolíu eftir 2040 vegna annarra orkugjafa.

Kaflarnir sem koma hér á eftir byggja á niðurstöðum Mannvits (Mannvit 2009) og greiningu Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands.

Í köflunum eru settar fram nokkrar sviðsmyndir, sem eru unnar á þann hátt að hver sviðsmynd er algerlega ótengd öllum hinum. Sviðsmyndirnar eru:

Mynd 4-15. Afskiptalaus þróun (grunntilfelli): Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bifreiðum samkvæmt losunarspá Umhverfisstofnunar (tilvik 1 og tilvik 2).



- Ganga og hjólréiðar
- Almenningsamgöngur
- Sparneytnari bensín- og dísilbílar
- Dísilfólksbílar í stað bensínfólksbíla
- Íblöndun lífdísilólíu í dísilólíu
- Íblöndun etanóls í bensín
- Íblöndun metanóls í bensín
- Rafmagnsbílar
- Vetrnibílar
- E85 bílar
- Tvinnbílar
- Metanbílar

Hver sviðsmynd lítur eingöngu á áhrif þess að innleiða eina tæknilausn eins hratt og auðið er, og er algerlega ótengd hinum. Sviðsmyndin um rafmagnsbíla gerir því t.d. óbeint ráð fyrir að innleiðing etanólíblöndunar eigi sér ekki stað, á meðan sviðsmyndin um vetrnibíla hirðir ekkert um lífdísilólíu, o.s.frv. Sjálfsgat 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 hvernar aðferðar fyrir sig.

Samantektin í lokin er því yfirlit og nokkurs konar samanburður á þessum sviðsmyndum. Samlegðaráhrif allra sviðsmyndanna voru ekki metin, enda erfitt að ímynda sér að allar tæknilausnirnar verði jafngildar. Hins vegar voru samlegðaráhrif samgönguáðgerðanna (ganga, hjólréiðar og almenningsamgöngur) kannaðar, sem og samlegðaráhrif íblöndunar lífeldsneytis. Auðvelt er að sjá að margar sviðsmyndirnar leggjast ekki beint saman. Sem dæmi má taka að séu bæði almenningsamgöngur bætтар og lífeldsneyti notað til íblöndunar, hlýtur skilvirkni lífeldsneytisíblöndunar-

innar að verða minni en sviðsmyndin í kaflanum segir til um þar sem heildarakstur hefur minnkað í kjölfar aukinna almenningsgangna.

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. Þegar reynt er að meta ávinning einhvers sviðsmyndar *umfram* afskiptalausla 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 þeir sem sviðsmyndin átti við. Í einstaka tilfellum varð því um lítinn sem engan ávinning að ræða umfram grunnsviðsmynd. Í þeim tilfellum er rétt að hafa í huga, að ávinningurinn er enn til staðar en verður hluti af grunnsviðsmyndinni.

#### **4.3.2.1 Samgönguáðgerðir: Ganga, hjólreiðar og almenningsgöngur**

##### **Ganga og hjólreiðar**

Hjólreiðar og ganga eru án efa einhverjir umhverfisvænstu ferðamátar sem völ er á. Auk þess að spara eldsneyti og annan rekstrarkostnað við gatnakerfi, eru jákvæð heilsufarsáhrif gönguferða og hjólreiða óumdeild. Margir sérfræðingar halda því fram að virkar samgöngur (þ.e. ganga og hjólreiðar) séu gagnlegasta aðferðin til að stuðla að bættri heilsu almennings og sú árangursríkasta (Litman, 2007).

Því miður hefur ekki verið metið hversu mikið sparast, t.d. í heilbrigðiskerfinu, við auknar göngur og hjólreiðar hérlandis og því var sá ávinningur ekki tekinn inn í kostnaðar- og ábatagreiningu. Erlendar rannsóknir gefa engu að síður vísbendingar um sparnaðinn. Í Kaupmannahöfn er áætlað að fyrir hverja milljón kílómetra á ári sem hjólaðir eru náist eftirfarandi sparnaður (Københavns kommune, 2007):

- 25 milljón kr. sparnaður í heilbrigðiskerfi á ári
- 67 milljón kr. sparnaður vegna minnkaðs vinnutaps á ári
- Fjarvistardögum frá vinnu fækkar, ævi íbúa lengist og tíðni langvarandi sjúkdóma minnkar

Í áttíunda árið 2008 voru alls hjólaðir og gengnir um 410 þúsund kílómetrar á 12 virkum dögum. Miðað við þær forsendur má gera ráð fyrir að ef Íslendingar nýttu eigin orku í ferðir til og frá vinnu allt árið myndi heildarsparnaður í heilbrigðiskerfinu og vegna minnkaðs vinnutaps nema um 800 milljónum króna á ári (Mannvit, 2009).

Til að meta aðstæður fyrir hjólreiðar má bera saman lengd hjólreiðastíga í nokkrum borgum Evrópu með tilliti til fjölda íbúa og stærðar borganna. Þótt ekki sé víst að flatarmálmálur byggji á samræmdum skilgreiningum gefur samanburðurinn ákveðnar vísbendingar.

Eins og sjá má af töflu 4-2 er þéttleiki byggðar höfuðborgarsvæðisins mun minni en þeirra borga sem eru til viðmiðunar. Hjólreiðastígar eru því strjálari hér, en höfuðborgarsvæðið kemur hins vegar betur út í samanburðinum þegar horft er til lengdar hjólreiðastíga á hvern íbúa.

Til að stuðla að auknum hjólreiðum á höfuðborgarsvæðinu mætti gera áttak í uppbyggingu hjólreiðastíga og -akreina, þ.e. aðskildum hjólreiðastígum og sérstökum hjólreiðaakreinum á götum þar sem hraði bílaumferðar er 50 km/klst eða lægri.

Við mat á kostnaði við uppbyggingu innviða fyrir hjólreiðar eru notuð einingaverð úr nýlegum kostnaðaráætlunum í Reykjavík. Gert er ráð fyrir að heildarlengd hjól-

Borgir	Íbúar	Flatarmál (km <sup>2</sup> )	Pétteleiki (íbúar/km <sup>2</sup> )	Lengd hjólréiðastíga (km)	Hjólréiðastígar á íbúa (m/íbúa)	Hjólréiðastígar á flatarmál (km/km <sup>2</sup> )
Berlín	3.400.000	892	3.812	1.140	0,34	1,28
Amsterdam	735.000	219	3.356	400*	0,54	1,83
Kaupmannahöfn	504.000	456	1.105	400*	0,79	0,88
Münster	278.000	303	917	320	1,15	1,06
Óðinsvé	185.000	304	609	500	2,70	1,64
Groningen	181.000	84	2.155	420	2,32	5,00
Höfuðborgarsv.	200.000	1.042	192	130	0,65	0,12

\*Aðeins aðskildir stígar

Tafla 4-2. Lengd hjólréiðastíga í nokkrum borgum í Evrópu (Pucher og Buehler, 2008 og Reykjavíkurborg, 2008c).

reiðakerfis höfuðborgarsvæðisins verði 900 km árið 2050 (það er 130 km í dag). Áætlunin gerir ráð fyrir jafnri skiptingu milli nýrra stíga og sérstakra akreina fyrir reiðhjól á götum og að lokið verði við gerð 40% af nýjum stígum og akreinum árið 2020.

Frumáætlun bendir til að stofnkostnaður til 2020 verði um 5 milljarðar kr. Gert er ráð fyrir að stofnkostnaðurinn verði um 380 milljónir á ári frá 2009 til 2020.

Við mat á skilvirkni er gert ráð fyrir að með þessari uppbyggingu auk markvissra stuðningsaðgerða og áherslna í skipulagi byggðar aukist hlutdeild ferða sem farnar eru gangandi og hjólandi innan höfuðborgarsvæðisins úr 19% í 27% árið 2020 og 31% árið 2050.

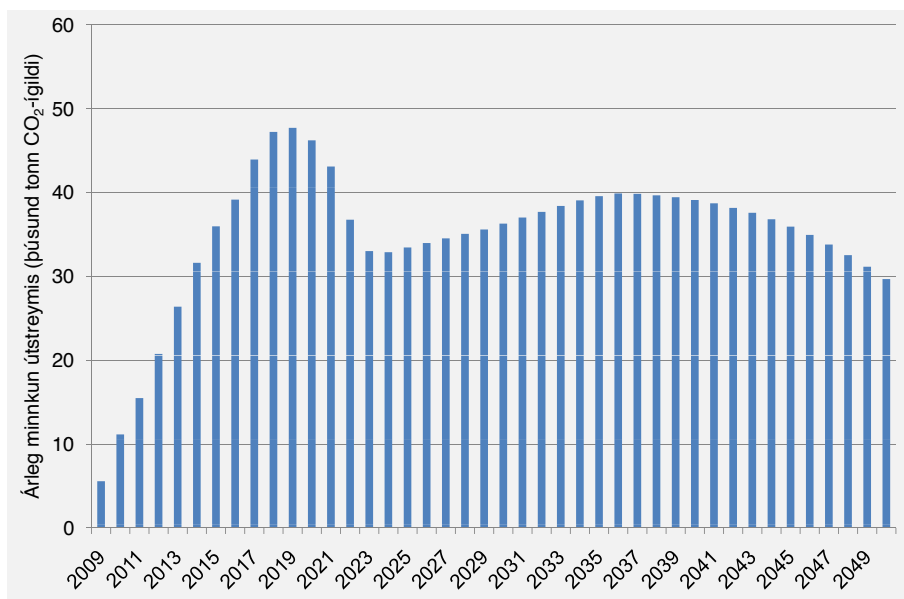
Niðurstöður benda til að heildarávinningur verði af uppbyggingu og rekstri bættra innviða fyrir gangandi og hjólandi vegfarendur á höfuðborgarsvæðinu nemi 37.800 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda til ársins 2020. Áætlaður ávinningur er því meiri en kostnaður (sjá töflu 4-3), en slíkar niðurstöður koma fram sem neikvæður kostnaður í töflunni. Ávinningur byggir á minni eldsneytiskostnaði og minni kostnaði við rekstur samgöngumannvirkja.

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

	2009–2020	2009–2050*
Samdráttur í útstreymi GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	370	1.500
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	-37.800	

\* 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 í allri skýrslunni.

Tafla 4-3. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir uppbyggingu og rekstur innviða fyrir göngu og hjólréiðar. Neikvæður kostnaður þýðir að heildarávinningur sé af aðgerðunum miðað við gefnar forsendur.



Mynd 4-16. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalaus þróun vegna aukningar göngu og hjólreiða.

sparnaður í heilbrigðiskerfi og þjóðhagslegur sparnaður vegna minnkaðs vinnutaps vegna jákvæðra áhrifa göngu og hjólreiða á heilsufar ekki tekinn með.

Miðað við gefnar forsendur má búast við að með aukinni hlutfallslegri göngu og hjólreiða verði hlutfallslegur samdráttur miðað við afskiptalaus þróun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum um 8% árið 2020 og um 10% árið 2050.

### Almenningssamgöngur

Almenningssamgöngum í þéttbýli má skipta í fjórar megingerðir:

- i. Hefðbundin strætisvagnakerfi
- ii. Hraðvagnakerfi
- iii. Léttlestakerfi
- iv. Jarðlestakerfi

Uppbygging hraðvagnaleiða og léttlestaleiða samhliða rekstri hefðbundins strætisvagnakerfis er til lengri tíma líklegri til að skila árangri en frekari uppbygging hefðbundins strætisvagnakerfis, enda er hraðvagnakerfi í eðli sínu ekkert annað en skilvirkara „hefðbundið“ strætisvagnakerfi. Við mat á áhrifum styrkingar almenningssamgangna á höfuðborgarsvæðinu á útstreymi gróðurhúsalofttegunda til 2020 og 2050 er því ekki gert ráð fyrir frekari uppbyggingu hefðbundins strætisvagnakerfis og kostnaður við það ekki metinn. Lagt er hins vegar mat á uppbyggingu hraðvagnakerfis og léttlestakerfis. Í samræmi við reynslu borga af sambærilegri stærð og höfuðborgarsvæðið er ólíklegt að gera megi ráð fyrir jarðlestum sem raunhæfum kosti fyrir árið 2050 (Mannvit 2009) og er því ekki fjallað um þann kost frekar.

### Hraðvagnakerfi

Hraðvagnar eru nokkurs konar millistig milli hefðbundinna strætisvagna og lesta. Hraðvagnakerfi er samþætt kerfi innviða, þjónustu og þæginda sem saman bæta hraða, áreiðanleika og yfirbragð strætisvagna (TCRP, 2003a). Þar sem mest er lagt í hraðvagnakerfi eru þau eins konar léttlestir á gúmmíhjólum. Hraðvagnakerfi eru upp-

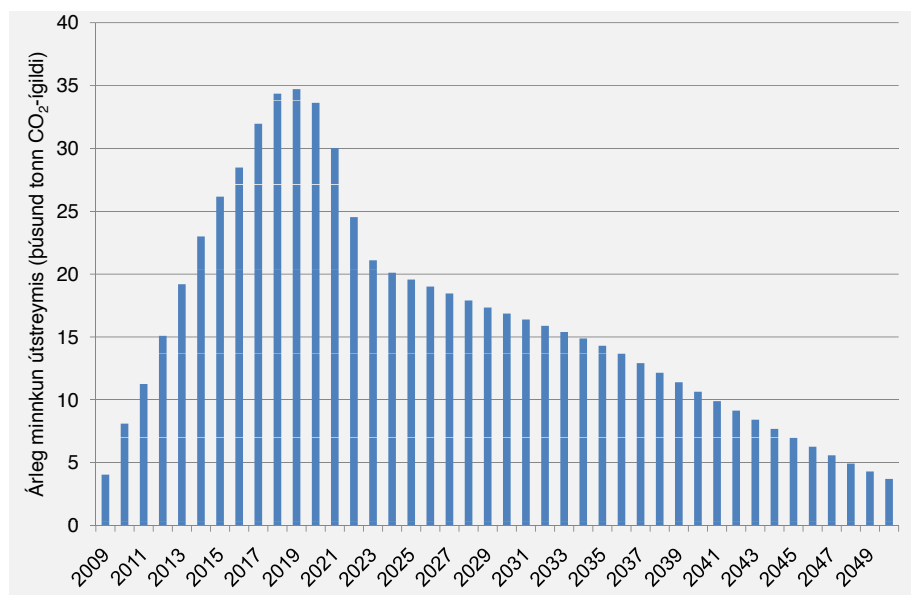
byggð af mörgum grunnþáttum og mismunandi er hversu mikið er í þau lagt og hversu langt er gengið í að veita þjónustu sem er hraðskreið og laðar að viðskiptavinum. Það býður upp á sveigjanleika og auðvelt er að laga leiðaval að breyttum aðstæðum samanborið við léttlestakerfi þar sem leiðavali er ekki breytt nema með miklum tilkostnaði.

Helstu eiginleikar hraðvagnakerfa geta verið eftirfarandi:

- Sérakreinar, gjarnan með forgangi á umferðarljósum. Hraðvagnakerfi eru sveigjanleg og geta vagnarnir 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 byggð 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/úr vögnum. 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 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 eldsneytissparnaði og samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda er gert

Mynd 4-17. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbilum umfram afskiptalausá þróun vegna uppbyggingar hraðvagnakerfis.



	2009-2020	2009-2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	270	680
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	24.800	

Tafla 4-4. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir uppbyggingu og rekstur hraðvagnakerfis.

ráð fyrir að allir nýir vagnar verði knúnir með endurnýjanlegum orkugjöfum, s.s. metani, vetni eða rafmagni. Einnig er gert ráð fyrir að hlutdeild almenningssamgangna í öllum ferðum innan höfuðborgarsvæðisins tvöfaldist til 2020 og verði þá 8% en 14% árið 2050.

Í strætisvagnakerfi höfuðborgarsvæðisins í dag eru sex svokallaðar rauðar leiðir. Það eru stofnleiðir sem aka eftir stofnbrautum, frá miðbænum til helstu hluta höfuðborgarsvæðisins. Við mat á kostnaði og ábata við aðgerðir til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda til 2020 er gert ráð fyrir að þessum leiðum verði á tímabilinu skipt út fyrir hraðvagnaleiðir, sem og leið númer 15 (Mosfellsbær-Hlemmur-Vesturbær). Frá 2020 til 2050 er gert ráð fyrir að ein hraðvagnaleið til viðbótar verði byggð en léttlestar komi í stað eldri hraðvagnaleiða á tímabilinu.

Við áætlun stofnkostnaðar við hraðvagnakerfi í Reykjavík er stuðst við reynslutölur frá Bandaríkjunum. Áætlun gerir ráð fyrir að vagnar á fyrrnefndum sjö leiðum aki á sérakreinum rúmlega helming leiðar sinnar en hinn helminginn innan um aðra umferð. Gróflega áætlaður stofnkostnaður er um 24 milljarðar kr. og dreifist hann á 12 ára tímabil frá 2009 til 2020. Áætlaður stofnkostnaður vegna stækkunar kerfisins frá 2020 til 2050 er um 6 milljarðar kr.

Í samræmi við erlendar reynslutölur má gera ráð fyrir að árlegur kostnaður hins opinbera af rekstri hraðvagnakerfis í Reykjavík verði um 600 milljónir kr. á ári um 2020.

Niðurstöður benda til að kostnaður á tonn við samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda með uppbyggingu og rekstri hraðvagnakerfis á höfuðborgarsvæðinu verði 24.800 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda til ársins 2020 (sjá töflu 4-4) og að samdráttur verði að meðaltali um 22.500 tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári. Á mynd 4-17 sést betur hvernig samdrátturinn í útstreymi dreifist yfir tímabilið.

Gert er ráð fyrir að stærsti hluti hraðvagnakerfisins verði kominn í notkun árið 2020. Því nær hlutfallslegur samdráttur í ekinni vegalengd fólksbíla, tilkominn vegna hraðvagnakerfis, hámarki það ár.

Eftir það er gert ráð fyrir að áherslan í almenningssamgöngum verði á uppbyggingu léttlestarakerfis og því dregur úr hlutfallslegum áhrifum hraðvagnakerfis á ekna vegalengd þegar líður á tímabilið. Miðað við gefnar forsendur má búast við að með hraðvagnakerfi verði hlutfallslegur samdráttur miðað við afskiptalausna þróun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum um 6% árið 2020 og um 1% árið 2050.

### Léttlestarakerfi

Í léttlestarakerfi eru þeir þættir sporvagna og neðanjarðarlesta sem reynst hafa vel sameinaðir í eitt. Eiginleikar léttlesta geta verið 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 léttlestir sem til eru í dag ganga fyrir rafmagni (Hansen et al., 2005).

Kostnaður við byggingu léttlestakerfis er mjög misjafn eftir aðstæðum. Stærsta kostnaðarbreytan er hæðarlega, þ.e. hvort byggja þarf göng og upphækkanir fyrir lestarteina þar sem ekki er rými fyrir lest á yfirborði.

Árið 2020 er gert ráð fyrir að ein léttlestarlína verði komið í gagnið á höfuðborgarsvæðinu en mestur kraftur verði í uppbyggingu léttlestakerfis síðar á tímabilinu. Frumáætlun gerir ráð fyrir að stofnkostnaður við fyrstu léttlestarlínuna sem fellur til á árunum 2017-2020 verði alls um 13 milljarðar kr. Áætlaður stofnkostnaður frá 2020 til 2050 er um 115 milljarðar kr. Gert er ráð fyrir að sá kostnaður dreifist nokkuð jafnt yfir tímabilið en að mesti krafturinn í uppbyggingu léttlesta verði á tímabilinu 2031-2040. Þegar eingöngu er litið til tímabilsins 2009–2020 virðist hinsvegar lítill ávinningur af léttlestakerfinu og mikill kostnaður, enda er uppbygging þess hafin en notkunin enn lítil. Hagkvæmni eykst þegar á liður sem og samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda fyrir tilstilli léttlestakerfisins.

Miðað við gefnar forsendur má búast við að með léttlestakerfi verði hlutfallslegur samdráttur miðað við afskiptalaus þróun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum um 1% árið 2020 en eykst eftir það og verður um 14% árið 2050. Niðurstöður benda til að heildarkostnaður við samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda með uppbyggingu og rekstri léttlestakerfis á höfuðborgarsvæðinu verði 192.000 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda til ársins 2020 (sjá töflu 4-5). Samdráttur í útstreymi fer hinsvegar ekki að gæta að nokkru marki fyrr en vel upp úr 2020.

#### Samgönguáðgerðir – samantekt

Þegar kostnaður og ávinningur þess að byggja upp samtímis hraðvagnakerfi, léttlestakerfi og bætta innviði fyrir gangandi og hjólandi vegfarendur er tekinn saman

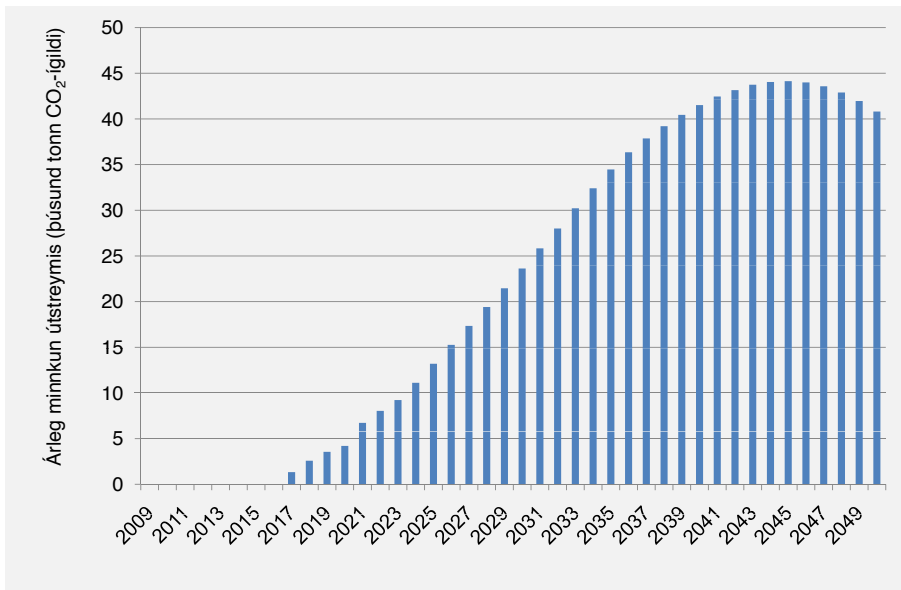
	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	12	930
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	192.000	

Tafla 4-5. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir uppbyggingu og rekstur léttlestakerfis.

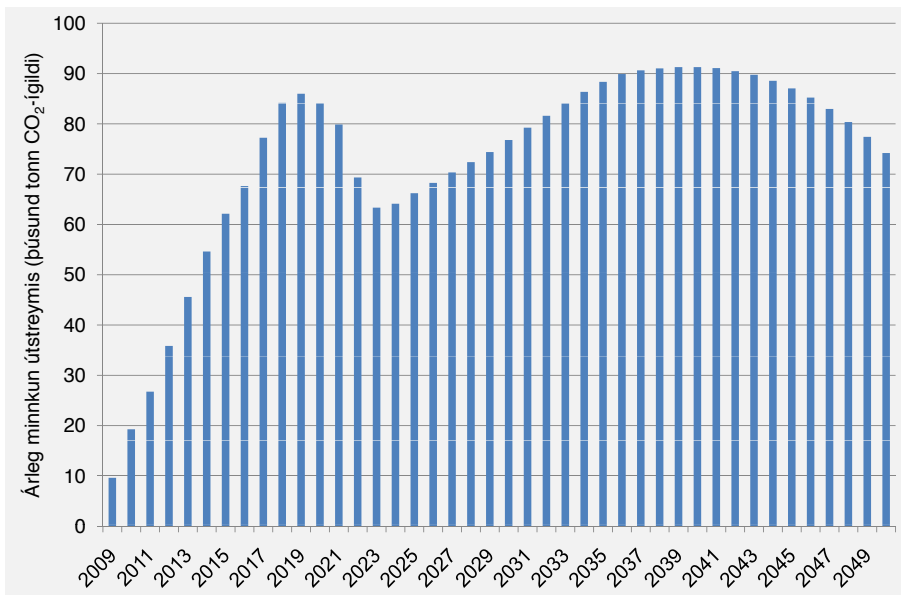
Aðgerð	Minnkun 2009-20 (tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)
Ganga + hjól	370	-37.800
Hraðvagnar	270	24.800
Léttlestir	12	192.000
Samtals	650	-7600

Tafla 4-6. Samantekt niðurstaðna fyrir uppbyggingu og rekstur almenningsgangna og innviða fyrir göngu og hjólréiðar. Sýndur er kostnaður og ávinningur frá 2009 til 2020 þar sem tekið hefur verið tillit til samlegðaráhrifa. Neikvæður kostnaður þýðir að heildarávinningur sé af áðgerðunum miðað við gefnar forsendur.





Mynd 4-18. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalausá þróun vegna uppbyggingar léttlestakerfis.



Mynd 4-19. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalausá þróun vegna aðgerða í samgöngumálum.

benda niðurstöður til þess að á tímabilinu 2009-2020 verði heildarávinningur af aðgerðunum um 7.600 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töflu 4-6). Heildarávinningurinn er uppgjör heildarstofn- og rekstrarkostnaðar og þess ábata sem verður af aðgerðunum og sýnir því hver heildarsumma útgjalda eða tekna verður ef gripið er til allra aðgerðanna í sviðsmyndinni. Ábatinn af samgönguáðgerðunum felst einkum í minni notkun jarðefnaeldsneytis og minni kostnaðar við vegasamgöngur. Ekki er tekinn með í reikninginn sá ábati sem hlýst vegna bættrar heilsu, minni mengunar eða færri slysa.

Gert er ráð fyrir að til 2020 verði ráðist í ódýrar framkvæmdir, þ.e. uppbyggingu hraðvagnakerfis og innviða fyrir gangandi og hjólandi sem, miðað við gefnar forsendur, skila hreinum fjárhagslegum ávinningi. Samspil þessara framkvæmda er mikilvægt þar sem bættrar almenningssamgöngur koma í stað lengri bílferða. Ganga og hjólreiðar eru ferðamáti fyrir ferðir allt að 2 til 4 km.

Samlegðaráhrif aðgerða eru töluverð. Þegar göngur og hjólréiðar aukast, er líklegra 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 ferðamata um leið og sýnilegur kostnaður (bílastæðagjöld, eldsneytisskattar og önnur gjaldtaka) við notkun einkabíla er aukinn.

Framkvæmdir frá 2020 til 2050, það er fyrst og fremst uppbygging léttlestakerfis sem leysir hraðvagnakerfi af hólmi, eru fjárhagslega ekki eins hagkvæmar og framkvæmdirnar frá 2009-2020, en hagkvæmnin eykst þó þegar líður á tímabilið.

Miðað við afskiptalausá þróun verður samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna áðgerðanna um 15% frá fólksbílum árið 2020.

#### 4.3.2.2 Bætt orkunýting

##### Sparneytnari bensín- og dísilfólksbílur

Draga má úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda með því að auka hlut sparneytnari bíla umfram það sem gert er ráð fyrir í tilviki um afskiptalausá þróun. Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að frá og með árinu 2009 aukist sala bensín- og dísilfólksbíla sem eyða að jafnaði 20% minna eldsneyti en ef miðað er við afskiptalausá þróun. Jafnframt er gert ráð fyrir því að þessar sparneytnu bifreiðar séu léttari, aflminni og ódýrari í innkaupum en þær bifreiðar sem gert er ráð fyrir í grunnsviðsmynd. Þegar minnst er á sparneytnar bifreiðar hér á eftir er þá átt við slíkar bifreiðar.

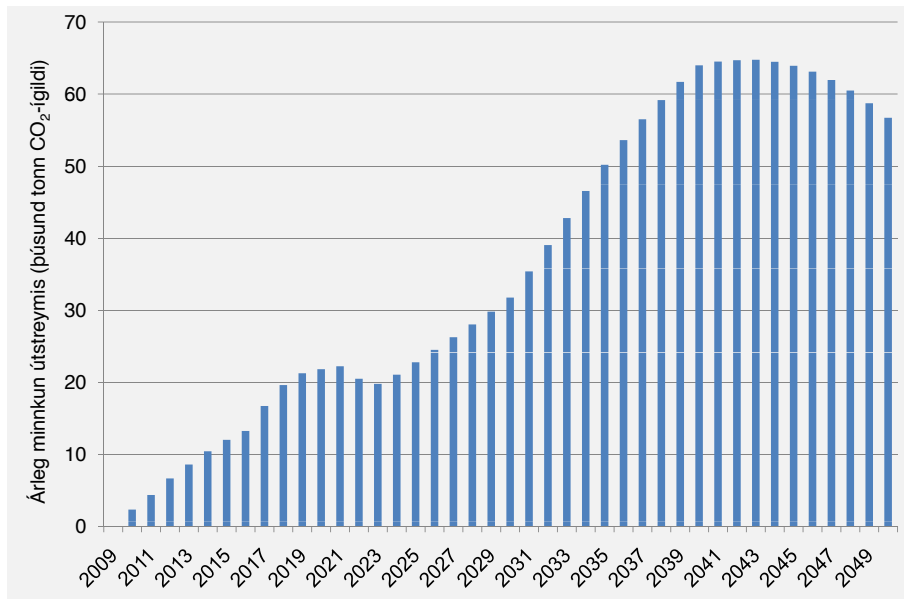
Gert er ráð fyrir að hlutur sparneytna bifreiða í fólksbílaflotanum aukist þ.a. hann verði orðinn 5% árið 2012, 10% árið 2016, 20% árið 2020, 40% árið 2030, 80% árið 2040 og 100% árið 2050. Á tímabilinu 2009–2015 nemur fjölgunin árlega um 3–4 þúsund bílum; um 5–6 þúsund bílum á tímabilinu 2016–2020, um 5 þúsund bílum á tímabilinu 2021–2030 og 9–10 þúsund bílum á tímabilinu 2031–2035. Eftir það dregur úr þessari þróun og eftir 2043 fari bensín- og dísilbílum fækkandi vegna tiltölulega hraðrar innleiðingar bifreiða sem nota óhefðbundna orkumiðla.

Niðurstöður benda til að verulegur ávinningur sé af fjölgun sparneytnari bensín- og dísilfólksbíla. Fjárhagslegur ávinningur á tonn er áætlaður um 215.000 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda frá 2009 til ársins 2020 (sjá töflu 4-7).

Miðað við afskiptalausá þróun verður samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna áðgerðanna um 4% frá fólksbílum árið 2020.

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	140	1.500
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	-215.000	

Tafla 4-7. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir fjölgun 20% sparneytnari bensín- og dísilfólksbíla.



Mynd 4-20. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalausá þróun vegna aukinnar sölu á bílum sem eyða 20% minna eldsneyti en gert er ráð fyrir í grunnsviðsmynd.

### Dísilfólksbílur

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 nokkuð nýtnari en sambærilegar bensínvélar<sup>3</sup>. Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að frá og með árinu 2009 aukist sala dísilfólksbíla miðað við afskiptalausá þróun á kostnað bensínbíla.

Gert er ráð fyrir að hlutur dísilfólksbíla í fólksbílaflotanum aukist þannig að hann verði 22% (í stað 17%) árið 2012, 27% (í stað 16%) árið 2016, 35% (í stað 20%) árið 2020, 49% (í stað 23%) árið 2030, 69% (í stað 24%) árið 2040 og 53% (í stað 19%) árið 2050 og þá verði allir fólksbílur sem ekki ganga fyrir óhefðbundnum orkugjöfum dísilfólksbílur. Þetta þýðir að árleg fjölgun dísilfólksbíla umfram afskiptalausá þróun yrði um 2–3 þúsund 2009–2015, um 4–5 þúsund á tímabilinu 2016–2020, um 3–4 þúsund 2021–2030 og 6–7 þúsund á tímabilinu 2031–2035. Eftir það dregur úr fjölguninni og dísilbílur fer fækkandi eftir 2041 vegna tiltölulega hraðrar innleiðingar bifreiða sem nota óhefðbundna orkumiðla.

Niðurstöður benda til að ávinningur sé af fjölgun dísilfólksbíla á kostnað bensínfólksbíla. Fjárhagslegur ávinningur er áætlaður um 9200 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda frá 2009 til ársins 2020 (sjá töflu 4-8).

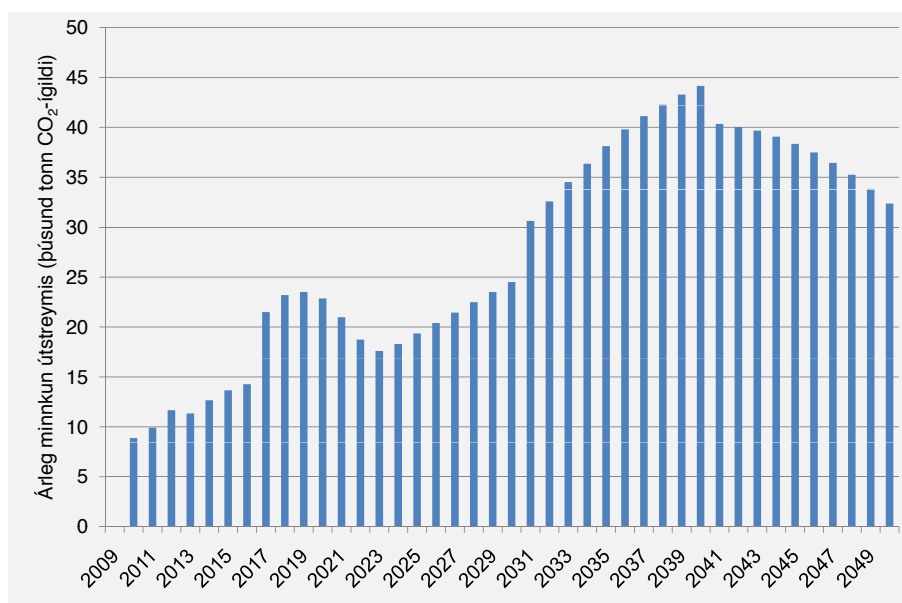
Miðað við gefnar forsendur verður hlutfallslegur samdráttur miðað við afskiptalausá þróun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum á tímabilinu 2009–2050 sem eykst jafnt og þétt og nemur um 4% árið 2020 og um 11% árið 2050.

3 Rétt er að hafa í huga að dísilvélar menga ívið meira en bensínvélar, þ.m.t. sót og NOx og er ekki tekið tillit til þess við útreikning þessarar sviðsmyndar.

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	170	1.100
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	-9.200	

Tafla 4-8. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir fjölgun dísilfólksbíla á kostnað bensinfólksbíla. Neikvæður kostnaður þýðir að hreinn ávinningur sé af aðgerðunum.

Mynd 4-21. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalausar þróun vegna aukinnar sölu á dísilbílum á kostnað bensínbíla.



#### 4.3.2.3 Óhefðbundnir orkugjafar

Lífeldsneyti er samheiti fjölmargra eldsneytistegunda og má skipta þeim í tvo meginflokka: (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 jurtaolíu eða sterkju úr jurtum sem einnig eru nýttar til manneldis. Í Evrópu er framleitt etanól úr sykri eða sterkju og lífdísilolía úr jurtaolíum (t.d. repju, sólblómafræjum og soyabaunum) sem umbreytt er í metýlester. Auk þessa lífeldsneytis er metangas nýtt á bifreiðar. Metan er ýmist einangrað úr hauggasi sem myndast á urðunarstöðum, líkt og gert er í Álfnesi, eða framleitt t.d. með gerjun kúamykju eða annars lífræns úrgangs.

Annarrar kynslóðar lífeldsneyti byggir á þróun tækniáferða til þess að vinna eldsneyti úr sellulósa og lífrænum úrgangi, aðallega frá landbúnaði. Þessar gerðir eldsneytis eru enn ekki framleiddar fyrir almennan markað. Nokkrar gerðir annarrar kynslóðar lífeldsneytis eru Fischer-Tropsch-dísilolía (sjá kafla 4.2), etanól sem framleitt er úr ligninsellulósa, HTU-dísilolía (HydroThermalUpgrading) sem gert er t.d. úr sykkurófuhrati eða krömdum sykurreyr, og líf-metanól. Framleiðsla lífmetanóls byggir líkt og FT-dísilolía á blöndu kolmónoxíðs og vetnis sem unnið er úr lífmassa (sjá <http://www.refuel.eu/>, og Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond – <http://ec.europa.eu>).

Metanól, etanól, dímetýleter, metan og FT-dísilolíu má einnig framleiða úr kol-

díoxíði sem t.d. er fangað úr útblæstri frá jarðvarmavirkjunum, orkuverum sem nýta jarðefnaeldsneyti eða hugsanlega frá orkufrekum iðnaði, sbr. kafla 4.2.3.2 um bindingu í tilbúið eldsneyti.

Hægt er að blanda etanóli í bensín allt að 5–10% án þess að breyta bílvélum. 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 dísilolíu.

Miklar umræður hafa verið undanfarin ár um sjálfbærni við framleiðslu lífeldsneytis. 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 lífeldsneytis veldur útstreymi gróðurhúsalofttegunda og því er nauðsyn á upplýsingum um raunverulegan ábata af því að nota lífeldsneyti í stað jarðefnaeldsneytis. Í drögum að tilskipun Evrópusambandsins um endurnýjanlega orkugjafa er, auk ákvæða um sjálfbærni, ákvæði um að ábati m.t.t. útstreymis gróðurhúsalofttegunda sé a.m.k. 35%. Frá árinu 2017 er ákvæðið hert og gert ráð fyrir 50% ábata af notkun lífeldsneytis framleiddu af starfandi fyrirtækjum og 60% ábata af notkun lífeldsneytis frá fyrirtækjum sem taka til starfa 2017 eða síðar. Hér er gert ráð fyrir að allt lífeldsneyti sem hér verði notað uppfylli þessi ákvæði.

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

### Lífdísilólía í dísilolíu

Gert er ráð fyrir að árið 2009 hefjist blöndun lífdísilólíu í dísilolíu fyrir bifreiðar umfram það sem nú er, og árið 2010 verði öll dísilólía fyrir bifreiðar blönduð 5% af lífdísilolíu að rúmmáli (svo kallað B5). Gert er ráð fyrir að hlutfallið verði aukið í 10% árið 2013, 15% árið 2017, 20% árið 2021, 30% árið 2031 og loks 40% árið 2031.

Niðurstöður benda til að kostnaður við blöndun lífdísilólíu í dísilolíu fyrir bifreiðar verði um 5.600 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda frá 2009 til ársins 2020 (sjá töflu 4-9).

Miðað við afskiptalausar þróun verður samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna aðgerðanna tæp 11% frá dísilbifreiðum árið 2017, þegar hann nær hámarki. Niðurstöðurnar benda til þess að lífdísilólía muni verða hluti af afskiptalausri þróun, en þar er gert ráð fyrir einhverju nýju eldsneyti en ekki tekin afstaða til þess hvert það verður. Þessi sviðsmynd sýnir hraðari innleiðingu lífdísilólíu en afskiptalausar þróun gerir ráð fyrir. Báðar sviðsmyndirnar renna svo saman rétt eftir 2020.

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	310	320
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	5.600	

Tafla 4-9. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir blöndun lífdísilólíu í dísilolíu fyrir bifreiðar.

### Etanól í bensíni

Gert er ráð fyrir að árið 2009 hefjist blöndun etanóls í bensín fyrir bifreiðar að einhverju leyti, og að árið 2010 verði allt bensín fyrir bifreiðar íblandað 5% af etanóli að rúmmáli. Gert er ráð fyrir að hlutfall etanóls verði aukið í 7% árið 2013, 10% árið 2017, 15% árið 2021 og loks 17,5% árið 2031. Litill ávinningur yrði af hærri hlutfalli etanóls, því að það krefst fjölkubifreiða og því er skilvirkara að hefja innleiðingu E85.

Niðurstöður benda til að heildarkostnaður við íblöndun etanóls í bensín fyrir bifreiðar verði um 3.200 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda frá 2009 til ársins 2050 (sjá töflu 4-10).

Miðað við afskiptalaus þróun verður samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna aðgerðanna rúm 2% frá bensínbifreiðum árið 2014, þegar hann nær hámarki. Niðurstöðurnar benda til þess að etanól muni verða hluti af afskiptalausri þróun, en þar er gert ráð fyrir einhverju nýju eldsneyti en ekki tekin afstaða til þess hvert það verður. Þessi sviðsmynd sýnir hraðari innleiðingu etanóls en afskiptalaus þróun gerir ráð fyrir. Báðar sviðsmyndirnar renna svo saman rétt um 2020.

### Samantekt – lífoldsneyti

Sé kostnaður og ávinningur þess að blanda lífoldsneyti í bensín og dísilolíu fyrir bifreiðar tekinn saman benda niðurstöður til þess að á tímabilinu 2009–2020 sé heildarkostnaður af aðgerðunum um 4.900 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töflu 4-11).

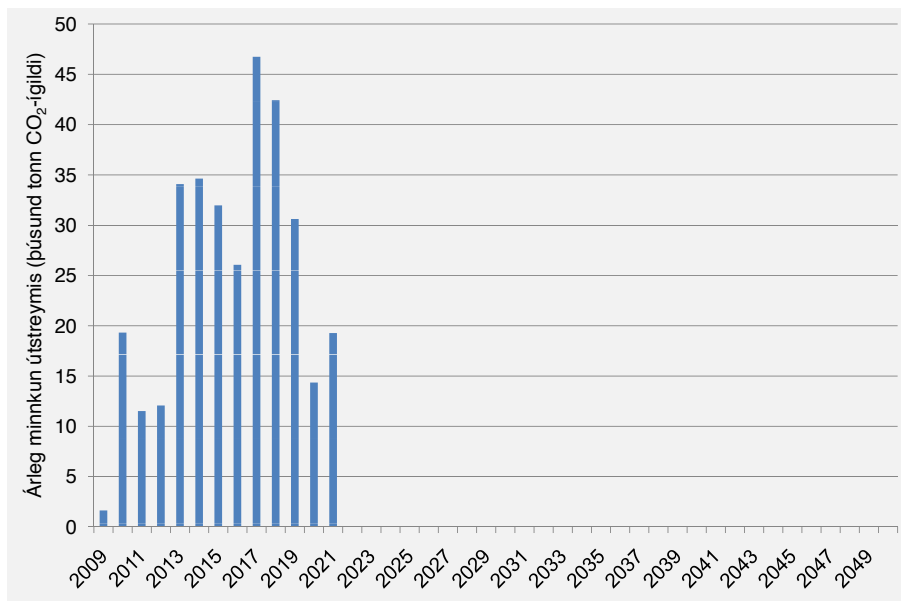
Gert er ráð fyrir að árið 2020 verði hlutfall blandaðs lífoldsneytis í bensín og dísilolíu um 10% af orkunotkun bifreiða. Gert er einnig ráð fyrir að árið 2020 verði notkun etanóls í bensín um 13 þúsund tonn og notkun lífdísilolíu um 17 þúsund tonn. Notkun etanóls nær hámarki í kringum 2020, en fer síðan minnkandi vegna bættrar orkunýtingar bensínbíla og fjölgunar dísilbíla á kostnað bensínbíla og tilkomu annarra orkugjafa.

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG		
(þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	110	100
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	3.200	

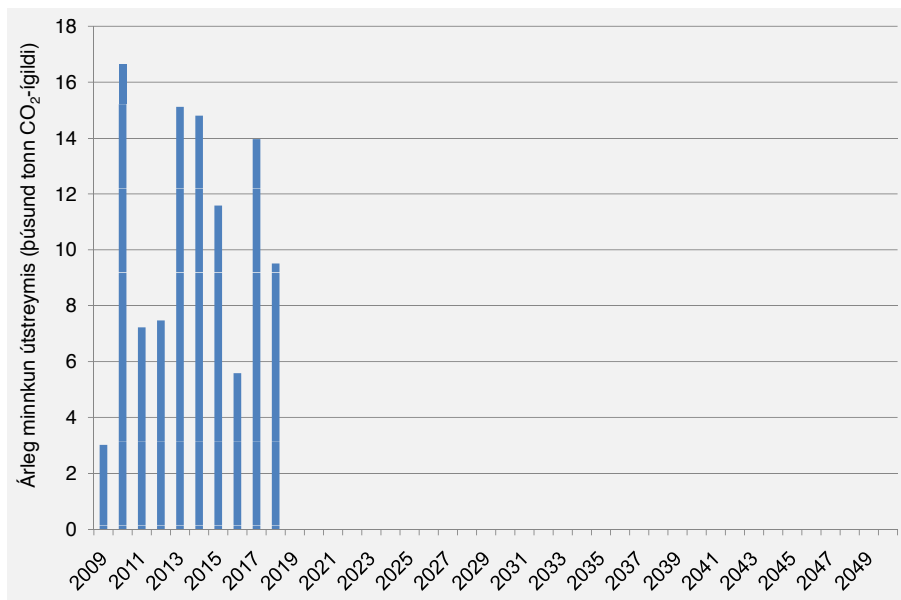
Tafla 4-10. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir blöndun etanóls í bensín fyrir bifreiðar.

Aðgerð	Minnkun 2009–2020 (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	Heildarkostnaður (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)
Lífdísill í dísilolíu	310	5.600
Etanól í bensín	110	3.200
Samtals	420	4.900

Tafla 4-11. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir íblöndun lífoldsneytis í bensín og dísilolíu.



Mynd 4-22. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalausá þróun vegna blöndunar lífðísilolíu í dísilolíu. Eftir 2022 verður ekki um frekari samdrátt að ræða umfram afskiptalausá þróun.



Mynd 4-23. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalausá þróun vegna íblöndunar etanóls í bensín. Eftir 2019 verður ekki frekari samdráttur vegna etanóliblöndunar umfram afskiptalausá þróun.

### Metanól í bensíni

Hámarksárangur af íblöndun metanóls næst með því að bæta því í allt bensín sem er á markaði hérlendis. Gert er ráð fyrir að sala bensíns blönduðu metanóli hefjist árið 2010 og hlutfall þess verði þá 3%. Árið 2017 verði hlutfallið 5%, 7% árið 2021 og loks 10% árið 2031. Ekki er líklegt að metanól verði blandað bensíni í hærra hlutfalli en 10%, en þá er nauðsynlegt að fara yfir í nýja bifreiðatækni.

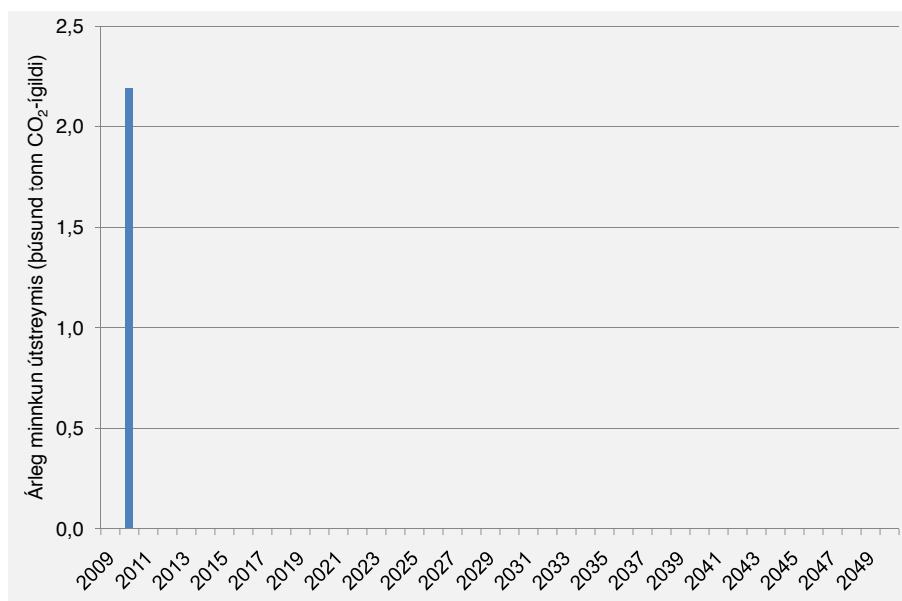
Niðurstöður benda til að kostnaður á tonn við blöndun metanóls í bensín fyrir bifreiðar verði um 10.400 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda frá 2009 til ársins 2020 (sjá töflu 4-12).

Miðað við gefnar forsendur verður vart merkjanlegur samdráttur miðað við afskiptalausá þróun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bensínbílum eða um 2 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda.

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	2	2
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	10.400	

Tafla 4-12. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir blöndun metanóls í bensín fyrir bifreiðar.

Mynd 4-24. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalausá þróun vegna blöndunar metanóls í bensín.



#### 4.3.2.4 Ný bifreiðatækni

Svokallaðir E85-bílar eru ein tegund fjölorkubíla (flexible fuel vehicle<sup>4</sup>) 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 lægra útstreymis gróðurhúsalofttegunda, en ávinningurinn er þó háður því útstreymi gróðurhúsalofttegunda sem verður við framleiðslu etanólsins.

Á markaði eru fjölorkubílar sem geta nýtt bæði metan og bensín sem eldsneyti. Metangas myndast m.a. á urðunarstöðum við niðurbrot á lífrænum úrgangi. Á urðunarstaðnum í Álfsnesi er hauggasinu safnað saman, skilið frá öðrum gastegundum með vatnshreinsun, þurrkað og síðan þjappað á gasflöskur. Sá ávinningur sem fæst með því að nýta hauggasið er tvíþættur. Þar sem hlýnunarmáttur metans er 21 dregur það úr gróðurhúsaáhrifunum að umbreyta metani í koldíoxíð eins og gerist þegar metanið er nýtt sem eldsneyti. Að auki minnkar notkun bensíns og dísilólíu við það að nýta metangasið til þess að knýja bifreiðar.

Tvinnbílar eru búnir bæði rafmótor og bensín- eða dísilvél. Til eru fjölmargar útferðslur á því hvernig rafmótorinn og brunavélin spila saman. Í dag er þekktust sú

<sup>4</sup> Flex fuel vehicle er notað yfir allar gerðir bíla með sprengihreyfil sem geta keyrt á breytilegri blöndu tveggja eldsneytistegunda, s.s. etanóli og bensíni eða metanóli og bensíni.



útfærsla þar sem rafmótorinn kemur til hjálpar við aukið álag og er notaður til þess að hlaða rafhlöðurnar við hemlun eða þegar bíllinn fer niður í móti. Einnig eru til tvinnbílar þar sem rafmótorinn hjálpar lítið til við akstur bílsins, en slekkur á brunavélinni þegar bíllinn gengur lausagang. Brunavélin í tvinnbílum er almennt aflminni og léttari en í samsvarandi hefðbundnum bíl, og jafnvel sparneytnari líka, í þeim tilfellum þar sem rafmótorinn tekur afltoppana.

Nokkrir bifreiðaframleiðendur hafa kynnt áform um að setja tengiltvinnbíla á markað 2010. Þessir bílar koma til með að hafa þann eiginleika umfram venjulega tvinnbíla að hægt verður að hlaða þá með því að stinga þeim í samband og hægt verður að aka þeim umtalsverðar vegalengdir á rafmótornum einvörðungu. Líkt og með hefðbundnu tvinnbílana eru til fjölmargar útgáfur af samspili rafmótorsins og brunavélarinnar. Tengiltvinnbílar geta verið því sem næst hefðbundnir tvinnbílar með stærri rafhlöðu og tengil eða því sem næst hreinir rafbílar með e.k. bensínknúna „varaafstöð“. Á stöðum þar sem rafmagn er framleitt með endurnýjanlegum orkugjöfum, líkt og á Íslandi, getur þessi tækni leitt til verulegs samdráttar í útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

Tengiltvinnbílar eru skref í áttina að bílum sem einvörðungu verða knúnir rafmagni. Til þess að rafmagnsbílar verði að fullu samkeppnishæfir er þörf á rafhlöðum sem nægja til þess að knýja bílana u.þ.b. 500 km á einni hleðslu. Einnig þurfa rafhlöðurnar að verða þannig að hægt sé að hlaða þær á skömmum tíma eða skipta um þær fljótt og auðveldlega. Hér á landi hefur um skeið verið á markaði smábíll sem gengur fyrir rafmagni. Drægni hans er um 50 km, sem hentar ágætlega fyrir innanbæjarakstur. Erlendis eru á markaði rafmagnsbílar sem hafa allt að 400 km drægni, en þeir eru nokkuð dýrari en hefðbundnir bílar.

Vetni er hægt að nota ýmist til að knýja ökutæki búin sprengihreyflum eða efnarafölum. Á undanförmum 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. Á Íslandi myndi vetni líklega vera framleitt úr vatni með rafgreiningu, og þá er vetnið í raun orkuberi fyrir raforku. Vetni leysir drægnisvandamál rafmagnsbíla, en bílarnir og innviðirnir verða dýrari.

Rafmagnsbílar og vetnisbílar eru einu bílarnir sem fjallað er um í þessari skýrslu sem hafa engan útblástur gróðurhúsalofttegunda vegna aksturs. Við mat á útblæstri annarra bíla voru stuðlar úr töflu 4-13 notaðir.

## Rafmagnsbílar

Gert er ráð fyrir að rafmagnsbílar komi að stórum hluta í stað bensín- og dísilbíla. Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að frá árinu 2009 aukist sala á rafmagnsfólksbílum á kostnað hefðbundinna bensín- og dísilbíla og að sama þróun hefjist í tilfelli millistórra flutningabíla árið 2013 og árið 2021 í tilfelli stórra flutningabíla. Ekki er gert ráð fyrir að fjöldi rafmagnsbíla geti takmarkast af framboði af raforku og möguleikum til bygginga nýrra virkjana<sup>5</sup>.

Gert er ráð fyrir að vélaraf rafmagnsbíla sé það sama og þeirra bensín- og dísilbíla

5 Þótt rafhlöður séu mismunandi, er engu að síður hægt að áætla gróflega raforkuþörf bílaflotans ef allar bifreiðar landsmanna væru knúnar rafmagni. Miðað við eldsneytisnotkun bifreiða árið 2007, þyrfti um 1–2 TWh á ári ef skipt væri yfir í rafbíla í einni svipan (Orkustofnun 2008). Til samanburðar er tryggt raforkuframléiðsla Kárahnjúkavirkjunar 4,6 TWh á ári.

Bifreiðategund	Eldsneyti	CO <sub>2</sub> -ígildi (g/kg eldsneyti)
Fólksbíll	Bensín – án hvarfakúts	3.118
	Bensín – með þrívirkum hvarfakút	3.324
	Dísílolía	3.244
	Etanól – án hvarfakúts	28
	Etanól – með þrívirkum hvarfakút	157
	Metanól – án hvarfakúts	21
	Metanól – með þrívirkum hvarfakút	117
	Lífðísílolía (FAME)	198
	Metan – án hvarfakúts	52
	Metan – með þrívirkum hvarfakút	292
Millistór flutningabíll	Bensín	3.105
	Dísílolía	3.243
	Etanól	21
	Metanól	16
	Lífðísílolía (FAME)	198
	Metan	39
Stór flutningabíll	Bensín	3.097
	Dísílolía	3.215
	Etanól	16
	Metanól	23
	Lífðísílolía (FAME)	172
	Metan	41

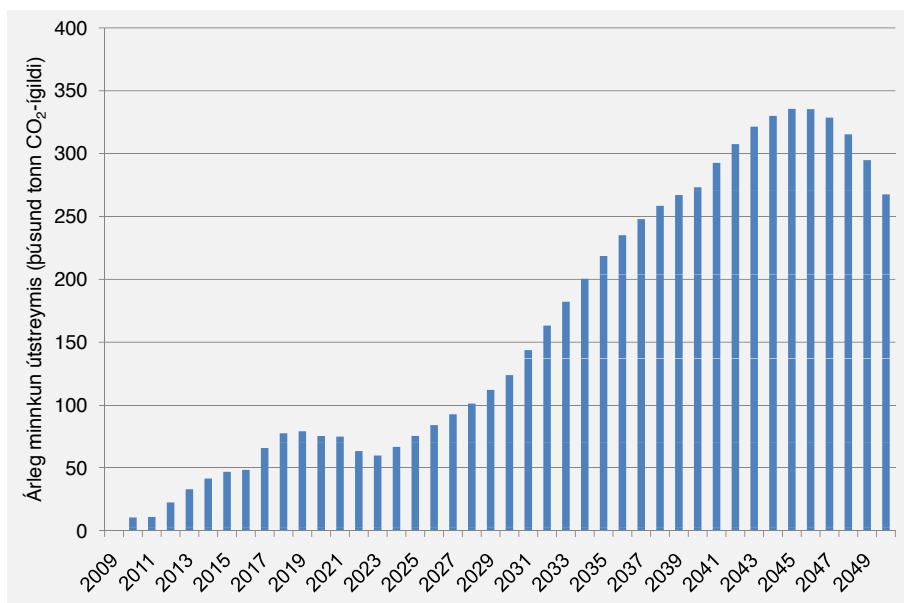
Tafla 4-13. Metinn útblástur gróðurhúsalofttegunda í CO<sub>2</sub>-ígildum eftir eldsneytistegund og stærð bifreiðategundar (Mannvit 2009).

sem þeir koma í staðinn fyrir. Gert er ráð fyrir að hlutur rafmagnsbíla í bifreiðaflotnum aukist þ.a. hann verði um 1% árið 2010, um 17% árið 2020, um 33% árið 2030, 60% árið 2040 og 81% árið 2050 og þá gangi um 85% fólksbíla, um 71% millistórri flutningabíla og 51% stórra flutningabíla fyrir rafmagni. Þetta þýðir að fjölgun rafmagnsbíla verði um 2,5 þús. að jafnaði árlega á tímabilinu 2010–2023; um 5,5 þús. á tímabilinu 2024–2030, um 9 þús. á tímabilinu 2031–2035 og um 6 þús. á tímabilinu 2036–2045. Eftir það er ekki um árlega fjölgun að ræða umfram spá um afskiptalausá þróun.

Niðurstöður benda til þess að á tímabilinu 2009–2020 nemi heildarkostnaður af aðgerðunum um 92.000 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töflu 4-14).

Miðað við afskiptalausá þróun verður samdráttur vegna aðgerðanna í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bifreiðum um 10% árið 2020.

Ekki var sérstaklega reiknuð út skilvirkni tengiltvinnbíla, en það eru tvinnbílar sem hægt er að stinga í samband. Tengiltvinnbílar eru því eins konar millistig milli



Mynd 4-25. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bílum umfram afskiptalausa þróun vegna aukinnar notkunar rafmagnsbíla.

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	510	6.700
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	92.000	

Tafla 4-14. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir innleiðingu rafmagnsbíla.

tvinnbíla og hreinna rafbíla, og má gera ráð fyrir því að kostnaður og ávinningur innleiðingar þeirra verði einhvers staðar á milli tvinnbíla og rafbíla. Hversu mikill ávinningurinn verður af innleiðingu tengiltvinnbíla fer þá eftir því hverskonar tengiltvinnbílatækni verður innleidd.

### Vetnisbílar

Gert er ráð fyrir að frá árinu 2009 aukist sala á vetnisfólksbílum á kostnað hefðbundinna bensín- og dísilbíla og að sama þróun hefjist í tilfelli millistórra flutningabíla árið 2013 og árið 2021 í tilfelli stórra flutningabíla. Ekki er gert ráð fyrir að fjöldi vetnisbíla muni takmarkast af framboði af raforku og möguleikum á byggingu nýrra virkjana<sup>6</sup>.

Gert er ráð fyrir að vélarafll vetnisbíla sé það sama og þeirra bensín- og dísilbíla sem þeir koma í staðinn fyrir. Ekki var hægt að finna áreiðanlegar tölur um verð vetnisbíla sem knúnir eru efnarafölum vegna þess hve tæknin er enn á tilraunastigi. Því var gert ráð fyrir að vetnisbílar væru tvinnbílar með brunavél. Gert er ráð fyrir að hlutur vetnisbíla í bifreiðaflotanum aukist þ.a. hann verði um 1% árið 2010, um 17% árið 2020, um 33% árið 2030, 60% árið 2040 og 81% árið 2050 og þá gangi um 85% fólksbíla, um 71% millistórra flutningabíla og 51% stórra flutningabíla fyrir vetni.

6. Hér er gert ráð fyrir að vetnisbílamir séu tvinnbílar með brunavél. Afar erfitt er að gera sér grein fyrir því hver raforkuþörf vegna þeirra mun verða. Ljóst er að hún hlýtur að verða meiri en hreinna rafbíla, sé gert ráð fyrir sömu orkuþörf bílanna. Miðað við eldsneytisnotkun bifreiða árið 2007, þyrfti um 3–8 TWh á ári ef skipt væri yfir í vetnisbíla í einni svipan (Orkustofnun 2008). Til samanburðar er tryggt raforkuframlæðsla Kárahnjúkavirkjunar 4,6 TWh á ári.

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	510	6.700
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	258.000	

Tafla 4-15. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir innleiðingu vetnisbíla.

Þetta þýðir að fjölgun vetnisbíla, umfram fjölgun bíla sem ganga fyrir öðrum óhefðbundnum orkumiðlum verði um 2,5 þúsund að jafnaði árlega á tímabilinu 2010–2023; um 5,5 þúsund á tímabilinu 2024–2030, um 9 þúsund á tímabilinu 2031–2035 og um 6 þúsund á tímabilinu 2036–2045. Eftir það er ekki um árlega fjölgun að ræða umfram spá um afskiptalausna þróun.

Sé kostnaður og ávinningur af innleiðingu vetnisbíla samkvæmt sviðsmyndinni tekinn saman benda niðurstöður til þess að á tímabilinu 2009–2020 nemi kostnaður af aðgerðunum um 258.000 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töflu 4-15).

Miðað við afskiptalausna þróun verður samdráttur vegna aðgerðanna í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bifreiðum um 10% árið 2020.

### E85-bílar

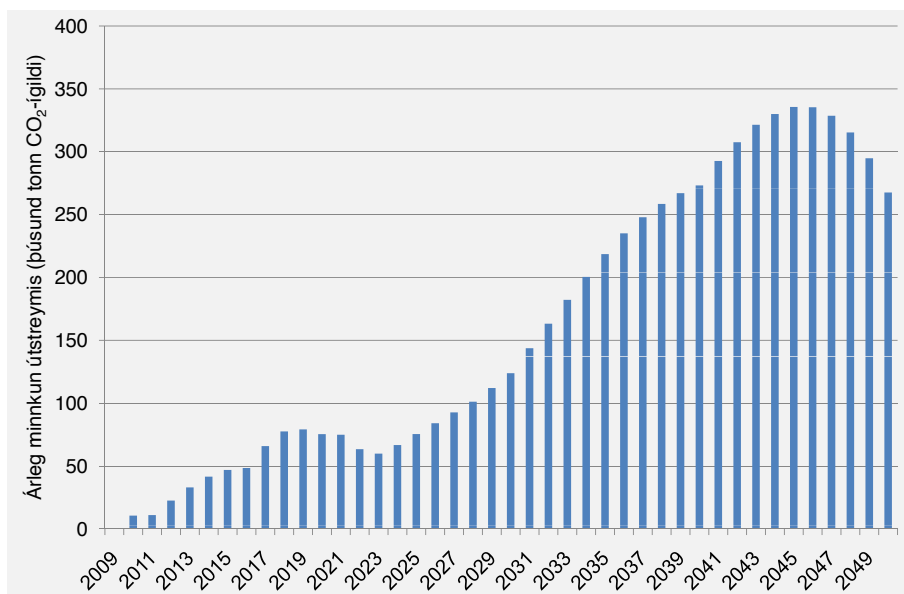
Gert er ráð fyrir að frá árinu 2009 aukist sala á fólksbílum, millistórum flutningabílum og stórum flutningabílum sem ganga fyrir E85 á kostnað hefðbundinna bensín- og dísilbíla.

Gert er ráð fyrir að vélarafll E85-bíla sé það sama og þeirra hefðbundnu bensín- og dísilbíla sem þeir koma í stað. Gert er ráð fyrir að hlutur E85-bíla í bifreiðaflotanum aukist þannig að hann verði um 2% árið 2010, um 19% árið 2020, um 35% árið 2030, 64% árið 2040 og 87% árið 2050 og að þá gangi um 85% fólksbíla, um 89% millistórri flutningabíla og allir stórir flutningabílar fyrir E85. Þetta þýðir að fjölgun E85-bíla verði um 3 þúsund að jafnaði árlega á tímabilinu 2010–2023; um 5 þúsund á tímabilinu 2024–2030, um 10 þúsund á tímabilinu 2031–2035 og 7–8 þúsund á tímabilinu 2036–2045. Eftir það er ekki um árlega fjölgun að ræða umfram spá um afskiptalausna þróun.

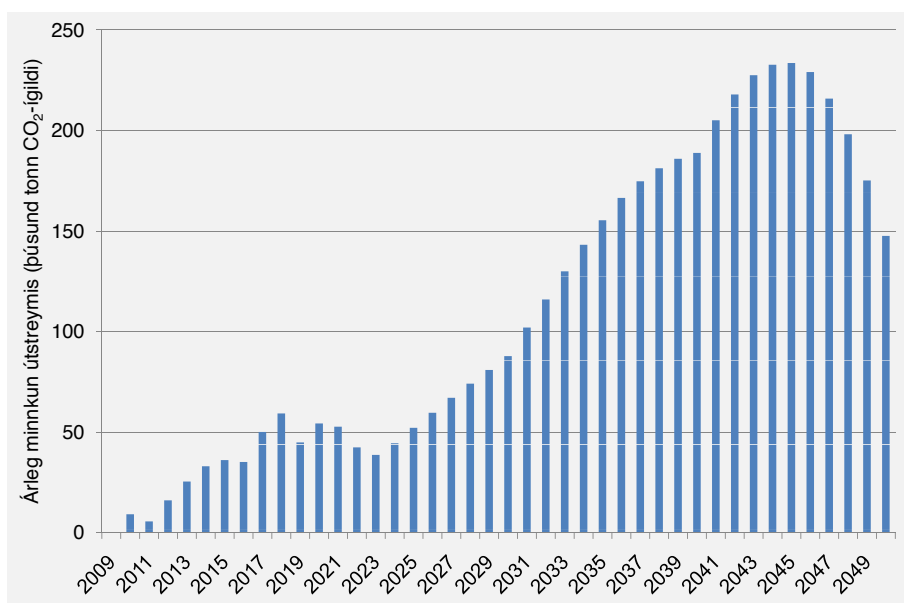
Sé kostnaður og ávinningur af innleiðingu E85-bíla samkvæmt sviðsmyndinni tekinn saman benda niðurstöður til þess að á tímabilinu 2009–2020 nemi kostnaður per tonn af aðgerðunum um 42.000 kr./kg CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töflu 4-16).

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í útstreymi GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	370	4.600
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	42.000	

Tafla 4-16. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir innleiðingu E85-bíla.



Mynd 4-26. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bílum umfram afskiptalausá þróun vegna aukinnar notkunar vetnisbíla.



Mynd 4-27. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá öllum bílum umfram afskiptalausá þróun vegna aukinnar notkunar E85-bíla.

Miðað við afskiptalausá þróun verður samdráttur vegna aðgerðanna í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bifreiðum um 7% árið 2020.

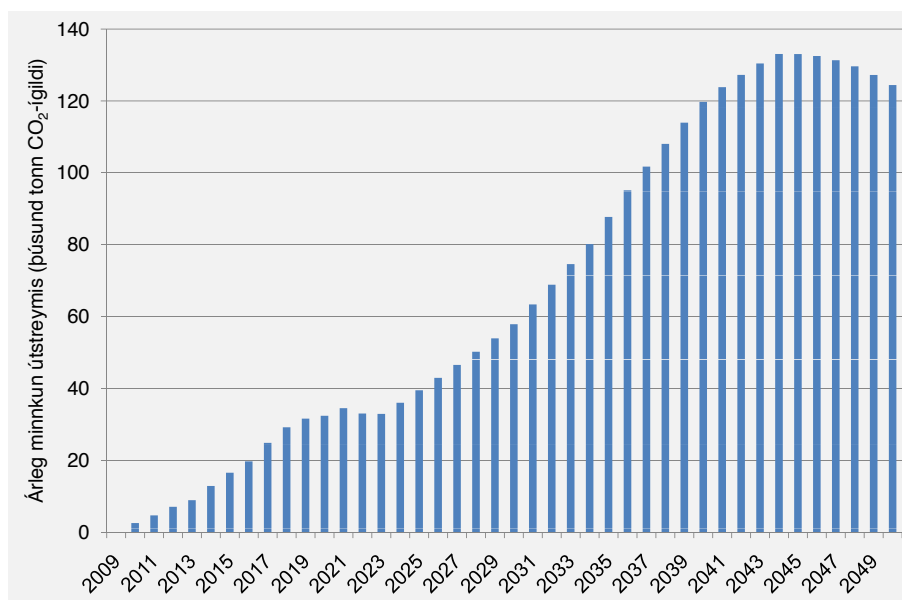
### Tvinnbensín og tvinndísilbílur

Gert er ráð fyrir að frá árinu 2009 aukist sala á tvinnbensínbílum á kostnað hefðbundinna bensínbíla og sama þróun hefjist í tilfelli dísilbíla 5 árum síðar. Sviðsmyndin gerir jafnframt ráð fyrir að sala tvinnbensín- og tvinndísilbíla á kostnað hefðbundinna bíla aukist frá árinu 2013 í tilfelli millistórra flutningabíla annars vegar og árinu 2017 í tilfelli stórra flutningabíla hins vegar.

Gert er ráð fyrir að vélarafl tvinnbíla, þ.e. samanlagt afl brunavélar og rafmótors, sé það sama og í hefðbundnum bensín- og dísilbílum. Gert er ráð fyrir að hlutur tvinnbensín- og tvinndísilbíla í bifreiðaflotanum aukist þannig að hann verði um 1% árið 2010, um 15% árið 2020, um 32% árið 2030, 58% árið 2040 og 52% árið 2050

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	190	2.800
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	15.600	

Tafla 4-17. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir innleiðingu tvinnbensín- og tvinnðisilbíla.



Mynd 4-28. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fólksbílum umfram afskiptalausá þróun vegna aukinnar notkunar tvinnbíla.

og þá verði allir bensínbílar tvinnbílar og um 90% dísilbíla. Þetta þýðir að árleg fjölgun tvinnbíla á tímabilinu 2009–2015 nemi um 3–4 þúsund; um 5–6 þúsund á tímabilinu 2016–2022, um 6 þúsund á tímabilinu 2023–2030 og 10–12 þúsund á tímabilinu 2031–2040. Eftir það dregur úr fjölguninni og tvinnbensín- og tvinnðisilbílum fer fækkandi eftir 2044 vegna tiltölulega hraðrar innleiðingar bifreiða er nota óhæðbundna orkumiðla.

Niðurstöður benda til að á tímabilinu 2009–2020 er kostnaður á tonn af aðgerðunum áætlaður 15.600 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töflu 4-17).

Miðað við afskiptalausá þróun verður samdráttur vegna aðgerðanna í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bifreiðum um 4% árið 2020.

### Metanbílar

Gert er ráð fyrir að metanbílar geti komið að hluta í stað millistorra og stórra bensín- og dísilflutningabíla. Ekki er gert ráð fyrir að fólksbílar gangi fyrir metani.

Gert er ráð fyrir að vélarafll metanbíla sé það sama og þeirra bensín- og dísilbíla sem þeir koma í stað. Gert er ráð fyrir að hlutur metanbíla í bifreiðaflotanum verði vel innan við 1% árið 2010, um 1% árið 2020, um 3% árið 2030 og um 4% á tímabilinu 2031–2050.

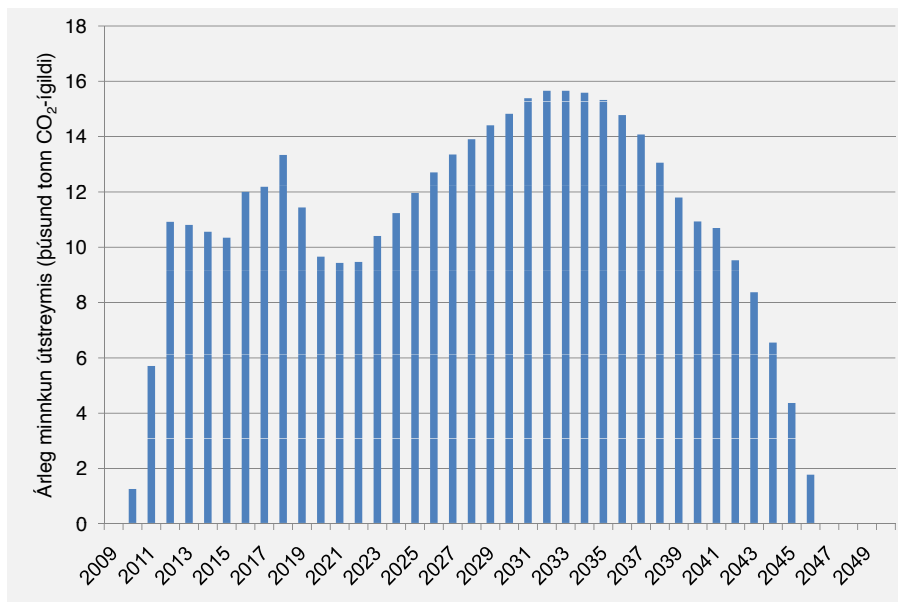
Sé kostnaður og ávinningur af innleiðingu metanbíla samkvæmt sviðsmyndinni tekinn saman benda niðurstöður til þess að á tímabilinu 2009–2020 nemi kostnaður á tonn af aðgerðunum um 1.000 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töflu 4-19).

Ár	Millistórir flutningabílar	Stórir flutningabílar
2010	120-130	80
2020	2.700	1.500
2030	5.900	3.100
2040	8.400	4.400
2050	11.000	6.200

Tafla 4-18. Áætlun um fjölda metanknúinna flutningabíla.

	2009–2020	2009–2050
Samdráttur í losun GHG (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	110	410
Kostnaður á tonn (kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	1.000	

Tafla 4-19. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir innleiðingu metanbíla.



Mynd 4-29. Árlegur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bílum umfram afskiptalausá þróun vegna aukinnar notkunar metans á flutningabíla.

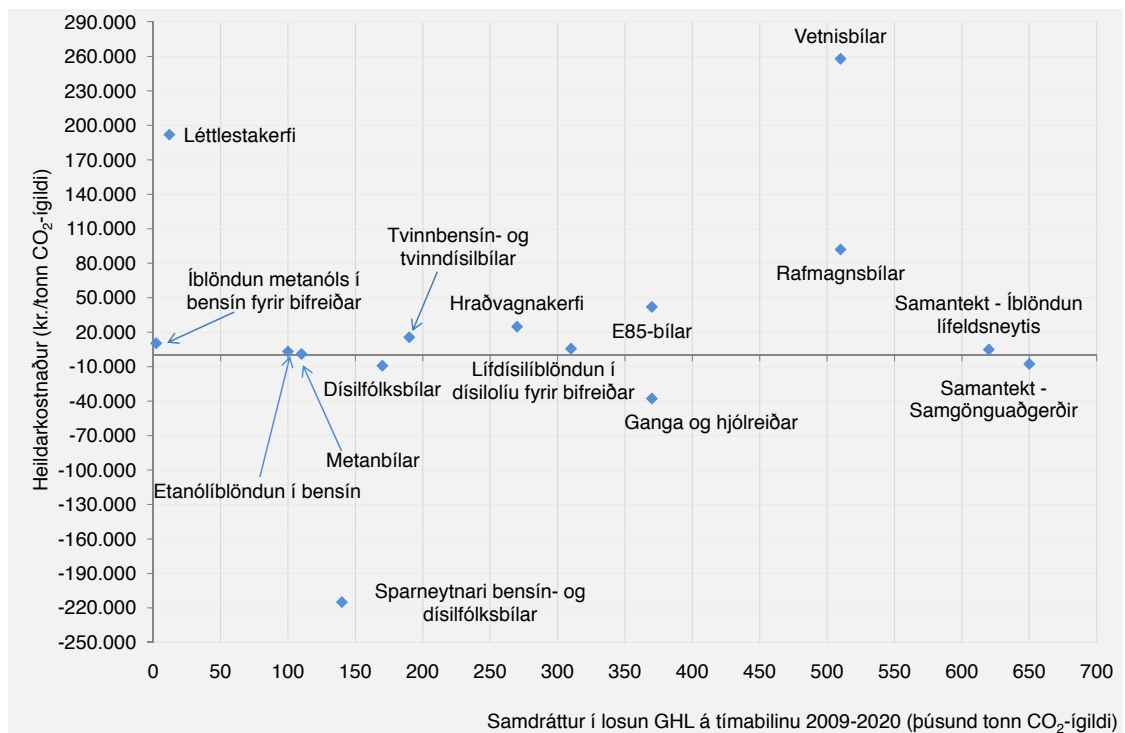
Miðað við afskiptalausá þróun verður samdráttur vegna aðgerðanna í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bifreiðum um 1% árið 2020.

#### 4.3.3 Samantekt

Til skemmri tíma (2009–2020) skila almennar samgönguáðgerðir, það er uppbygging fyrir aukna göngu og hjólreiðar, innleiðing sparneytnari bensín- og dísilbíla ásamt metanbílum og hraðvagnakerfi, mestum árangri í að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Þar á eftir kemur blöndun lífoldsneytis í bensín og dísilolíu. Fjárhagslegur ávinningur er af samgönguáðgerðum og blöndun lífoldsneytis er ekki dýr áðgerð. Til lengri tíma (tímabilið 2009–2050) skila þó rafmagns- og vetnisbílar lang-

Kostnaður við aðgerðir	Sviðsmynd	Samdráttur í losun (Þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi) 2009–2020
€20/tonn CO <sub>2</sub> -ígildi	Sparneytnari bensín- og dísilfólksbílar	140
	Ganga og hjólréiðar	370
	Dísilfólksbílar	170
	Metanbílar	110
€50/tonn CO <sub>2</sub> -ígildi	Etanólblöndun í bensín	110
	Lífdísilblöndun í dísilolíu fyrir bifreiðar	310
€100/tonn CO <sub>2</sub> -ígildi	Íblöndun metanóls í bensín fyrir bifreiðar	2
	Tvinnbensín- og tvinndísilbílar	190
	Hraðvagnakerfi (BRT)	270
	E85-bílar	370
	Rafmagnsbílar	510
	Léttlestakerfi	12
	Vetnisbílar	510

Tafla 4-20. Samdráttur í útstreymi og kostnaður á tonn á árabílinu 2009-2020.



Mynd 4-30. Samantekt á niðurstöðum fyrir sviðsmyndir til 2020. Samdráttur í útstreymi og kostnaður á tonn á árabílinu 2009-2020.



Sviðsmynd	Samdráttur í losun GHG	Hlutfallslegur samdráttur m.v. afskiptalaus þróun				Kostnaður aðgerðar	
	CO <sub>2</sub> -ígildi (þúsund tonn)	2020		2050		kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi	***€/tonn CO <sub>2</sub> -ígildi
	2009–2020	*	**	*	**	2009–2020	2009–2020
Ganga og hjólreiðar	371	8%	5%	10%	4%	-37.800	-310
Hraðvagnakerfi (BRT)	271	6%	3%	1%	0%	24.800	205
Léttlestakerfi	12	1%	0%	14%	5%	192.000	1.590
Samantekt – Samgönguáðgerðir	650	15%	8%	26%	9%	-7.600	-63
Lífðísilblöndun í dísilolíu fyrir bifreiðar	310	4%	1%	0%	0%	5.600	46
Etanólíblöndun í bensín	110	0%	0%	0%	0%	3.200	30
Samantekt – Íblöndun lífðísilsneytis	420		1%		0%	4.900	40
Íblöndun metanóls í bensín fyrir bifreiðar	2	0%	0%	0%	0%	10.400	86
Tvinnbensín- og tvinnðísilbílur	190	4%	3%	26%	16%	15.600	130
Dísilfólksbílur	170	4%	2%	11%	4%	-9.200	-76
Sparneytnari bensín- og dísilfólksbílur	140	4%	2%	20%	7%	-215.000	-1.780
Rafmagnsbílur	510	10%	7%	57%	34%	92.000	770
Vetnisbílur	510	10%	7%	57%	34%	258.000	2.150
E85-bílur	370	7%	5%	31%	18%	42.000	350
Metanbílur	110	1%	1%	0%	0%	1.000	8

\* Útstreymi frá fólksbílum í tilfalli samgönguáðgerða, útstreymi frá viðeigandi bílum í öðrum tilfellum.

\*\* Útstreymi frá bifreiðum og tækjum.

\*\*\* Miðað við gengi 26 ágúst 2008.

Tafla 4-21. Samantekt á niðurstöðum fyrir sviðsmyndir.

mestum árangri í samdrætti gróðurhúsalofttegunda, en innleiðing vetnisbíla er áætluð fremur kostnaðarsöm aðgerð.

Í eftirfarandi töflum eru þeir kostir sem fjallað er um í kaflanum flokkaðir niður á fjögur verðbil eftir kostnaði við að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá 2009 til 2020. Miðað er við kostnað undir €20/tonn CO<sub>2</sub>-ígildi; undir €50/ tonn CO<sub>2</sub>-ígildi; undir €100/ tonn CO<sub>2</sub>-ígildi og yfir €100/ tonn CO<sub>2</sub>-ígildi. Hér er ekki tekið tillit til samlegðaráhrifa aðgerðanna, en búast má við að samdráttur í heild verði minni en með því að leggja saman samdrátt við einstakar aðgerðir.

Á mynd 4-30 eru sviðsmyndirnar bornar saman á myndrænan hátt. Notkun sparneytnari bensín- og dísilfólksbifreiða skilar langmestum fjárhagslegum ávinningi, á meðan samgönguáðgerðirnar, ganga, hjólreiðar og almenningsamgöngur, skila mestum samdrætti í útstreymi á tímabilinu 2009–2020.

Rafbílur og vetnisbílur skila jafnmiklum ávinningi hvor, en vetnisbílar eru mun dýrari. Íblöndun lífðísilsneytis er ekki dýr aðgerð, en skilar miklum ávinningi. Í sviðs-

myndinni „Íblöndun lífoldsneytis“ eru tekin samlegðaráhrif þess að blanda etanóli í bensín og lífdísílóliu í dísilólíu fyrir bíla. Einnig er gert ráð fyrir því að lífdísílblandan sé notuð á tæki (vinnuvélar), sjá umfjöllun í kafla 4.4.6.1.

Tafla 4-21 dregur saman allar niðurstöður og metinn er kostnaður í kr./tonn CO<sub>2</sub> og €/tonn CO<sub>2</sub>-ígildis. Í sviðsmyndunum „Samantekt – Samgönguaðgerðir“ og „Samantekt – íblöndun lífoldsneytis“ er gert ráð fyrir samlegðaráhrifum aðgerðanna innbyrðis.

Enn og aftur kemur í ljós að samgönguaðgerðirnar skila mestu þegar til skamms tíma er litið og skila jafnframt fjárhagslegum ávinningi. Íblöndun lífoldsneytis skilar einnig töluverðu og er kostnaðarlítill.

Þegar til lengri tíma er litið eykst óvissan hvað kostnað áhrærir. Þegar tækninýjungar sem þykja framandi í dag komast í almenna notkun minnkar jafnan framleiðslukostnaðurinn, og því er ekki ólíklegt að það sem er mjög dýrt í dag, s.s. vetni, annarar kynslóðar lífoldsneyti og jafnvel léttlestir verði viðráðanlegra.

## 4.4 Iðnaðarferlar og efnanotkun

### 4.4.1 Yfirlit

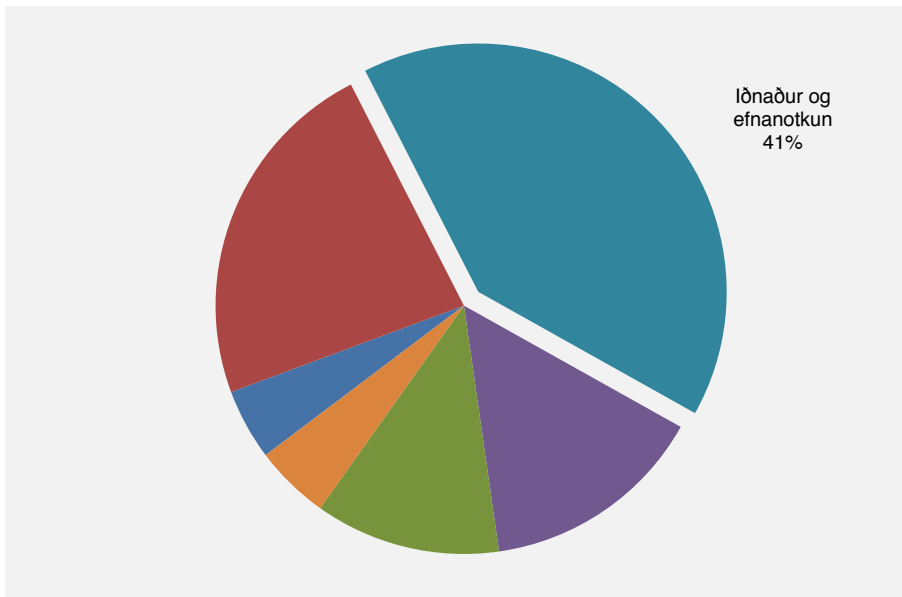
Iðnaður og efnanotkun er stærsti einstaki þáttur útstreymis á Íslandi, samtals 41% af heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2007. Þar af telja iðnaðarferlar 32,6% og eldsneytisnotkun í iðnaði 6,8%. Útstreymi frá iðnaði og efnanotkun hefur aukist um 64% síðan 1990. Útstreyminu er skipt í fimm flokka eftir starfsemi það er áliðnað, járnblendiframleiðsla, sementsframleiðsla, efnanotkun svo sem notkun HFC-efna, mannvirkjagerð og annan iðnað.

Útstreymi frá áliðnaði nam um 22% af heildarútstreymi Íslands árið 2007. Útstreymi frá sementsframleiðslu nam 3%, járnblendiframleiðslu um 9%, efnanotkun rétt undir 2% og mannvirkjagerð og öðrum iðnaði samanlagt um 6% (sjá mynd 4-31). Vægi áliðnaðar af heildarútstreymi jókst frá 12% árið 2005 í 22% árið 2007, bæði vegna gangsetningar nýs álvers á Reyðarfirði sem og vegna tæknilegra erfiðleika við gangsetningu nýrra framleiðslueininga hjá Norðuráli, sem leiddi til mikillar aukningar á útstreymi flúorkolefna (PFC efna). Útstreymi flúorkolefna er mest við gangsetningu nýrra framleiðslueininga áður en jafnvægi næst í kerrekstrinum.

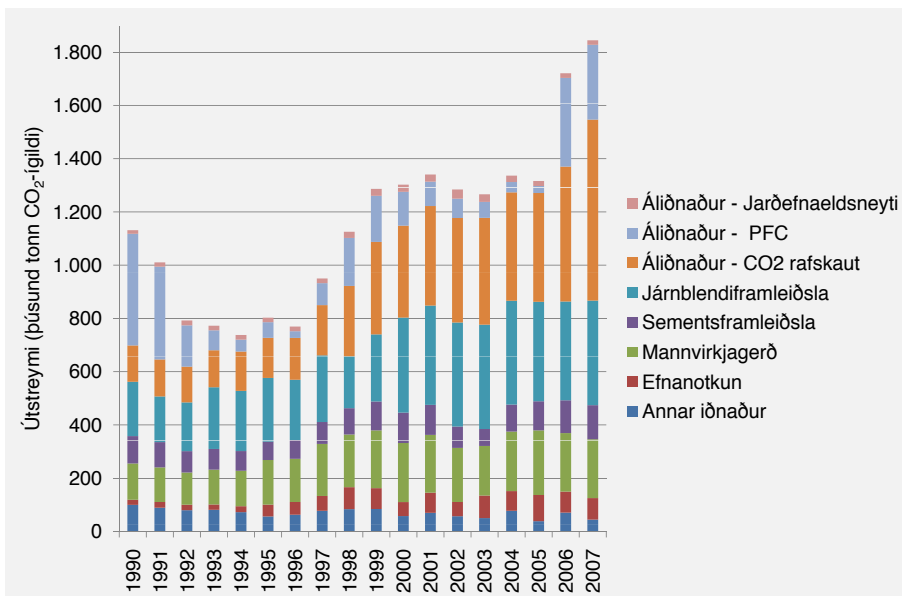
Þróun útstreymis frá 1990 til 2007 má sjá á mynd 4-32, en útstreymi frá geiranum jókst um 64% frá 1990 til 2007. Þar af jókst útstreymi vegna álframleiðslu um 71%, sementsframleiðslu um 25%, járnblendiframleiðslu um 91%, efnanotkunar 443% en frá öðrum iðnaði dró úr útstreymi um 55%. Útstreymi vegna mannvirkjagerðar og tækjanotkunar<sup>7</sup> jókst um 62% á sama tíma.

Breytingar á starfsemi sem hér um ræðir koma skýrt fram í sveiflum í útstreymi (sjá mynd 4-33). Til ársins 1998 var einungis eitt fyrirtæki starfandi í áliðnaði (álverið í Straumsvík) og á þeim tíma náðist árangur í að minnka útstreymi flúorkolefna frá framleiðslunni og skýrir það samdrátt útstreymis á árununum 1990–1996. Árið 1997 jókst framleiðsla álversins í Straumsvík auk þess sem nýtt álver Norðuráls var gangsett 1998 og síðan stækkað árið 2001. Framleiðsla þar var svo enn aukin árin 2006 og 2007. Aukið útstreymi árið 2006 og 2007 skýrist af tæknilegum erfiðleikum sem

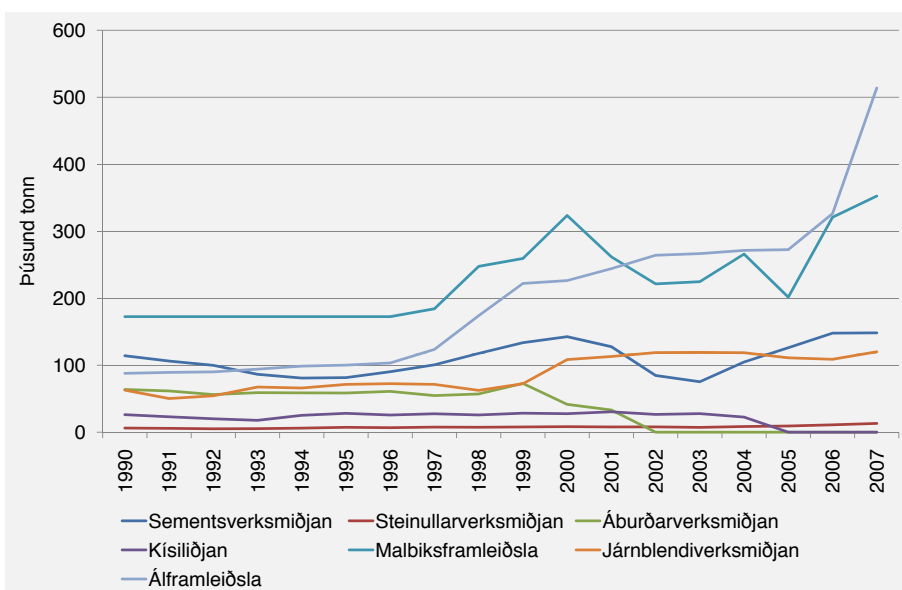
<sup>7</sup> Flokkurinn mannvirkjagerð felur í sér allt útstreymi vegna notkunar tækja, þ.e. stórvirkra vinnuvéla.



Mynd 4-31. Hlutfall iðnaðar og efnanotkunar í heildarútsreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2007.



Mynd 4-32. Heildarútsreymi gróðurhúsalofttegunda frá iðnaðarframleiðslu, reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildum flokkað eftir uppruna.



Mynd 4-33. Framleiðslutölur í iðnaði frá 1990 til 2007.

fylgdu gangsetningu þessara nýju framleiðslueininga hjá Norðuráli auk þess sem nýtt álver var gangsett á Reyðarfirði árið 2007. Þess ber að geta að á sama tíma og útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá álframleiðslu jókst um 72% til ársins 2007, jókst framleiðsla áls úr 88 þúsund tonnum árið 1990 í 456 þúsund tonn árið 2007 sem er aukning um 419%. Sýnir þetta umtalsvert minna útstreymi á hvert tonn af áli. Nýr ofn var tekinn í notkun hjá ELKEM Ísland árið 1999 og var framleiðslan þá aukin úr um 70.000 tonn á ári í um 120.000 tonn og jókst útstreymi í samræmi við það.

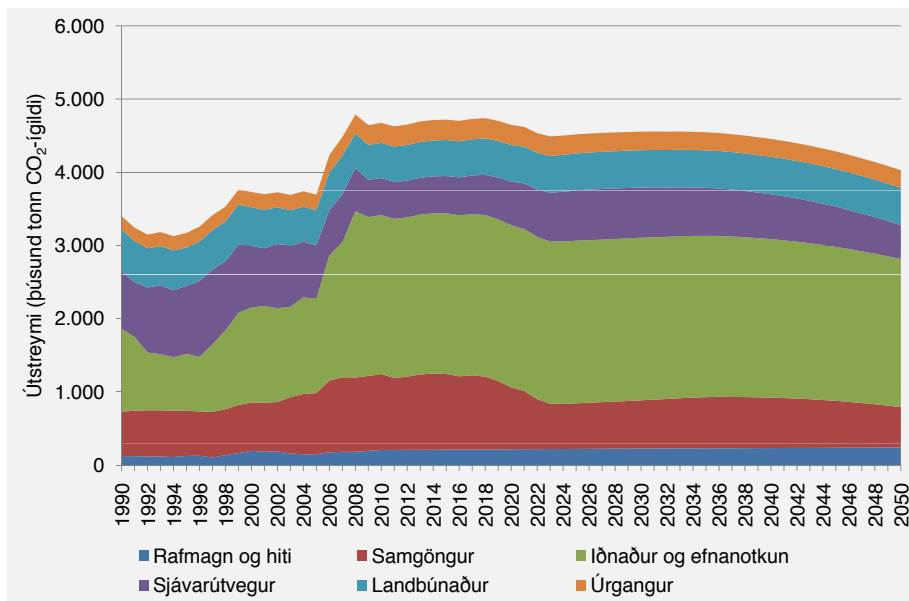
Samanlagt var útstreymi vegna iðnaðar og efnanotkunar um 1845 þúsund tonn koldíoxíð-ígilda, árið 2007. Þetta svarar til um 41% af heildarútstreymi Íslands. Samkvæmt útstreymisspám Umhverfisstofnunar er búist við að útstreymi frá iðnaði og efnanotkun geti aukist allt að 20% árið 2020, miðað við forsendur gefnar í tilviki 1 (sjá mynd 4-34 hér á eftir og Box 5 og 6 í kafla 3). Samkvæmt tilviki 2, þar sem gert er ráð fyrir að heildarframleiðsla verði samkvæmt útgefnum starfsleyfum, yrði aukningin um 88% árið 2020 miðað við útstreymi árið 2007 (sjá mynd 4-35).

#### 4.4.2 Álframleiðsla

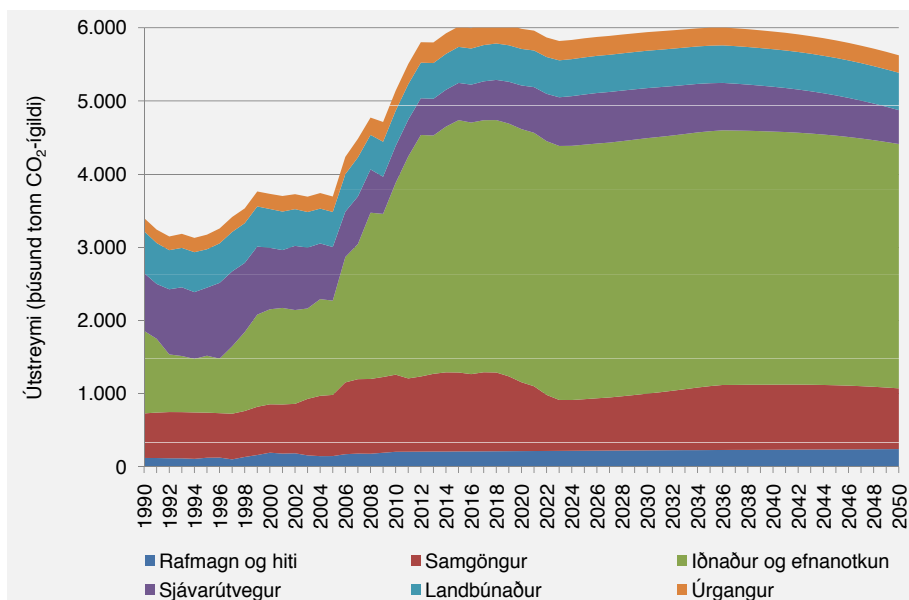
##### 4.4.2.1 Yfirlit

Ál er framleitt í kerum. Súráli er dælt inn á þau og leysist það upp í sérstakri flúorríkri efnabráð (raflausn) við 960°C. Þegar rafstraumur fer um bráðina klofnar súrálið í ál og súrefni. Þessi aðferð kallast rafgreining. Forskautin sem eru úr kolefni hafa það hlutverk að koma rafstrámi í gegnum kerin. Straumurinn fer gegnum raflausnina og út úr kerinu um bakskautin, sem eru á botni kersins. Álið fellur á botni kersins en súrefnið leitar upp á við, brennur með kolefni forskautanna og myndar koldíoxíð (CO<sub>2</sub>). Þannig eyðast forskautin á u.þ.b. 28 dögum og ný skaut eru sett í kerid. Leifar af notuðum skautum eru sendar úr landi til endurvinnslu og eru notaðar í framleiðslu á nýjum skautum. Magn CO<sub>2</sub> á hvert framleitt tonn er nokkuð stöðugt og tæknilega er erfitt að minnka það útstreymi nema með breyttri tækni. Eins og áður sagði hafa forskaut það hlutverk að flytja rafstraum ofan í raflausnina í kerinu. Æskilegt súralsinnihald raflausnarinnar er um 2% en þá er viðloðun hennar við forskautin góð. Við slíkar aðstæður er rafleiðnin góð. Þegar súralsinnihald í raflausninni er komið niður undir 1% þá forðast raflausnin forskautin. Þunnt lag af gasi myndast undir forskautunum, eftir að hafa klofnað úr raflausninni, og straumrásin frá forskauti til bakskauts verður ekki jafn greið og áður. Í stað raflausnar undir forskautunum hafa myndast gaspúðar og þar sem lofttegundir leiða mjög illa straum og því eykst viðnámið í kerinu. Þar af leiðandi þarf meiri kraft til að knýja strauminn gegnum kerid. Þessi kraftur er spennan, sem eykst úr 4,6 voltum í u.þ.b. 30 volt. Þetta óæskilega ferli er kallað spennur. Við spennur hvarfast flúor í raflausninni við kolefni skautanna og mynda flúorkolefni (af heimasíðu Rio Tinto Alcan). Undanfarin ár hafa framleiðendur náð betri tókum á að takmarka það útstreymi.

Frumframleiðsla á áli fer fram víða um heim og nam heimsframleiðslan 29,9 milljón tonnum (Mt) árið 2004. Árið 2006 var heimsframleiðslan 33,7 Mt, en hún hefur aukist að meðaltali um 5% á ári síðustu ár (Bernstein et al., 2007). Búist er við að framleiðslan haldi áfram að aukast um 3% á ári og verði um 60 Mt 2020. Einnig er búist við að endurnýting áls í heiminum tvöfaldist á sama tíma og fari úr 14 Mt árið 2004 í 28 Mt. Endurvinnsla áls krefst minni orku og veldur minna útstreymi gróðurhúsalofttegunda en frumvinnsla. Endurvinnsluhlutfall í Evrópu er orðið nokkuð hátt og er um 60% fyrir drykkjarumbúðir, um 95% fyrir samgöngutæki og um 85%



Mynd 4-34. Útstreymi frá iðnaði og efnanotkun til 2050. Spá Umhverfisstofnunar, tilvik 1.



Mynd 4-35. Útstreymi frá iðnaði og efnanotkun til 2050. Spá Umhverfisstofnunar, tilvik 2.

fyrir byggingarefni (EAA, 2006). Gæði málmsins haldast vel við endurvinnslu og því hægt að endurvinna málminn nokkrum sinnum. Ál er léttmálmur og því hentugur þar sem þyngd skiptir máli, t.d. í farartæki. Léttari farartæki eru að öllu jöfnu sparneytnari en þyngri farartæki, og losa því minna magn gróðurhúsalofttegunda á hvern ekinn kílómetra.

Í heild er útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá álframleiðslu í heiminum talin vera um 417 Mt CO<sub>2</sub>-ígildi á ári eða sem samsvarar tæpum 14 tonnum á hvert framleitt áltonn. Útstreymið skiptist þannig að 72% er vegna raforkuframleiðslunnar, 11% vegna kolarafskauta og 17% vegna útstreymis flúorkolefna (PFC) við álframleiðsluna (Bernstein et al., 2007). Flúorkolefni myndast við spennuris í álverum. Við stækkun eða gangsetningu nýs álvers er tíðni spennurisa hæst en lækkar síðan þegar jafnvægi kemst á reksturinn. Undanfarin ár hafa álfyrirtæki í heiminum náð verulegum árangri

við að draga úr útstreymi flúorkolefna. Í niðurstöðum árlegrar könnunar, sem International Aluminum Institute (IAI) gerir hjá aðildarfyrirtækjum sínum, kemur fram að tekist hefur að draga úr útstreymi flúorkolefna á hvert framleitt tonn af áli um 76% á árabílinu 1990–2005. Töluvert er enn í land með að unnt sé að losna við kolarafskautin og í fjórðu skýrslu IPCC er minnst á svokölluð eðlafskaut sem kunna að verða fánæg um 2020. Með slíkri tækni yrði útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá framleiðsluferlinu hverfandi.

#### 4.4.2.2 Álframleiðsla á Íslandi

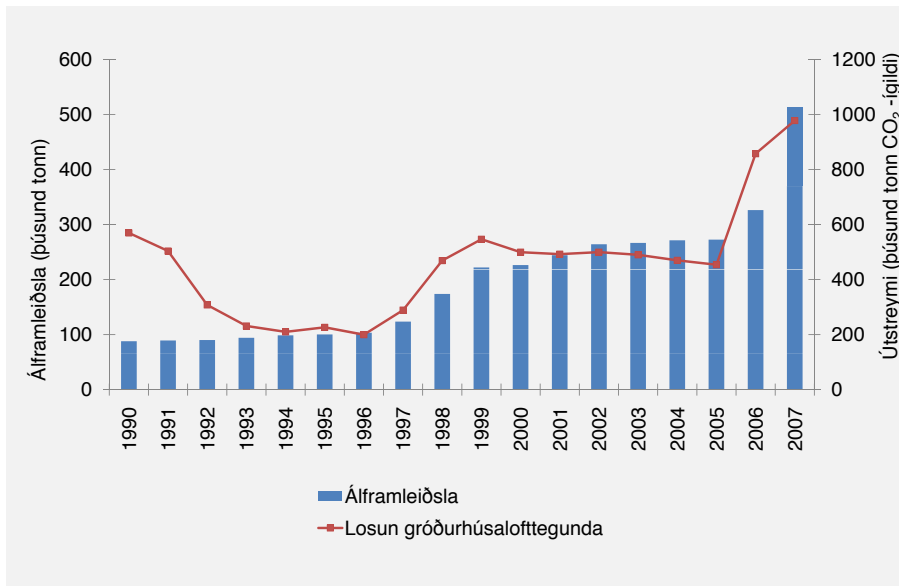
Hér á landi hefur álframleiðsla aukist jafn og þétt undanfarin ár. Útflutningur áls árið 1990 var um 88 þúsund tonn en var orðinn um 326 þúsund tonn árið 2006. Á sama tíma hafa útflutningsverðmæti aukist úr 9.587.065 m.kr. í 57.027.271 m.kr. Árið 2006 voru starfandi tvö fyrirtæki sem stunduðu þessa framleiðslu Rio Tinto Alcan í Straumsvík með framleiðslugetu um 183 þúsund tonn og Norðurál á Grundartanga með um 260 þúsund tonna framleiðslugetu. Alcoa Fjarðaál hefur hafið framleiðslu á Reyðarfirði í nýju álveri með 346 þúsund tonna framleiðslugetu. Áætla má að heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá þessum þremur fyrirtækjum vegna framleiðsluferla nemi um 1,64 tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á hvert framleitt tonn af áli, þegar þau eru í jöfnum rekstri, sjá töflu 4-22.

Sé litið til þróunar á útstreymi frá árinu 1990 þá má glögg sjá hvernig breytingar á starfseminni koma fram í sveiflum í útstreymi (sjá mynd 4-36). Útstreymi frá áliðnaðinum dróst saman frá 1990 til 1996 og má rekja þá minnkun að miklu leyti til mikillar minnkunar á útstreymi flúorkolefna. Mikil framleiðsluaukning hefur orðið í áliðnaði hérlendis frá árinu 1997.

Það veur athygli að útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá álveri Rio Tinto Alcan í Straumsvík minnkaði um 282.000 tonn eða um yfir 50% frá 1990 til ársins 2007. Á sama tíma jókst ársframleiðslan um 100% eða úr 90.000 tonnum í 180.000 tonn. Þetta stafar af mikilli minnkun í útstreymi PFC efna. Árangurinn hefur náðst með betri framleiðslustýringu sem þróuð hefur verið bæði hérlendis og erlendis til að takmarka sem mest þá rekstrartruflun sem veldur útstreymi flúorkolefna. Ef útstreymið hefði haldist í takt við framleiðsluaukningu hefði það verið tæp 1,2 milljón tonn árið 2007. Þessi minnkun útstreymis frá árinu 1990 vegur um 8,3% af heildarútstreymi á Íslandi árið 1990 og samsvarar 1.400.000 tonnum fyrir tímabilið 2008 til 2012. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi jókst um 32% frá árinu 1990 til 2007, sem er um 1082.00 tonna aukning, og því er ljóst að minnkun í útstreymi frá Rio Tinto Alcan vegur þungt í útstreymistölum Íslands. Útstreymi Norðuráls á gróð-

	Framleiðslugeta (tonn/ári)	Áætlað útstreymi (tonn/ári CO <sub>2</sub> -ígildi)
Alcan	183.000	300.180
Norðurál	260.000	426.400
Fjarðaál	346.000	567.440
Samtals	789.000	1.294.020

Tafla 4-22. Framleiðslugeta starfandi álframleiðslu og áætlað útstreymi gróðurhúsalofttegunda.



Mynd 4-36. Útstreymi og magnframleiðslutölur í álíðnaði frá 1990 til 2007.

Ár	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
t PFC/t ál	0,56	0,38	0,27	0,22	0,14	0,10	1,02	0,62

Tafla 4-23. Útstreymi flúorkolefna frá álframleiðslu á Íslandi (tonn flúorkolefna (CO<sub>2</sub>-ígildi) á hvert framleitt tonn af áli).

urhúsalofttegundum minnkaði um 17% frá árinu 1999 til 2005 þrátt fyrir að framleiðslan hafi aukist um 50% á sama tíma. Útstreymi jókst þó umtalsvert á ný árin 2006 og 2007 vegna tæknilegra örðugleika við gangsetningu nýrra framleiðslueininga. Búist er við að útstreymið minnki aftur er jafnvægi hefur verið náð.

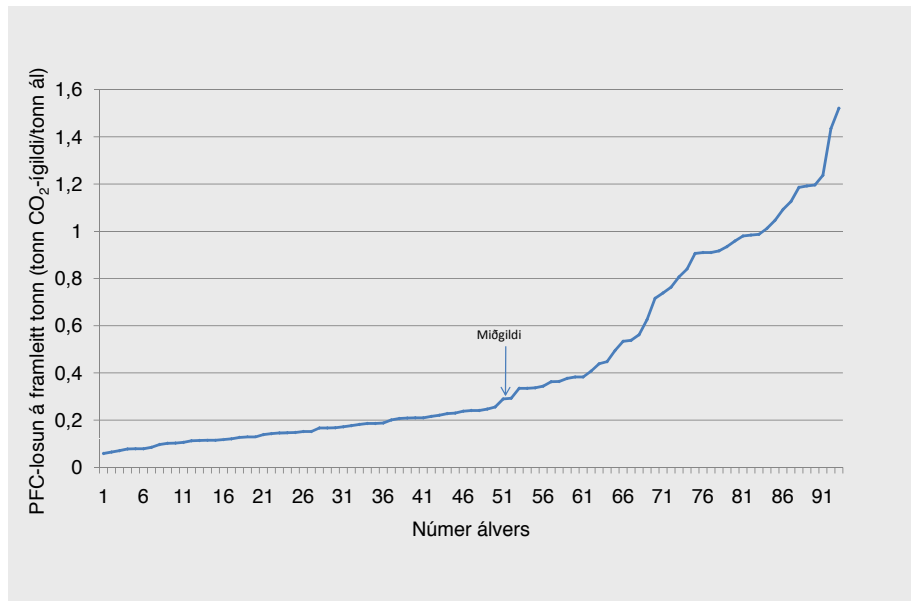
#### 4.4.2.3 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Útstreymi frá álframleiðslu með þeirri tækni sem beitt er hérlandis er tvíþætt. Annars vegar losnar CO<sub>2</sub> frá rafskautum sem gerð eru úr kolum og eyðast jafnt og þétt í framleiðsluferlinu. Þetta útstreymi er um 1,5 tonn CO<sub>2</sub>/tonn ál og er það alltaf svipað að magni enda háð því efnaferli sem á sér stað í kerunum. Hins vegar verða til flúorkolefni þegar spennuris verða í framleiðslukerunum. Í töflu 4-23 kemur fram útstreymi flúorkolefna á hvert framleitt áltonn frá íslenskum álfyrirtækjum frá síðustu aldamótum.

Tæknilega er erfitt að minnka útstreymi vegna rafskauta með núverandi framleiðsluaðferð. Hins vegar er hægt að ná tókum á útstreymi flúorkolefna með breyttri framleiðslustýringu og vinna framleiðendur um allan heim að því.

Á mynd 4-37 er sýnt útstreymi flúorkolefna hjá álverum um allan heim sem nota sömu framleiðslutækni og notuð er hérlandis, en International Aluminum Institute (IAI) safnar þessum upplýsingum. Hver punktur á grafinu táknar útstreymi frá einni verksmiðju. Skv. IAI er miðgildi útstreymis flúorkolefna þar sem notuð eru forbökðu skaut um 0,24 tonn CO<sub>2</sub>-ígildi/tonn ál og meðalútstreymi allra álvera 0,7 tonn CO<sub>2</sub>-ígildi/tonn ál. Til samanburðar var útstreymi hérlandis, árið 2005, 0,04 tonn CO<sub>2</sub>-

Mynd 4-37. Útstreymi flúorkolefna hjá 101 álveri, þar sem notuð eru forbökðuð skaut og punktmötun á súráli, árið 2006. Sjö álver með útstreymi á bilinu 2–5,3 tonn CO<sub>2</sub>-ígildi/tonn ál eru ekki sýnd á myndinni (IAI 2008).



	PFC (tonn CO <sub>2</sub> -ígildi/tonn ál)	PFC (tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)
Heimsmeðaltal	0,96	192.000
Losun á Íslandi*	0,14*	28.000
Mismunur	0,86	164.000

\* Miðað við starfsleyfiskröfur

Tafla 4-24. Útstreymi PFC efna í CO<sub>2</sub>-ígildum/tonn ál miðað við framleiðslu 200 þúsund tonna af áli. Útstreymið miðast við jafnvægi í kerrekstri og stöðugleika í útstreymi PFC efna.

ígildi/tonn ál hjá Rio Tinto Alcan og 0,12 tonn CO<sub>2</sub>-ígildi/tonn ál hjá Norðuráli. Útstreymi íslenskra álvera árið 2005 var með því lægsta sem þekkist í dag og er slíkt útstreymi nálægt tæknilegu lágmarki. Veruleg breyting varð svo milli árána 2005 og 2006 eins og áður sagði.

Það er einnig áhugavert að skoða að ef útstreymi PFC efna, í CO<sub>2</sub>-ígildum, er skoðað miðað við 200.000 tonna framleiðslu kemur í ljós að útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðalálveri er 172.000 tonnum meira, vegna PFC efna en útstreymi frá dæmigerðu íslensku álfyrirtæki skv starfsleyfiskröfum (og árið 2004), sbr. töflu 4-24.

#### 4.4.2.4 Tæknilegir möguleikar

Eins og fram hefur komið hafa framleiðslufyrirtæki á Íslandi lagt mikið upp úr þróun til að minnka útstreymi flúorkolefna. Ekki er unnt að búast við að hægt verði að draga úr útstreymi miðað við þá tækni sem notuð er. Samkvæmt skýrslu milliríkjanefndar Sameinuðu Þjóðanna (Bernstein et al., 2007) eru helstu möguleikar í samdrætti útstreymis í greininni þeir að bæta ferlistýringar, auka endurvinnslu á áli og að fleiri framleiðendur taki upp bestu tækni. Hér á eftir eru taldar upp þær breytingar og



tæknilegu lausnir sem eru til prófunar í dag og gætu dregið úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda til skemmri (2020) og lengri (2050) tíma.

### **Bætt framleiðslustýring**

Mikilvægt er að lágmarka útstreymi flúorkolefna sem myndast við spennuris en þau eru mjög virkar gróðurhúsalofttegundir. Almenn er fjöldi spennurisa mun minni nú en árið 1990 í eldri framleiðslueiningum og áfram er unnið við að ná tókum á ferlinu með framleiðslustýringu.

### **Útstreymi frá jarðefnaeldsneyti**

Dregið hefur verið úr útstreymi frá bruna jarðefnaeldsneytis og er unnið markvisst í að minnka þetta útstreymi. Enn er notast við olúkyndingu og gashitun að hluta. Prófanir hafa verið gerðar með rafvæðingu ofna í steypuskála hjá Rio Tinto Alcan og ef vel gengur verður haldið áfram með verkefnið. Heildarútstreymi vegna ofna steypuskála eru um 75 kg/tonn ál og með rafvæðingu færi hún niður í um 20 kg/tonn ál. Markvisst hefur verið unnið að því að draga úr própangasnotkun og hefur útstreymi vegna própangass farið úr 13 kg/tonn ál árið 1990 í 3 kg/tonn ál árið 2007 og því eru ekki mikil tækifæri til frekari minnkunar. Hjá Norðuráli og Fjarðaáli eru biðofnar kynntir með raforku og því engin minnkun á útstreymi möguleg.

### **Niðurdæling kolefnis og nýting í aðra framleiðslu**

Leitað hefur verið leiða til að hefta útstreymi gróðurhúsalofttegunda sem verða til við framleiðslu í iðnaði. Þegar eru hafin verkefni sem miða að því að þróa aðferðir til að safna koldíoxíði úr útblæstri álvera og annað hvort nýta hann eða binda öðrum efnum. Einkum hafa verið skoðaðir möguleikar á að dæla koldíoxíði niður í basaltjarðlög og binda það þar. Einnig hefur verið skoðað hvort hægt er að nýta kolefnin í aðra framleiðslu, til dæmis til eldsneytisframleiðslu eða fóðurframleiðslu. Nánar er fjallað um þessa möguleika í kaflanum um orkuframleiðslu (sjá kafla 4.2.).

### **Eðalrafskaut**

Við bruna kolaskauta losnar um 1,5 tonn CO<sub>2</sub> á tonn af framleiddu áli. Talsverðar rannsóknir fara fram á kolefnislausum skautum, eða eðalrafskautum en enn er ekki komin lausn sem notuð hefur verið í fullri framleiðslu. Eðalrafskaut eru skaut sem leggja ekki til kolefni til sundrunar áloxiðs heldur losa fyrst og fremst um súrefni. Rafefnafræðileg spennu eykst en vegna minni skautunar við forskaut er búist við lægri spennuþörf. Einnig mætti gera ráð fyrir minni kostnaði við kerin.

Samkvæmt IPCC (Bernstein et al., 2007) er talið að það verði í fyrsta lagi um eða eftir 2020 sem eðalrafskaut verði komin á almennan markað. Búast má við að ný tækni verði fyrst sett upp í nýjum verksmiðjum en síðar við endurnýjun eldri framleiðslueininga.

### **Kolvarmaferli**

Eitt þeirra ferla sem nokkrar vonir eru bundnar við á sviði álvinnslu er hið svokallaða kolvarmaferli (carbothermic). Tilraunir hafa sýnt að kolvarmaferlið 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 orkuframleiðsluna (Bruno, M.j. 2004).

Auk þess er ferlið laust við flúorkolefni og laust við vanda sem forþökun kolskauta hefur í för með sér. Útstreymi CO<sub>2</sub> í framleiðslunni sjálfri eykst hins vegar nokkuð. Þessi aðferð skilar því litlum ávinningi hérlandis þar sem CO<sub>2</sub>-útstreymi frá raforkuframleiðslunni er lítið.

#### Samantekt yfir tæknimöguleika til minnkunar á útstreymi frá álverum

Meðfylgjandi er yfirlit yfir helstu aðferðir sem verið er að rannsaka til framleiðslu á áli.

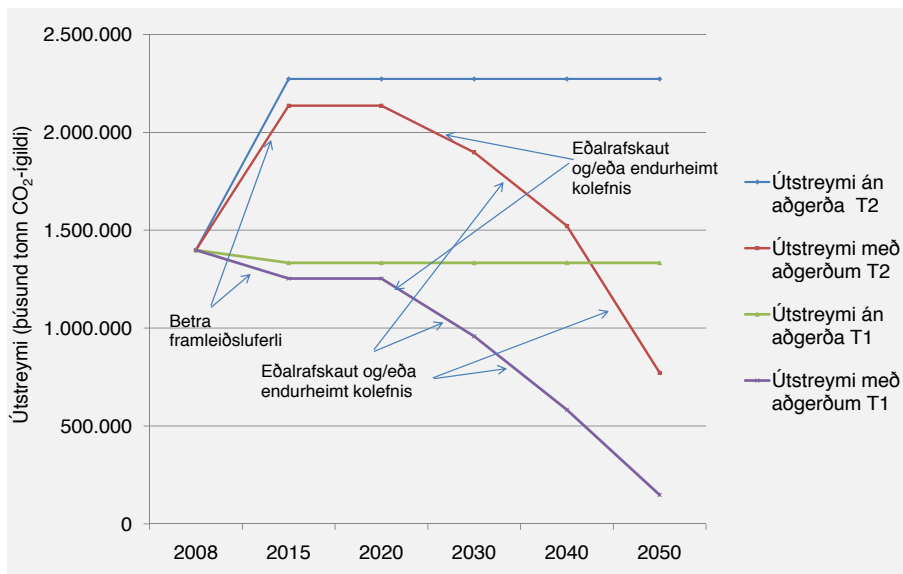
Framleiðslu ferli	Einkenni
Þurrkera tækni	Bakskaut nota TiB <sub>2</sub> . Skautbil for- og bakskauts má minnka niður í ~25 mm, sem gæti leitt til mun lægri spennu. Aðrir þættir væru óbreyttir frá núverandi tækni (E° ~ 1.2 volt, Δ <sub>min</sub> , electrolysis = 6.34 kWh/kg).
Eðalrafskaut með framleiðslu súrefnis	Í stað kolefnisforskaunts er komið fyrir efni sem ekki tekur þátt í hvarfinu, heldur losar um súrefni. Rafefnafræðileg spenna eykst um 1 V (E° ~ 2.2 volt), en vegna minni skautunar við forskaut er búist við lægri spennuþörf en ella (Δ <sub>min</sub> , electrolysis=9.26 kWh/kg). Einnig má gera ráð fyrir minni kostnaði við kerin.
Klóríð ferli	Áloxíði yrði breytt í (anhydrous) AlCl <sub>3</sub> . Að því loknu yrði AlCl <sub>3</sub> brotið niður með rafefnafræðilegum aðferðum við um ~700°C (E° ~ 1.8 volt, Δ <sub>min</sub> , electrolysis = 6.34 kWh/kg). Loks yrði klórinn endurnýttur.
Súlfíð ferlið	Áloxíðinu breytt í (anhydrous) Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub> . Álsúlfíðið brotið niður í endurnýjanlegan brennistein og ál (E° ~ 1.0 V) í fjölpóla kerri (Δ <sub>min</sub> , electrolysis = 5.24 kWh/kg).
Kolvarma ferli	Flytur áloxíðið í Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> (oxycarbide) með efnafræðilegu ferli við hita við T > 1700°C. Að því loknu er karbíð látið hvarfast við súrefni til þess að mynda CO og framleiða ál við yfir 2000°C. (Δ <sub>minimum</sub> = 9.0 kWh/kg).

Tafla 4-25. Yfirlit yfir helstu framleiðsluferli sem nú eru gerðar tilraunir með í álframleiðslu, upplýsingar frá *Journal of Metals*.

#### 4.4.2.5 Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati

Eins og að framan greinir hefur á undanförunum árum dregið umtalsvert úr útstreymi við álframleiðslu. Segja má að tæknilegu lágmarki með núverandi tækni sé nánast náð. Þó má gera ráð fyrir að enn frekari umbætur í framleiðslustýringu og rafvæðingu skili nokkru. Að öðru leyti er horft til tækninýjunga þ.e. að eðalrafskaut verði tekin í notkun frá 2030 og leiði til 66% lækkunar á útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá 2030 til 2050, miðað við ef ekkert er að gert. Þetta er mjög háð því að aðstæður verði tækninni í hag.

Í töflunni hér að neðan er gert ráð fyrir því að útstreymi við álframleiðslu sé um 1,64 t/t á árinu 2008. Gert er ráð fyrir að unnt sé með almennum aðgerðum að draga úr því útstreymi um 6% þannig að það verði að meðaltali 1,54 t/t árið 2015. Þessi samdráttur næst ef gert er ráð fyrir því að öll álfyrirtæki nái sama árangri og Rio Tinto Alcan árið 2005 þegar útstreymi flúorkolefna var 0,04 t/t. Hins vegar getur þessi tala



Mynd 4-38. Spá um heildarútstreymi álframleiðslu á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildi (tilvik 1 og tilvik 2).

	Framleiðslugeta	Útstreymi án aðgerða (T2)	Útstreymi með aðgerðum (T2)	Athugasemdir
2008	790.000	1.398.000	1.398.000	
2015	1.356.000	2.272.000	2.136.000	6% almenn minnkun útstremis
2020	1.356.000	2.272.000	2.136.000	
2030	1.356.000	2.272.000	1.897.000	Eðalrafskaut og/eða endurheimt kolefnis við 250.000 tonn
2040	1.356.000	2.272.000	1.522.000	Eðalrafskaut og/eða endurheimt kolefnis við 500.000 tonn
2050	1.356.000	2.272.000	772.000	Eðalrafskaut og/eða endurheimt kolefnis við 1 Mt

Tafla 4-26. Spá um heildarútstreymi álframleiðslu á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildi (tilvik 2).

sveiflast nokkuð milli ára og ræðst það af því hvenær nýjar framleiðslueiningar eru teknar í notkun. Gert er ráð fyrir að þessi árangur náist við stöðugan og jafnan rekstur. Það er keppikefli fyrirtækjanna að ná þessum árangri þar sem reksturinn verður stöðugri, afköst betri og gæði framleiðslunnar jafnari.

Eins og áður hefur komið fram er búist við að eðalrafskaut verði fyrst almennt fánleg um 2020 og jafnvel síðar. Víst er að álfyrirtækin leggja töluvert í rannsóknir á þessu sviði en erfitt er að afla upplýsinga um stöðu mála þar sem þau varast mjög að gefa frá sér upplýsingar sem haft geta áhrif á möguleika þeirra til að afla sér einkaleyfa. Eins eru þau skráð á almennan hlutabréfamarkað og öll upplýsingagjöf lýtur ströngum reglum. Eins er ekki ljóst hvernig framtíðaruppbyggingu nýrra fyrirtækja verður háttáð á þessu sviði hér á landi.

Í töflu 4-26 og á mynd 4-38 eru tekin dæmi um hugsanlega þróun á útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá áliðnaði með öllum þeim fyrirvörum sem unnt er að hafa. Sett er fram dæmi þar sem útstreymi á hvert tonn af framleiddu áli er óbreytt frá því sem nú er og annað dæmi þar sem þróunin er skoðuð miðað við forsendur um tækni-framfarir sem reifaðar eru hér að framan. Erfitt er að spá um tækniþróun en hér er því spáð að tilkoma eðalrafskauta og/eða endurheimt kolefnis muni draga úr útstreymi á næstu áratugum. Tilvik í útstreymisspá Umhverfisstofnunar til 2050 gerir ráð fyrir að framleiðslan, sem nú er 790.000 tonn (tilvik 1), aukist í 1.356.000 tonn (tilvik 2) sem er það magn sem heimilt er að framleiða samkvæmt starfsleyfum (sjá mynd 4-38).

Ef horft er til tilviks 1, í samanburði við tilvik 2, er búist við að útstreymi miðist við sama framleiðslumagn og nú er, eða um 790 þúsund tonn. Í því tilviki er útstreymi mun minni eða um 41% lægri ef engar mótvægisáðgerðir eru innleiddar.

Þó hér séu eðalrafskaut og endurheimt kolefnis nefnd sem dæmi um tækniþróun þá getur tæknin að sjálfsögðu þróast á annan og ófyrirsjáanlegan hátt og aðrar leiðir komið til greina. Víst er að það er og verður verulegur þrýstingur á fyrirtækin að ná árangri á þessu sviði. Þar sem möguleikar til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá áliðnaðinum eru flestir tengdir tæknilausnum sem búast má við eftir 2020, eru ekki forsendur að þessu sinni til að meta kostnað þessarar lausna.

#### **4.4.2.6 Heildarkostnaður og -ávinningur**

Það er ekki gert ráð fyrir að sérstakur kostnaður fylgi því að draga úr útstreymi um 6% sbr. umfjöllunina hér að framan. Gert er ráð fyrir að það sé hagur fyrirtækjanna að draga úr þeirri truflun sem spennuris (og um leið útstreymi flúorkolefna) valda í rekstri fyrirtækjanna. Aukinn hvati mun auk þess fylgja því að áliðnaður mun falla undir viðskiptakerfi ESB með útstreymisheimildir frá 2013. Þá mega fyrirtækin búast við því að þurfa að kaupa hluta af sínum útstreymisheimildum á markaði sérstaklega ef útstreymi þeirra er meira en meðaltal þeirra 10% fyrirtækja sem valda minnstu útstreymi gróðurhúsalofttegunda í Evrópu.

Útilokað er á þessu stigi að segja nokkuð um þann kostnað sem fylgir eðalskautum eða notkun annarar framleiðslutækni en nú er notuð. Þessar aðferðir eru hvergi í notkun og nokkur tími mun líða áður en það verður. Þá verður ný tækni fyrst notuð við byggingu nýrra fyrirtækja en síðar við endurnýjun þeirra sem eldri eru. Þó má búast við að kostnaður verði mestur fyrst eins og jafnan er þegar ný tækni er tekin í notkun en lækki síðan smátt og smátt.

### **4.4.3 Sementsframleiðsla**

#### **4.4.3.1 Sementsframleiðsla á Íslandi**

Sement er framleitt í næstum öllum löndum heims. Heildarframleiðslan var 2200 milljón tonn árið 2005 og eykst hún um 2,5% á ári (Bernstein et al., 2007). Sementsverksmiðjan á Akranesi framleiddi árið 2007 um 148.000 tonn og hafði framleiðslan aukist um 30% frá 1990. Þrjár tegundir af sementi eru framleiddar: Kraftsment, Portlandsment og hraðsment. Hráefni Sementsverksmiðjunnar eru skeljasandur, líparít og basaltsandur. Skeljasandinum er dælt upp af sjávarbotni. Líparítið er unnið úr námu í Hvalfjarðarbotni og flutt með bifreiðum til verksmiðjunnar en basaltsandur er unninn úr sandfjöru við bæinn Hvítanes. Í sementið er blandað 5–6% af gipsi

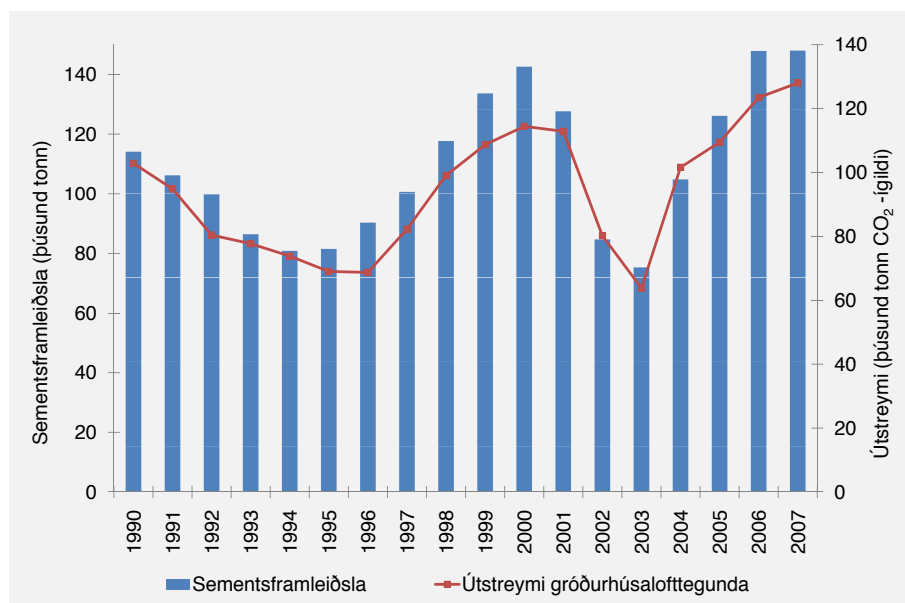
og 4–6% af kísilyrki. Kísilyrki er blandað í sementið til þess að varna skaðlegri alkálíþenslu í steypu og til þess að bæta aðra eiginleika sementsins. Kísilyrkið sem notað er í Sementsverksmiðjunni er aukaafurð járnblendiverksmiðjunnar á Grundartanga.

Framleiðsla sements skiptist í gjallframleiðslu og sementsframleiðslu. Við gjallframleiðslu er hráefnunum blandað saman við vatn og þau síðan finnmöluð. Úr þessari blöndu er við háan hita framleitt sementsgjall en við það losnar CO<sub>2</sub> úr hráefnunum. Koldíoxíð myndast að auki við bruna eldsneytis. Sementsgjallið er síðan malað ásamt viðbótarefnum og verður þá til sement. Hinn mikli brennsluhiti við framleiðsluna gerir kleift að nýta orkurík úrgangsefni eins og olíu, hjólbarða, plast og annan orkuríkan úrgang. Því hefur Sementsverksmiðjan um áraraðir gegnt mikilvægu hlutverki í nýtingu og brennslu úrgangs, s.s. úrgangsolíu og leysiefna, sem komið hafa í stað kolakurls. Einnig hefur framköllunarvökva verið eytt.

Útstreymi koldíoxíðs vegna sementsframleiðslu var 128.000 tonn árið 2007 eða 3% af heildarútstreymi Íslands. Útstreymið jókst um 25% milli 1990 og 2007 en á sama tíma jókst framleiðsla um 30%. Útstreymið hefur þannig minnkað hlutfallslega úr um 900 kg CO<sub>2</sub> á hvert tonn af framleiddu sementi árið 1990 niður í um 864 kg CO<sub>2</sub> á tonn árið 2007, eða um 4%. Þessi árangur hefur einkum náðst með bættri framleiðslustýringu og með framleiðslu á blönduðu sementi með auknu hlutfalli af óbrenndum efnum (sjá mynd 4-39).

#### 4.4.3.2 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Útstreymi frá sementsframleiðslu er ákaflega breytilegt milli heimshluta allt frá 0,6 tonnum CO<sub>2</sub>/tonn sements í Vestur-Evrópu til 0,9 tonna CO<sub>2</sub>/tonn sements í Kanada og Bandaríkjunum. Útstreymi að meðaltali á heimsvísu liggur á bilinu 0,814–0,870 tonn CO<sub>2</sub>/tonn sements (Worrell et al. 2001 og Humphrey og Mahasenan 2002). Útstreymi vegna sementsframleiðslu á Íslandi, 0,830 tonn CO<sub>2</sub>/tonn sements, er nálægt heimsmeðaltali.



Mynd 4-39. Framleiðsla sements og útstreymi gróðurhúsalofttegunda 1990 til 2007.

#### 4.4.3.3 Tæknilegir möguleikar

Almennt er mögulegt að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sementsframleiðslu bæði í framleiðslu og við eldsneytisbruna. Á heimsvísu er einkum horft til tveggja þátta til að draga úr útstreymi frá sementsframleiðslu, þ.e. aukna notkun óbrennanlegra efna og notkun kolefnishlutlausra orkugjafa.

Hlutfallslegt útstreymi á hverja einingu af framleiddu sementi minnkar þegar hlutur sementsgjalls í tilbúnu sementi lækkar og hlutur óbrennanlegra efna er aukinn á móti. Nú þegar er framleitt blandað sement á Íslandi og nokkur árangur hefur náðst á þessu sviði eins og fram hefur komið. Tæknilega eru því ekki miklir möguleikar á að minnka útstreymi frá framleiðsluferlinu en gera má ráð fyrir að enn megi auka hlutfall óbrennanlegra efna í tilbúnu sementi og minnka útstreymi vegna tilbúins sements um nokkur prósent.

Um helmingur útstreymis gróðurhúsalofttegunda frá sementsframleiðslu kemur til vegna brennslu kolakurls sem eldsneytis. Vegna hins mikla hita sem myndast í ofnunum er hægt að nýta önnur efni sem orkugjafa að hluta til, til dæmis flokkaðan orkuríkan úrgang s.s. olíu, plastefni, timbur og dekk. Þó er talið að kolefnishlutlaust eldsneyti geti í mesta lagi komið í staðinn fyrir um helming eldsneytisnotkunar (Sementsverksmiðjan, 2008). Tæknilegar hindranir koma í veg fyrir að hægt sé nýta aðra orkugjafa en kol í miklu magni eins og stendur og umtalsverðar breytingar þurfa að koma til á tækjabúnaði. Ef nýta á orkuríkan úrgang í meira mæli þarf að tryggja að rétt sé staðið að söfnun og meðhöndlun þess úrgangs.

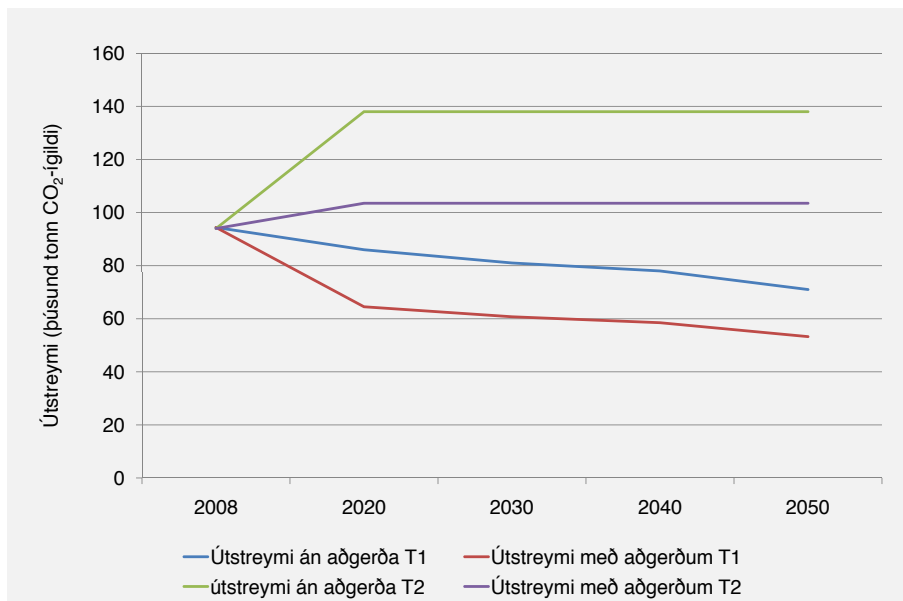
Verði tækjabúnaði verksmiðjunnar breytt þannig að hægt verði að nýta kolefnishlutlaust eldsneyti til helminga á móti kolakurli má búast við minnkun á útstreymi um 25% (sjá töflu 4-27 og mynd 4-40).

Heildarútstreymi í tilviki 1 við útstreymisspá Umhverfisstofnunar miðað við framleiðslumagn skv aðalspá Orkuspárnefndar og tilvik 2 miðast við útgefið starfsleyfi eða 125.000 tonn af sementsgjalli.

Eins og áður sagði minnkar útstreymi gróðurhúsalofttegunda um 25% í bæði tilvikum 1 og 2.

	Áætluð framleiðsla (þúsund tonn)	Útstreymi án aðgerða (þúsund tonn)	Útstreymi með aðgerðum (þúsund tonn)	Athugasemdir
2008	118	94	94	
2020	103	86	65	Kolefnishlutlaust eldsneyti
2030	97	81	61	
2040	93	78	59	
2050	85	71	53	

Tafla 4-27. Áætlað framleiðslumagn og útstreymi gróðurhúsalofttegunda miðað við óbreytt ástand annars vegar og aukna notkun kolefnishlutlauss eldsneytis hins vegar (Tilvik 1).



Mynd 4-40. Framtíðarspá útstreymis gróðurhúsalofttegunda frá sementsframleiðslu (Tilvik 1 og tilvik 2).

#### 4.4.3.4 Heildarkostnaður og -ávinningur

Til að mögulegt sé að auka hlut kolefnishlutlauss eldsneytis þarf að gera umtalsverðar breytingar á tækjabúnaði. Kostnaður við þessar breytingar er áætlaður um 1.900 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi. Þó verður að hafa í huga að verkefnið er því ekki einungis tæknilegs eðlis heldur þurfa að liggja fyrir samningar um öflun hráefnis, t.d. um flokkaðan úrgang, svo skoða þarf skipulag úrgangssöfnunar í því sambandi.

#### 4.4.4 Járblendir

Járblendiverksmiðjan á Grundartanga framleiddi árið 2007 um 114.000 tonn af kísiljárn en framleiðslugeta fyrirtækisins eru 120.000 tonn miðað við 75% kísilinnihald. Að auki framleiðir verksmiðjan kísilryk sem notað er til íblöndunar í sement eða steypu héraendis eða erlendis.

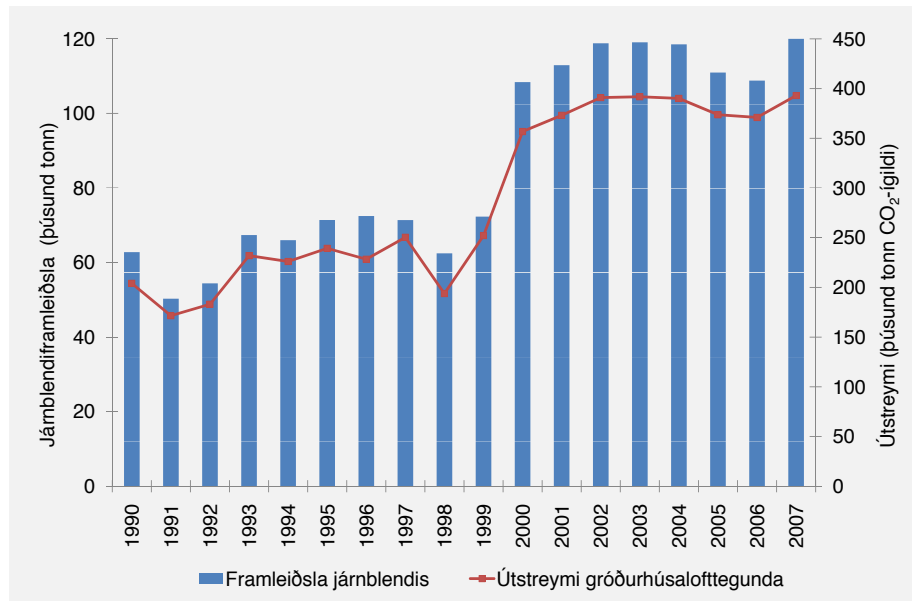
Kolefni er eitt af þeim hráefnum sem nauðsynleg eru til framleiðslu járblendis. Kolefnið er fengið úr kolum, koksi, timburkurlu og frá rafskautum. Í ofnum járnblendiverksmiðjunnar hvarfast kvars og járngrýti við kolefni og mynda kísiljárn. Fljótandi kísiljárn er tappað úr ofnunum í deiglu og það svo stept í hleifa. Hleifararnir eru malaðir, efnið sigtað og þá er það tilbúið til útflutnings. Ofnarnir eru hálf-lokaðir með reykhettu yfir. Reykur frá ofnum er síaður í reykheinsivirki, þar sem kísilryki er safnað.

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2007 var alls 393.000 tonn CO<sub>2</sub> frá framleiðslunni og að auki losnuðu um 21.000 tonn CO<sub>2</sub> frá lífmassa (timburkurl/viðarkol) sem telst vera kolefnishlutlaust<sup>8</sup>. Útstreymi vegna framleiðsluferla er 99,5% og vegna eldsneytisnotkunar 0,5% og var útstreymið alls 8,8% af heildarútstreymi Íslands.

Síðan 1990 hefur bæði útstreymi og framleiðsla aukist. Útstreymi hefur aukist um 92% og framleiðsla um 81%. Útstreymið hefur á tímabilinu 1990–2007 verið á bilinu

8 Timbur telst kolefnishlutlaust eldsneyti vegna þess að kolefnið er í hringrás í andrúmsloftinu, en er ekki unnið úr jarðlögum líkt og jarðefnaeldsneyti (ekki er þá tekið tillit til útstreymis gróðurhúsalofttegunda vegna ræktunar, vinnslu og flutnings timbursins).

Mynd 4-41. Framleiðsla járnbendis og ústreymi gróðurhúsalofttegunda 1990 til 2007.



3,1–3,4 tonn CO<sub>2</sub> á hvert framleitt tonn af kísiljárni, sjá mynd 4-41, en hefur þó aukist um 6% síðan 1990.

#### 4.4.4.1 Samanburður á ústreymi gróðurhúsalofttegunda

Meðalústreymi við framleiðslu járnbendis er um 2,92 tonn CO<sub>2</sub> á hvert framleitt tonn og liggur ústreymi hérlandis ofan við það gildi (Sjardin 2003). Ekki liggja fyrir upplýsingar um einstök lönd eða frá einstökum framleiðendum en nokkur breidd virðist vera í þeim gögnum sem liggja á bak við ofangreint meðalústreymi.

#### 4.4.4.2 Tæknilegir möguleikar

Helstu möguleikar til að minnka ústreymi eru aukin notkun á timburkurli, nota raforku í stað brennslu á olíu og að fanga kolefni í ústreymi til framleiðslu á eldsneyti.

#### Notkun raforku í stað olíu

Tveir olíubrennarar hafa þegar verið teknir úr notkun hjá járnbendiverksmiðjunni og rafhitarar settir í þeirra stað. Stefnt er að því að taka þá tvo brennara sem eftir eru úr notkun á næstu árum. Þessar breytingar hafa í för með sér hreinan ávinning fyrir fyrirtækið. Áætlað er að hægt væri að draga úr ústreymi um tæpt tonn af ústreymi gróðurhúsalofttegunda í CO<sub>2</sub>-ígildum með þessum hætti.

#### Aukin notkun á timburkurli

Auka má hlutfall lífræns massa, þ.e. viðarkurls, sem kemur í stað kola og koks í framleiðslunni. Í dag er umfangsmikil endurvinnsla í gangi í verksmiðjunni en þar eru notuð um 18.000 tonn af timburkurli frá sorphirðu. Þetta er ígildi 21.000 tonna CO<sub>2</sub> sem annars myndu losna vegna brennslu kola. Tæknilega er ekki hægt að auka notkun á timburkurli nema til komi talsverðar fjárfestingar í breytingum á búnaði. Gera má ráð fyrir að rekstraraðilar leggi auk þess áherslu á að fyrir liggja samningar um öflun hráefnis, þ.e. viðarkurls, svo skoða þarf skipulag úrgangssöfnunar í samráði við söfnunaraðila. Talið er mögulegt að auka notkunina um 12.000-15.000 tonn af við-



arkurli á ári og myndi útstreymi gróðurhúsalofttegunda að sama skapi minnka um 14.000–17.500 tonn CO<sub>2</sub>. Ætla má að það taki um 3–5 ár að framkvæma þær breytingar sem til þarf og áætlað er að kostnaður við slíkt sé um 400 kr. á hvert tonn CO<sub>2</sub> (Munnleg heimild ELKEM Ísland, 2008). Að auki mætti draga úr útstreymi um 6 þúsund tonn í viðbót með því að nota einnig kurl úr fersku timbri. Ekki myndi þurfa að ráðast í frekari fjárfestingar til að nýta það kurl.

### Endurheimt kolefnis

Fræðilega er unnt að fanga kolefni úr útblæstri frá ofnum. Frá ofnunum kemur kolmónoxíð sem brennur við ofnfylluna og myndar koldíoxíð. Fram hafa komið hugmyndir um að nýta útblástur járnblendiverksmiðjunnar til framleiðslu tilbúins eldsneytis en úr CO<sub>2</sub> og vetni má framleiða metanól og annað eldsneyti. Fræðilega er mögulegt að fanga allan kolefnisútblástur úr járnblendiverksmiðjunni og nýta í tilbúið eldsneyti líkt og við jarðvarmaorkuverin, en nánar er fjallað um það í kafla um orkuframleiðslu. Þetta er langtíma verkefni sem kallar á miklar rannsóknir og þróun.

#### 4.4.4.3 Samantekt

Gera má ráð fyrir að útstreymi frá járnblendiframleiðslu verði óbreytt á næstu árum. Starfsleyfi ELKEM Ísland miðar við að framleiðsla aukist sem svarar einum ofni til viðbótar við þá þrjá sem þegar eru í notkun. Verði af því er hér gert ráð fyrir því að sá ofn verði lokaður með endurheimt kolefnis og útstreymi því óverulegt þar sem gert er ráð fyrir að kolefnið yrði nýtt eða bundið.

Gert er ráð fyrir að útstreymi gróðurhúsalofttegunda sem hlutfall af framleiðslu standi í stað útspátímabilið í eldri framleiðslueiningum og er miðað við útstreymi árið 2006 þ.e. 3,4 tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á hvert framleitt tonn af kísiljárn.

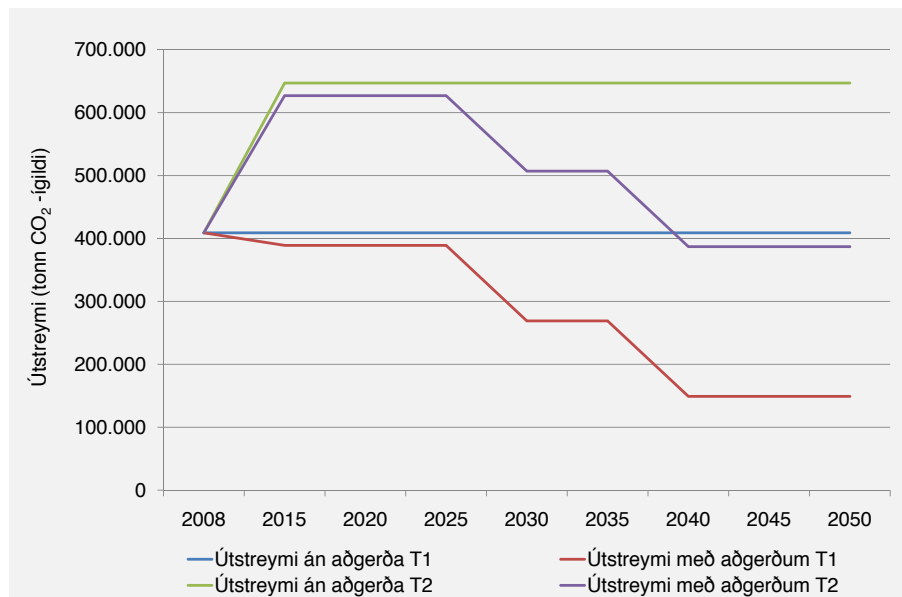
Í töflu 4-28 og á mynd 4-42 eru skoðaðar tvær leiðir, önnur sýnir útstreymi gróðurhúsalofttegunda við óbreytt ástand (bæði tilvik 1 og tilvik 2) en hin sýnir mögulega þróun verði gripið til þeirra aðgerða sem fjallað er um hér að framan. Til skemmri tíma er litið til aukinnar notkunar á viðarkurli og minni notkunar á olíu. Til lengri tíma er horft til fongunar á kolefni úr útblæstri.

	Útstreymi án aðgerða	Útstreymi með aðgerðum	Athugasemdir
2008	409.000	409.000	
2015	409.000	389.000	Aukin notkun viðarkurls og minni olíunotkun
2020	409.000	389.000	Nýr ofn lokaður og endurheimt kolefni
2030	409.000	269.000	Endurheimt kolefnis frá tveimur ofnum
2050	409.000	149.000	Endurheimt kolefnis frá þremur ofnum

Tafla 4-28. Framtíðarspá útstreymis gróðurhúsalofttegunda frá járnblendiframleiðslu (tilvik 1).

Í tilviki 2 er gert ráð fyrir að framleiðsla aukist frá 120 þúsund tonnum í 190 þúsund tonn og að útstreymi aukist við óbreyttar aðgerðir úr 409 í 647 þúsund tonn. Í

Mynd 4-42. Framtíðarspá útstreymis gróðurhúsalofttegunda frá járnblandiframleiðslu (Tilvik 1 og tilvik 2).



mótvægisáðgerðum er gert ráð fyrir aukinni notkun viðarkurls og að nýjum ofnum (tilvik 2), og þeim gömlu (tilvik 1 og 2) verði lokað. Þar sem ekki er búist við í grunnspá að ofnum verði lokað fyrir 2020 eða að nýjar framleiðslueiningar hafi lokaða ofna má búast við umtalsverðri aukningu í útstreymi frá járnblandiframleiðslu við aukna framleiðslu ef lokun ofna og endurheimt kolefnis á sér ekki stað.

#### 4.4.4.4 Heildarkostnaður og -ávinningur

Hér hefur verið fjallað um þrjár leiðir sem eru færar til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá járnblandiframleiðslu og kallar hver þeirra á fjárfestingar.

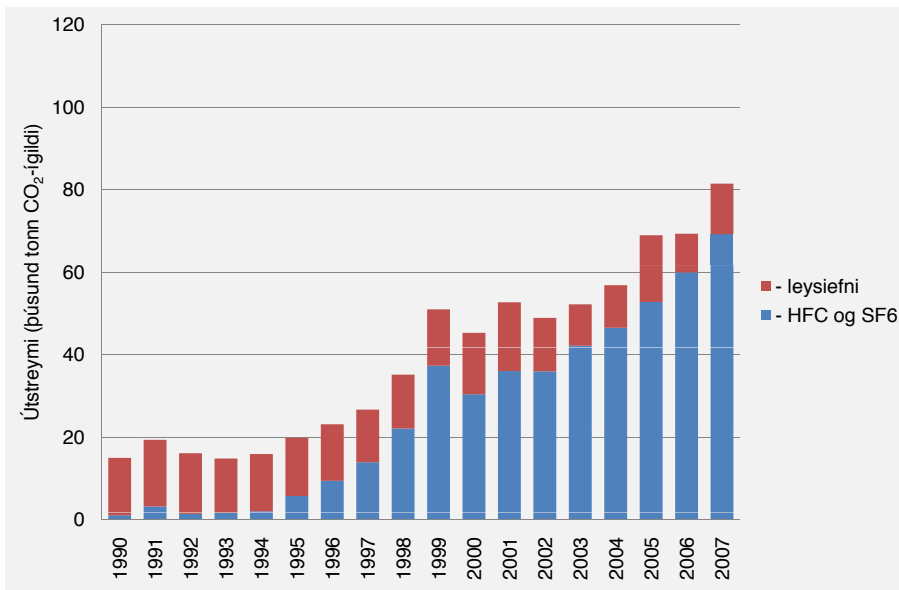
Unnið verður áfram að því að draga úr olíunotkun. Aukin notkun á timburkurli kallar á fjárfestingar í tækjabúnaði. Til þess að unnt sé að fara út í þá fjárfestingu verður að tryggja að nægjanlegt magn af timburkurli fáiast og að það uppfylli gæðakröfur. Til þess þarf samstarf söfnunaraðila og verksmiðjunnar. Ætla má að það taki um 3–5 ár að framkvæma þær breytingar sem til þarf og áætlað er að kostnaður við slíkt sé um 400 kr. á hvert tonn.

Fræðilega er unnt að fanga kolefni frá járnblandiverksmiðjunni. Slíkt er hins vegar ekki stunduð í neinni járnblandiverksmiðju í heiminum í dag. Þetta kallar því á verulega rannsókn- og þróunarvinnu og eru rekstrarforsendur slíkrar endurvinnslu því alls óþekktar. Því liggja ekki fyrir neinar áætlanir né heldur um umfang hugsanlegra fjárfestinga og arðsemi þeirra.

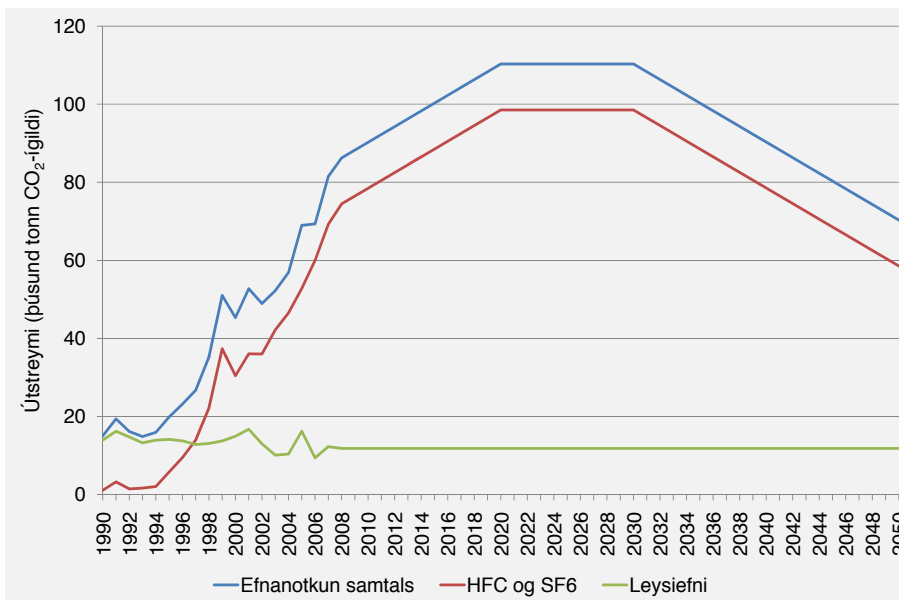
#### 4.4.5 Efnanotkun

Flokkurinn efnanotkun skiptist í notkun leysiefna og HFC efna og taldi 1,8% af heildarútstreymi Íslands árið 2007. HFC efni eru notuð sem kælimiðill í kælikerfum, ís-skápum og loftkælubúnaði bíla. Einnig er HFC notað sem drifefni í lyf og í gabb- og spaugvarning, þó í mjög litlum mæli sé. Notkunin er mest í stórum kælikerfum í landi en einnig er HFC notað sem kælimiðill í nokkrum fiskiskipum.

Eins og sjá má á mynd 4-43 hefur útstreymi vegna efnanotkunar aukist um 443%



Mynd 4-43. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna efnanotkunar árin 1990 til 2007.



Mynd 4-44. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna efnanotkunar 1990 – 2050.

síðan 1990. Þar telur aðallega aukning HFC efna og SF<sub>6</sub>, en útstreymi vegna notkunar leysiefna hefur minnkað um 12%.

Í losunarspá Umhverfisstofnunar er gert ráð fyrir að útstreymi leysiefna verði hið sama og meðaltal síðustu 5 ára út spátímabilið eða 12.000 tonn.

Aukið útstreymi HFC efna stafar af því að stór kælikerfi voru tekin í notkun á síðustu árum í verslunarmiðstöðvum. Leki frá stórum kælikerfum er þó að jafnaði frekar líttill. Töluverð aukning hefur einnig verið í notkun þessarra efna í loftkælibúnaði bíla. Endurfylla þarf á loftkælikerfin á um þriggja ára fresti og eins hugsanlega ef bílar lenda í óhöppum.

Vegna aukins útstreymis HFC efna sem orðið hefur síðustu ár er gert ráð fyrir í losunarspá Umhverfisstofnunar að útstreymi HFC aukist um 2.000 tonn á ári frá

2007 til 2020, standi svo í stað til 2030 í 99.000 tonnum, og minnki síðan um tvo tonn árlega til 2050, þar sem efnum með háan hlýnunarmátt verði skipt út fyrir efni með lægri hlýnunarmátt, sjá mynd 4-44.

#### **4.4.5.1 Tæknilegir möguleikar**

Það er ljóst að hægt er að minnka útstreymi vegna efnanotkunar til dæmis hvað varðar notkun kælimiðla í sjávarútvegi. Þar hefur útstreymið verið um 10 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á ári. Mögulegt er að draga úr þessu útstreymi t.d. með notkun kælimiðla sem ekki innihalda gróðurhúsalofttegundir heldur t.d. ammóníak (Loftslagsnefnd sjávarútvegsins, 2009).

Þar sem ekki er gerður greinarmunur á uppruna útstreymis í bókhaldi Umhverfisstofnunar er ekki hægt að þessu sinni að meta mögulegar aðgerðir til að draga úr útstreymi umfram það sem gert er í losunarspá Umhverfisstofnunar. Gagnaöflun í þessum flokki hefur verið bætt að einhverju leyti á árinu 2009, en ekki reyndist unnt að nýta niðurstöðurnar við gerð þessarar skýrslu.

#### **4.4.6 Mannvirkjagerð og annar iðnaður**

Til mannvirkjagerðar telst útstreymi vegna litaðrar olíu og olíu sem seld er utan dælu. Þessi olía fer fyrst og fremst á farartæki og vinnuvélar sem eru staðsett á framkvæmdasvæðum. Almennt eru þetta tæki sem eyða meiri olíu til vinnu en til aksturs. Eknar vegalengdir eru að jafnaði stuttar og innan svæðanna en eitthvað er þó um flutninga til og frá svæðum. Um er að ræða framkvæmdir við byggingar þ.e. gerð íbúðar- og atvinnuhúsnæðis og framkvæmdir sem tengjast innviðum samfélagsins, þ.e. vegagerð, virkjunum, gerð flugvalla, skolplögnum, raflögnum og fleiru.

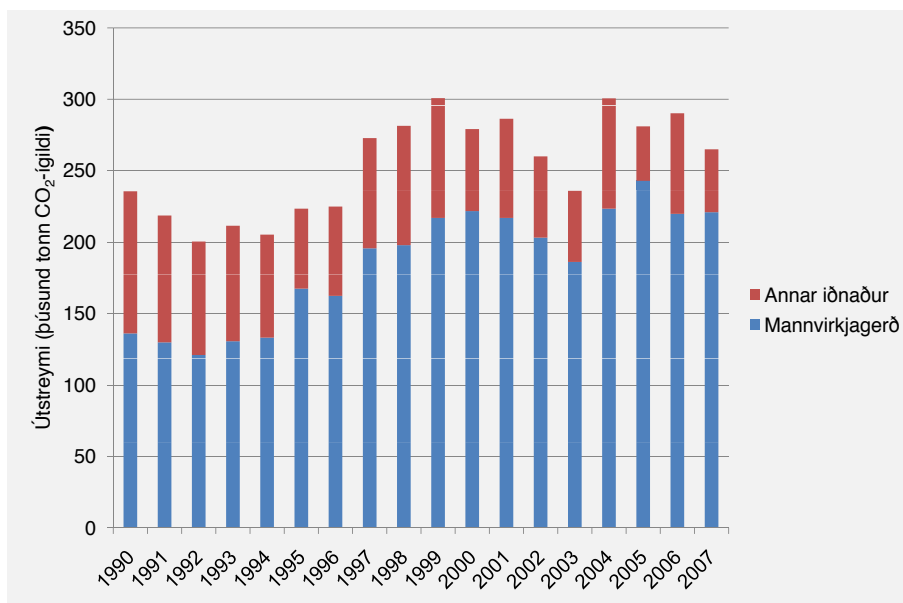
Útstreymi vegna mannvirkjagerðar jókst úr 136.000 tonnum CO<sub>2</sub> árið 1990 og í 221.000 tonn CO<sub>2</sub> árið 2007, sjá mynd 4-45, en aukið útstreymi má skýra með auknum framkvæmdum svo sem vegna aukinnar byggingastarfsemi og framkvæmda við virkjanir og stóriðju.

Undir liðinn „annar iðnaður“ fellur útstreymi vegna starfsemi iðnfyrirtækja, s.s. steinullarverksmiðju, malbikunarstöðva og brennslu eldsneytis í öðrum iðnaði. Þetta útstreymi fer minnkandi enda eru nokkur fyrirtæki sem starfandi voru árið 1990 nú aflögð. Árið 1990 var útstreymið 100.000 tonn CO<sub>2</sub> á ári en árið 2007 var það 44.000 tonn.

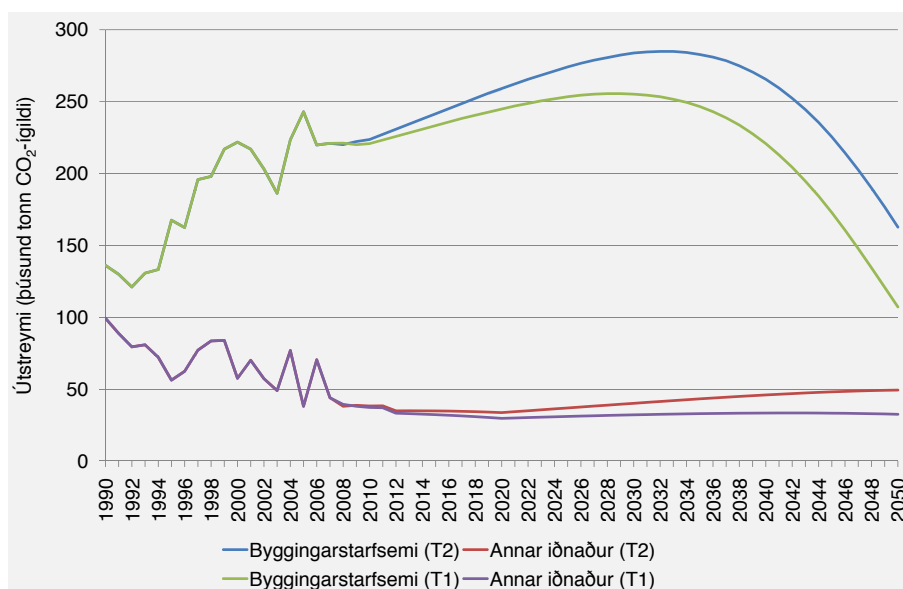
Útstreymisspá Umhverfisstofnunar fyrir mannvirkjagerð og annan iðnaði byggir á eldsneytisspá Orkuspárnefndar (mynd 4-46). Sem fyrr eru tvö spátilvik tiltekin; spátilvik 1 byggir á að núverandi framleiðslumagn haldist stöðugt, en í spátilviki 2 er gert ráð fyrir að framleiðslutölur aukist nokkuð. Umhverfisstofnun spáir að útstreymi vegna mannvirkjagerðar muni minnka, líkt og í samgöngum, vegna aukinnar notkunar loftslagsvænna orkugjafa.

#### **4.4.6.1 Tæknilegir möguleikar**

Í mannvirkjagerð eru möguleikar helst taldir liggja í þróun og aukinni notkun nýrra orkugjafa, líkt og í samgöngugeiranum. Kemur og þá helst til íblöndun lífdísils. Einnig má ætla að nokkur tækifæri liggja í betra skipulagi vinnu og flutninga, t.d. flutninga með byggingarefni og úrgang en dæmi eru um að aka þurfi langar leiðir til að losa jarðefni og annan úrgang frá framkvæmdasvæðum. Fyrir um áratug síðan voru gerðar breytingar á vörugjöldum á atvinnutæki sem auðvelduðu endurnýjun á tækjum.



Mynd 4-45. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna mannvirkjagerðar og annars iðnaðar árin 1990 til 2007.



Mynd 4-46. Útstreymi frá mannvirkjagerð og öðrum iðnaði, spá til ársins 2050.

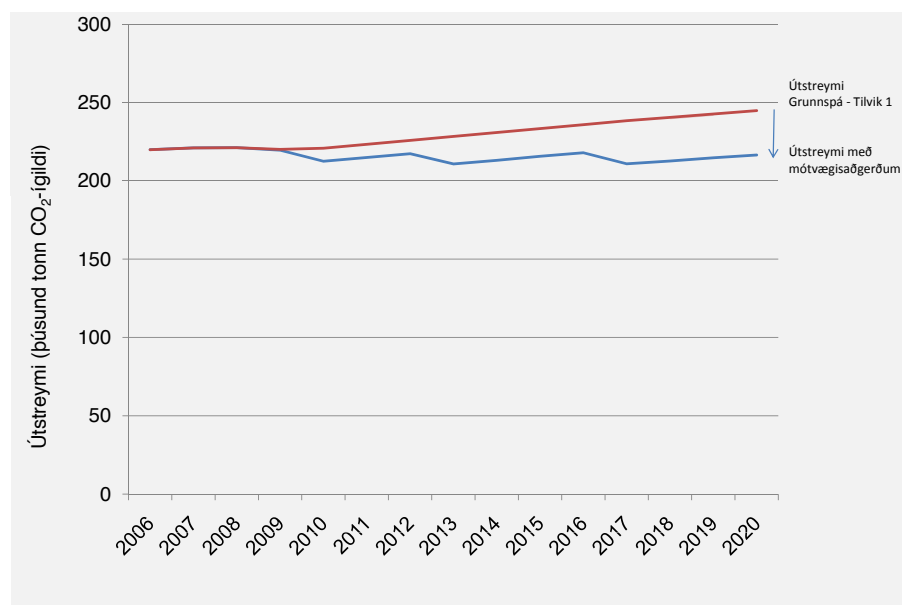
Við þá breytingu voru eldri tæki aflögð og í staðinn komu nýrri tæki með betri eldsneytisnýtingu. Frekari samdráttur ræðst af tækniþróun og endurnýjun tækjanna.

### Notkun lífdísilolíu

Lífdísilolía er esterar af fitusýrum sem unnin er úr lífrænni olíu. Hægt er að nota fiturík fræ, þörungur og jafnvel úrgangsfitu eins og notaða steikingarolíu. Ræktun olíuríkra þörungur er enn á þróunarstigi, en hins vegar er vitað að þörungur gefa meiri olíu og lífmassa af sér á hverja flatarmálseiningu en ræktun jurta. Aðferðin við olíuvinnsluna er aftur á móti vel þekkt. Olían er pressuð úr fræjunum eða þörungunum, hreinsuð og umestruð með metanóli eða etanóli. Við það fást esterar af fitusýrum og glýseról. Metýl/etáylesterana er hægt að blanda í dísilolíu en glýserólíð er

Lífdísilblöndun í dísilolíu fyrir tæki í mannvirkjagerð	2009-2020	
	Uppsafnaður samdráttur í losun GHG (RA)	210
	Kostnaður á tonn kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi	4600

Tafla 4-29. Kostnaður á tonn og minnkun í útstreymi 2009 til 2020 fyrir íblöndun lífdísilolíu í dísilolíu fyrir mannvirkjagerð.



Mynd 4-47. Útstreymi frá mannvirkjagerð til 2020 miðað við íblöndun lífdísils.

aukaafurð sem t.d. er hægt að nýta í snyrtivöruíðnaði. Einnig er algengt að nota mjöl sem verður eftir við pressun sem dýrafóður.

Gert er ráð fyrir að árið 2009 hefjist íblöndun lífdísils í dísilolíu fyrir tæki. Við þróun blöndunarhlutfalls er gert ráð fyrir að það verði um 11% árið 2020, um 14% árið 2030, um 19% árið 2040 og nær hámarki, rúmlega 25%, í kringum 2040.

#### 4.4.6.2 Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá tækjum getur minnkað, umfram afskiptalausá þróun, vegna notkunar lífdísils. Niðurstöður benda til að heildarkostnaður vegna þessara aðgerða verði um 4.600 kr/tonn koldíoxíð-ígildis á tímabilinu 2009-2020 (sjá töflu 4-29 og mynd 4-47) og mun þetta leiða til 11,3% minnkunar í útstreymi árið 2020 samanborið við afskiptalausá þróun.

#### 4.4.7 Samantekt

Árið 2007 var útstreymi vegna iðnaðar og efnanotkunar um 1845 þúsund tonn koldíoxíðs ígilda, eða um 41% af heildarútstreymi Íslands. Búist er við að útstreymi gæti aukist allt að 20% til ársins 2020, miðað við svipaða framleiðslugetu og nú samanber tilvik 1. Í tilviki 2 þar sem gert ráð fyrir að heildarframleiðsla sé samkvæmt starfsleyfum, yrði aukning útstreymis hins vegar um 88% árið 2020 miðað árið 2007.

Með frekari umbótum og framleiðslustýringu í álverum má minnka útstreymi

gróðurhúsalofttegunda frá álverum um 6%, en ólíklegt þykir að veruleg minnkun útstreymis verði möguleg fyrr en uppúr 2020 þegar eðalrafskaut taka hugsanlega að ryðja sér rúms eða föngun og binding kolefnis mun verða möguleg. Kostnaður við að minnka útstreymi frá álverum vegna notkunar eðalrafskauta er ekki þekktur, en gert er ráð fyrir að minnkun í útstreymi vegna betri framleiðslustýringar sé fyrirtækjunum að kostnaðarlausu.

Helstu möguleikar til að minnka útstreymi frá járnblendiframleiðslu er að auka notkun á timburkurli, nota raforku í stað olíu eða fanga kolefni í útstreymi t.d. til að framleiða eldsneyti. Líklegt er að hægt væri að nota alfarið raforku í stað þeirrar olíu sem notuð er hjá járnblendisverksmiðjunni og myndi það minnka útstreymi um nálaggt 1.500 tonnum af CO<sub>2</sub> á ári. Tveir olíubrennarar hafa þegar verið teknir úr notkun hjá járnblendiverksmiðjunni og rafhitarar settir í þeirra stað og stefnt er að því að taka þá tvo brennara sem eftir eru úr notkun á næstu árum. Þessar breytingar hafa í för með sér hreinan ávinning fyrir fyrirtækið. Enn fremur er talið mögulegt að auka notkun af viðarkurli úr notuðum við um 12.000-15.000 tonn á ári og minnka þar með útstreymi gróðurhúsalofttegunda um 14.000–17.500 tonn CO<sub>2</sub>. Kostnaður við slíkt er áætlaður um 400 kr. á hvert tonn. Að auki mætti draga úr útstreymi um 6 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda í viðbót með því að nota einnig kurl úr fersku timbri. Ekki myndi þurfa að ráðast í frekari fjárfestingar til að nýta slíkt kurl til viðbótar kurli úr notuðum við.

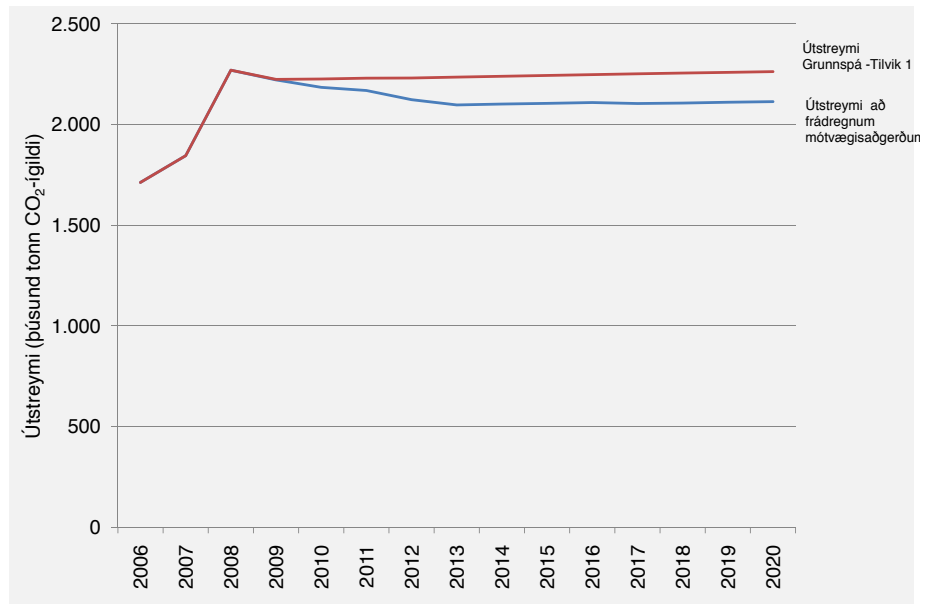
Fræðilega er mögulegt að fanga allan kolefnisútblástur úr járnblendisverksmiðjunni og nýta í tilbúið eldsneyti líkt og við jarðvarmaorkuverin. Þetta er langtímaverkefni sem kallar á umtalsverða rannsókn- og þróunarvinnu og kostnaður er alls óljós.

Við framleiðslu á sementsgjalli losnar koldíoxíð vegna efnaferla og eldsneytisnotkunar. Tæknilega eru ekki taldir miklir möguleikar á að minnka útstreymi frá ferlinu við framleiðslu á blönduðu sementi, en hægt ætti að vera að draga úr útstreymi vegna tilbúins sements um nokkur prósent. Um helmingur útstreymis gróðurhúsalofttegunda frá sementsframleiðslu kemur til vegna brennslu kolakurls sem eldsneytis. Talið er að hægt sé að skipta út allt að helmingi þessarar eldsneytisnotkunar fyrir kolefnishlutlaust eldsneyti. Þar sem um helmingur útstreymis frá sementsframleiðslu er vegna eldsneytisnotkunar, mun útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sementsframleiðslu minnka um 25%. Kostnaður við þessar breytingar er áætlaður um 1.900 kr. á hvert tonn af gróðurhúsalofttegundum.

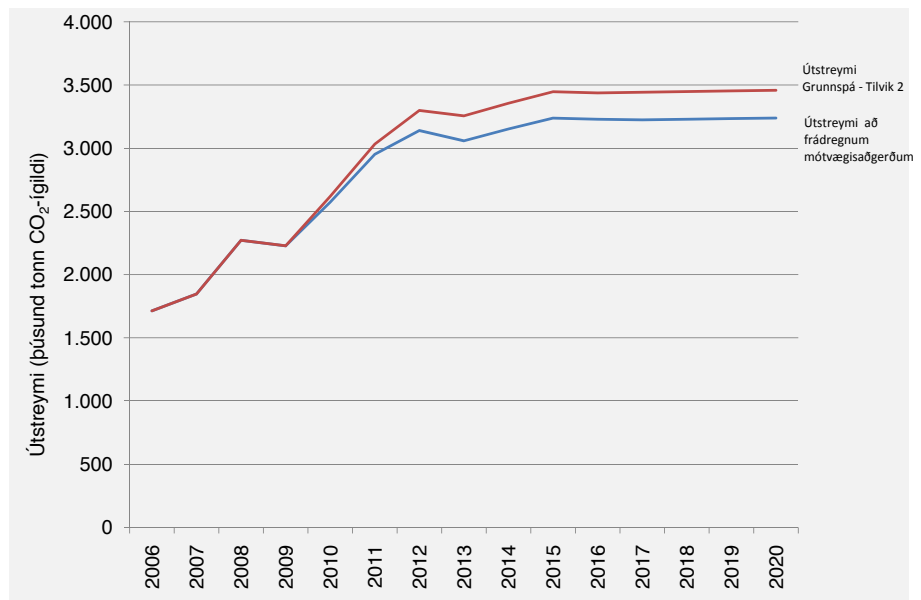
Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna mannvirkjagerðar stafar aðallega af olíunotkun á vinnuvélar og farartæki sem staðsett eru á framkvæmdasvæðum. Almennu eru þetta tæki sem eyða meiri olíu til vinnu en til aksturs. Eknar vegalengdir eru að jafnaði stuttar og innan svæðanna en eitthvað er þó um flutninga til og frá svæðum. Útstreymið helst því eðlilega í hendur við umfang framkvæmda. Tæknilegir möguleikar liggja helst í notkun annarra orkugjafa en olíu svo sem lífdísels. Einnig má ætla að nokkur tækifæri liggja í betra skipulagi vinnu og flutningi, tækniþróun og endurnýjun tækja. Talið er að árið 2020 verði hægt að minnka útstreymi frá mannvirkjagerð um 28 þúsund tonn á ári með íblöndun lífdísils, eða um 11%. Kostnaður er áætlaður um 4.600 krónur á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

Undir **annan iðnað** fellur útstreymi vegna starfsemi annarra iðnfyrirtækja, svo sem áburðarverksmiðju, steinullarverksmiðju, malbikunarstöðva og vegna brennslu eldsneytis í öðrum iðnaði. Útstreymi frá þessari starfsemi fer minnkandi, enda hafa nokk-

Mynd 4-48. Útstreymi vegna iðnaðar frá 2006 til 2020, og allar mótvægisáðgerðir (Tilvik 1).



Mynd 4-49. Útstreymi vegna iðnaðar frá 2006 til 2020, og allar mótvægisáðgerðir (Tilvik 2).



ur fyrirtæki, sem töldust til þessa geira, nú hætt starfsemi. Ekki var spáð fyrir um breytingar á útstreymi vegna þessarar starfsemi þar sem losunarspá Umhverfisstofnunar greinir ekki á milli mismunandi iðnaðar.

Flokkurinn **efnanotkun** skiptist í leysiefni og HFC efni og telur um 2% af heildarútstreymi Íslands. Upplýsingar um uppruna útstreymis frá þessum flokki eru brotakennar og eru mögulegar mótvægisáðgerðir því ekki skoðaðar.

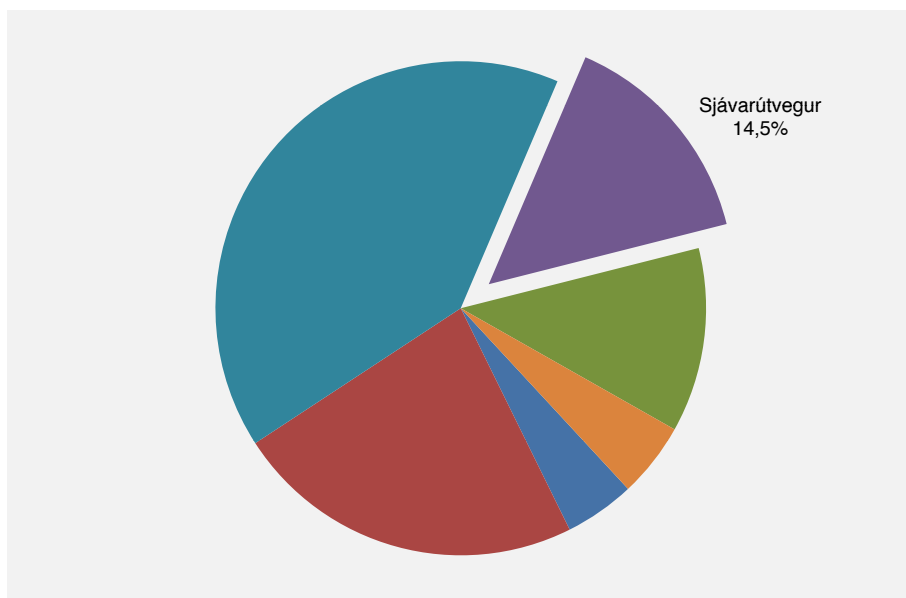
Í heild minnka því mótvægisáðgerðir til ársins 2020 útstreymi frá iðnaði og efnanotkun um 6,6% í tilviki 1 og 6,4% í tilviki 2 (sjá myndir 4-48 og 4-49).



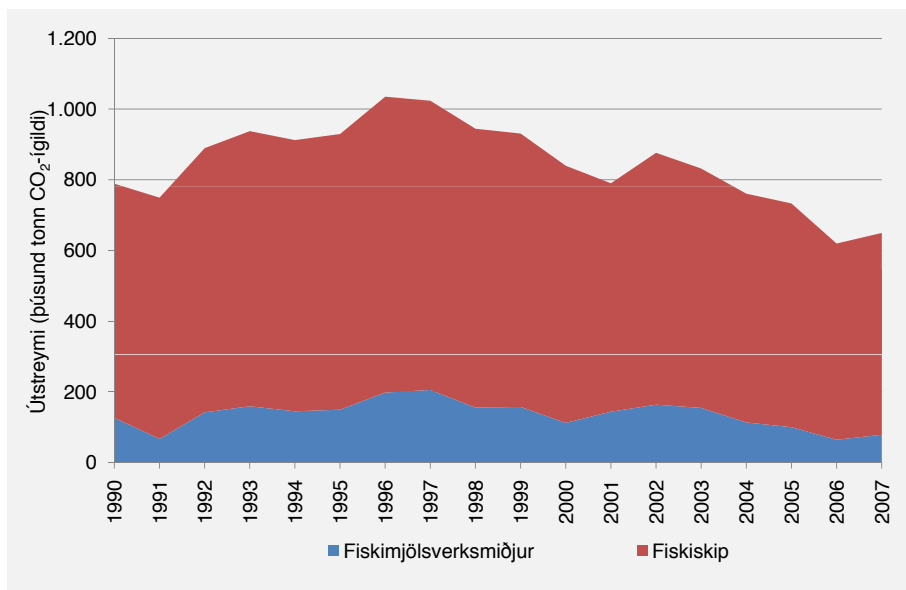
## 4.5 Sjávarútvegur

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna sjávarútvegs var 650 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi árið 2007 og hafði þá minnkað um rúm 17% síðan árið 1990. Útstreymi sjávarútvegs sem hluti af heildarútstreymi Íslands hefur því minnkað úr 23% frá árinu 1990 í 14,5% árið 2007.

Árið 2007 var um 12% útstreymis í sjávarútvegi frá starfsemi fiskmjölsverksmiðja en 88% vegna notkunar jarðefnaeldsneytis í fiskiskipum. Útstreymi í þessum flokki er 99% CO<sub>2</sub> og 1% N<sub>2</sub>O, en útstreymi vegna kælimiðla er undanskilið enda flokkað undir efnanotkunar sem fellur innan iðnaðargeirans.



Mynd 4-50. Útstreymi frá sjávarútvegi sem hlutfall af heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2007.



Mynd 4-51. Heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi.

#### 4.5.1 Fiskiskip

##### 4.5.1.1 Samsetning flotans og affli

Í árslok 2007 var fiskiskipaflotinn tæp 170.000 brúttótonn (bt) að stærð og hafði þá minnkað um 10.000 brúttótonn frá árinu áður. Flotinn stækkaði tímabundið í byrjun þessarar aldar vegna fjölgunar vélskipa, en stærð hans hefur dregist saman frá árinu 2004.

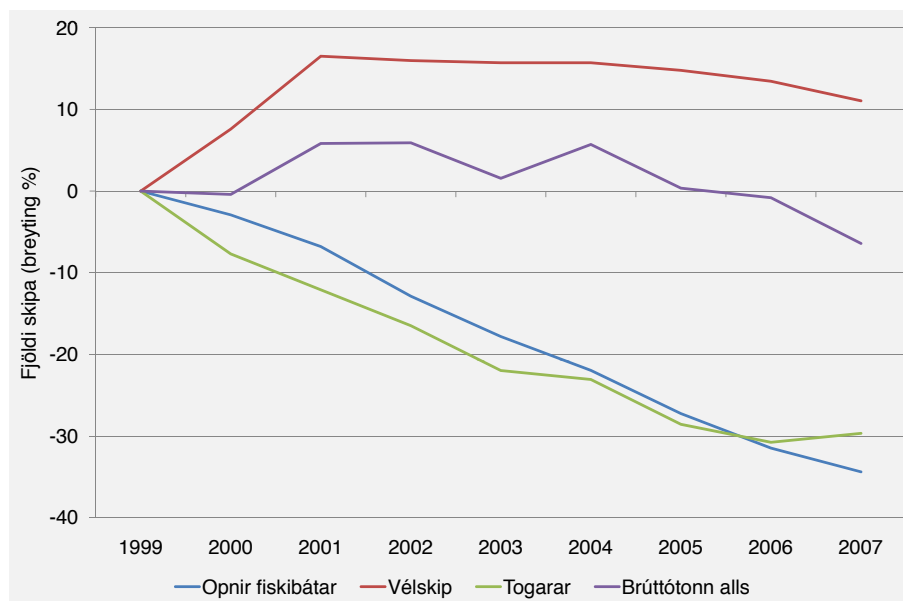
Árið 2007 voru í íslenska fiskiskipaflotanum 1.642 bátar og skip; 744 opnir fiskibátar, 834 vélskip og 64 togarar. Opnum fiskibátum og togurum fækkaði um 30% milli áranna 1999 og 2007. Vélskipum fjölgað hins vegar ört í byrjun þessa tímabils og náði fjöldi þeirra hámarki árið 2002 en þá voru þau 875 (Hagstofa Íslands).

Árið 2007 var heildaraflaverðmæti um 80 milljarðar króna og fengust 90% þessa verðmætis af Íslandsmiðum. Botnfiskaflinn stóð undir 75% af aflaverðmætinu og vóg þar verðmæti þorsk- og ýsuaflans þyngst. Veiðar á uppsjávarfiski sköpuðu 18% aflaverðmætisins, flatfiskveiðar rúm 5% og skel- og krabbadýraveiðar rúm 1%. Af veiðisvæðum utan Íslandsmiða var verðmæti norsk-íslenskrar síldar og kolmunna mest.

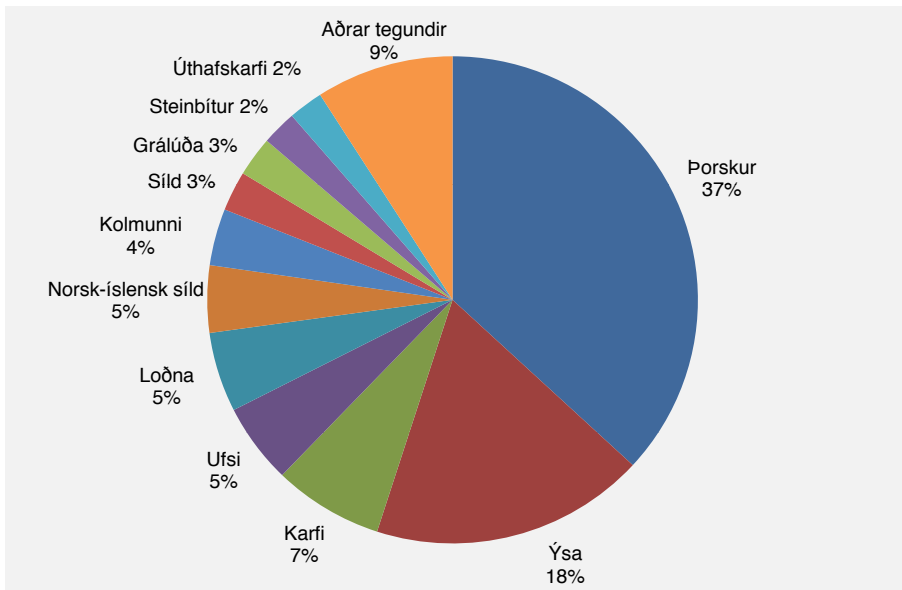
Stærstur hluti botnfiskaflans, 82%, fékkst með botnvörpu og með veiðum á línu; 13% fengust með net- og dragnótaveiðum. Uppsjávarfiskur var veiddur í flotvörpu (55%) og nót (45%). Flatfiskaflinn, aðallega grálúða, skarkoli og þykkvalúra, fékkst í botnvörpu (63%) og dragnót (33%) (Hagstofa Íslands).

##### 4.5.1.2 Olíunotkun og útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum

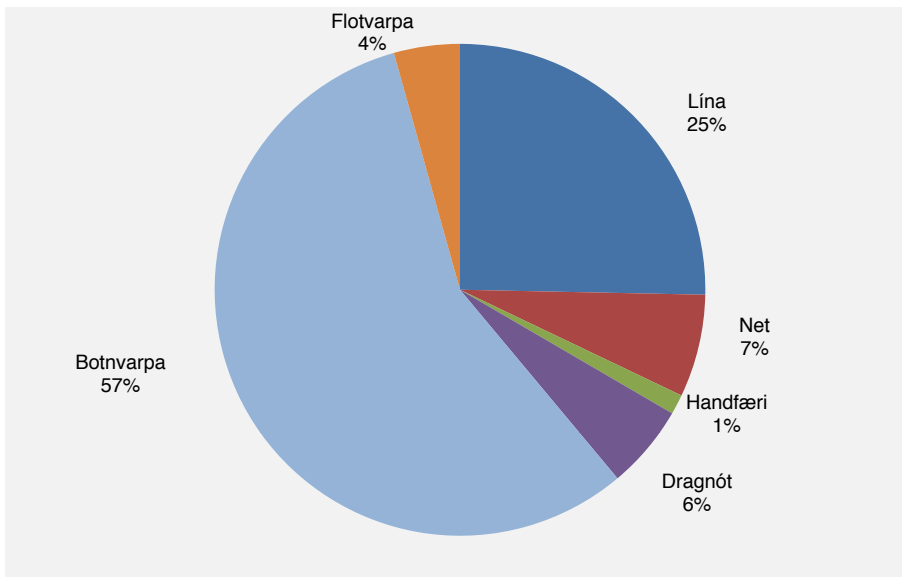
Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum er að mestu leyti koldíoxíð sem verður vegna olíunotkunar en einnig er lítilsháttar útstreymi HFC efna sem leka frá kæli- og frystibúnaði um borð í skipunum. Útstreymi HFC efna í sjávarútvegi er þó ekki talið með innan sjávarútvegsgeirans heldur fellur það innan iðnaðargeirans undir efnanotkun. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum jókst á árunum 1990 til 1996 þegar það náði hámarki en frá árinu 1996 hefur útstreymið farið minnkandi og var það um 14% minna árið 2007 en það var árið 1990 (sjá mynd 4-55). Á sama tíma hefur heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi aukist, aðallega vegna



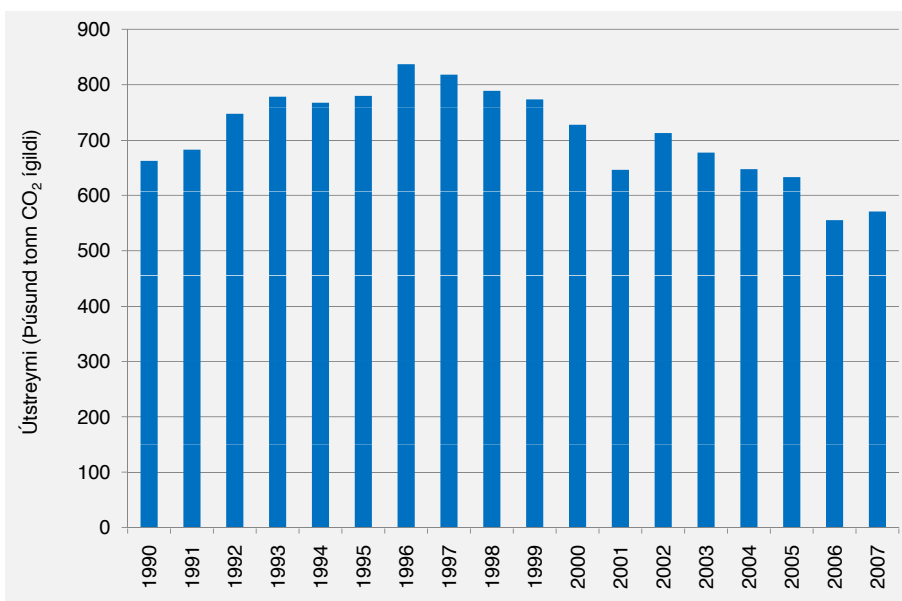
Mynd 4-52. Hlutfallsleg breyting í fjölda fiskiskipa og stærð fiskveiðiflotans (bt) árin 1999 – 2007 (Hagstofa Íslands).



Mynd 4-53. Aflaverðmæti eftir fisktegundum árið 2007 (Hagstofa Íslands).



Mynd 4-54. Hlutfall botnfisks í afla eftir veiðarfærum árið 2007 (Hagstofa Íslands).



Mynd 4-55. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum frá árinu 1990 til 2007.

aukins útstreymi frá orkufrekum iðnaði og samgöngum. Vægi útstreymi frá fiskiskipaflotanum í heildarútstreymi hefur því minnkað hlutfallslega úr 19,5% árið 1990 í 13% árið 2007.

Eldsneytisnotkun fiskiskipaflotans ræðst annars vegar af sókn og leyfðum heildarafla og hins vegar af eldsneytisnotkun á aflaeiningu. Samsetning flotans ræður þar miklu því olíunotkun er afar mismunandi eftir veiðarfærum og gerð og stærð skipa. Fjölmargir aðrir þættir hafa einnig áhrif, svo sem veðurfar og straumar, ástand og veiðanleiki fiskistofna, fjarlægð á mið, ásamt vél- og tæknibúnaði. Orsakir sveiflna í útstreymi frá 1990 til 2007, eru því margþættar en tengjast ætíð notkun á eldsneyti.

Árin 2003–2006 var um helmingur olíunotkunar fiskiskipaflotans hjá togurum og vinnsluskipum, um fjórðungur hjá bátum og um fjórðungur hjá uppsjávarskipum (Orkuspárnefnd 2008). Önnur skipting kemur í ljós þegar skoðuð er skipting aflans, en samkvæmt upplýsingum Hagstofunnar var afli togara og vinnsluskipa árið 2006, 16% heildaraflans, afli báta 16,5% og afli uppsjávarskipa 67,5%. Þessi munur á hlutfalli afla annars vegar og hlutfalli olíunotkunar hins vegar sýnir hinn mikla mun orkunotkunar á aflaeiningu milli gerða skipa og veiðarfæra.

Nokkrar rannsóknir hafa verið gerðar á olíunotkun fiskiskipa, svo sem af Emil Ragnarssyni (2006) og af Guðbergi Rúnarssyni sem hefur metið olíunotkunarstuðla fyrir árin 1997 og 2004. Tafla 4-30 sýnir olíunotkun á aflaeiningu fyrir nokkar gerðir fiskiskipa. Taflan sýnir t.d. að olíunotkun og þar með útstreymi hefur aukist nokkuð á aflaeiningu hjá loðnuskipum og stærri bátum síðan 1997, en minnkað umtalsvert hjá vinnsluskipum. Rannsóknir Eyþórs Björnssonar (2004) styðja niðurstöður Guðbergs (sjá töflu 4-31).

Rannsóknir Eyþórs ásamt gögnum frá Hagstofunni sýna að í samsetningu og þróun heildarafla frá 1992 hefur vægi flotvörpu farið vaxandi, en hún var lítið notuð þar til á síðasta áratug síðustu aldar (sjá Töflu 4-31). Í töflu 4-32 má sjá að hlutfallsleg notkun flotvörpu jókst frá 1992 til 2003 og sá afli sem veiddur var með nót minnkaði hlutfallslega frá 1997. Afli veiddur með botnvörpu minnkaði hlutfallslega frá 1992 til 1997 en jókst síðan aftur frá 2001.

Tegund Skipis	Olíunotkun árið 1997 kg olíu/kg fisks	Olíunotkun árið 2004 kg olíu/kg fisks
Bátar < 10 brl	0,127	0,102
Bátar > 10 brl	0,178	0,220
Bátar		0,200
Togskip	0,365	0,356
Vinnsluskip	0,602	0,432
Loðnuskip	0,025	0,034
Kolmunnaskip		0,078

Tafla 4-30. Olíunotkunarstuðlar fiskiskipa (Guðbergur Rúnarsson 2004).

Tegund skips	Flokkur veiðarfæra	Veiðarfæri	Eldsneytis notkun (l/tonn)	Hlutfall af heildarafla 2002 (%)	Samtals
Vélskip	Flotvarpa	Síldarflotvarpa	60	6%	30%
		Loðnuflotvarpa	32	11%	
		Kolmunnaflotvarpa	89	13%	
	Nót	Síldarnót	82	4%	44%
		Loðnunót	20	40%	
		Staðbundin	Lína, net og handfæri	140	6%
Skuttogarar	Botnvarpa	Botnvarpa, vélskip	350	2%	12%
		Botnvarpa, skuttogarar	490	10%	
		Samtals:		92%	

Tafla 4-31. Eldsneytisnotkun eftir veiðarfærum ásamt vægi afla viðkomandi veiðarfæra í heildarafla (Eyþór Björnsson 2004).

Flokkur veiðarfæra	Hlutfall af heildarafla (%)					
	2006	2004	2002	2000	1996	1992
Flotvarpa	40,1	42,2	32,7	24,8	5,9	0,9
Nót	21,9	27,7	44,0	50,1	66,9	58,5
Staðbundin veiðarfæri	12,9	9,2	7,0	8,1	7,3	11,2
Botnvarpa	21,7	16,5	12,2	13,0	12,2	23,3
Önnur veiðarfæri	3,5	4,4	4,3	4,0	7,8	6,1
Samtals	100	100	100	100	100	100

Tafla 4-32. Vægi afla viðkomandi veiðarfæra í heildarafla (Hagstofan og Eyþór Björnsson 2004).

#### 4.5.1.3 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Ef borið er saman útstreymi frá fiskiskipum á Íslandi og í Noregi kemur í ljós að norskri flotinn losaði 1,3 milljónir CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2005 sem er þrefalt meira en útstreymi frá íslenskum fiskiskipum. Hlutfall útstreymis norska fiskveiðiflotans vegur hins vegar aðeins 2,4% af heildarútstreymi Norðmanna á meðan útstreymi íslenska fiskveiðiflotans er um 13% af heildarútstreymi á Íslandi. Ef stærð norska flotans, sem var 10.648 skip árið 2002, er mældur í fiskiskipum í rekstri allt árið reiknast hann 2.206 fiskiskip. Samsvarandi fiskveiðifloti Íslendinga var 1.256 skip í árslok 2005.

Norðmenn hafa lagt mat á að tæknilegir möguleikar séu til að draga úr útstreymi norska flotans um 50.000 tonn CO<sub>2</sub> fram til ársins 2020. Þetta samsvarar 15.700 tonna minnkun í eldsneytisnotkun. Ef þessi tala yrði heimfærð á íslenska flotann sam-

Tegund veiða	Noregur** kg/kg	Ísland* kg/kg	Munur %
Veiðar vinnsluskipa	0,47	0,43	9
Togveiðar	0,43	0,36	19
Veiðar línuskipa	0,29	0,18	61
Lína, strandveiðar	0,18	0,13	38
Strandveiðar	0,17	0,13	31
Nótaveiðar	NA	0,03	NA
Kolmunnaveiðar	0,09	0,08	12,5

\* Orkunotkun og fiskveiðar 1990–1997, Guðbergur Rúnarsson, Togarar og vinnsluskip 2004.

\*\* Energireduferende tiltak innen norsk fiskeri, nov 2005.

Tafla 4-33. Samanburður á oliunotkun á aflaeiningu hjá norskum og íslenskum útgerðum, kg olíu á kg af afla.

svaraði það rúmum 7.800 tonnum eða minnkun um 3,3%. Auk þessa samdráttar munu Norðmenn leggja áherslu á að styðja við og hvetja til betri orkunýtingar og tækniframfara hjá fiskveiðiflotanum, framfylgja möguleikum á að nýta aðra orkugjafa í fiskiskipum og hvetja til að gerðar verði kröfur til nýrra fiskiskipa varðandi útstreymi koldíoxíðs.

Í töflu 4-33 er gerður samanburður á orkunotkun við veiðar í Noregi og á Íslandi. Tölurnar fyrir línuskip eiga við um báta stærri en 10 brl. og tölur fyrir línu og strandveiði eru frá bátum minni en 10 brl. Sem sjá má er orkunotkunin sambærileg fyrir togara, nótaveiðiskip og kolmunnaveiðiskip. Mikill munur er hins vegar á íslenskum og norskum vinnsluskipum og virðast þessi skip ekki eiga mikið sameiginlegt. Norsku vinnsluskipin hausa og heilfrysta en á íslenskum vinnsluskipum er aflinn fullunninn um borð (Loftslagsnefnd sjávarútvegsins 2008).

Íslenskur sjávarútvegur virðist standa almennt vel í alþjóðlegum samanburði hvað varðar útstreymi gróðurhúsalofttegunda miðað við tæknivædda fiskveiðiflota. Ástæður þess geta verið margar, en áhugavert væri að rannsaka tengsl orkunotkunar á aflaeiningu og stærð fiskistofnanna, þar sem líklegt er að sterkari stofnar leiði til minni orkunotkunar á aflaeiningu. Ljóst er að útgerðin hefur hag af því að spara eldsneyti og draga þar með úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

#### 4.5.1.4 Tæknilegir möguleikar

Til að stuðla að samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskveiðum er takmarkið að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis á aflaeiningu, það er að ná sama magni fisks úr sjó með minni tillitnaði og minna útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

Helstu þættir sem koma til greina til að draga úr útstreymi má flokka í þrjá flokka:

- eldsneytisparnaður
- loftslagsvænni orkugjafar
- aukin notkun landrafmagns

	Orkunotkun sem hlutfall af heildarorkunotkun
Á siglingu:	16,2%
Að kasta:	1,5%
Að toga:	76,2%
Um borð:	3,8%
Í höfn:	0,6%

Tafla 4-34. Hlutfallsleg orkunotkun í veiðiferð Þerneyjar RE 101. Emis Ragnarsson, Árbók VFI/TFÍ 2007 Orkuspar (Emil Ragnarsson, Árbók VFI/TFÍ 2007 Orkuspar).

Veiðarfæri	Veiðar ofl. (%)	Sigling (%)
Botnvarpa	75	25
Flotvarpa	50	50
Staðbundin veiðarfæri	50	50
Nót	30-45	55-70

Tafla 4-35. Hlutfallsleg orkunotkun mismunandi veiðarfæra (Emil Ragnarsson, Árbók VFI/TFÍ 2007 Orkuspar).

Eins og fram hefur komið þá fer orkunotkun fiskiskipa á aflaeiningu mikið eftir gerð veiðarfæris. Val á veiðarfærum ræðst meðal annars af því hvaða fisktegund á að veiða, dýpi sjávar á veiðislóð og botngerð. Mest er orkunotkunin á tonn af veiddum fiski hjá vinnslu- og togskipum sem flest nota botnvörpu. Fiskileit er einnig snar þáttur í veiðiferð með tilheyrandi tíma- og orkunotkun og skiptir því stærð fiskistofnanna máli hvað varðar orkunotkun. Vinnsla sjávarafurða, t.a.m. frysting um borð, kallar á aukna raforkunotkun, en þörf á kælingu fer eftir eðli aflans. Orkunotkun er því ólík milli skipa. Rannsóknir hafa verið gerðar á orkunotkun einstakra þátta í rekstri fiskiskipa, þ.e. siglingu til og frá veiðislóð, við fiskileit, við veiðar, vinnslu um borð, geymslu afla og afurða og löndun. Orkunotkun í veiðiferð Þerneyjar RE 101 á árinu 1997 er tekin sem dæmi í töflu 4-34, en Þerney er vinnsluskip með frystingu (Emil Ragnarsson 2007).

Í töflu 4-34 má sjá að mest orkunotkun hjá Þerneynni fer í tog, eða 76%. Við breiðari samanburð á milli veiðarfæra kemur í ljós að nokkur munur er á hlutfallslegri orkunotkun við veiðar og siglingu (sjá töflu 4-35).

Ljóst er að við veiðar með botnvörpu fer hlutfallslega mest orkunotkun í veiðarnar sjálfar, en við notkun flotvörpu og staðbundinna veiðarfæra fer álíka mikil orka til veiða og til siglingar, til og frá miðum. Hlutfallslega fer minnst orka í veiðar með nót. Vægi orkunotkunar sem fer í siglingar er minnst við veiðar með botnvörpu en mest við nótarveiðar. Af ofangreindu er ljóst að nokkur ávinningur er af því að skoða sérstaklega eldsneytisnotkun hjá tog- og vinnsluskipum, og þá með áherslu á eldsneytisnotkun við veiðar og á siglingu.

## Eldsneytissparnaður

Horfur eru á að töluverður eldsneytissparnaður geti náðst með því að innleiða eldsneytissparandi tækni fyrir fiskiskip sem ýmist er þegar til, eða er í burðarliðnum. Ljóst er að bætt hönnun og rekstur fiskiskipa nýtast til þess að spara eldsneytiskostnað óháð því hvaða orkugjafi er notaður.

Líklegt er að mestur ávinningur eldsneytissparnaðar sé fólgin í skilvirkari eldsneytisnotkun togveiðiskipa og vinnsluskipa, og þá með áherslu á eldsneytisnotkun við veiðar. Því er ljóst að aðgerðir til eldsneytissparnaðar geta falist í þróun veiðiaðferða og veiðarfæra. Einnig skiptir vegalengd á fiskimið frá heimahöfn máli og hefur þýðingu fyrir orkunotkun. Því er ljóst að aðgerðir til eldsneytissparnaðar eru margs konar og geta þær verið breytilegar eftir skipum og einnig frá einum tíma til annars.

Hér er lögð áhersla á fjóra þætti eða:

- Bætta orkunýtingu búnaðar með orkustjórnun
- Veiðarfæri
- Hönnun skipa með áherslu á skrófu og aflvél ásamt framleiðslu rafmagns
- Tækjabúnað

## Bætt orkunýting búnaðar: orkustjórnun

Eins og fram hefur komið skiptir miklu máli rekstrarlega séð að vélbúnaði eða framdriftsbúnaði sé beitt á sem hagkvæmasta hátt. En til þess að það geti orðið þurfa skipsstjórnarmenn að vera meðvitaðir um þá þætti sem mest áhrif hafa þar á svo sem eyðslustuðla véla, ganghraðaferla og raunverulega aflþörf togveiðarfæra. Mynd 4-56 sýnir dæmigerða eldsneytisnotkun á sjómílu og hagkvæmasta hraða, í sjómílum á klukkustund, fyrir fiskiskip á siglingu.

Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins ásamt samstarfsaðilum stóð að verkefninu Orkuspar á árunum 2001–2003. Markmið verkefnisins var að þróa orkuhermi sem gæti gefið visbendingar um leiðir til að minnka olíunotkun hjá fiski og flutningaskipum. Hermirinn hefur verið notaður í kennslu við Fjoltækniskólann (nú Tækniskólinn) og er lögð áhersla á þjálfun framtíðarstjórnenda í sjávarútvegi í samstarfi við LÍÚ og sjávarútvegsráðuneytið. Talið er að með aukinni fræðslu um beitingu skips og búnaðar sé hægt að ná fram umtalsverðum árangri við að draga úr orkunotkun eða um 5%, útgerðinni svo til að kostnaðarlausu.

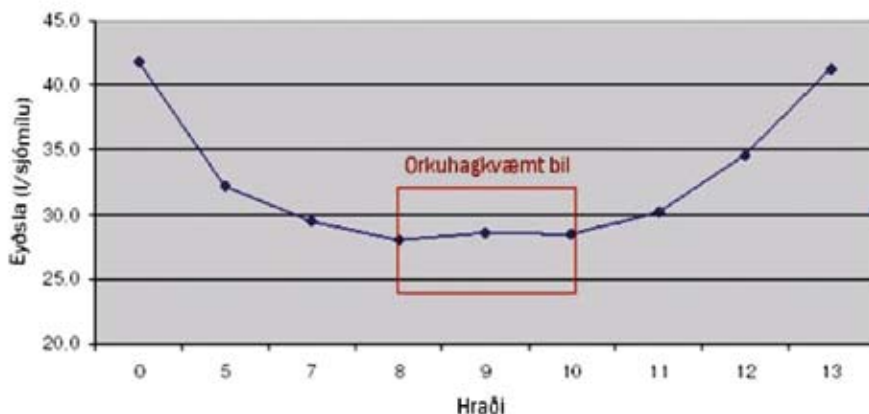
Fyrirtækið Marorka býður einnig útgerðarfyrirtækjum upp á hugbúnað sem auðveldar lágmarkun á eldsneytisnotkun fiskiskipa. Þar sem búnaður Marorku hefur verið settur upp í flutningaskipum hefur tekist að ná a.m.k. 10% orkusparnaði (Landvernd 2005) og í samstarfi við hollenskt skipafélag náðist 12% orkusparnaður (Loftslagsnefnd sjávarútvegsins 2008). Í dag eru sjö skip í eigu Íslendinga með orkustjórnunarkerfi frá Marorku, þar af eru fimm fiskiskip (Loftslagsnefnd sjávarútvegsins 2008).

## Veiðarfæri

Veiðarfærin og því veiðarnar sjálfar eru sá þáttur sem hefur einna mest áhrif á eldsneytisnotkun skipa. Val á veiðarfæri ræðst meðal annars af fiskitegund, dýpi sjávar og botngerð.

Veiðarfærin eru misorkufrek og kalla á mismunandi beitingu skips og búnaðar.





Mynd 4-56. Dæmigerð eldsneytisnotkun á sjómílu og hagkvæmasti hraði, í sjómílum á klst., fyrir fiskiskip á siglingu (Prosjekt Rapport for Norges Fiskarlag. Resultater trålerflåten 2006).

Veifarærum má skipta í tvo flokka: kyrrstæð veifaræri og hreyfanleg veifaræri. Í fyrrnefnda floknum eru t.d. net og lína. Í seinni floknum eru m.a. dregin veifaræri t.d. botnvarpa og umliggjandi veifaræri, svo sem hringnót. Litla orku þarf til að setja út og sækja afla í kyrrstæð veifaræri, en mikla orku þarf til að draga veifaræri, t.d. botnvörpu, og því eru orkunotkunarstuðlar mun hærra fyrir slík veifaræri (sjá töflu 4-36). Á árunum 1991 – 2005 var hlutdeild togveiðiskipa í olíunotkun fiskiskipaflotans um 78% (Emil Ragnarsson, 2006). Hlutfall togveiðiskipa í heildaraflaverðmæti var 62% árin 2005 og 2006 (Hagstofa Íslands).

Mikinn mun í orkuþörf veifaræra má sjá í töflu 4-36, sem sýnir olíunotkunarstuðla fiskiskipa eftir veifarærum og gerð skipa árið 2002 (Eyþór Björnsson 2004, tók saman). Benda skal þó á mun á niðurstöðum Eyþórs og niðurstöðum sem birtust í töflu 4-33.

Hér á eftir verður fjallað um i) skipti á orkufrekum veifarærum fyrir orkugrenni, ii) endurhönnun núverandi og hönnun nýrra veifaræra.

#### Aukin notkun orkugrenni veifaræra

Eins og komið hefur fram fer mikil orka í að draga botnvörpu og gætu orkugrenni veifaræri, s.s. lína, net, dragnót, hringnót og flotvarpa sparað eldsneyti og þar með útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Miklum afla var náð hér áður fyrir án mikils kostnaðar í nót og flotvörpur. Til dæmis gæti aukin notkun flotvörpu sparað eldsneyti og þar með dregið úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Aukin notkun flotvörpu hefur verið reynd á Íslandi en gafst ekki vel. Flotvarpan er stórt veifaræri og fiskur úr stórum hölum þótti illa marinn og ekki samræmast þeim gæðakröfum sem gerðar eru (Munnleg heimild Einar Hreinsson 2008). Heimilt er að veiða í flotvörpu en veiðar í þorskanót eru bannaðar (Loftslagsnefnd sjávarútvegsins, 2009). Tilraunir hafa farið fram um möguleika á botnfiskveiðum í flotvörpu og nót í Noregi með viðunandi árangri (Loftslagsnefnd sjávarútvegsins, 2009). Ljóst er að fylgjast þarf vel með þessum tilraunum Norðmanna.

Veidarfæri	Opnir bátar kg olíu/kg fisks	Vélskip kg olíu/kg fisks	Skuttogarar kg olíu/kg fisks
Heildarafli opinna báta	0,136		
Lína		0,119	
Net		0,119	
Færi		0,119	
Dragnót		0,153	
Botnvarpa		0,297	
Flotvarpa (síld)		0,051	
Flotvarpa (loðna)		0,027	
Flotvarpa (kolmunni)		0,075	
Humarvarpa		0,361	
Nót (síld)		0,070	
Nót (loðna)		0,017	
Rækjuvarpa		0,722	
Hörpudiskplógur		0,085	
Kúfiskplógur		0,022	
Fiskiskip: Úthafskarfi flottroll			0,446
Fiskiskip: Barentshaf			1,080
Fiskiskip: Flæmingjagrunn			1,035

Tafla 4-36. Oliunotkunarstuðlar fiskiskipa eftir veiðarfærum árið 2002 (Eyþór Björnsson, 2004).

Auknar línuveiðar gætu einnig minnkað eldsneytisnotkun. Rannsóknir skortir á umhverfislegri skilvirkni slíkra kosta en Nýsköpunarmiðstöð Íslands áætla að hún gæti numið allt að 5–10% (Nýsköpunarmiðstöð Íslands 2008<sup>9</sup>).

### **Endurhönnun núverandi veiðarfæra og hönnun nýrra veiðarfæra og veiðiaðferða**

Hjá togveiðiskipum fer mikil orka í að draga veiðarfærin og skiptir þar höfuðmáli að minnka viðnám og mótstöðu. Viðnám getur bæði falist í dráttarviðnámi við vatn og viðnámi vegna snertingar við sjávarbotn.

**Núverandi veiðarfæri:** Undanfarin ár og áratugi hafa töluverðar framfarir orðið í þróun veiðarfæra með tilliti til mótstöðu. Þetta á ekki síst við um togveiðarfæri en töluverður árangur hefur t.a.m. náðst í hönnun toghlera. Einnig hefur tekist að minnka viðnám togveiðarfæra og hefur t.d. Hampiðjan hannað gerð flotvörpu sem er sögð minnka dráttarmótstöðu um 20%. Fleiri aðilar hafa stundað rannsóknir á mótstöðu veiðarfæra og má þar nefna rannsóknir Emils Ragnarssonar og OLIEFISK verkefnið þar sem Fiskifélag Íslands og Raunvísindastofnun Háskóla Íslands voru þátttakendur.

<sup>9</sup> Nýsköpunarmiðstöð Íslands, óbirt gögn.

Mögulegt er að endurhanna nútímaveiðarfæri t.d. með flotkúlum eða segldrekum sem létta botntrollin og minnka þannig viðnám við botn. Þá væri mögulegt að setja einhverskonar bobbinga á botntrollin sem ekki rífa botninn eins mikið og þeir sem eru þekktir í dag. Óvíst er þó hversu mikla orku slíkt myndi spara, og einnig er kostnaður oljós. Nýsköpunarmiðstöð Íslands áttar þó að umhverfisleg skilvirkni gæti numið frá 2–7% (Guðbergur Rúnarsson, Nýsköpunarmiðstöð Íslands).

**Ný veiðarfæri:** Í grundvallaratriðum hefur lítið breyst í hönnun núverandi veiðarfæra í fjölda áratuga. Veiðarfæri hafa stækkað og verið endurbætt hvað varðar efni en ekki hefur verið mikið um stórstígar tækniframfarir. Ljóst er þó að hækkun olíuverðs, ásamt kröfu um minni áhrif veiðarfæra á hafsbotninn, kallar á nýjungar í veiðarfærum sem draga úr snertingu við botn og smala fiski með minna dráttarviðnámi.

Á Nýsköpunarmiðstöð Íslands og Hafrannsóknastofnun er verið að vinna að nýjum byltingarkenndum hugmyndum sem byggjast á því að smala fiski með öðrum hætti en nú þekktist án beinnar snertingar við botn. Verið er að sækja um einkaleyfi á hugmyndinni og því ekki hægt að gefa upp nein smáatriði að svo stöddu. Það er þó ljóst að heppnist verkefnið verður orkunotkun við slíkar veiðar og þar með útstreymi gróðurhúsalofttegunda langt undir því sem þekktist í dag.

Aðlöðun og veiðar í gildrum er einnig hluti af nýrri veiðitækni. Rannsóknir hafa sýnt að hægt er að laða fisk að með lykt og er hugsanlegt er að manngerð blanda af aminósýrum dygði til. Ef vel tekst til yrði það bylting í aflaleit og mikill orkusparnaður gæti falist í slíkum aðferðum. Árið 2005 var gerð rannsókn hjá Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins á aðdráttarafla beitu, sem fól meðal annars í sér efnagreiningar á aminósýrum beitunnar. Markmið þess verkefnis var að auka niðurbrot efna frá beitu til línuveiða (Rósa Jónsdóttir, Aðdráttarafl beitu–banvænn biti). Hugsanlegt er að hægt væri að laða fiskinn í gildrum með lyktarefnum einum saman. Þetta hefur þó ekki verið reynt en Hafrannsóknastofnunin hefur fengið styrk frá AVS rannsóknasjóði í sjávarútvegi til að rannsaka og skoða betur hvernig má leiða þorsk í gildrum og vinna að tilraunum að laða fisk að með hjálp lyktargjafa (<http://www.avs.is/verkefni/rannverk/Listi//nr/1808>). Í framtíðinni mætti hugsa sér að einhverskonar sjálfstýringu í slíkum gildrum þar sem minni fiskum væri hleypt út. Með þessu næðist fram mikill orkusparnaður og ljóst að sá orkusparnaður er margfalt meiri en hægt er að ná með endurhönnun núverandi veiðarfæra og skipa. Þróunarkostnaður er þó ekki ljós né heldur hvenær eða hvort þetta tekst. Þar sem um tilraunaverkefni er að ræða er ljóst að ekki er hægt að meta kostnaðartölur né tölulegar upplýsingar um umhverfislega skilvirkni en ætla má að minnkun á útstreymi gæti numið allt að 20-50%.

### Hönnun skipa

Helstu hönnunarþættir sem áhrif hafa á orkunýtingu fiskiskipa eru til dæmis: heppi-legir mótstöðueiginleikar skips, stærð og hönnun skrúfubúnaðar, nýtni og stærð aflvélar, góð einangrun vistarvera og nýting á kælivatni og afgangi til upphitunar eða til framleiðslu á rafmagni (Landvernd 2005, Eyþór Björnsson 2004, Sævar Birgisson 2008).

Taka þarf tillit til allra þessara þátta við hönnun og smíði skips til þess að draga úr orkunotkun og útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Í rannsókn Emils Ragnarsonar frá 2004 kemur þó fram að tveir þættir skera sig verulega úr þegar orkunotkun veiða er skoðuð þ.e. orkunotkun á siglingu (16,2%) og orkunotkun á togi (76,2%). Í báðum

tilfellum skiptir vandað val á framdriftsbúnaði og hönnun hans – og þá sérstaklega skráfu – meginmáli, en einnig hönnun veiðarfæranna eins og þegar hefur verið rætt um. Megináhersla er hér því lögð á aflvélina og skráfuna.

### **Aflvél**

Núverandi staða er sú að flest skip eru með eina stóra aðalvél sem er díselvél og er algeng varmanýtni í togurum um 39-40% (Lofslagsnefnd sjávarútvegsins). Nýjar vélar nýta eldsneytið betur og er varmanýtni þeirra 43-44%, eða allt að 10% betri nýting á eldsneyti. Mögulegt er að nota fleiri vélar um borð í hverju skipi. Hafrannsóknaskipið Árni Friðriksson er til dæmis með fjórar vélar. Þannig er hægt að laga aflframleiðslu að aflþörf. Þetta hefur bæði kosti og galla. Helsti kostur er að hafa má mismargar vélar í gangi hverju sinni eftir því hver aflþörfin er. Þannig má spara umtalsverða orku þegar aflþörf er lítil. Gallinn er hins vegar sá að sennilega er ekki hægt að láta skráfuna ganga fyrir vélaraflinu með beinni girun heldur þarf að hafa rafmótor sem snýr skráfunni. Slík umbreyting á orkuformi þýðir tap á orku.

Reynsla af því að nota margar vélar í Árna Friðrikssyni er góð. Þessi leið var valin fyrir Hafrannsóknaskipið af tveimur ástæðum. Annars vegar vegna þess að hún var talin spara orku og hins vegar og ekki síður af því að hún er talin hljóðlátari en að nota eina vél sem knýr skráfuna beint. Reynslan hefur verið sú að með því að hafa margar vélar er auðveldara að stjórna aflþörf skipsins og spara orku. Á skipum þar sem aflþörf er mjög misunandi, t.d. línuskipum, getur orkusparnaður af því að vera með 2–3 vélar orðið umtalsverður (Nýsköpunarmiðstöð Íslands 2008).

Línuskip þurfa mesta orku til að sigla til og frá landi en litla orku til að draga inn línuna en á togurum er alltaf svipað álag, hvort sem verið er að toga eða stíma milli miða og lands (Munnleg heimild Björn Sigurðsson yfirvélstjóri 2008). Frekari rannsóknar er því þörf á leiðum til sparnaðar sem hægt er að ná með fleiri vélum.

### **Box 7. Notkun vindorku**

Vindorka er áhugaverður möguleiki til að knýja skip. Nú hefur komið fram segl sem er af framleiðendum talið geta minnkað olíunotkun um 10–35%. Seglið heitir Skysails og er nokkurs konar tog–flugdreki sem er skotið upp framan við skip og er fest fremst á skipin. Seglið má nota í 100–300 metra hæð þar sem stöðugir vindar ríkjja. Lögunin á drekanum gefur honum loftaflfræðileg eiginlega sem líkjast vængjum á flugvél. Afl á hvern fermetra er fimmfalt miðað við hefðbundið segl. Skysails hefur verið notað á flutningaskipum og stórum snekkjum. Framleiðendur halda því fram að það henti einnig fyrir togara vegna toghraðans sem er 2–4 hnútar. Óvíst er hvort seglin verði raunhæf lausn fyrir togara en framleiðendur hafa beint markaðssetningu þeirra að fragtskipum. Verð seglanna liggur ekki fyrir en framleiðendur þeirra halda því fram að þau borgi sig upp á þremur til fimm árum. Kostnaður við að koma fyrir segli í 1.300 brúttórúmlasta skipi getur orðið um 35 milljónir króna og sparnaður á olíu á bilinu 10–35%. Haft hefur verið eftir íslenskum sjómönnum að þeir efist um að hægt verði að nota tæknina í íslenskum fiskiskipum (Fréttablaðið 28.7.2008).

### **Skipsskrúfan**

Nýtni skipsskrúfunnar, þvermál, skurður og snúningshraði, ásamt góðu aðstreymi sjós að skrúfunni skipta höfuðmáli við hönnun togveiðiskips og hefur umtalsverð áhrif á orkunýtni skipsins. Algeng skrúfunýtni í íslenskum skipum er á bilinu 50-60%, og er þá átt við nýtni skrúfu á siglinu. Þegar skipið er á togi er álag á skrúfu mikið og skrúfunýtnin mun lakari en á siglinu, en sem þumalputtareglu má reikna með að skrúfunýtni á togi sé helmingi lægri en á siglingu (Eyþór Björnsson 2004). Afl, skrúfuhringur og þvermál, ásamt snúningshraða skrúfunnar skipta höfuðmáli til að ná fram miklum togkrafti. Að meðaltali er heildarnýting skrúfna í dag um 30%.

Rannsóknir benda til að þvermál skipsskrúfna í togveiðiskipum sé minna en hagkvæmast er m.t.t. olíunotkunar og að miklir möguleikar séu á að minnka eldsneytisnotkun með því að stækka skrúfur og breyta framdrifskerfi togskipanna (Sævar Birgisson skipatækniþæðingur).

Skipsskrúfur sem notaðar eru í íslenska fiskiskipaflotanum hafa verið í grundvallaratriðum eins frá áttunda áratugnum. Um það leyti voru skrúfur flestra togskipa endurnýjaðar í kjölfar hækkandi olíuverðs og var 2 metra skrúfum skipt út fyrir 3 metra skrúfur. Fyrir vikið batnaði eldsneytisnýting skipanna verulega. Í dag væri hægt að gera slíkt hið sama og setja stærri og betri skrúfur á hluta fiskiskipaflotans (Sævar Birgisson 2008) og auka þar með nýtnina frá 30% í 35%. Slík breyting fæli í sér 17% betri orkunýtingu.

Þau skip sem koma helst til greina til breytinga eru skip sem eru yngri en 20 ára, en þau eru 21 talsins, auk flestra uppsjárveiðiskipanna eða alls u.þ.b. 43 skip. Fjöldi togskipa er um 85 og af þessum skipum eru um 22 uppsjárveiðiskip og 63 togarar (sjá töflu 4-37). Uppsjárveiðiskipin eru 6–15 ára gömul. Meiri breytileiki er á aldri togaranna. Aldur þeirra er á bilinu 6–30 ár og meðalaldurinn 25 ár (Hagstofan 2006).

Æskilegt er að skoða þessi skip sérstaklega og meta, hvort það borgi sig að breyta þeim, en talið er að kostnaður við slíka breytingu sé á bilinu 75–100 milljónir króna á verðlagi ársins 2006 m.v. stærri gerð togara (Munnleg heimild Sævar Birgisson).

Hafa ber þó í huga að dýpt í höfnum og innsiglingum er takmarkandi fyrir stærð skrúfu, en helstu fiskihafnir landsins eru 8–8,5 metra djúpar.

### **Nýtni hitaorku**

Mikil orka tapast í skipum á formi varma og ýmsar hugmyndir hafa verið uppi um að nýta þá orku betur. Hægt er að fara nokkrar leiðir. Ein leið er að nýta varmann til að framleiða kulda, eða ís. Annar möguleiki er að nota hitamismun til að framleiða rafmagn sem svo má nýta á mismunandi vegu, til kælingar eða til að framleiða vetni til innspýtingar á vél en mögulegt er að draga úr olíuþörf um 5 til 10 % með því að dæla vetni inn með olíu. Með því að nýta afgangsvarmaorku til vetnisframleiðslu gæti náðst fram nokkur orkusparnaður. Þessi búnaður er þó langt frá því að vera markaðsvara og líklegt má telja að hann þyrfti að sérframleiða fyrir flest skip. Talið er að búnaðurinn gæti borgað sig upp á tveimur til þremur árum. Báðar leiðirnar eru fræðilega þekktar en hvorug er almennt nýtt eða markaðsvara og því þyrfti að skoða þær nánar.

### **Tækjabúnaður**

Við val á tækjabúnaði fyrir fiskiskip er mikilvægt að velja búnað sem er spar á orku.

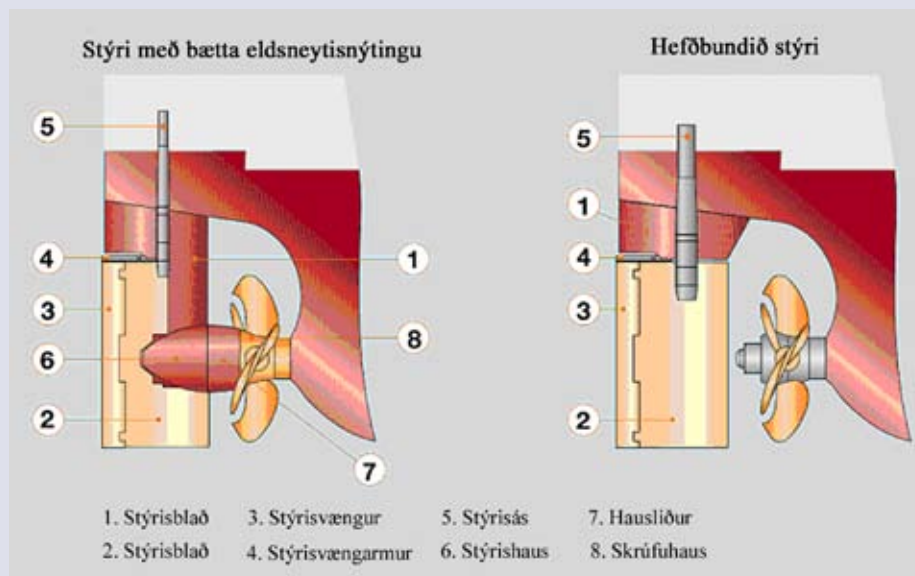
Aldur	Fjöldi
0-4 ára	0
5-9 ára	3
10-19 ára	18
20-29 ára	16
30-39 ára	26
Samtals	63

Tafla 4-37. Aldursdreifing togara árið 2006 (Hagstofan)

## Box 8. Skipsskrúfan

Í dag er mögulegt að fá nýja gerð skrúfuhings frá Wärtsilä, svokallaðann LIBS HR sem er með S-lagað yfirborð á ytri hlið skrúfuhingsins. Það bætir streymi í kringum hringinn, orkunýtingu og togkraft um allt að 10% miðað við aðra skrúfuhringi. Af-raksturinn er bætt eldsneytisnýting, meiri togkraftur og aukin siglingahraði.

Frá sama fyrirtæki kemur nýr stýrisbúnaður sem bætir flæði í kringum stýrisblaðið og eykur eldsneytisnýtingu um 3% til 7%.



Myndin sýnir nýja gerð stýrisblaðs þar sem skrúfuhúsinn er felldur inn í blaðið og hefðbundið skrúfublað til samanburðar (LIBS Rudders, Efficiency Rudder)

Mikilvægt er að hvetja til orkurannsókna um borð í fiskiskipum, en vegna skorts á upplýsingum er ekki hægt að meta möguleika til minnkunar á útstreymi gróðurhúsa-lofttegunda frá betri tækjabúnaði að svo stöddu. Eftirfarandi umfjöllun er fengin frá Loftslagsnefnd sjávarútvegsins.

### Togvindur

Vindur um borð í veiðiskipum hafa misgóða orkunýtingu. Veiðiskip eru aðallega með tvær gerðir vindna, vökvavindur eða rafknúnar vindur. Stóru togskipin sem komu á 8. áratug síðustu aldar voru með togvindur sem voru knúnar rafmagni en einnig komu togskip frá Noregi búnar vökvavindum. Rafmagnsvindur hafa mun betri orkunýtingu en vökvavindur. Stórar togvindur eru aflfrekar og ekki er óalgennt að rafmótorar sem knýja þær séu af stærðinni 300 til 500 kW. Slíkar vindur skila orku til baka til framdrifskerfis skipsins þegar vörpunni er kastað. Orka vökvavindanna í köstun fer í að framleiða varma. Íslenska fyrirtækið Naust Marine hefur um margra ára skeið þróað lausnir með rafknúnar vindur.

## Kæli- og frystikerfi

Aflfrekasti búnaður um borð í veiði- og vinnsluskipi fyrir utan framdrifskerfi eru frysti- og kælikerfi skipsins en þau geta verið mjög umfangsmikil. Dæmi eru um að einstök skip geti kælt aflann um borð í tönkum, fryst allt að 200 tonn afla á sólarhring og haldið afurðinni frosinni í frystilest. Slikur búnaður notar allt að 1000 kW af raforku sem framleidd er með dísilvélum. Kæli- og frystikerfi er sá þáttur um borð sem minnstar rannsóknir hafa farið fram á og möguleikar til að bæta orkunýtingu miklir. Norsk rannsókn hefur sýnt að hitastigshækkun um 1°C á eimsvala kælikerfis auki orkunotkun um 2%. Í nokkrum tilvikum var orkunotkun kælikerfanna allt að 30% umfram það sem telja má eðlilegt (Cowi – Energinettverk fiskefláte).

## Hitun og lýsing

Um langt skeið hafa íslensk fiskiskip verið útbúin til að nýta lághita frá vatnskælikerfi dísilvéla skips. Upphitun í skipum er orkufrek og getur verið á bilinu 6 – 10 kW. Sem varaafli til upphitunar er skynsamlegra að nýta olíuketil frekar en rafhitun um borð í stærri skipum. Lýsing um borð í fiskiskipi er einnig orkufrek þar sem um er að ræða vinnuljós mjög víða í skipinu og flóðljós á þilfari. Þilfarslýsing, s.s. vinnuljós og kastarar taka mikla orku og einnig ljósanotkun í áhafnarrýmum. Til dæmis er dæmigert flóðljós 1.000W og það eru mörg slík ljós (6-9) á þilfari og á brú veiðiskips. Þar sem lýsing er orkufrek þarf að huga vel að vali á ljósgjöfum fyrir fiskiskip og velja þar sem hægt er sparljós eða flúrlampa og flóðljós með hagstæðustu orkunýtingu.

### Box 9. Tilraunaverkefni með notkun vetnis í hvalaskoðunarskipi

Sumardaginn fyrsta 2008 var tilraunaverkefni með vetnissellu hleypt af stökkunum í hvalaskoðunarskipinu Eldingu. Vetnissellan á að þjóna sem aðalljósavél skipsins þegar drepið er á aðalvél skipsins. Búnaðurinn er til sýnis fyrir gestkomandi um borð í skipinu í gegnum glugga ([newenergy.is](http://newenergy.is)).

Eins og staðan er í dag lítur út fyrir að langur tími líði þar til að vetni verður notað á vetnissellur sem aðalvél um borð í fiskiskipum. Erfitt er að meta hver tímaraminn er en áætla má að fyrst um sinn verði þróunin í sértækum skipum t.d. ferjum, kaþbátum og öðrum farartækjum til sérstakra nota. Þessi þróun er nú þegar hafin.

Árangur s.l. 10 ára á þessu sviði hefur verið mikill. Ýmsar sellugerðir hafa verið prófaðar og endingartími þeirra sem var stuttur í upphafi hefur batnað til mikilla muna. Þó má segja að langt sé í land að vetnistæknin hasli sér völl um borð í skipum, jafnvel 2 til 4 áratugir. Vetnistæknin er háð framboði á vetni sem framleitt er úr jarðefnaeldsneyti eða með rafgreiningu. Mörg vetnisverkefni eru í gangi í BNA, Canada og Evrópu, en þó aðallega á öðrum sviðum en fyrir skip. Enn er nýtni vetnissellunnar lægri en nýtni bestu dísilvéla.

#### 4.5.1.5 Vistvænir orkugjafar<sup>10</sup>

Þeir vistvænu orkugjafar sem koma til greina í sjávarútvegi eru:

**Jurtaolía:** Jurtaolía getur komið í stað svartolíu annars vegar og gasolíu hins vegar. Ekki þarf að gera breytingar á vél, eldsneytiskerfi, tönkum o.þ.h. sé jurtaolía notuð í stað svartolíu þar sem að eðliseiginleikar þessara tveggja eldsneytistegunda eru svipað, a.m.k. þegar um er að ræða léttari svartolíu.

Eigi að nota jurtaolíu í stað gasolíu er nauðsynlegt að koma fyrir hiturum í tönkum skipsins og er áætlað að fjárfestingarkostnaður sé almennt um 3 EUR/MWh/á ári eða rúmar 182 þúsund EUR í tilfalli viðmiðunarskips<sup>11</sup>. Aukning á árlegum viðhaldskostnaði vegna breytingarinnar er áætluð um 0,5% af fjárfestingarkostnaðnum. Notkun jurtaolíu í stað gasolíu myndi krefjast breytingar á olíutönkum, en engra breytinga er þörf ef hún er nýtt í stað svartolíu.

**Lífdísill** öðru nafni fitusýrumetýlester (e. FAME<sup>12</sup>): Lífdísli er blandað í gasolíu og í því tilvikum þarf ekki að gera breytingar á eldsneytiskerfi og tönkum. Talið er að hægt sé að blanda a.m.k. 20% lífdísli að rúmmáli í gasolíu (háð uppruna lífdísils) án þess að hitara þurfi í tanka. Gert er ráð fyrir að eldsneytisblandan innihaldi efni sem auka kuldaþol hennar reynist slíkt nauðsynlegt.

**Tilbúin gasolía:** Tilbúin gasolía er framleidd með vetnun jurtaolíu (e. HDRD<sup>13</sup>) eða gösun lífmassa samkvæmt Fischer-Tropsch ferli. Eðlis- og efnafræðilegir eiginleikar tilbúinnar dísilolíu og gasolíu eru afar áþekkir og því þarf hvorki að gera breytingar á vél, eldsneytiskerfi né tönkum sé tilbúin gasolía notuð í stað hefðbundinnar gasolíu.

**DME** (dímetýleter): DME kemur í stað gasolíu. Mögulegt er að framleiða DME héraendis og nýta koldíoxíð sem hráefni sem fanga mætti úr útblæstri frá jarðvarmavirkjunum eða stóriðjuverum (sjá kafla 4.2). Ef DME er notað sem eldsneyti þarf að geyma það við 5-6 bara þrýsting og því gera breytingar á eldsneytistönkum eða jafnvel skipta um þá. Áætlaður fjárfestingarkostnaður vegna þessa er almennt rúmlega 53 EUR/MWh og aukinn árlegur viðhaldskostnaður um 0,5% af fjárfestingarkostnaði<sup>14</sup>. Einnig þarf að gera breytingar á eldsneytiskerfi. Áætlað er að þær kosti rúmlega 3 EUR/MWh og að aukinn árlegur viðhaldskostnaður verði um 1,5% af fjárfestingarkostnaði. Fyrir viðmiðunarskip næmi heildarfjárfestingin því rúmum 3 milljónum EUR.

**Lífmétan:** Lífmétan kemur í stað gasolíu og gæti verið framleitt erlendis eða að hluta héraendis með loftfirrðri gerjun eða gösun. Gert er ráð fyrir að væri lífmétan notað sem eldsneyti í stað gasolíu yrði það geymt við 250-300 bara þrýsting og því þyrfti setja nýja eldsneytistanka í viðkomandi skip. Áætlaður fjárfestingarkostnaður yrði almennt um 283 EUR/MWh. Aukinn árlegur viðhaldskostnaður verður um 0,5% af fjárfestingarkostnaði. Einnig þyrfti að skipta um vél og breyta eldsneytiskerfi og er

10 Byggist á óbirtri skýrslu Mannvits um Minnkun losunar gróðurhúsalofttegunda frá fiskveiðum, desember 2008

11 Viðmiðunarskip er tæplega 1.200 brúttórúmllestir og með 5.520 kW meðalhæggenga gasolíuvél (eldsneytisnýtni um 45%). Skipi er gert út í um 4.500 klst. á ári og áætluð orkunotkun er rúmar 55 GWh Taka ber fram að viðmiðunarskipið er ekki dæmigerður togari, heldur vinnsluskip sem eyðir mun meira eldsneyti. Sama viðmiðunarskip er notað fyrir allar gerðir vistvænna orkugjafa.

12 Fatty acid methyl ester

13 Hydrogen derived renewable diesel

14 Sjá umfjöllun um viðmiðunarskip í neðanmálgrein 11



kostnaður við það áætlaður um 81 EUR/MWh. Í tilfalli viðmiðunarskips næmi heildarfrjárfestingin því rúmum 20 milljónum EUR.

**Vetni:** Vetni, sem framleitt væri hérlendis með rafgreiningu, má nýta með beinni innspýtingu í brunahólf vélar og kæmi þannig að hluta til í stað gasolíu. Eins og geymslutækni fyrir vetni er háttáð kemur helst til greina að sprauta því inn í brunahólf gasolíuvéla (með beinni innspýtingu), t.d. þannig að það sé um 10% af þyngd gasolíunnar. Gert er ráð fyrir að vetnið yrði geymt við um 1000 bara þrýsting og krefst slíkt sérstakra tanka. Áætlaður frjárfestingarkostnaður vegna slíkra tanka er um 575 EUR/MWh vetnis og er aukinn árlegur viðhaldskostnaður vegna þeirra um 0,5% af frjárfestingarkostnaði. Áætlað er að breytingar á vél og sérstakt eldsneytiskerfi fyrir vetni kosti um 36 EUR/MWh vetnis og aukinn árlegur viðhaldskostnaður vegna þess verði um 1,5% af heildarfrjárfestingarkostnaði vegna vélabreytingar og viðbótareldsneytiskerfis. Heildarfrjárfesting fyrir viðmiðunarskip væri því tæpar 10 milljónir EUR.

Einnig væri hægt að nota vél knúna vetni um borð og fara slíkar tilraunir fram í hvalaskoðunarskipinu Eldingu (sjá Box 9). Þar hefur verið sett upp vetnissella til raforkuframleiðslu þegar slökkt er á aflvélum skipsins. Þriðja leiðin til að hagnýta vetni er íblöndun vetnis inn á loftgrein dísilvélar. Vetnið er þá framleitt um borð og leitt beint inn á soggrein dísilvélarinnar. Magn vetnis sem til þarf er mjög lítið miðað við eldsneytið sem notað er. Vetnið eykur oktantölu blöndunnar. Heildarárangur sem vænta má er 7-10% sparnaður og jafnframt aukning í afli vélarinnar. Hafnar eru tilraunir hér á landi með þessa tækni en óvíst er um kostnað og raunverulegan sparnað. Fyrirtækið Icelandic Hydrogen í Garðabæ er að prófa vetnisinnspýtingu á 200 kW dísilrafstöð. Samstarfsaðilar eru Nýorka og Huginn hf. í Vestmannaeyjum.

#### **4.5.1.6 Aukin notkun landrafmagns**

Sala á rafmagni til skipa í höfnum jókst úr 8 GWh árið 1992 í 18,6 GWh árið 2006. Aukningin frá 1992 nemur rúmum 10,6 GWh eða 133%. Mest var notkunin árið 2001 rúmar 20,3 GWh en þá voru óvenju mörg verkefnalaus fiskiskip bundin við bryggju.

Óvíst er hvort hægt sé að ná umtalsvert betri árangri á þessu sviði þar sem þessi raforka, 18,6 GWh samsvarar um 5.000 tonnum af jarðefnaeldsneyti sem jafngildir u.þ.b. 3% af heildarnotkun flotans árið 2006. Dæmigerð eldsneytisnotkun skuttogara í höfn, væri án landtengingar, 1–2% af heildarolíunotkun skipsins.

Ef komast á lengra á þessari braut þarf að fjölga landtengingum til að þjóna skipum sem liggja utan á hvert öðru í höfn í helstu landlegum. Þá er einnig þekkt að landtenging sé of veik fyrir orkufrek tæki. Samkvæmt Loftslagsnefnd sjávarútvegsins hefur nýting landrafmagns náð ákveðinni metnun og til að auka enn á nýtingu landrafmagns þarf verð þess að vera lágt og fjölga þarf landtengingum. Ekki er talið að eftir miklu sé að slægjast á þessu sviði í minnkun á útstreymi gróðurhúsalofttegunda í náinni framtíð.

#### **4.5.1.7 Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati**

Umhverfisleg skilvirkni þeirra aðgerða sem fjallað hefur verið um er metin sem allur samdráttur í útstreymi gróðurhúsalofttegunda umfram grunnspá Umhverfisstofnunar um útstreymi frá sjávarútveginum. Grunnspáin byggir á nýjustu eldsneytisspá Orkuspárnefndar.

Eldsneytisspáin gerir ráð fyrir að með tíð og tíma aukist notkun endurnýjanlegs eldsneytis á fiskiskip vegna eðlilegrar tækniþróunar og hækkandi verðs jarðefnaeldsneytis, en Orkuspárnefnd spáir ekki fyrir um hvaða eldsneyti verði að ræða. Við mat á samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda við hraðari innleiðingu endurnýjanlegs eldsneytis, sem og kostnaði vegna þess, er því eingöngu litið til notkunar endurnýjanlegs eldsneytis sem sviðsmyndir spá umfram eldsneytisspá. Þetta þýðir að bæði ávinningur og kostnaður verður mestur snemma á tímabilinu en minnkar þegar á liður, eftir því sem hlutur endurnýjanlegs eldsneytis af heildareldsneytisnotkun eykst samkvæmt eldsneytisspánni.

Möguleikar til minnkunar á útstreymi frá fiskiskipum skiptast í þrjá flokka sem fjallað er um hér; eldsneytissparnað, loftslagsvæna orkugjafa og aukna notkun landrafmagns við landlegur. Í töflu 4-38, eru bornir saman möguleikar á samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda og tilheyrandi kostnaður sýndur fyrir hvert tonn miðað við CO<sub>2</sub>-ígildi.

Taka skal fram að tölurnar sem birtast hér að neðan eru varlega áætlaðar. Einnig ber að hafa í huga að í mörgum tilvikum er ekki hægt að leggja saman árangur mögulegra aðgerða, t.d. er ekki hægt að leggja saman árangur innleiðingar mismunandi tegunda lífoldsneytis.

Ljóst er að munur á kostnaði er mikill hvað varðar mismunandi aðgerðir, allt frá því að gefa hreinan ábata (neikvæðar tölur í töflu 4-38) yfir í að kosta 30 þúsund krónur fyrir hvert tonn gróðurhúsalofttegunda sem ekki streymir út vegna mótvægisáðgerða. Aðgerðir draga mismikið úr útstreymi og er vænlegast að leggja áherslu á að innleiða þær aðgerðir sem skila mikilli minnkun og eru hlutfallslega ódýrar.

### **Samsetning aðgerða**

Hér verður sett saman ein sviðsmynd úr hinum ýmsu aðgerðum sem taldar eru upp hér að framan.

Minnka má útstreymi gróðurhúsalofttegunda með því að skipta úr svart- og/eða gasolíu yfir í aðra orkugjafa. Í þeirri sviðsmynd sem hér fer á eftir er gert ráð fyrir að frá og með árinu 2010 byrji fiskiskip að nota jurtaolíu í stað gasolíu og svartolíu og að á næsta áratug, það er árið 2020, verði notkun svartolíu algerlega hætt. Miðað er við hægfara innleiðingu jurtaolíu í stað gasolíu, en þessi hæga innleiðing gefur gott færi á að fylgjast með hvernig til tekst. Áætlað er að árið 2020 verði hægt að draga úr útstreymi um 70% með því að skipta að hluta úr gasolíu yfir í jurtaolíu og hætta alveg að nota svartolíu (Mannvit 2008).

Í þeirri sviðsmynd sem hér er gengið út frá er einnig gert ráð fyrir að skipt verði um skrófu í 10 stórum skipum – togurum og uppsjávarveiðiskipum – og með því dregið úr útstreymi um 10% hjá hverju skipi eða um 1% hjá fiskveiðiflotanum í heild. Að auki er áætlað að með aukinni fræðslu um beitingu skips og búnaðar sé hægt að draga úr orkunotkun. Endurbætur og breytingar á veiðarfærum og notkun þeirra gætu einnig skilað umtalsverðum orkusparnaði og þar með dregið úr útstreymi. Enda þótt erfitt sé að meta hversu mikið útstreymi gæti dregist saman með aukinni fræðslu og breyttum veiðarfærum er hér á eftir gert ráð fyrir að samdrátturinn gæti numið um 15%. Þessi samdráttur kemur ekki beint til viðbótar við þann samdrátt sem stafar af aukinni notkun jurtaolíu heldur dregst hann eingöngu frá því útstreymi sem til staðar er eftir að búið er að taka tillit til áhrifa breyttrar orkunotkunar á útstreymi. Samtals

Flokkur	Möguleg minnkun vegna aðgerða árið 2020 (%).***	Krónur á tonn CO <sub>2</sub> -ígilda
Eldsneytissparnaður	20	
Heild Orkustjórnun Veifaræri Skipti til orkugrennri Núverandi endurbætt Ný hönnun	15 (2020) 5-10 2 -7 20-50 (til lengri tíma)	-23.600
Hönnun skipa Skrúfa Annað	1 Óvíst	11.900
Tækjabúnaður	Óvíst	Óvíst
Framleiðsla rafmagns með afgasi	1-3	Óvíst
Loftslagsvænni orkugjafar*		
Jurtaolía í stað svartolíu	17 (hæg) 24( hröð)	2.900 5.200
Jurtaolía í stað gasolíu	27 (hæg) 53 (hröð)	4.400 4.500
Lífdísill	10 (hæg) 13 (hröð)	7.850 7.900
Tilbúin gasolía	10 (hæg) 24 (hröð)	9.400 9.600
DME	10 (hæg) 25 (hröð)	15.200 15.200
Lífmetan	10 (hæg) 25 (hröð)	8.650 8.700
Vetni	6 (hæg) 12 (hröð)	26.500 30.200
Landrafmagn	Mettun	
Kælikerfi**	6	Ekki vitað

\* Aðgerðir til að skipta út svart- og gasolíu leggjast saman en aðrar ekki. Byggist á skýrslu Mannvits

\*\* Tekið inn í sviðsmyndir í kafla um iðnað og efnanotkun.

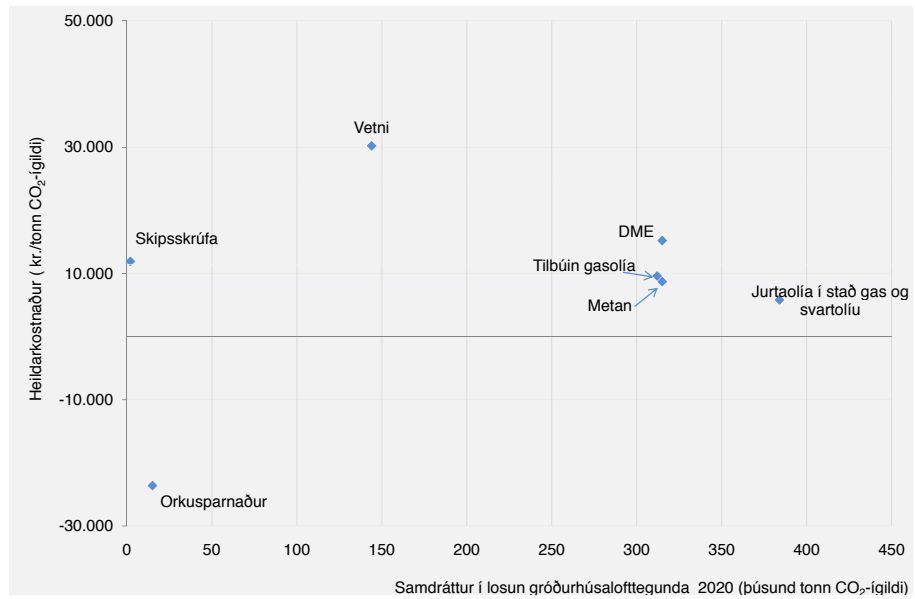
\*\*\* Tölur eru fyrir flotann í heild sinni. Hæg eða hröð innleiðing tækni.

Tafla 4-38. Samanburður á möguleikum til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskveiðum.

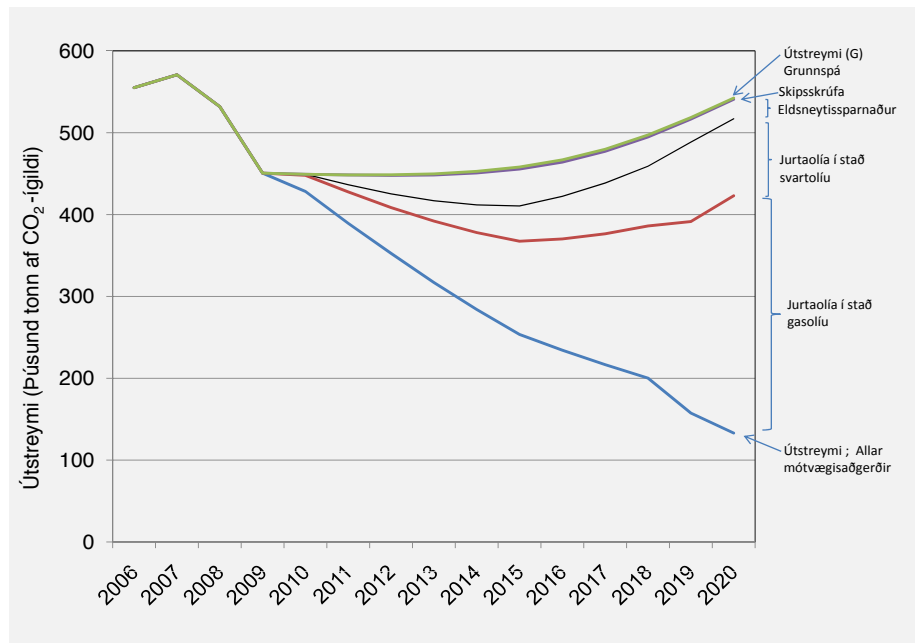
er því gert ráð fyrir að hægt sé að draga úr útstreymi við fiskveiðar um 75% með því að skipta yfir í jurtaolíu og grípa til annarra þeirra aðgerða er hér hafa verið tilgreindar (sjá mynd 4-58).

Gera má ráð fyrir að hreinn ávinningur fylgi því að auka fræðslu og endurbæta veiðarfæri og notkun þeirra, en kostnaður við að skipta um skrúfu gæti aftur á móti numið um 120 milljónum kr. á hvert skip, eða um 1,2 milljörðum kr. fyrir öll þau skip er til greina koma. Kostnaður við að skipta um orkugjafa er um 5.800 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildum. Hér er aðeins sett fram ein möguleg sviðsmynd en loftslags-

Mynd 4-57. Samanburður á mótvægisáðgerðum til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda í fiskveiðum.



Mynd 4-58. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna fiskveiða árin 2006-2020 og hugsanlegar mótvægisáðgerðir (þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígjilda).



vænir orkugjafar aðrir en jurtaolía koma einnig til greina (sjá töflu 4-38 og mynd 4-57).

#### 4.5.2 Fiskimjölframléiðsla

##### 4.5.2.1 Yfirlit

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskimjölverksmiðjum stafar aðallega af olíunotkun vegna gufuframleiðslu fyrir mjölþurrkara, sjóðara og eimingartæki. Ýmist er notuð flotadísilolía eða svartolía og er olíunotkunin um 40 kg af olíu á hvert tonn af hráefni. Með notkun rafskautakatla er hægt að draga verulega úr olíunotkuninni og eru fimm af þeim 13 verksmiðjum sem nú eru í rekstri þessarar slíku kottlum. Dæmigerð olíunotkun þessara verksmiðja er 25 kg af olíu á tonn af hráefni. Í Krossanesi á Akureyri var rekin verksmiðja sem var að stórum hluta raforkuvædd þannig að olí-

Aðferð	Fjöldi	Olíu-notkun kg/tonn	Raforku- notkun kWh/tonn	CO <sub>2</sub> losun kg/tonn	SO <sub>2</sub> losun kg/tonn	Mótttekið hráefni tonn	Hlutfall hráefnis %
Verksmiðjur,kaupa ótrygga raforku	7	25	245	82	0,97	517.173	71
Verksmiðjur, kaupa ekki ótrygga raforku	8	40	112	137	1,61	210.546	29
Alls	15	29	206	107	2,57	727.719	100

tonn=hráefnistonn

Tafla 4-39. Orkunotkun og útstreymi frá fiskmjölsverksmiðjum árið 2006 (heimild Orkuspárnefnd).

	2003	2004	2005	2006
Hráefni, tonn	1.431.000	1.095.000	905.000	727.000
Raforka GWh	185	169	152	142
Olía, tonn	48.620	33.960	32.861	22.159
Losun gróðurhúsalofttegunda (þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)	153	113	99	64

Tafla 4-40. Orkunotkun allra fiskimjölsverksmiðja árin 2003–2006 (heimild: óbirt heimild Guðbergur Rúnarsson).

unotkunin fór niður í einungis 15 kg olíu/tonn (munnleg heimild, Jóhann Pétur Andersen) en olíunotkun var að meðaltali 19 kg/tonn. Samkvæmt Orkuspárnefnd var meðal-olíunotkun fiskmjölsverksmiðja á Íslandi um 29 kg/tonn árið 2006.

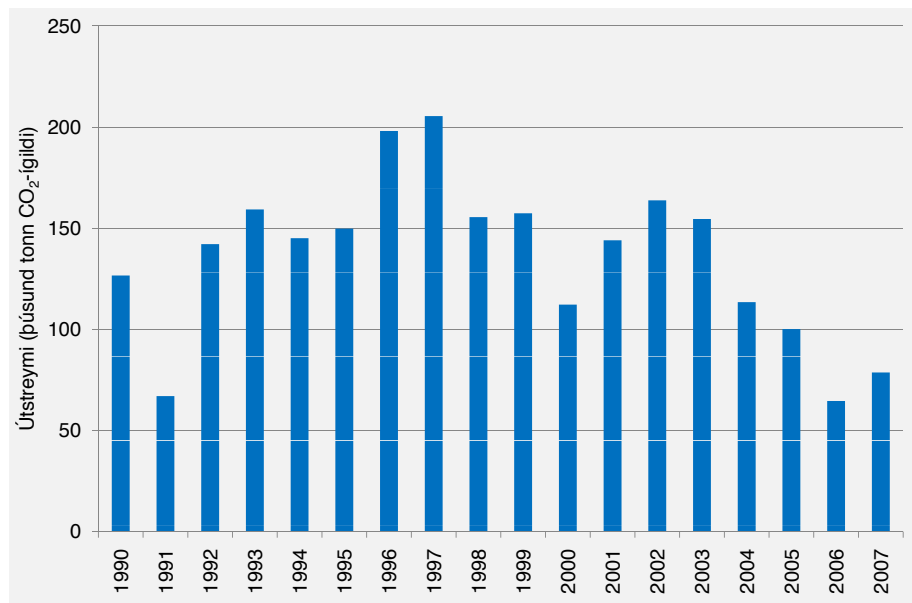
Heildarútstreymi frá fiskmjölsverksmiðjum minnkaði um 37% milli árana 1990 og 2007. Útstreymið hefur þó verið sveiflukennt á tímabilinu, en heildarútstreymi stjórnast að miklu leyti af þeim afla sem komið hefur á land til bræðslu. Til dæmis minnkaði útstreymi um helming á þriggja ára tímabili þegar hráefni til verksmiðjanna dróst saman úr 1,4 miljón árið 2003 í 727 þúsund tonn árið 2006 (sjá töflu 4-40 og mynd 4-59).

Fiskimjölsverksmiðjum hefur fækkað síðan 1990 þegar þær voru 21 talsins. Nú eru verksmiðjurnar 15, þar af 13 í rekstri. Árið 2006 var starfsemi hætt í Krossanesi og frá sama tíma hefur nánast engin starfsemi verið í verksmiðjunni á Siglufirði.

#### 4.5.2.2 Tæknilegir möguleikar

Góðir möguleikar eru á að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskimjölsverksmiðjum t.d. með rafvæðingu verksmiðjanna. Betri orkunýting er einnig mikilvæg og er t.d. sumsstaðar notaður afgangsvarmi til þess að forhita hráefnið eða til upphitunar húsnæðis.

Mynd 4-59. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskimjölsverksmiðjum.



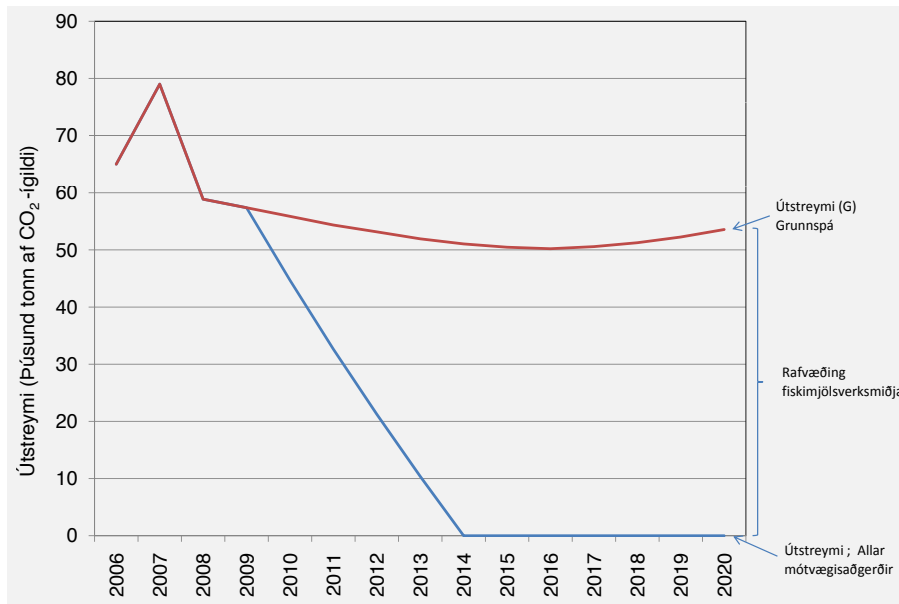
Í Vinnslustöðinni í Vestmannaeyjum t.d. hefur afgangsvarmi einmitt verið notaður til þess að hita upp húsnæði Vinnslustöðvarinnar og síðan 2003 hefur verksmiðjan verið tengd hitaveitunni í Vestmannaeyjabæ. Þegar vinnsla er í gangi í verksmiðjunni hitar verksmiðjan upp bakrásarvatn fyrir hitaveituna og skilar því á framrásarhitastigi inn í veituna. Þegar rafskautaketill var tekinn í notkun í verksmiðjunni lækkaði olíunotkunin úr 42 kg/tonn hráefni í 23 kg/tonn hráefni (Grænt bókhald 2004–2006).

Í verksmiðju Ísfélags Vestmannaeyja í Krossanesi, sem nú er reyndar aflögð, var olíunotkunin að meðaltali 19,3 kg/tonn hráefni, en fór niður í 15 kg/tonn hráefni þegar verksmiðjan var að hluta til rafvædd. Olíukatlarnir hafa gegnt mikilvægu hlutverki við að eyða lykt frá fiskmjölsverksmiðjunum með því að brenna lyktarefni í útblásturloftinu áður en það er leitt í skorsteininn. Þegar olíukötluum er skipt út fyrir rafskautakatla þarf að leysa lyktarvandamálið á annan hátt. Í Krossanesi var þetta gert með góðum árangri með brennslu útblásturslofts í sérstökum mengunarvarnabúnaði (Vocsidizer) sem knúinn var raforku.

Möguleikar eru á að auka hlut rafmagns enn frekar. Tæknilega er mögulegt að raforkuvæða einstaka ferla í verksmiðjunum, t.d. eimingartæki, og auka endurnýtingu á lágþrýstieiminum með þjöppun. Fimm verksmiðjur eru nú þegar með rafskautskatla og áhugi er á því að fjölga þeim enn frekar. Það sem hindrar frekari raforkuvæðingu er þó takmörkuð flutningsgeta og afhendingaröryggi raforkukerfisins, t.d. til Vestmannaeyja og fleiri staða. Nú um þessar mundir byggir HB Grandi á Vopnafirði þúsund tonna verksmiðju ásamt mjölgeymslu sem mun rúma 10 þúsund tonn af mjöli. Áætlanir fyrirtækisins gera ráð fyrir að ný verksmiðja verði tekin í notkun vorið 2009 og á verksmiðjan á að nýta raforku í stað olíu. Þó er ljóst að ef auka á hlut rafmagns þarf raforkuverð að vera samkeppnishæft, og bæði nægjanleg flutningsgeta og örugg afhending raforku þurfa að vera fyrir hendi svo hægt sé að nýta raforku nánast því alfarið í stað olíu.

#### Annað eldsneyti

Mögulegt er að nýta annað eldsneyti í verksmiðjunum en svartolíu, t.d. lífrænt elds-



Mynd 4-60. Ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskimjölsværksmiðjum og mótvægisáðgerðir 2006 – 2020.

neyti. Óseljanlegt lýsi hefur t.d. verið nýtt sem eldsneyti. Einnig er möguleiki á að brenna öðrum olíum, t.d. jurtaolíum, ef hagkvæmt þykir. Þar sem værksmiðjurnar eru nú þegar með þann búnað sem þarf til þessarar brennslu þarfnast slík skipti engar sérstakrar fjárfestingar (Munnleg heimild Guðbergur Rúnarsson).

#### 4.5.2.3 Umhverfisleg skilvirkni

Þær áðgerðir sem koma til greina til að draga úr ústreymi frá fiskimjölsværksmiðjum eru:

- að auka notkun rafmagns eða
- að nota annað eldsneyti

Hraði áðgerða er óviss, en fimm værksmiðjur eru með rafskautskatla og er áhugi á að fjölga þeim. Saman geta þó þessar áðgerðir komið í veg fyrir nánast því allt ústreymi gróðurhúsalofttegunda sem stafar af olíunotkun í værksmiðjunum frá og með árinu 2014, en þó einungis ef orkuveitukerfið verður styrkt og aðgangur tryggður að tryggri orku til værksmiðjanna á samkeppnishæfu verði. Nokkur vandamál eru þó tengd slíkri breytingu þar sem í dag er einungis gert ráð fyrir ótryggri raforku til værksmiðjanna, auk þess sem flutningsgeta og afhendingaröryggi er takmarkað.

Þar sem nýting værksmiðjanna er takmörkuð við vertíðir er ennfremur lítill hvati fyrir orkusala og dreifikerfi að koma á móts við fiskimjölsværksmiðjurnar. Hér þyrftu því að koma til stjórnvaldsáðgerðir, til að liðka fyrir breytingunni.

Hafa ber í huga að þar sem værksmiðjur eru einungis með aðgang að ótryggri rafmagni, munu þær verða að hafa varaafli í formi olíu eða annars eldsneytis. Ekki er ljóst hvort eða hversu oft líklegt er að værksmiðjur þurfi að nota slíkt varaafli og er hér því ekki gert ráð fyrir slíku.

#### 4.5.2.4 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni

Rafvæðingu fiskimjölsværksmiðjanna er skipt í tvö stig; í fyrsta lagi fjárfestingu í rafskautakatli til framleiðslu á gufu og í öðru lagi fjárfestingu til rafhitunar á loftþurrk-

urum. Við að breyta úr olíukatli yfir í rafskautaketil (um 12 megavött ) má gera ráð fyrir að olíunotkun verði 20-22 kg á hráefnistonn. Verði lofthitun á þurrkurunum einnig rafvædd (um 5 megavött ) verður olíunotkun engin nema sem varaafll. Hér er gengið út frá að framleiðslulínan samanstandi af gufuþurrkara sem forþurrkara og loftþurrkara sem eftirþurrkara eins og algengast er á Íslandi í dag. Væri um að ræða verksmiðju sem eingöngu notar gufuþurrkara þá yrði olíunotkun engin strax við fjárfestingu í rafskautakatli. Þannig verksmiðja þyrfti ekki að fjárfesta í rafhitara fyrir loft en þyrfti væntanlega afkastameiri rafskautaketil sem því nemur. (Munnleg heimild Jóhann Pétur Andersen)

Í skrefi 1 er áætlað að fjárfesting verði sem hér segir:

Rafskautaketill uppsettur	47 milljónir
Háspennurofi	3 milljónir
Rafstrengur frá aðveitustöð að verksmiðju	15 milljónir

Í skrefi 2 er áætlað að fjárfesting verði sem hér segir:

Rafhitun fyrir loftþurrkara	40 milljónir
Efnaturn til lyktheyðingar	15 milljónir
Skorsteinn 40 til 50m hár	15 milljónir

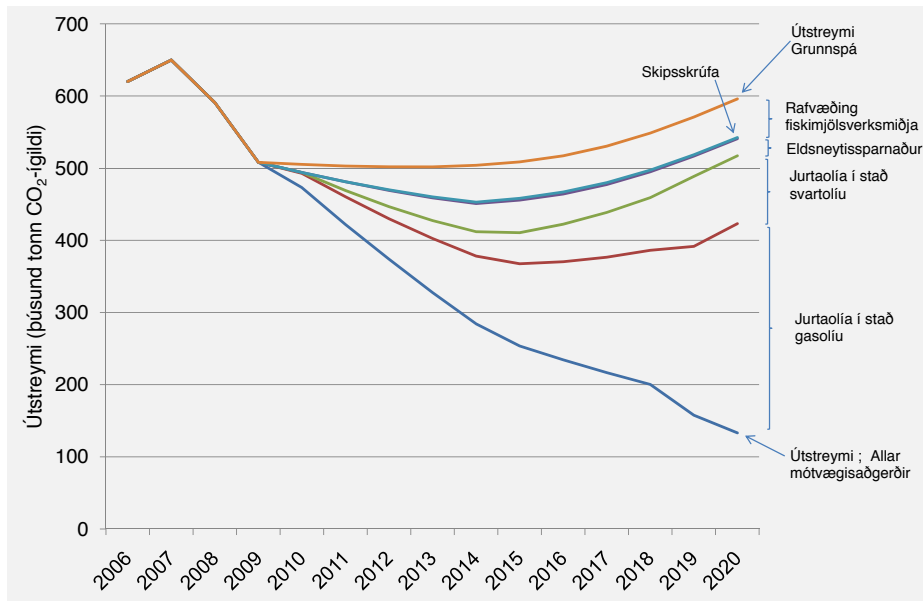
Samtals má reikna með að verksmiðja þurfi að fjárfesta fyrir 135 milljónir til að rafvæðast að fullu miðað við verðlag í ágúst 2008. Þá er gengið út frá því að húsnæði fyrir búnaðinn sé þegar fyrir hendi.

Kostnaður við að breyta öllum helstu fiskimjölsverksmiðjum landsins þannig að þær noti ekki lengur olíu gæti því numið um 1,3 milljörðum kr. Á móti kemur umtalsverður sparnaður þar sem mun ódýrara er að nota ótryggt rafmagn en olíu. Árið 2007 er áætlað að þessi sparnaður hafi numið um 500 kr. á hvert tonn af hráefni. Gera má ráð fyrir að hreinn ábati af því að nota rafmagn í stað olíu gæti numið 7.000 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi. Hér er þó ekki tekið tillit til þess fjármagns sem þarf í til að tryggja öllum fiskimjölsverksmiðjum aðgang að ótryggri orku, eða tryggri orku á samkeppnishæfu verði. Jafnframt er líklegt að erfitt reynist fyrir verksmiðjurnar að keyra alfarið á ótryggri orku, og yrði því ábatinn minni ef nota þarf varaafll eða greiða fyrir aðgang að tryggri orku.

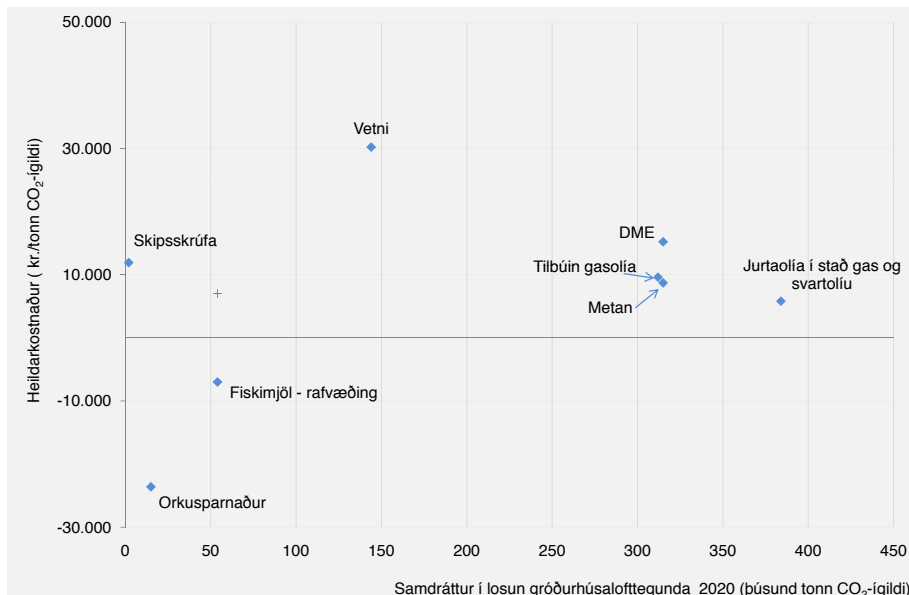
#### 4.5.3 Samantekt

Til draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi þarf að minnka útstreymi frá fiskveiðiflotanum og frá fiskimjölsverksmiðjum. Mótvægisáðgerðir sem leiða til minnkunar á útstreymi frá fiskveiðiflotanum má flokka í þrjá flokka: að spara eldsneyti, auka nýtingu loftslagsvænni orkugjafa og auka notkun landrafmagns við landlegur. Nýti skip jurtaolíu í stað svartolíu og gasolíu getur útstreymi minnkað um allt að 70%. Eldsneytissparnaði má ná t.d. með því að skipta um skipsskrúfu í stærstu skipunum–togurum yngri en 20 ára og uppsjávarveiðiskipum. Þannig má draga úr útstreymi um 10% hjá hverju skipi eða um 1% hjá fiskveiðiflotanum í heild. Að auki er áætlað að með aukinni fræðslu um beitingu skips og búnaðar sé hægt að draga úr orkunotkun. Breytingar á veiðarfærum og notkun þeirra gætu einnig skilað umtalsverðum orkusparnaði og þar með samdrætti í útstreymi. Enda þótt erfitt sé að meta hversu mikið útstreymi gæti dregist saman með aukinni fræðslu og breyttum veiðarfærum er hér á eftir gert ráð fyrir að samdrátturinn gæti numið um 15% árið 2020.





Mynd 4-61. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi og mótvægisáðgerðir 2006–2020.



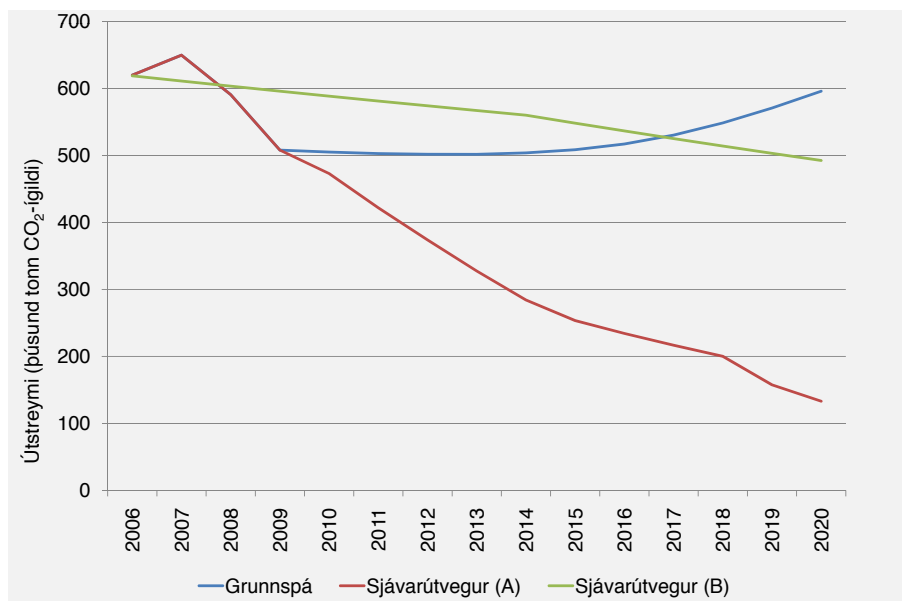
Mynd 4-62. Samanburður á mótvægisáðgerðum í sjávarútvegi

Samtals er því gert ráð fyrir að hægt væri að draga úr útstreymi við fiskveiðar um 75% með því að skipta yfir í jurtaolíu og grípa til annarra þeirra aðgerða er hér hafa verið tilgreindar.

Hægt er að minnka útstreymi í fiskimjölsverksmiðjum með því að rafvæða verksmiðjurnar eða nota lífrænt eldsneyti í stað olíu. Fyrri kosturinn þykir álitlegri en í honum felst að rafskautaketill kemur í stað oliuketils og að lofthitun á þurrkurum sé rafvædd. Olíunotkun myndi þá detta út nema sem varaafll. Spár gera ráð fyrir að útstreymi frá fiskimjölsverksmiðjum gæti numið um 54 þúsund tonnum árið 2020, en með algerrri rafvæðingu mætti koma í veg fyrir nánast því allt útstreymi.

Í heildina má því segja að minnkun á útstreymi frá sjávarútvegi geti numið allt að 78% árið 2020 miðað við grunnspá Umhverfisstofnunar.

Mynd 4-63. Samanburður á sviðsmyndum A og B og grunnspá.



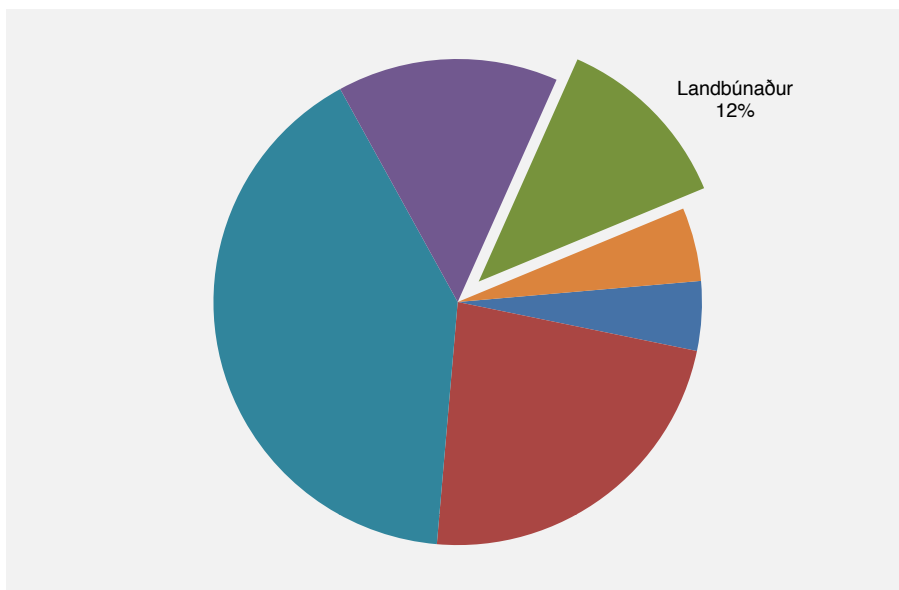
Loftslagsnefnd sjávarútvegsins setti nýlega fram sína eigin spá um mögulega minnkun á útstreymi. Mynd 4-63 ber saman niðurstöður sviðsmyndar sem sett var fram hér að framan (sviðsmynd A), og sviðsmynd loftslagsnefndar sjávarútvegsins (sviðsmynd B). Munurinn á þessum tveimur sviðsmyndum ræðst af mismunandi forsendum en loftslagsnefnd sjávarútvegsins gerir ráð fyrir að dregið verði úr útstreymi frá sjávarútveginum í heild sinni árið 2020 um 20%. Þar er gert ráð fyrir að dregið verði úr útstreymi fiskiskipa um 18,2%, en samdrátturinn er tilkominn vegna minnkunar þorskaflamarks, færri fiskiskipa, hækkandi olíuverðs og eldsneytissparnaðar ásamt notkun á vetnistækni. Þar sem möguleg notkun lífelfsneytis er ekki tekin inn í mat Loftslagsnefndar sjávarútvegsins er hinn mikli munur sviðsmyndanna eðlilegur.

## 4.6 Landbúnaður

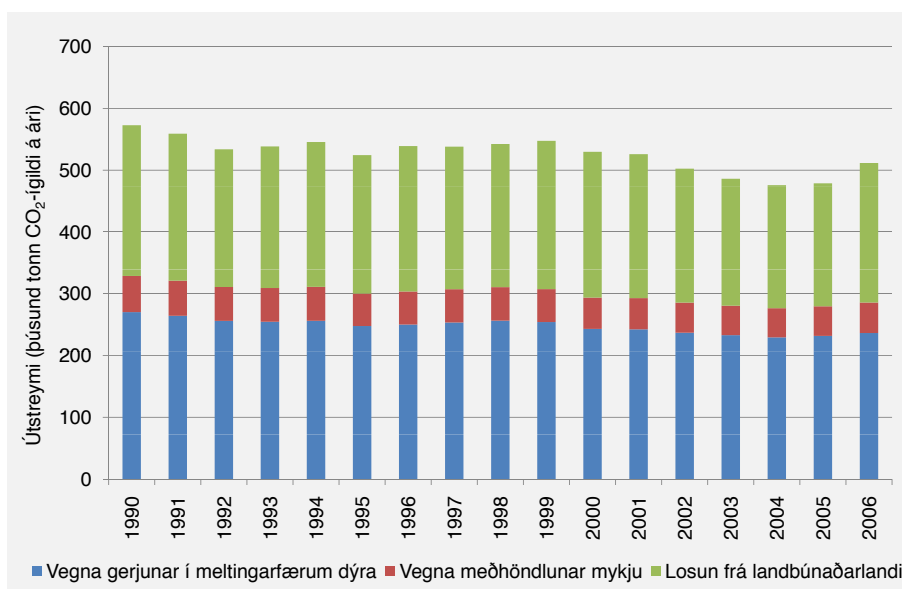
### 4.6.1 Yfirlit

Uppruni gróðurhúsalofttegunda í landbúnaði eru útstreymi vegna skepnuhalds og landbúnaðarlands.

Útstreymi metans ( $\text{CH}_4$ ) frá meltingarfærum dýra kemur einkum frá jórturdýrum, s.s. nautgripum og sauðfé, en einnig frá sumum einmaga dýrum s.s. hestum og svín-um, þó í minna mæli sé. Við mat á útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meltingarvegi dýra er stuðst við stuðla frá IPCC um myndun  $\text{CH}_4$  (Umhverfisstofnun 2008). 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 endurspeгла. Leiða má líkum að því að stuðlarnir ofmeti því útstreymi íslensku búfjárkynjanna. Meðan rannsóknir skortir um raunverulegt útstreymi íslensku búfjárkynjanna er erfitt að meta að hve miklu leyti losunartölurnar endurspeгла raunverulegt útstreymi frá landbúnaði hérlandis. Svipaða sögu má í raun einnig segja um útstreymi vegna meðhöndlunar mykju. Þar er um að



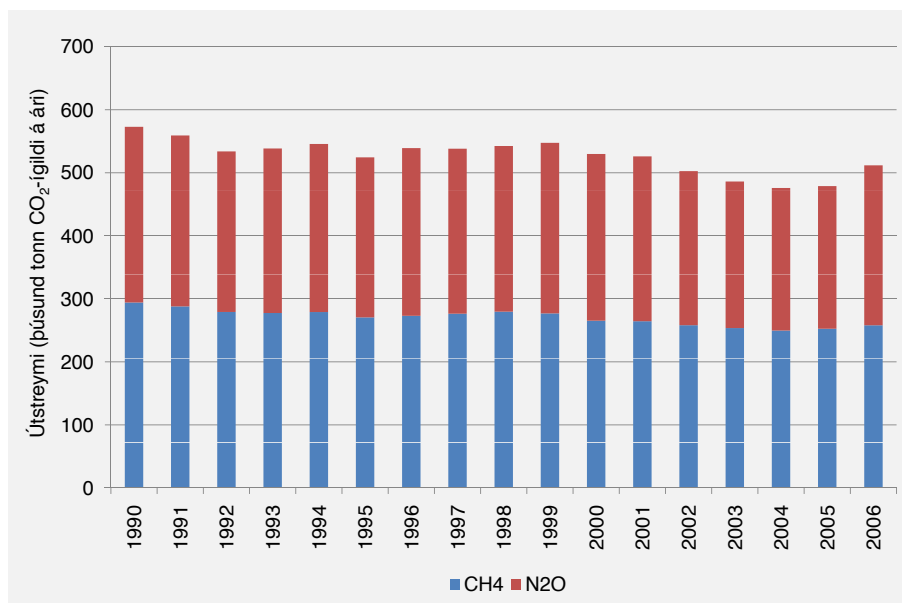
Mynd 4-64. Hlutfall landbúnaðar í heildarútsreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2007



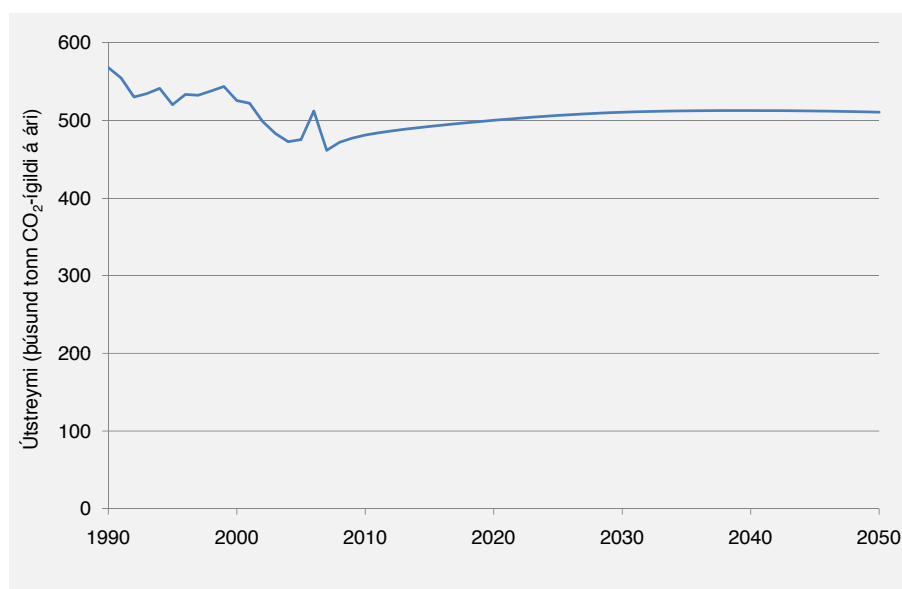
Mynd 4-65. Heildarútsreymi frá landbúnaði, reiknað sem CO<sub>2</sub>-ígildi, flokkað eftir tegund útsreymis (Umhverfisstofnun National Inventory Report, Iceland 2008).

ræða staðlaðar áætlanir sem byggja á stuðlum frá IPCC fyrir útsreymi CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O vegna útsreymi frá meðhöndlun mykju. Stuðst er við stuðla frá IPCC við matið ásamt innlendum stuðlum um magn köfnunarefnis í búfjáraburði. Ekki hefur verið metið að hve miklu leyti stuðlar frá IPCC endurspeglar raunverulegt útsreymi. Útsreymi á N<sub>2</sub>O frá landbúnaðarlandi tengist notkun tilbúins áburðar og búfjáraburðar. Til að meta magn köfnunarefnis í búfjáraburði er stuðst við ofangreinda innlenda stuðla um magn köfnunarefnis í búfjáraburði en við mat á útsreymi N<sub>2</sub>O á hvert tonn af köfnunarefni í áburði sem borinn er á tún eru notaðir stuðlar frá IPCC. Ljóst er að framleiðni lands á norðurlöðum er mun minna en á þeim svæðum þar sem hitastig er hærra. Mun meira land þarf til framleiðslu t.d. eins lítra af mjólk hér á landi en í nágrennalöndunum. Ekki er ólíklegt að útsreymi frá landbúnaðarlandi sé því ofmetið á svipaðan hátt og losun frá búfénaði er að öllum líkindum ofmetin. Mynd 4-65

Mynd 4-66. Heildarústreymi frá landbúnaði á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildi flokkað eftir lofttegund (Umhverfisstofnun National Inventory Report, Iceland 2008).



Mynd 4-67. Spá um heildarústreymi landbúnaðar á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildi.

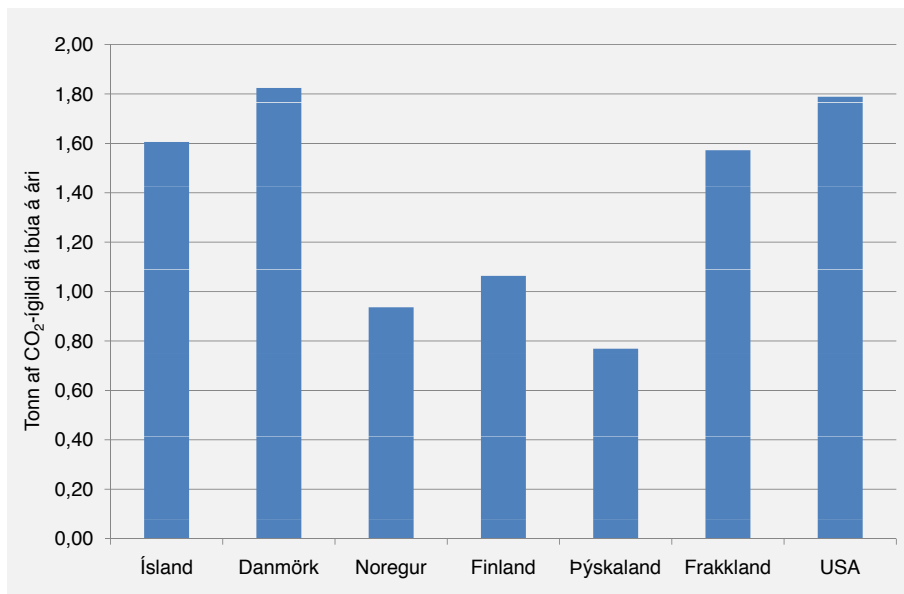


sýnir útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði eftir tegund útstreymis reiknað sem CO<sub>2</sub>-ígildi.

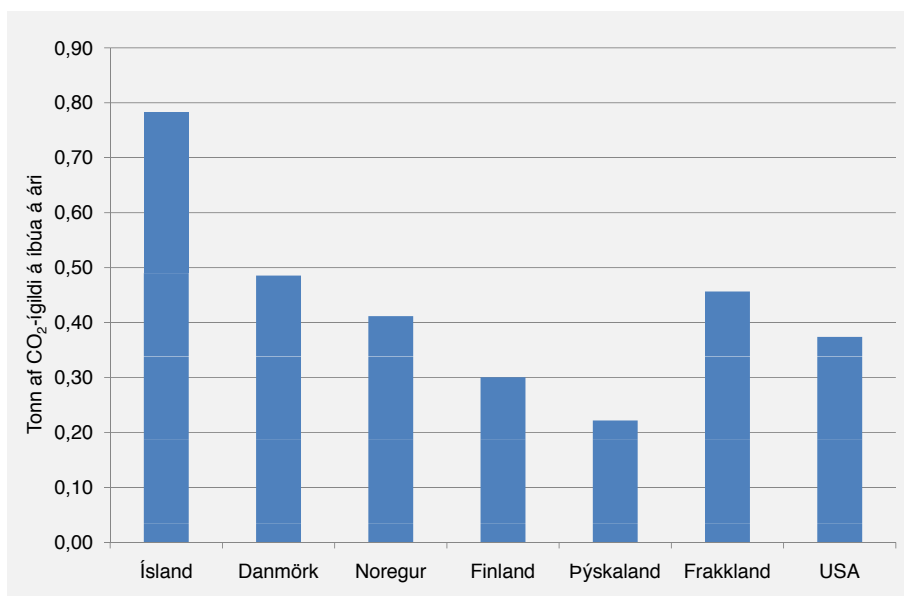
Gróðurhúsalofttegundir sem myndast í landbúnaði eru metan (CH<sub>4</sub>) og hláturgas (N<sub>2</sub>O). Mynd 4-66 sýnir samsetningu útstreymisins eftir lofttegund.

Ef miðað er við að núverandi losunarfatar séu nærri lagi er ljóst að útstreymi íslensks landbúnaðar á gróðurhúsalofttegundum, að óbreyttri tækni, er fyrst og fremst fall af búfjárfjölda. Í útstreymisspá Umhverfisstofnunar er stuðst við þá aðferð að byggja spá um útstreymi á spá um neyslu landbúnaðarafurða og fjölda búfjár og fólksfjöldaþróun. Mynd 4-67 sýnir niðurstöður spárinnar.

Eins og sjá má gerir spáin ráð fyrir að litlar breytingar verði á útstreymi frá landbúnaði á tímabilinu. Þetta er athyglisvert í ljósi þess að fólksfjöldaspáin gerir ráð fyrir að Íslendingum fjölgi um þriðjung og verði orðnir yfir 420 þúsund árið 2050. Neysluspáin fyrir kjöt gerir hins vegar ráð fyrir því að áframhald verði á breytingum á neyslumynstri Íslendinga frá rauðu kjöti og yfir í hvítt kjöt. Þessi breyting virkar til



Mynd 4-68. Heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði hér á landi og í nokkrum nágrannalöndum í tonnum af CO<sub>2</sub>-ígildi á ári á íbúa (UNFCCC 2008).



Mynd 4-69. Ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá meltingarfærum dýra hér á landi og í nokkrum nágrannalöndum í tonnum af CO<sub>2</sub>-ígildi á ári á íbúa (UNFCCC 2008).

mótvægis við breytingarnar á fólksfjölda. Spáin gerir hvorki ráð fyrir breytingum á innflutnings- né útflutningshlutfalli matvæla en ljóst er að slíkar breytingar myndu breyta útstreymi landbúnaðarins.

#### 4.6.2 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði hér á landi einskorðast við útstreymi frá meltingu jörturdýra, mykju og útstreymi frá ræktarlandi. Til að auðvelda samanburð milli landa er hér borið saman útstreymi á íbúa í tonnum af CO<sub>2</sub>-ígildi á ári. Mynd 4-68 sýnir heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði í tonnum af CO<sub>2</sub>-ígildi á ári á íbúa.

Ústreymi frá landbúnaði er nokkuð mikið hér á landi samanborið við helstu nágrannalönd. Ísland lendir þarna í flokki með Danmörku, Frakklandi og Bandaríkjunum, sem öll flytja út umtalsvert magn landbúnaðarafurða. Þetta er athyglisvert í ljósi þess að Ísland flytur litið út af matvælum en stundar umtalsverðan innflutning á

kornvöru, ávöxtum og grænmeti og er einungis sjálfu sér nægt um kjöt og mjólk-urvörur. Kjötframleiðsla hér á landi einkennist meira af afurðum jörturdýra, þ.e. sauðfé og nautgripum. Stór hluti útstreymis frá landbúnaði skýrist af þessu útstreymi, eins og sjá má á mynd 4-69.

Á mynd 4-69 kemur greinilega fram sérstaða íslensks landbúnaðar hvað varðar mikilvægi búgreina sem byggja á jörturdýrum og afurðum þeirra. Athygli vekur að þessar tölur eru langt umfram sambærilegar tölur fyrir umfangsmikla kjötútflytjendur eins og Dani. Hugsanlegt er að skýringanna á þessu ósamræmi talnanna sé að leita í notkun staðlaðra losunartalna frá IPCC, en ljóst er, eins og áður hefur verið sagt, að íslensku búfjárkynin eru töluvert minni en þau búfjárkyn sem þar eru notuð til viðmiðunar. Það gæti leitt til ofmats á raunútstreymi vegna meltingar jörturdýra og vegna meðhöndlunar mykju (Jón Guðmundsson munnleg heimild 2008, Umhverfisstofnun 2008).

Margt virðist benda til þess að útstreymi frá landbúnaði hér á landi sé ofmetið. Erfitt er að meta mikilvægi og árangur aðgerða ef raunverulegt útstreymi er óvíst. Því er afar mikilvægt að framkvæmdar verði rannsóknir á raunverulegu útstreymi íslensks landbúnaðar.

#### 4.6.3 Tæknilegir möguleikar til minnkunar á útstreymi

Útstreymi frá landbúnaði er einungis að hluta tekið fyrir í þessum kafla. Í fyrsta lagi er útstreymi frá landbúnaðartækjum og vélum tekið fyrir með annarri iðnaðarstafsemi í kafla 4.4. Þær aðgerðir til að draga úr útstreymi sem þar eru lagðar til eiga þá einnig um útstreymi véla og tækja í landbúnaði. Í öðru lagi tengist landbúnaðurinn breytingum á landnýtingu, sem er efni kafla 4.8, órjúfanlegum böndum. Því er nauðsynlegt að skoða útstreymi frá landbúnaði í samhengi við þá möguleika sem bent er á í kafla 4.8. Breytingar á framleiðsluáherslum í landbúnaði breyta landnýtingu og landnýtingarmöguleikum. Að sama skapi framkalla breytingar á áherslum í landnýtingu breytingar í landbúnaði. Samdráttur í sauðfjárrækt á undanförunum árum hefur auðveldað landgræðslu stærri og samfelldari svæða og aukna skógrækt á svæðum þar sem áður voru nýtt til beitar. Að sama skapi ýtir stuðningur við landnýtingarverkefni, s.s. endurheimt votlendis, það að verkum að land hverfur úr landbúnaðarnotkun vegna þess að arðbærara er að nýta það í annað. Ákvarðanir landeigenda, sem jafnan eru bændur, um landnýtingu ákvarðar því bæði umfang útstreymis í landbúnaði og mögulegar mótvægisáðgerðir með breyttri landnýtingu, samkvæmt kafla 4.8.

Um helmingur útstreymis frá landbúnaði er frá meltingarvegi dýra. Fjölmargar leiðir finnast til að draga úr þessari losun. Innlandar sem erlendrar rannsóknir sýna að hægt er að minnka útstreymi frá meltingarvegi jörturdýra um 14-40% með fóðrun (Giger-Reverdin o.fl. 2003, Mills o.fl. 2001). Þetta er gert með því að auka styrk fóðrunar, þ.e. auka kjarnfóðurgjöf eða bæta gróffóður. Aðgerðir snúast um að breyta hlutföllum edik- og própíonsýru í vömb–því meira sem er af ediksýru því meira tap verður vegna metans. Einnig er mögulegt að draga verulega úr útstreymi með því að fódra búfénað á olíuríku fódri eða lýsi og með lyfjagjöf og bætiefnum (Smith et al. 2007), þó svo slíkt sé umdeilt. Mögulegt væri að beita kynbótum til að draga úr útstreymi, en kostnaður slíkra aðgerða væri fölginn í að erfðaframarir á öðrum sviðum mundi verða hægari en ella. Einnig er rétt að benda á að fækkun jörturdýra mundi draga úr þessari losun. Ljóst er að innflutningur á stærri búfjárkynjum, t.d. mjólkurkúm, mundi valda samdrætti í reiknuðu útstreymi frá búfénaði samkvæmt núver-

andi aðferðafræði við mat á losun, þó svo raunáhrifin séu óviss. Landbúnaðarháskóli Íslands mat slíkan innflutning mjög hagkvæman útfrá rekstrarlegu sjónarmiði (Daði Már Kristófersson og fleiri 2007). Erfitt er að meta hver samanlagður árangur af slíkum aðgerðum gæti verið en talið er að draga mætti úr útstreymi samanlagt um 20% fyrir nautgripi og 5% fyrir sauðfé (Smith et al. 2007). Slíkar aðgerðir mundu því leiða til um 11% samdráttar í útstreymi frá búfénaði.

Verulegur galli á aðgerðum af þessum toga, sem byggja á samdrætti í dreifðri losun margra smárra eininga við fjölbreytileg skilyrði, er hve erfitt er að staðfesta að raunverulegur samdráttur í útstreymi hafi átt sér stað. Þó svo vísindalegt bakland aðferðanna sé gott er ljóst að mikil vandkvæði eru fólgin í að ráðast í aðgerðir á stórum skala sem ætlað er að breyta fóðrun jörturdýra. Sem dæmi væri mögulegt að hvetja til meiri notkunar kjarnfóðurs með niðurgreiðslum en óvíst er hve miklar þær þyrftu að vera til þess að viðunandi árangur næðist. Skilvirkni niðurgreiðslna á aðföngum er jafnframt lítil og árangur slíkra aðgerða hefur jafnan verið lítill miðað við tilkostnaðinn (Gardner 1983, 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 og eftirlits.

Nokkrir möguleikar eru á að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá mykju. Hafa má áhrif á útstreymið með bættri meðferð búfjáráburðar. Brunagildi hauggass, gassins sem losnar úr mykju, er um 2/3 af brunagildi hreins metans. Hægt er að geyma mykju þannig að safna megi hauggasinu, annað hvort á staðnum eða í sérstökum virkjunum þar sem safnað er saman mykju og öðrum lífrænum áburði af stærra svæði (Sommer o.fl. 2001, Hjort-Gregersen 1999). Þegar er að finna hagkvæmar virkjanir í ýmsum löndum t.d. í Danmörku þar sem starfræktar eru a.m.k. 19 samlagsvirkjanir þar sem unnið er hauggas úr búfjáráburði og öðrum lífrænum úrgangi og um 57 virkjanir sem nýta úrgang frá einu búi, þar sem aðalhráefnið er húsdýrááburður (Birkemose 2006). Þessar virkjanir nýta um 3,5% af öllum húsdýrááburði sem til fellur í Danmörku (1,1 milljón tonn). Mat á kostnað við slíka framleiðslu bendir hins vegar til þess að arðsemi hennar sé háð því að orkuverð sé umtalsvert hærra en hér á landi (IRG 2004). Þessi leið virðist því fremur óheppileg við íslenskar aðstæður. Önnur leið til að draga úr útstreymi felur einfaldlega í sér að geyma húsdýrááburð í loftþéttum geymslum (Rasmussen o.fl. 2001). Hagnaðurinn af slíkri geymslu er tvíþættur. Annars vegar dregur mjög úr útstreymi rokgyrnra 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 tilbúinn áburð. Minni notkun tilbúins áburðar dregur úr 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 hverrar einingar lands og dregur út heildarlandnotkun. Meira landi má þá verja til aðgerða sem stuðla að bindingu fremur en útstreymi. Bæta má nýtingu búfjáráburðar, sem dregur úr þörf fyrir tilbúinn áburð. Þetta má gera bæði með vali á dreifingartíma og dreifingaradferð. Jafnframt má bæta verulega nýtingu áburðarefna með réttri samsetningu búfjáráburðar og tilbúins áburðar með það fyrir augum að hámarka nýtingu búfjáráburðar (Þóroddur Sveinsson 2009). Slíkt krefst hins vegar bæði úrbóta í tækni við nýtingu búfjáráburðar, upplýsinga um efnainnihald jarðvegs og búfjáráburðar og áætlanagerðar um dreifingu og næringarefnasamsetningu áburðar. Kannanir á möguleikum til að bæta nýtingu búfjáráburðar benda til þess að draga mætti út notkun

tilbúins áburðar um 8% með hagkvæmum hætti ef búfjáraður yrði nýttur til hins ýtrasta m.t.t. dreifingartíma (Erna Bjarnadóttir og Stefán Örn Valdimarsson 1992). Nýlegar mælingar á efnainnihaldi búfjáraður benda til þess að bætt nýting hans gæti haft enn meiri sparnað í för með sér (Þóroddur Sveinsson 2009). Hér er því miðað við að átak í þessu efni gæti skilað 10% samdrætti í notkun tilbúins áburðar sem svarar til um 5% samdrætti í útstreymi frá landbúnaðarlandi.

#### 4.6.4 Umhverfisleg skilvirkni

Samhæft regluverk um fóðrun jörturdýra sem hefði það að markmiði að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda gæti skilað um 11% samdrætti í útstreymi frá búfénaði (Smith et al. 2007), þ.e. samdrætti sem næmi um 26 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári.

Rannsóknir sýna að draga má úr næringarefnatapi frá húsdýraáburði um sem nemur 50-90% með réttum geymsluaðferðum (Rasmussen o.fl. 2001). Besta niðurstaða fæst ef mykjan er geymd í lokuðum þróm. Ef slíkar aðferðir yrðu almennt teknar upp á kúa- og svínabúum mætti draga úr útstreymi vegna meðferðar húsdýraáburðar beint um 15 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á ári. Bætt nýting búfjáraður ætti að gera kleift að draga úr innkaupum á tilbúnum kófnunarefnisáburði um allt að 10%. Það leiðir til samdráttar í útstreymi frá landbúnaðarlandi um u.þ.b. 10 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á ári.

Átak í bættri nýtingu búfjáraður 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. Þetta gæti því numið um 11 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á ári. Samanlagður samdráttur gæti því numið 62 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári, eða um 12% samdrætti í útstreymi frá þessum málaflokki.

Mynd 4-70 sýnir þróun á útstreymi frá þessum málaflokki miðað við að ráðist verði í þær aðgerðir sem lagðar eru til hér að framan og að þeim verði öllum lokið árið 2020.

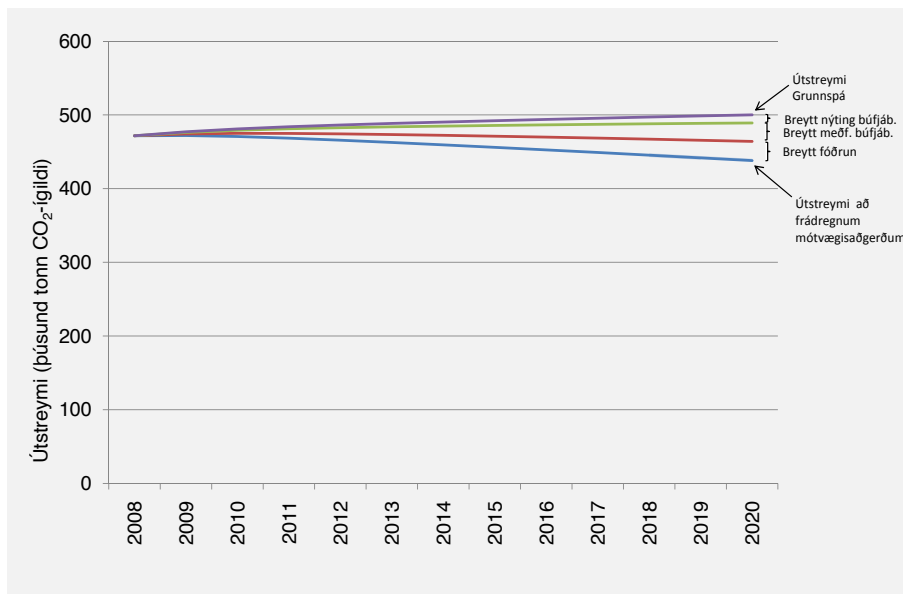
#### 4.6.5 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni

Óvíst er um kostnað vegna breytinga á fóðrunaraðferðum. Inn í það spilar óvissa um hve mikið þyrfti að breyta fóðrun og hver kostnaður fóðurefnanna yrði. Erlendar rannsóknir benda til þess að kostnaðurinn liggja í kringum \$60 á tonn CO<sub>2</sub>-ígildis (Smith et al. 2007). Þetta gerir því um 5000 ISK tonn CO<sub>2</sub>-ígildis miðað við gengi dollars þann 26. ágúst 2008.

Kostnaður við endurbætur á geymslum fyrir búfjáraður er umtalsverður. Hér er stuðst við tölur frá Rasmussen o.fl. (2001) um kostnað vegna bættrar meðhöndlunar mykju. Á móti þeim kostnaði kemur sparnaður á tilbúnum áburði. Reiknað er með að kostnaður umfram tekjur vegna áburðarsparnaðar nemi um 165 kr/kg N. Miðað við að dregið sé úr útstreymi eins og hægt er mun kostnaðurinn nema um 13,5 milljónum á ári eða um 200 milljónum alls á áætluðum endingartíma mykjuþróna, sem er 25 ár.

Hláturgas er afar virk gróðurhúsalofttegund. Kostnaður við að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda með þessum hætti er einungis um 550 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ígildi. Þó svo umfang samdráttar sé ekki mikið og kostnaður umtalsverður er bætt meðhöndlun mykju fremur kostnaðarskilvirk leið til að draga úr útstreymi.





Mynd 4-70. Samdráttur í útstreymi vegna aðgerða, þ.e. mismunur á afleiðingum núverandi aðgerða og þeirra aðgerða sem eru tæknilega mögulegar.

Samkvæmt útreikningum þeirra Ernu Bjarnadóttur og Stefáns Arnar Valdimarssonar (1992) þá réttlætir minni kostnaður vegna áburðarkaupa þann kostnaðarauka sem því fylgir að bæta nýtingu búfjáraburðar. Miklar hækkningar hafa orðið á tilbúnum áburði á undanförmum árum og því er þessi niðurstaða óbreytt í dag. Þar af leiðandi er gert ráð fyrir að ekki sé kostnaður af slíkum aðgerðum heldur hagnaður sem nemur um 2.500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ígildi.

## 4.7 Meðferð úrgangs

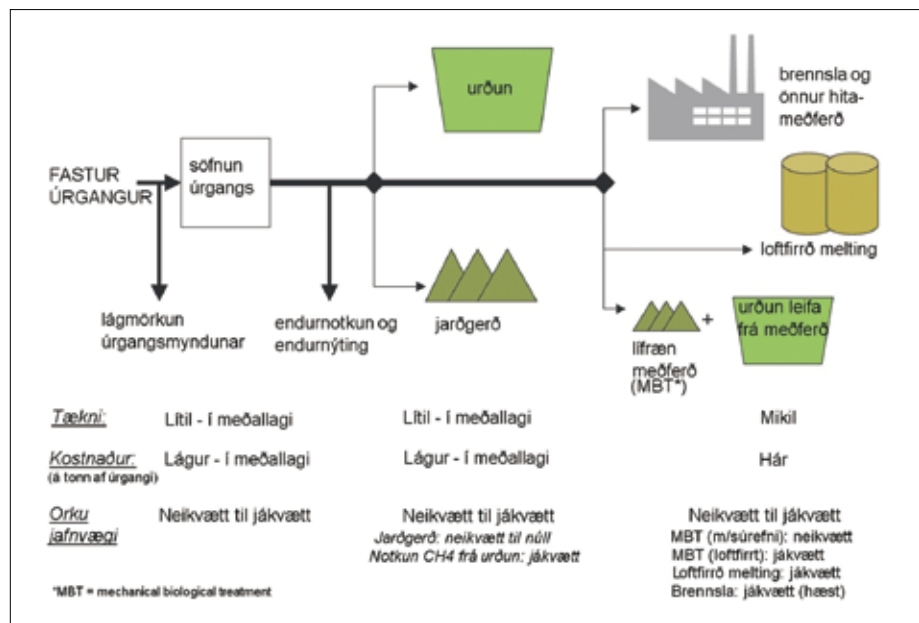
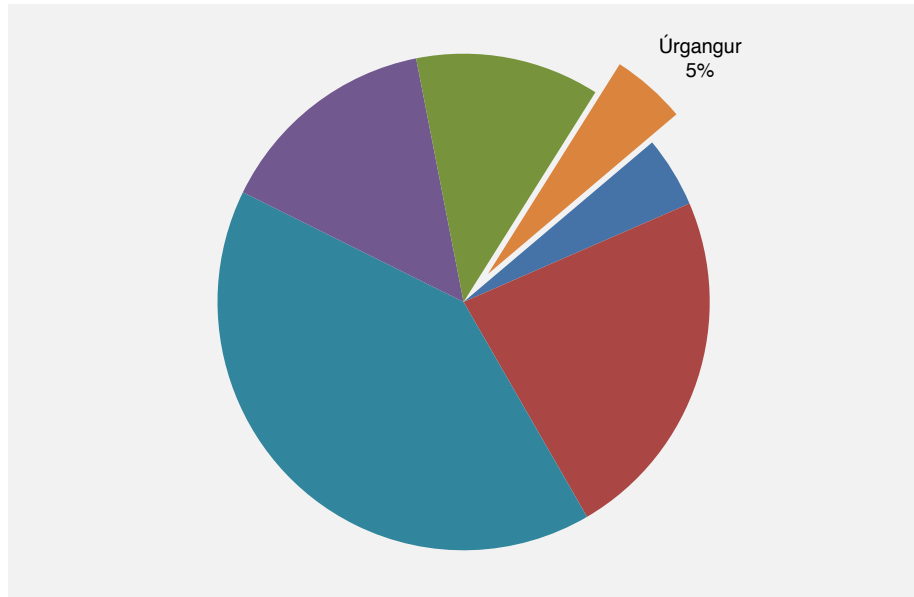
### 4.7.1 Yfirlit

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi á að mestu uppruna sinn á urðunarstöðum víðsvegar um landið, þar sem hauggas frá loftfirrðu niðurbroti lífræns úrgangs eins og matarleifa, úrgangs frá matvælavinnslu, pappa, pappírs, gróðurleifa o.fl. losnar út í andrúmsloftið. Hauggas inniheldur almennt 50-65% metan sem er 21 sinnum öflugri gróðurhúsalofttegund en koldíoxíð (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>. Einnig losnar CO<sub>2</sub> við brennslu úrgangs en þar sem einungis litlu hlutfalli úrgangs héraendis er brennt vegur það útstreymi nú mun minna en útstreymi metans frá urðunarstöðum. Í losunarbókhalda telst útstreymi frá brennslu með orkunýtingu ekki vera af völdum úrgangs heldur fellur undir bruna eldsneytis. Í þessari skýrslu er þó umfjöllun um brennslu úrgangs í þessum kafla um úrgang.

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

Helstu leiðir til meðhöndun á úrgangi eru urðun, jarðgerð, metangasvinnsla, brennsla og endurvinnsla. Þessar leiðir eru misdýrar og í skýrslu IPCC (Bogner, et.al. 2007) eru þær flokkaðar á einfaldan hátt eftir tæknistigi, kostnaði og orkujöfnuði. Almennt gætir töluverðrar ónákvæmni í gagnasöfnun á þessu sviði, bæði vegna mismunandi skilgreininga og aðferða auk þess sem gagnasöfnun er víða ábótavant.

Mynd 4-71. Hlutfall úrgangs í heildarútsreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2007



Mynd 4-72. Helstu leiðir fyrir meðferð úrgangs (Bogner, et.al. 2007) (Bogner, et.al. 2007)

Afsetningarleið	Magn (þúsund tonn)	Hlutfall
Urðun	346	71%
Jarðgerð	7	1,5%
Brennsla án orkunýtingar	0	-
Brennsla með orkunýtingu	22	4,5
Endurvinnsla	106	22%
Annað	6	1%

Tafla 4-41. Meðferð úrgangs árið 2006.

Samkvæmt upplýsingum um magn úrgangs á árunum 1995-2006 var heildarmagn úrgangs á landinu, fyrir utan spilliefni, 360 þúsund tonn árið 1995 og 487 þúsund tonn árið 2006 (Umhverfisstofnun, 2008). Heildarmagn úrgangs jókst því á tímabilinu um rúm 35% eða að jafnaði um 3% á ári. Á sama tímabili jókst árlegt magn úrgangs á íbúa úr um 1.340 kg í um 1.590 kg. Úrgangsaukningin á tímabilinu nam því tæpum 20% á íbúa eða að jafnaði um 1,5% á ári.

Þrjár meginleiðir eru færar til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi:

- Föngun hauggass á urðunarstöðum, annað hvort til vinnslu, t.d. sem eldsneyti á bíla eða til orkuframleiðslu, eða einfaldlega til brennslu í opnum loga.
- Minnkun á urðun lífræns úrgangs með því að beina honum í endurvinnslu, jarðgerð, gasgerð eða í brennslu.
- Draga úr myndun úrgangs, sem er forgangsbætt, skv. Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2004-2016 (Umhverfisstofnun, 2004)

Hafa verður í huga að beint útstreymi frá úrgangi er aðeins hluti af heildarútstreymi frá úrgangsmeðhöndlun. Dæmi um aðra mikilvæga þætti eru flutningar og útstreymi sem getur sparast vegna endurvinnslu.

#### 4.7.1.1 Staða úrgangsmála

Árið 2006 féllu til alls um 487 þúsund tonn af úrgangi. Þar af voru 166 þúsund tonn heimilisúrgangur (34%) og 321 þúsund tonn rekstrarúrgangur (66%). Gera má ráð fyrir, og hafa kannanir sýnt, 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.

Urðun úrgangs er algengust hér á landi en endurvinnsla hefur aukist töluvert síðustu ár. Samtals er yfir 93% af öllum úrgangi meðhöndlaður á þennan hátt. Öðrum aðferðum, s.s. jarðgerð og brennslu er beitt í litlu mæli og metan er ekki framleitt úr úrgangi. Í flokknum annað í töflu 4-41 er brennsla í opnum gryfjum og frumstæðum brennslustöðum, þ.m.t. áramótabrennur.

#### 4.7.1.2 Framtíðaráform um meðferð úrgangs

Í löggjöf um úrgangsmál eru sett fram markmið og kröfur er varða breytta meðhöndlun úrgangs. Árið 2004 var gefin út *Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2004-2016* og þar koma fram m.a. markmið um minni urðun lífræns úrgangs og um aukna endurvinnslu á umbúðaúrgangi. Árið 2009 skal urðun lífræns úrgangs minnka í 75% af því sem var urðað 1995, árið 2013 í 50% og 2020 niður í 35%. Hversu mikið útstreymi gróðurhúsalofttegunda minnkar í kjölfarið er háð þeim aðferðum sem notaðar eru. Auk þess heldur útstreymi frá urðunarstöðum áfram í áratugi eftir að þeim er lokað. Einnig hafa verið sett fram markmið um að auka endurvinnslu og endurnýtingu umbúðaúrgangs fyrir árið 2012. Til að þau markmið náist þarf að auka endurvinnslu og endurnýtingu plast-, pappa- og pappírsumbúða hér á landi en þessir vöruflokkar falla nú undir Úrvinnslusjóð. Í kjölfar landsáætlunarinnar voru unnar svæðisáætlanir um allt land. Þær eru nú margar í endurskoðun og í þeirri vinnu er mat lagt á hvaða leiðir henta á hverju svæði, s.s. jarðgerð, metangasgerð og brennsla. Gert er ráð fyrir að endurvinnsla aukist einnig.

Próunin undanfarin ár gefur vísbendingar um hvert stefnir í málaflokknum. Flokkun úrgangs hefur aukist talsvert og er markmiðið að draga úr magni úrgangs sem fer til urðunar. Helst hafa endurvinnsla, jarðgerð og brennsla í einhverju mæli komið í staðinn. Aðkoma Úrvinnslusjóðs hefur ýtt undir endurvinnslu og fjölmargir aðilar starfa í þeim geira. Nokkur dæmi eru um nýlegar jarðgerðarstöðvar, t.d. á Sauðárkróki og í Hafnarfirði, auk þess sem jarðgerðarstöð er í byggingu í Eyjafirði. Á Suðurlandi hefur verið starfrækt kjötmjölsmiðja um nokkurt skeið, þó með hléum. Litlar brennslustöðvar eru starfræktar nokkrum stöðum, s.s. á Húsavík, Ísafirði, í Reykjanesbæ, í Vestmannaeyjum, Svínafelli og á Kirkjubæjarklaustri. Fyrirhuguð er frekari uppbygging metangass- og/eða jarðgerðarstöðva, t.d. á höfuðborgarsvæðinu, Suðurlandi, Vesturlandi og Suðurnesjunum á næstu árum og skoðaðir hafa verið möguleikar á uppbyggingu brennslustöðva.

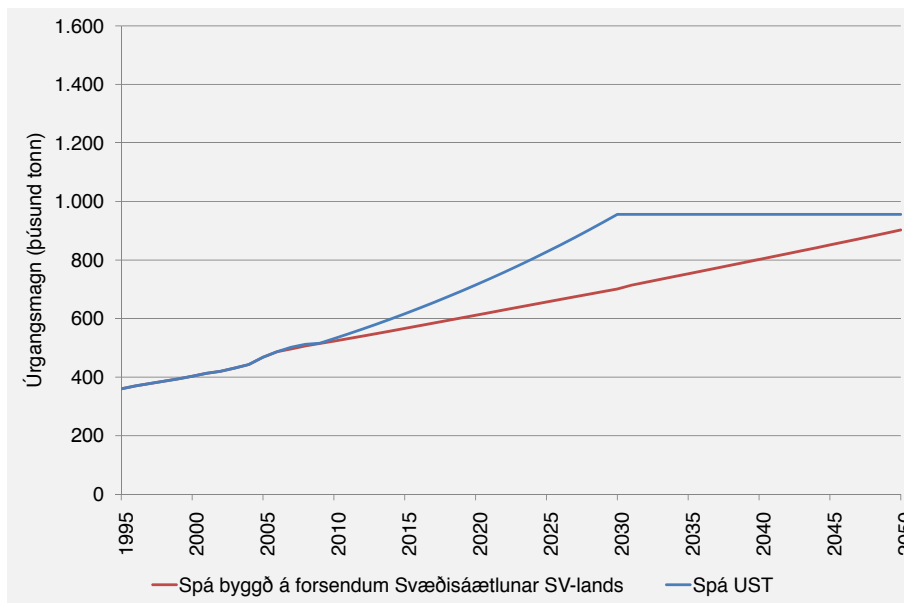
#### 4.7.1.3 Spár um þróun úrgangsmagns

Í spá Umhverfisstofnunar, sem stuðst er við er gert ráð fyrir 0,6% aukningu á úrgangi á íbúa á ári og notuð fjölsfjöldaáætlun Hagstofunnar fram til 2050. Þá má gera ráð fyrir að heildarmagn úrgangs árið 2050 verði tæp 1.040 þúsund tonn og magn á íbúa verði þá orðið 2.370 kg á ári. Aðrar forsendur í þessum spám eru að vinnubrögð við meðhöndlun úrgangs verði óbreytt sem og að ekki komi til neinar sértækar aðgerðir til minnkunar úrgangs á tímabilinu.

Mynd 4-73 sýnir hvernig heildarmagn úrgangs eykst miðað við spá UST (UST, 2008) annars vegar og hins vegar spá byggðri á forsendum Sameiginlegrar svæðisáætlunar fyrir Suður- og Vesturland. Í spá UST er gert ráð fyrir óbreyttu ástandi eftir 2030.

#### 4.7.2 Tæknilegir möguleikar

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 urðunarstöðum og draga úr urðun lífræns úrgangs með því að beina honum í endurvinnslu, jarðgerð, gasgerð eða í brennslu. Minna magn til urðunar veldur þó auknu útstreymi til skamms tíma. Hér á eftir er fjallað um þær leiðir sem helst eru til skoðunar.



Mynd 4-73. Spár um þróun á magni úrgangs miðað við spá UST og sameiginlegrar svæðisáætlunar fyrir Suðurland 2008-2020

#### 4.7.2.1 Urðun og meðferð hauggass

Urðun hefur verið stunduð um allt land og lengi vel voru ekki gerðar miklar kröfur um frágang urðunarstaða. Síðastliðinn áratug hafa kröfur aukist mjög um frágang svæðanna, mengunarvarnir og vöktun á urðunarstöðum jafnvel í áratugi eftir að þeim er lokað. Vegna þessa hefur kostnaður við urðun hækkað verulega og aðrar leiðir, þ.m.t. endurvinnsla, orðið samkeppnishæfari. Við þetta bætist að ákveðið hefur verið að takmarka urðun á lífrænum úrgangi. Urðun verður þó stunduð að vissu marki næstu áratugi. Það tekur tíma að ná góðum árangri í flokkun á úrgangi og vissan úrgang er erfitt að meðhöndla á annan hátt, svo sem úrgang sem ekki er brennanlegur og hentar ekki í jarðgerð.

Lífrænn úrgangur brotnar niður við loftfirrðar aðstæður á urðunarstöðum og þá myndast hauggas. Álfsnesi í Reykjavík er eini urðunarstaðurinn með gasfang. Gasið er notað á metanbíla, sem nú eru um 100 talsins. Einnig er framleitt rafmagn úr gasinu. Því hauggasi sem hvorki hefur verið notað á bíla né til rafmagnsframleiðslu hefur verið brennt til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Í tilraunaverkefni Metans hf. og Borgarplasts hf. var reynd notkun metans í iðnaði. Árið 2005 voru um 1.550 tonn metangass fönnguð í Álfsnesi. Heildarútstreymi metans frá urðunarstöðum á landinu var þá um 7.800 tonn. Árið 2006 voru bilanir í tækjabúnaði og nokkuð minna metangas fangað eða 900 tonn. Heildarútstreymi metans frá urðunarstöðum var því meira en árið áður eða 8.600 tonn

Árið 2003 gerði Umhverfisstofnun athugun á útstreymi frá nokkrum urðunarstöðum (Kamsma, 2003). Skoðað var hvort það er tæknilega mögulegt að safna gasi með því að mæla styrk gróðurhúsalofttegunda í útstreymi. Í skýrslu verkefnisins kemur fram að líklega væri æskilegt að setja gasfang á þrjá urðunarstaði til viðbótar við urðunarstaðinn í Álfsnesi. Á öðrum stöðum reyndist hlutfall metans í hauggasinu of lítið til að hagkvæmt væri að safna því. Í viðtölum við þá er málið varðar kemur fram að það er verið að skoða slíka framkvæmd á Suðurlandi en niðurstöður um magn gass eða kostnað liggja enn ekki fyrir.

#### **4.7.2.2 Brennsla**

Úrgangi er brennt við háan hita og við brennsluna losnar varmi. Þetta er mikilvæg uppspretta orku í Evrópu, t.d. framleiða Danir rafmagn á þennan hátt og nýta brennsluvarma til húshitunar. Þar er eftirspurn eftir orku sem ekki er framleidd úr kolum og olíu. Hér á landi er komin nokkur reynsla á nýtingu varma frá brennslustöðvum. Dæmi um það eru brennslustöðin á Ísafirði, þar sem vatn er hitað til húshitunar og á Kirkjubæjarklaustri en þar er varminn nýttur til að hita sundlaugarvatn.

#### **4.7.2.3 Jarðgerð**

Jarðgerð er náttúruleg aðferð til að umbreyta lífrænum úrgangi í mold með hjálp örvera. Raki og aðgengi að súrefni eru mikilvægir þættir sem og samsetning efnis m.t.t. hlutfalls 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 um 50% að umfangi. Í jarðgerð er notaður annars vegar köfnunarefnisríkur (prótínríkur) og oft blautur lífrænn úrgangur s.s. frá matvælavinnslu, og hins vegar kolefnisrík og tiltölulega þurr stoðefni, t.d. timburkurl, gróðurleifar, pappi, pappír og jafnvel húsdýraáburður. Við jarðgerðina myndast molta sem má nota til uppgræðslu og sem áburð, þó með vissum takmörkunum er lúta að smitvörnum. Samkeppni getur myndast við aðra endurvinnslu um stoðefni, sérstaklega pappír, pappa og timbur. Nokkur reynsla er komin á jarðgerð hérlendis og hefur jarðgerðarstöðvum fjölgað undanfarin ár.

#### **4.7.2.4 Metangasgerð**

Við loftfirt niðurbrot á lífrænum úrgangi myndast metangas sem nota má sem eldsneyti á bíla eða til að framleiða rafmagn og hita vatn. 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 aftur dreift á tún. Með hækkanði áburðarverði eykst hagkvæmni slíkrar vinnslu. Eins gætu einfaldar útfærslur á aðferðinni hentað á þéttbýlli svæðum landsins. Ekki þarf mikinn leka metangass frá framleiðslunni til að tapa þeim árangri sem annars næst varðandi minnkun útstreymis gróðurhúsalofttegunda. Kannaðir hafa verið möguleikar á að framleiða eldsneyti beint úr úrgangi hér á landi. Þetta hefur nýlega verið skoðað á höfuðborgarsvæðinu og á Norðurlandi. Einnig hafa verið skoðaðir hérlendis möguleikar á framleiðslu lífdísils úr lýsi og sláturúrgangi. Til eru fleiri leiðir sem minna hafa verið skoðaðar svo sem framleiðsla á etanóli úr pappa og pappír sem og gösun pappa, pappírs og annars einsleits kolefnisríks úrgangs til framleiðslu á Fischer-Tropsch-dísilolíu.

#### **4.7.2.5 Endurvinnsla**

Endurvinnsla úrgangs dregur í mörgum tilvikum úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda m.a. vegna minna útstreymis frá urðun og brennslu úrgangs. En það kemur fleira til. Ef borin eru saman heildarumhverfisáhrif endurunnninnar vöru og nýrrar kemur sú endurunna gjarnan betur út. Mestu munar oft 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 á t.d. málmum, gleri, dekkjum, pappa,

pappír, plasti, timbri, garðaúrgangi, slátur- og fiskúrgangi og öðrum matvælaúrgangi. Flokkun og forvinnsla fer fram hérlendis en talsvert er flutt út til áframvinnslu. Þó má nefna að hér á landi starfar plastendurvinnsla, timbur er nýtt sem kolefnisgjafi í járnblendiframleiðslu og nokkuð af spilliefnum er brennt í ofni Sementsverksmiðjunnar. Jarðgerð lífræns úrgangs færast einnig í aukana eins og fram hefur komið. Til skoðunar eru fleiri leiðir, s.s. framleiðsla á svokölluðu *solid recovered fuel* (SFR) úr úrgangi. Í því felst að framleitt er fast eldsneyti úr lífrænum úrgangi, hvort sem er í lausu kurlu eða kubbum. SFR er notað sem eldsneyti í t.d. kolakyntum orkuverum og minnkar þannig þörf á kolum.

Framleiðendaábyrgð spilar orðið stórt hlutverk í endurvinnslu. Endurvinnslan hf. hefur séð um söfnun og endurvinnslu drykkjarvöruumbúða í yfir 20 ár. Úrvinnslusjóður hefur starfað frá árinu 2003 og undanfari hans, Spilliefnanefnd frá árinu 1997. Undir Úrvinnslusjóð falla spilliefni, hjólbarðar, bifreiðar, pappa-, plast- og pappírsumbúðir og heyrulluplast. Í ársbyrjun 2009 tóku RR-skil til við að safna og endurvinna raftækjaúrgang. Úrvinnslugjald og skilagjald byggja á því að gjald er lagt á innflutning og framleiðslu vöruflokka sem lög um úrvinnslugjald, nr. 162/2002, ná yfir og eru fjármunir notaðir til að örva flokkun og endurvinnslu úrgangs. Hvatt hefur verið 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. Sama gildir um endurvinnsluna sjálfa en þar er hvatt til nýjunga og frumkvæðis í endurvinnslu. Reynt er með hagrænum hvötum að stuðla að sem mestri endurnýtingu og endurvinnslu.

#### 4.7.2.6 Flokkun úrgangs

Rétt þykir að fjalla hér stuttlega um flokkun úrgangs þar sem hún er alla jafna forsenda endurvinnslu. Flokkun á úrgangi er stunduð í nokkrum mæli hér á landi. Löng hefð er fyrir flokkun og endurvinnslu í framleiðslufyrirtækjum þar sem einsleitur úrgangur fellur til í miklu magni. Einstaklingar og minni fyrirtæki hafa aðgang að flokkunarstöðvum um allt land og stendur til boða að koma til skila ýmsum flokk-uðum úrgangi. Stutt er síðan farið var að bjóða íbúum sumra sveitarfélaga endurvinnslutunnur heim að húsi. Reynslan af þeim er góð, áhugi einstaklinga er mikill og gæði flokkunar ásættanleg.

Tiltölulega ódýrt er að ná úrgangi sem fellur til í miklu magni á fáum stöðum eins og sláturúrgangi, fiskúrgangi og öðrum framleiðsluúrgangi, en hirða á flokkuðum úrgangi verður dýrari eftir því sem lengra er seilst og sækja þarf úrgang á fleiri staði. Til að auka hagkvæmni í söfnun og endurvinnslu er mikilvægt er 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 þéttbýlum svæðum erlendis. Hins vegar hefur tekist vel til með sambland af flokkun á úrgangi á heimilum í endurvinnslutunnur og endanlegri flokkun í einföldum flokkunarstöðvum.

#### 4.7.2.7 Dregið úr magni úrgangs

Takist að minnka magn þess úrgangs sem fellur til þá minnka í kjölfarið öll umhverfisáhrif af völdum úrgangs, þ.m.t. útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Í sameiginlegri

svæðisáætlun fyrir Suður- og Vesturland 2008–2020 (VGK-Hönnun, 2007) eru lagðar fram hugmyndir um með hvaða hætti megi stuðla að því að dregið verði úr myndun úrgangs.

Í tillögunum er bent á að almennt megi minnka magn úrgangs með betri nýtingu hráefna við framleiðslu, minnkun umbúðaúrgangs með betra fyrirkomulagi í flutningi vöru, lengri líftíma vöru og breyttum neysluvenjum. Einnig er bent á að sveigjanleg sorphirðugjöld, sem tengd eru magni eða samsetningu úrgangs, hvetji íbúa og fyrirtæki til að draga úr magni úrgangs. Minnt er á heimildir sveitarfélaga til að setja samþykktir um meðferð úrgangs. Bent er á að nýta megi starfsleyfi til að setja af stað átaksverkefni um að draga úr myndun úrgangs hjá ákveðnum atvinnugreinum með áherslu á hreinni framleiðslutækni og að á móti megi draga úr mengunarvarnaeftirliti með fyrirtækjunum.

Í svæðisáætluninni er lagt til að stofnanir verði til fyrirmyndar á þessu sviði. Virkja megi enn betur verkefni Vistvernd í verki og Staðardagskrá 21, en þau leggja áherslu á úrgangsmál. Ekki megi heldur gleyma mikilvægi fræðslu, upplýsinga, þjálfunar og hvatningar.

#### **4.7.2.8 Fráveitur**

Þegar skólþ rennur í sjó, vötn eða rotþrær geta aðstæður verið þannig að niðurbrot lífrænna efnasambanda verði loftfirrt og losna þá gróðurhúsalofttegundirnar metan og hláturgas. Í skólphreinsistöðvum með stýrðu loftháðu niðurbroti er lofti blásið inn til að halda aðstæðum loftháðum og er þá að mestu komið í veg fyrir myndun gróðurhúsalofttegunda. 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. Mögulegt er að vinna metangas sem kemur frá skólphreinsistöðvum en athuganir sem gerðar hafa verið hingað til hafa sýnt að slík vinnsla er töluvert frá því að vera hagkvæm (Mannvit, munnleg heimild).

#### **4.7.3 Umhverfisleg skilvirkni**

Árið 2007 var útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi um 254 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda eða um 5,7% af heildarútstreymi hérlandis. Þar af voru um 202 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi vegna urðunar (79%), 23 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi vegna frárennslis (9%), 27 þúsund tonn vegna brennslu (11%) og 2 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi vegna jarðgerðar (1%).

##### **4.7.3.1 Spá um magn úrgangs – afskiptalaus þróun**

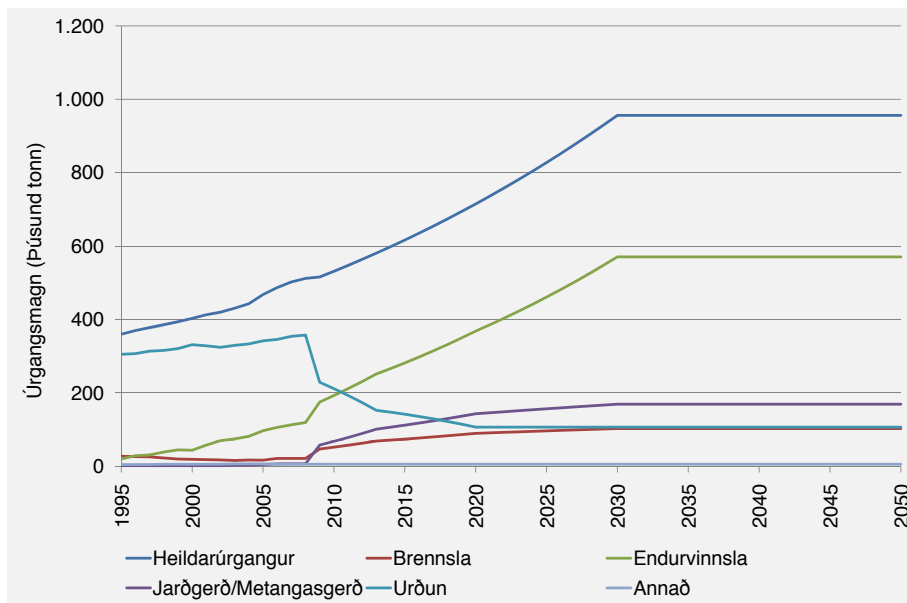
Spá UST um magn úrgangs og afsetningarleiðir hvers flokks fyrir sig er að finna á mynd 4-74. Þessi spá er notuð sem grunntilfelli við mat á umhverfislegri skilvirkni.

Í spá Umhverfisstofnunar er gert ráð fyrir að með minnkandi urðun aukist endurvinnsla, jarðgerð/metangasgerð og brennsla. Þá er gert ráð fyrir að sú flokkun á lífrænum úrgangi sem nauðsynleg er til að geta jarð- og/eða gasgert úrgang leiði til að talsvert magn af óvirkum úrgangi falli til, en slíkan úrgang er hægt að urða á myndunar gróðurhúsalofttegunda.

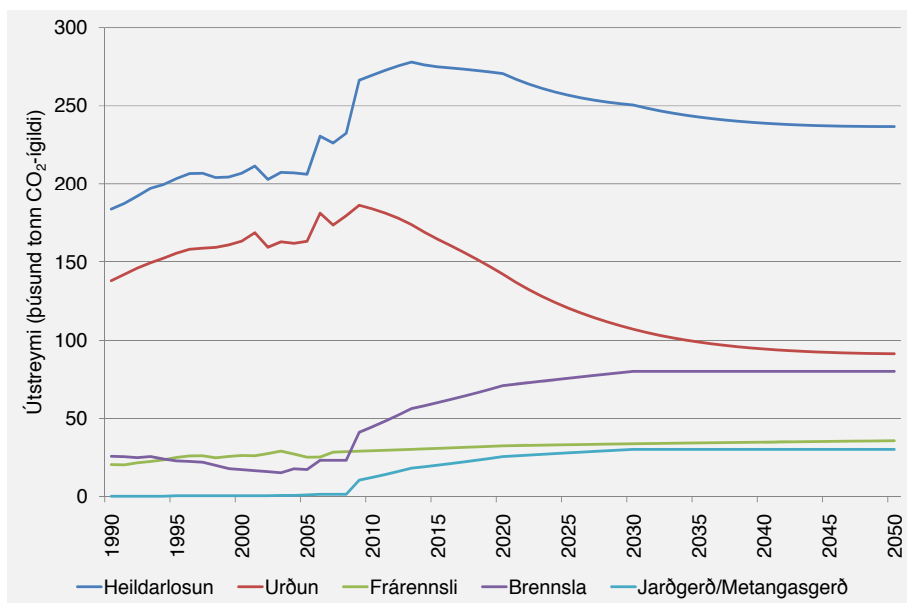
##### **4.7.3.2 Útstreymi gróðurhúsalofttegunda – grunntilfelli**

Samkvæmt spá UST um útstreymi gróðurhúsalofttegunda af völdum úrgangs frá 1990 til 2050 mun útstreymið aukast úr 184 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda árið 1990 í um





Mynd 4-74. Spá UST um magn úrgangs miðað við afskiptalausá þróun.



Mynd 4-75. Spá UST um útstreymi gróðurhúsalofttegunda af völdum úrgangs til ársins 2050 miðað við afskiptalausá þróun.

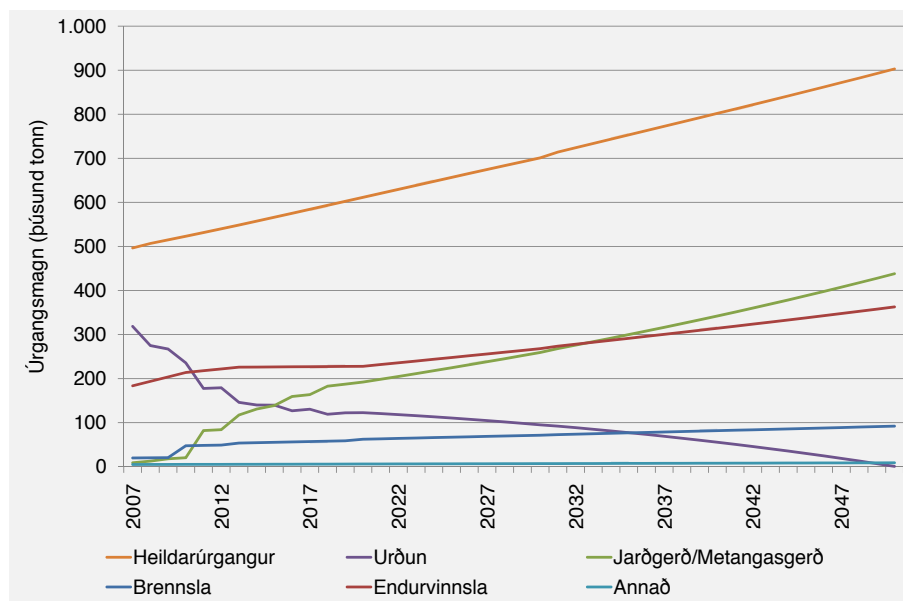
237 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda árið 2050. Spá UST er lögð til grundvallar að mati á áhrifum einstakra aðgerða til minnkunar útstremis gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi í þessari skýrslu, þ.e. hún er notuð sem grunntilfelli og kemur fram á mynd 4-75.

#### 4.7.3.3 Spá um þróun á magni úrgangs og útstreymi gróðurhúsalofttegunda 2009-2050<sup>15</sup>

Við spá um breytingar á magni úrgangs á íbúa á ári fram til ársins 2050 er gert ráð fyrir 0,6% aukningu og 20% aukningu í endurvinnslu umfram áætlað endurvinnslumagn á landinu skv. markmiðum nýrrar svæðisáætlunar fyrir Suður- og Vesturland

15 Spá á magni úrgangs sem notuð er í þessari skýrslu er fengin frá Mannviti verkfræðistofu.

Mynd 4-76. Magn úrgangs eftir mismunandi afsetningarleiðum frá 2007-2050, mótvægisáðgerðir.



(Mannvit, 2008). Hins vegar er spáð meiri aukningu í jarðgerð og metangasgerð. Spáð er minni aukningu úrgangs en í spá Umhverfisstofnunar.

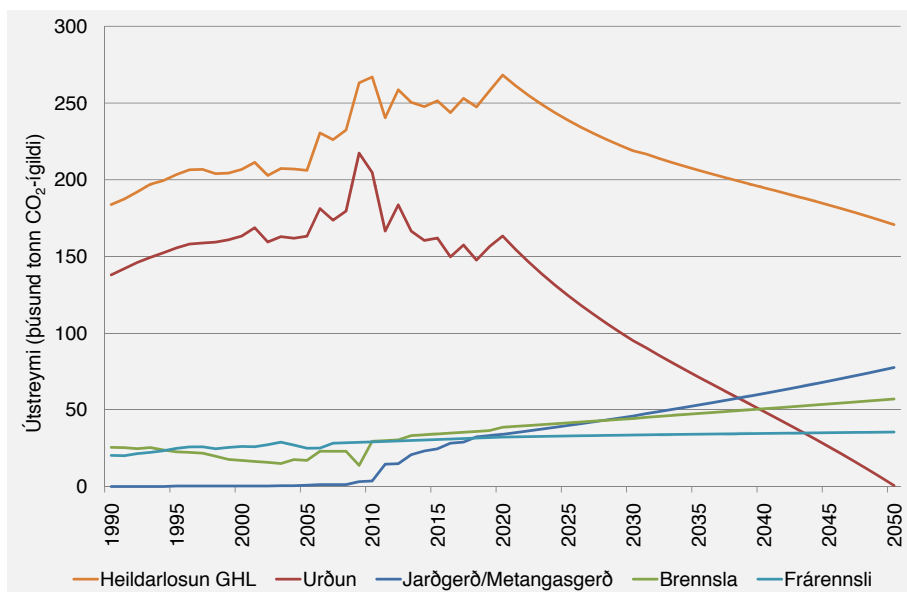
Gert er ráð fyrir að magn úrgangs sem fari í jarðgerð og/eda metangasgerð sé meira en grunnspá UST á kostnað urðunar. Eins og áður er komið fram hafa þegar verið reistar jarðgerðarstöðvar hérlandis. Fyrirhugaðar eru fleiri slíkar jarðgerðarstöðvar og jafnvel metangasstöðvar. Gera má því ráð fyrir að jarðgerð og metangasgerð eigi eftir að aukast á landinu í nánustu framtíð. Ekki er gert ráð fyrir söfnun metangass af urðunarstöðum umfram það sem útstreymisspá Umhverfisstofnunar gerir ráð fyrir, þ.e. að sama magni metangass verði safnað árlega og árið 2005.

Gert er ráð fyrir aukinni brennslu úrgangs til orkuvinnslu, en ekki er útilokað að í stað slíkrar starfsemi hefjist framleiðsla sk. *solid recovered fuel* (SFR) úr úrgangi sem þá gæti orðið útflutningsvara. Slík framleiðsla flokkast undir endurvinnslu og myndi leiða til töluvert minna útstreymis en spáin gerir ráð fyrir. Hvort af slíku verður, sem og þróun brennslu með orkunýtingu, er að miklu leyti háð þróun á verði SFR og þörf fyrir aðra kosti í orkuframleiðslu hérlandis.

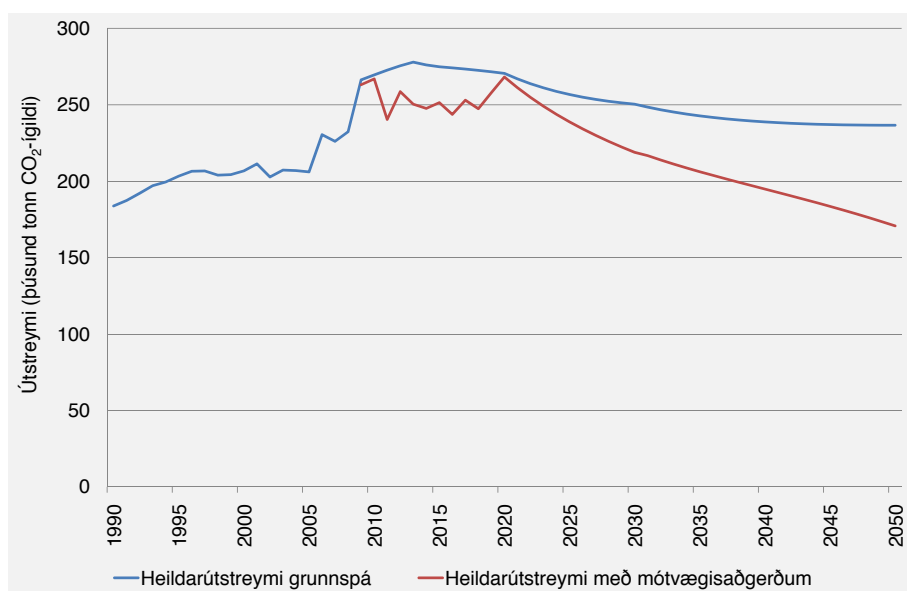
Spá um magn úrgangs í mismunandi afsetningarleiðir með mótvægisáðgerðum er að finna á mynd 4-76. Mynd 4-77 sýnir þróun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda m.v. mótvægisáðgerðir frá 1990-2050. Samanburð á grunnspá og útstreymi með mótvægisáðgerðum er að finna á mynd 4-78.

#### 4.7.4 Kostnaður, ávinningur og kostnaðarskilvirkni

Við mat á kostnaði á mismunandi leiðum var stuðst við gögn úr skýrslu VGK- Hönnunar frá 2007 um sameiginlega svæðisáætlun um meðhöndlun úrgangs, sem og tölur byggðum á reynslu sérfræðinga hjá Mannviti. Kostnaður við umfangsmikla jarðgerð og metangasgerð er áætlaður um 4-6 kr./kg úrgangs, en kostnaðurinn eitthvað hærri þegar umfangið er minna (undir 10.000 tonnum á ári). Jarðgerð er almennt ódýrari en metangasgerð, bæði hvað varðar fjárfestingar- og rekstrarkostnað, en á móti kemur að afurðir metangasgerðar eru mun verðmætari. Kostnaður við brennslu er áætl-



Mynd 4-77. Útstreymi og mótvægisáðgerðir 1990 – 2050.



Mynd 4-78. Samanburður á grunnspá og útstreymi með mótvægisáðgerðum. Heimild: Umhverfisstofnun (grunnspá) og Mannvit (mótvægisáðgerðir).

aður um 12-14 kr./kg og við urðun um 10 kr./kg. Innifalinn í þessum kostnaðartölum er einnig stofnkostnaður, þ.e. tækjabúnaður, land, byggingar og fleira. Fyrir endurvinnslu er fundið meðalverð því sumir efnisflokkar eru dýrari í endurvinnslu en aðrir. Hafðar voru til hliðsjónar reynsla sérfræðinga og greiðslur Úrvinnslusjóðs til þjónustuaðila vegna úrgangsflokka er bera úrvinnslugjald.

Miðað við núverandi tækni er kostnaður við brennslu mestur, þar á eftir urðun, þá endurvinnsla og loks jarðgerð og metangasgerð. Í tölum í töflu 4-42 er ekki tekið tillit til kostnaðar við brennslu metangass frá urðun eða ábata af metangasgerð 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 nýtingar varma frá brennslu.

Í töflu 4-43 er samanburður á kostnaði á núvirði miðað við mótvægisáðgerðir. Meðalkostnaður á tímabilinu 2009–2020 er 5 kr./kg. Hagkvæmast er, ef miðað er við

Afsetningaraðferð	Kostnaður (kr./kg)
Urðun	10
Jarðgerð/Metangasgerð	4-6
Brennsla	12-14
Endurvinnsla	8

Tafla 4-42. Kostnaður á núvirði við mismunandi aðferðir. Kostnaðartölur innihalda stofnkostnað (Mannvit, 2008).

Afsetningaraðferð	Uppsafnaður kostnaður (Mkr.J)			
	2009–2020		2009–2050	
	Grunntilfelli (UST)	Viðbótaraðgerðir	Grunntilfelli (UST)	Viðbótaraðgerðir
Urðun	14.300	14.700	23.400	21.900
Jarðgerð/Metangasgerð	4.500	5.000	11.500	17.000
Brennsla	7.900	5.800	19.100	14.000
Endurvinnsla	18.600	15.700	54.100	34.800
Annað	100	100	200	300
Samtals	45.400	41.300	108.300	88.000
Kostnaður (kr./kg sorp)	5	5	3	3

Tafla 4-43. Samanburður á kostnaði á núvirði samkvæmt grunntilfelli (spá UST) og mótvægisáðgerðir (Mannvit, 2008).

kostnað á hvert kg, að auka jarðgerð og metangasgerð. Það er því hagstætt að magn úrgangs sem fari í jarðgerð og metangasgerð aukist á kostnað urðunar. Nokkur aukning hefur verið á metannotkun á síðustu árum og bendir allt til þess að sú þróun eigi eftir að halda áfram í ljósi hækkandi verðs á jarðefnaeldsneyti og viðleitni til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi og samgöngum. Þegar metan er unnið með gasgerð og nýtt sem eldsneyti á bíla má draga úr kostnaði við innflutning á eldsneyti og útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

Eins og sést í töflu 4-44 geta mótvægisáðgerðir minnkað útstreymi um 9% umfram grunntilfelli og neikvæður kostnaður gefur til kynna beinan fjárhagslegan ávinning. Hafa ber í huga að ekki er tekinn inn í reikninga kostnaður vegna söfnunar og flokkunar úrgangs. Þar getur legið viðbótarkostnaður þegar flóknari vinnsla úrgangs er aukin og urðun minnkuð. Eins er bent á að kostnaðarávinningur skilar sér á löngum tíma en talsverðar fjárfestingar þarf til, og í sumum tilfellum skipulagsbreytingar, vegna söfnunar úrgangs. Kostnaður vegna þeirra fjárfestinga er ekki tekinn með.

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda	2009–2020			2009–2050		
	Grunntilfelli (UST)	Með aðgerðum	Frávik m.v. UST	Grunntilfelli (UST)	Með aðgerðum	Frávik m.v. UST
Útstreymi (1000 tonn)	3.300	3.000	-9%	9.700	8.200	-15%
Útstreymi (kg GHG/Mg sorp)	400	400	-3%	300	300	0%
Kostnaður (kr./tonn GHG)		-14.000				

Tafla 4-44. Samantekt á uppsöfnuðu útstreymi gróðurhúsalofttegunda og kostnaði fyrir mótvægisáðgerðir. Neikvæður kostnaður þýðir að fjárhagslegur ávinningur er af áðgerðum.

## 4.8 Skógrækt, votlendi, jarðvegur (binding og útstreymi) – Breytt landnotkun

### 4.8.1 Yfirlit

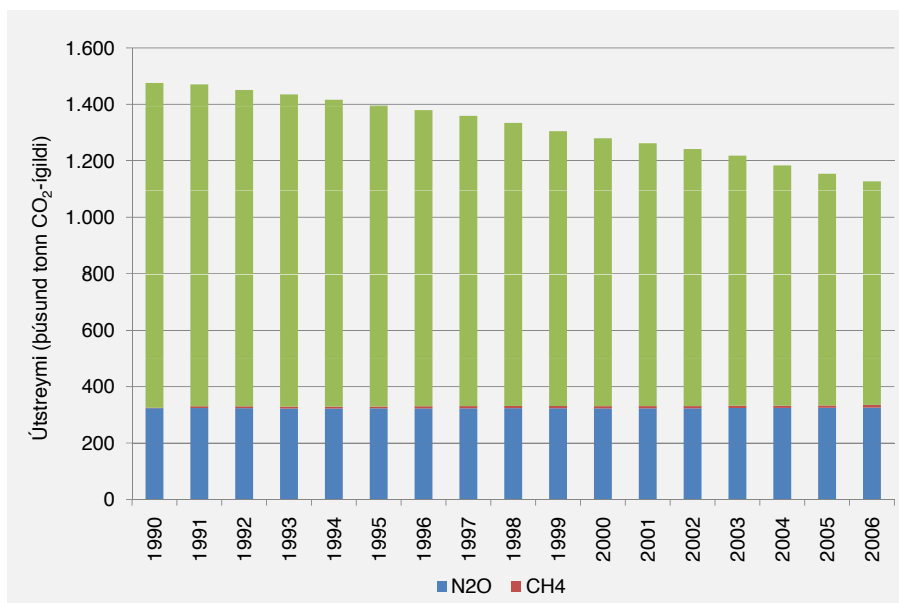
Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna landnotkunar hér á landi var um 1127 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á ári 2006, samkvæmt þeim tölum sem Landbúnaðarháskóli Íslands (LbHÍ) safnar fyrir Umhverfisstofnun, og skilað er til loftslagssamningsins. Þetta er um 32% af heildarútstreymi þess árs. Aðalástæða þessa útstreymis er útstreymi frá framræstum mýrum. Nokkuð streymir einnig frá uppistöðulónum virkjana, þar sem jarðvegur hefur horfið undir vatn. Til frádráttar þessu útstreymi kemur binding í skógrækt og landgræðslu. Mynd 4-79 sýnir útstreymi frá landnotkun eftir lofitegundum.

Mestur hluti af útstreymi vegna landnotkunar er koldíoxíð (CO<sub>2</sub>) og hláturgas (N<sub>2</sub>O) og hvort tveggja kemur úr framræstum mýrum. Samdrátturinn í útstreymi koldíoxíðs skýrist ekki af minna útstreymi frá framræstum mýrum á undanförmum árum heldur aukinni bindingu koldíoxíðs í skógum og vegna landgræðslu. Mynd 4-80 sýnir skiptingu útstreymis vegna landnotkunar eftir ástæðum útstreymis.

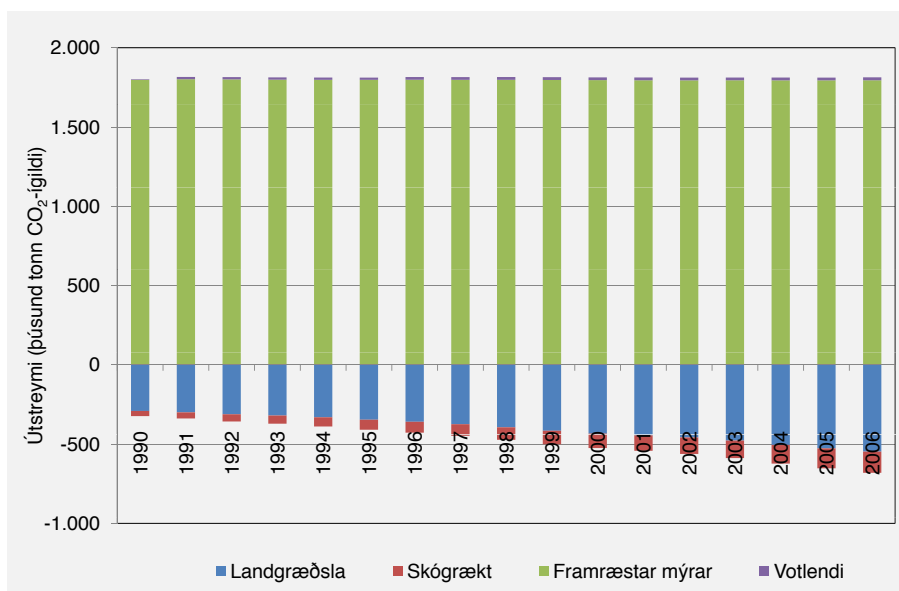
Eins og sjá má á mynd 4-80 hefur útstreymi frá framræstum mýrum ekki breyst svo neinu nemi frá 1990. Á hinn bóginn hefur binding með landgræðslu og skógrækt aukist á undanförmum árum.

Tekið skal fram að nokkur óvissa er um raunverulegt útstreymi vegna landnýtingar og umtalsverðar breytingar hafa átt sér stað á metnum losunartölum á undanförmum árum eftir því sem betri upplýsinga hefur verið aflað. Þessari þróun er ekki lokið. Á komandi árum mun aðferðafræði við matið batna þegar áætluðum losunartölum á flatarmálsseiningu lands skv. IPCC (s.k. Tier 1 aðferðafræði) verður skipt út fyrir nákvæmara mat á raunbindingu og útstreymi sem byggja á mælingum (Tier 2 aðferðafræði). Vegna þess að þeirri vinnu er ekki lokið er stuðst við stuðla IPCC í spám um bindingu og útstreymi og jafnframt í þeim kostnaðarútreikningum sem hér

Mynd 4-79. Heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda vegna landnotkunar (LULUCF, Land Use, Land Use Change and Forestry) reiknað sem CO<sub>2</sub>-ígildi og flokkað eftir lofttegundum (UST, National Inventory Report, Iceland 2008).



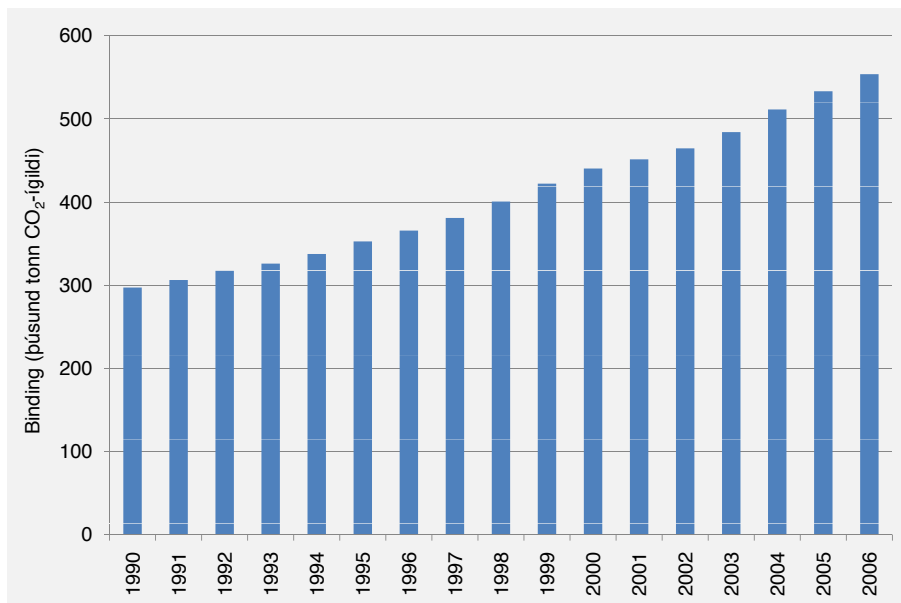
Mynd 4-80. Heildarústreymi og -binding vegna landnotkunar (LULUCF) á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildi flokkað eftir ástæðum losunar (UST National Inventory Report, Iceland 2008).



fara á eftir. Þetta er gert til að mismunandi uppsprettum bindingar og útstreymis sé ekki mismunandi á grundvelli aðferðafræðinnar einnar.

#### 4.8.2 Landgræðsla

Stór hluti Íslands er í dag lítt gróinn. Áætlað er að svo mikið sem 40% af flatarmáli landsins hafi orðið fyrir jarðvegstapi vegna uppblásturs (Ólafur Arnalds o.fl., 2000). Rannsóknir sýna að með landgræðslu binst kolefni í plöntum og jarðvegi yfir lengri tíma (Ása Aradóttir o.fl., 2000, Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2004). Rannsóknir (Ása Aradóttir o.fl., 2000; Ólafur Arnalds o.fl., 2000; Ása Aradóttir o.fl. 2006) sýna að þessi binding er af stærðargráðunni 100-500 tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á km<sup>2</sup> eftir landgæðum og aðstæðum. Heildarumfang landgræðsluverkefna frá 1990 til 2005 var um 900 km<sup>2</sup> eða um 0,9% landsins (Guðmundur Halldórsson o.fl. 2008). Árleg binding gróð-



Mynd 4-81. Árleg binding íslenskra landgræðsluverkefna á gróðurhúsalofttegundum í þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi. (Heimild: Umhverfisstofnun National Inventory Report, Iceland 2008)

urhúsalofttegunda vegna landgræðsluaðgerða var metin um 550 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2006 (Umhverfisstofnun 2008). Í þeim útreikningum er stuðst við bindingarstuðulinn 275 tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á km<sup>2</sup>. Binding landgræðsluverkefna sem hófust eftir 1990 nam rúmlega 265 þúsund CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2006 (Umhverfisstofnun 2008).

Nokkuð vantar upp á að bindingarferli landgræðsluverkefna, þ.e. árleg binding þeirra á flatareiningu frá upphafi til þess tíma er binding stöðvast, sé þekkt. Rannsóknir undangenginna ára sýna að bindingin er breytileg eftir landgæðum og aðstæðum (Ása Aradóttir o.fl., 2000; Ólafur Arnalds o.fl., 2000; Ása Aradóttir o.fl. 2006). Jafnframt er óvissa um hve lengi landgræðsluaðgerðir binda kolefni. Mælingar Landgræðslunnar benda til þess að binding standi jafnan í meira en 30 ár og allt að 60 ár (Ólafur Arnalds o.fl., 2000). Meðalbindingarstuðullinn, sem miðað er við í mati LbhÍ, er eins og áður sagði 275 tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á km<sup>2</sup> á ári. Þetta mat hefur sætt gagnrýni frá eftirlitsaðilum loftslagssamningsins sem benda á að nauðsynlegt sé að við mat á bindingu sé stuðst við skilgreinda aðferðafræði sem byggir á rannsóknum og taki tillit til mismunandi aðstæðna vegna landgerðar, gróðurfars o.s.frv. (UNFCCC 2008). Spá um bindingu landgræðsluverkefna ræðst af forsendum um árlegt umfang, árlega bindingu og tímabil bindingar. Óvissa um þessar forsendur mun valda óvissu um niðurstöðuna. Samkvæmt heimildum frá Landgræðslunni (Guðmundur Halldórsson, munnleg heimild) myndi varfærið mat á árangri landgræðsluaðgerða vera 0.2 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á km<sup>2</sup> á ári í um 30 ár. Spá um umfang bindingar með landgræðslu byggir hins vegar á þeim bindingarstuðlum sem liggja til grundvallar þeim tölum sem skilað var til UNFCCC 2008 (þ.e. 0,275 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi/km<sup>2</sup>/ár) og því að árlegt umfang nýrra landgræðsluverkefna á tímabilinu haldist óbreytt frá því sem nú er, þ.e. um 75 km<sup>2</sup>/ári (Guðmundur Halldórsson o.fl. 2008).

Ef miðað er við þær forsendur að landgræðsluverkefni stuðli að bindingu 0,275 þúsund tonna CO<sub>2</sub>-ígilda á km<sup>2</sup> á ári í 60 ár, mun binding landgræðsluverkefna nema 555 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2020 vegna verkefna sem hófust eftir 1990

og 1.170 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2050. Hámarksbindingu verður ekki náð fyrr en um 2060 og mun hún nema 1.240 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári.

#### 4.8.3 Skógrækt

Nýskógrækt er áhrifamikil leið til bindingar kolefnis úr andrúmsloftinu. Viður trjáa er að mestu gerður úr kolefniskeðjum og innihalda þau því mikið magn kolefnis. Einingis lítill hluti Íslands er þakinn skógi. Stefna stjórnvalda er að auka ræktun skóga verulega. Ótullega hefur verið unnið að rannsóknum sem tengjast mati á kolefnisbindingu skóga, s.s. á bindingarferli og mati á útbreiðslu (Ragnhildur Sigurðardóttir 2000, Arnór Snorrason og fleiri 2002, Arnór Snorrason og Bjarki Þór Kjartansson 2005, Bjarni D. Sigurðsson og fleiri 2005, Bjarni D. Sigurðsson og fleiri 2008, Brynhildur Bjarnadóttir og fleiri 2008). Hérlandar rannsóknir staðfesta að verulegt magn kolefnis binst í skógi, og að umtalsverður breytileiki er á magninu eftir aldri, trjátegund og staðsetningu, 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, enda er jarðvegur jafnan rýr á þeim svæðum þar sem ráðist er í skógrækt (Bjarni D. Sigurðsson og fleiri 2008).

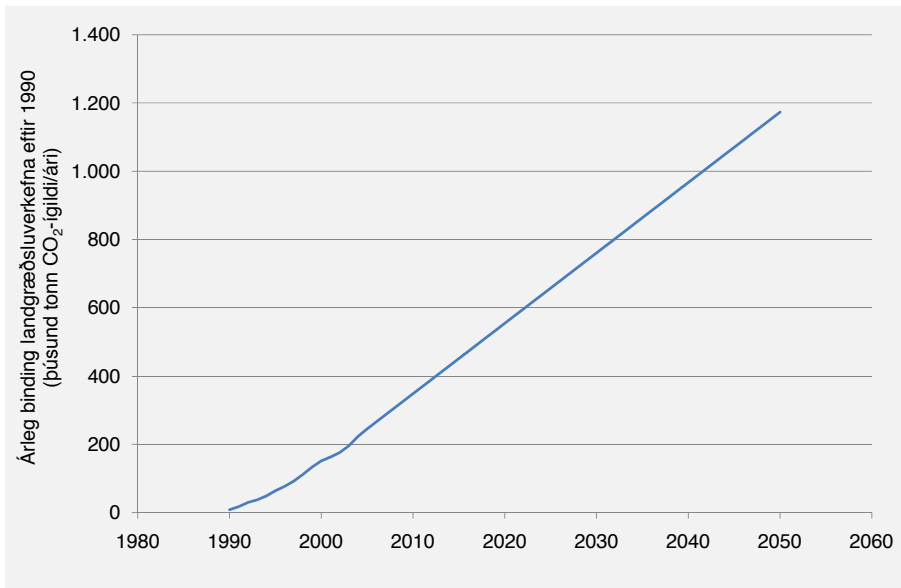
Flatarmál ræktaðra skóga á Íslandi er 289 km<sup>2</sup> samkvæmt fyrstu niðurstöðum Íslenskrar skógarúttektar frá sumrinu 2005 eða um 0,3% landsins (Arnór Snorrason 2006). Þar af eru ræktaðir skógar frá því fyrir 1990 um 56 km<sup>2</sup>. Árleg plöntun nemur um 18 km<sup>2</sup> á ári. Samkvæmt þeim tölum sem skilað var til loftslagssamningsins bundu íslenskir skógar 134 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á árið 2006. Í þeim útreikningum er stuðst við fastan bindingarstuðul upp á 0,44 þúsund tonn CO<sub>2</sub> á km<sup>2</sup> á ári. Miðað við þær forsendur er viðbótin umfram bindingu þeirra skóga sem þegar var búið að planta árið 1990 um 99,4 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári (Arnór Snorrason 2007).

Vaxtarferill trjáa er með þeim hætti að árlegur vöxtur er lítill framan af ævi þeirra. Smám saman bætist við vaxtarhraðann uns hann nær hámarki þegar tréð er 20-40 ára. Síðan fer að draga úr vextinum aftur og stöðvast hann síðan nánast þegar tréð nær fullri hæð, eftir 90-120 ár (Arnór Snorrason 2006). Binding með skógrækt á sér því stað á 90-120 árum. Svo lengi sem skógrækt er stunduð á ákveðnu svæði er binding með skógrækt varanleg. Ef skógur er felldur þá mun endurplöntun sjá til þess að jafnvægi verður u.þ.b. milli útstreymi og bindingar. Miðað við núverandi árlega plöntun, sem nemur um 18 km<sup>2</sup>/ári, mun binding íslenskra skóga umfram bindinguna árið 1990 nema um 220 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2020 og 450 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2050 (Arnór Snorrason 2006).

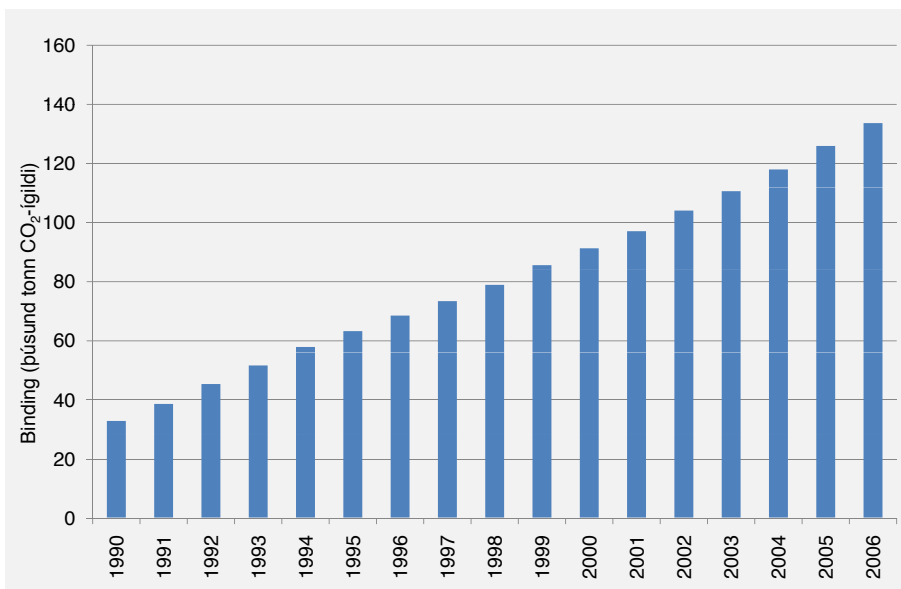
##### 4.8.3.1 Framræstar mýrar

Sú tegund landnotkunar sem orsakar mest útstreymi gróðurhúsalofttegunda eru framræstar mýrar. Samkvæmt tölum frá LbhÍ nam þetta útstreymi á Íslandi 1.795 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2006. Þetta útstreymi er ekki talið með í bókhaldi vegna Kyoto-bókunarinnar (Umhverfisstofnun 2008). Aðgerðir til að draga úr útstreymi framræstra mýra munu því ekki telja í því bókhaldi á næsta skuldbindingartímbili Kyoto-bókunarinnar eftir 2012 nema samkomulag verði um það í yfirstandandi samningaviðræðum um loftslagsmál. Velji Ísland að skoða þennan möguleika er nauðsynlegt að byrja að huga að aðferðafræði til að meta árangur af endurheimt vot-

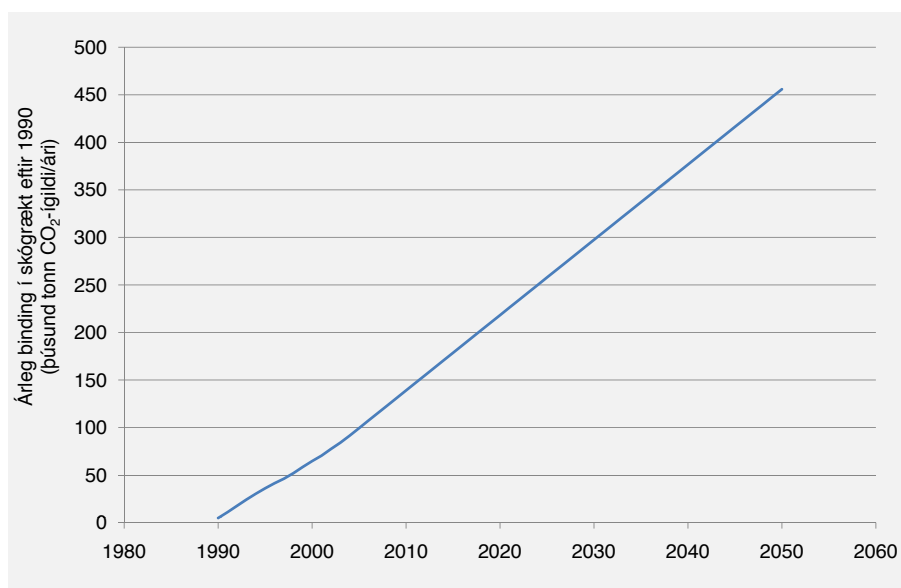




Mynd 4-82. Áætluð árleg binding vegna landgræðsluverkefna sem hófst eftir 1990 miðað við að árlegt umfang nýrra landgræðsluaðgerða haldist óbreytt. Grunnspáin byggir á sömu forsendum og notaðar voru í skilum Íslands til loftslagssamningsins 2008.



Mynd 4-83. Árleg binding íslenskra skóga á gróðurhúsalofttegundum í þúsundum tonna CO<sub>2</sub>-ígilda (UST National Inventory Report, Iceland 2008).



Mynd 4-84. Áætluð árleg binding vegna nýskógræktar sem hófst eftir 1990 miðað við núverandi árlegt umfang nýskógræktar.

lendis í samræmi við leiðbeiningar IPCC um mat á LULUCF verkefnum (IPCC 2003). Meta þarf umfang framræslu með nákvæmum hætti, raunverulegt útstreymi og breytileika þess eftir aðstæðum. Slíkar rannsóknir eru forsenda þess að hægt verði að fá samdrátt í útstreymi vegna endurheimts votlendis viðurkenndan.

Mýrjarðvegur samanstendur að stórum hluta af uppsöfnuðum plöntuleifum sem ekki rotna vegna takmarkaðs aðgangs að súrefni og skýrist það af hárrí vatnsstöðu mýranna (Hlynur Óskarsson 2008). Þegar mýri er ræst fram eykst flæði súrefnis og rotnun plöntuleifanna hefst. Áætlað hefur verið að um 27.000-30.000 km af skurðum hafi verið grafnir í mýrum hér á landi frá stríðslokum. Heildarflatarmál þess votlendis sem ræst hefur verið fram hefur verið áætlað 3.900 km<sup>2</sup> út frá hlutfallinu 7,3 km af skurðum á hvern km<sup>2</sup>. Þetta samsvarar um 3,9% landsins (Umhverfisráðuneytið 2008). Miðað við tölur frá Bændasamtökum Íslands má gera ráð fyrir að um 1.200 km<sup>2</sup> af framræstum mýrum séu tún og annað ræktað land, 1800 km<sup>2</sup> beitolönd og um 900 km<sup>2</sup> sem eru í takmarkaðri beinni notkun (Ólafur Dýrmundsson, munnleg heimild).

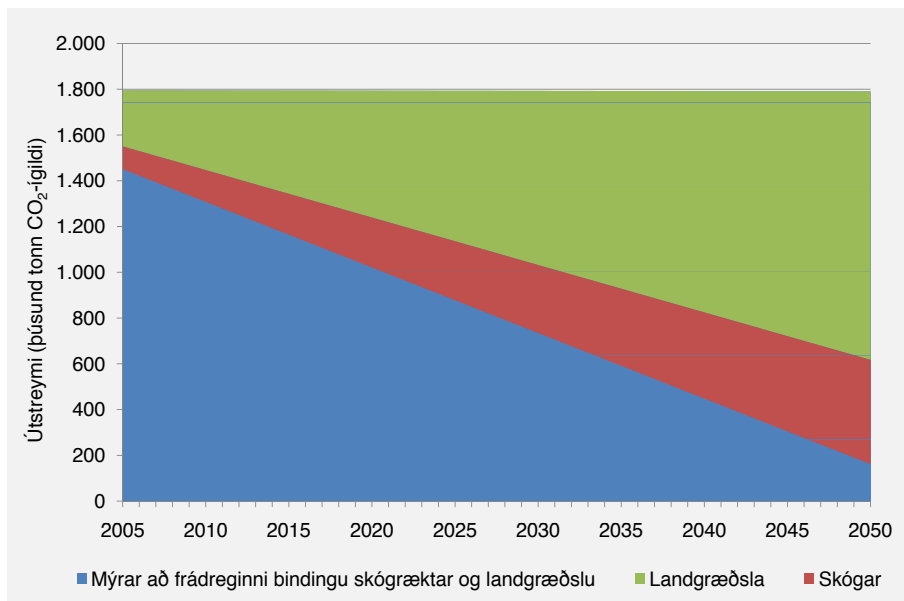
Lifrænt efni hefur safnast í mýrar á mjög löngum tíma þannig að útstreymi getur haldist óbreytt lengi. Nokkuð fer þó eftir aðstæðum hve lengi framræsla endist. Við erfiðar aðstæður lokast skurðir með tímanum af sjálfu sér. Þar sem land hallar geta skurðir hins vegar auðveldlega haldið sér við og jafnvel grafið sig niður af sjálfsdáðum (Hlynur Óskarsson 1999). Erfitt er því að spá hvaða þróun mun eiga sér stað hér á landi hvað varðar útstreymi frá framræstum mýrum ef ekkert er að gert. Mælingar starfsmanna Landbúnaðarháskóla Íslands benda þó til að ekki sé farið að draga úr útstreymi mýra 40 árum eftir að framræslu lauk (Hlynur Óskarsson, munnleg heimild). Lítið er um eldri framræslu svo erfitt er að spá hvenær skurðirnir lokast af sjálfu sér. Raunhæft mat er því að lítið sem ekkert dragi úr útstreymi fram til 2020 en hugsanlega muni eitthvað af skurðum hafa lokast af sjálfsdáðum árið 2050 (<5% hámarks-samdráttur).

Útstreymi framræstra mýra á gróðurhúsalofttegundum hættir um leið og vatnsstaða nær fyrri hæð (Hlynur Óskarsson 1999, Hlynur Óskarsson 2008). Þegar votlendi er endurheimt stöðvast því útstreymið en í stað þess hefst að nýju sú uppsöfnun lífræns efnis sem átti sér stað áður en ráðist var í framræsluna. Ekki er ljóst hve lengi sú uppsöfnun getur staðið en þó er vitað að mýrarnar á Íslandi hafa verið að byggjast upp frá lokum síðustu ísaldar fyrir 8.000–10.000 árum (Hlynur Óskarsson 1998). Þó svo votlendi bindi kolefni er verg binding mæld í CO<sub>2</sub>-ígildum lítil vegna aukins útstreymis á metani frá votlendi. Endurheimt votlendis er varanleg aðgerð, sem mun stöðva útstreymi um fyrirsjáanlega framtíð enda hafa mýrarnar verið að byggjast upp síðan síðustu ísöld lauk.

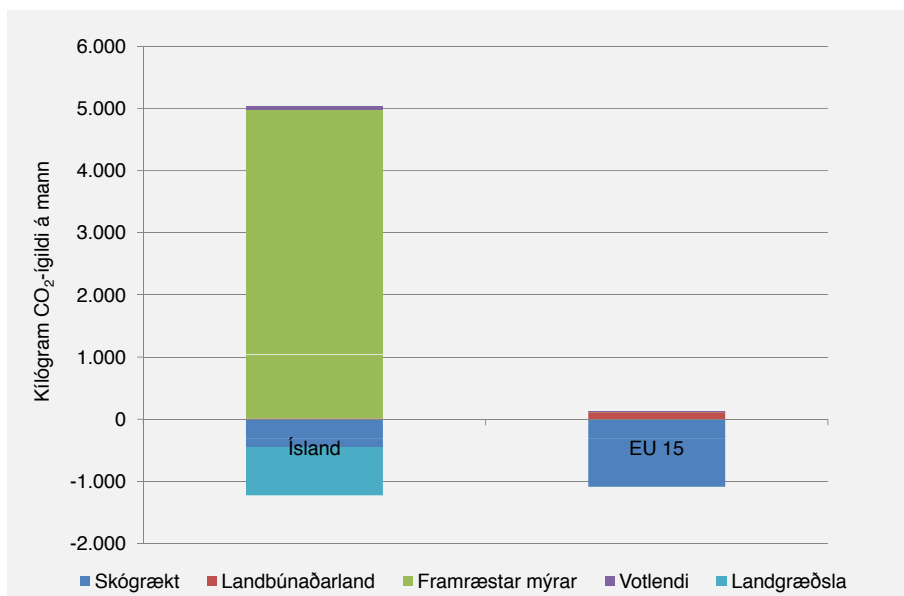
Mynd 4-85 sýnir spá um þróun heildarútstreymis. Engar breytingar verða á útstreymi frá framræstu votlendi en til frádráttar kemur aukin binding skóga og landgræðsluverkefna.

#### 4.8.4 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Hlutfallslegt umfang gróður- og skógareyðingar og framræsla votlendis hér á landi er slíkt, að samanburður við önnur lönd er til lítils. Ekkert af okkar nágrannalöndum hafa búið við jarðvegseyðingu í líkingu við það sem átt hefur sér stað hér á landi, enda er Ísland eitt fárra landa sem hyggst nýta sér landgræðslu sem mótvægisáðgerð við útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Jafnframt eru möguleikar til nýskógræktar víðast



Mynd 4-85. Spá um ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá landnotkun (LULUCF) hér á landi (ústreymi mýra að frádreginni bindingu skóga og landgræðslu miðað við óbreyttar aðgerðir).



Mynd 4-86. Ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá landnotkun (LULUCF) hér á landi og í ESB-15 í kg CO<sub>2</sub>-ígilda á íbúa á ári (UNFCCC 2008).

hvar í nágrennalöndunum takmarkaðir af annarri landnotkun. Af þessum sökum er samanburður á hlutfallslegu ústreymi vegna landnotkunar til lítils annars en að undirstrika sérstöðu Íslands.

Eins og fram kemur á mynd 4-86 er mjög mikill munur bæði á umfangi og samsetningu ústreymis/bindingar vegna landnotkunar á Íslandi miðað við meðaltal 15 Evrópuríkja (ESB15). Mestu munar þar um ústreymi frá framræstum mýrum.

## 4.8.5 Tæknilegir möguleikar

### 4.8.5.1 Landgræðsla

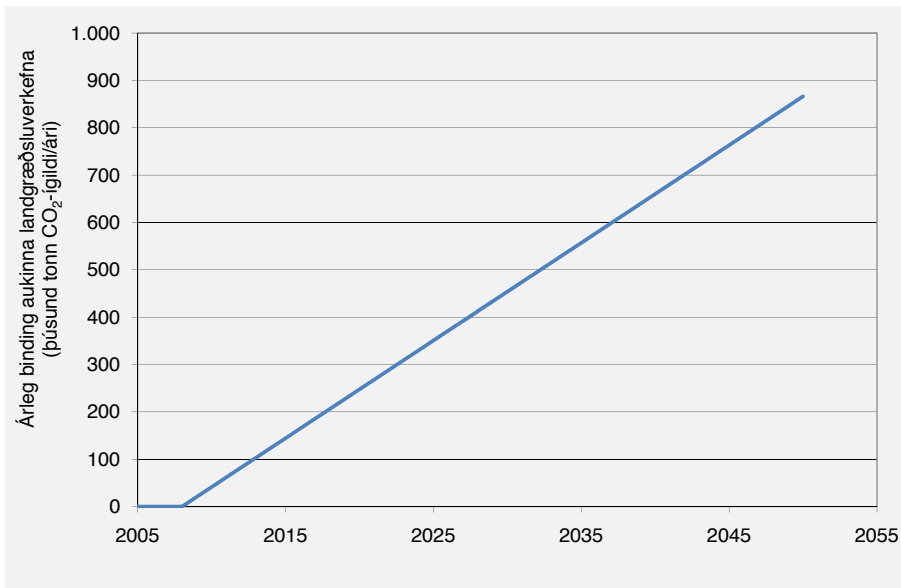
Heildarumfang landgræðsluverkefna frá 1990 er um 770 km<sup>2</sup> (Guðmundur Halldórsson og fleiri 2008). Alls má reikna með að 18.600 km<sup>2</sup> af uppgæðanlegu landi sé að finna á Íslandi þar af 6.600 km<sup>2</sup> í innan við 200 metra hæð yfir sjávarmáli og um 12.000 km<sup>2</sup> í meiri hæð (Andrés Arnalds 2004, Anna María Ágústsdóttir 2004).

Reiknað er með að um 10.000 km<sup>2</sup> af þessu landi henti vel til landgræðslu, mest í innan við 200 metra hæð (Anna María Ágústsdóttir 2004). Núverandi umfang aðgerða Landgræðslunnar nema um 75 km<sup>2</sup>/ári (Guðmundur Halldórsson og fleiri 2008). Tæknibúnaður, sem þarf til landgræðslu, er sömu gerðar og bændur nota almennt við bústörf. Því er ljóst að auðveldlega má auka umfang aðgerðanna verulega áður en tæknilegum takmörkunum er náð. Sem dæmi væri tæknilega mögulegt að tvöfalda umfang árlegra landgræðsluverkefna í um 150 km<sup>2</sup>/ári. Slik tvöföldun mundi ná því markmiði að græða upp megnið af uppgræðanlegu landi á næstu 50 árum (Guðmundur Halldórsson og fleiri 2008).

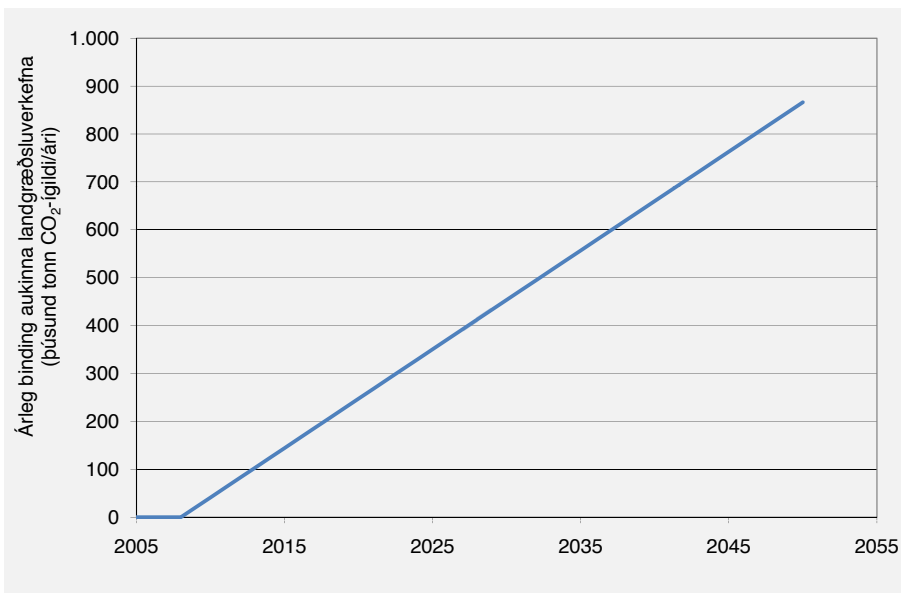
Miðað við þær forsendur sem gefnar voru hér að framan um árlega meðalbindingu og tímabil bindingar landgræðsluaðgerða má spá fyrir um árangur af tvöföldun umfangs aðgerða. Neðra mat á árlegri bindingu umfram bindingu eldri aðgerða (fyrir 1990) er um 580 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2020 og 900 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2050. Aukningin umfram grunnspá (sjá hér að ofan) yrði 180 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á ári árið 2020 og um 450 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á ári árið 2050. Neðri mörk heildarbindingar vegna aukins aðgerðahraða mun nema 1.200 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda fram til 2020 og 12.400 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda fram til 2050. Miðað við grunnforsendur LBHÍ verður árleg binding umfram bindingu eldri aðgerða (fyrir 1990) 800 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2020 og rúmlega 2.000 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2050. Aukningin umfram grunnspá (sjá hér að ofan) yrði 250 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2020 og um 870 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2050. Miðað við þessar forsendur mun heildarbinding vegna aukins aðgerðahraða nema 1.600 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda fram til 2020 og 18.600 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda fram til 2050.

#### 4.8.5.2 Skógrækt

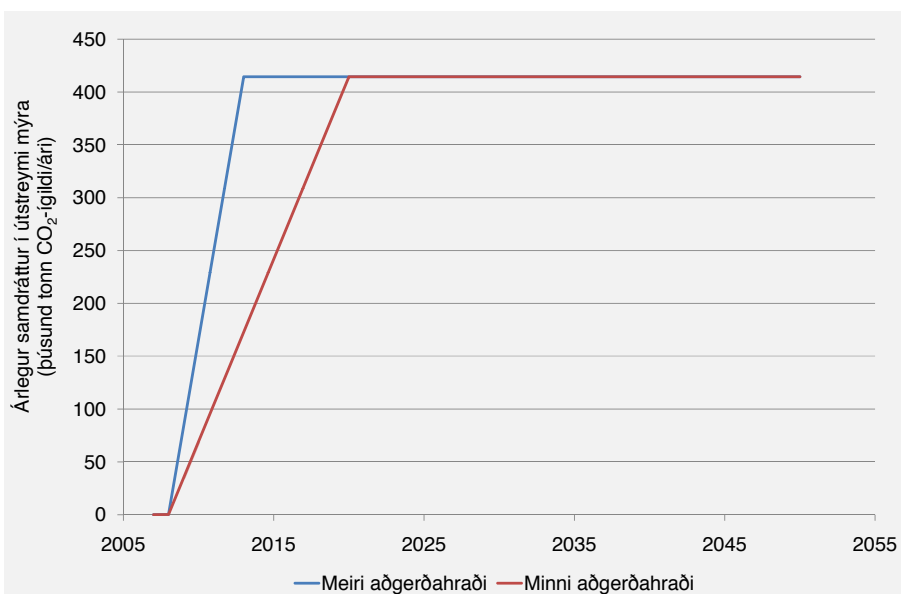
Flatarmál ræktaðra skóga á Íslandi er um 289 km<sup>2</sup> samkvæmt nýlegri úttekt (Arnór Snorrason 2006). Markmið stjórnvalda, eins og fram kemur t.d. í lögum um landshlutaverkefni í skógrækt er að skógar þeki a.m.k. 5% lands neðan 400 m.y.s., samtals um 2.155 km<sup>2</sup> (Alþingi 2006). Miðað við núverandi árlega nýskógrækt, sem nemur um 16 km<sup>2</sup>/ári, mun þessu markmiði verða náð að rúmum 110 árum liðnum (Arnór Snorrason 2006). Ef stjórnvöld settu sér það markmið að ná þessu markmiði um miðja þessa öld þyrfti að rúmlega þrefalda árlega plöntun. Meginhluti núverandi skógræktar fellur undir landshlutabundin skógræktarverkefni. Samkvæmt þeim er slík aukning í umfangi tæknilega framkvæmanleg á fáum árum enda er framboð á landi enn mun meira en sem nemur árlegum fjárveitingum til nýskógræktar. Hér er þó miðað við að aðgerðahraði verði u.þ.b. tvöfaldaður í 32 km<sup>2</sup>/ári, til að gæta fyllstu varúðar varðandi forsendur. Gert er ráð fyrir að aukið umfang skili aukinni plöntun á árinu 2010. Við útreikninga á bindingu í skógrækt er nú stuðst við bindingarstuðulinn 0,44 þúsund tonn CO<sub>2</sub>/km<sup>2</sup>/ári. Mælingar í íslenskum skógum sýna hins vegar að þessi stuðull gæti verið mun hærri, en rétt er þó að styðjast við hann hér til samræmis við þær tölur sem skilað var til loftslagssamningsins árið 2008. Miðað við þessar forsendur um aukna plöntun, meðalbindingu og bindingartíma skóga á Íslandi má áætla að árleg binding nýskógræktar eftir 1990 gæti numið um 280 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2020 og um 700 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2050. Aukningin umfram grunnspá (sjá hér að ofan) yrði 65 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi árið 2020 og um 250 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi árið 2050. Árlegri hámarksbindingu yrði ekki náð



Mynd 4-87. Spá um viðbótarbindingu vegna aukins umfangs aðgerða í landgræðslu, sem hefjast myнду árið 2009 og standa til 2050.



Mynd 4-88. Spá um bindingu vegna aukinna aðgerða í skógrækt sem hefjast myнду árið 2009 og standa til 2050.



Mynd 4-89. Spá um bindingu vegna endurheimtar votlendis sem er í takmarkaðri notkun miðað við að aðgerðum verði lokið á annars vegar 5 og hins vegar 12 árum.

fyrir en uppúr miðri öld. Heildarbinding vegna aukins aðgerðahraða myndi nema 370 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda fram til 2020 og 5.200 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda fram til 2050. Bindingarferli skóga er vel þekkt og ljóst að þessir skógar myndu halda áfram að binda kolefni vel fram á næstu öld.

#### **4.8.5.3 Framræst votlendi**

Umfang framræstra mýra er sem áður sagði um 3.900 km<sup>2</sup> sem áætlað er að skiptast í 1.200 km<sup>2</sup> af túnum, 1.800 km<sup>2</sup> af beitolöndum og um 900 km<sup>2</sup> í lítilli beinni notkun (Hlynur Óskarsson 2008, Ólafur Dýrmundsson munnleg heimild). Ólíklegt er að landeigendur myndu samþykkja að fórna framræstum túnum og beitolöndum nema þeim mun betri greiðslur væru í boði. Líklegast er að með samningum mætti ná um þá 900 km<sup>2</sup> sem eru í lítilli beinni notkun. Fáein ár tók að grafa skurðina og enn styttri tíma myndi taka að fylla í skurðina aftur. Jarðvinnutækni hefur fleygt fram og tækin sem notuð yrðu eru til um allt land hjá verktökum sem stunda bygginga- og vegafamkvæmdir. Því er tæknilega ekkert því til fyrirstöðu að ljúka slíkri aðgerð á stuttum tíma. Samdráttur í útstreymi gæti numið um 415 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígildi á ári. Hér er miðað við tvenns konar aðgerðahraða. Annars vegar að endurheimt þeirra 900 km<sup>2</sup> af votlendi sem er í takmarkaðri notkun hefjist 2009 og ljúki 2020. Hins vegar að endurheimt þessa svæðis ljúki á 5 árum. Hvort tveggja er raunhæft. Í báðum tilfellum næmi samdráttur í árlegu útstreymi 415 þúsund tonnum CO<sub>2</sub> ígilda á ári árið 2020. Hins vegar myndi heildarsamdráttur fram til 2020 verða mun meiri ef aðgerðum er flýtt. Þannig næmi heildarsamdráttur í útstreymi fram til 2020 um 2.700 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígildi miðað við minni aðgerðahraða en um 4.150 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígildi miðað við meiri aðgerðahraða. Að sama skapi næmi heildarsamdráttur í útstreymi fram til 2050 um 15.100 þúsund tonnum CO<sub>2</sub> ígilda miðað við minni aðgerðahraða en um 16.600 þúsund tonnum CO<sub>2</sub> ígilda miðað við meiri aðgerðahraða.

#### **4.8.5.4 Samantekt**

Miðað við þær forsendur sem gefnar eru hér að framan væri mögulegt að auka umfang landgræðslu- og skógræktarverkefna verulega og endurheimta hluta af því votlendi sem framræst hefur verið. Samanlagður árangur þessara aðgerða varðandi útstreymi og bindingu gróðurhúsalofttegunda samanborið við óbreyttan aðgerðahraða kemur fram í töflu 4-45.

Eins og sjá má eru möguleikar innan breyttrar landnotkunar til mótvægisáðgerða vegna annars útstreymis umtalsverðir.

#### **4.8.6 Umhverfisleg skilvirkni**

Mynd 4-90 sýnir samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna þeirra aðgerða sem nefndar eru hér að framan og eru auðveldlega framkvæmanlegar.

Eins og sjá má eru áhrif aukinna aðgerða í landgræðslu, skógrækt og endurheimt votlendis mjög vænlegar til árangurs og skila mikilli bindingu/samdrætti í útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Vegna varanleika aðgerða í breyttri landnotkun munu aðgerðir á þessu sviði halda áfram að hafa áhrif langt fram eftir öldinni.

#### **4.8.7 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni**

Vandasamt er að meta kostnað vegna kolefnisbindingar í landgræðslu- og skógrækt-

Tegund aðgerða	Forsendur	2020 þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi/ári	2050 þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi/ár
Landgræðsla	Óbreyttar aðgerðir	555	1.173
	Framkvæmanlegar aðgerðir	802	2.040
Skógrækt	Óbreyttar aðgerðir	218	456
	Framkvæmanlegar aðgerðir	282	705
Endurheimt votlendis	Óbreyttar aðgerðir	0	0
	Framkvæmanlegar aðgerðir	415	415
Samanlagt miðað við óbreyttar aðgerðir		773	1.629
Samanlagt framkvæmanlegar aðgerðir		1.499	3.159
<b>Aukin árleg binding umfram óbreyttar aðgerðir</b>		<b>726</b>	<b>1.530</b>

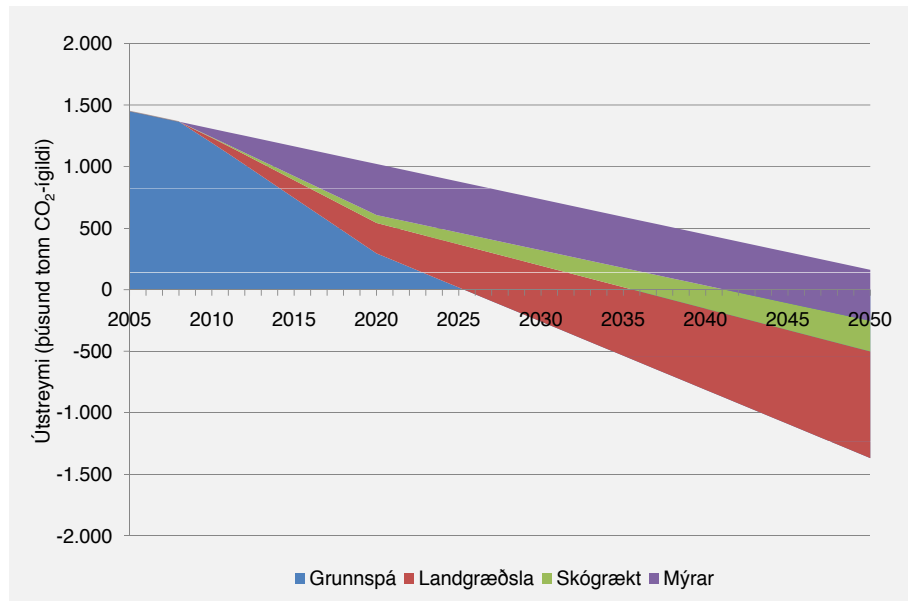
Tafla 4-45. Árleg binding/samdráttur í útstreymi vegna breyttrar landnotkunar árið 2020 og 2050 miðað við óbreyttar aðgerðir og það sem er framkvæmanlegt með auknum aðgerðum.

arverkefnum. Í fyrsta lagi fellur megnið af kostnaði við verkefni til strax en bindingin á sér stað yfir lengri tíma, allt að 30 til 90 árum. Í öðru lagi eru aðgerðir í skógrækt og landgræðslu réttlættar í dag alfarið með öðrum jákvæðum afleiðingum en kolefnisbindingu. Núverandi umfang þessara verkefna er því réttlætt alfarið án tilvísunar til áhrifa þeirra á magn gróðurhúsalofttegunda í loftþjúpnunum. Gera verður ráð fyrir að löggjafinn áltí annan afrakstur þessara verkefna en kolefnisbindingu réttlæta að fullu kostnað þeirra. Af þessu má draga þá ályktun að ekki sé forsvaranlegt að reikna fullan kostnað á þær auknu aðgerðir sem hér eru lagðar til. Þvert á móti hlýtur að þurfa að meta kostnaðinn fremur út frá forsendu aukins kostnaðar sem á framkvæmdavaldið fellur séu aðgerðirnar auknar. Það að flýta aðgerðum sem ákveðið hefur verið að ráðast í hefur fyrst og fremst í för með sér aukinn fjármagnskostnað. Sé einungis miðað við aukinn kostnað vegna flýttara aðgerða fer sá kostnaður eftir umfangi verkefnis, umfangi núverandi aðgerða, hve mikið aðgerðum er flýtt og ávöxtunarkröfu. Við útreikninga sem hér fara á eftir er bæði beitt þeirri aðferð að reikna fullan kostnað aðgerðanna á kolefnisbindingu og að reikna einungis aukinn kostnað vegna þess að aðgerðum, sem ríkið hugðist hvort sem er ráðast í, er flýtt. Lýsingu á þessari reikniáferð er að finna í viðauka II við skýrsluna. Vegna þess að engin sérstök stefna er til eins og er hvað varðar endurheimt votlendis verður reiknað með að þær aðgerðir verði einungis réttlættar sem aðgerðir í loftslagsmálum.

#### 4.8.7.1 Landgræðsla

Samkvæmt heimildum Landgræðslu Ríkisins kostar frá um 5,5 milljónum kr. á km<sup>2</sup>

Mynd 4-90. Samdráttur í útstreymi vegna aðgerða, þ.e. mismunur á afleiðingum núverandi aðgerða og þeirra aðgerða sem eru tæknilega mögulegar.



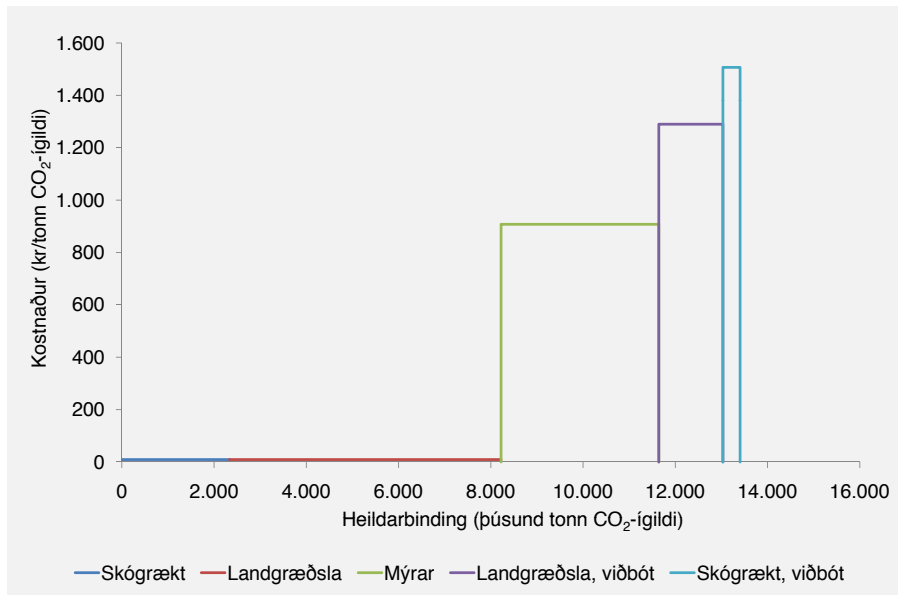
og upp í um 8,2 milljónir kr. á km<sup>2</sup>, á verðlagi ágúst 2008, eftir aðstæðum að græða land (Guðmundur Halldórsson munnleg heimild). Miðað við að miðgildi þessa kostnaðar veiti mat á meðalkostnaði má búast við að kostnaðurinn sé um 6,85 milljónir kr. á km<sup>2</sup>. Miðað við 60 ára bindingu og 0,275 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á km<sup>2</sup> á ári er kostnaður á hvert bundið tonn CO<sub>2</sub>-ígildi u.þ.b. 1.250 kr. Sé hins vegar miðað við 30 ára bindingu og 0,2 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á km<sup>2</sup> á ári þá er kostnaður á hvert bundið tonn CO<sub>2</sub>-ígildi um 2.092 kr.

Miðað við þær forsendur sem gefnar voru hér að framan mun tvöföldun á umfangi landgræðslu fram til 2050 þýða að verkefnum sem við óbreyttan aðgerðahraða hefði verið lokið á næstu 82 árum verður lokið á næstu 41 árum. Samkvæmt reiknireglunni sem lýst er í viðauka II mun þetta þýða kostnaðarauka sem nemur um 77% af heildarkostnaði, miðað við 5% reiknivexti. Samkvæmt því er miðgildi kostnaðar við bindingu á einu tonni af CO<sub>2</sub>-ígildi með aukinni landgræðslu 1.290 kr.

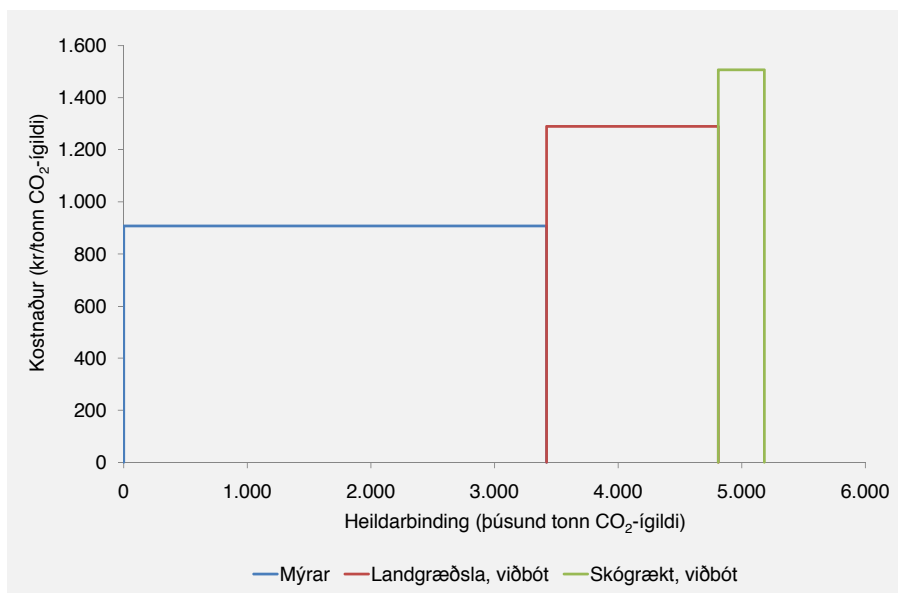
#### 4.8.7.2 Skógrækt

Samkvæmt heimildum frá Skógrækt Ríkisins kostar nýskógrækt um 23,8 milljónir kr á km<sup>2</sup> á verðlagi ágúst 2008 (Arnór Snorrason 2006). Á móti þeirri upphæð koma tekjur af sölu timburs. Innri ávöxtun í nytjaskógrækt hefur verið metin á bilinu 0,8-2,2% (Einar Gunnarsson og fleiri 1987, Brynjar Skúlason og fleiri 2003). Miðað við þær forsendur sem gefnar eru í útreikningum LbhÍ um meðalbindingu skóga má gera ráð fyrir að það kosti um 1.080 kr. á tonn CO<sub>2</sub>-ígildi. að binda kolefni með skógrækt miðað við 5% reiknivexti. Með hliðstæðri röksemdafærslu og notuð var hér að framan fyrir landgræðslu má færa rök fyrir því að kostnaður vegna aukins umfangs nýskógræktar, upp að þeim mörkum sem ríkið hefur sett sér um útbreiðslu skóga, sé einungis kostnaðurinn af því að flýta aðgerðum. Miðað við þær forsendur sem gefnar voru hér að ofan mun aðgerðum næstu 73 ára verða lokið á 41 ári, fram til 2050. Þetta veldur kostnaðarauka sem nemur 59% af heildarkostnaði samkvæmt reiknireglunni sem lýst er í viðauka II, miðað við 5% reiknivexti. Kostnaður við bindingu á einu tonni af CO<sub>2</sub>-ígildi með aukinni skógrækt er því 1.507 kr.

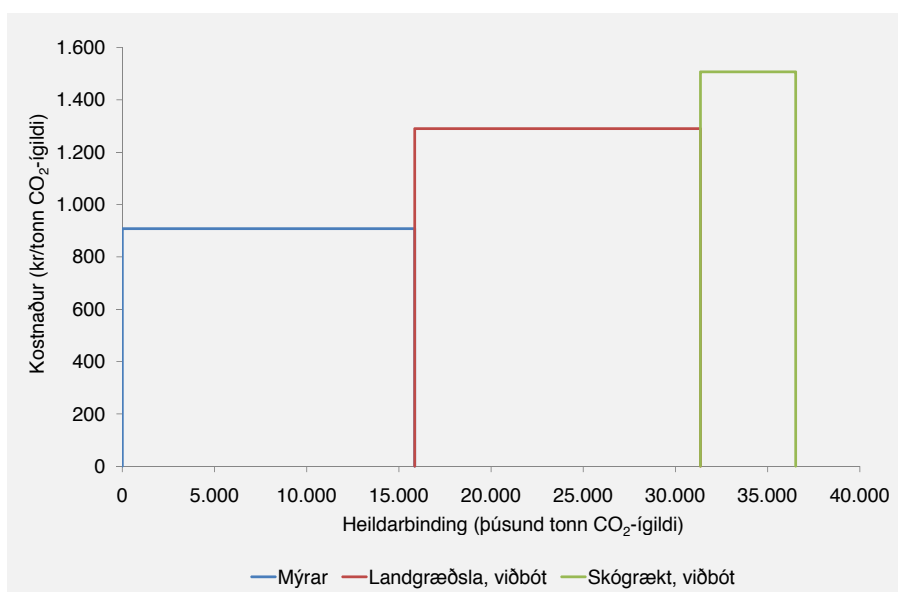




Mynd 4-91. Framboð á bindingu og samdrætti í ústreymi gróðurhúsalofttegunda alls fram til 2020 raðað eftir kostnaði. Stuðst er við miðgildi kostnaðar.



Mynd 4-92. Framboð á samdrætti í ústreymi/bindingu á gróðurhúsalofttegundum með aðgerðum fram til 2020 raðað eftir kostnaði. Stuðst er við miðgildi kostnaðar.



Mynd 4-93. Framboð á samdrætti í ústreymi/bindingu á gróðurhúsalofttegundum fram til 2050 raðað eftir kostnaði. Stuðst er við miðgildi kostnaðar.

#### **4.8.7.3 Framræst votlendi**

Samkvæmt athugun kostar um 50-100 kr. á m<sup>3</sup> að fylla í skurði. Miðað við að það séu 3 m<sup>3</sup> í hverjum lengdarmetra af framræsluskurðum kostar milli 160-310 kr á lengdarmetra að grafa ofan í framræsluskurð. Gera má ráð fyrir að það séu milli 7.000 og 14.000 metrar af skurðum í km<sup>2</sup> af framræstri mýri (Árni Snæbjörnsson og Óttar Geirsson 1981). Beinn kostnaður við endurheimt er þá milli 1,1-4,2 milljónir kr. á km<sup>2</sup>. Miðgildi kostnaðar er því 2,6 milljónir kr. á km<sup>2</sup>. Miða við þær forsendur að 0,4 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á km<sup>2</sup> á ári streymi frá framræstum mýrum og aðgerðir standi að jafnaði í a.m.k. 50 ár er beinn kostnaður á tonn CO<sub>2</sub>-ígildis við endurheimt votlendis ekki nema milli 150 kr. og 575 á tonni af CO<sub>2</sub>-ígildi. Miðgildi þess er 360 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígildi. Rétt er þó að benda á að landgræðsla og skógrækt miða að því að bæta eiginleika lands. Hagur landeigenda af slíkum verkefnum er því verulegur. Engin slík áhrif eru af endurheimt votlendis, alltént ekki með tilliti til landbúnaðarnota. Í kostnaðarforsendum er því vantalín þóknun til landeigenda sem hæglega gæti þurft að vera allnokkur til að samþykki þeirra fengist fyrir því að votlendi yrði endurheimt á landi í þeirra eign. Reyna má að nálgast virði þessa lands útfrá fórnarkostnaði þess sem beitolands. Ef miðað er við að hægt væri að nýta landið undir hrossabeit og að gildi þess sem beitolands rými um 50% við að fyllt sé í skurði þá lætur nærri að núvirði glataðra tekna nemi um 8 milljónum kr á km<sup>2</sup>. Miðað við þessar forsendur um landverð yrði miðgildi kostnaðar vegna samdráttar í útstreymi um 910 krónur á tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

#### **4.8.7.4 Mat á framboðskúrfum mótvægisáðgerða**

Mynd 4-91 sýnir heildarsamdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda fram til 2020 miðað við þær áðgerðir sem fjallað er um í kaflanum. Miðað er við að núverandi umfang skógræktar og landgræðslu sé réttlætt vegna annars ávinnings en hins vegar vegna bindingar koldíoxíðs. Þar af leiðandi er verðið 0 k.r/tonn CO<sub>2</sub>-ígildi fyrir þá bindingu. Møguleikunum er raðað eftir verði en breidd súlnanna ræðst af umfangi bindingar.

Mynd 4-92 sýnir eingöngu þann hluta bindingar og samdráttar í útstreymi sem tengist þeim áðgerðum sem miðað er við að ráðist verði í til viðbótar við núverandi áðgerðir fram til 2020.

Mynd 4-93 sýnir eingöngu þann hluta bindingar og samdráttar í útstreymi sem tengist þeim áðgerðum sem miðað er við að ráðist sé í til viðbótar við núverandi áðgerðir fram til 2050.