



# Möguleikar til að draga úr nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi

Niðurstöður sérfræðinganefndar 2009

# **Möguleikar til að draga úr nettóúttreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi**

Niðurstöður sérfræðinganefndar 2009



UMHVERFISRÁÐUNEYTIÐ

## Myndir á forsiðu:

Ljósmyndarar: Margrét E. Laxness,  
Odd Stefán Þórisson og Þorbjörn Víglundsson



UMHVERFISRÁÐUNEYTIÐ  
Umhverfisráðuneytið júní 2009



## Hvernig á að vitna í skýrsluna:

Brynhildur Davíðsdóttir, Ágústa Loftsdóttir, Birna Hallsdóttir,  
Bryndís Skúladóttir, Daði Már Kristófersson, Guðbergur Rúnarsson,  
Hreinn Haraldsson, Pétur Reimarsson, Stefán Einarsson, Þorsteinn  
Ingi Sigfússon, 2009, Möguleikar til að draga úr nettóúttreymi  
gróðurhúsalofttegunda á Íslandi, Skýrsla Sérfræðinganefndar,  
Umhverfisráðuneytið.

Umbrot og hönnun: Margrét E. Laxness

## Ávarp umhverfisráðherra



Sú skýrsla sem hér lítur dagsins ljós markar tímamót í umræðunni um loftslagsmál á Íslandi. Hér er í fyrsta sinn dregin fram heildstæð mynd af þeim möguleikum sem Íslendingar hafa til þess að draga úr nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda, með ítarlegri greiningu á tæknilegum og hagrænum þáttum. Með slíka þekkingu í farteskínu hafa íslensk stjórnvöld loks öflugan grundvöll til að ákveða raunhæfar aðgerðir til að draga úr útsreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi og taka þannig virkan þátt í stærsta viðfangsefni samtímans: Að sporna gegn hættulegum loftslagsbreytingum, sem ógna vistkerfinu og lífsskilyrðum mannkyns.

Mörg ríki og alþjóðasamtök hafa látið gera slíkar úttektir á undanförunum árum. Má þar nefna hina þekktu Stern-skýrslu, þar sem birt var sú niðurstaða að aðgerðarleysi í loftslagsmálum væri mun kostnaðarsamara til langs tíma heldur en að draga úr útsreymi. Úttektir Vísindanefndar Sameinuðu þjóðanna (IPCC) hafa líka komist að því að fjölmargar aðgerðir til að draga úr nettóútstreymi eru ódýrar eða beinlínis borga sig. Kostnaður er ekki alltaf þröskuldur í vegi aðgerða, stundum eru það ónógar eða rangar upplýsingar, skortur á pólitískum vilja eða jafnvel menningarlegir þættir, sem hvetja til sóunar.

Stundum heyrst í umræðunni að Íslendingar losi hlutfallslega svo lítið að það muni sama sem ekkert um okkar skerf. En það er skylda okkar sem sjálfstæðrar þjóðar og aðildarríkis Loftslagssamningsins að vinna gegn útsreymi gróðurhúsalofttegunda og auka bindingu kolefnis úr andrúmsloftinu. Einörð og metnaðarfull viðleitni í þá átt vinnur líka með mörgum öðrum stefnumálum, svo sem að græða landið, endurheimta votlendi og önnur náttúruleg vistkerfi, efla nýsköpun í grænni atvinnu- starfsemi og að reisa orðspor landsins.

Það er hlutverk stjórnvalda að ákveða aðgerðir sem best gagnast til að draga úr nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda að teknu tilliti til hagkvæmni og annarrar gagnsemi. Til þess er ítarleg og óháð greining á möguleikum Íslands nauðsynleg forsenda. Hún liggur hér fyrir og er ástæða til þess að þakka nefndarmönnum fyrir vel unnin störf.

Íslensk stjórnvöld og heimsbyggðin öll hafa sett markið á verulegan samdrátt í útsreymi gróðurhúsalofttegunda á komandi áratugum. Möguleikar okkar á að ná því markmiði hafa nú verið kortlagðir og er komið að stjórnvöldum að gera raunhæfar áætlanir um aðgerðir á þessu sviði í samráði við hlutaðeigandi aðila.

*Svandís Svavarsdóttir  
umhverfisráðherra*

# Efnisyfirlit

|  |           |  |           |
|--|-----------|--|-----------|
| Ávarp umhverfisráðherra                                | 3         | 3.2.1.7 Meðferð úrgangs  | 44        |
| Efnisyfirlit   | 4         | 3.2.1.8 Landgræðsla og skógrækt                                    | 46        |
| Ágrip  | 8         | 3.2.2 Samantekt  | 47        |
| Executive summary                                      | 11        |  |           |
| <b>1 Inngangur</b>                                     | <b>13</b> | <b>4 Valkostir til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda</b> | <b>49</b> |
| 1.1 Aðdragandi   | 13        | 4.1 Inngangur  | 49        |
| 1.2 Stefnumörkun stjórnvalda og skipun nefndarinnar    | 13        | Aðferðafræði   | 49        |
| 1.3 Tilgangur  | 14        | Grunnspá   | 49        |
| 1.4 Yfirlit skýrslu                                    | 15        | Möguleikar til að minnka útstreymi; mótvægisáðgerðir               | 49        |
| <b>2 Loftslagssamningurinn og Kyoto-bókunin</b>        | <b>16</b> | Kostnaður og ábati   | 50        |
| 2.1 Loftslagssamningurinn og Kyoto-bókunin             | 16        | Hvað sýnir framboðsferillinn?                                      | 51        |
| 2.2 Kyoto-bókunin                                      | 18        | Það sem ekki kemur fram  | 52        |
| 2.3 Samningaviðræður um loftslagsmál                   | 20        | 4.2 Orkuframleiðsla  | 52        |
| <b>3 Gróðurhúsalofttegundir og útstreymi þeirra</b>    | <b>23</b> | 4.2.1 Yfirlit  | 52        |
| 3.1 Bókhald um útstreymi gróðurhúsalofttegunda         | 23        | 4.2.2 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda                | 54        |
| 3.1.1 Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi        | 24        | 4.2.3 Tæknilegir möguleikar  | 55        |
| 3.1.2 Útstreymi frá einstökum geirum frá 1990 til 2007 | 29        | 4.2.3.1 Binding í basalti  | 55        |
| 3.1.2.1 Orkuframleiðsla                                | 30        | 4.2.3.2 Framleiðsla á tilbúnu eldsneyti                            | 55        |
| 3.1.2.2 Samgöngur                                      | 31        | 4.2.3.3 Framleiðsla á lífmassa                                     | 57        |
| 3.1.2.3 Sjávarútvegur                                  | 32        | 4.2.4 Umhverfisleg skilvirkni                                      | 58        |
| 3.1.2.4 Iðnaður og efnanotkun                          | 32        | 4.2.4.1 Binding í basalti  | 58        |
| 3.1.2.5 Landbúnaður                                    | 34        | 4.2.4.2 Framleiðsla á tilbúnu eldsneyti                            | 58        |
| 3.1.2.6 Meðferð úrgangs                                | 34        | 4.2.4.3 Framleiðsla lífmassa                                       | 58        |
| 3.1.2.7 Samantekt                                      | 36        | 4.2.4.4 Heildarsamdráttur  | 60        |
| 3.2 Útstreymisspár                                     | 36        | 4.2.5 Bætt nýtni við orkuvinnslu                                   | 61        |
| 3.2.1 Útstreymisspá til 2050                           | 37        | 4.2.5.1 Vatnsafl   | 61        |
| 3.2.1.1 Orkuframleiðsla                                | 39        | 4.2.5.2 Jarðvarmi  | 61        |
| 3.2.1.2 Samgöngur                                      | 40        | 4.2.6 Aukin nýtni við notkun raforku eða varma                     | 61        |
| 3.2.1.3 Sjávarútvegur                                  | 41        | 4.2.7 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni                      | 62        |
| 3.2.1.4 Iðnaður  | 42        | 4.2.8 Samantekt  | 63        |
| 3.2.1.6 Landbúnaður                                    | 44        | 4.3 Samgöngur  | 63        |
|  |           | 4.3.1 Inngangur  | 63        |
|  |           | 4.3.2 Umhverfisleg skilvirkni og fjárhagsleg áhrif                 | 65        |

|  |    |   |     |
|--|----|---|-----|
| 4.3.2.1 Samgönguaðgerðir: Ganga, hjólréiðar og almenningssamgöngur | 67 | Samantekt yfir tæknimöguleika til minnkunar á útstreym frá álverum    | 98  |
| Ganga og hjólréiðar  | 67 | 4.4.2.5 Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati                   | 98  |
| Almenningssamgöngur  | 69 | 4.4.2.6 Heildarkostnaður og -ávinningur                               | 100 |
| <i>Hraðvagnakerfi</i>  | 69 | 4.4.3 Sementsframleiðsla  | 100 |
| <i>Léttlestakerfi</i>  | 71 | 4.4.3.1 Sementsframleiðsla á Íslandi                                  | 100 |
| Samgönguaðgerðir – samantekt                                       | 72 | 4.4.3.2 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda                 | 101 |
| 4.3.2.2 Bætt orkunýting  | 74 | 4.4.3.3 Tæknilegir möguleikar   | 102 |
| Sparneytnari bensín- og dísilfólksbilar                            | 74 | 4.4.3.4 Heildarkostnaður og -ávinningur                               | 103 |
| Dísilfólksbilar  | 75 | 4.4.4 Járblendir  | 103 |
| 4.3.2.3 Óhefðbundnir orkugjafar                                    | 76 | 4.4.4.1 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda                 | 104 |
| Lífdísilolía í dísilolíu   | 77 | 4.4.4.2 Tæknilegir möguleikar   | 104 |
| Etanól í bensíni   | 78 | Notkun raforku í stað olíu  | 104 |
| Samantekt – lífeldsneyti   | 78 | Aukin notkun á timburkurli  | 104 |
| Metanól í bensíni  | 79 | Endurheimt kolefnis   | 105 |
| 4.3.2.4 Ný bifreiðatækni   | 80 | 4.4.4.3 Samantekt   | 105 |
| Rafmagnsbílar  | 81 | 4.4.4.4 Heildarkostnaður og -ávinningur                               | 106 |
| Vetnisbílar  | 83 | 4.4.5 Efnanotkun  | 106 |
| E85-bílar  | 84 | 4.4.5.1 Tæknilegir möguleikar   | 108 |
| Tvinnbensín og tvíndísilbilar                                      | 85 | 4.4.6 Mannvirkjagerð og annar iðnaður                                 | 108 |
| Metanbílar   | 86 | 4.4.6.1 Tæknilegir möguleikar   | 108 |
| 4.3.3 Samantekt  | 87 | Notkun lífdísilolíu   | 109 |
| 4.4 Iðnaðarferlar og efnanotkun                                    | 90 | 4.4.6.2 Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati                   | 110 |
| 4.4.1 Yfirlit  | 90 | 4.4.7 Samantekt   | 110 |
| 4.4.2 Álframleiðsla  | 92 | 4.5 Sjávarútvegur   | 113 |
| 4.4.2.1 Yfirlit  | 92 | 4.5.1 Fiskiskip   | 114 |
| 4.4.2.2 Álframleiðsla á Íslandi                                    | 94 | 4.5.1.1 Samsetning flotans og affli                                   | 114 |
| 4.4.2.3 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda              | 95 | 4.5.1.2 Olíunotkun og útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum | 114 |
| 4.4.2.4 Tæknilegir möguleikar                                      | 96 | 4.5.1.3 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda                 | 117 |
| Bætt framleiðslustýring  | 97 | 4.5.1.4 Tæknilegir möguleikar   | 118 |
| Útstreymi frá jarðefnaeldsneyti                                    | 97 | Eldsneytissparnaður   | 120 |
| Niðurdæling kolefnis og nýting í aðra framleiðslu                  | 97 | Bætt orkunýting búnaðar: orkustjórnun                                 | 120 |
| Eðalrafskaut   | 97 | Veidarfæri  | 120 |
| Kolvarmaferli  | 97 |   |     |

|   |     |  |     |
|---|-----|--|-----|
| Aukin notkun orkugrenni veiðarfæra  | 121 | 4.7.1.3 Spár um þróun úrgangsmagns   | 148 |
| Endurhönnun núverandi veiðarfæra og hönnun nýrra<br>veiðarfæra ogveiðiaðferða | 122 | 4.7.2 Tæknilegir möguleikar  | 148 |
| Hönnun skipa  | 123 | 4.7.2.1 Urðun og meðferð hauggass  | 149 |
| Aflvél  | 124 | 4.7.2.2 Brennsla   | 150 |
| Skipsskrúfan  | 125 | 4.7.2.3 Jarðgerð   | 150 |
| Nýtni hitaorku  | 125 | 4.7.2.4 Metangasgerð   | 150 |
| Tækjabúnaður  | 125 | 4.7.2.5 Endurvinnsla   | 150 |
| Togvindur   | 126 | 4.7.2.6 Flokkun úrgangs  | 151 |
| Kæli- og frystikerfi  | 127 | 4.7.2.7 Dregið úr magni úrgangs  | 151 |
| Hitun og lýsing   | 127 | 4.7.2.8 Fráveitur  | 152 |
| 4.5.1.5 Vistvænir orkugjafar  | 128 | 4.7.3 Umhverfisleg skilvirkni  | 152 |
| 4.5.1.6 Aukin notkun landrafmagns   | 129 | 4.7.3.1 Spá um magn úrgangs – afskiptalaus þróun                                     | 152 |
| 4.5.1.7 Umhverfisleg skilvirkni, kostnaður og ábati                           | 129 | 4.7.3.2 Útstreymi gróðurhúsalofttegunda – grunntilfelli                              | 152 |
| Samsetning aðgerða  | 130 | 4.7.3.3 Spá um þróun á magni úrgangs og útstreymi<br>gróðurhúsalofttegunda 2009-2050 | 153 |
| 4.5.2 Fiskimjolsframleiðsla   | 132 | 4.7.4 Kostnaður, ávinningur og kostnaðarskilvirkni                                   | 154 |
| 4.5.2.1 Yfirlit   | 132 | 4.8 Skógrækt, votlendi, jarðvegur (binding<br>og útstreymi) – Breytt landnotkun      | 157 |
| 4.5.2.2 Tæknilegir möguleikar   | 133 | 4.8.1 Yfirlit  | 157 |
| Annað eldsneyti   | 134 | 4.8.2 Landgræðsla  | 158 |
| 4.5.2.3 Umhverfisleg skilvirkni   | 135 | 4.8.3 Skógrækt   | 160 |
| 4.5.2.4 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni                               | 135 | 4.8.3.1 Framræstar mýrar   | 160 |
| 4.5.3 Samantekt   | 136 | 4.8.4 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda                                  | 162 |
| 4.6 Landbúnaður   | 138 | 4.8.5 Tæknilegir möguleikar  | 163 |
| 4.6.1 Yfirlit   | 138 | 4.8.5.1 Landgræðsla  | 163 |
| 4.6.2 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda                           | 141 | 4.8.5.2 Skógrækt   | 164 |
| 4.6.3 Tæknilegir möguleikar til minnkunar á útstreymi                         | 142 | 4.8.5.3 Framræst votlendi  | 166 |
| 4.6.4 Umhverfisleg skilvirkni   | 144 | 4.8.5.4 Samantekt  | 166 |
| 4.6.5 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni                                 | 144 | 4.8.6 Umhverfisleg skilvirkni  | 166 |
| 4.7 Meðferð úrgangs   | 145 | 4.8.7 Kostnaður, ábati og kostnaðarskilvirkni  | 166 |
| 4.7.1 Yfirlit   | 145 | 4.8.7.1 Landgræðsla  | 167 |
| 4.7.1.1 Staða úrgangsmála   | 147 | 4.8.7.2 Skógrækt   | 168 |
| 4.7.1.2 Framtíðaráform um meðferð úrgangs                                     | 148 |  |     |



|  |            |   |            |
|--|------------|---|------------|
| 4.8.7.3 Framræst votlendi  | 170        | 7.1.2 Fiskimjölsvinnsla   | 194        |
| 4.8.7.4 Mat á framboðskúrfum mótvægisáðgerða   | 170        | 7.1.3 Landbúnaður   | 194        |
|  |            | 7.1.7 Meðferð úrgangs   | 195        |
| <b>5 Sveigjanleikaákvæði og viðskiptakerfi</b>   | <b>171</b> | 7.2 Breytt landnotkun   | 196        |
| 5.1 Sveigjanleikaákvæði Kyoto bóknarinnar  | 171        | 7.3 Kostnaður   | 199        |
| 5.1.1 Inngangur  | 171        | 7.4 Sveigjanleikaákvæði Kyoto-bóknarinnar   | 204        |
| 5.1.2 Sameiginleg framkvæmd (JI)   | 172        | 7.5 Þjóðhagsleg áhrif   | 205        |
| 5.1.3 Hrein þróun (CDM)  | 172        |   |            |
| 5.1.4 Viðskipti með losunarheimildir (Emission Trading)  | 174        | <b>8 Niðurstöður og samantekt</b>   | <b>207</b> |
| 5.1.5 Ísland og sveigjanleikaákvæðin   | 174        | 8.1 Takmark og aðferðir   | 207        |
| 5.2 Viðskipti með útstreymisheimildir  | 176        | 8.1.1 Aðferðafræði  | 207        |
| 5.2.1 Viðskiptakerfi ESB með losunarheimildir (EU-ETS)   | 176        | 8.2 Niðurstöður – samantekt   | 208        |
| 5.2.2 Viðskipti með útstreymisheimildir  | 177        | 8.2.1 Sviðsmyndir   | 208        |
|  |            | 8.2.2 Kostnaður   | 212        |
| <b>6 Tæknilausnir í sjónmáli</b>   | <b>179</b> | 8.2.3 Tæknilegir möguleikar til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda – samantekt | 217        |
| 6.1 Nýtnistuðlar samfélagsins og tæknilausnir sem eru framkvæmanlegar nú þegar og í náninni framtíð. | 179        | 8.2.4 Mikilvægi aðgerðahraða og tímasetningar aðgerða                                   | 218        |
| 6.2 Tæknilegar lausnir á næstu áratugum  | 180        | 8.3 Niðurlag  | 220        |
| 6.3 Lausnir um miðja öldina  | 182        | 9 Heimildir   | 223        |
|  |            | Munnlegar heimildir   | 227        |
| <b>7 Samantekt aðgerða og samlegðaráhrif</b>   | <b>185</b> | 10 Viðaukar   | 229        |
| 7.1 Úrræði til að draga úr útstreymi   | 185        | Viðauki I   | 229        |
| 7.1.5 Orkuframleiðsla  | 188        | Viðauki II  | 230        |
| 7.1.6 Samgöngur  | 189        |   |            |
| 7.1.4 Iðnaður  | 190        |   |            |
| Álframleiðsla  | 190        |   |            |
| Járnblendisframleiðsla   | 191        |   |            |
| Sementsframleiðsla   | 191        |   |            |
| Mannvirkjagerð   | 192        |   |            |
| Annar iðnaður  | 192        |   |            |
| Efnanotkun   | 192        |   |            |
| 7.1.1 Fiskveiðar   | 192        |   |            |



## Ágrip

---

Á vordögum 2007 skipaði umhverfisráðherra sérfræðinganefnd til að fjalla um tæknilega möguleika á að draga úr nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda í mismunandi geirum samfélagsins: orkuframleiðslu; samgöngum; iðnaðarferlum; sjávarútvegi; landbúnaði; og meðferð úrgangs. Einnig skyldi nefndin kanna möguleika á að beita öðrum mótvægisáðgerðum þ.e. bindingu kolefnis og notkun sveigjanleikaákvæða Kyoto-bókunarinnar til að minnka nettóútstreymi. Þessi skýrsla er heildstæð samantekt á þeirri vinnu sem átt hefur sér stað á vegum sérfræðinganevndarinnar.

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi nam 4.482 þúsund tonnum árið 2007 (m.v. CO<sub>2</sub>-ígildi). Það er 1.082 þúsund tonnum, eða um 32% meira en árið 1990. Útstreymi jókst í öllum atvinnugreinum nema í fiskveiðum, fiskimjölsvinnslu og landbúnaði. Mest dróst útstreymið saman í fiskveiðum (18%) og landbúnaði (7%), en mest jókst útstreymi frá járblendiframleiðslu (91% hækkun) og álframleiðslu (72% hækkun). Dregið hefur þó úr útstreymi á hvert framleitt áltonn, en álframleiðsla jókst um nærri 420% á tímabilinu.

Auk þess sem talið er hér að ofan var útstreymi vegna landnotkunar, breyttar landnotkunar og skógræktar um 1.824 þúsund tonn og heildarbinding um 642 þúsund tonn. Nettóútstreymið frá þessum geira var því 1.212 þúsund tonn árið 2007 og jafngildir það um 27% af því útstreymi sem fellur undir Kyoto-bókunina. Þetta útstreymi er framtalskylt til loftslagssamningsins en reiknast ekki með í bókhald Kyoto-bókunarinnar. Binding vegna skógræktar og landgræðslu eftir 1990 reiknast hins vegar inn í bókhald vegna Kyoto-bókunarinnar, þar sem sérstökum útstreymisheimildum er úthlutað vegna slíkrar bindingar. Sú binding var 279 þúsund tonn CO<sub>2</sub> árið 2007.

Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda til 2050, miðað við afskiptalausá þróun, svokölluð grunnspá, var fengin frá Umhverfisstofnun. Í skýrslunni er fjallað um tvö tilvik. Í tilviki 1, þar sem gert er ráð fyrir að framleiðsla í orkufrekum iðnaði samsvari framleiðslugetu starfandi fyrirtækja í árslok 2008, gæti heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda orðið um 4.644 þúsund tonn árið 2020, sem er 4% meira útstreymi en árið 2007 og 37% meira en 1990. Heildarútstreymi er skilgreint sem útstreymi án bindingar og er miðað við afskiptalausá þróun. Í tilviki 2 er gert ráð fyrir að framleiðsla í orkufrekum iðnaði verði jafnmikil og heimilt var samkvæmt útgefnum starfsleyfum í lok árs 2008. Samkvæmt því má gera ráð fyrir að árið 2020 geti útstreymi gróðurhúsalofttegunda orðið samtals um 6 milljón tonn eða 33% meira en 2007 og 76% meira en 1990.

Mótvægisáðgerðir lýsa möguleikum á að draga úr útstreymi umfram grunnspár í tilvikum 1 og 2, án þess að valda samdrætti í starfsemi og eru þær metnar með tilliti til kostnaðar, ábata og hversu mikið þær draga úr útstreymi. Túlka ber niðurstöðurnar sem mat á tæknilegum möguleikum til að draga úr útstreymi, en hvort af þeim aðgerðum verður fer m.a. eftir kostnaði, hagþróun, innleiðingu tækninnar auk stjórnvaldsáðgerða. Því getur verið mikill munur á þeim tæknilegum möguleikum sem settir eru fram og þeim samdrætti sem síðar verður. Ljóst er að miklir möguleikar eru á að draga úr nettóútstreymi og unnt að velja saman ýmsar aðgerðir til að ná þeim markmiðum sem stjórnvöld vilja stefna að.

Niðurstöður nefndarinnar sýna að mögulegt er að draga umtalsvert úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi. Ef miðað er við losunarspá tilviks 1 og að *allar* fyrirsjáanlegar mótvægisáðgerðir verði innleiddar, er talið mögulegt að draga úr útstreymi ársins 2020 um 52% miðað við grunnspá. Þetta samsvarar 34% samdrætti í útstreymi miðað við árið 1990 og 50% miðað við 2007. Ef samdráttur í útstreymi vegna endurheimts votlendis er ekki talin til mótvægisáðgerða gæti mögulegur samdráttur í nettóútstreymi árið 2020 orðið 22% miðað við árið 1990 og 40% miðað við 2007.

Ef miðað er við losunarspá tilviks 2 og að *av* fyrirsjáanlegar mótvægisáðgerðir verði innleiddar, er talið að hægt sé að draga úr útstreymi ársins 2020 um rúm 40% miðað við grunnspá (afskiptalaus þróun). Nettóútstreymi árið 2020 væri þá 3% hærra en það var árið 1990 en 21% lægra en útstreymi ársins 2007. Ef minnkun í útstreymi vegna endurheimts votlendis er ekki talið til mótvægisáðgerða má ætla að nettóútstreymi árið 2020 verði 15% hærra en 1990 en 12% lægra en árið 2007.

Mótvægisáðgerðir sem tæknilega er unnt að ráðast í fyrir 2020 dreifast misjafnt milli geira. Mestir möguleikar virðast vera fyrir hendi í sjávarútvegi ef ekki er tillit til kostnaðar, bæði í fiskimjòlsframleiðslu og fiskveiðum, en talið er að tæknilega sé hægt að draga úr útstreymi vegna fiskimjòlsframleiðslu nánast um 100% með rafvæðingu og fiskveiðum um 75% með aukinni notkun lífoldsneytis og orkusparnaði. Tæknilega er talið unnt að draga úr losun í orkuframleiðslu um 50%, og landbúnaði um 12,4%. Margvíslegar mótvægisáðgerðir eru mögulegar í samgöngum, svo sem frá göngu og hjólreiðum, til bættra almenningssamgangna, sem og aukinnar notkunar lífoldsneytis og aukinnar rafvæðingar. Ekki er talið líklegt að mótvægisáðgerðir í iðnaði svo sem notkun eðalrafskauta í álíðnaði hafi veruleg áhrif á útstreymi gróðurhúsalofttegunda fyrr en eftir árið 2020, en þó er talið að hægt sé að draga úr útstreymi vegna sementsframleiðslu um 25%, álframleiðslu um 6% og vegna járnblendiframleiðslu um 4,6% miðað við tilvik 1. Með aðgerðum í landgræðslu, skógrækt og endurheimt votlendis má draga verulega úr nettóútstreymi árið 2020, eða um 32% miðað við tilvik 1 en 25% miðað við tilvik 2.

Kostnaður við mótvægisáðgerðir er mismikill en ljóst er að ódýrar aðgerðir geta skilað umtalsverðum árangri. Kostnaðurinn spannar allt frá aðgerðum sem gefa hreinan fjárhagslegan ávinning svo sem aukin áhersla á göngu og hjólreiðar, eða aukin notkun sparneytnari bifreiða, til mótvægisáðgerða sem eru fremur dýrar, t.d. raf- eða vetnisvæðing samgangna. Þó ber að hafa í huga að við tækniframfarir er líklegt að kostnaður dýrari aðgerða geti lækkað umtalsvert þegar til lengri tíma er litið. Niðurstöður gefa til kynna að aðgerðir sem fela í sér hreinan fjárhagslegan ábata geti dregið úr útstreymi um 4% árið 2020 og að mótvægisáðgerðir sem kosta frá 0-20 evrum á tonnið geti dregið úr útstreymi um 19% það sama ár.

Ef draga á úr útstreymi um 40% árið 2020, miðað við árið 1990, má nettóútstreymi árið 2020 ekki fara upp fyrir 2.040 þúsund tonn. Því þyrfti að draga úr nettólosun um 2.550 þúsund tonn árið 2020 miðað við spátilvik 1. Ef miðað er við spátilvik 2 yrði munurinn meiri eða 3.960 þúsund tonn. Þetta bil mætti til dæmis brúa á eftirfarandi hátt:

- Í fyrsta lagi gæti óbreytt umfang aðgerða á sviði landnotkunar skilað bindingu upp á 770 þúsund tonn.
- Í öðru lagi gætu aðgerðir sem kosta minna en 30 evrur tonnið skilað 1.050 þúsund tonnum í tilviki 1, og 1.120 þúsund tonnum í tilviki 2. Samtals gætu því þessir tveir liðir dregið úr útstreymi um 1.820 þúsund tonn í tilviki 1 og 1.890 þúsund tonn í tilviki 2.
- Í þriðja lagi mætti kaupa 730 þúsund tonn af losunarheimildum í tilviki 1, en um 2.070 þúsund tonn af losunarheimildum í tilviki 2.

Mögulegt er því að brúa þetta bil í báðum tilvikum með fjölþættum aðgerðum í mörgum geirum þar með talið aukinni bindingu koldíoxíðs, annarra mótvægisáðgerða og beitingar sveigjanleikaákvæða. Þó ber að hafa í huga að sveigjanleikaákvæðin eru aðeins hugsuð sem viðbót við innlenda minnkun á nettóútstreymi.

Hafa ber í huga að fjárfestingar, hvort sem er í iðnaði, sjávarútvegi eða einfaldlega í fjölskyldubílnum hafa langan líftíma. Því hafa fjárfestingar áhrif á útstreymi gróðurhúsalofttegunda langt til framtíðar. Því fyrr sem fjárfestingum er beint til loftslagsvænni tækni því fyrr skila þær árangri.

## Executive summary

In 2007 the Minister for the Environment appointed a committee of experts to explore the technical possibilities of mitigating greenhouse gas emissions in different sectors of the Icelandic economy. The committee was also to explore sequestration potential and the use of the Kyoto Protocol flexibility mechanism. This report is a comprehensive summary of the committee's assessments.

Greenhouse gas emissions in Iceland were 4.482 thousand tons in 2007 (CO<sub>2</sub> eq.). That amounts to 1.082 tons and a 32% increase from 1990. Emissions increased in all sectors except fisheries (18% reduction) and agriculture (7% reduction). The greatest increase in emissions was from the ferrous alloys industry (91%) and the aluminum industry (72%). However, emissions per ton of aluminum produced have decreased while aluminum production has increased 420% since 1990.

In addition, emissions due to land-use, changes in land-use and forestry were 1.824 thousand tons and total sequestration was 642 thousand tons. Therefore net emissions were 1.212 thousand tons in 2007, which amounts to 27% of total emissions that fall under the Kyoto protocol. Emissions due to land use and forestry are reported to the UNFCCC agreement, but do not fall under the Kyoto protocol. Sequestration due to land reclamation and forestry that occurred after 1990 is subject to the Protocol where special emission allowances are allocated due to such sequestration. In 2007 this amount was 279 thousand tons CO<sub>2</sub> in 2007.

The Environmental Agency (UST) has created a business-as-usual (BAU) greenhouse gas emissions forecast to 2050, in which there are two alternative scenarios. In scenario 1 it is assumed that future production by energy intensive industries equals production capabilities at the end of year 2008. Based on this assumption, total emissions in 2020 in scenario 1 are 4.644 thousand tons which amounts to 4% increase from 2007 and 37% increase from 1990. In scenario 2 it is assumed that production by energy intensive industries will reach full permitted levels in 2015. According to scenario 2, emissions in 2020 will reach nearly 6 million tons tons, that is a 33% increase from 2007 and a 76% increase from 1990 levels.

Mitigation methods describe possible means of reducing emissions beyond BAU scenarios 1 and 2, without reducing economic activity. Each mitigation method is evaluated based on cost, benefits and quantity abated. The results should be interpreted as an assessment of technical capabilities of reducing emissions. Whether those capabilities are realized depends on future cost, economic growth, development and diffusion of technology in addition to government policy. As a result, substantial differences can occur between mitigation that technically can be realized and the mitigation that is realized in the end.

The results indicate that it is possible to reduce net greenhouse gas emissions in Iceland. Compared to BAU scenario 1 and if all possible mitigation methods are implemented – regardless of cost – net emissions will be 52% lower in 2020 than in the BAU scenario. This means 34% lower net emissions than in 1990 and 50% lower net emissions if compared to 2007. If wetland restoration is not included, net emissions in 2020 will be 22% lower than in 1990 and 40% lower than in 2007.

Using BAU scenario 2, and if all mitigation methods are implemented regardless of cost, results indicate that net emissions will be 40% lower than in the BAU scenario in 2020. This amounts to 3% higher net emissions than in 1990 and 21% lower net emiss-

ions if compared to 2007. If wetland restoration is not included, net emissions in 2020 will be 15% higher than in 1990 and 12% higher than in 2007.

Mitigation methods that are technically feasible before 2020, distribute unevenly between sectors. The largest mitigation potential, regardless of cost, is in the fisheries sector, near 100% reduction from fishmeal production plants by electrification of the plants, and 75% reduction from the fishing sector by improving energy efficiency and switching to biofuels. Technically it is possible to reduce emissions from energy production by 50% and agriculture by 12%. Diverse mitigation methods are possible in the transportation sector, such as increased use of biofuels, electrification, improved energy efficiency, increased use of public transportation and increased walking and cycling. Technical improvement in the aluminum industry such as the use of carbon-free electrodes would render the aluminum industry virtually emissions free but this is unlikely to happen before 2020. However emissions can be reduced by 6% in the aluminum industry, 25% in the cement industry and 4% in the ferrous alloys industry by increased use of biofuels and increased energy efficiency. Increased sequestration beyond BAU by increasing land reclamation, forestry and wetland restoration, reduces net emissions by 32% in 2020 compared to scenario 1, and 25% compared to scenario 2.

The cost of mitigation differs substantially. Less expensive mitigation methods such as increased sequestration rates can reduce net emissions significantly. The cost ranges from methods that can be reached at a net benefit such as increased use of more efficient vehicles and increased walking and cycling, to substantially more expensive methods, such as switching to electric vehicles or hydrogen based vehicles. It must be kept in mind, that many of the more expensive technologies are not mature, and therefore cost is expected to decline in the future. Results indicate that mitigation methods that can reduce emissions at a net benefit can reduce emissions by 4% below BAU 2020 emissions, and mitigation methods that cost 0-20 euros can reduce emissions by 19% below BAU 2020 emissions scenario 1.

If net emissions need to be 40% lower than emissions in 1990, compared to 2020, net emissions cannot exceed 2.040 thousand tons in 1990. This means that 2.550 thousand tons must be mitigated in 2020 according to scenario 1, and 3.960 thousand tons in BAU scenario 2. It is possible to fulfill this goal by using multifaceted mitigation methods in all sectors, including increased sequestration, and the use of the flexibility mechanisms. It must however be kept in mind that the use of the flexibility mechanisms should only be utilized in addition to domestic efforts. The mitigation methods could include:

- First, ensuring that BAU sequestration rates continue secures mitigation of 770 thousand tons.
- Second, mitigation methods that cost less than 30 euros can mitigate 1.050 thousand tons in scenario 1 and 1.120 thousand tons in scenario 2.
- Third, by the use of the flexibility mechanisms, emission permits in the amount of 730 thousand tons in scenario 1, and 2.070 thousand tons in scenario 2 could be purchased.

It must be kept in mind that capital investments, whether in energy intensive industries, fisheries or simply the family car, generally have long lifetimes and influence emissions long into the future. Therefore it is important to immediately direct capital investment towards cost-effective climate friendly technology.

# 1 Inngangur

---

## 1.1 Aðdragandi

Loftslagsbreytingar af mannavöldum eru hnattrænt vandamál, og tóku ríki heimsins saman höndum til að takast á við þær undir merkjum Rammasamnings Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC). Samningurinn var samþykktur á ráðstefnu Sameinuðu þjóðanna í Ríó árið 1992. Loftslagssamningurinn inniheldur ekki töluleg bindandi markmið um minnkun á útstreymi gróðurhúsalofttegunda, en slík markmið voru sett í Kyoto bókuninni sem samþykkt var árið 1997, og gekk í gildi árið 2005. Töluleg markmið um minnkun á útstreymi eru mismunandi milli ríkja, en aðildarríki samningsins sem hafa bindandi markmið þurfa á árunum 2008 til 2012 að draga úr útstreymi um ákveðið hlutfall miðað við árið 1990. Ísland er aðili að loftslagssamningnum og Kyoto-bókuninni. Nú standa yfir samningaviðræður um framhald samningsins og vonast er til að ný markmið verði samþykkt í Kaupmannahöfn í desember árið 2009.

## 1.2 Stefnumörkun stjórnvalda og skipun nefndarinnar

Þann 15. febrúar 2007 samþykkti ríkisstjórn Íslands nýja stefnumörkun í loftslagsmálum. Í stefnumörkuninni er sett langtímasýn um að minnka nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda um 50–75% til ársins 2050 miðað við árið 1990. Með nettóútstreymi var átt við útstreymi að frádræginni bindingu kolefnis úr andrúmsloftinu. Í stefnumörkuninni voru sett fram fimm meginmarkmið stjórnvalda sem miða að því að gera langtímasýnina að veruleika:

- Íslensk stjórnvöld munu standa við alþjóðlegar skuldbindingar sínar innan ramma loftslagssamnings S.P. og Kyoto-bókunarinnar.
- Leitað verður allra hagkvæmra leiða til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Markvisst verður stuðlað að samdrætti í notkun jarðefnaeldsneytis, og þess í stað nýtt endurnýjanleg orka og loftslagsvænt eldsneyti.
- Stuðlað verður að aukinni bindingu kolefnis úr andrúmslofti með skógrækt og landgræðslu, endurheimt votlendis og breyttri landnotkun.
- Rannsóknir og nýsköpun á sviði loftslagsmála verður eflað og stutt við útflutning á íslensku hugviti á sviði endurnýjanlegrar orku og loftslagsvænnar tækni.
- Undirbúin verður aðlögun að loftslagsbreytingum jafnhliða því sem leitað verður leiða til að draga úr hraða þeirra og styrkleika.

Í stefnumörkuninni er að finna ákvæði um aðgerðir sem gripið verður til í því skyni að ná þessum markmiðum og fjallað er um annan mögulegan ávinning af þessum aðgerðum

en þann sem lýtur beint að loftslagsbreytingum. Í samræmi við stefnumörkunina skipaði umhverfisráðherra á vordögum 2007 sérfræðinganefnd til að kanna nánar þá möguleika sem fram koma í stefnumörkuninni á samdrætti í nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi. Nefndina skipuðu þau dr. Brynhildur Davíðsdóttir umhverfis- og auðlindafræðingur sem jafnframt var formaður, Ágústa Loftsdóttir eðlisfræðingur, Birna Hallsdóttir verkfræðingur, Bryndís Skúladóttir verkfræðingur, dr. Daði Már Kristófersson hagfræðingur, Guðbergur Rúnarsson verkfræðingur, dr. Hreinn Haraldsson jarðfræðingur, dr. Pétur Reimarsson, efnaverkfræðingur og dr. Þorsteinn Ingi Sigfússon eðlisfræðingur. Með nefndinni starfaði dr. Stefán Einarsson, sérfræðingur í umhverfisráðuneytinu. Nefndin fékk í hendur skýrslu verkfræðistofunnar Mannvits um útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum sem Vegagerðin kostaði. Mannvit aðstoðaði einnig við mat á möguleikum á að draga úr útstreymi frá sjávarútvegi og meðhöndlun úrgangs. Sérfræðingar Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands aðstoðuðu við mat á aðgerðum að draga úr útstreymi vegna orkuframleiðslu, iðnaði og frá sjávarútvegi. Dr. Sveinn Agnarsson frá Hagfræðistofnun Háskóla Íslands aðstoðaði við útreikninga og samanburð á mótvægisáðgerðum. Fjölmarginir aðilar hafa lesið yfir einstaka kafla og þætti í skýrslunni. Nefndin kann öllum þessum aðilum bestu þakkir fyrir aðstoðina. Niðurstöður allar og skýrslan sjálf er þó alfarið á ábyrgð nefndarinnar.

Nefndinni var falið að fjalla um möguleika á að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda í sex mismunandi geirum: orkuframleiðslu; samgöngum; iðnaðarferlum; sjávarútvegi; landbúnaði; og meðferð úrgangs. Einnig átti nefndin að fara yfir möguleika á bindingu kolefnis í gróðri og jarðvegi og hugsanlega í jarðlögum eða undir hafsbotni. Nefndinni var falið að meta kosti og hagkvæmni helstu aðgerða sem nefndar voru í stefnu stjórnvalda, auk annarra aðgerða sem til greina kæmu í sama tilgangi.

### 1.3 Tilgangur

Takmark nefndarinnar var að byggja upp þekkingu um útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi ásamt möguleikum til minnkunar á útstreymi sem nýst gæti stjórnvöldum, atvinnulífi og rannsóknarstofnunum og hægt væri að byggja á til framtíðar.

Vinna nefndarinnar var því margþætt:

1. Að fjalla um möguleika á að draga úr nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fyrirfram skilgreindum geirum íslensks þjóðfélags, auk annarra sem nefndin telur að æskilegt sé að skoða.
2. Að meta einstaka möguleika innan geira til að draga úr útstreymi með aðaláherslu á aðgerðir sem hafa áhrif til skemmri tíma, þ.e. á næsta áratug eða svo.
3. Að meta hagkvæmni einstakra möguleika til að draga úr útstreymi.
4. Að fjalla um möguleika á tæknilegum lausnum sem gætu haft umtalsverð áhrif síðar.
5. Að bera stöðu Íslands saman við stöðu annarra ríkja varðandi möguleika á að draga úr útstreymi og hversu loftslagsvænir helstu þættir atvinnulífsins og samfélagsins teljast.



Í upphafi var gert ráð fyrir að nefndin skilaði skýrslu sinni vorið 2008 en starf nefndarinnar reyndist mun umfangsmeira en gert var ráð fyrir í upphafi þar sem vinna þurfti allar upplýsingar frá grunni. Á starfstíma nefndarinnar komu fram nýjar upplýsingar, svo sem ný eldsneytisspá, auk þess sem samræmdar aðferðir við að meta kostnað við aðgerðir til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda, voru í þróun. Nefndin taldi mikilvægt að beita þessum samræmdu aðferðum til að unnt væri að meta kostnað við aðgerðir hér á landi á sama hátt og gert er í öðrum löndum. Samræmd aðferðafræði er augljóslega mjög mikilvæg, t.d. þegar borin er saman geta ríkja til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda miðað við aðstæður.

## 1.4 Yfirlit skýrslu

Þessi skýrsla er heildstæð samantekt á þeirri vinnu sem átt hefur sér stað á vegum sérfræðinganeftdarinnar. Skýrslan hefst á yfirliti yfir loftslagssamninginn og skuldbindingar Íslands. Því næst er útstreymisbókhaldi Íslands gert skil og sett er fram spá Umhverfisstofnunar um útstreymi gróðurhúsalofttegunda til ársins 2050. Spá Umhverfisstofnunar myndar grunnspá varðandi útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi. Þá er gerð grein fyrir möguleikum til minnkunar á útstreymi, svokölluðum mótvægisáðgerðum, frá hverjum geira íslensks þjóðfélags, skv. skilgreiningu í stefnumörkun ríkisstjórnarinnar frá 2007. Mótvægisáðgerðir eru skilgreindar, þeim er lýst og lagt er mat á árangur hvorrar áðgerðar. Þar að auki er lagt mat á kostnað við hverja áðgerð eftir því sem hægt er. Kostnaðurinn er mældur í krónum og evrum á tonn af gróðurhúsalofttegundum sem hver áðgerð skilar í minna útstreymi (mælt sem ígildi koldíoxíðs, CO<sub>2</sub>). Því næst eru sett fram samlegðaráhrif mismunandi áðgerða innan og milli geira Helstu niðurstöður og ályktanir nefndarinnar koma fram í samantekt í lok skýrslunnar.

Þau grunntilvik sem fjallað er um í skýrslunni eru unnin út frá forsendum sem áttu við um mitt síðasta ár, þ.e. vel fyrir hrún bankanna. Eins og gefur að skilja hafa forsendur breyst nokkuð síðan þá og verða niðurstöðurnar að skoðast í því ljósi. Í grunntilvikunum er þó gert ráð fyrir samdrætti í efnahagslífinu, að vísu ekki eins skörpum og djúpum og raun varð á. Hver áhrifin verða til langs tíma ræðst af því hversu lengi fjármálakreppan stendur. Standi hún tiltölulega stutt má gera ráð fyrir því að öll umsvif, og þar með útstreymi, nái fljótt aftur sínu fyrra umfangi og grunntilvikin standist því í aðalatriðum. Verði fjármálakreppan hinsvegar langvarandi má gera ráð fyrir því að öll umsvif minnki umtalsvert miðað við grunntilvikin. Ef svo fer, verður heildarútstreymið sömuleiðis minna, en jafnframt verður ávinningurinn af mögulegum áðgerðum einnig hlutfallslega minni. Þrátt fyrir þessa óvissu er ekki ástæða til að breyta grunntilvikunum, enda gerir núverandi óvissa það erfitt að stilla upp grunntilvikin með sannfærandi hætti. Grunntilvikin eru í eðli sínu viðmið, notuð til að bera saman kostnað og ábata mismunandi mótvægisáðgerða. Innbyrðis staða mismunandi mótvægisáðgerða mun ekki endilega riðlast svo teljandi sé þrátt fyrir samdrátt í efnahagslífinu. Helst er hætt við að mótvægisáðgerð sem var ódýr og skilaði miklum ábata miðað við forsendur fyrir hrún verði ekki eins ódýr og skili minni ábata en gert var ráð fyrir. En mótvægisáðgerð sem var dýr og skilar litlum ábata fyrir hrún er enn dýr og skilar litlum ábata eftir hrún.

## 2 Loftslagssamningurinn og Kyoto-bókunin

### 2.1 Loftslagssamningurinn og Kyoto-bókunin

Árið 1988 var milliríkjanefnd Sameinuðu þjóðanna (S.P.) um loftslagsbreytingar (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) sett á laggirnar af umhverfisstofnun S.P. og Alþjóðaveðurfræðistofnuninni. Eitt meginmarkmið IPCC er að leggja mat á loftslagsbreytingar með tilliti til umfangs, áhrifa og tíma, og kynna leiðir til þess að bregðast við vandanum.

Fyrsta skýrsla IPCC um loftslagsmál kom út árið 1990 og var hún helsti grunnurinn að samkomulagi sem varð á 45. allsherjarþingi S.P., í lok þess árs, um að hefja samningaviðræður um rammasamning um loftslagsbreytingar. Rammasamningurinn var undirritaður af fulltrúum 154 ríkja, þ.á.m. Íslands, á heimsráðstefnu S.P. um umhverfi og þróun sem haldin var í Rio de Janeiro árið 1992. Nú eru 189 ríki aðilar að samningnum.

Endanlegt markmið loftslagssamningsins er að ná stöðugleika í magni gróðurhúsa-lofttegunda í andrúmsloftinu þannig að styrkur þeirra leiði ekki til hættulegra áhrifa á loftslagskerfið af mannavöldum. Þessum stöðugleika skal náð innan þess tímaramma sem þarf til þess að vistkerfi geti aðlagast að loftslagsbreytingum á náttúrulegan hátt, þannig að tryggt sé að matvælaframleiðslu verði ekki ógnað og að hagþróun geti miðað áfram á sjálfbæran hátt.

Meðal meginreglna samningsins er að aðilar hans skuli vernda loftslagið, til hagsbóta fyrir núlifandi og komandi kynslóðir, á grundvelli jafnræðis og í samræmi við sameiginlega en mismunandi ábyrgð og getu<sup>1</sup>. Þróuð ríki skulu hafa frumkvæði að því að vinna gegn loftslagsbreytingum og neikvæðum áhrifum þeirra. Gerðar eru því meiri og stífar kröfur til þróaðra ríkja og fyrrum austantjaldsríkja sem eru kölluð ríki með efnahagskerfi í umbreytingu (tilgreind í viðauka I við samninginn) en þróunarríkja.

Meðal skuldbindinga samningsins eru ákvæði um að aðilar hans skuli draga úr áhrifum loftslagsbreytinga með því að grípa til aðgerða varðandi útstreymi og bind-

<sup>1</sup> Hér er vísað til þess sem kallast „common but differentiated responsibilities and respective capabilities“.

ingu gróðurhúsalofttegunda. Aðildarríkin skulu skila skýrslum um stefnu og aðgerðir og halda nákvæmt bókhald um útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Þróuð ríki, sem talin eru upp í viðauka II, skulu aðstoða þróunarríki við að standa við skuldbindingar sínar m.a. með því að stuðla að því að þau geti tekið upp nýja tækni. Einnig skulu þau aðstoða ríki, sem eru í sérstakri hættu vegna áhrifa loftslagsbreytinga, við aðlögun að breyttum aðstæðum.

Þing aðila að samningnum (Conference of the Parties, COP), sem haldið er árlega, er æðsta stofnun hans. Þingið fylgist með framkvæmd samningsins og tekur ákvarðanir sem ætlað er að styrkja framkvæmdina. Ljóst var þegar í upphafi að ákvæði loftslagssamningsins dygðu ekki til þess að koma í veg fyrir loftslagsbreytingar. Á fyrsta þingi aðildarríkjanna, árið 1995, var því tekin ákvörðun (sk. Berlínarumboð) um að hefja viðræður um frekari skuldbindingar fyrir þróuð ríki. Niðurstaðan varð Kyotobókunin sem samþykkt var á þriðja þinginu í Kyoto árið 1997.

### Box 1. Hlýnunarmáttur og koldíoxíð-ígildi

Ríki sem talin eru upp í viðauka B við Kyotobókunina eru skuldbundin til að takmarka samanlagt útstreymi gróðurhúsalofttegundanna CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub> og N<sub>2</sub>O, og tveggja flokka gróðurhúsalofttegunda (HFC, PFC). Heildarútstreymið er reiknað sem ígildi þess að um útsreymi á CO<sub>2</sub> væri að ræða. Lofttegundirnar hafa mjög mismunandi áhrif á geislunarálag (áhrif til breytingar á nettó inn- og útgeislun, mælt í vöttum á fermetra) og er líftími þeirra í andrúmsloftinu ólíkur (1-50000 ár). Útreikningarnir á heildarútstreymi byggja á svokölluðum hlýnunarmætti (Global Warming Potential) sem er hlutfallslegt viðmið. Það er skilgreint sem samanlögð áhrif lofttegundar á geislunarálag í 100 ár vegna útstreymis, í einu veffangi, á 1 kg af lofttegundinni miðað við áhrif af sama magni af viðmiðunarlofttegundinni CO<sub>2</sub>. Koldíoxíð-ígildi útstreymis viðkomandi lofttegundar fæst síðan með því að margfalda saman það magn sem losað er og hlýnunarmátt lofttegundarinnar.

| Efni                    | Efnaformúla                      | Líftími (ár) | Hlýnunarmáttur (m.v. 100 ár) |
|-------------------------|----------------------------------|--------------|------------------------------|
| Koldíoxíð               | CO <sub>2</sub>                  | Breytilegur* | 1                            |
| Metan                   | CH <sub>4</sub>                  | 12           | 21                           |
| Hláturgas               | N <sub>2</sub> O                 | 114          | 310                          |
| HFC-32                  | CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>   | 4,9          | 650                          |
| HFC-125                 | CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> | 29           | 2800                         |
| HFC-134a                | CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub> | 14           | 1300                         |
| HFC-143a                | CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>  | 52           | 3800                         |
| HFC-152a                | CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> | 1,4          | 140                          |
| PFC-14                  | CF <sub>4</sub>                  | 50000        | 6500                         |
| PFC-116                 | C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>    | 10000        | 9200                         |
| Brennisteinshexaflúoríð | SF <sub>6</sub>                  | 3200         | 23900                        |

\*Vegna mismunandi hraða fyrir ólík ferli sem leiða til minnkunar CO<sub>2</sub>

(Heimild: IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Tafla 2.14)

|            |      |           |      |               |      |              |      |
|------------|------|-----------|------|---------------|------|--------------|------|
| Ástralía   | 108% | Frakkland | 92%  | Liechtenstein | 92%  | Slóvakía     | 92%  |
| Austurríki | 92%  | Grikkland | 92%  | Litháen       | 92%  | Slóvenía     | 92%  |
| Bandaríkin | 93%  | Holland   | 92%  | Lúxemborg     | 92%  | Spánn        | 92%  |
| Belgía     | 92%  | Írland    | 92%  | Mónakó        | 92%  | Sviss        | 92%  |
| Bretland   | 92%  | Ísland    | 110% | Noregur       | 101% | Svíþjóð      | 92%  |
| Búlgaría   | 92%  | Ítalía    | 92%  | Nýja Sjáland  | 100% | Tékkland     | 92%  |
| Danmörk    | 92%  | Japan     | 94%  | Portúgal      | 92%  | Ungverjaland | 94%  |
| Eistland   | 92%  | Kanada    | 94%  | Pólland       | 94%  | Úkraína      | 100% |
| ESB        | 92%  | Króatía   | 95%  | Rúmenía       | 92%  | Þýskaland    | 92%  |
| Finnland   | 92%  | Lettland  | 92%  | Rússland      | 100% |              |      |

Tafla 2-1. Tölulegar skuldbindingar um útstreymi á fyrsta skuldbindingatímabili Kyoto-bóknarinnar, sbr. viðauka B við bókunina.

## 2.2 Kyoto-bókunin

Loftslagssamningurinn nær til gróðurhúsalofttegunda sem falla ekki undir Montreal bókunina um ósoneyðandi efni, og er koldíoxíð (CO<sub>2</sub>) eina lofttegundin sem er tilgreind sérstaklega í samningnum. Í Kyoto-bókuninni eru hins vegar tilgreindar sex gróðurhúsalofttegundir og miðast útstremisheimildir skv. bókuninni við þær. Þessar lofttegundir eru koldíoxíð, metan (CH<sub>4</sub>), hláturgas (N<sub>2</sub>O), vetnisflúorkolefni (HFCs), perflúorkolefni (PFCs) og brennisteinshexaflúoríð (SF<sub>6</sub>). Vetnisflúorkolefni og perflúorkolefni eru raunar efnaflokkar sem innihalda fleiri en eitt efni. Þessar lofttegundir hafa mismikil gróðurhúsaáhrif, en til einföldunar eru áhrif þeirra lögð saman sem ígildi koldíoxíðs.

### Box 2. Útstremisheimildir Íslands

Útstreymi frá Íslandi viðmiðunarárið 1990 var 3.367.972 koldíoxíð-ígildi (sjá frekari umfjöllun í kafla 4). Heildarmagn losunarheimilda sem Ísland fær úthlutað á tímabilinu 2008–12 miðast því við 10% hækkun frá árinu 1990 (x 110%) í fimm ár (x5):  $3.367.972 \times 1,1 \times 5 = 18.523.847$  koldíoxíð-ígildi.

Til viðbótar úthlutuðum losunarheimildum hafa íslensk stjórnvöld tilkynnt að þau muni nýta sér ákvæði ákvörðunar nr. 14/CP.7 þannig að einstök verkefni, sem auka koldíoxíðútstreymi meira en sem svarar 5% af koldíoxíðútstreymi á árinu 1990, verði undanskilin heildarútstreymi landsins. Heildarútstreymi koldíoxíðs árið 1990 var 2.158.637 tonn og því getur ákvæðið átt við um verkefni sem leiða til meiri koldíoxíðútstremis en  $2.158.637 \times 5/100 = 107.932$  tonn á ári. Hámarks magn skv. þessu ákvæði er 1.6 milljónir tonna á ári, eða 8 milljónir tonna fyrir skuldbindingartímabilið. Miðað við að ákvæðið yrði fullnýtt verða heildarheimildir landsins 26.523.847 koldíoxíð-ígildi á tímabilinu 2008 – 2012 eða 5.304.769 koldíoxíð-ígildi að jafnaði á ári.

### Box 3. Landnotkun, breytt landnotkun og skógarumhirða

Landnotkun og skógarumhirða hafa veruleg áhrif á magn gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftinu. Tré og annar gróður bindur koldíoxíð úr andrúmslofti og einnig binst koldíoxíð í jarðvegi. Jafnframt losna gróðurhúsalofttegundir frá gróðri og jarðvegi, aðallega vegna skógareyðingar og þurrkunar á votlendi.

Í loftslagssamningum eru ákvæði um að aðildarríkin skuli gera ráðstafanir til þess að draga úr loftslagsbreytingum með því að draga úr útstreymi og auka bindingu gróðurhúsalofttegunda. Aðildarríki Kyoto-bókunarinnar, sem tilgreind eru í viðauka B við bókunina, hafa tölulegar skuldbindingar varðandi losun gróðurhúsalofttegunda. Þessi ríki skulu gera grein fyrir breytingum á útstreymi og bindingu vegna landnotkunar, breyttrar landnotkunar og skógræktar (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF), sem takmarkast við nýskógrækt, endurrækt skóga og skógareyðingu. Ríkin geta enn fremur valið að reikna með í útstreymisbókhaldi sínu einn eða fleiri af eftirfarandi kostum: landgræðslu, skógarumhirðu, stjórnun á nýtingu ræktarlands eða graslendis. Af þessum kostum hefur Ísland hefur valið landgræðslu sem hluta af sínum skuldbindingum.

Viðmiðunarár Kyoto-bókunarinnar er 1990. Þannig reiknast t.d. ekki með útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá framræstu mýrlendi á Íslandi hafi það verið framræst fyrir 1990. Á sama hátt getur Ísland ekki heldur reiknað sér til tekna bindingu vegna landgræðsluframkvæmda fyrir 1990, né heldur bindingu í trjágróðri sem plantað var fyrir 1990.

Kyoto-bókunin felur í sér kröfu um að ríkin í viðauka I við loftslagssamninginn dragi sameiginlega úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda um a.m.k. 5 % á fyrsta skuldbindingatímabili bókunarinnar, 2008–2012, miðað við útstreymið eins og það var árið 1990. Skuldbindingar einstakra ríkja eru mismunandi eins og fram kemur í viðauka B við bókunina (sjá töflu 2-1). Öll þessi ríki, að Bandaríkjunum undanskildum, hafa staðfest bókunina.

Ríkjunum er heimilt að uppfylla skuldbindingar sínar sameiginlega og valdi Evrópusambandið þennan kost. Evrópusambandið hefur frjálssar hendur um hvernig samdrátturinn skiptist milli ríkja innan sambandsins. Samdráttur í útstreymi einstakra ESB-ríkja er því annar en fram kemur í töflu 2-1 sem fengin er úr viðauka B við Kyoto-bókunina.

Kyoto-bókunin var útfærð í nákvæmum lagatexta sem samþykktur var á 7. aðildarríkjaþingi loftslagssamningsins í Marrakesh árið 2001. Þar á meðal var ákvörðun nr. 14/CP.7 um áhrif einstakra verkefna á útstreymi á fyrsta skuldbindingartímabilinu. Með þessu ákvæði má undanskilja útstreymi koldíoxíðs frá einstökum verkefnum í iðnaði frá heildarútstreymi einstakra ríkja á skuldbindingartímabilinu 2008–2012, að því tilskildu að útstreymi vegna verkefnisins sé meira en 5% af heildarútstreymi

koldíoxíðs frá viðkomandi ríki árið 1990, að endurnýjanleg orka sé notuð, að bestu fánlegu tækni sé beitt og bestu umhverfisvenjur séu viðhafðar við framleiðsluna og að útstreymi viðkomandi ríkis árið 1990 hafi verið minni en 0,05% af heildarútstreymi þeirra ríkja sem tilgreind eru í viðauka I við loftslagssamninginn<sup>2</sup>. Útstreymi sem ríkjum er heimilt að fella undir ákvörðunina er að hámarki 1,6 milljónir tonna af koldíoxíði að meðaltali á ári. Ísland hefur tilkynnt að það muni nýta sér þetta ákvæði og hefur losunarheimildum verið úthlutað til fyrirtækja í samræmi við það skv. lögum nr. 65/2007 um útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

Kyoto-bókunin heimilar ákveðinn sveigjanleika til þess að uppfylla skuldbindingar um útstreymistakmarkanir. Leyfð er verslun með útstreymisheimildir og einnig er hægt að afla heimilda með þátttöku í verkefnum sem leiða til samdráttar í útstreymi. Á það bæði við um verkefni í ríkjum með tölulegar skuldbindingar (Joint Implementation, JI) og í þróunarríkjum (Clean Development Mechanism, CDM).

Í Kyoto-bókuninni eru auk þess bæði bundin og valkvæð ákvæði um landnotkun, breytta landnotkun og skógrækt. Aðildarríkin (sjá töflu 2-1) eru skuldbundin til að taka tillit til útstreymis og bindingar sem verður vegna nýskógræktar, endurræktunar skóga og skógareyðingar (sbr. grein 3.3). Ákvæðið veitir því möguleika á að nota bindingu sem fæst með skógrækt til að auka við útstreymisheimildir. Á sama hátt skal telja skógareyðingu fram sem útstreymi. Aðildarríkin geta ennfremur valið að reikna með í bókhaldi sínu bindingu og útstreymi vegna landgræðslu, skógarumhirðu og stjórnunar á nýtingu ræktarlands og/eða graslendis (sbr. grein 3.4). Ísland valdi að taka landgræðslu með sem hluta af skuldbindingum landsins gagnvart bókuninni.

### 2.3 Samningaviðræður um loftslagsmál

Fjórða skýrsla IPCC um loftslagsmál kom út árið 2007. Í skýrslunni er fjallað um vísindalegan bakgrunn loftslagsbreytinga, áhrif og aðlögun að loftslagsbreytingum og leiðir til þess að draga úr áhrifum á loftslagið. Niðurstöður skýrslunnar taka af vafa um áhrif mannsins á loftslagið og hefur skýrslan haft afgerandi áhrif á alþjóðlegar viðræður og almenna umræðu um loftslagsmál. IPCC hlaut friðarverðlaun Nóbels fyrir starf sitt árið 2007.

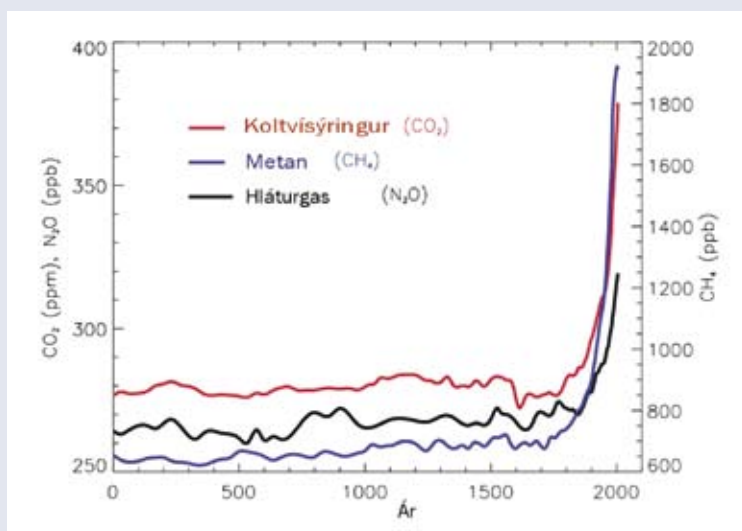
Á 13. þingi loftslagssamningsins, sem haldið var í Balí í árslok 2007, var samþykkt aðgerðaáætlun (Bali Action Plan) um samningaviðræður um loftslagsmál sem ljúka skal á 15. þingi samningsins í Kaupmannahöfn í desember 2009. Á sama tíma skal einnig ljúka samhliða samningaviðræðum um frekari skuldbindingar þróaðra ríkja samkvæmt Kyoto-bókuninni þegar fyrsta skuldbindingatímabili hennar lýkur.

2 Ákvæði þetta á því einungis við smáríki svo sem Ísland, Mónakó og Liechtenstein.

## Box 4. Gróðurhúsaáhrif og gróðurhúsalofttegundir

Um 70% af sólargeislum sem berast jörðinni hita upp andrúmsloft og yfirborð jarðar en 30% geislanna speglast frá yfirborði andrúmsloftsins aftur út í geiminn. Þessi geislun er að mestu leyti úr sýnilega og nær-sýnilega hluta litrófsins. Að jafnaði geislar jörðin sömu orku aftur út í geiminn, en vegna þess hve svalt er við yfirborð jarðarinnar er um innrauða geislun að ræða. Ákveðnar lofttegundir í andrúmsloftinu, gróðurhúsalofttegundir, gleypa innrauða geisla og draga þannig úr útgeisluninni og hita yfirborð jarðar. Þegar jörðin hitnar eykst útgeislunin og jafnvægi næst við hærra hitastig. Af þessum ástæðum er hitastig við yfirborð jarðar hærra en ella, þ.e. að jafnaði 14°C í stað -19°C.

Helstu gróðurhúsalofttegundirnar eru vatnsgufa (H<sub>2</sub>O) og koldíoxíð (CO<sub>2</sub>). Aðrar náttúrulegar gróðurhúsalofttegundir eru metan (CH<sub>4</sub>), hláturgas (N<sub>2</sub>O) og ósón (O<sub>3</sub>). Styrkur þessara lofttegunda hefur aukist mjög frá því árið 1750, þegar iðnbyltingin hófst, aðallega vegna brennslu jarðefnaeldsneytis (CO<sub>2</sub>), en einnig m.a. vegna skógareyðingar, aukins landbúnaðar (CH<sub>4</sub>) og notkunar á áburði (N<sub>2</sub>O).



Styrkur gróðurhúsalofttegunda frá árinu 0 til ársins 2005

(Heimild : IPCC, 2007: Climate Change 2007:The Physical Science Basis. FAQ 2.1, Mynd 1)

Auk náttúrulegra gróðurhúsalofttegunda eru ákveðin tilbúin efni öflugar gróðurhúsalofttegundir. Vetniðflúorkolefni (HFC) eru m.a. notuð sem kælimiðlar, perflúorkolefni (PFC efni þ.e. CF<sub>4</sub> og C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) myndast aðallega við frumframleiðslu á áli og brennisteinshexaflúoríð (SF<sub>6</sub>) er m.a. notað sem neistavari í rafbúnaði. Skuldbindingar Kýótóbókunarinnar ná til þessara efna auk koltvísýrings, metans og hláturgass.

Auk ofangreindra efna má nefna klórflúorkolefni (CFC) sem notuð hafa verið sem kælimiðlar og sem þensluefni við framleiðslu á frauðplasti, og vetnisklórflúorkolefni (HCFC) sem eru staðgengilsefni fyrir CFC. Þessi efni eru jafnframt ósóneyðandi efni og er í gildi alþjóðlegur samningur, þ.e. Montreal-bókun Vínarsamningsins, sem skuldbindur samningsaðila til að stuðla að verndun ósonlagsins með því að draga úr losun efnanna. Ekki er því tekið á þessum eignum í Kýótóbókuninni.



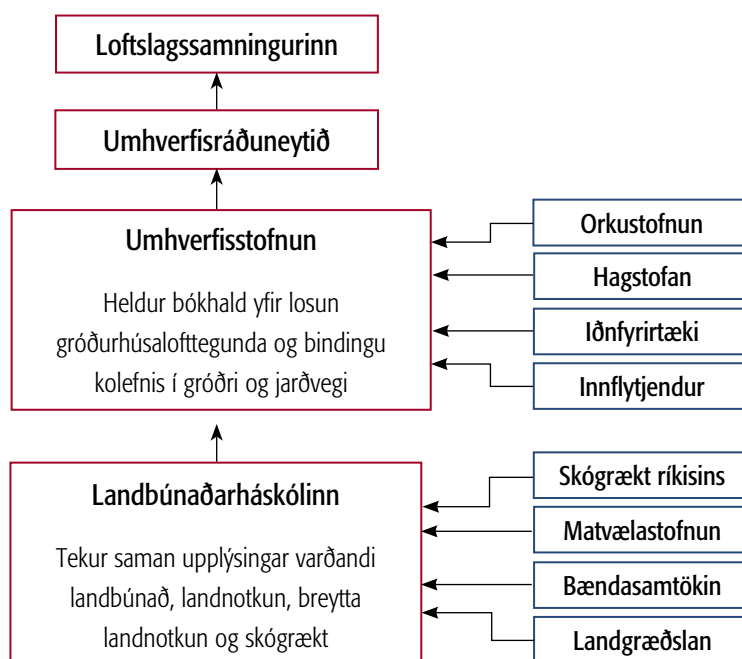


## 3 Gróðurhúsalofttegundir og útstreymi þeirra

### 3.1 Bókhald um útstreymi gróðurhúsalofttegunda

Ríkjum, sem talin eru upp í viðauka I við loftslagssamninginn, ber skylda til þess að skila, eigi síðar en 15. apríl ár hvert, skýrslu um útstreymi og bindingu gróðurhúsalofttegunda. Skýrslan er í tveimur hlutum þ.e. annars vegar tölulegt yfirlit á samræmdu formi (CRF-tölur, Common Reporting Format) og hins vegar skýrsla þar sem m.a. er gerð er grein fyrir aðferðum, ústreymisstuðlum, gæðum gagna og öðrum lyk-  
ilþáttum sem varða bókhaldið (NIR, National Inventory Report). Árið 1990 er við-  
miðunarár varðandi bókhaldið og miðast skuldbindingar ríkja um takmarkanir á út-  
streymi gróðurhúsalofttegunda við það ár.

Umfangsmikilla gagna er þörf fyrir bókhaldið m.a. um fólksfjölda, eldsneytisnotk-  
un, iðnað, landbúnað, úrgang o.fl. og koma margir aðilar að söfnun þeirra (sjá mynd  
3-1). Umhverfisstofnun hefur meginumsjón með gerð bókhaldsins og aflar gagna frá



Mynd 3-1. Verklag við útstreymisreikninga.

stofnunum, samtökum og fyrirtækjum. Landbúnaðarháskóli Íslands tekur saman upplýsingar varðandi landbúnað, landnotkun, breytta landnotkun og skógrækt og skilar til Umhverfisstofnunar.

Lofschlagssamningurinn skiptir útstreymi upp í sex aðalflokka:

- Orka
- Iðnaðarferlar
- Efnanotkun
- Landbúnaður
- Landnotkun
- Úrgangur

Við samantekt á upplýsingum er m.a. eftirfarandi reglum beitt:

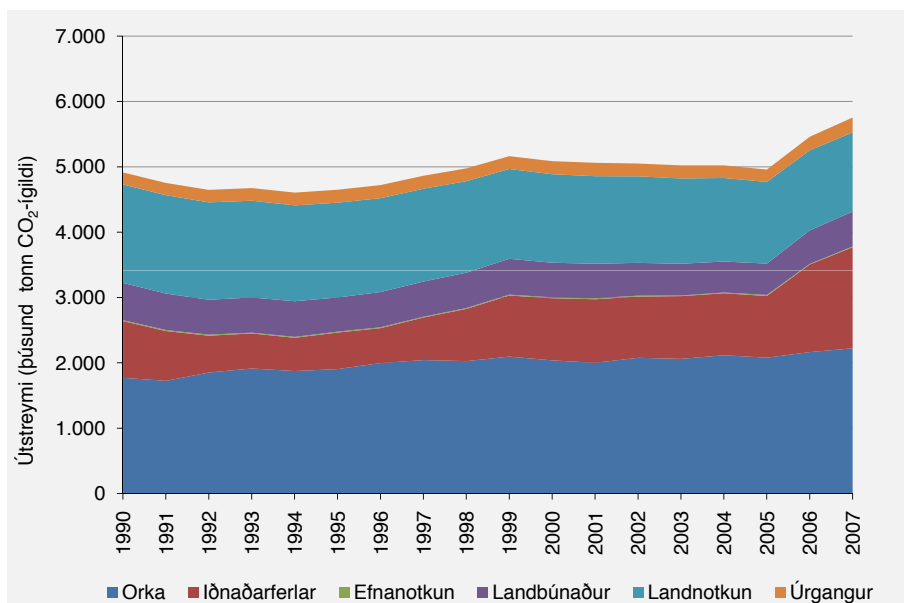
- Eingöngu er talið fram það útstreymi sem verður vegna bruna eldsneytis sem keypt er á Íslandi.
- Útstreymi vegna eldsneytisnotkunar í millilandaflutningum er metið og gefið upp sérstaklega en ekki reiknað inn í heildarútstreymi.
- Útstreymi CO<sub>2</sub> frá lífmassa (bruni/rotnun) er talið vera hlutlaust, þar sem álit-ið er að upptaka CO<sub>2</sub> á vaxtarskeiði hafi verið jöfn því útstreymi sem verður við niðurbrot/bruna (t.d. bruni timburkurls og rotnun úrgangs). Útstreymið frá þessum uppsprettum er reiknað sérstaklega en ekki tekið inn í heildarútstreymi hvers lands. Aðrar lofttegundir eru hins vegar taldar með að fullu (t.d. metanútstreymi frá sorphaugum).
- Ef jarðefnaeldsneyti (t.d. kol eða koks) er notað í iðnaði fyrst og fremst vegna efnafræðilegra eiginleika er útstreymið talið fram undir iðnaðarferlum; en ef notkun eldsneytis er fyrst og fremst til varmaframleiðslu er útstreymið flokkað sem orkunotkun.
- Flokkurinn orka tekur bæði til útstreymis sem verður vegna framleiðslu rafmagns, og notkunar eldsneytis m.a. í iðnaði, samgöngum og fiskveiðum.

### 3.1.1 Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi

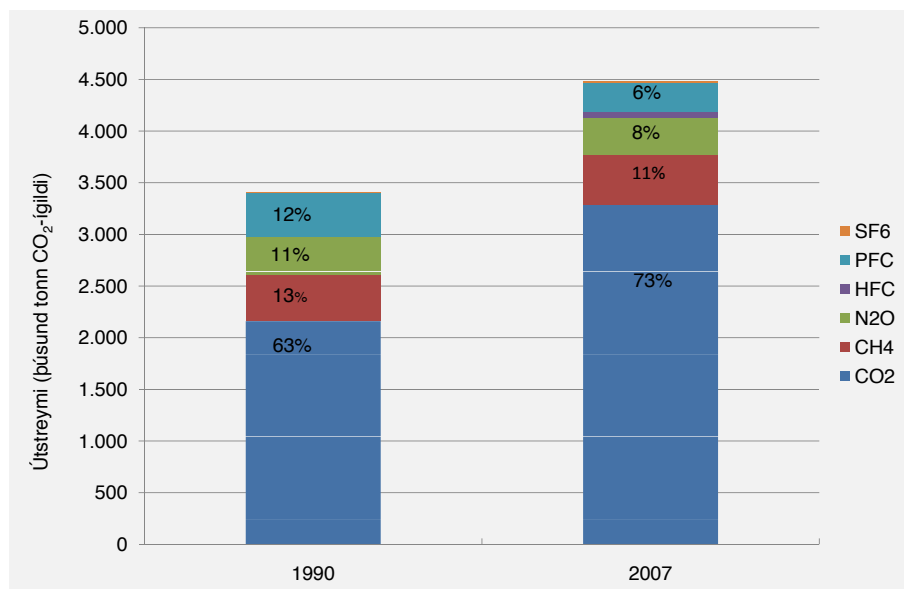
Útstreymisbókhald Umhverfisstofnunar tekur til þeirra gróðurhúsalofttegunda sem tilgreindar eru í Kyoto-bókuninni, þ.e. koldíoxíðs (CO<sub>2</sub>), metans (CH<sub>4</sub>), hláturgass (N<sub>2</sub>O), vetnisflúorkolefna (HFC), perflúorkolefna (PFC) og brennisteinshexaflúoríðs (SF<sub>6</sub>). Heildarútstreymi þeirra er gefið upp í CO<sub>2</sub>-ígildum en lofttegundirnar hafa mismunandi hlýnunarmátt (sjá box 1, kafla 2.2). Langstærsti hluti útstreymisins hér á landi er koldíoxíð eins og sjá má á mynd 3-3.

Árið 2007 var heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda (án landnotkunar) á Íslandi 4.482 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi og hafði þá aukist um 32% frá árinu 1990. Mestu munar um aukningu í útstreymi koldíoxíðs sem jókst um 52%. Útstreymi metans stóð nokkurn veginn í stað, en útstreymi hláturgass dróst saman um 2,4%. Eins og sést á mynd 3-3 nam útstreymi koldíoxíðs 73% af heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2007. Þetta útstreymi koldíoxíðs kemur aðallega frá iðnaðarferlum, samgöngum og fiskveiðum. Útstreymi á hláturgasi, sem aðallega kemur frá landbúnaði, og metangasi, sem kemur frá landbúnaði og úrgangi, nam samtals 19% af heildarútstreyminu árið 2007.

Árið 1990 var útstreymi flúorkolefna (PFC) 12% af heildarútstreymi. Árið 2005



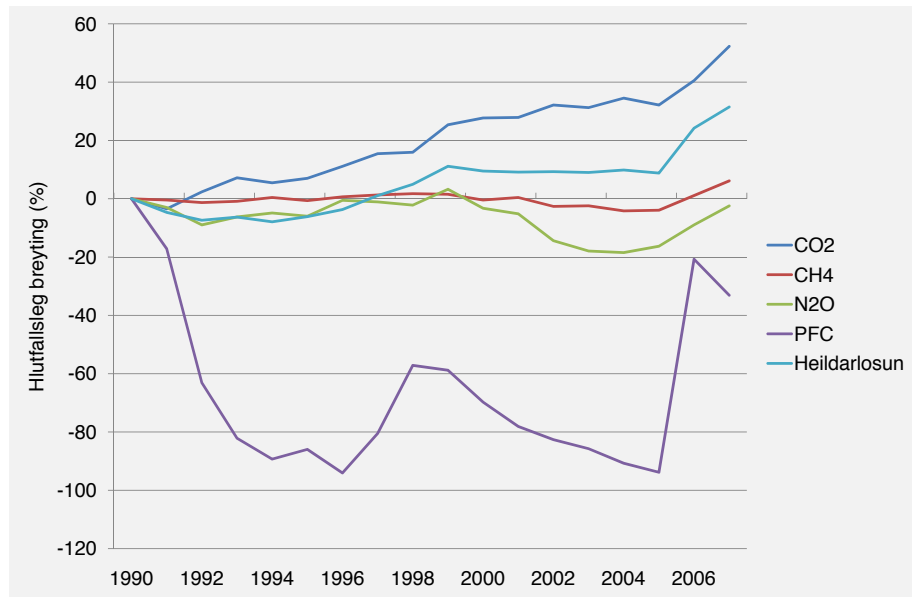
Mynd 3-2. Ústreyami gróðurhúsalofttegunda á Íslandi frá 1990 til 2007, skipt eftir aðalflokkum Loftslagssamningsins.



Mynd 3-3. Ústreyami gróðurhúsalofttegunda (án landnotkunar) á Íslandi árin 1990 og 2007, skipt eftir lofttegundum.

var ústreyami flúorkolefna hins vegar einungis 0,7% af heildarústreyminu, en það ár náðist sérlega góður árangur við takmörkun á ústreyami þessara efna, sem myndast sem hliðarafurð við álframleiðslu. Mikil aukning hefur orðið á ústreyami flúorkolefna bæði árið 2006, þegar ústreyami PFC nam 8% af heildarústreymi, og 2007, þegar ústreyami PFC nam 6% af heildarústreymi. Þessa miklu aukningu árið 2006 má rekja til tæknilegra vandamála við stækkun álvers Norduráls. Ústreyami flúorkolefna frá Norduráli var einnig hátt árið 2007 auk þess sem álver Alcoa Fjarðaáls var gangsett á árinu. Ústreyami flúorkolefna er oft meira á hvert framleitt tonn við stækkun og gangsetningu nýrra álvera en við venjubundinn rekstur. Mynd 3-4 sem sýnir þróun í

Mynd 3-4. Hlutfallsleg þróun útstreymis einstakra lofttegunda frá 1990 til 2007.

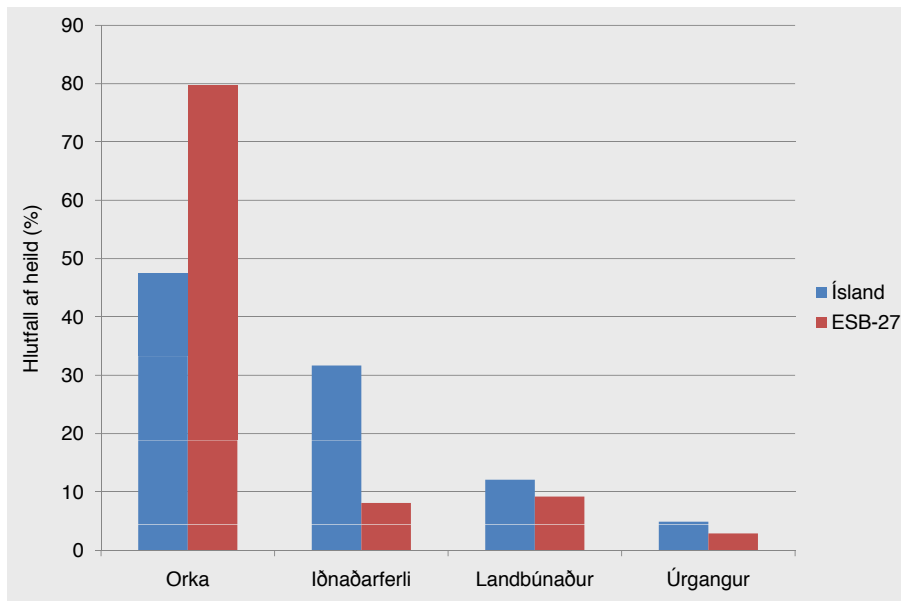


Útstreymi einstakra gróðurhúsalofttegunda á árabílinu 1990–2007. Samdráttinn sem varð í heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda milli árunna 1990 og 1995, má rekja til þess hversu vel tókst til við að draga úr útstreymi flúorkolefna á því tímabili.

Útstreymi vegna alþjóðasiglinga og millilandaflugs fellur ekki undir tölulegar skuldbindingar samkvæmt Kyoto-bókuninni. Hins vegar er gerð grein fyrir þessu útstreymi í útstreymisbókhaldi vegna loftslagssamningsins. Árið 2007 nam þetta útstreymi 725 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda, 209 þúsund tonn vegna siglinga og 516 þúsund tonn vegna flugs. Þetta útstreymi samsvarar 16% af heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda sem falla undir Kyoto-bókunina. Árið 2007 var útstreymið 125% hærra en árið 1990.

Útstreymi vegna landnotkunar, breyttrar landnotkunar og skógræktar sem átti sér stað fyrir árið 1990 reiknast ekki með í bókhaldi vegna Kyoto-bókunarinnar. Hér á landi er um umtalsvert útstreymi að ræða, aðallega frá framræstu landi. Heildarútstreymið vegna landnotkunar, breyttrar landnotkunar og skógræktar árið 2007 var um 1.824 þúsund tonn og heildarbindingin um 642 þúsund tonn. Nettóútstreymið frá þessum geira var því 1.212 þúsund tonn árið 2007 og jafngildir það um 27% af því útstreymi sem fellur undir bókunina. Binding vegna skógræktar og landgræðslu eftir 1990 reiknast hins vegar inn í bókhald vegna Kyoto-bókunarinnar, þar sem sérstökum útstreymisheimildum er úthlutað vegna slíkrar bindingar. Sú binding var 279 þúsund tonn CO<sub>2</sub> árið 2007.

Útstreymi á Íslandi er á margan hátt ólíkt útstreymi annarra landa. Í fyrsta lagi er útstreymi vegna rafmagns- og hitaframleiðslu hlutfallslega mjög lítið, í öðru lagi er útstreymi frá iðnaðarferlum áberandi mikið og í þriðja lagi stafar óvenju hátt hlutfall útstreymis vegna brennslu jarðefnaeldsneytis af hreyfanlegum uppsprettum. Ennfremur er útstreymi hérlendis vegna landnotkunar mjög mikið. Þetta má sjá á mynd 3-5, þar sem útstreymi frá Íslandi er borið saman við útstreymi landa Evrópusambandsins (heimild Umhverfisstofnunar National Inventory Report, Iceland 2008 og EEA: Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2006 and inventory report, 2008). Útstreymi vegna orkunotkunar á Íslandi er 51% af heildarút-

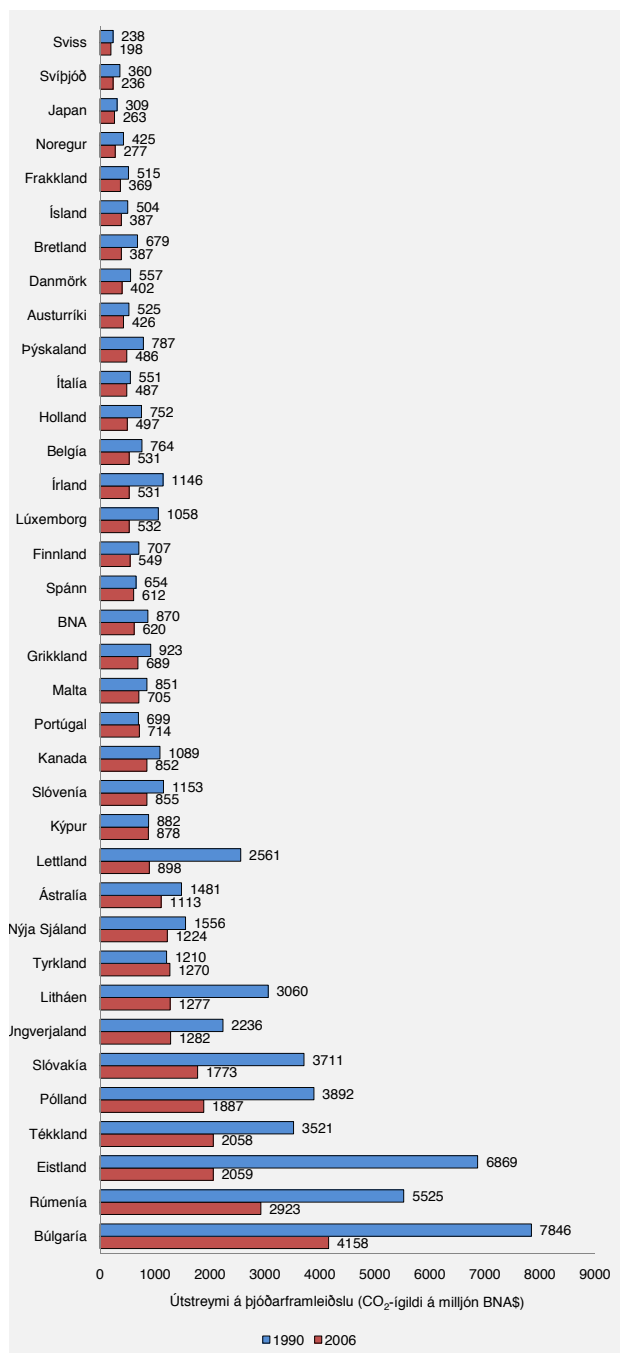
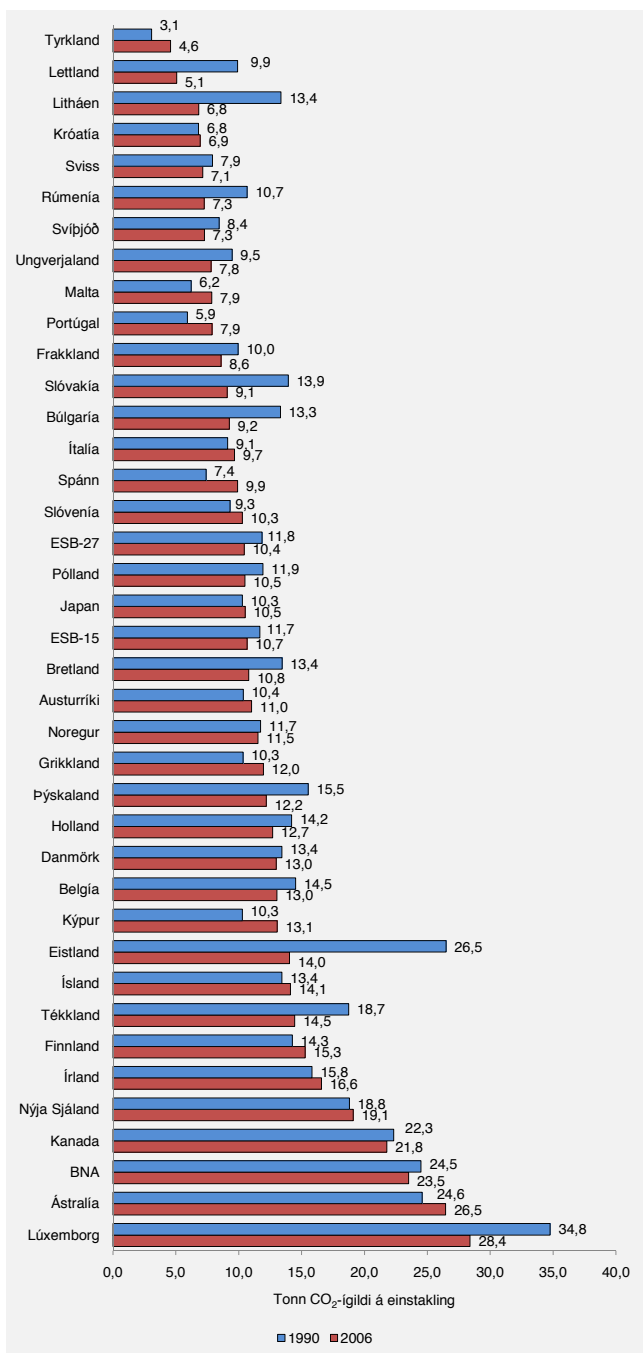


Mynd 3-5. Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi og í Evrópusambandinu árið 2006 (% af útstreymi) skv. bókhaldsreglum loftslagssamningsins.

streymi miðað við 80% í löndum ESB. Ástæðan er sú að rafmagns- og varmaframleiðsla hérlandis byggir á vatnsafla og jarðhita. Útstreymi vegna orkunotkunar hér er því aðallega frá fiskiskipum og farartækjum á landi. Útstreymi frá iðnaðarferlum vegur hins vegar þyngra á Íslandi eða 32% af heildarútstreyminu miðað við 9% í ESB. Hlutfallslegt útstreymi frá landbúnaði og úrgangi er hins vegar sambærilegt á Íslandi og í ESB. Ísland er einnig frábrugðið að því leyti að hér er hlutfallslega mikið útstreymi frá landi, aðallega frá framræstum mýrum en innan þessa geira er yfirleitt um að ræða bindingu kolefnis í öðrum iðnríkjum, aðallega í skógi.

Mynd 3-6, sýnir útstreymi á íbúa samkvæmt bókhaldsreglum loftslagssamningsins árin 1990 og 2006 í 37 þróuðum ríkjum. Kemur þar í ljós að mest er útstreymi á hvern íbúa frá Lúxemborg eða 26,4 tonn árið 2006, og fylgja Bandaríkin, Kanada og Nýja Sjáland fast á hæla þess. Ísland er í níunda sæti hvað varðar útstreymi á íbúa árið 2006, með 14,1 tonn. Til samanburðar, var meðalútstreymi frá Evrópusambandinu (EU-27) 10,4 tonn á íbúa árið 2006. Útstreymi á íbúa frá öðrum Norðurlandþjóðum var 15,3 tonn í Finnlandi, 13,0 tonn í Danmörku, 11,5 tonn í Noregi og 7,3 tonn í Svíþjóð.

Ef litið er til breytinga á útstreymi á íbúa milli árana 1990 og 2006 kemur í ljós að útstreymi á hvern íbúa á Íslandi, jókst frá 13,4 tonnum árið 1990 í 14,1 tonn á einstakling árið 2006, eða um 5,1%. Árið 2007 var útstreymið komið í 14,2 tonn á einstakling. Útstreymi að meðaltali frá Evrópusambandinu minnkaði á sama tíma annars vegar (ESB 27) úr 11,8 í 10,4 tonn á einstakling eða um 11,9%, en hins vegar (ESB 15) úr 11,7 tonnum í 10,7 tonn á einstakling árið 2006, eða um 8,7%. Ef litið er á breytingar á útstreymi einstakra ríkja innan Evrópusambandsins kemur í ljós að ríki svo sem Finnland, Spánn, Portúgal og Ítalía juku útstreymi á hvern einstakling. Í öðrum ríkjum svo sem Frakklandi, Bretlandi, Svíþjóð, Þýskalandi og Hollandi minnkaði útstreymi á hvern íbúa á milli árana 1990 og 2006. Ef litið er til annarra Norðurlandþjóða kemur í ljós að útstreymi á íbúa jókst í Finnlandi frá 14,3 tonnum árið 1990 í 15,3 tonn árið 2006, eða um 7,1%. Í Noregi dróst útstreymi á íbúa saman um 1,8% á sama tímabili og í Svíþjóð nam samdrátturinn 14%.



Mynd 3-6. A) Samanburður á útstreymi (án LULUCF) á íbúa í löndum sem talin eru upp í viðauka B, árin 1990 og 2006, tonn á íbúa (heimild European Environmental Agency, dataservice, FCCC/SBI/2008/12 og CIA World Factbook). B) Samanburður á útstreymi (án LULUCF) á þjóðarframleiðslu í löndum sem talin eru upp í viðauka B, árin 1990 og 2006 (heimild: FCCC/SBI/2008/12, WRI database).

Mynd 3-6B, sýnir útstreymi á þjóðarframleiðslu samkvæmt bókhaldsreglum loftslagssamningsins árin 1990 og 2006 í 36 þróuðum ríkjum. Kemur þar í ljós að mest er útstreymi á þjóðarframleiðslu í Búlgaríu og Rúmeníu. Ísland er hins vegar í 31 sæti hvað varðar útstreymi á þjóðarframleiðslu, það er hefur sjötta lægsta gildið. Til samanburðar var útstreymi á þjóðarframleiðslu frá öðrum Norðurlandþjóðum hærra í bæði Danmörku og Finnlandi, en lægra í Svíþjóð og Noregi.

Ef litið er til breytinga á útstreymi á þjóðarframleiðslu milli árunna 1990 og 2006 kemur í ljós að útstreymi á þjóðarframleiðslu dróst saman á Íslandi um 23%. Flest önnur ríki einnig drógu saman útstreymi á þjóðarframleiðslu allt frá 70% (Eistland) niður í 1% (Kýpur). Aðeins í Portúgal (5%) og Tyrklandi (2%) jókst útstreymi á þjóðarframleiðslu.



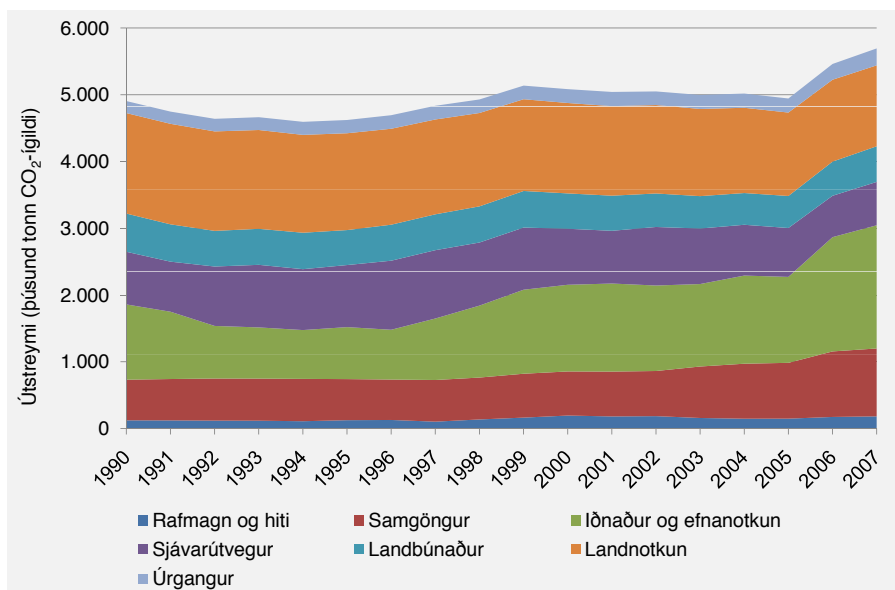
### 3.1.2 Útstreymi frá einstökum geirum frá 1990 til 2007

Eins og fram kemur hér að ofan skiptir loftslagssamningur S.P. útstreymi gróðurhúsa-lofttegunda í 6 aðalflokka. Við þá greiningu sem gerð er í þessari skýrslu er útstreymi hins vegar skipt upp á annan hátt í samræmi við skipunarbréf nefndarinnar og loftslagsstefnu ríkisstjórnarinnar síðan 2007. Þessi skipting hentar betur við greiningu á útstreymi hér á landi og þegar fundnar eru mögulegar leiðir til þess að draga úr útstreyminu. Flokkarnir eru (sjá einnig mynd 3-7):

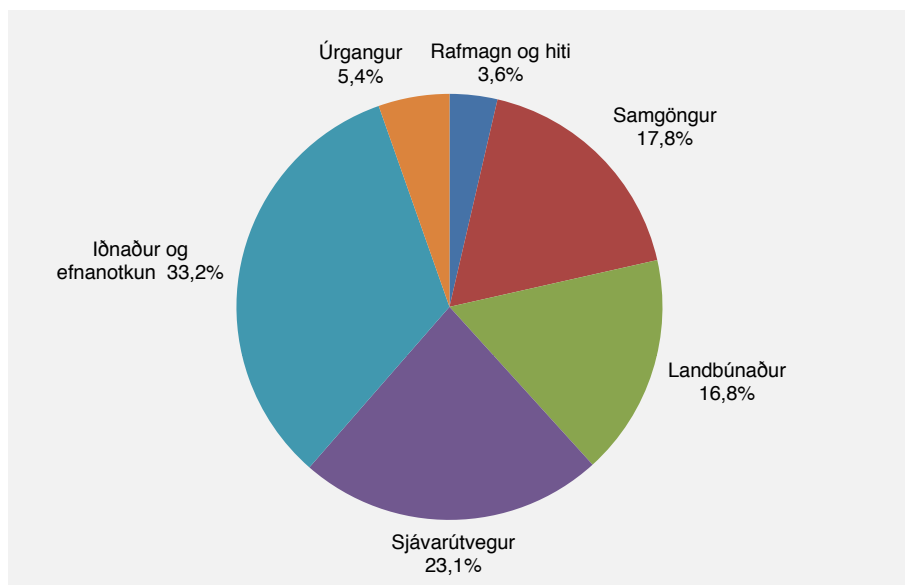
- Orkuframleiðsla (rafmagn og hiti)
- Samgöngur
- Iðnaður og efnanotkun
- Sjávarútvegur
- Landbúnaður
- Landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt
- Meðferð úrgangs

Á myndum 3-8 og 3-9 sést hvernig heildarútstreymi (án landnotkunar) skiptist eftir flokkum árin 1990 og 2007. Árið 1990 var útstreymi mest vegna iðnaðar og efnanotkunar (33,2%), sjávarútvegs (23,1%) og samgangna (17,8%). Árið 2007 var hlutur iðnaðar og efnanotkunar kominn í 41,2% (þar af: iðnaðarferlar 32,6%, eldsneytisbrennsla í iðnaði 6,8% og efnanotkun 1,8%), hlutur samgangna í 22,7% en hlutur sjávarútvegs hafði minnkað í 14,5%. Útstreymi frá sjávarútvegi minnkaði bæði hlutfallslega og í heild, en útstreymið dróst saman um 17% á tímabilinu. Útstreymi frá landbúnaði dróst einnig saman á tímabilinu (um 7%) en útstreymi frá öllum öðrum geirum hefur aukist. Hefur útstreymi vegna samgangna aukist um 67% og útstreymi frá iðnaðarferlum og efnanotkun aukist um 64% síðan 1990.

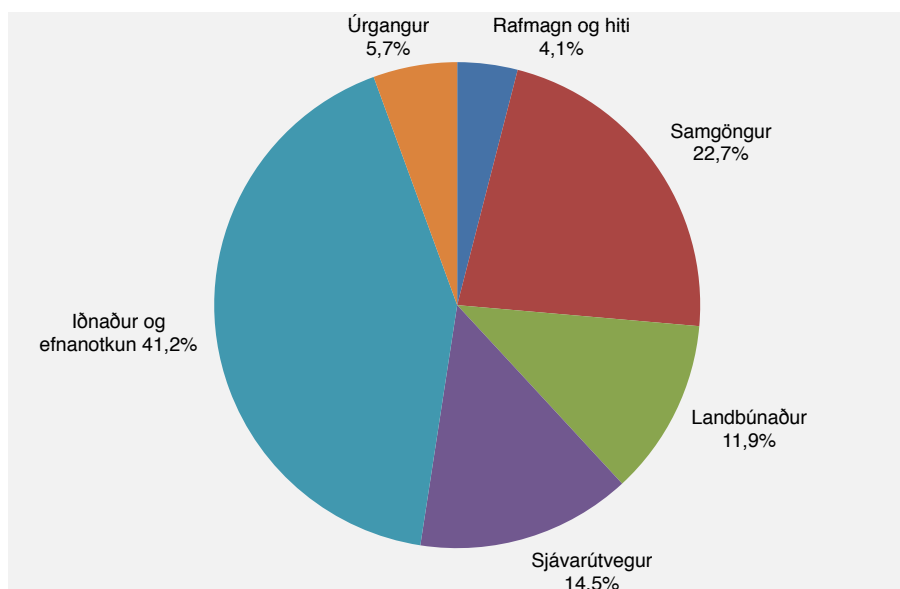
Hér á eftir verður fjallað stuttlega um hvern flokk fyrir sig.



Mynd 3-7. Skipting útstreymis eftir flokkum frá 1990 til 2007.



Mynd 3-8. Útstreymi eftir flokkum árið 1990 sem hluti af heild.

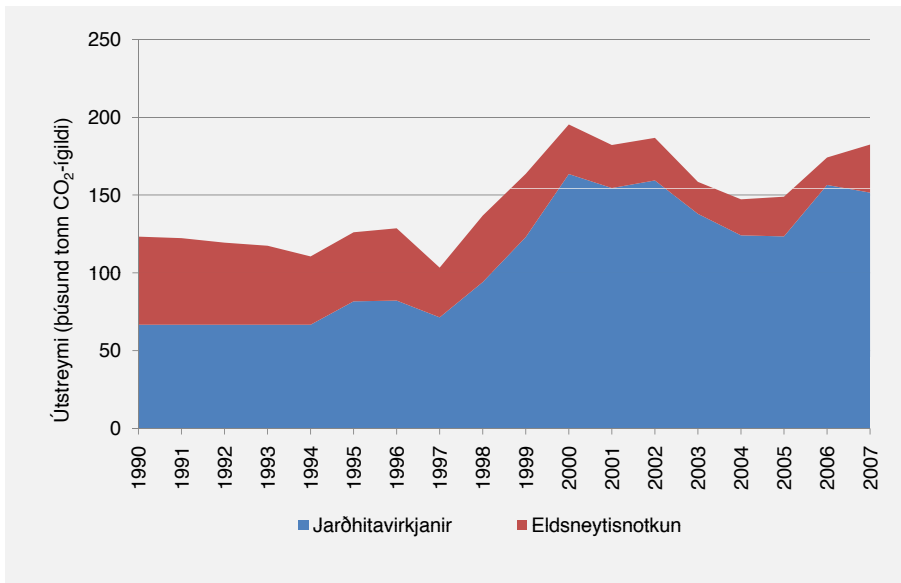


Mynd 3-9. Útstreymi eftir flokkum árið 2007 sem hluti af heild.

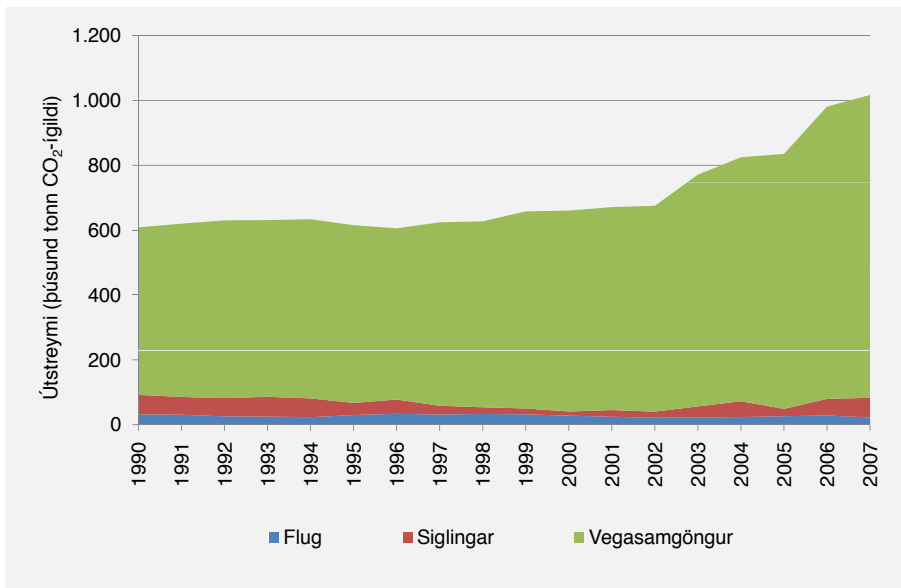
### 3.1.2.1 Orkuframleiðsla

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna orkuframleiðslu árið 2007 skiptist í útstreymi vegna jarðhitavirkjana (83%) og útstreymi vegna notkunar eldsneytis til rafmagns- og hitaframleiðslu (17%).

Heildarútstreymi frá orkuframleiðslu jókst úr 123 þúsund tonnnum árið 1990 í 182 þúsund tonn árið 2007, eða um 48%. Aukning frá jarðhitavirkjunum vegur þar mest, en útstreymi frá jarðhitavirkjunum jókst úr 67 þúsund tonnnum í 152 þúsund tonn á tímabilinu. Frá 1990 hefur hins vegar dregið úr notkun jarðefnaeldsneytis til rafmagns- og hitaframleiðslu um 45%. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í þessum flokki er svo til eingöngu koldíoxíð.



Mynd 3-10. Útstreymi frá orkuframleiðslu frá 1990 til 2007.

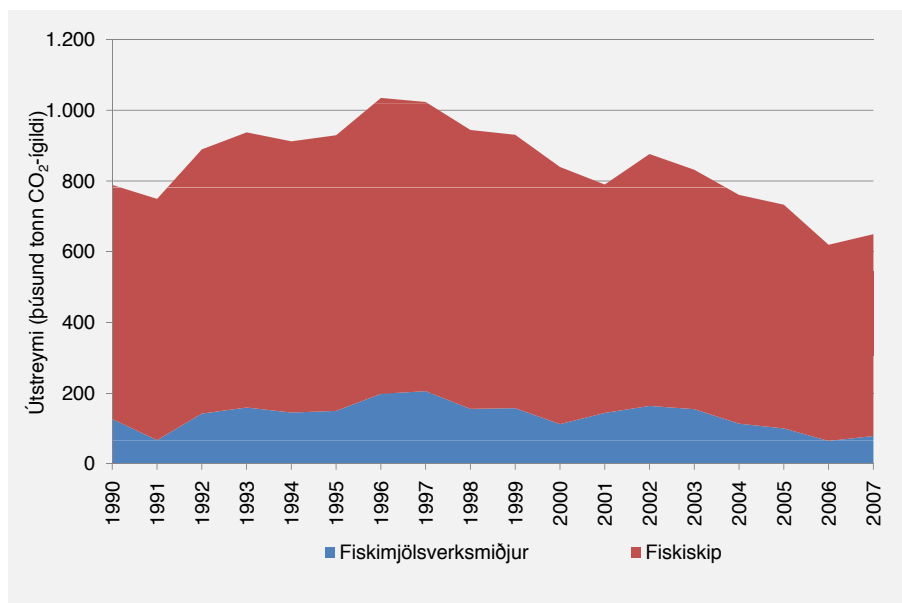


Mynd 3-11. Útstreymi frá samgöngum frá 1990 til 2007.

### 3.1.2.2 Samgöngur

Útstreymi frá samgöngum árið 2007 skiptist í útstreymi vegna innanlandsflugs (2%), strandsiglinga (6%) og vegasamgangna (92%). Í heildina jókst útstreymi frá samgöngum úr 608 þúsund tonnum árið 1990 í 1.017 þúsund tonn árið 2007, eða um 67%. Útstreymi frá innanlandsflugi minnkaði litillega á tímabilinu, en útstreymi vegna strandsiglinga jókst um 1%. Útstreymi frá vegasamgöngum jókst hins vegar um 81% frá 1990 til 2007 eða úr 517 þúsund tonnum í 934 þúsund tonn. Mest hefur aukningin verið frá 2002. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í þessum flokki er 96% CO<sub>2</sub> og 4% er N<sub>2</sub>O. N<sub>2</sub>O myndast sem hliðarafurð við afoxun köfnunarefnisoxíða (NO<sub>x</sub>) í hvarfakútum bíla.

Mynd 3-12. Útstreymi í sjávarútvegi frá 1990 til 2007.



### 3.1.2.3 Sjávarútvegur

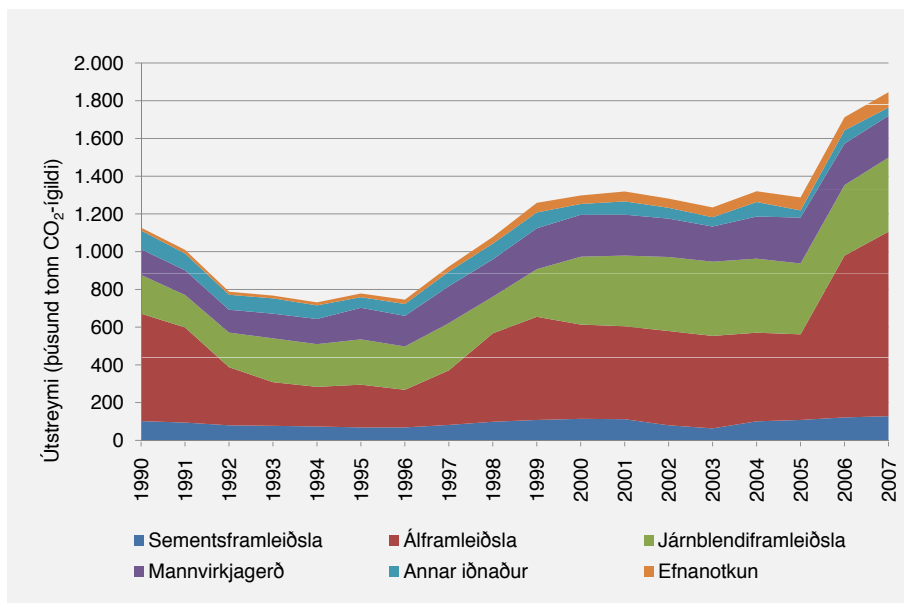
Útstreymi frá sjávarútvegi skiptist árið 2007 í útstreymi frá fiskiskipum (87%) og fiskimjólsværksmiðjum (12%). Í heildina jókst útstreymi frá sjávarútvegi frá 1990 til 1996 en hefur farið minnkandi síðan. Útstreymið var mest árin 1996 og 1997 þegar mikil sókn var á fjarlæg mið en útstreymi frá sjávarútvegi var árið 2006 það lægsta sem verið hefur síðan 1990, bæði frá fiskiskipum og fiskimjólsværksmiðjum. Útstreymið jókst þó lítillega aftur árið 2007. Frá 1990 til 2007 minnkaði útstreymi frá fiskiskipum um 13,8% og frá fiskimjólsværksmiðjum um 37,8%. Heildarminnkun frá sjávarútvegi á þessu tímabili var tæplega 18%. Hátt olíuverð, samþjöppun í greininni og minnkandi heildarafla er helsta skýringin á þessari þróun. Útstreymi í þessum flokki er 99% CO<sub>2</sub> og 1% N<sub>2</sub>O.

### 3.1.2.4 Iðnaður og efnanotkun

Flokkurinn iðnaður og efnanotkun telur útstreymi vegna iðnaðarferla, eldsneytisnotkunar í iðnaði og efnanotkunar. Í heildina jókst útstreymi í flokknum úr 1.127 þúsund tonnum árið 1990 í 1.845 þúsund tonn árið 2007, eða um 64%.

Útstreymi frá iðnaði dróst saman frá 1990 til 1996 en hefur aukist síðan (sjá mynd 3-13). Minnkunina má rekja til minna útstreymis PFC frá áliðnaði en PFC myndast við spennuris í álverum. Frá 1997 hefur orðið mikil framleiðsluaukning í iðnaði hérlandis. Á árunum 1997 til 1999 voru álverið í Straumsvík og járnblendiverksmiðjan á Grundartanga stækkuð og ný álverksmiðja Norðuráls var reist á Grundartanga. Á árunum 2006 og 2007 var svo álverið á Grundartanga stækkað og árið 2007 tók til starfa álver Fjarðaáls á Reyðarfirði. Í kjölfarið hefur útstreymi frá iðnaði aukist. Mest er aukningin frá 2005 til 2006 og má rekja hana til aukins útstreymis PFC vegna stækkunar álversins á Grundartanga.

Útstreymi vegna álframleiðslu jókst úr 569 þúsund tonnum árið 1990 í 978 þúsund tonn árið 2007, eða um 72%. Á sama tíma jókst hins vegar framleiðsla um 418%. Útstreymi vegna framleiðslu járnblendis jókst úr 205 þúsund tonnum árið 1990 í 393 þúsund tonn árið 2007, eða um 91%. Á sama tíma jókst framleiðsla um 82%. Út-



Mynd 3-13. Útstreymi frá iðnaði og efnanotkun frá 1990 til 2007.

streymi vegna sementsframleiðslu jókst úr 103 þúsund tonnum árið 1990 í 128 þúsund tonn árið 2007, eða um 26% og á sama tíma jókst framleiðsla um tæplega 30%. Það er því ljóst að útstreymi á framleitt tonn hefur minnkað umtalsvert í áliðnaði, og sementsframleiðslu, en aukist á hvert framleitt tonn járnblendis síðan 1990. Útstreymi frá mannvirkjagerð<sup>1</sup> jókst úr 136 þúsund tonnum í 221 þúsund tonn árið 2007, eða um 62%, en útstreymi frá öðrum iðnaði<sup>2</sup> minnkaði um 56%.

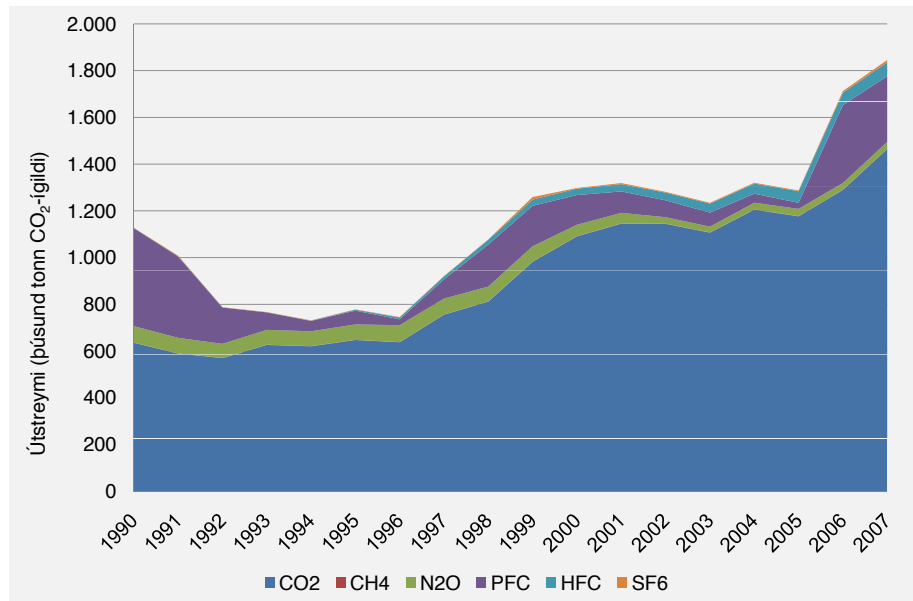
Mynd 3-14 sýnir útstreymi eftir greinum innan iðnaðar og efnanotkunar árið 2007. Útstreymi vegna álframleiðslu telur um 54% af heildarútstreymi geirans og útstreymi vegna framleiðslu járnblendis um 21%.

Mynd 3-15 sýnir útstreymi frá iðnaði og efnanotkun eftir lofttegundum frá 1990 til 2007. Á myndinni má sjá hvernig útstreymi PFC minnkaði frá 1990 til 1996, jókst síðan aftur til ársins 1999. Fram til 2005 dró áfram mikið úr þessu útstreymi, en jókst árið 2006 þegar álver Norðuráls var stækkað. Útstreymi PFC var einnig mikið árið 2007 vegna mikils útstreymis frá Norðuráli og vegna gangsetningar Fjarðaáls. Útstreymi koldíoxíðs jókst talsvert vegna framleiðsluaukningar í málmframleiðslu eftir 1997. Útstreymi metans frá iðnaði er hverfandi. Útstreymi hláturgass minnkaði stórlega þegar áburðarverksmiðjunni var lokað árið 2001 og varð hverfandi eftir að framleiðsla í kísiliðjunni við Mývatn lagðist af árið 2004. Innflutningur á HFC-efnum hófst árið 1992 og hefur útstreymi farið vaxandi síðan. Árið 2007 var útstreymi HFC-efna 59,4 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi. HFC-efni eru aðallega notuð sem kælimiðlar, en einnig eru þau notuð sem drifefni í lyf og voru notuð í frauðplastframleiðslu. Brenni-steinshexaflúoríð er notað sem neistavari í rafbúnaði. Útstreymið hefur verið frá 1 þúsund til 11 þúsund tonn á ári síðan 1990. Árið 2007 var útstreymið 10 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi.

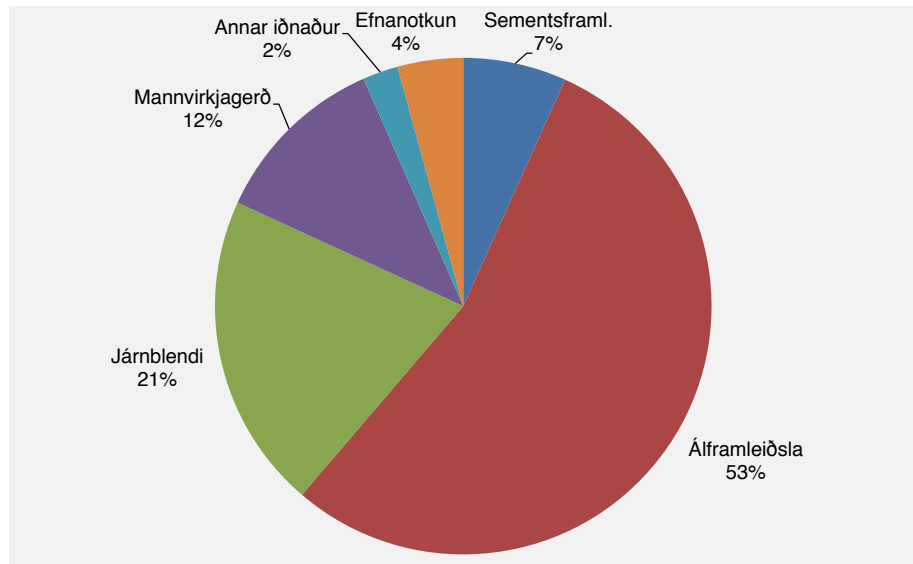
Útstreymi frá iðnaði og efnanotkun er að mestu leyti CO<sub>2</sub>, eða 79%. Útstreymi PFC samsvarar 15%, HFC 3% og N<sub>2</sub>O 2% og SF<sub>6</sub> 1%.

1 Útstreymi frá mannvirkjagerð telur útstreymi frá tækjum þar sem olía hefur verið keypt utan dælu. Fellur því útstreymi frá landbúnaðartækjum einnig innan þessa flokks.  
2 Með öðrum iðnaði er átt við áburðarverksmiðjuna, kísiliðjuna, steinullarverksmiðjuna, malbiksframleiðslu og annan ótilgreindan smáíðnað.

Mynd 3-15. Útstreymi frá iðnaði og efnanotkun eftir lofttegundum frá 1990 til 2007.



Mynd 3-14. Útstreymi eftir greinum innan iðnaðar og efnanotkunar árið 2007.

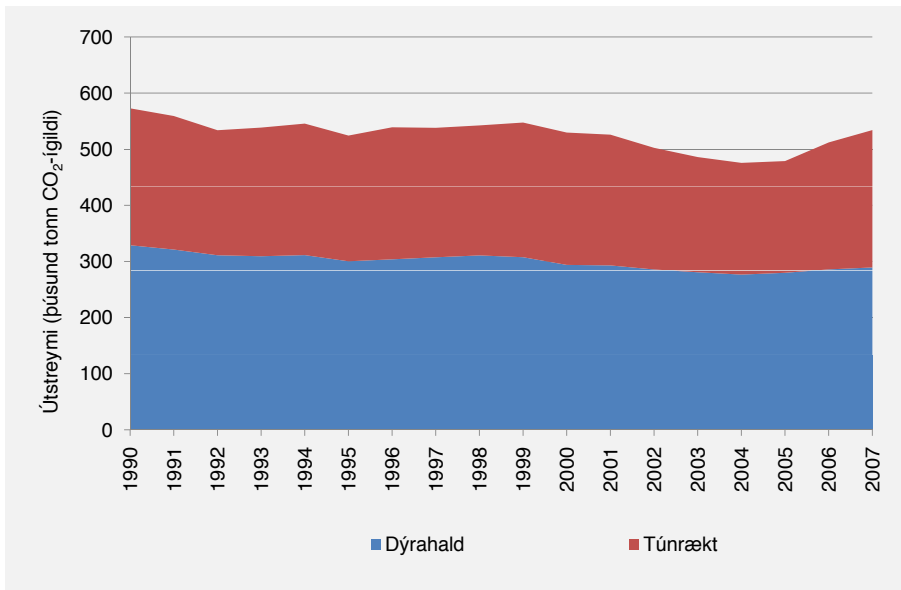


### 3.1.2.5 Landbúnaður

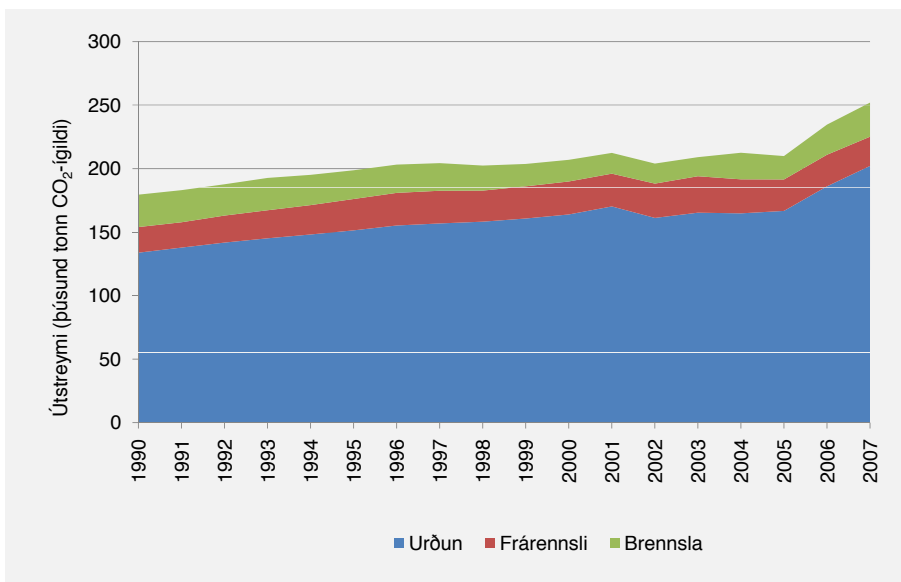
Útstreymi frá landbúnaði minnkaði um 6,7% á milli 1990 og 2007. Rekja má þessa minnkun til fækkunar búfjár. Nokkur aukning varð árin 2006 og 2007 miðað við árin á undan og má rekja þá aukningu til aukinnar notkunar tilbúins áburðar. Útstreymi í þessum flokki er 50% CH<sub>4</sub> og 50% er N<sub>2</sub>O.

### 3.1.2.6 Meðferð úrgangs

Útstreymi vegna meðferðar úrgangs skiptist í útstreymi vegna frárennslis og útstreymi vegna urðunar, brennslu og jarðgerðar úrgangs. Útstreymi jókst um 41% frá 1990 til



Mynd 3-16. Útstreymi frá landbúnaði frá 1990 til 2007.



Mynd 3-17. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun úrgangs frá 1990 til 2007.

2007. Sem hlutfall af heild innan geirans árið 2007 var útstreymi vegna urðunar um 80%, frárennslis um 9%, brennslu um 11% og jarðgerðar 1%.

Útstreymi vegna meðhöndlunar fráveituvatns jókst um 14% á milli 1990 og 2007, og þá aðallega vegna þess að íbúum landsins fjölgaði. Útstreymi frá urðunarstöðum jókst um 51% vegna aukins magns úrgangs sem þangað fer. Byrjað var að fanga metan á urðunarstaðnum í Álfsnesi árið 1997. Bilun í gassöfnunarbúnaði árin 2006 og 2007 hefur ásamt auknu magni úrgangs leitt til talsverðrar aukningar í útstreymi þessi ár. Útstreymi frá brennslu úrgangs jókst um 5%. Útstreymi í þessum flokki er 9% CO<sub>2</sub>, 87% CH<sub>4</sub> og 4% N<sub>2</sub>O.



### 3.1.2.7 Samantekt

|                       | 1990  | 2007  | Breyting tonn | Breyting % |
|-----------------------|-------|-------|---------------|------------|
| Rafmagn og hiti       | 123   | 182   | 59            | 48         |
| Samgöngur             | 609   | 1.017 | 408           | 67         |
| Iðnaður og efnanotkun | 1.127 | 1.845 | 718           | 64         |
| Sjávarútvegur         | 789   | 650   | -139          | -18        |
| Landbúnaður           | 573   | 534   | -39           | -7         |
| Úrgangur              | 180   | 254   | 74            | 41         |
| Samtals               | 3.401 | 4.482 | 1.081         | 32         |

Tafla 3-1. Heildarústreymi og ústreymi frá einstökum geirum árin 1990 og 2007 (þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi).

## 3.2 Útstreymisspár

Þegar framtíðarmöguleikar til að draga úr ústreymi gróðurhúsalofttegunda eru ígrundaðir þarf fyrst að liggja fyrir spá um ústreymi gróðurhúsalofttegunda, miðað við afskiptalausá þróun. Með ústreymi miðað við afskiptalausá þróun er átt við að hvorki stjórnvöld, einstaklingar né fyrirtæki grípi til sérstakra aðgerða til að draga úr ústreymi umfram það sem leiðir af venjubundinni þróun. Jafnframt er gert ráð fyrir því að tækniþróun sé eðlileg, án stöðununar eða byltinga. Slík spá tekur mið af lögum og reglum sem eru í gildi á þeim tíma sem spáin er unnin. Spá um ústreymi gróðurhúsalofttegunda í einstökum geirum til ársins 2050 var fengin frá Umhverfisstofnun (Umhverfisstofnun 2008). Sú spá byggir að miklu leyti á nýjustu eldsneytisspá Orkuspárnefndar frá árinu 2008 (Orkuspárnefnd 2008).

Ústreymi gróðurhúsalofttegunda er háð mörgum mismunandi þáttum, svo sem mannfjölda, afkomu fólks, hagvexti, eldsneytisverði, eldsneytisnotkun og framleiðslu og samsetningu atvinnulífsins. Þessir þættir eru ekki óháðir heldur innbyrðis tengdir. Framleiðsla og samsetning atvinnulífsins hefur áhrif á hagvöxt. Hagvöxtur hefur áhrif á fólksfjölda og þar með t.d. á framleiðslu og innflutning matvæla sem og vöru- og fólksflutninga sem hafa svo áhrif á eldsneytisnotkun. Magn úrgangs er einnig háð hagvexti og fólksfjölda.

Vegna þess hve margir þættir hafa áhrif er óvissan mikil þegar gera skal spár um ústreymi gróðurhúsalofttegunda, og eykst óvissan eftir því sem spátímabilið lengist.

Eldsneytisnotkun hefur mikil áhrif á ústreymi gróðurhúsalofttegunda. Margir ofangreindra þátta hafa áhrif á eldsneytisnotkun og byggir útstreymisspá að miklu leyti á eldsneytisspá Orkuspárnefndar frá 2008 til 2050 og á þeim forsendum sem þar koma fram m.a. varðandi hagvöxt og fólksfjölda (Orkuspárnefnd 2008). Eldsneytisspár hafa verið gefnar út á þriggja til sjö ára fresti og var síðasta spá gefin út í nóvember 2008. Í þeirri skýrslu eru tilgreind 3 spátílvik, almenn spá, háspá og lágspá.

Iðnaðarframleiðsla hefur mjög mikil áhrif á ústreymi gróðurhúsalofttegunda hér á landi. Vegna smáðar hagkerfisins hafa einstakar framkvæmdir í stóriðju mikil áhrif. Það skiptir því miklu máli hvaða forsendur eru hafðar til hliðsjónar varðandi framleiðslu, sérstaklega á áli og járnbendi. Af þessum sökum eru hér skoðuð tvö mismunandi spátílvik varðandi framleiðslu á málmum. Annars vegar er gert ráð fyrir að ársframleiðsla verði jafnmikil út spátímabilið og framleiðslugeta starfandi fyrirtækja var

## Box 5. Tilvik 1

Forsendur varðandi hagvöxt, fólksfjölda og notkun eldsneytis eru fengnar úr aðalspá eldsneytisspár Orkuspárnefndar (Orkuspárnefnd 2008):

- Hagvöxtur 2,65% árið 2020; 2,65% árið 2050
- Fólksfjöldi 357.269 íbúar árið 2020; 425.081 íbúar árið 2050

### Vegasamgöngur og notkun tækja í byggingariðnaði:

- Bifreiðatíðni eftir aldri stendur í stað hjá körlum en hækkar hjá konum
- Akstur fólksbíla fyrir verðáhrif: 12.400 km/bíl árið 2020; 12.400 km/bíl árið 2050
- Fjöldi sendibíla og hópferðabíla fylgir landsframleiðslu. Fjöldi vörubíla fylgir landsframleiðslu, þó einu prósentustigi hægar.
- Akstur millistórna flutningabíla: 12.400 km/bíl árið 2020; 12.400 km/bíl árið 2050
- Akstur stórra flutningabíla: 26.000 km/bíl árið 2020; 27.000 km/bíl árið 2050
- Notkun tækja, margföldunarstuðull landsframleiðslu: 0,5 árið 2020; 0,5 árið 2050
- Fjöldi ára uns aðrir orkugjafar hafa náð 50% markaðarins: 60 fyrir tæki, 50 fyrir stóra flutningabíla, 46 fyrir fólksbíla og minni flutningabíla.

### Fiskveiðar:

- Fiskaflí vaxi skv. S-ferli upp í jafnstöðuafla, 1.935.000 tonn.
- Minnkuð orkunotkun fiskiskipa árið 2050: 10%
- Fjöldi ára uns aðrir orkugjafar hafa náð 50% markaðarins: 50

### Framleiðsla í ál-, járnblendi- og sementsiðnaði:

- Álframleiðsla: 790.000 tonn á ári frá árinu 2008 til ársins 2050
- Járnblendiframleiðsla: 120.000 tonn frá árinu 2008 til ársins 2050
- Sementsframleiðsla: 103.000 tonn árið 2020, 85.000 tonn árið 2050

í ársbyrjun 2008, þ.e. um 790.000 tonn af áli og 120.000 tonn af járnblendi (tilvik 1). Box 5 lýsir helstu forsendum tilviks 1.

Hins vegar er gert ráð fyrir að ársframleiðsla í iðnaði verði jafnmikil og heimilt er samkvæmt útgefnum starfsleyfum án þess þó að tekið sé tillit til þess hvar viðkomandi framleiðsluaukning muni eiga sér stað (tilvik 2). Þetta þýðir að framleiðsla áls verði 1.356.000 tonn á ári frá 2015 til 2050 og að framleiðsla járnblendis verði 190.000 tonn á ári. Þar sem aukin framleiðsla í iðnaði hefur áhrif á eldsneytisnotkun í þjóðfélaginu, með auknum hagvexti og auknum umsvifum m.a. í vöru- og fólksflutningum er í þessu tilviki stuðst við háspá eldsneytisspár Orkuspárnefndar frá 2008 til 2050. Í tilviki 1 er hins vegar notast við aðalspá eldsneytisspárinnar. Box 6 lýsir helstu forsendum tilviks 2.

### 3.2.1 Útstreymisspá til 2050

Mynd 3-18 sýnir heildarspá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda til 2050 miðað við

## Box 6. Tilvik 2

Forsendur varðandi hagvöxt, fólksfjölda og notkun eldsneytis í samgöngum og byggingariðnaði og eru fengnar úr háspá eldsneytisspár Orkusparnefndar (Orkusparnefnd 2008). Eldsneytisnotkun í iðnaði er reiknuð miðað við framleiðsluaukningu fyrirtækja út frá eldsneytisnotkun og framleiðslu árið 2006 :

- Hagvöxtur 3,65% árið 2020; 3,65% árið 2050
- Fólksfjöldi 364.546 íbúar árið 2020; 463.388 íbúar árið 2050

### Vegasamgöngur og notkun tækja í byggingariðnaði:

- Bifreiðatiðni eftir aldri stendur í stað hjá körlum en hækkar hraðar hjá konum en í aðalspánni
- Akstur fólksbíla fyrir verðáhrif: 12.400 km/bíl árið 2020; 12.400 km/bíl árið 2050
- Fjöldi sendibíla og hópferðabíla fylgir landsframleiðslu. Fjöldi vörubíla fylgir landsframleiðslu, þó einu prósentustigi hægar.
- Akstur millistórra flutningabíla: 12.800 km/bíl árið 2020; 12.800 km/bíl árið 2050
- Akstur stórra flutningabíla: 27.000 km/bíl árið 2020; 27.800 km/bíl árið 2050
- Notkun tækja, margföldunarstuðull landsframleiðslu: 0,5 árið 2020; 0,5 árið 2050
- Fjöldi ára uns aðrir orkugjafar hafa náð 50% markaðarins: 65 fyrir tæki, 55 fyrir stóra flutningabíla, 51 fyrir fólksbíla og minni flutningabíla

### Framleiðsla í ál-, járblendi- og sementsiðnaði:

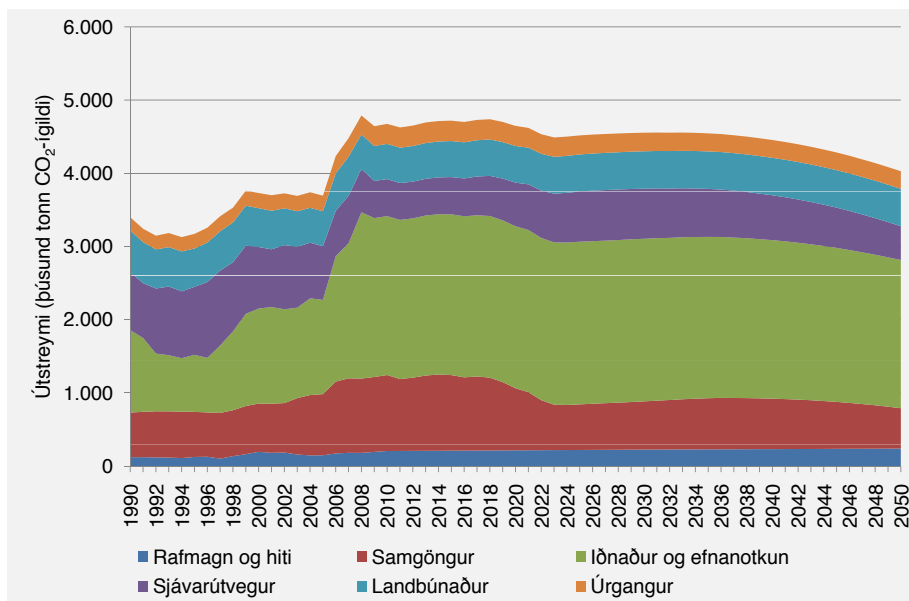
- Álframleiðsla: 1.356.000 tonn á ári frá árinu 2015 til ársins 2050
- Járnblendiframleiðsla: 190.000 tonn frá árinu 2012 til ársins 2050
- Sementsframleiðsla: 125.000 tonn frá árinu 2008 til ársins 2050

Þær forsendur sem liggja til grundvallar fyrir tilvik 1, en tilvik 1 er notað sem grunnspá í þessari skýrslu. Tilvik 1 spáir að útstreymi nái hámarki árið 2008, minnki til 2023, aukist aftur lítillega til 2038 og fari síðan minnkandi til 2050. Gert er ráð fyrir að heildarútstreymi árið 2020, miðað við tilvik 1, verði 4.644 þúsund tonn eða 3,6% hærra en árið 2007.

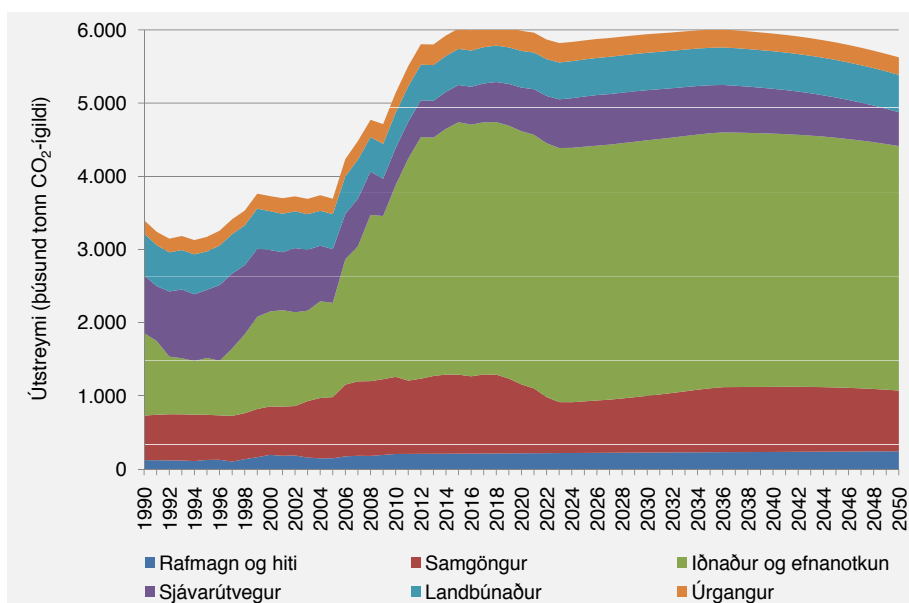
Mynd 3-19 sýnir heildarspá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda til 2050 miðað við þær forsendur sem liggja til grundvallar fyrir tilvik 2. Í spátílviki 2 er gert ráð fyrir að útstreymi aukist og nái hámarki árið 2014, um 6 milljón tonn, minnki lítillega til 2023, aukist svo aftur til 2038 og fari svo lítillega minnkandi til 2050. Gert er ráð fyrir að heildarútstreymi árið 2020 miðað við tilvik 2 verði rétt um 6 milljón tonn, eða 33% hærra en árið 2007.

Útstreymi árið 2020 er því um 29% hærra í tilvik 2, í samanburði við tilvik 1.

Ljóst er að spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda er háð töluverðri óvissu og



Mynd 3-18. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda til 2050, tilvik 1.



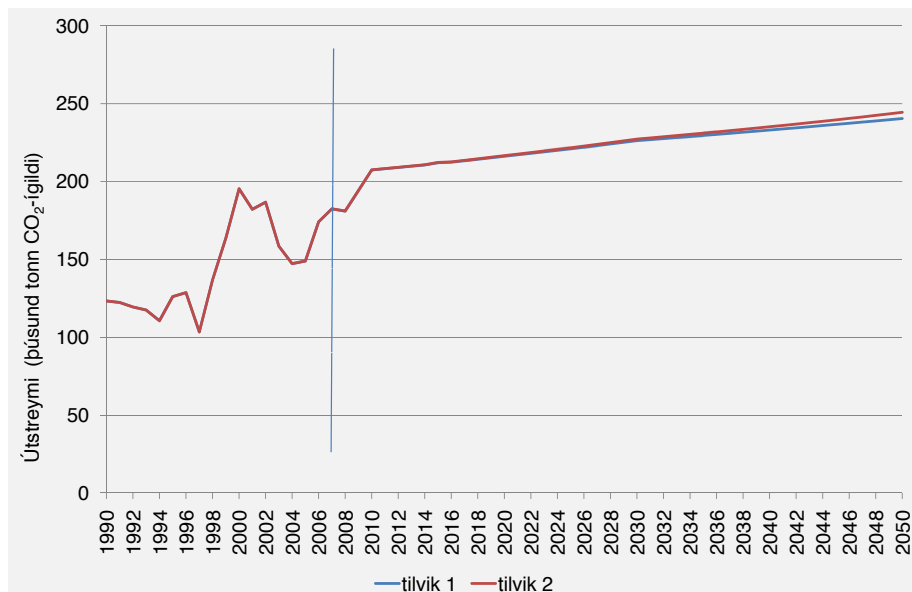
Mynd 3-19. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda til 2050, tilvik 2.

margar forsendur geta breyst. Hér á eftir verður farið yfir helstu forsendur og niðurstöður spárinnar í hverjum geira fyrir sig.

### 3.2.1.1 Orkuframleiðsla

Útstreymi vegna rafmagns og hita er tilkomið annars vegar vegna eldsneytisnotkunar og hins vegar frá jarðhitavirkjunum. Spá um eldsneytisnotkun byggir á Eldsneytisspá Orkuspárnefndar (Orkuspárnefnd 2008). Þar er gert ráð fyrir að notkun eldsneytis til hitaframleiðslu fari lítillega minnkandi á tímabilinu, m.a. vegna þess að þeim sundlaugum sem nota eldsneyti muni fækka. Varðandi frekari forsendur eldsneytisbrennslu í þessum geira er vísað í skýrslu Orkuspárnefnd. Varðandi jarðhitavirkj-

Mynd 3-20. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna framleiðslu rafmagns og hita.



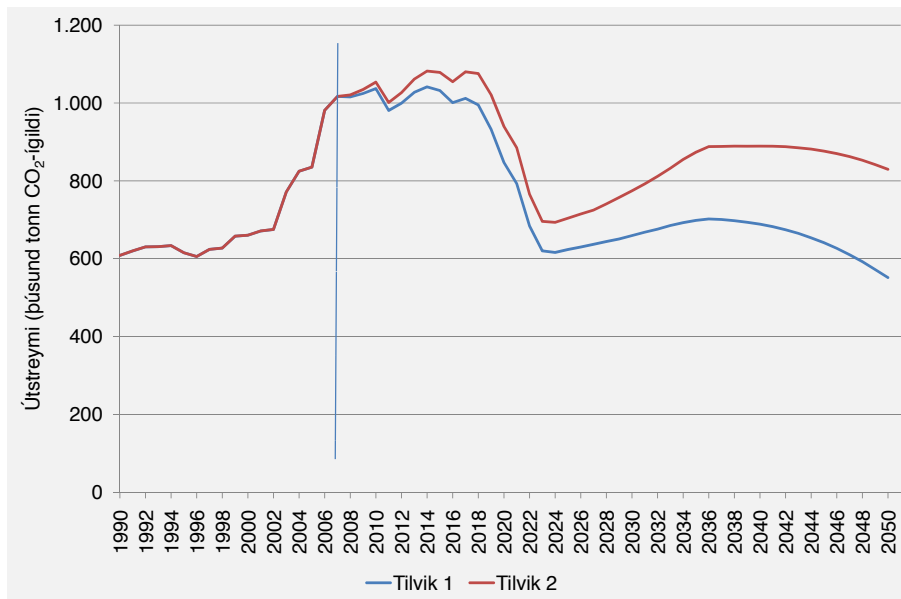
anir er gert ráð fyrir að heildarraforkuframleiðsla aukist á tímabilinu eins og gert er ráð fyrir í Raforkuspá Orkuspárnefndar frá 2008 og að hlutfall þess rafmagns sem framleitt er með jarðhita verði 20% af heildarframleiðslunni. Gert er ráð fyrir að útstreymi jarðhitavirkjana á hverja kWh sé jafnmikið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

### 3.2.1.2 Samgöngur

Útstreymi frá samgöngum er tilkomið vegna innanlandsflugs, strandsiglinga og vega-samgangna. Forsendur fyrir eldsneytisnotkun í samgöngum eru fengnar úr eldsneytisspá Orkuspárnefnd (Orkuspárnefnd 2008).

Gert er ráð fyrir að vöruflutningar með flugi taki mið af hagvexti, en að umfang farþegaflugs muni fylgja þróun fólksfjölda. Gert er ráð fyrir bættari oliunýtingu í flutningaskipum og betra skipulagi flutninga. Miðað er við að orkunotkun á flutt tonn minnki um 5% til 2020 og samtals um 10% til 2050.

Á síðustu tíu árum hefur bílum fjölgað mikið eða um 4,6% að meðaltali á ári. Bensínbílum hefur fjölgað á þessu tímabili um 3,3% að meðaltali á ári og dísilbílum um 11,9% á ári. Bensínnotkun hefur aftur á móti ekki aukist nema um 1,5% að meðaltali síðustu tíu ár. Gera má ráð fyrir að samhliða svona mikilli fjölgun bíla sé eðlilegt að akstur á bíl minnki. Dísilbílum hefur fjölgað mun hraðar en bensínbílum og er hlutur þeirra sérstaklega áberandi í hópi stórra og þungra fólksbifreiða (jeppa), sem þýðir að bensínbílarnir eru smærri og orkugrennri og skilar það sér í minni bensínnotkun á bíl. Þar sem hátt eldsneytisverð stuðlar að tilkomu nýrra orkugjafa í bílum, er gert ráð fyrir að hlutur nýrra orkugjafa aukist óháð kostnaði, enda má gera ráð fyrir að þá verði viðkomandi orkugjafi aðgengilegur fyrir bifreiðaeigendur og bílarnir komnir í fjöldaframleiðslu og þar með orðnir samkeppnisfærir við oliuknúnar bifreiðar. Gert er ráð fyrir að notkun nýrra orkugjafa muni fylgja svo kölluðum S-ferli og nýju orkugjafarnir verði komnir með 1% markaðarins hjá fólksbílum eftir 16 ár og 50% markaðarins eftir 46 ár. Fyrir millistóra flutningabíla verði 1% náð eftir 12 ár og 50% eftir 46 ár og fyrir stóra flutningabíla verði 1% náð eftir 20 ár og 50% eftir 50 ár. Gert



Mynd 3-21. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum.

er ráð fyrir að orkuþörf bílanna sé sú sama hvort sem notuð er olía eða aðrir orkugjafar (Orkusparnefnd 2008).

Ýmsir þættir hafa áhrif á fjölda einkabíla svo sem almennur efnahagur, verð á bílum, verð á eldsneyti, frítími fólks og aldurssamsetning og samgöngukerfið. Aldursdreifing landsmanna mun breytast nokkuð á næstu áratugum og mun það kalla á aukna bifreiðaeign. Fjölgun bifreiða á spátímabilinu á sér því stað vegna fjölgunar fólks í eldri aldurshópum og vegna aukinnar bílaeignar einstakra aldurshópa. Aukinn fjöldi ferðamanna kallar einnig á aukna fólksflutninga. Líklegt er að orkunýting bifreiða haldi áfram að batna. Miðað er við að slíkt tengist verði á eldsneyti og að þar með muni hátt eldsneytisverð leiða af sér verulega minnkun olíunotkunar á ekinn km. Í spánni eru áhrif eldsneytisverðs á eldsneytisnotkun metin. Í útreikningum í spánni er miðað við óbreytta notkun á ekinn km áður en verðáhrif eru reiknuð. Olíunotkun í vegasamgöngum er metin út frá fjölda og akstri bíla.

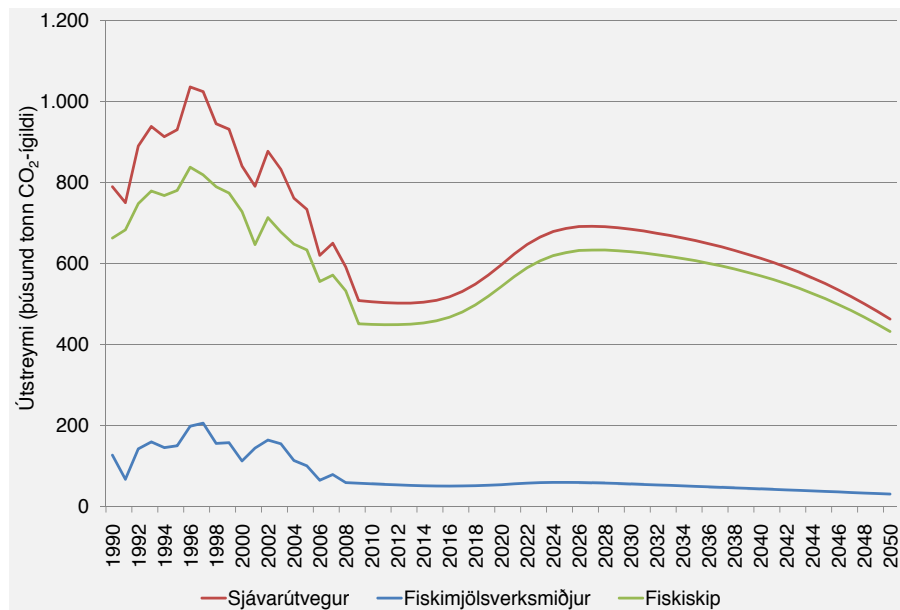
Miðað er við að áhrif eldsneytisverðs á akstur bifreiða séu -0,20 (1% hækkun eldsneytisverðs leiðir af sér 0,2% minni akstur) og að um sé að ræða skammtímaverðteygni miðað við meðalverð síðustu tveggja ára. Áhrif verðs á eldsneytisnýtni bifreiða eru aftur á móti langtímaáhrif og er þá horft á meðalverð þriggja ára fyrir fimmtán árum síðan og að hækkun eldsneytisverðs um 1% minnki eldsneytisnotkun um 0,4%. Miðað er við að 20% af verðáhrifunum skili sér í aukinni notkun annarra orkugjafa.

Eins og áður sagði er í tilviki 2 bæði gert ráð fyrir meiri hagvexti og landsframleiðslu og þar með meiri vöru- og fólksflutningum. Miðað við ofangreindar forsendur er því útstreymi frá samgöngum talsvert hærra á tímabilinu en í tilviki 1, eða rétt yfir 50% árið 2020.

### 3.2.1.3 Sjávarútvegur

Útstreymi frá sjávarútvegi er tilkomið vegna eldsneytisnotkunar fiskiskipa og fiskimjólsværsmiðja. Spáin tekur mið af eldsneytisspá Orkusparnefndar frá 2008 til 2050, sem byggir á áætlunum fiskifræðinga um afla af Íslandsmiðum næstu árin, samsetningu fiskiskipaflotans og breytinga í orkunotkun vegna orkusparandi aðgerða

Mynd 3-22. Spá uam  
útreymi  
gróðurhúsalofttegunda frá  
sjávarútvegi.



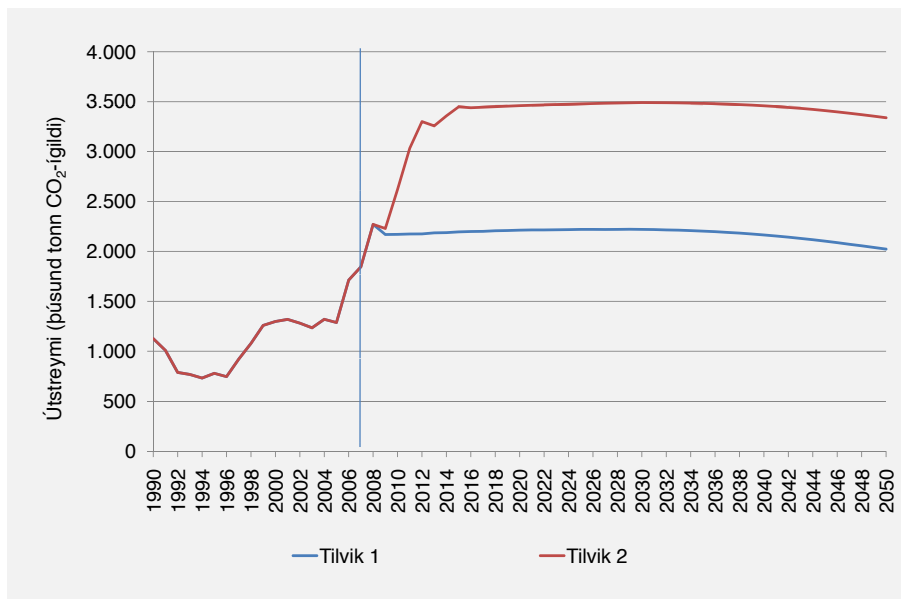
og bættrar veiðitækni (Orkuspárnefnd 2008). Gert er ráð fyrir að fiskafli vaxi skv. S-ferli upp í jafnstöðuafli. Gert er ráð fyrir að hlutur vélbáta í veiði botnfisks fari vaxandi, hlutur ísfisktogara fari minnkandi og að hlutur vinnsluskipa standi nánast í stað á spátímabilinu. Samhliða því að afli vex má gera ráð fyrir að eldsneytisnotkun aukist. Á móti má gera ráð fyrir að aukinn afli á úthaldsdag, bætt veiðitækni og hagkvæmari orkunýting skipa leiði af sér minni notkun í hlutfalli við aflamagn. Á spátímabilinu má gera ráð fyrir að stór hluti flotans verði endurnýjaður og orkunotkun nýrra skipa verði nokkru minni en eldri skipa vegna betri hönnunar. Miðað er við að olíunotkun skipa á aflaeiningu minnki um 5% fram til 2020 og allt að 10% fram til 2050 (Orkuspárnefnd 2008).

Á næstu árum er búist við miklum rannsóknum á nýtingu nýrra orkugjafa fyrir skip og að verulegur skriður verði komin á að skipta út olíu fyrir aðra orkugjafa við lok spátímabilsins. Gert er ráð fyrir að notkun nýrra orkugjafa muni fylgja S-ferli og nýju orkugjafarnir verði komnir með 1% markaðarins eftir 15 ár og 50% markaðarins eftir 50 ár (Orkuspárnefnd 2008).

Gert er ráð fyrir að olíunotkun fiskmjólsværksmiðja sé nú um 29 kg af olíu á hvert tonn hráefnis, og að þessi notkun verði 18 kg á hvert framleitt tonn árið 2020 og 8 kg á tonn árið 2050. Notkunin mun fara minnkandi sökum aukinnar notkunar raforku við þessa starfsemi (Orkuspárnefnd 2008).

### 3.2.1.4 Iðnaður

Útstreymi vegna iðnaðar er tilkomið annars vegar vegna eldsneytisnotkunar í iðnaði og hins vegar vegna útstreymis vegna framleiðsluferla. Eins og áður hefur komið fram hafa einstakar framkvæmdir í stóriðju mikil áhrif á útstreymi héraðs og eru því skoðuð tvö mismunandi spátílvik miðað við mismunandi framleiðslu stóriðjunnar. Annars vegar er gert ráð fyrir að ársframleiðsla verði jafnmikil út spátímabilið og framleiðslugeta starfandi fyrirtækja var í ársbyrjun 2008, þ.e. um 800.000 tonn af áli og 120.000 tonn af járnblendi (tilvik 1). Hins vegar er gert ráð fyrir að ársframleiðsla verði jafnmikil og heimilað er samkvæmt starfsleyfum án þess þó að tekið sé tillit til



Mynd 3-23. Spá um útstreymsi gróðurhúsalofttegunda frá iðnaði og efnanoftkun.

|                       | 1990  | 2007  | 2020     | 2020     | Breyting<br>2007–2020 | Breyting<br>2007–2020 |
|-----------------------|-------|-------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|
|                       |       |       | Tilvik 1 | Tilvik 2 | Tilvik 1              | Tilvik 2              |
| Sementsframleiðsla    | 103   | 128   | 86       | 137      | -33%                  | 7%                    |
| Álframleiðsla         | 569   | 978   | 1.333    | 2.272    | 36%                   | 132%                  |
| Járnblandiframleiðsla | 204   | 393   | 409      | 646      | 4%                    | 64%                   |
| Mannvirkjagerð        | 136   | 221   | 245      | 559      | 11%                   | 153%                  |
| Annar iðnaður         | 96    | 44    | 30       | 33       | -32%                  | -25%                  |
| samtals               | 1.111 | 1.764 | 2.103    | 3.647    | 19%                   | 107%                  |

Tafla 3-2. Útstreymsi frá iðnaði árin 1990, 2007 og árið 2020 miðað við tilvik 1 og tilvik 2 (þúsund tonn).

Þess hvar viðkomandi framleiðsluaukning muni eiga sér stað (tilvik 2). Þetta þýðir að framleiðsla áls verði 1.360.000 tonn á ári frá 2015 til 2050 og að framleiðsla járnblendis verði 190.000 tonn á ári. Þar sem aukin framleiðsla í iðnaði hefur áhrif á eldsneytisnotkun utan iðnfyrirtækjanna, með auknum hagvexti og auknum umsvifum m.a. í vöru- og fólksflutningum er í þessu tilviki stuðst við háspá eldsneytisspár Orkuspárnefndar frá 2008 til 2050. Í tilviki 1 er hins vegar notast við aðalspá eldsneytisspárinnar og stuðst við forsendur Orkuspárnefndar varðandi framleiðslutölur í iðnaði. Varðandi eldsneytisnotkun í iðnaði er stuðst annars vegar við spá Orkustofnunar (annar iðnaður og byggingarstarfsemi). Hins vegar er framreiknuð eldsneytisnotkun vegna ál- og járnblendiframleiðslu í hlutfalli við framleiðsluaukningu.

Varðandi útstreymsi vegna framleiðslu járnblendis er gert ráð fyrir að 3,4 tonn af koldíoxíði myndist á hvert framleitt tonn af kísiljárni. Við álframleiðslu er gert ráð fyrir að útstreymsi koldíoxíðs sé 1,5 tonn á hvert framleitt tonn af áli og að útstreymsi PFC sé 0,14 tonn (CO<sub>2</sub>-ígildi) á hvert framleitt tonn af áli við venjulegan rekstur. Við gangsetningu nýrra álvera er gert ráð fyrir að útstreymsi PFC verði innan við 0,28 tonn á hvert framleitt tonn að meðaltali á ári og að frá og með fjórða starfsári verði útstreymsið 0,14 tonn á hvert framleitt tonn. Við gangsetningu nýrra framleiðslueininga



starfandi fyrirtækja er gert ráð fyrir að ústreymi PFC hjá viðkomandi álveri verði 0,20 tonn á hvert framleitt tonn af áli árið sem gangsetning á sér stað.

#### **3.2.1.5 Efnanotkun**

Ústreymi gróðurhúsalofttegunda vegna efnanotkunar er annars vegar tilkomið vegna ústreymis leysiefna og hins vegar vegna ústreymis vetnisflúorkolefna. Ústreymi vegna leysiefna er mjög lítið og er gert ráð fyrir að það verði út spátímabilið eins og meðaltal síðustu 5 ára. Vetnisflúorkolefni (HFC) eru notuð sem kælimiðill í kælikerfum, ísskápum og loftkælíbúnaði bíla. Notkunin er mest í stórum kælikerfum í landi en einnig eru nokkur fiskiskip sem hagnýta HFC efni sem kælimiðil. Notkun HFC efna hefur aukist síðustu ár. Stór kælikerfi hafa verið tekin í notkun í verslunarmiðstöðvum og einnig eru þessi efni notuð í álverum. Leki frá þessum kerfum er þó að jafnaði frekar lítill. Töluverð aukning hefur einnig verið á bílum búnum loftkælíbúnaði. Endurfylla þarf á kerfin á um þriggja ára fresti og hugsanlega ef bílar lenda í óhöppum. Vegna aukningarinnar sem orðið hefur síðustu ár er gert ráð fyrir að ústreymi HFC fari vaxandi til 2020, standi svo í stað til 2030 en minnki síðan til 2050, þar sem efnum með háan hlýnunar-mátt verði skipt út fyrir efni með lægri hlýnunar-mátt.

#### **3.2.1.6 Landbúnaður**

Ljóst er að ústreymi gróðurhúsalofttegunda frá íslenskum landbúnaði er fyrst og fremst háð búfjárfjölda. Þannig má byggja ústreymisspá á neysluspá fyrir landbúnaðarafurðir, sem tekur mið af breytingum á þróun neyslu mismunandi afurða og fólksfjöldaþróun. Mynd 3-24 sýnir niðurstöður spárinnar.

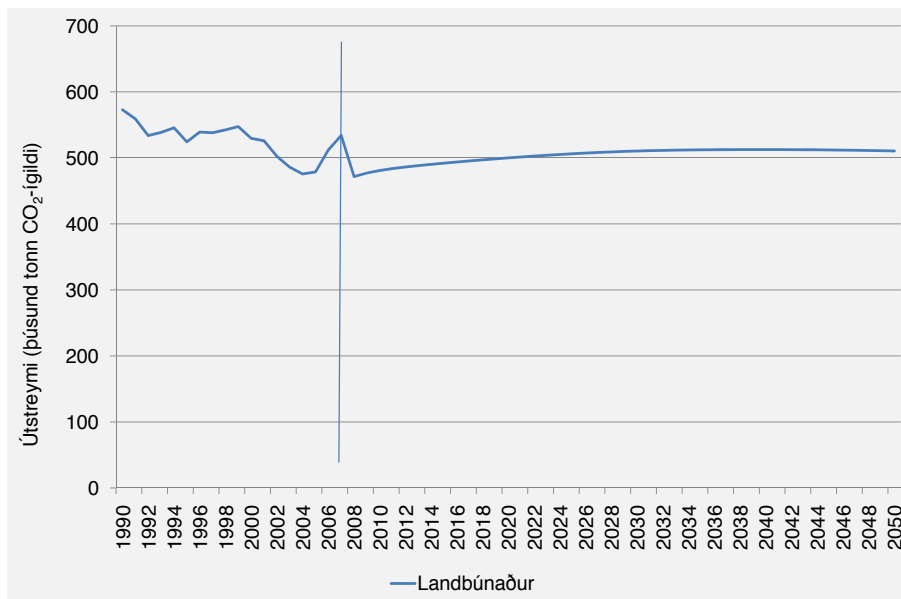
Eins og sjá má gerir spáin ráð fyrir að litlar breytingar verði á ústreymi frá landbúnaði á tímabilinu. Þetta er athyglisvert í ljósi þess að fólksfjöldaspáin gerir ráð fyrir að Íslendingum fjölgi um þriðjung og verði orðnir 420 þúsund árið 2050. Spá um neyslu á kjöti gerir hins vegar ráð fyrir áframhaldandi aukningu í neyslu hvíts kjöts og að það dragi úr neyslu kjöts af jörturdýrum. Þessi breyting virkar til mótvægis við fólksfjölda breytingarnar. Spáin gerir hvorki ráð fyrir breytingum á innflutnings- né útflutningshlutfalli matvæla en ljóst er að slíkar breytingar myndu hafa áhrif á ústreymi frá landbúnaði.

#### **3.2.1.7 Meðferð úrgangs**

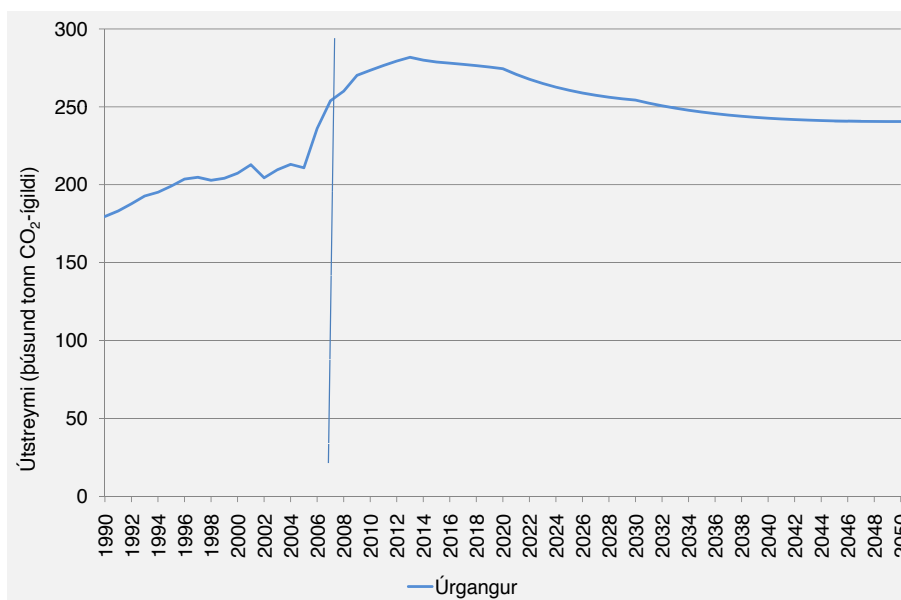
Meðferð úrgangs felur í sér ústreymi gróðurhúsalofttegunda vegna meðhöndlunar úrgangs og vegna frárennslis.

Ústreymi vegna frárennslis er mismunandi eftir því hvernig það er meðhöndlað og hreinsað. Í spánni er gert ráð fyrir að ústreymi vegna iðnaðarfrárennslis verði eins og meðaltal síðustu 5 ára út spátímabilið. Varðandi heimilisfrárennslis er gert ráð fyrir að hlutfall íbúa sem tengdir eru fráveitu með I. stigs hreinsun vaxi úr 54% árið 2006 í 81% árið 2020 og haldist óbreytt eftir það. Hlutfall íbúa sem tengdir eru fráveitu með II. stigs hreinsun mun vaxa úr 2% árið 2006 í 18% árið 2020 og haldast óbreytt eftir það. Hlutfall íbúa sem tengdir eru rotþró var 11% árið 2006 og er gert ráð fyrir að það hlutfall haldist óbreytt til 2050. Spáin miðar við þessar forsendur og fólksfjöldaspá úr eldsneytisspá Orkustofnunar (Orkuspárnefnd 2008).

Ústreymi vegna úrgangs er háð magni úrgangs og því hvernig úrgangurinn er meðhöndlaður. Magn heildarúrgangs er metið út frá fólksfjölda og hagvexti til ársins



Mynd 3-24. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði.



Mynd 3-25. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá meðhöndlun úrgangs.

2030. Magn heimilisúrgangs á hvern íbúa er reiknað út frá landsframleiðslu (GDP), sem er framreiknuð frá 2006 miðað við hagvöxt úr eldsneytisspá Orkustofnunar (Orkuspárnefnd 2008). Magn rekstrarúrgangs er framreiknað beint út frá magni 2006 miðað við framreiknaða landsframleiðslu.

Magn úrgangs sem fer á urðunarstaði er reiknað út frá því magni sem leyfilegt er að urða skv. reglugerð nr. 737/2003 um meðhöndlun úrgangs. Samkvæmt henni má árið 2009 urða 75% af því magni lífræns úrgangs sem urðað var árið 1995. Árið 2013 skal þetta hlutfall orðið 50% og 35% árið 2020. Miðað við sama hlutfall lífræns efnis í úrgangi og árið 1995 og aukningu á myndun úrgangs mun 39% af heildarúrgangi fara til urðunar árið 2010, 15% árið 2020 og 11% árið 2030.

Útstreymi er reiknað út í líkani sem tekur mið af þeirri rotnun sem á sér stað á urðunarstöðum og er það mismunandi eftir því hvort urðunarstaðurinn er grunnur eða djúpur. Árið 2006 fór 47% af þeim úrgangi sem urðaður var á grunna urðunarstaði og 53% á djúpa. Gert er ráð fyrir að árið 2015 muni allur úrgangur vera urðaður

á djúpum urðunarstöðum og að endurheimt metans verði jafnmikil og hún var árið 2005, þegar endurheimt metans var sú mesta sem verið hefur frá því gassöfnun hófst árið 1997.

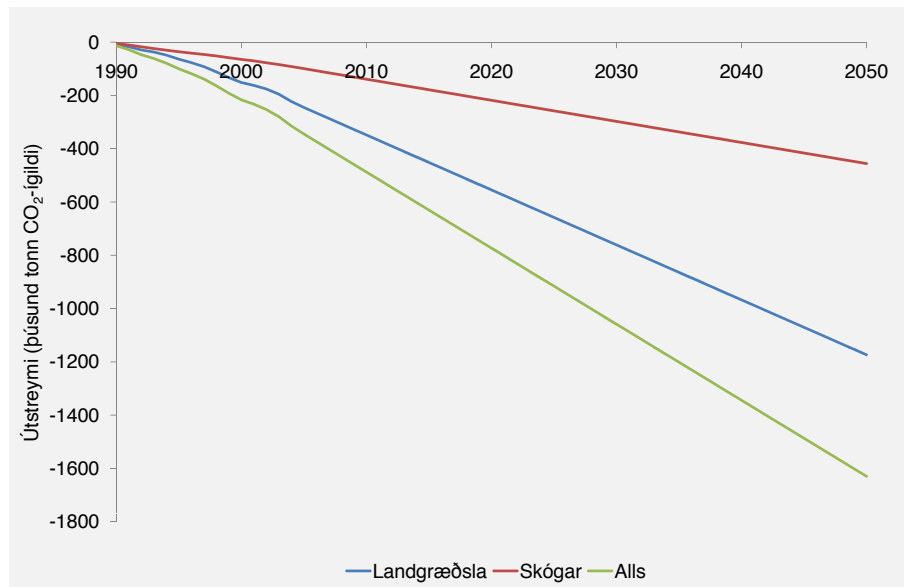
Gert er ráð fyrir að 40% þess úrgangs sem ekki er urðaður, brenndur og/eða jarðgerður fari í endurvinnslu eða sé óvirkur úrgangur, 40% fari til jarðgerðar og að 20% fari í brennslu. Þessi aukna jarðgerð og brennsla kemur til viðbótar þeirri jarðgerð og brennslu sem stunduð er í dag. Gert er ráð fyrir að útstreymi frá jarðgerð samsvari um 0,17 tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á hvert jarðgert tonn af úrgangi og að útstreymi frá brennslu samsvari um 0,8 tonnum af CO<sub>2</sub>-ígildum á hvert tonn af úrgangi sem brennt er.

|                                  | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Magn úrgangs                     | 348  | 403  | 530  | 720  | 960  | 960  | 960  |
| Urðun                            | 310  | 332  | 210  | 110  | 110  | 110  | 110  |
| Endurvinnsla og óvirkur úrgangur | 0    | 44   | 130  | 370  | 570  | 570  | 570  |
| Jarðgerð                         | 0    | 2    | 79   | 140  | 170  | 170  | 170  |
| Brennsla                         | 38   | 25   | 58   | 96   | 110  | 110  | 110  |

Tafla 3-3. Myndun og förgun úrgangs frá 1990 til 2050. Magn í þúsundum tonna.

### 3.2.1.8 Landgræðsla og skógrækt

Meginbreytingar á útstreymi vegna landnotkunar verða vegna aukins umfangs landgræðslu og skógræktar, en þar á sér stað umtalsverð binding kolefnis. Spá um þróun bindingar byggir á þeirri forsendu að árlegt umfang nýrra skógræktar- og landgræðsluverkefna haldist óbreytt næstu áratugin frá því sem verið hefur á undanförunum árum.



Mynd 3-26. Spá um bindingu gróðurhúsalofttegunda vegna landgræðslu og skógræktar.

Ef miðað er við að ný landgræðsluverkefni nemi 75 km<sup>2</sup> á ári og stuðli að bindingu 275 tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á km<sup>2</sup> á ári í 60 ár mun árleg binding landgræðsluverkefna sem hófust eftir 1990 nema 555 þúsundum tonna CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2020 og 1.170 þúsundum tonna CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2050.

Miðað við núverandi árlega plöntun, sem nemur um 18 km<sup>2</sup>/ári, og bindingu sem svarar 440 tonnum CO<sub>2</sub> á km<sup>2</sup> á ári að jafnaði mun binding íslenskra skóga umfram bindinguna árið 1990 nema um 220 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2020 og 450 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2050.

### 3.2.2 Samantekt

Tölur 3-4 og 3-5 bera saman útstreymi einstakra geira árið 2007 og útstreymi samkvæmt spám Umhverfisstofnunar árið 2020 og 2050 miðað við tilvik 1 (Tafla 3-4) og tilvik 2 (Tafla 3-5).

|                       | 2007  | 2020  | 2050  | Breyting<br>2007–2020<br>% | Breyting<br>2007–2050<br>% |
|-----------------------|-------|-------|-------|----------------------------|----------------------------|
| Rafmagn og hiti       | 182   | 216   | 241   | 19                         | 32                         |
| Samgöngur             | 1.017 | 847   | 552   | -17                        | -46                        |
| Iðnaður og efnanotkun | 1.845 | 2.214 | 2.024 | 20                         | 10                         |
| Sjávarútvegur         | 650   | 596   | 462   | -8                         | -29                        |
| Landbúnaður           | 534   | 500   | 511   | -6                         | -4                         |
| Úrgangur              | 254   | 271   | 237   | 7                          | -7                         |
| Samtals               | 4.482 | 4.644 | 4.026 | 4                          | -10                        |

Tafla 3-4. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í einstökum geirum (þúsund tonn), og breyting frá 2006 til 2020 og 2050 (tilvik 1).

|                       | 2007  | 2020  | 2050  | Breyting<br>2007–2020<br>% | Breyting<br>2007–2050<br>% |
|-----------------------|-------|-------|-------|----------------------------|----------------------------|
| Rafmagn og hiti       | 182   | 217   | 244   | 19                         | 34                         |
| Samgöngur             | 1.017 | 940   | 830   | -8                         | -18                        |
| Iðnaður og efnanotkun | 1.845 | 3.460 | 3.339 | 88                         | 81                         |
| Sjávarútvegur         | 650   | 569   | 462   | -12                        | -29                        |
| Landbúnaður           | 534   | 500   | 511   | -6                         | -4                         |
| Úrgangur              | 254   | 271   | 235   | 6                          | -8                         |
| Samtals               | 4.482 | 5.956 | 5.620 | 33                         | 25                         |

Tafla 3-5. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda í einstökum geirum (þúsund tonn), og breyting frá 2006 til 2020 og 2050 (tilvik 2).

Samkvæmt tilviki 1, verður ústreymi um 4% hærra árið 2020 en það var árið 2007. Ústreymi samkvæmt tilviki 2 verður 33% hærra árið 2020 en það var árið 2007. Búist er við að ústreymi muni aukast vegna framleiðslu rafmagns og hita, frá iðnaði og efnanotkun og vegna meðhöndlunar úrgangs. Ústreymi annarra geira mun minnka miðað við árið 2020 samkvæmt spá Umhverfisstofnunar (Umhverfisstofnun 2008).

## 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 stjórnvöld, 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 stjórnsvaldsáðgerðum og þá ekki einungis hér á landi heldur einnig erlendis.*
- Kostnaður vegna hvernar mótvægisáðgerðar var metinn sem summa fjárfestingar- og rekstrarkostnaðar. Fjárfestingarkostnaði var dreift á líftíma fjárfestingar með 5% reiknivöxtum. Ábati hvernar áðgerðar var einnig metinn fyrir hvert ár fjárfestingar. Núvirtur heildarkostnaður (eða ábati) hvernar 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 sérhvernar 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 nettó kostnaði 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 nettó kostnað 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.

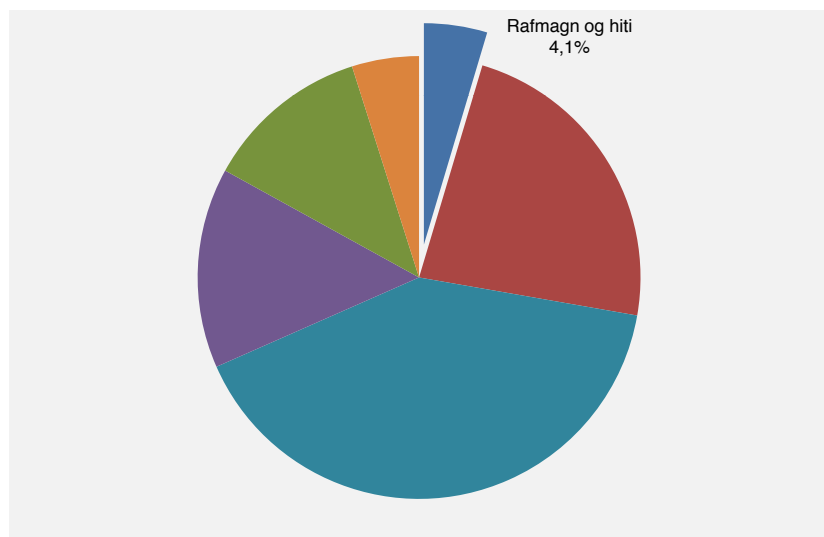
Hér á eftir eru lýsingar á þeim geirum þjóðfélagsins þar sem vænta má mótvægisáðgerða, lýsingar á mótvægisáðgerðum og þeim kostnaði og ábata sem þeim fylgja.

## 4.2 Orkuframleiðsla

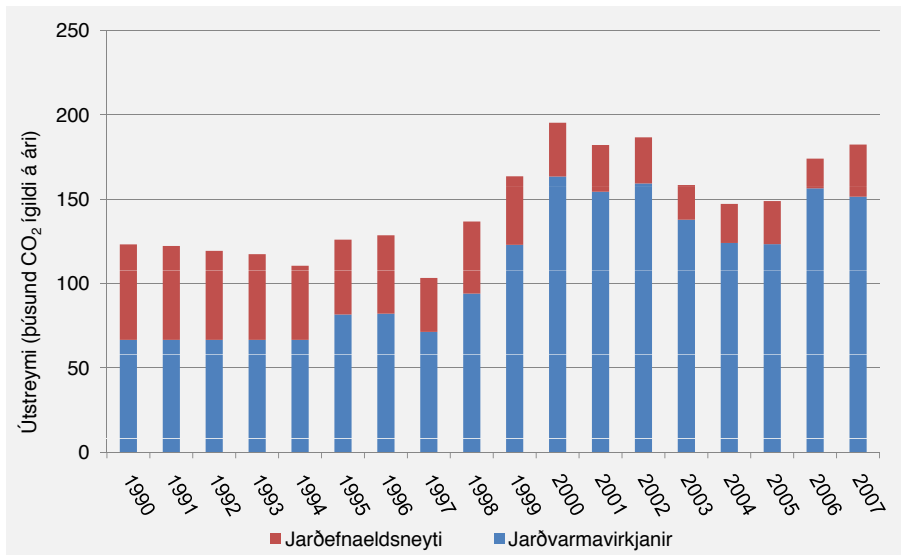
### 4.2.1 Yfirlit

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

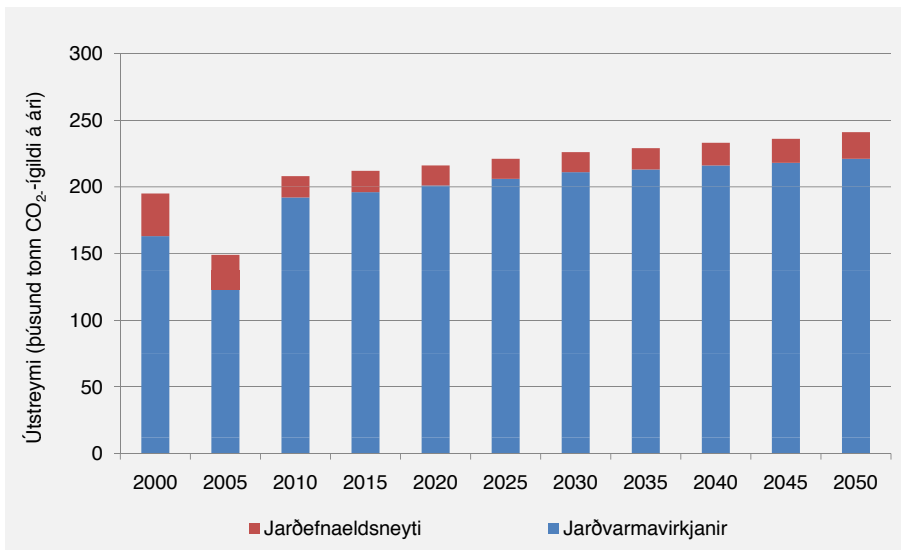
Útstreymi á gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu var um 4,1% af heildarútstreymi Íslands árið 2007 (sjá mynd 4-1). Mynd 4-2 sýnir þróun á útstreymi CO<sub>2</sub> frá orkuframleiðslu á Íslandi frá árinu 1990 til 2007. Ekkert útstreymi gróðurhúsalofttegunda reiknast frá vatnsaflsvirkjunum en útstreymi 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.

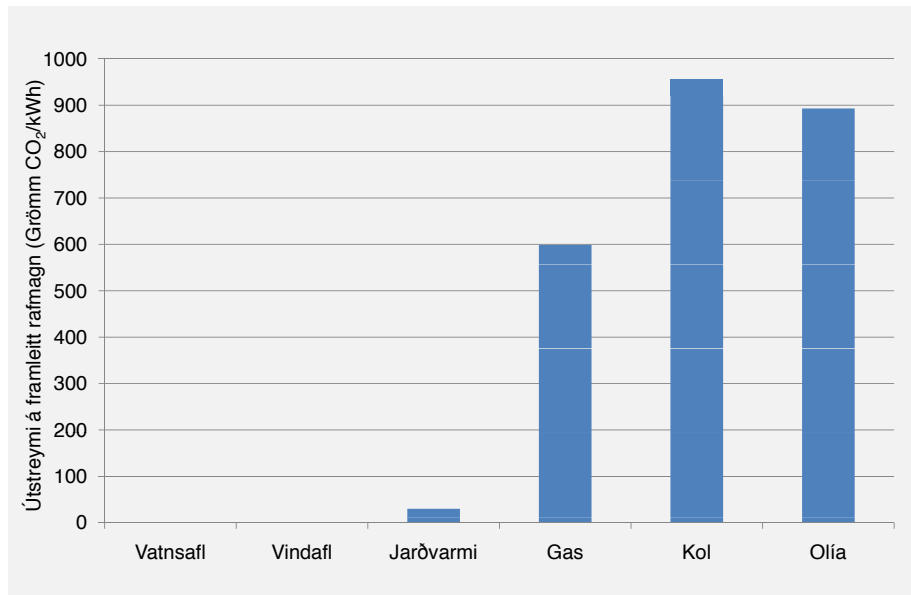


Mynd 4-3. Spá um heildarústreymi á gróðurhúsalofttegundum vegna hita- og rafmagnsframleiðslu (CO<sub>2</sub>-ígildi).

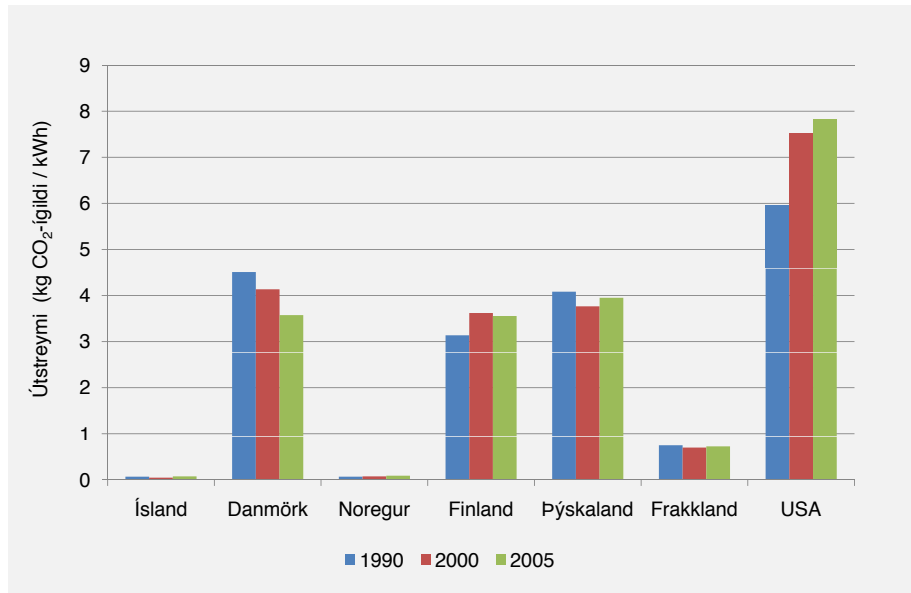
Notkun innflutts jarðefnaeldsneytis til orkuframleiðslu hefur dregist saman undanfarna áratugi. Á sama tíma hefur rafmagns- og hitaframleiðsla með endurnýjanlegum orkugjöfum aukist. Útstreymi frá orkuframleiðslu er fyrst og fremst vegna nýtingar á jarðvarma til rafmagnsframleiðslu. Útstreymi vegna hitanýtingar 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 þrír 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 nágrennalöndum 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.

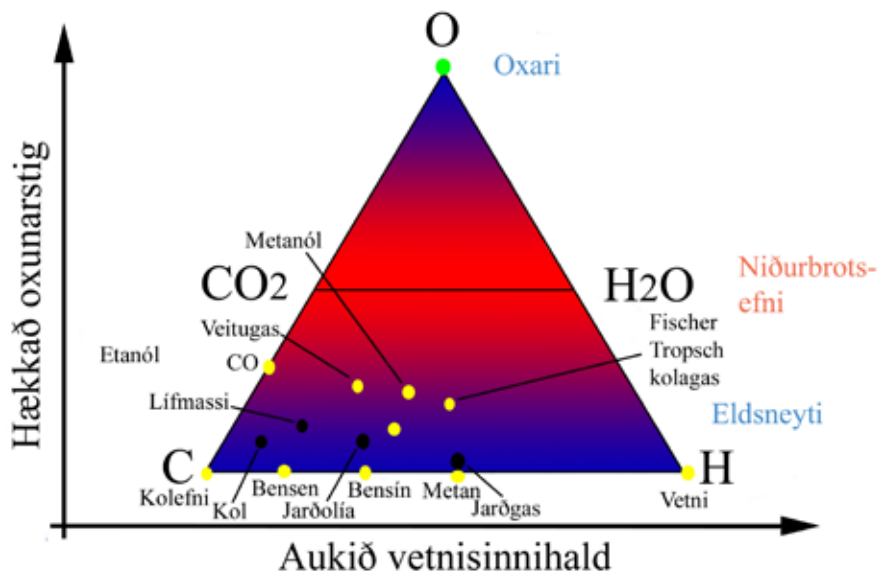
Þessi aðferð hefur verið þekkt um nokkurt skeið og Háskóli Íslands leiðir nú tilraun sem studd er af Orkuveitu Reykjavíkur og fleirum um að binda koldíoxíð í jarðhitaholum á Hellisheiði. Þar er ætlunin að líkja eftir og ýta undir þá náttúrulegu ferla sem beisla og binda CO<sub>2</sub> á jarðhitasvæðum (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).



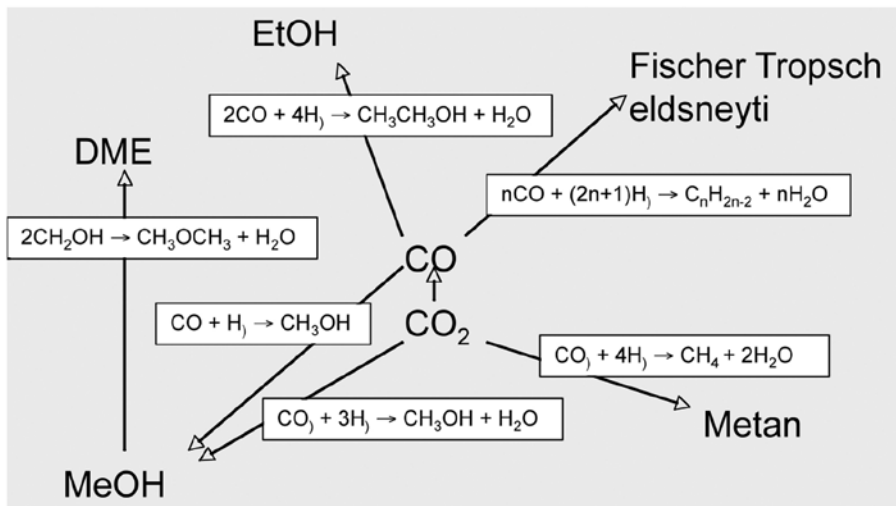
forathugunum fyrir föngun og endurvinnslu. Þá hefur verið hafin samvinna við Mitsubishi Heavy Industries um þetta viðfangsefni.

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

Fjöl margar tegundir örvera geta bundið CO<sub>2</sub> í frumum sínum líkt og plöntur. Til þess þurfa þær nýtanlega orku, annað hvort úr ljósi (ljóstillifun) eða úr orkuríkum ólíf-rænum efnasamböndum (efnatillifun). Sprotafyrirtækið Prokatín ehf. hefur undanfarin ár 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

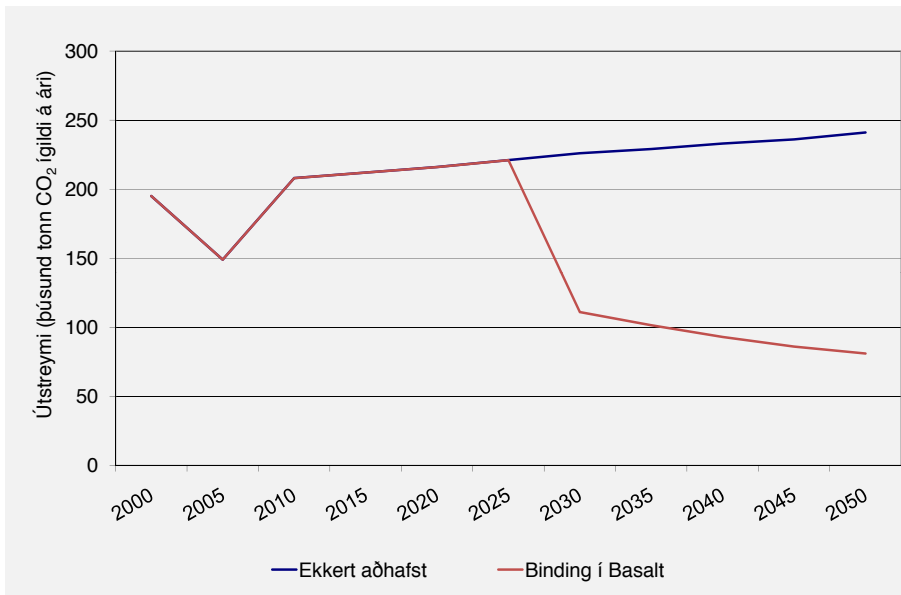
Samkvæmt upplýsingum frá Orkuveitu Reykjavíkur er stefnt að því að hefja tilraunir með fongun við Helligheiðarvirkjun árið 2009. Helligheiðarvirkjun losar um 30.000 tonn CO<sub>2</sub> á ári og talið er að fanga megi um 15.000 tonn til að byrja með. Hér gert ráð fyrir að árið 2030 verði hægt að fanga 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

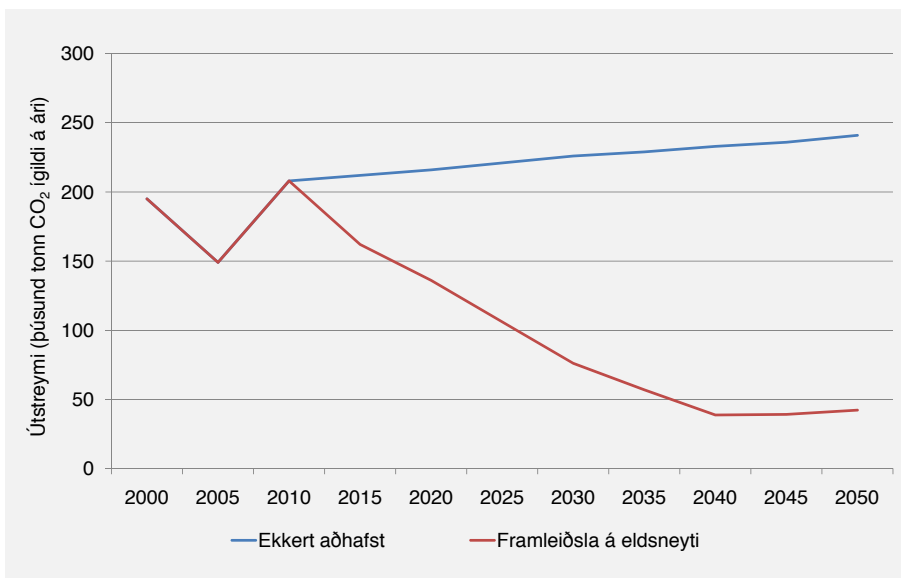
Fyrirtækið Carbon Recycling International hefur hafið undirbúning að byggingu verksmiðju sem framleiðir eldsneyti úr CO<sub>2</sub>. Með því yrði þá koldíoxíð fangað og búið til verðmæti úr því. Markmiðið er að setja fyrsta verkefnið í gang árið 2011 og framleiða fljótlega 50 milljón lítra af eldsneyti. 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

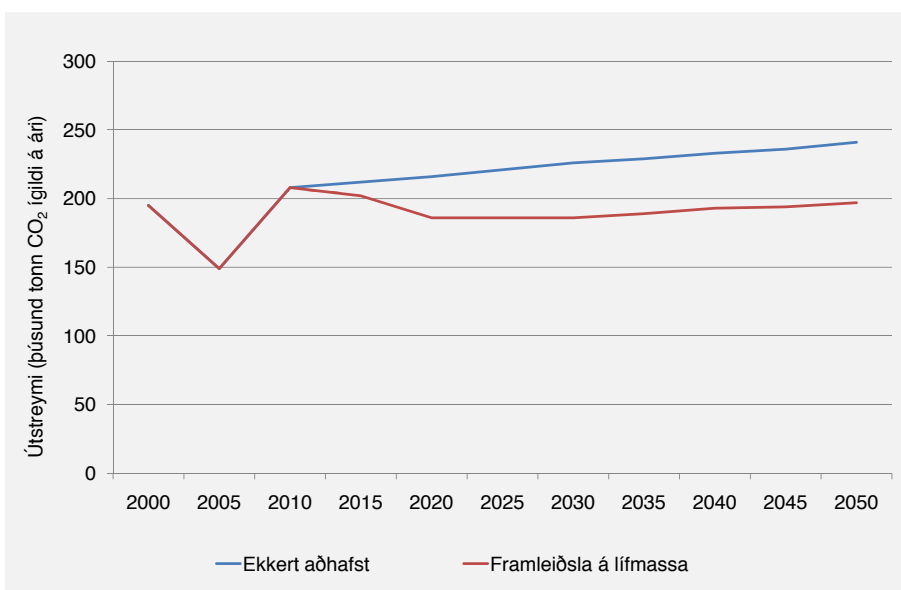
Verið er að þróa aðferð til að binda brennistein í útblæstri jarðhitavirkjana í einfrumúlífmassa. Framleiddur er próteinríkur lífmassi með svipaða efnasamsetningu og næringargildi og hágæða-fiskimjöl. Lífmassinn er markaðssettur og seldur til fóðurgerðar. Í ferlinu binst einnig nokkuð af CO<sub>2</sub> (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.



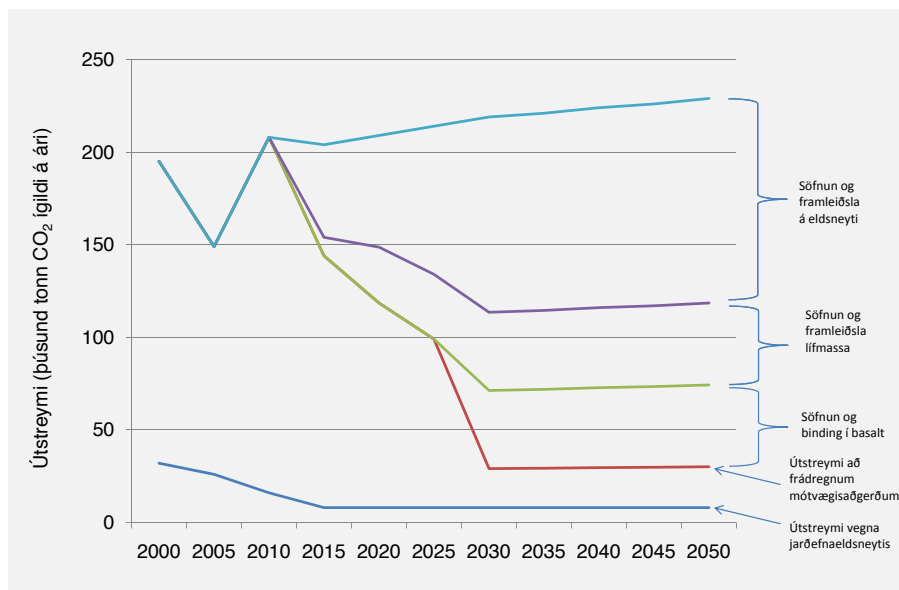
Mynd 4-9. Spá um samdrátt í útstreymi koldíoxíðs frá jarðvarmavirkjunum með bindingu í tilbúið eldsneyti.



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 vatnsaflum 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.

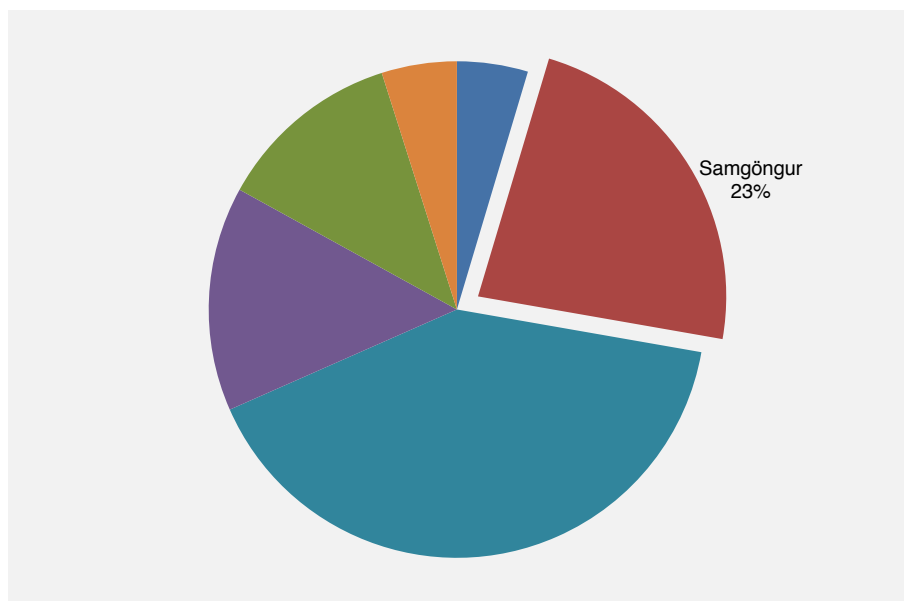
### 4.3 Samgöngur

#### 4.3.1 Inngangur

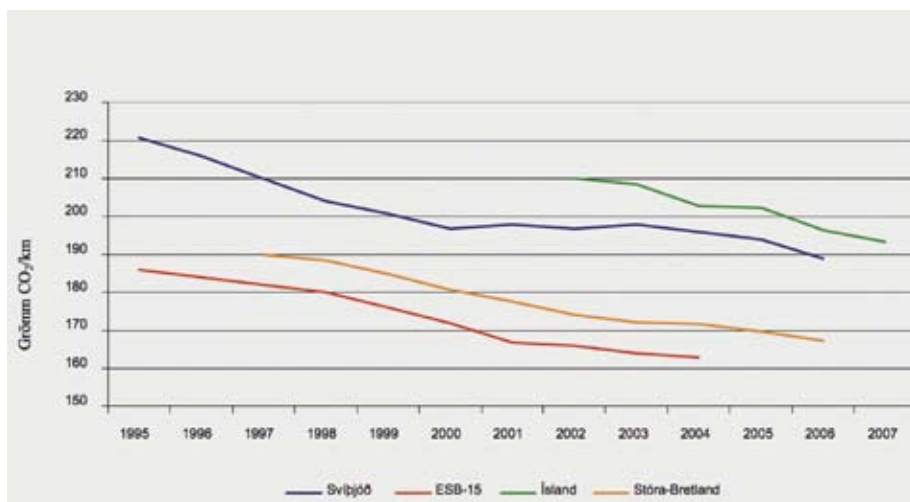
Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá ökutækjum stafar fyrst og fremst af bruna jarðefnaeldsneytis. Langstærsti hluti útstreymisins er því koldíoxíð, eða um 96%. Við bruna jarðefnaeldsneytis myndast einnig hláturgas (N<sub>2</sub>O) og er það 4% útstreymisins. Lítilsháttar útstreymi HFC efna er frá kælikerfum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



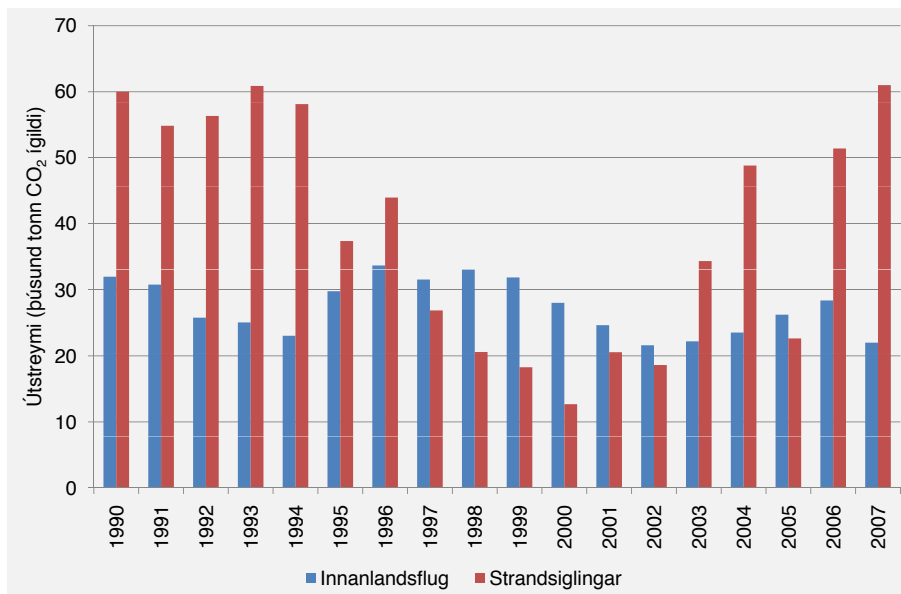
Mynd 4-13. Meðallosun CO<sub>2</sub> frá nýjum fjárförum (Heildarstefnumótun um skattlagningu ökutækja og eldsneytis, skýrsla starfshóps á vegum fjárföraráðherra, 2008)



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 fjárföraráðherra, 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

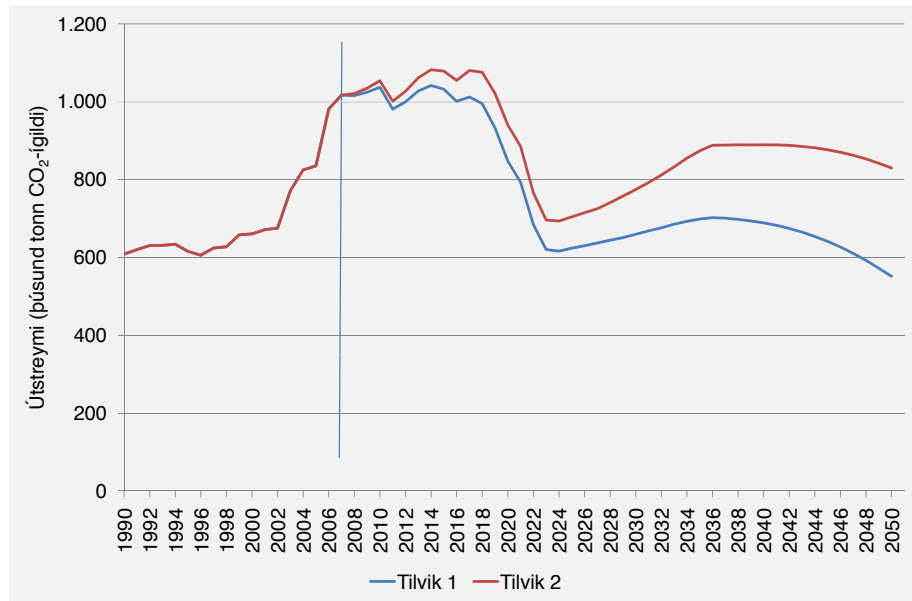
Í þessum kafla er lagt mat á umhverfislega skilvirkni og fjárhagsleg áhrif af (i) samgönguáðgerðum þ.e. bættum almenningssamgöngum, göngu og hjólríðum, (ii) bættri orkunýtingu, (iii) nýjum orkugjöfum, þ.e. metanóli og lífheldsneyti blönduðu í bensín og dísilolíu, og (iv) nýrri bifreiðatækni.

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
- Vetnisbílar
- 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 vetnisbíla 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 leggist 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* afskiptalaus 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 áttatíunda 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.

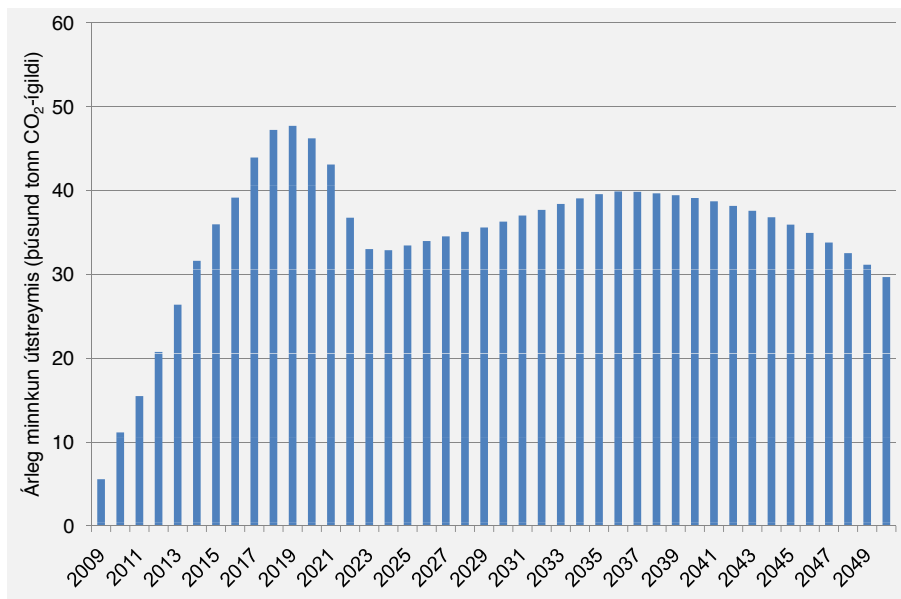
Niðurstöður benda til að heildarávinningur verði af uppbyggingu og rekstri bættra innviða fyrir gangandi og hjólandi vegfarendur á höfuðborgarsvæðinu nemi 37.800 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda til ársins 2020. Áætlaður ávinningur er því meiri en kostnaður (sjá töflu 4-3), en slíkar niðurstöður koma fram 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 hjólréiða.

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

Miðað við gefnar forsendur má búast við að með aukinni hlutdeild göngu og hjólréiða 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-

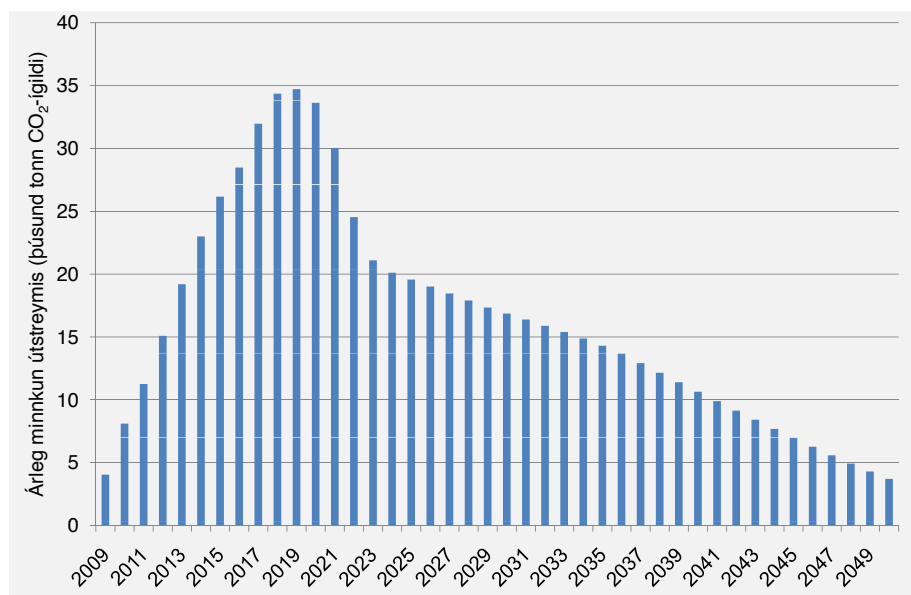
byggð af mörgum grunnþáttum og mismunandi er hversu mikið er í þau lagt og hversu langt er gengið í að veita þjónustu sem er hraðskreið og laðar að viðskiptavinum. Það býður upp á sveigjanleika og auðvelt er að laga leiðaval að breyttum aðstæðum samanborið við léttlestakerfi þar sem leiðavali er ekki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

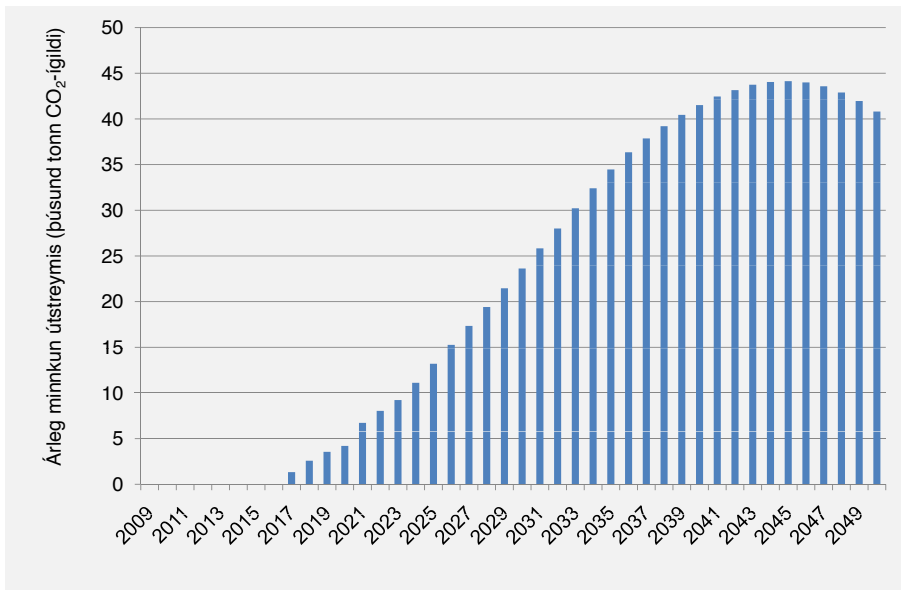
Þegar kostnaður og ávinningur þess að byggja upp samtímis hraðvagnakerfi, léttlestakerfi og bætta innviði fyrir gangandi og hjólandi vegfarendur er tekinn saman

|  | 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   |           |

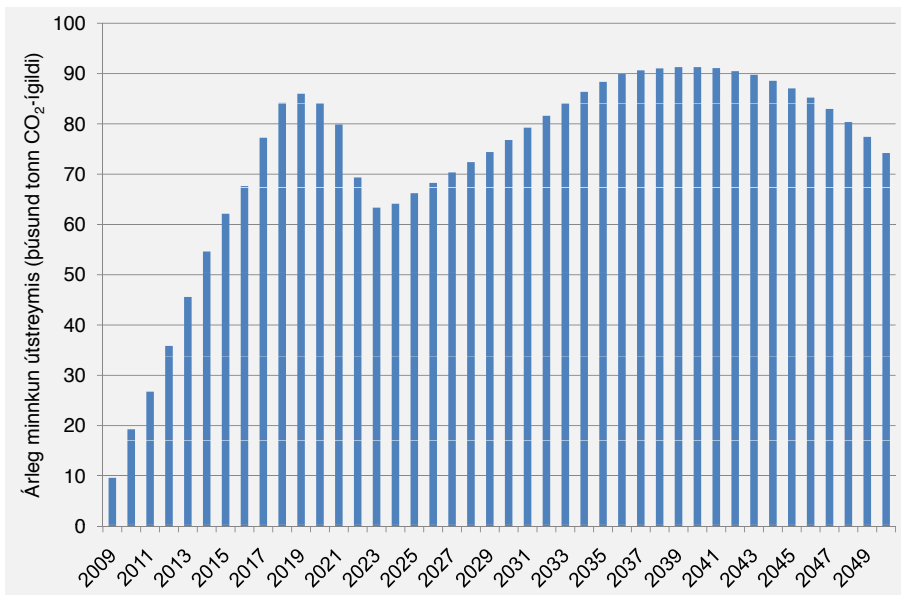
Tafla 4-5. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir uppbyggingu og rekstur léttlestakerfis.

| 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 hjóleiðar 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 almenningsamgöngur oftar, enda orðið minna mál að ganga eða hjóla að biðstöð. Á sama hátt er líklegt að þegar fólk nýtir sér almenningsamgöngur, 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 almenningsamgangna, 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.

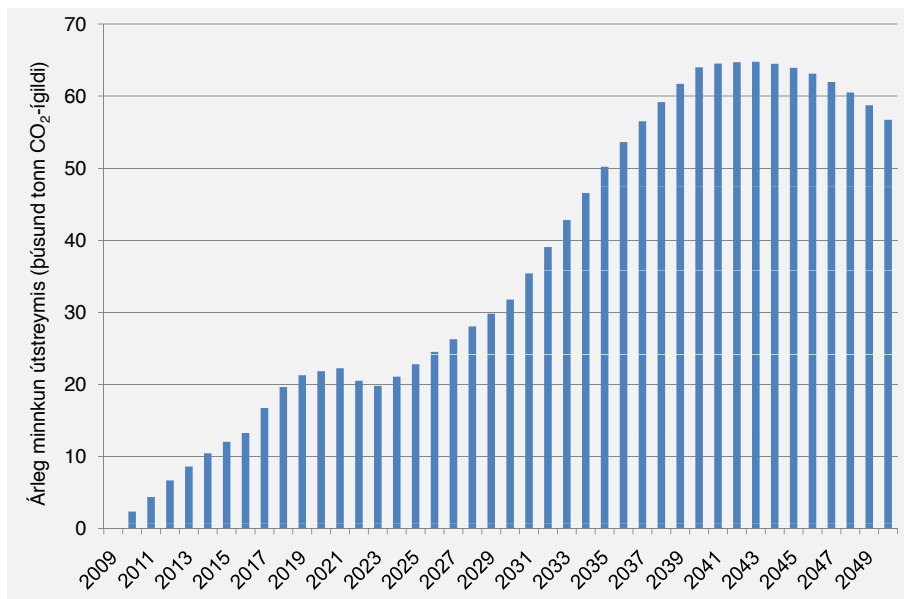
Gert er ráð fyrir að hlutur sparneytna bifreiða í fólksbílaflotanum aukist þ.a. hann verði orðinn 5% árið 2012, 10% árið 2016, 20% árið 2020, 40% árið 2030, 80% árið 2040 og 100% árið 2050. Á tímabilinu 2009–2015 nemur fjölgunin árlega um 3–4 þúsund bílum; um 5–6 þúsund bílum á tímabilinu 2016–2020, 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.

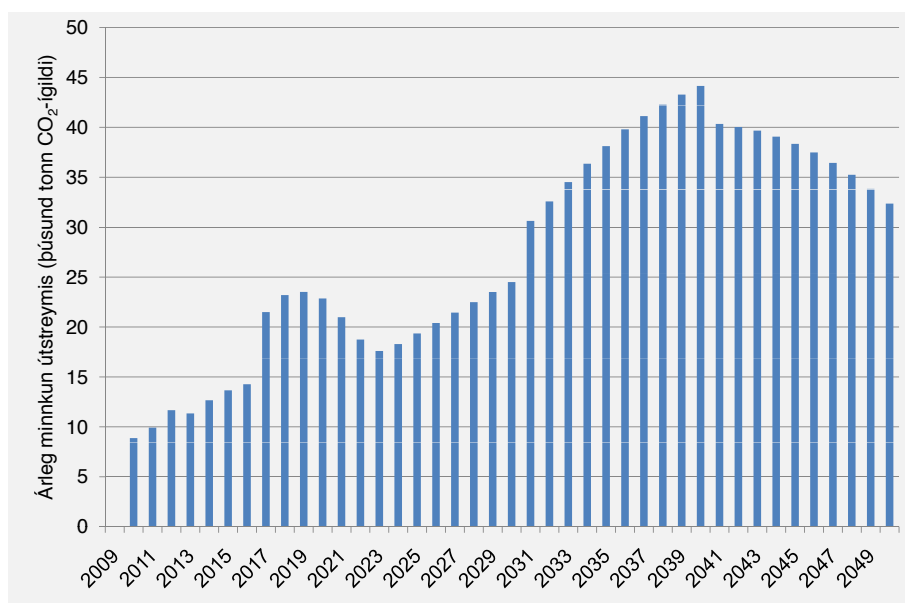
3 Rétt er að hafa í huga að dísilvélar menga ívið meira en bensínvélar, þ.m.t. sót og NO<sub>x</sub> og er ekki tekið tillit til þess við útreikning þessarar sviðsmyndar.



|   | 2009–2020 | 2009–2050 |
|---|-----------|-----------|
| Samdráttur í losun GHIL (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 afskiptalausá 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 metýlestera. 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 – lífildsneyti

Sé kostnaður og ávinningur þess að blanda lífildsneyti 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).

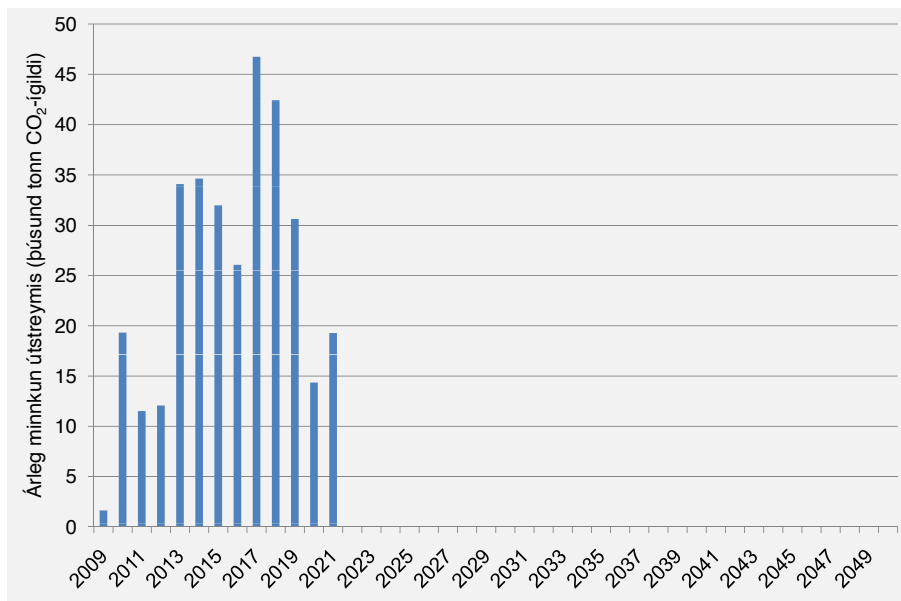
Gert er ráð fyrir að árið 2020 verði hlutfall blandaðs lífildsneytis í bensín og dísilolíu um 10% af orkunotkun bifreiða. Gert er einnig ráð fyrir að árið 2020 verði notkun etanóls í bensín um 13 þúsund tonn og notkun lífildsolíu um 17 þúsund tonn. Notkun etanóls nær hámarki í kringum 2020, en fer síðan 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     |           |

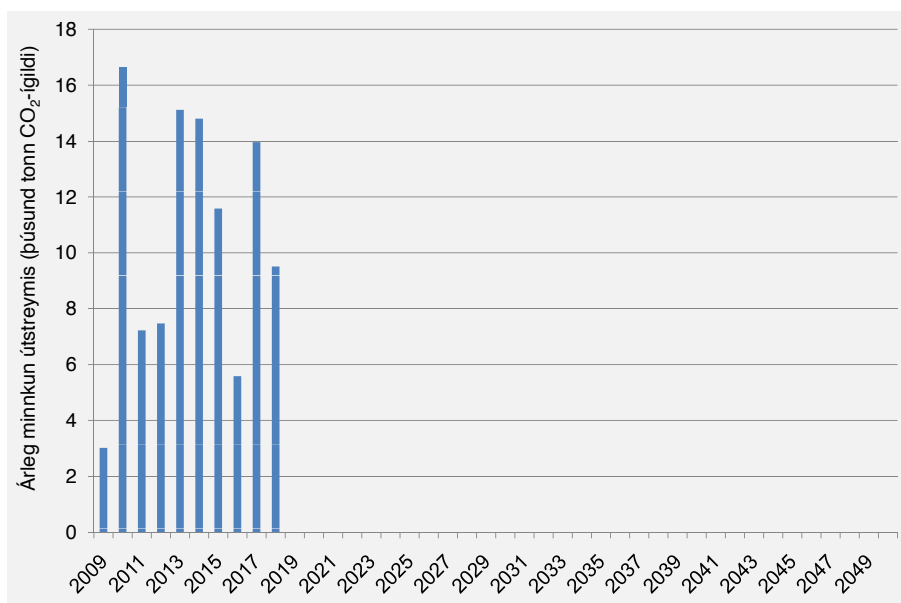
Tafla 4-10. Samdráttur og kostnaður frá 2009 til 2020 fyrir blöndun etanóls í bensín fyrir bifreiðar.

| Aðgerð                 | Minnkun 2009–2020<br>(þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi) | Heildarkostnaður<br>(kr./tonn CO <sub>2</sub> -ígildi) |
|------------------------|--|--|
| Lífildsill 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 lífildsneytis 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.

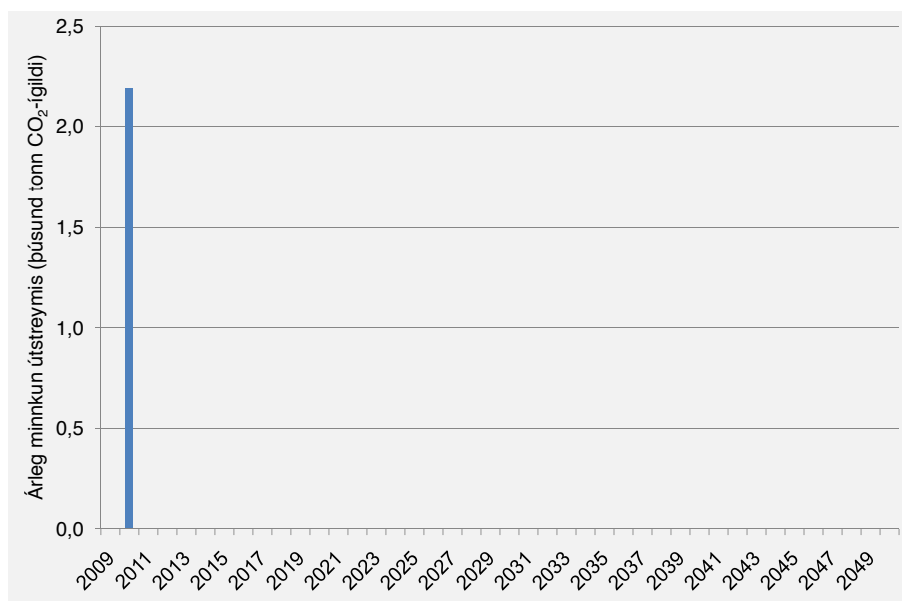
Niðurstöður benda til að kostnaður á tonn við blöndun metanóls í bensín fyrir bifreiðar verði um 10.400 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda frá 2009 til ársins 2020 (sjá töflu 4-12).

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 útfærslur 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 tvinnbílur 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 rafbílur 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 vélarfl 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 raforkuframleiðsla 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                                      |
|                         | Lífdísílolía (FAME)               | 198                                      |
|                         | Metan – án hvarfakúts             | 52                                       |
|                         | Metan – með þrívirkum hvarfakút   | 292                                      |
| Millistór flutningabíll | Bensín                            | 3.105                                    |
|                         | Dísílolía                         | 3.243                                    |
|                         | Etanól                            | 21                                       |
|                         | Metanól                           | 16                                       |
|                         | Lífdísílolía (FAME)               | 198                                      |
|                         | Metan                             | 39                                       |
| Stór flutningabíll      | Bensín                            | 3.097                                    |
|                         | Dísílolía                         | 3.215                                    |
|                         | Etanól                            | 16                                       |
|                         | Metanól                           | 23                                       |
|                         | Lífdísílolía (FAME)               | 172                                      |
|                         | Metan                             | 41                                       |

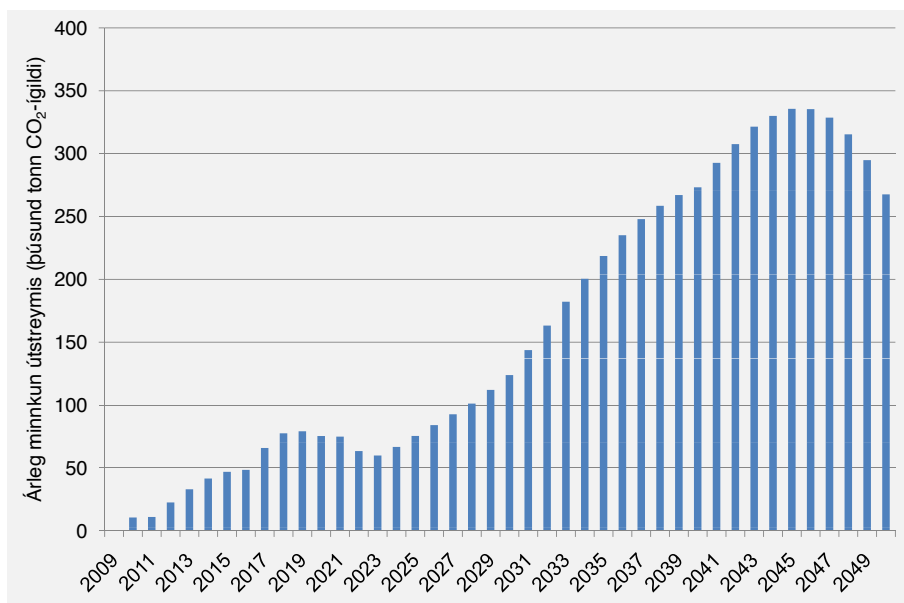
Tafla 4-13. Metinn útblástur gróðurhúsalofttegunda í CO<sub>2</sub>-ígildum eftir eldsneytistegund og stærð bifreiðategundar (Mannvit 2009).

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 tilfalli millistórra flutningabíla árið 2013 og árið 2021 í tilfalli 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 raforkuframléiðsla 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

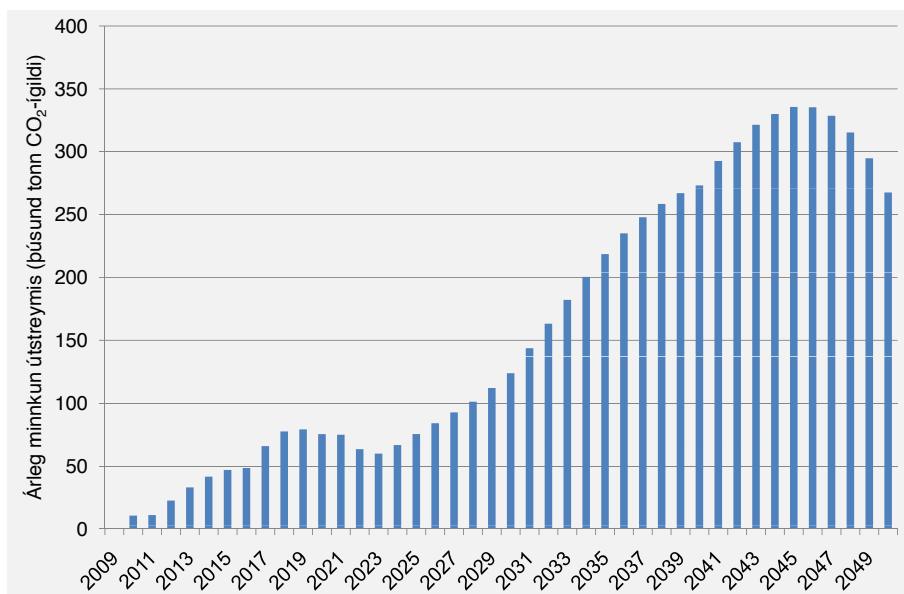
Gert er ráð fyrir að frá árinu 2009 aukist sala á fólksbílum, millistórum flutningabílum og stórum flutningabílum sem ganga fyrir E85 á kostnað hefðbundinna bensín- og dísilbíla.

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% millistórra 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.

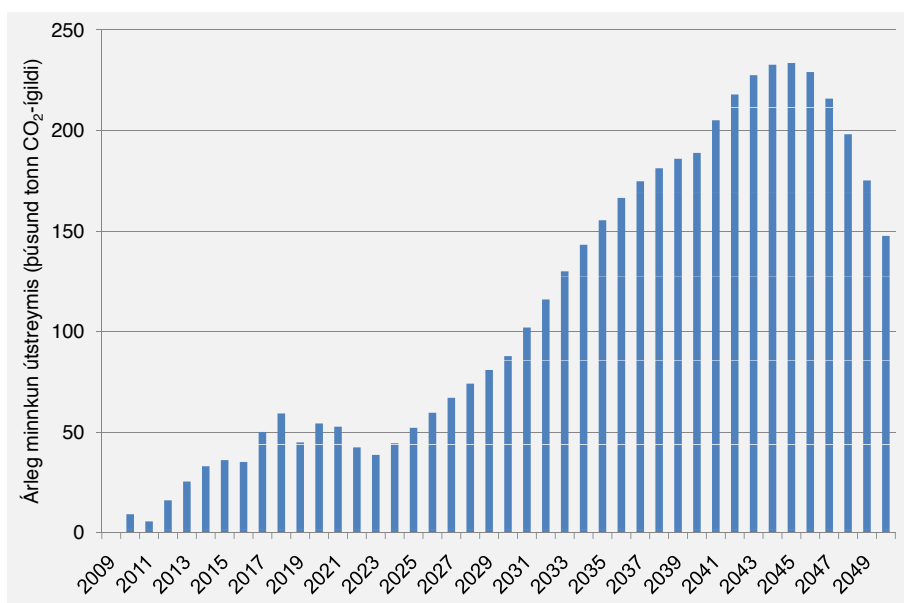
Sé kostnaður og ávinningur af innleiðingu E85-bíla samkvæmt sviðsmyndinni tekinn saman benda niðurstöður til þess að á tímabilinu 2009–2020 nemi kostnaður per tonn af aðgerðunum um 42.000 kr./kg CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töflu 4-16).

|  | 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 afskiptalaus þróun vegna aukinnar notkunar vetnisbíla.



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

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

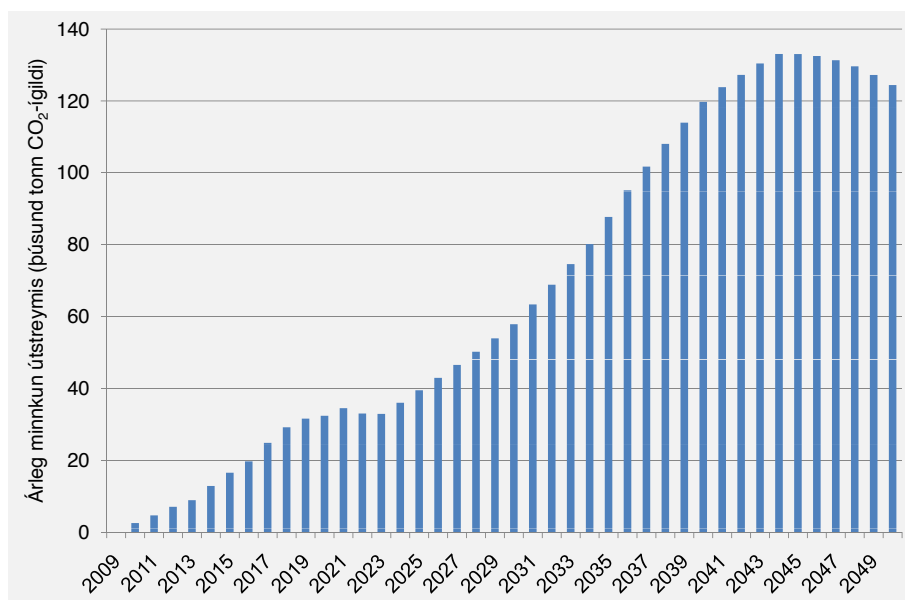
### Tvinnbensín og tvinndísilbílur

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

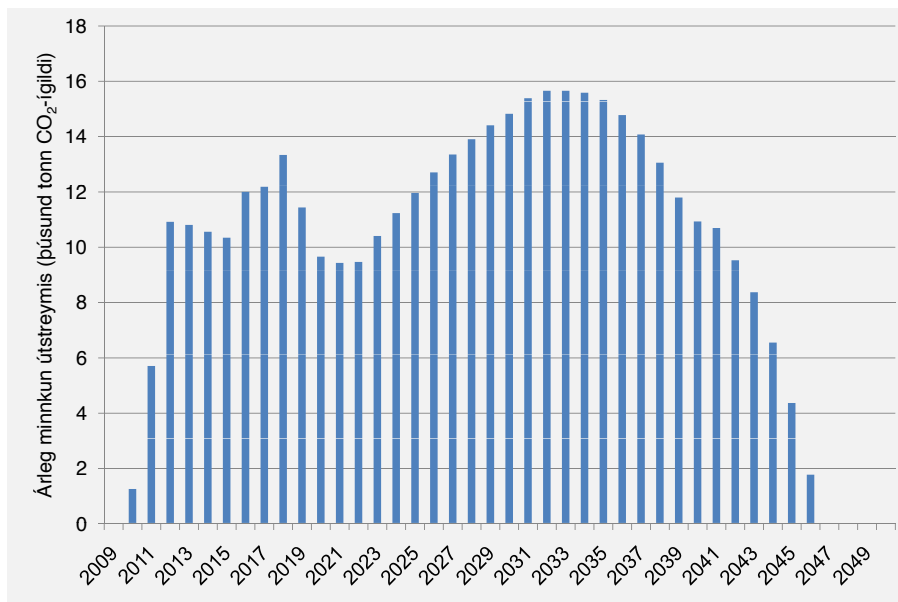
Sé kostnaður og ávinningur af innleiðingu metanbíla samkvæmt sviðsmyndinni tekinn saman benda niðurstöður til þess að á tímabilinu 2009–2020 nemi kostnaður á tonn af aðgerðunum um 1.000 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígilda (sjá töflu 4-19).

| 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.

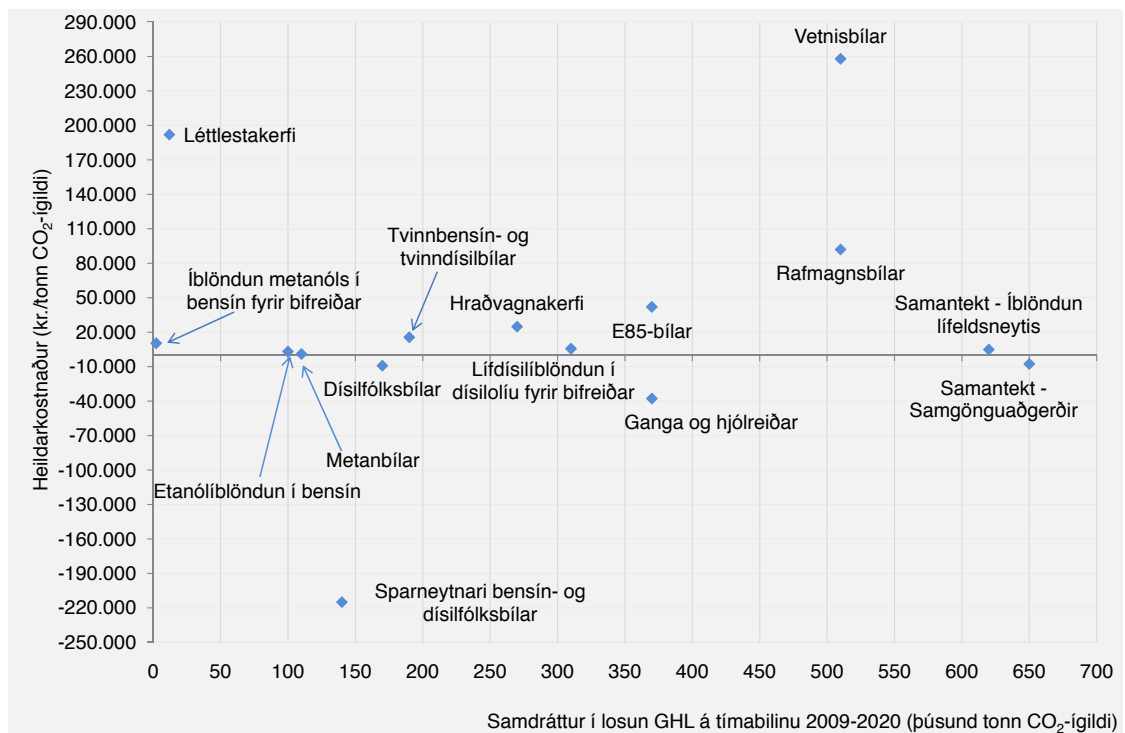
Miðað við afskiptalausá þróun verður samdráttur vegna aðgerðanna í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá bifreiðum um 1% árið 2020.

#### 4.3.3 Samantekt

Til skemmri tíma (2009–2020) skila almennar samgönguáðgerðir, það er uppbygging fyrir aukna göngu og hjólréiðar, 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<br>(Þúsund tonn CO <sub>2</sub> -ígildi)<br>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                               |
| Lífðisilblöndun 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 lífðisneytis           | 420                                   |   | 1% |      | 0%  | 4.900                            | 40                                |
| Íblöndun metanóls í bensín fyrir bifreiðar  | 2                                     | 0%  | 0% | 0%   | 0%  | 10.400                           | 86                                |
| Tvinnbensín- og tvinnðisilbílur             | 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 lífðisneytis er ekki dýr aðgerð, en skilar miklum ávinningi. Í sviðs-

myndinni „Íblöndun lífeldsneytis“ eru tekin samlegðaráhrif þess að blanda etanóli í bensín og lífdísilólíu í dísilólíu fyrir bíla. Einnig er gert ráð fyrir því að lífdísilblandan 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 lífeldsneytis“ 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 lífeldsneytis 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 lífeldsneyti og jafnvel léttlestir verði viðráðanlegra.

## 4.4 Iðnaðarferlar og efnanotkun

### 4.4.1 Yfirlit

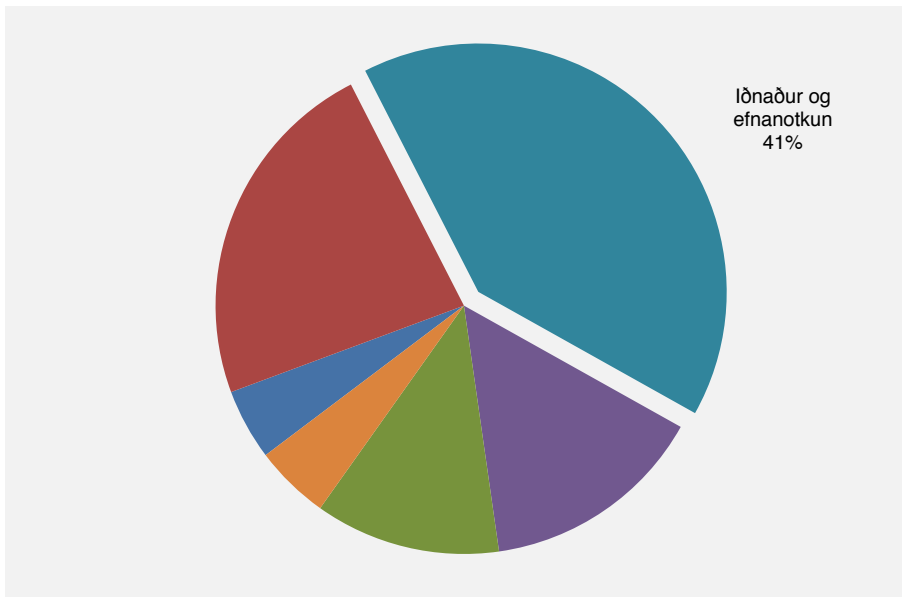
Iðnaður og efnanotkun er stærsti einstaki þáttur útstreymis á Íslandi, samtals 41% af heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2007. Þar af telja iðnaðarferlar 32,6% og eldsneytisnotkun í iðnaði 6,8%. Útstreymi frá iðnaði og efnanotkun hefur aukist um 64% síðan 1990. Útstreyminu er skipt í fimm flokka 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.

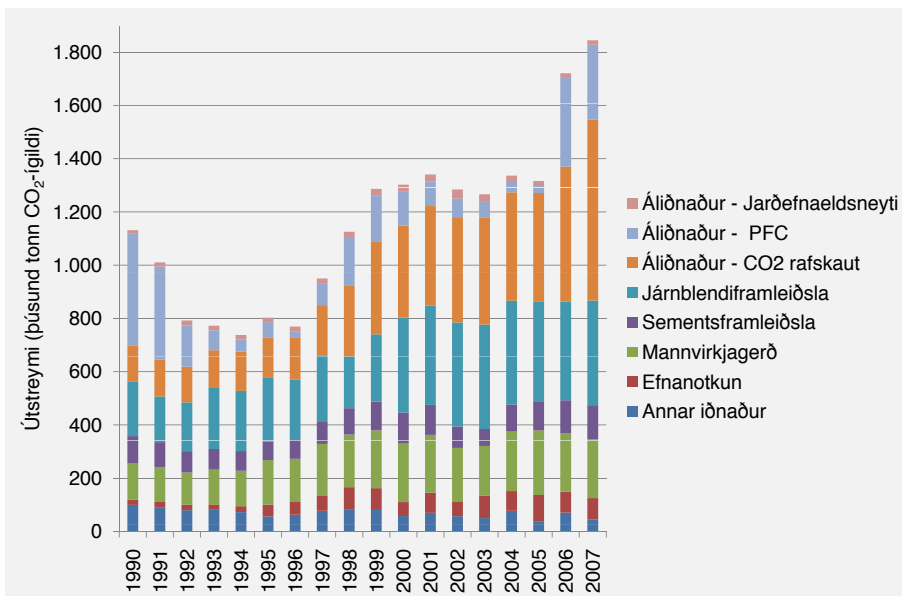
Þróun útstreymis frá 1990 til 2007 má sjá á mynd 4-32, en útstreymi frá geiranum jókst um 64% frá 1990 til 2007. Þar af jókst útstreymi vegna álframleiðslu um 71%, sementsframleiðslu um 25%, járnblendiframleiðslu um 91%, efnanotkunar 443% en frá öðrum iðnaði dró úr útstreymi um 55%. Útstreymi vegna mannvirkjagerðar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

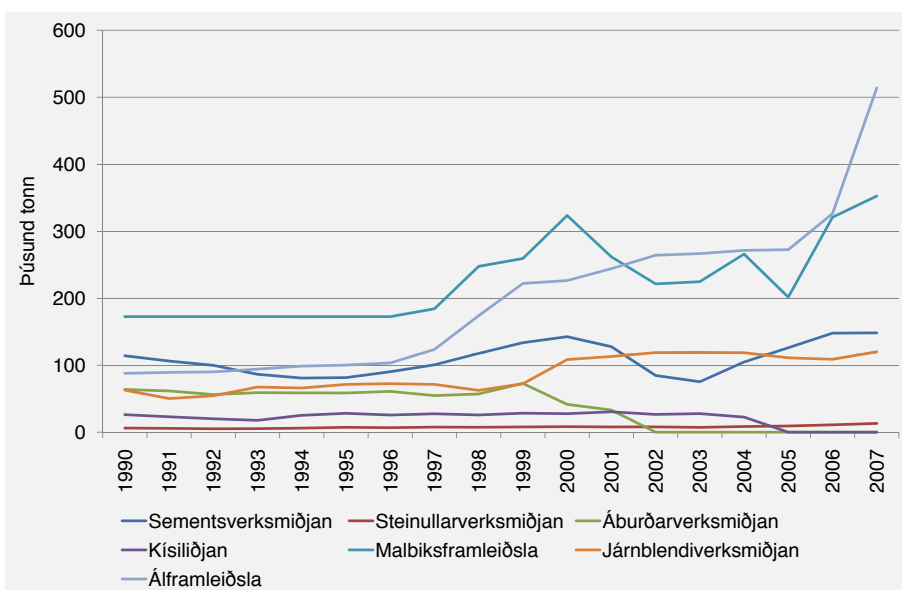
<sup>7</sup> Flokkurinn mannvirkjagerð felur í sér allt útstreymi vegna notkunar tækja, þ.e. stórvirkra vinnuvéla.



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



Mynd 4-32. Heildarústreymi 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.

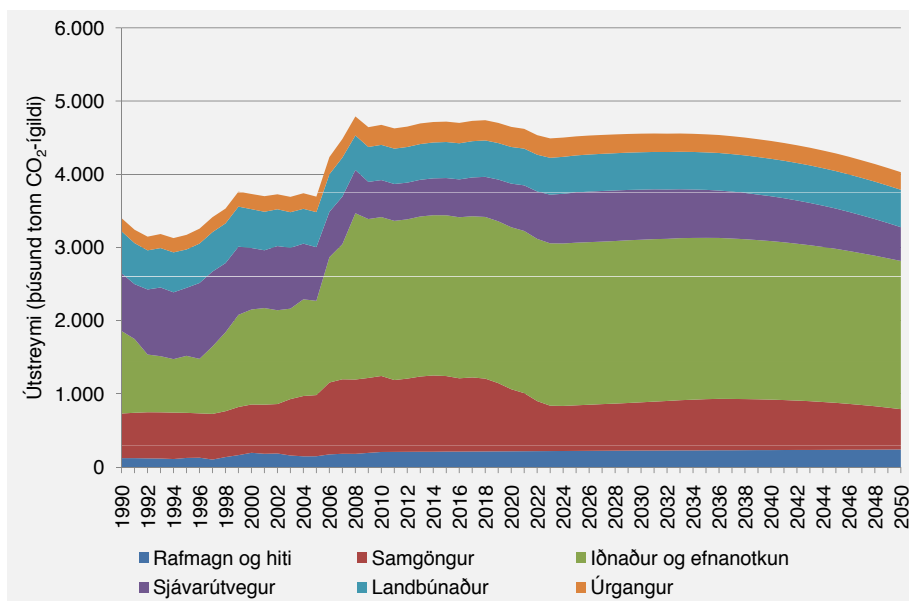
Samanlagt var útstreymi vegna iðnaðar og efnanotkunar um 1845 þúsund tonn koldíoxíð-ígilda, árið 2007. Þetta svarar til um 41% af heildarútstreymi Íslands. Samkvæmt útstreymisspám Umhverfisstofnunar er búist við að útstreymi frá iðnaði og efnanotkun geti aukist allt að 20% árið 2020, miðað við forsendur 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

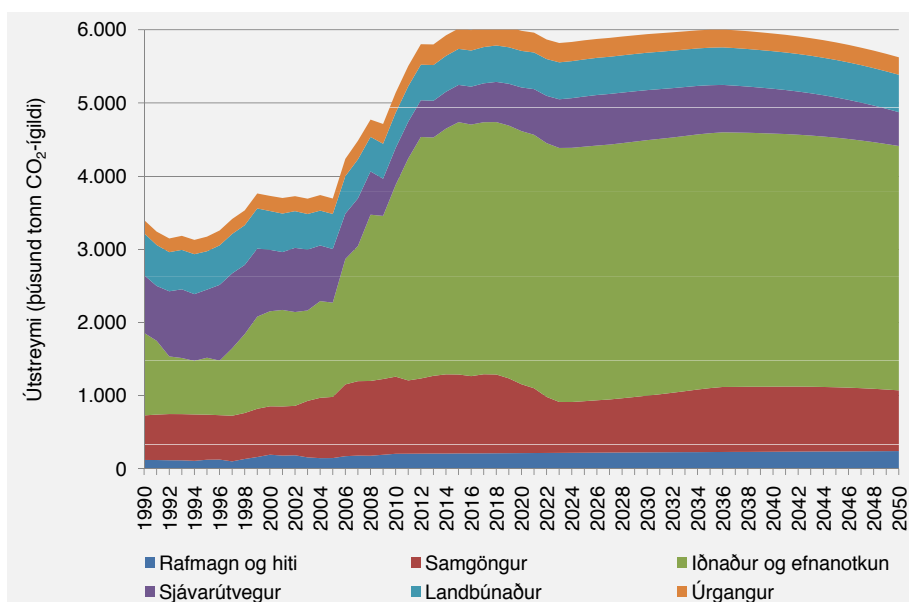
##### 4.4.2.1 Yfirlit

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 bakskaufs 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 10 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

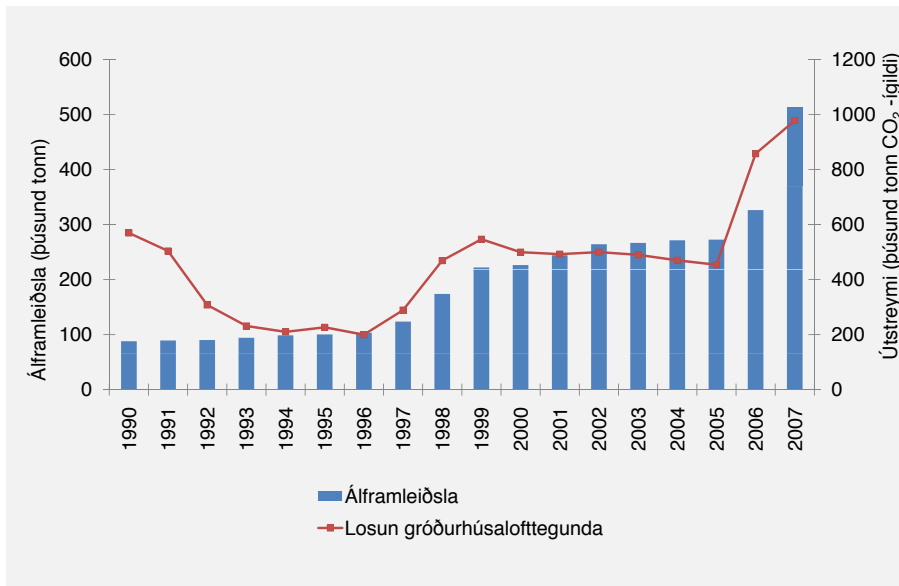
Hér á landi hefur álframleiðsla aukist jafn og þétt undanfarin ár. Útflutningur áls árið 1990 var um 88 þúsund tonn en var orðinn um 326 þúsund tonn árið 2006. Á sama tíma hafa útflutningsverðmæti aukist úr 9.587.065 m.kr. í 57.027.271 m.kr. Árið 2006 voru starfandi tvö fyrirtæki sem stunduðu þessa framleiðslu 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.

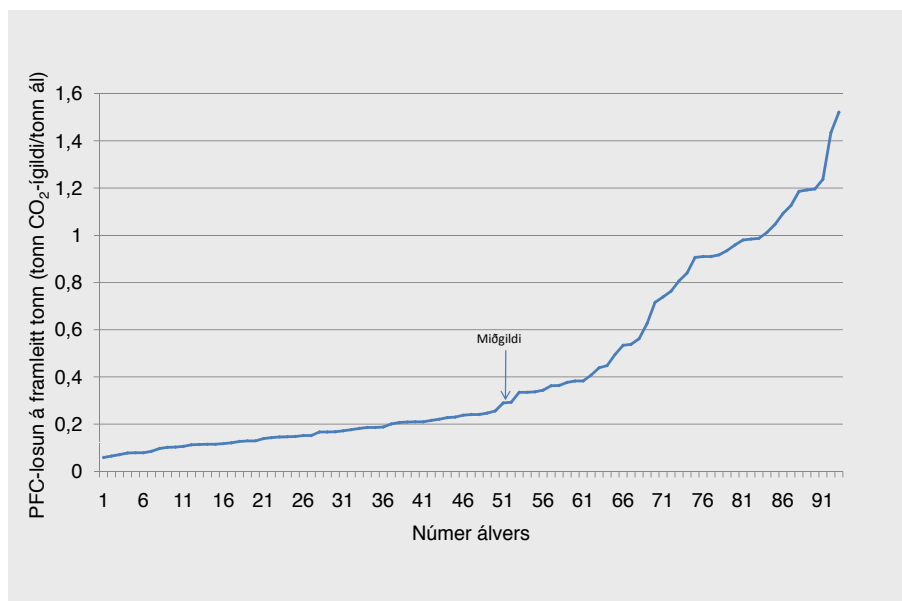
#### 4.4.2.3 Samanburður á útstreymi gróðurhúsalofttegunda

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<br>(tonn CO <sub>2</sub> -ígildi/tonn ál) | PFC<br>(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.

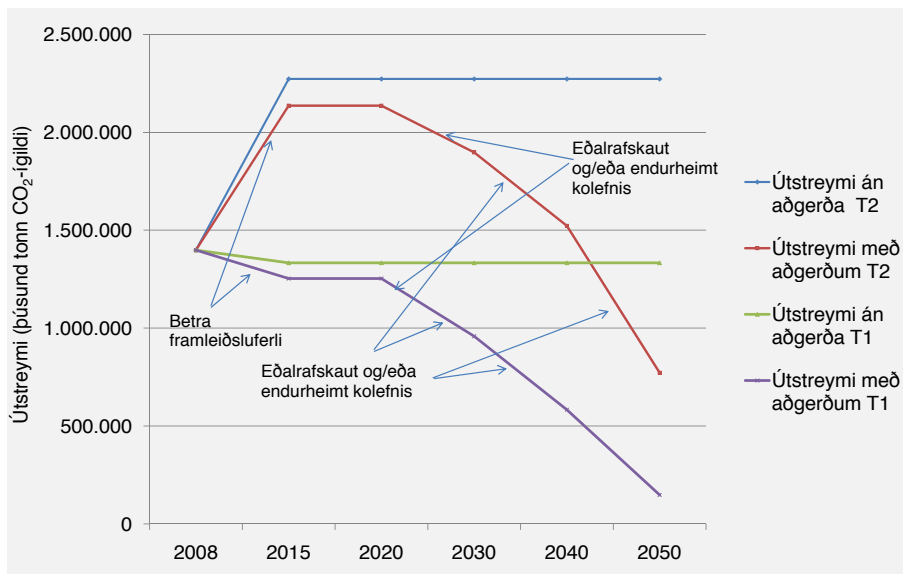
| Framleiðslu ferli                     | Einkenni  |
|---------------------------------------|---|
| Þurrkera tækni                        | Bakskaut nota TiB <sub>2</sub> . Skautbil for- og bakskauts má minnka niður í ~25 mm, sem gæti leitt til mun lægri spennu. Aðrir þættir væru óbreyttir frá núverandi 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

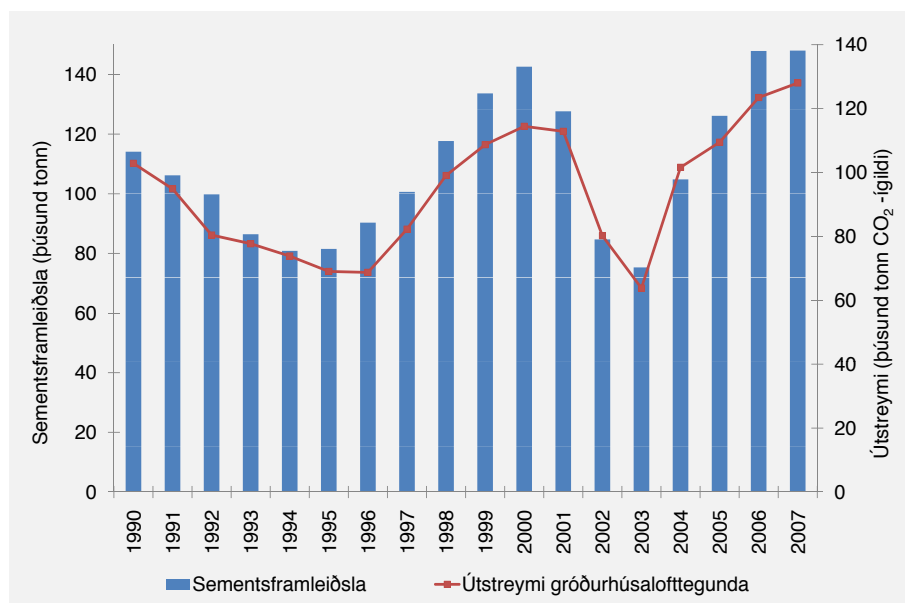
og 4–6% af kísilyrki. Kísilyrki er blandað í sementið til þess að varna skaðlegri alkaliþenslu í steypu og til þess að bæta aðra eiginleika sementsins. Kísilyrkið sem notað er í Sementsverksmiðjunni er aukaafurð járnblendiverksmiðjunnar á Grundartanga.

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.

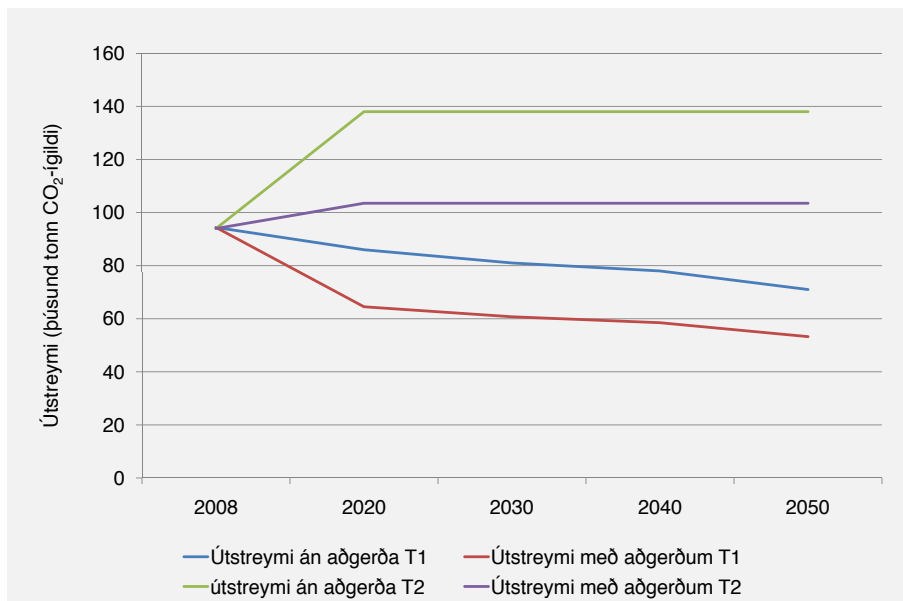
Verði tækjabúnaði verksmiðjunnar breytt þannig að hægt verði að nýta kolefnishlutlaust eldsneyti til helminga á móti kolakurli má búast við minnkun á útstreymi um 25% (sjá töflu 4-27 og mynd 4-40).

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<br>(þúsund tonn) | Útstreymi án aðgerða<br>(þúsund tonn) | Útstreymi með aðgerðum<br>(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 Járnblendi

Járnblendiverksmiðjan 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.

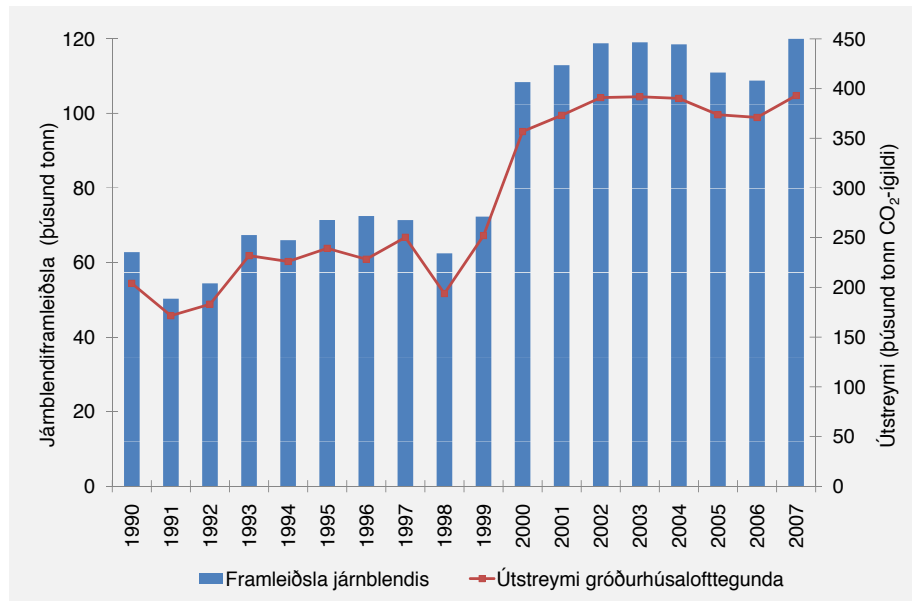
Kolefni er eitt af þeim hráefnum sem nauðsynleg eru til framleiðslu járnblendis. Kolefnið er fengið úr kolum, koksi, timburkurlu og frá rafskautum. Í ofnum járnblendiverksmiðjunnar hvarfast kvars og járngrýti við kolefni og mynda kísiljárn. Fljótandi kísiljárn er tappað úr ofnunum í deiglu og það svo stept í hleifa. Hleifararnir eru malaðir, efnið sigtað og þá er það tilbúið til útflutnings. Ofnarnir eru hálflokaðir 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.

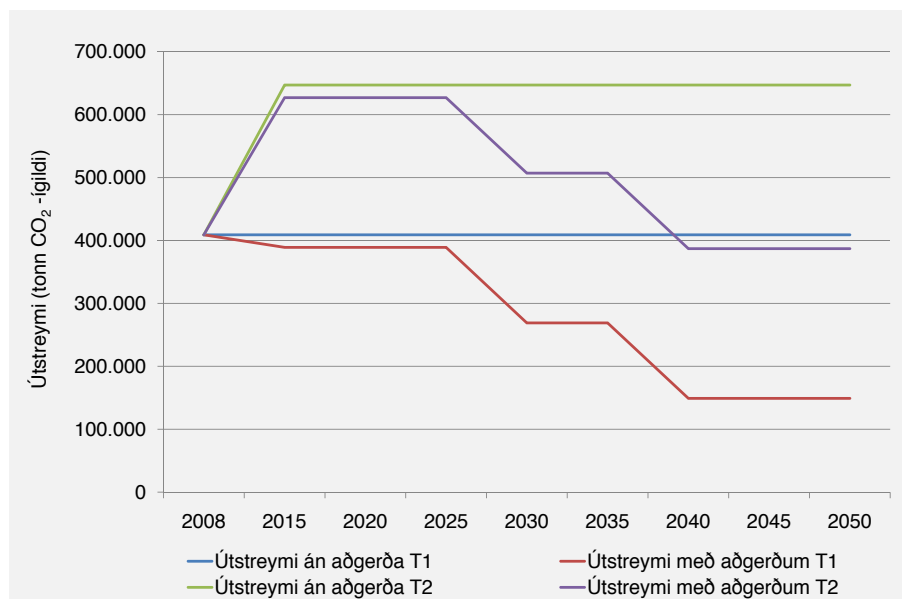
Í töflu 4-28 og á mynd 4-42 eru skoðaðar tvær leiðir, önnur sýnir útstreymi gróðurhúsalofttegunda við óbreytt ástand (bæði tilvik 1 og tilvik 2) en hin sýnir mögulega þróun verði gripið til þeirra aðgerða sem fjallað er um hér að framan. Til skemmri tíma er litið til aukinnar notkunar á viðarkurli og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

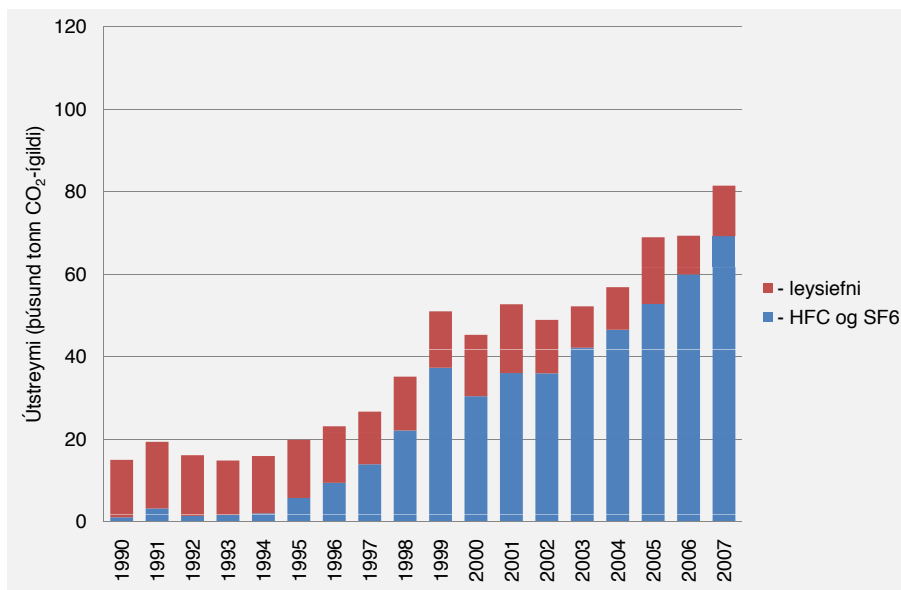
Unnið verður áfram að því að draga úr olíunotkun. Aukin notkun á timburkurli kallar á fjárfestingar í tækjabúnaði. Til þess að unnt sé að fara út í þá fjárfestingu verður að tryggja að nægjanlegt magn af timburkurli fáiast og að það uppfylli gæðakröfur. Til þess þarf samstarf söfnunaraðila og verksmiðjunnar. 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 járnblendiverksmiðjunni. Slíkt er hins vegar ekki stunduð í neinni járnblendiverksmiðju 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.

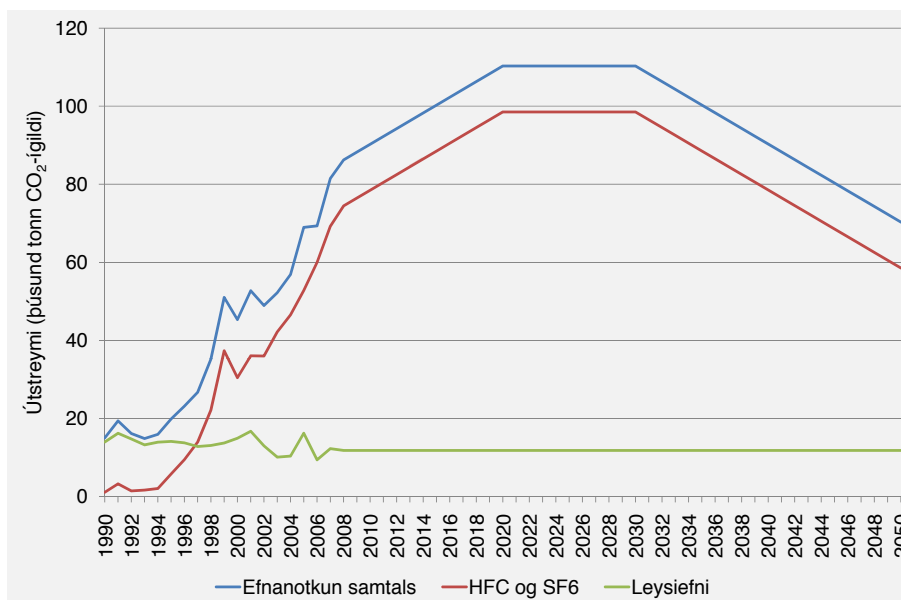
#### 4.4.5 Efnanotkun

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 lítil. 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 kælmiðla 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 kælmiðla 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.

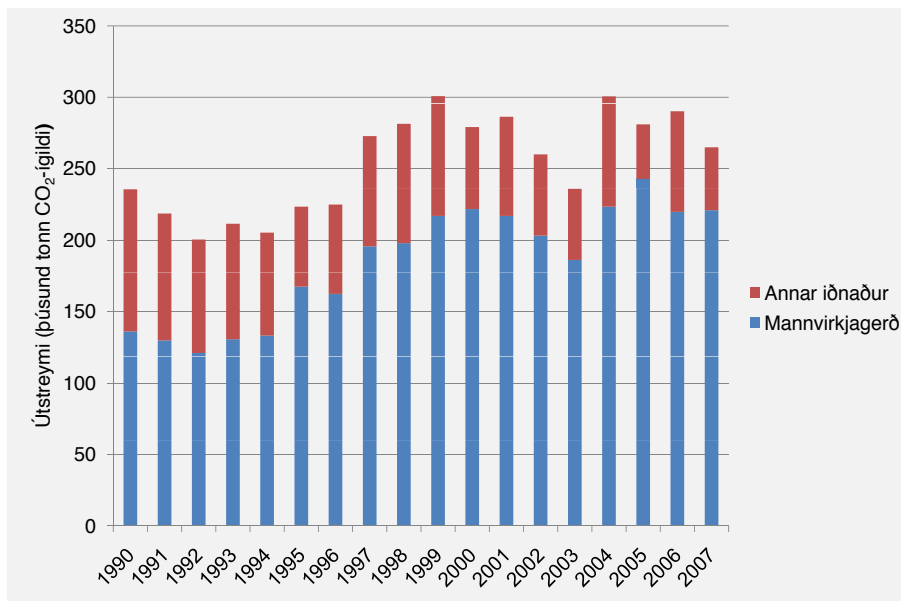
Útstreymi vegna mannvirkjagerðar jókst úr 136.000 tonnum CO<sub>2</sub> árið 1990 og í 221.000 tonn CO<sub>2</sub> árið 2007, sjá mynd 4-45, en aukið útstreymi má skýra með auknum framkvæmdum svo sem vegna aukinnar byggingastarfsemi og framkvæmda við virkjanir og stóriðju.

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.

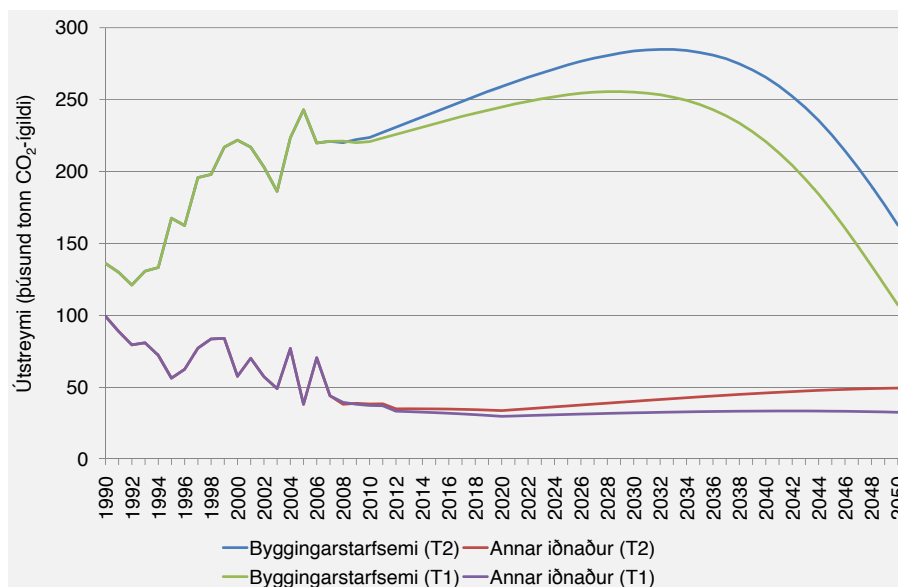
Útstreymisspá Umhverfisstofnunar fyrir mannvirkjagerð og annan iðnaði byggir á eldsneytisspá Orkuspárnefndar (mynd 4-46). Sem fyrr eru tvö spátílvik tiltekin; spátílvik 1 byggir á að núverandi framleiðslumagn haldist stöðugt, en í spátílviki 2 er gert ráð fyrir að framleiðslutölur aukist nokkuð. Umhverfisstofnun 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.

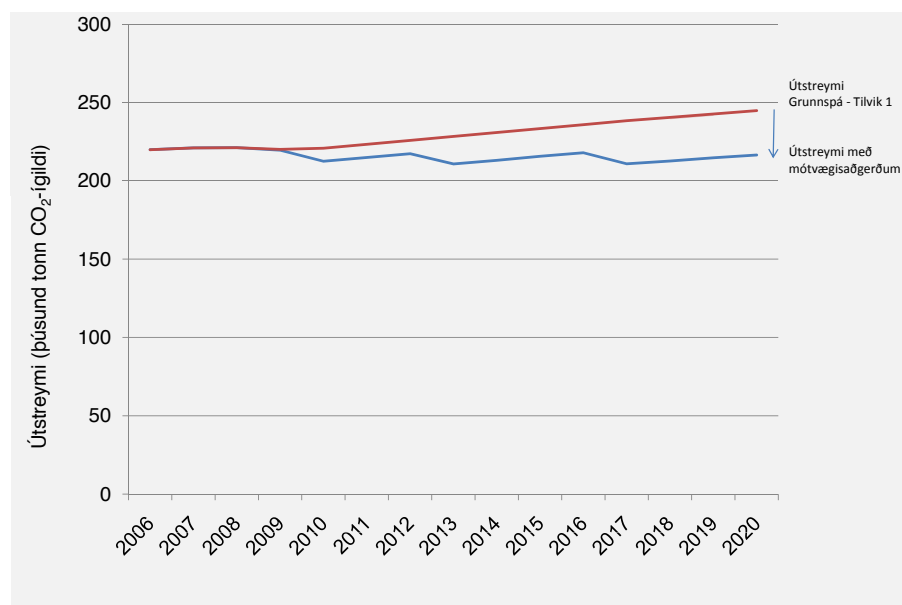
Við þá breytingu voru eldri tæki aflögð og í staðinn komu nýrri tæki með betri eldsneytisnýtingu. Frekari samdráttur ræðst af tækniþróun og endurnýjun tækjanna.

### Notkun lífdísilólíu

Lífdísilólía er esterar af fitusýrum sem unnin er úr lífrænni olíu. Hægt er að nota fiturík fræ, þörungum og jafnvel úrgangsfitu eins og notaða steikingarolíu. Ræktun olíuríkra þörungum er enn á þróunarstigi, en hins vegar er vitað að þörungar 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 dísilólíu 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.

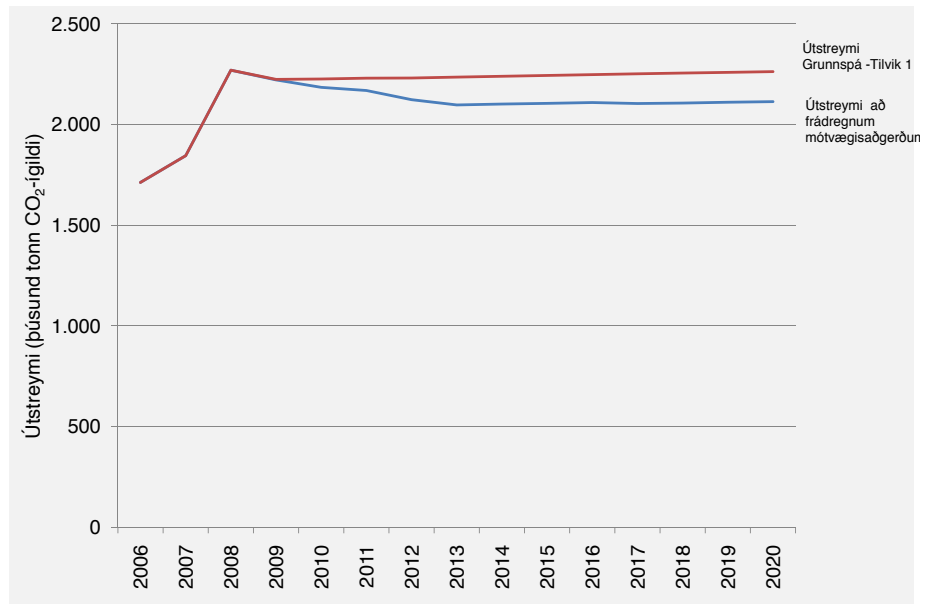
Fræðilega er mögulegt að fanga allan kolefnisútblástur úr járnblendisverksmiðjunni og nýta í tilbúið eldsneyti líkt og við jarðvarmaorkuverin. Þetta er langtímaverkefni sem kallar á umtalsverða rannsókn- og þróunarvinnu og kostnaður er alls óljós.

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.

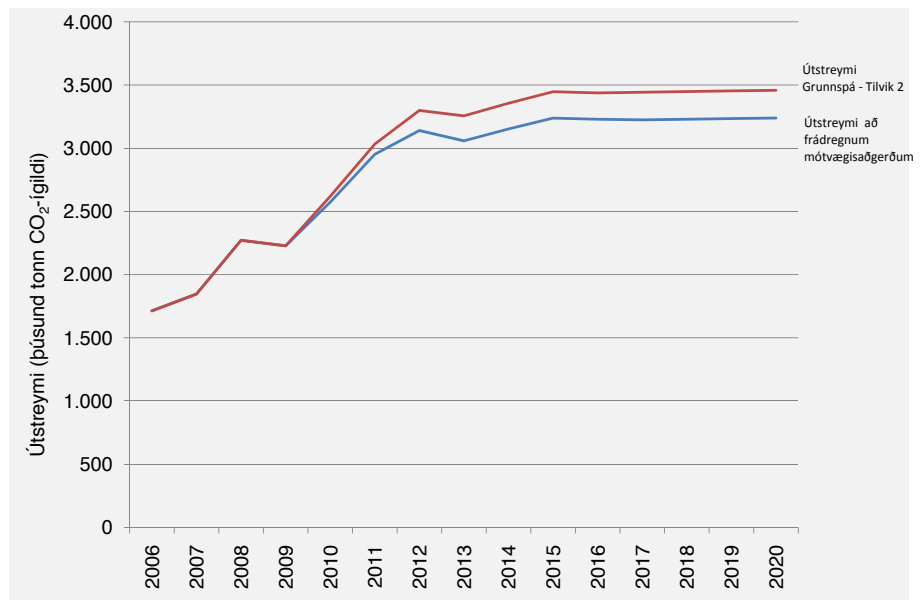
Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna mannvirkjagerðar stafar aðallega af olíunotkun á vinnuvélar og farartæki sem staðsett eru á framkvæmdasvæðum. Almennu eru þetta tæki sem eyða meiri olíu til vinnu en til aksturs. Eknar vegalengdir eru að jafnaði stuttar og innan svæðanna en eitthvað er þó um flutninga 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.

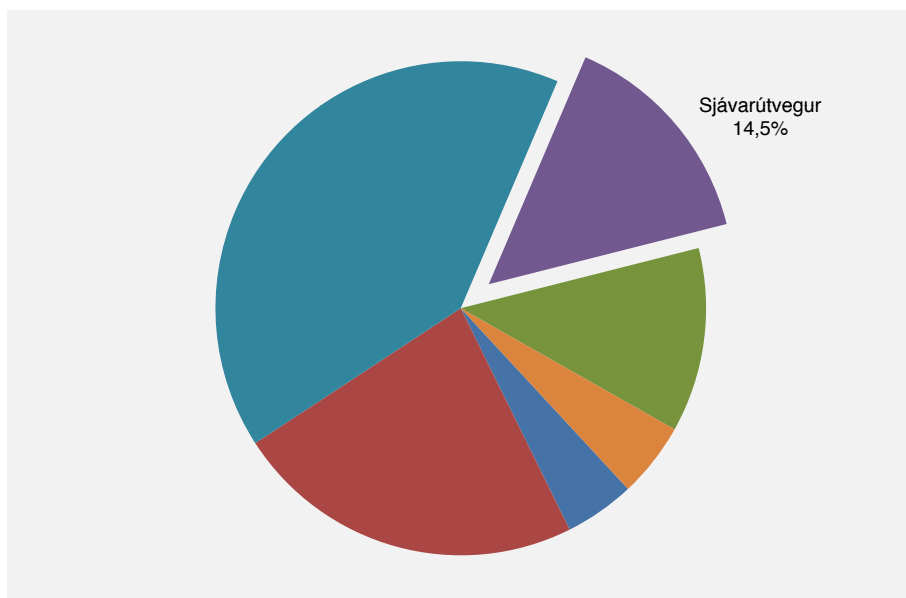
Flokkurinn **efnanotkun** skiptist í leysiefni og HFC efni og telur um 2% af heildarútstreymi Íslands. Upplýsingar um uppruna útstreymis frá þessum flokki eru brotakennndar og eru mögulegar mótvægisáðgerðir því ekki skoðaðar.

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).

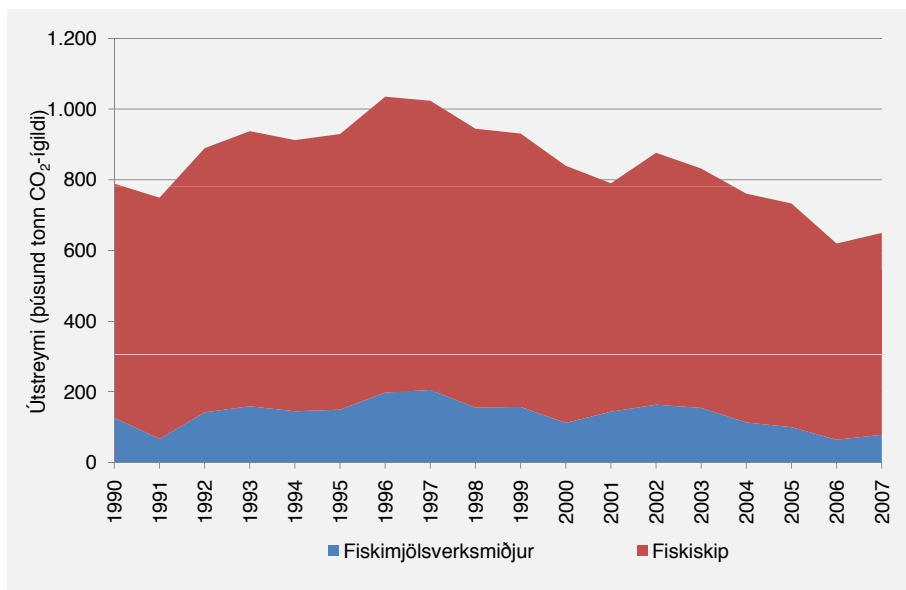
## 4.5 Sjávarútvegur

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.

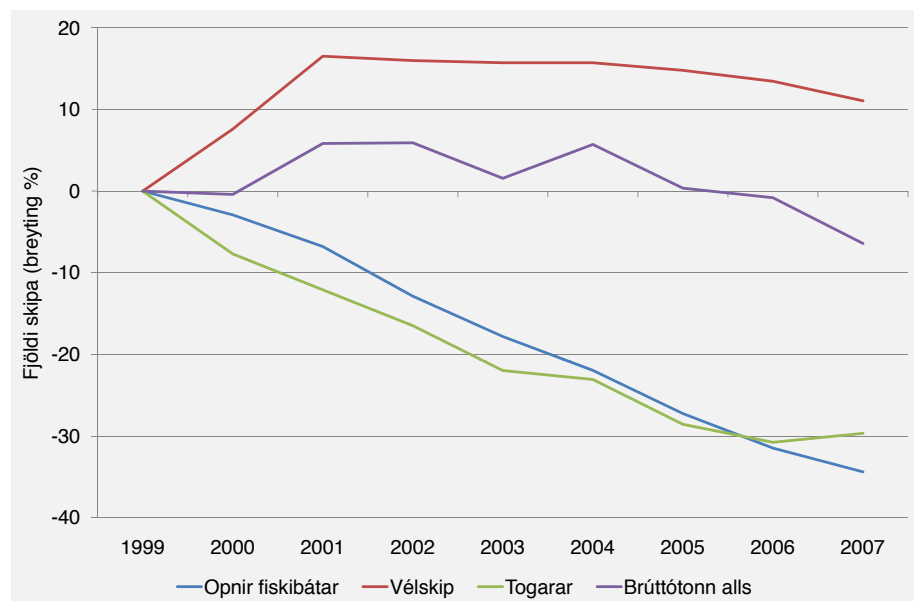
Árið 2007 voru í íslenska fiskiskipaflotanum 1.642 bátar og skip; 744 opnir fiskibátar, 834 vélskip og 64 togarar. Opnum fiskibátum og togurum fækkaði um 30% milli áranna 1999 og 2007. Vélskipum fjölgað hins vegar ört í byrjun þessa tímabils og náði fjöldi þeirra hámarki árið 2002 en þá voru þau 875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

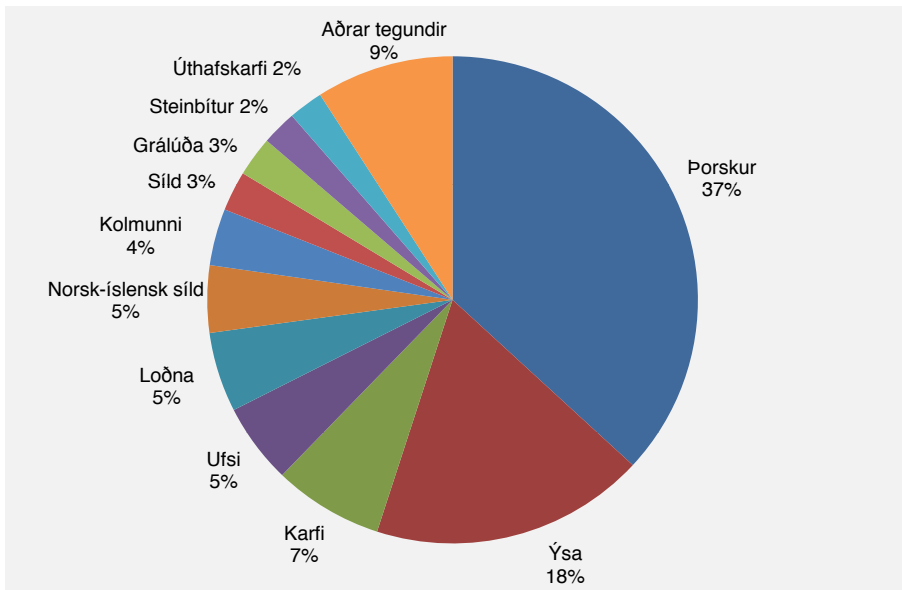
Stærstur hluti botnfiskaflans, 82%, fékkst með botnvörpu og með veiðum á línu; 13% fengust með net- og dragnótaveiðum. Uppsjávarfiskur var veiddur í flotvörpu (55%) og nót (45%). Flatfiskaflinn, aðallega grálúða, skarkoli og þykkvalúra, fékkst í botnvörpu (63%) og dragnót (33%) (Hagstofa Íslands).

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

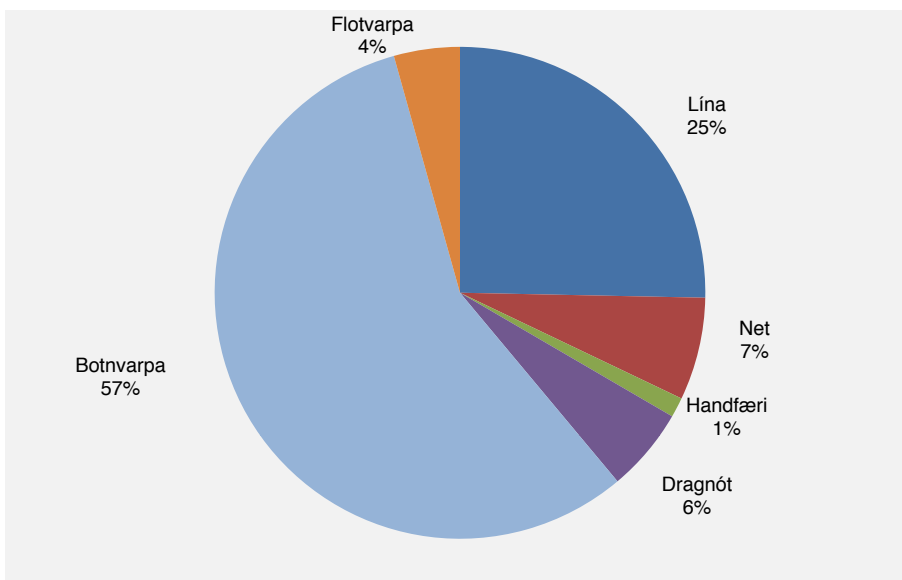
Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum er að mestu leyti koldíoxíð sem verður vegna olíunotkunar en einnig er lítilsháttar útstreymi HFC efna sem leka frá kæli- og frystibúnaði um borð í skipunum. Útstreymi HFC efna í sjávarútvegi er þó ekki talið með innan sjávarútvegsgeirans heldur fellur 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



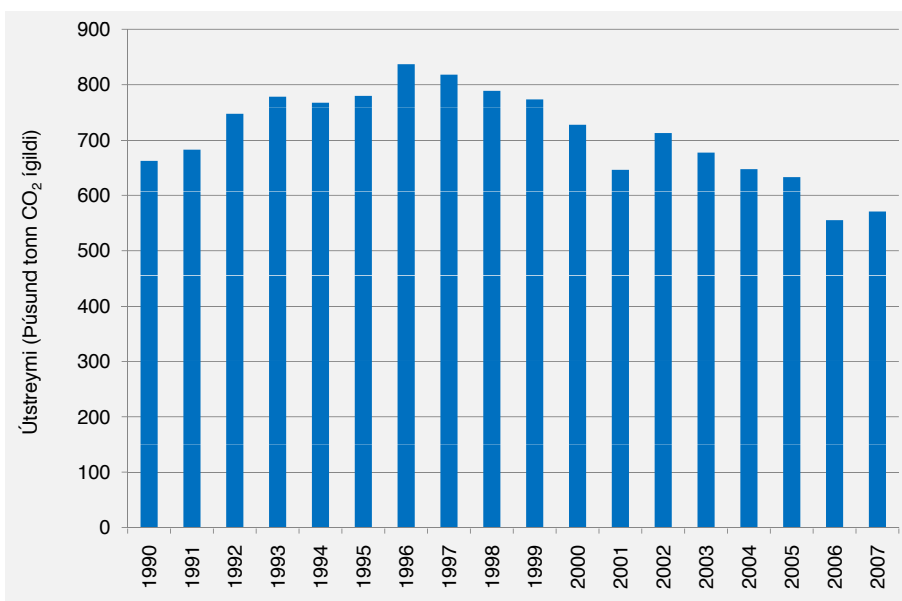
Mynd 4-52. Hlutfallsleg breyting í fjölda fiskiskipa og stærð fiskveiðiflotans (bt) árin 1999 – 2007 (Hagstofa Íslands).



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<br>kg olíu/kg fisks | Olíunotkun árið 2004<br>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**<br>kg/kg | Ísland*<br>kg/kg | Munur<br>% |
|---------------------|--------------------|------------------|------------|
| 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.

\*\* Energireducerende 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.

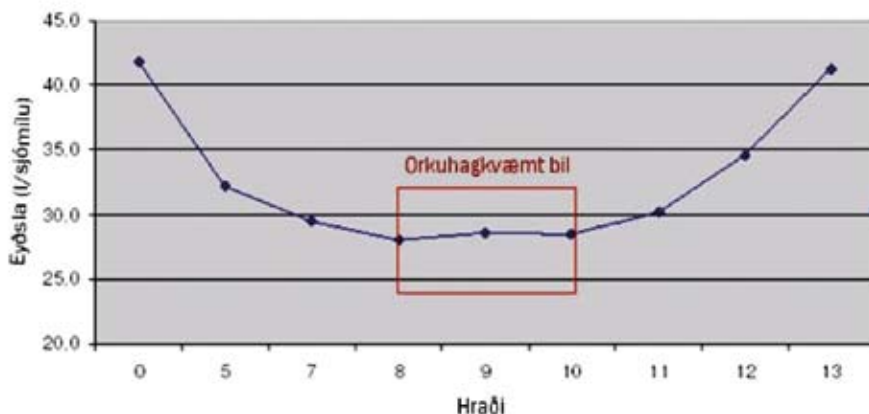
Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins ásamt samstarfsaðilum stóð að verkefninu Orkuspar á árunum 2001–2003. Markmið verkefnisins var að þróa orkuhermi sem gæti gefið visbendingar um leiðir til að minnka olíunotkun hjá fiski og flutningaskipum. Hermirinn hefur verið notaður í kennslu við Fjöltækniskólann (nú 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).

Veifarferum má skipta í tvo flokka: kyrrstæð veifarferi og hreyfanleg veifarferi. Í fyrrnefnda flokknun eru t.d. net og lína. Í seinni flokknun eru m.a. dregin veifarferi t.d. botnvarpa og umliggjandi veifarferi, svo sem hringnót. Litla orku þarf til að setja út og sækja afla í kyrrstæð veifarferi, en mikla orku þarf til að draga veifarferi, t.d. botnvörpu, og því eru orkunotkunarstuðlar mun hærra fyrir slík veifarferi (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 veifarfera má sjá í töflu 4-36, sem sýnir olíunotkunarstuðla fiskiskipa eftir veifarferum 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 veifarferum fyrir orkugrennri, ii) endurhönnun núverandi og hönnun nýrra veifarfera.

#### Aukin notkun orkugrennri veifarfera

Eins og komið hefur fram fer mikil orka í að draga botnvörpu og gætu orkugrennri veifarferi, 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 veifarferi 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<br>kg olíu/kg fisks | Vélskip<br>kg olíu/kg fisks | Skuttogarar<br>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: heppilegir 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 aflvélinu og skráfunu.

### **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 skráfunu 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 skráfunu 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 rannsókn 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 ríkjá. 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.

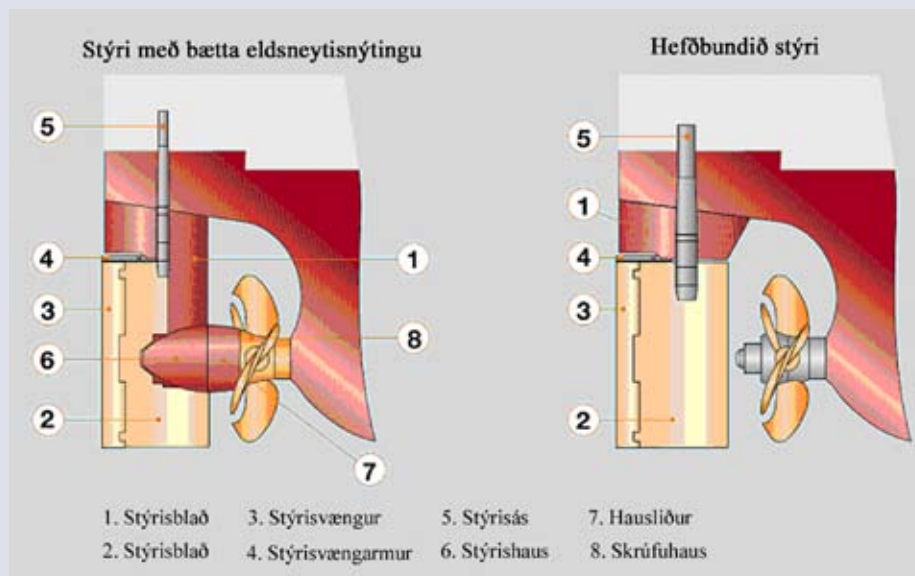
| Aldur     | Fjöldi |
|-----------|--------|
| 0-4 ára   | 0      |
| 5-9 ára   | 3      |
| 10-19 ára | 18     |
| 20-29 ára | 16     |
| 30-39 ára | 26     |
| Samtals   | 63     |

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 skrífuhousinn er felldur inn í blaðið og hefðbundið skrífuþlað 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 stokkunum 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 tímaramminn 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 bundinn 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 orkufræk 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 náninni 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 Orku- spárnefndar.

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 uppsjárveiðiskipum – 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<br>Orkustjórnun<br>Veifaræri<br>Skipti til orkugrennri<br>Núverandi endurbætt<br>Ný hönnun | 15 (2020)<br>5-10<br>2 -7<br>20-50 (til lengri tíma) | -23.600                               |
| Hönnun skipa<br>Skrúfa<br>Annað  | 1<br>Óvíst   | 11.900                                |
| Tækjabúnaður   | Óvíst  | Óvíst                                 |
| Framleiðsla rafmagns með afgasi  | 1-3  | Óvíst                                 |
| Loftslagsvænni orkugjafar*   |  |                                       |
| Jurtaolía í stað svartolíu   | 17 (hæg)<br>24( hröð)                                | 2.900<br>5.200                        |
| Jurtaolía í stað gasolíu   | 27 (hæg)<br>53 (hröð)                                | 4.400<br>4.500                        |
| Lífðisill  | 10 (hæg)<br>13 (hröð)                                | 7.850<br>7.900                        |
| Tilbúin gasolía  | 10 (hæg)<br>24 (hröð)                                | 9.400<br>9.600                        |
| DME  | 10 (hæg)<br>25 (hröð)                                | 15.200<br>15.200                      |
| Lífmetan   | 10 (hæg)<br>25 (hröð)                                | 8.650<br>8.700                        |
| Vetni  | 6 (hæg)<br>12 (hröð)                                 | 26.500<br>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.

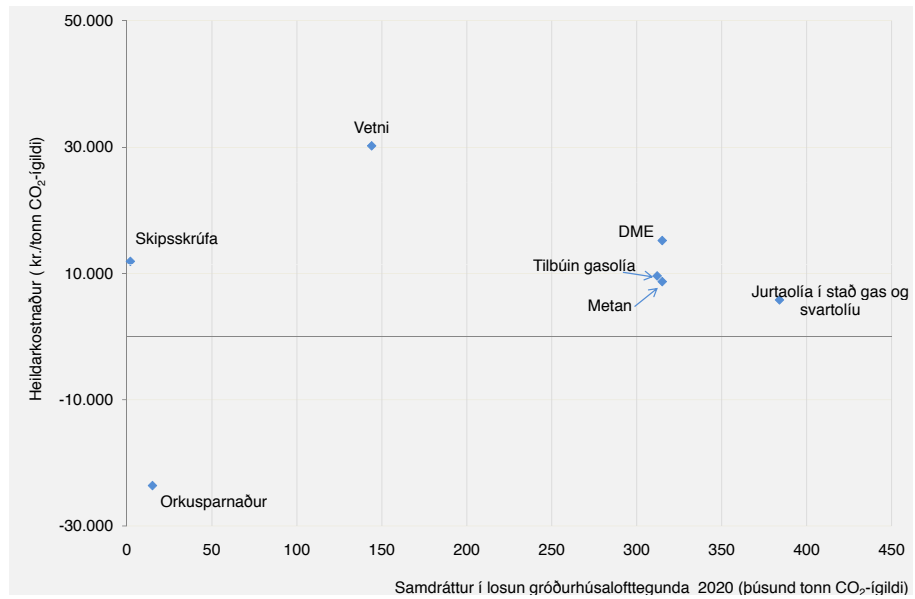
Tafla 4-38. Samanburður á möguleikum til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá fiskveiðum.

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).

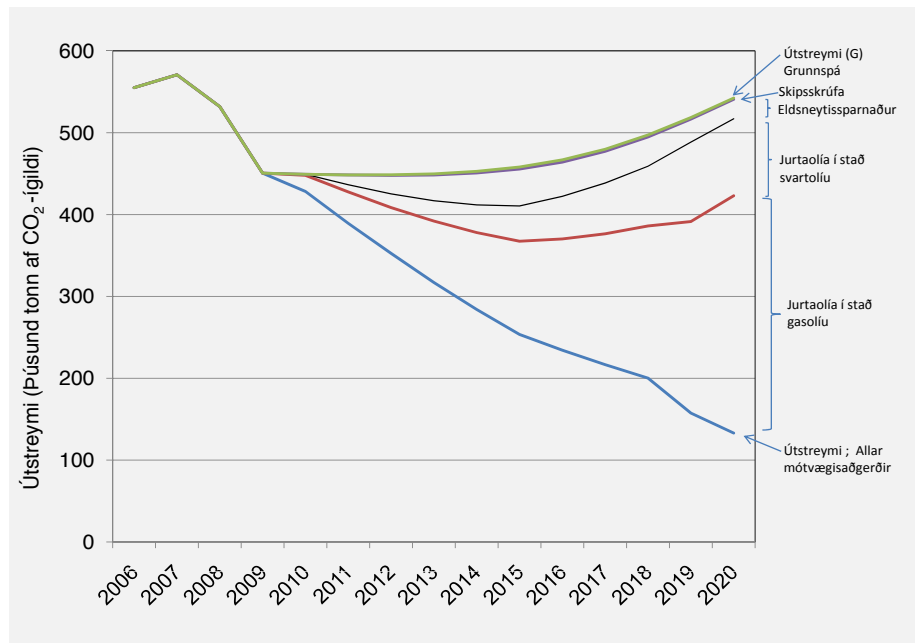
Gera má ráð fyrir að hreinn ávinningur fylgi því að auka fræðslu og endurbæta veiðarfæri og notkun þeirra, en kostnaður við að skipta um skrúfu gæti aftur á móti numið um 120 milljónum kr. á hvert skip, eða um 1,2 milljörðum kr. fyrir öll þau skip er til greina koma. Kostnaður við að skipta um orkugjafa 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>-ígjöldi).



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<br>kg/tonn | Raforku-<br>notkun<br>kWh/tonn | CO <sub>2</sub><br>losun<br>kg/tonn | SO <sub>2</sub><br>losun<br>kg/tonn | Mótttekið<br>hráefni<br>tonn | Hlutfall<br>hráefnis<br>% |
|--|--------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Verksmiðjur,kaupa<br>ótrygga raforku       | 7      | 25                     | 245                            | 82                                  | 0,97                                | 517.173                      | 71                        |
| Verksmiðjur, kaupa ekki<br>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<br>(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.

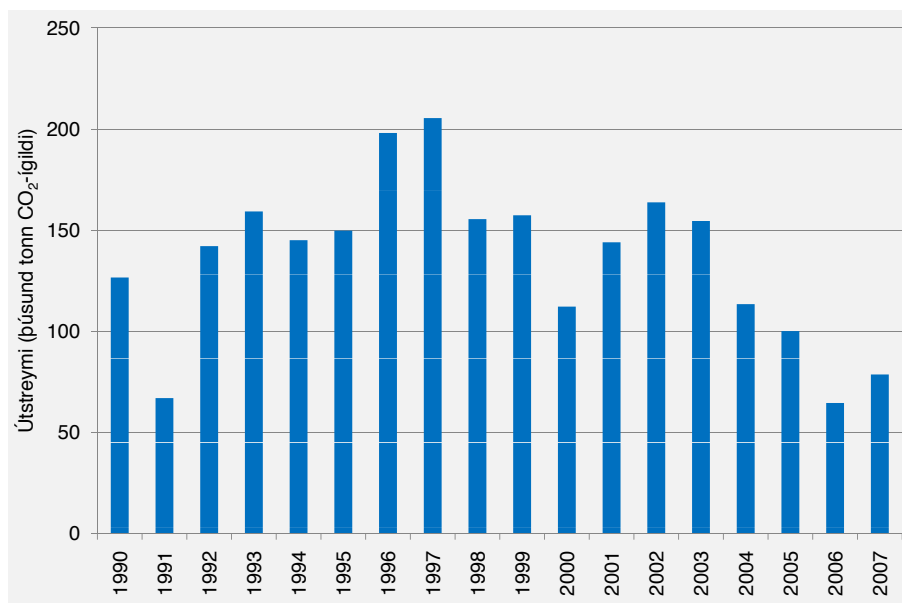
Heildarútstreymi frá fiskmjölsverksmiðjum minnkaði um 37% milli árana 1990 og 2007. Útstreymið hefur þó verið sveiflukennt á tímabilinu, en heildarútstreymi stjórnast að miklu leyti af þeim afla sem komið hefur á land til bræðslu. Til dæmis minnkaði útstreymi um helming á þriggja ára tímabili þegar hráefni 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.



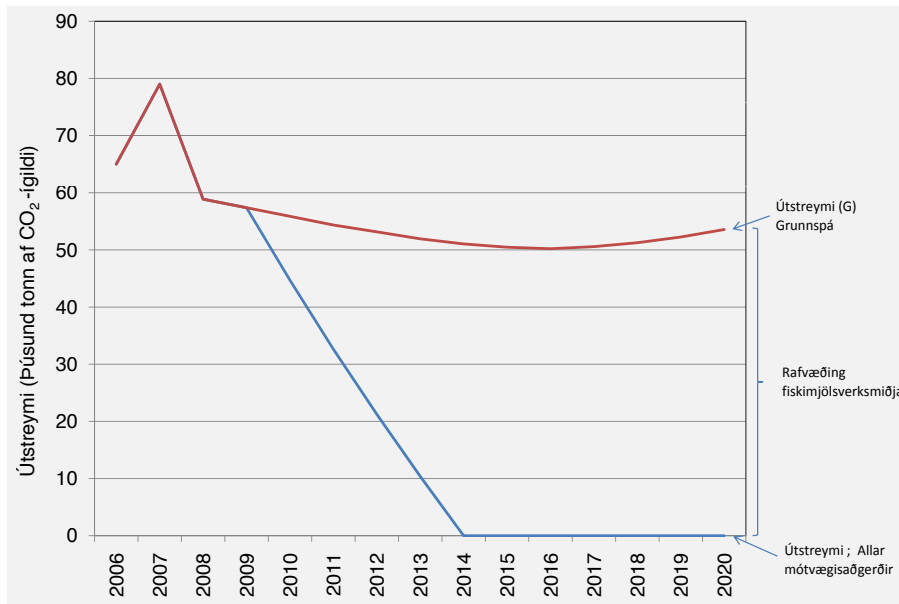
Í Vinnslustöðinni í Vestmannaeyjum t.d. hefur afgangswarmi einmitt verið notaður til þess að hita upp húsnæði Vinnslustöðvarinnar og síðan 2003 hefur verksmiðjan verið tengd hitaveitunni í Vestmannaeyjabæ. Þegar vinnsla er í gangi í verksmiðjunni hitar verksmiðjan upp bakrásarvatn fyrir hitaveituna og 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. Olíukatlarirnir 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 olíukötluð 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 engrar 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:

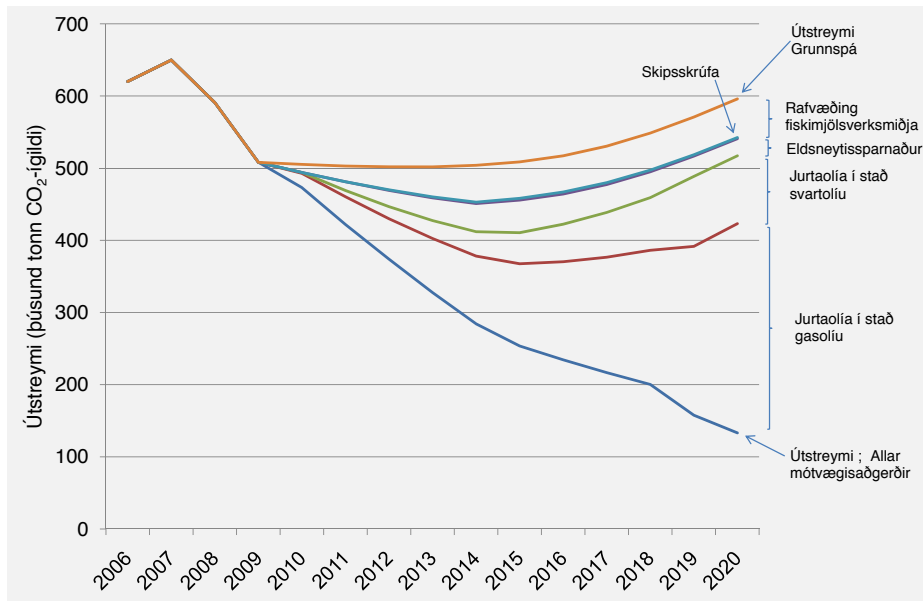
|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| Rafhitun fyrir loftþurrkara | 40 milljónir |
| Efnaturn til lykteyðingar   | 15 milljónir |
| Skorsteinn 40 til 50m hár   | 15 milljónir |

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.

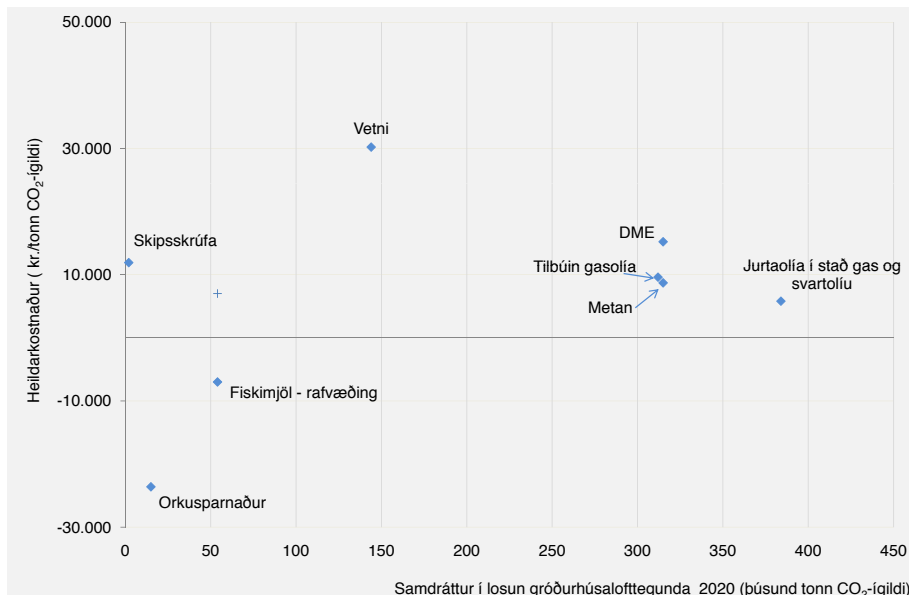
Kostnaður við að breyta öllum helstu fiskimjölsverksmiðjum landsins þannig að þær noti ekki lengur olíu gæti því numið um 1,3 milljörðum kr. Á móti kemur umtalsverður sparnaður þar sem mun ódýrara er að nota ótryggt rafmagn en olíu. Árið 2007 er áætlað að þessi sparnaður hafi numið um 500 kr. á hvert 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.



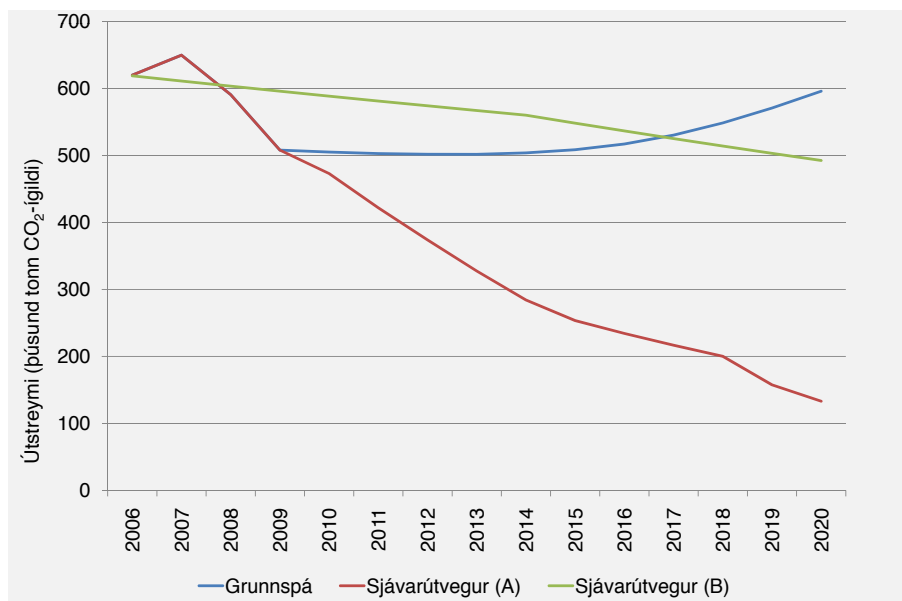
Mynd 4-62. Samanburður á mótvægisáðgerðum í sjávarútvegi

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.



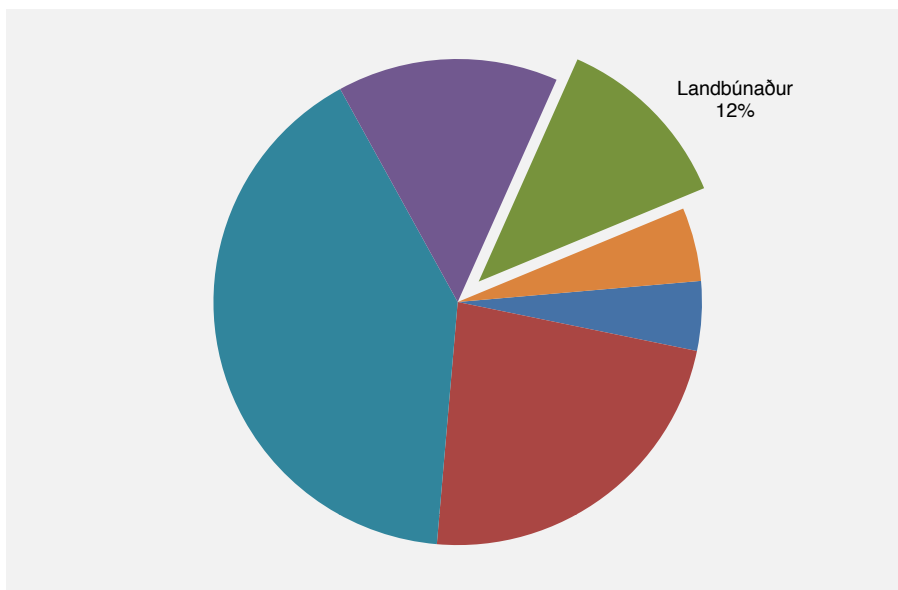
Loftslagsnefnd sjávarútvegsins setti nýlega fram sína eigin spá um mögulega minnkun á útstreymi. Mynd 4-63 ber saman niðurstöður sviðsmyndar sem sett var fram hér að framan (sviðsmynd A), og sviðsmynd loftslagsnefndar sjávarútvegsins (sviðsmynd B). Munurinn á þessum tveimur sviðsmyndum ræðst af mismunandi 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

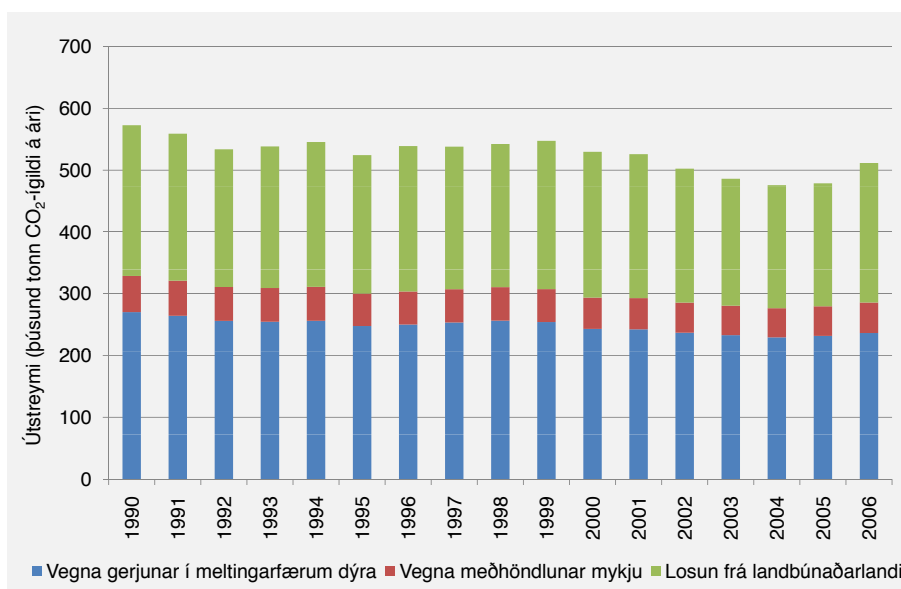
### 4.6.1 Yfirlit

Uppruni gróðurhúsalofttegunda í landbúnaði eru útstreymi vegna skepnuhalds og landbúnaðarlands.

Útstreymi metans ( $\text{CH}_4$ ) frá meltingarfærum dýra kemur einkum frá jörturdýrum, s.s. nautgripum og sauðfé, en einnig frá sumum einmaga dýrum s.s. hestum og svínum, 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 jörturdýra. Íslensku búfjárkynin, kýr, sauðfé og hestar, eru á hinn bóginn mun minni en þau kyn sem stuðlar IPCC eiga að endurspeglar. 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 endurspeglar 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

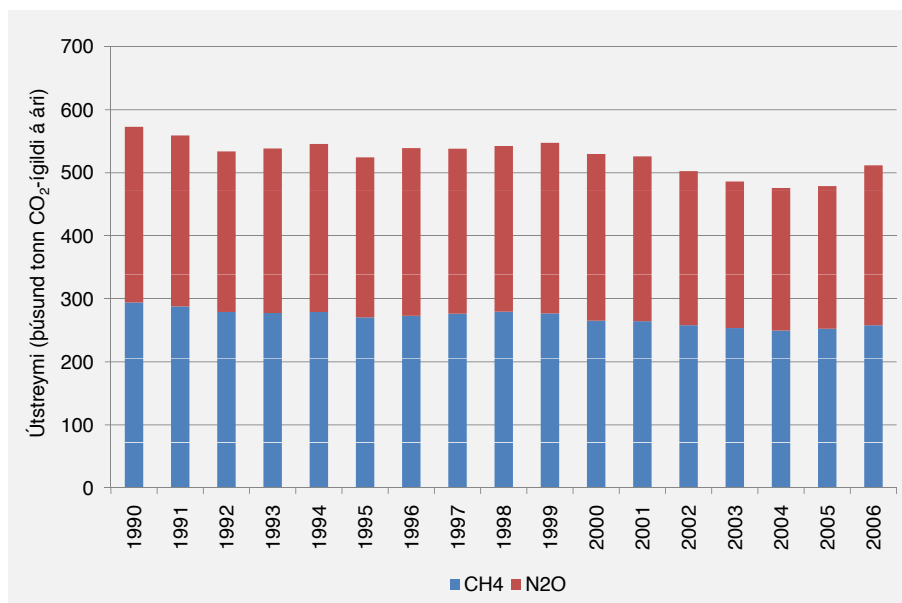


Mynd 4-65. Heildarútsreymi frá landbúnaði, reiknað sem CO<sub>2</sub>-ígildi, flokkað eftir tegund útsreymis (Umhverfisstofnun National Inventory Report, Iceland 2008).

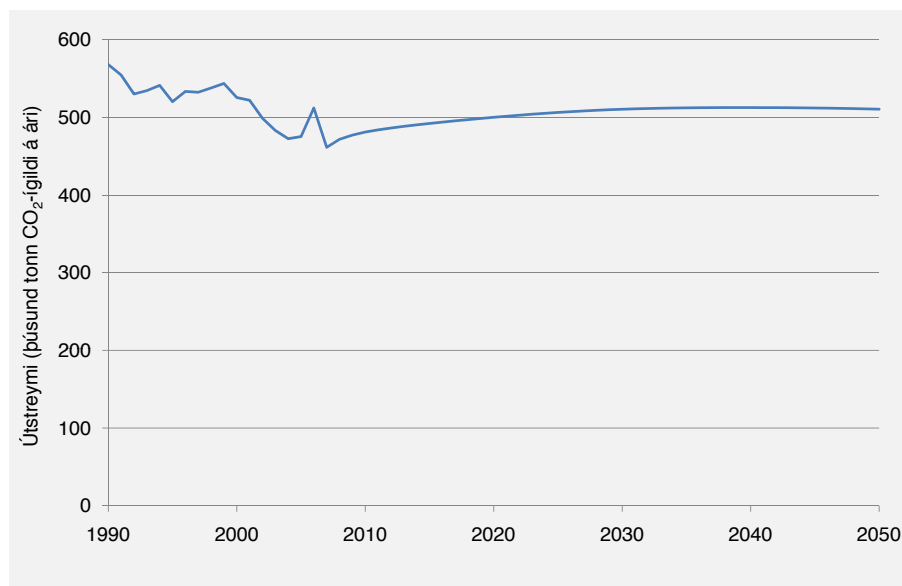
ræða staðlaðar áætlanir sem byggja á stuðlum frá IPCC fyrir útsreymi CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O vegna útsreymi frá meðhöndlun mykju. Stuðst er við stuðla frá IPCC við matið ásamt innlendum stuðlum um magn köfnunarefnis í búfjáraburði. Ekki hefur verið metið að hve miklu leyti stuðlar frá IPCC endurspeglar 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.

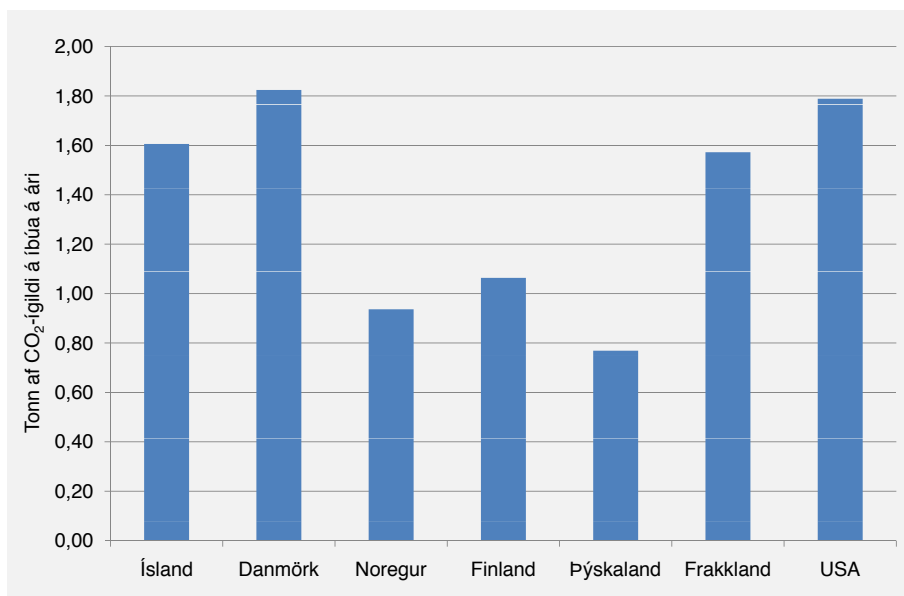


sýnir útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá landbúnaði eftir tegund útstreymis reiknað sem CO<sub>2</sub>-ígildi.

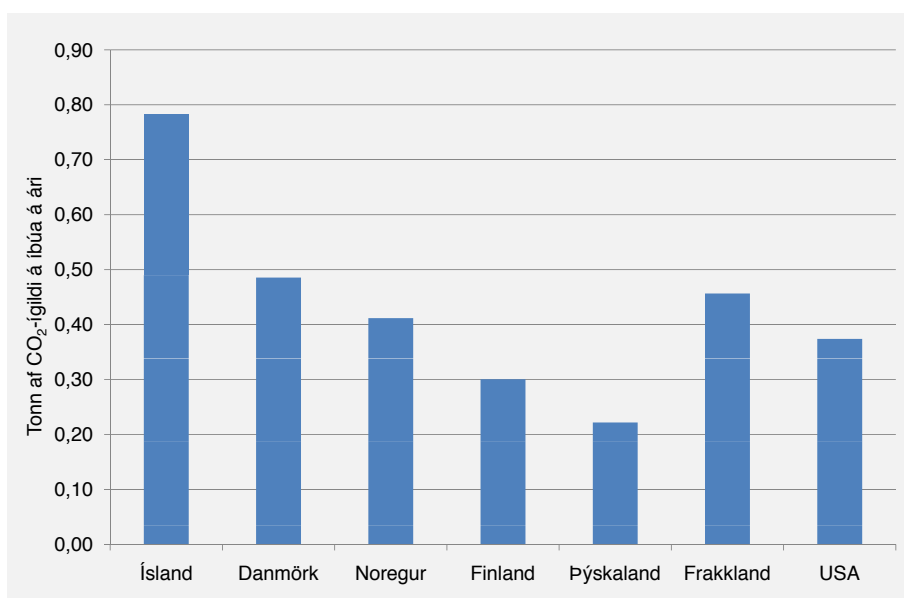
Gróðurhúsalofttegundir sem myndast í landbúnaði eru metan (CH<sub>4</sub>) og hláturgas (N<sub>2</sub>O). Mynd 4-66 sýnir samsetningu útstreymisins eftir lofttegund.

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 fódrun (Giger-Reverdin o.fl. 2003, Mills o.fl. 2001). Þetta er gert með því að auka styrk fódrunar, 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 rokgyarnra 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 búfjánaði (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.

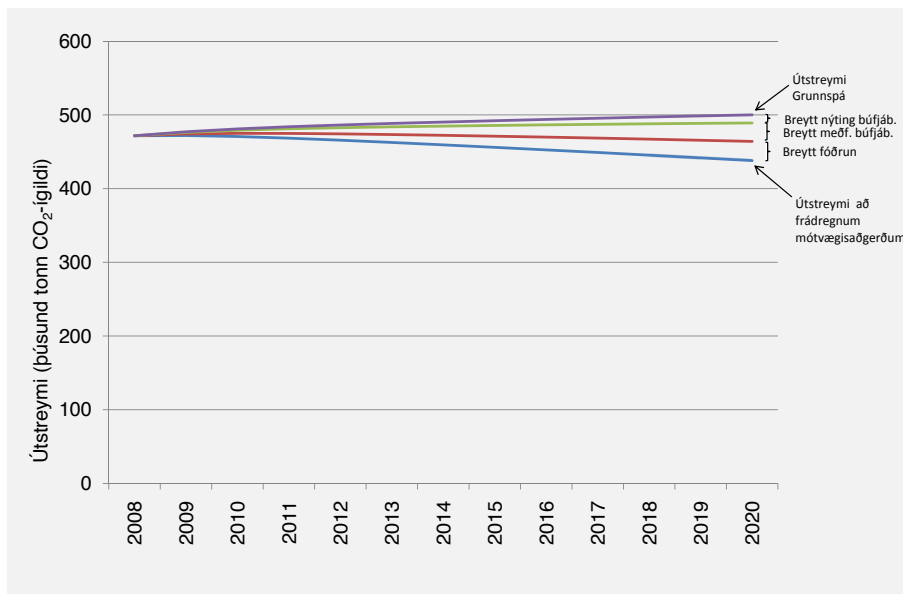
Mynd 4-70 sýnir þróun á útstreymi frá þessum málaflokki miðað við að ráðist verði í þær aðgerðir sem lagðar eru til hér að framan og að þeim verði öllum lokið árið 2020.

#### 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 hækkanir 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

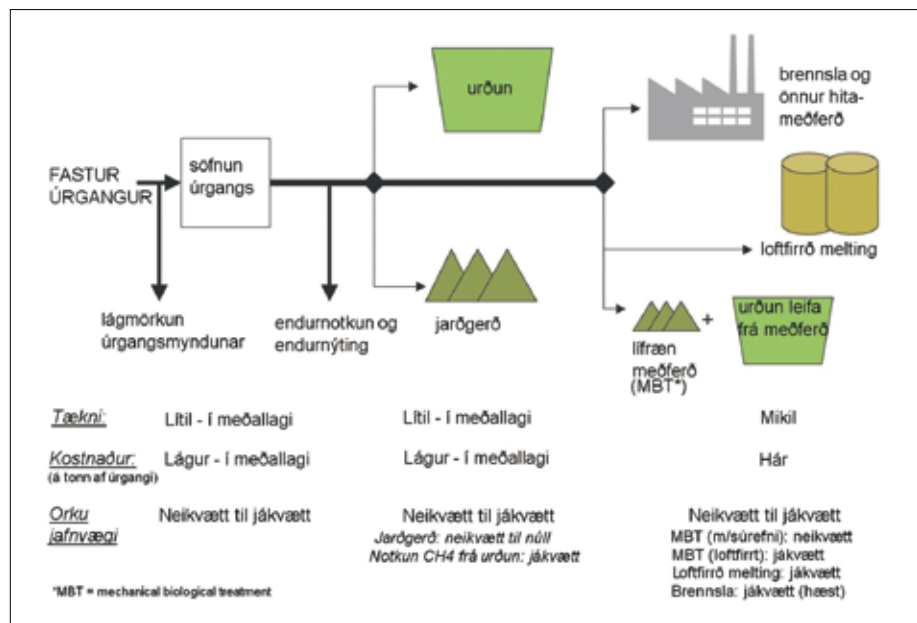
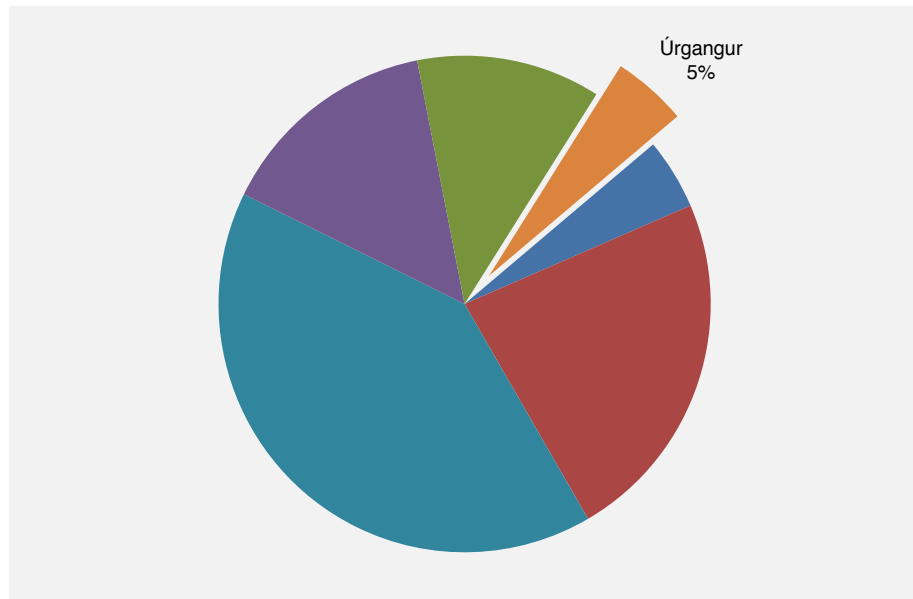
### 4.7.1 Yfirlit

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 hérlandis 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 loftfirrt og losnar þá metan, CO<sub>2</sub> og N<sub>2</sub>O. Hérlandis 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 brennsla 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.

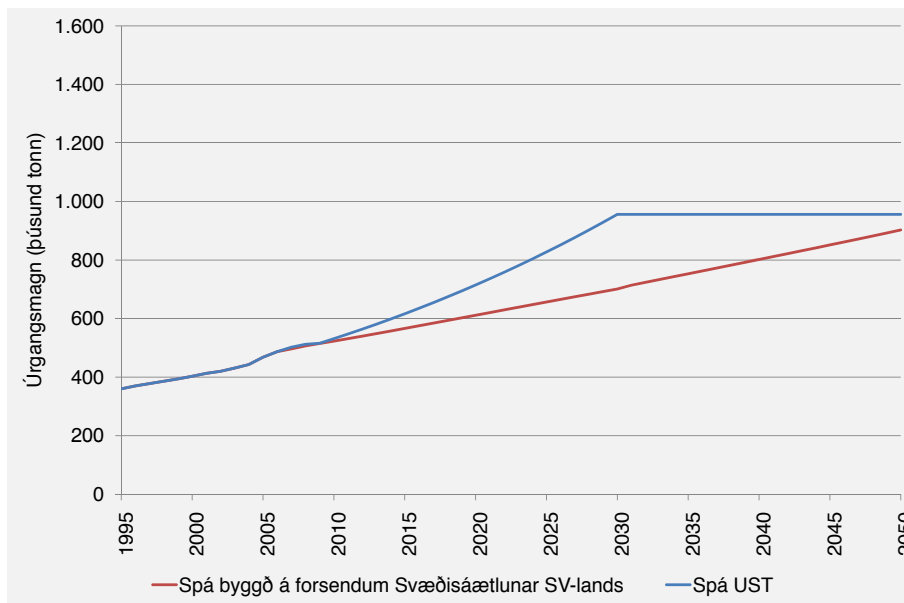
#### 4.7.1.3 Spár um þróun úrgangsmagns

Í spá Umhverfisstofnunar, sem stuðst er við er gert ráð fyrir 0,6% aukningu á úrgangi á íbúa á ári og notuð fólksfjöldaáætlun 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%).

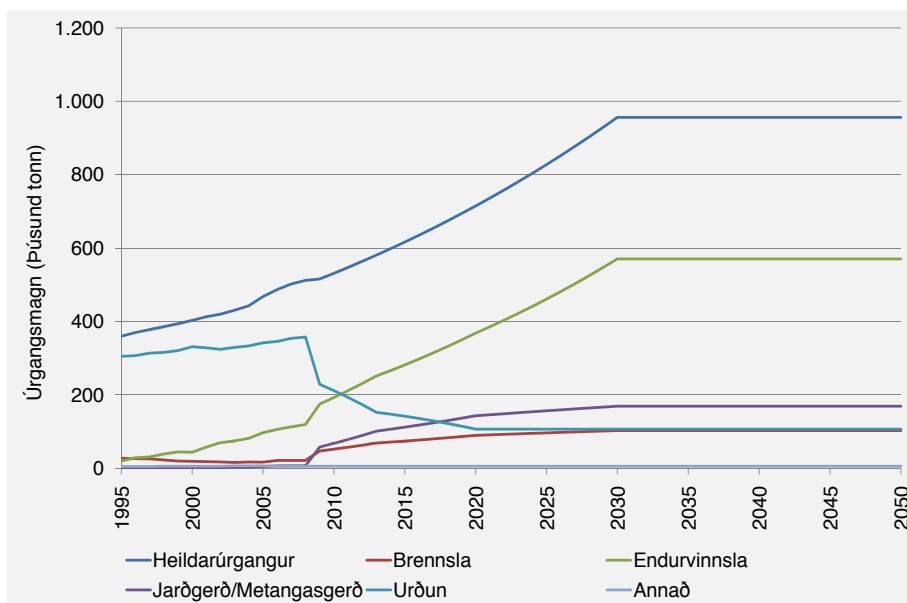
##### **4.7.3.1 Spá um magn úrgangs – afskiptalaus þróun**

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.

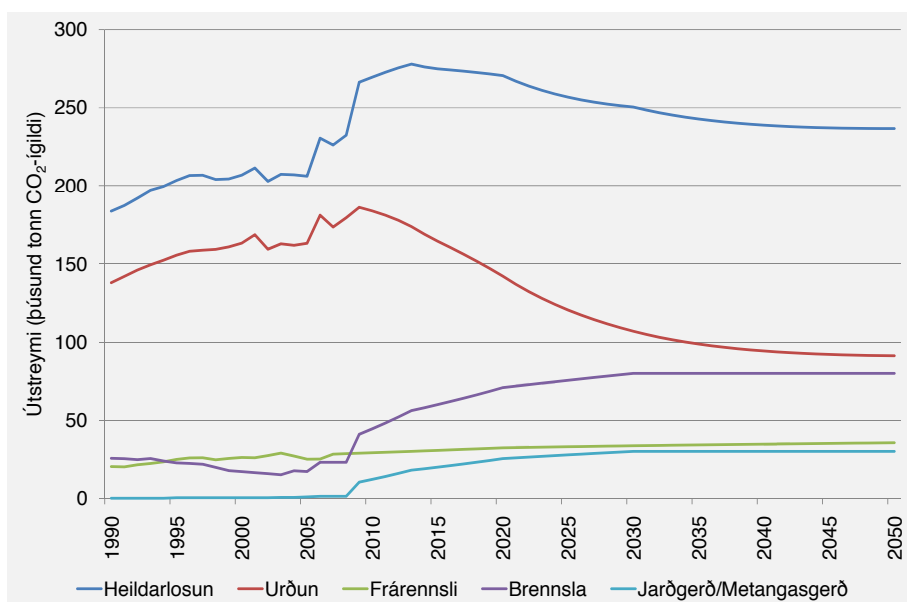
Í spá Umhverfisstofnunar er gert ráð fyrir að með minnkandi urðun aukist endurvinnsla, jarðgerð/metangasgerð og brennsla. Þá er gert ráð fyrir að sú flokkun á lífrænum úrgangi sem nauðsynleg er til að geta jarð- og/eða gasgert úrgang leiði til að talsvert magn af óvirkum úrgangi falli til, en slíkan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

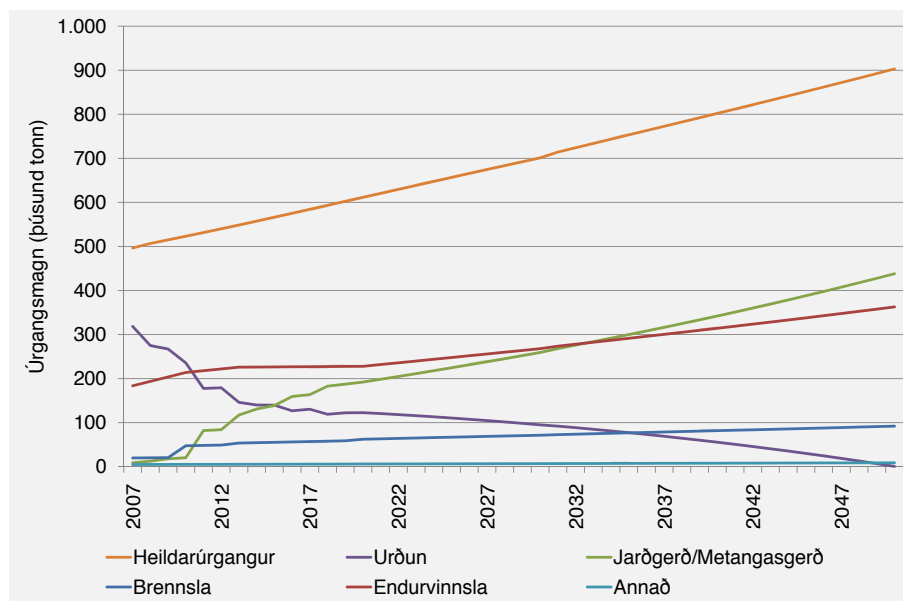
237 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígilda árið 2050. Spá UST er lögð til grundvallar að mati á áhrifum einstakra aðgerða til minnkunar útstremis gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi í þessari skýrslu, þ.e. hún er notuð sem grunntilfelli og kemur fram á mynd 4-75.

#### 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.

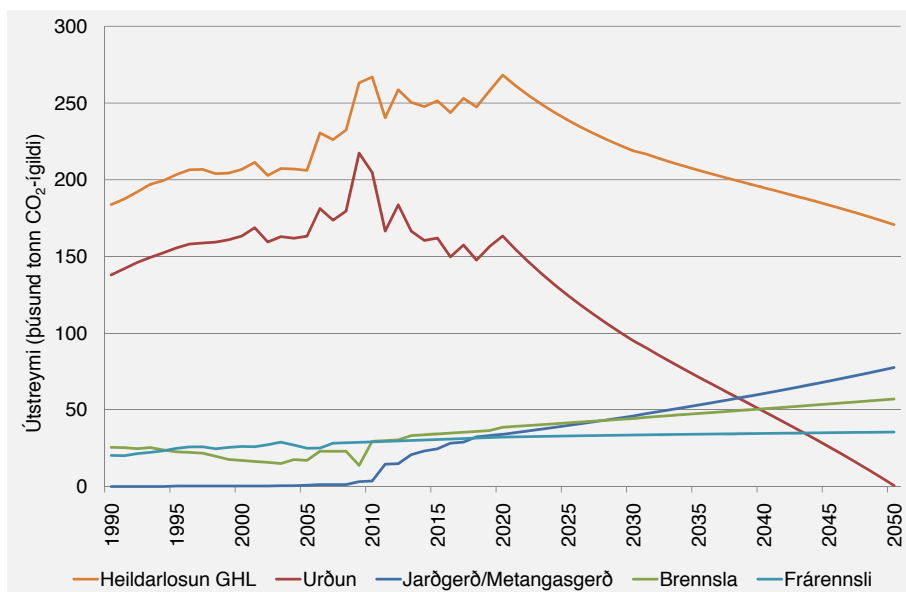
Gert er ráð fyrir að magn úrgangs sem fari í jarðgerð og/eda metangasgerð sé meira en grunnspá UST á kostnað urðunar. Eins og áður er komið fram hafa þegar verið reistar jarðgerðarstöðvar hérlandis. Fyrirhugaðar eru fleiri slíkar jarðgerðarstöðvar og jafnvel metangasstöðvar. Gera má því ráð fyrir að 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.

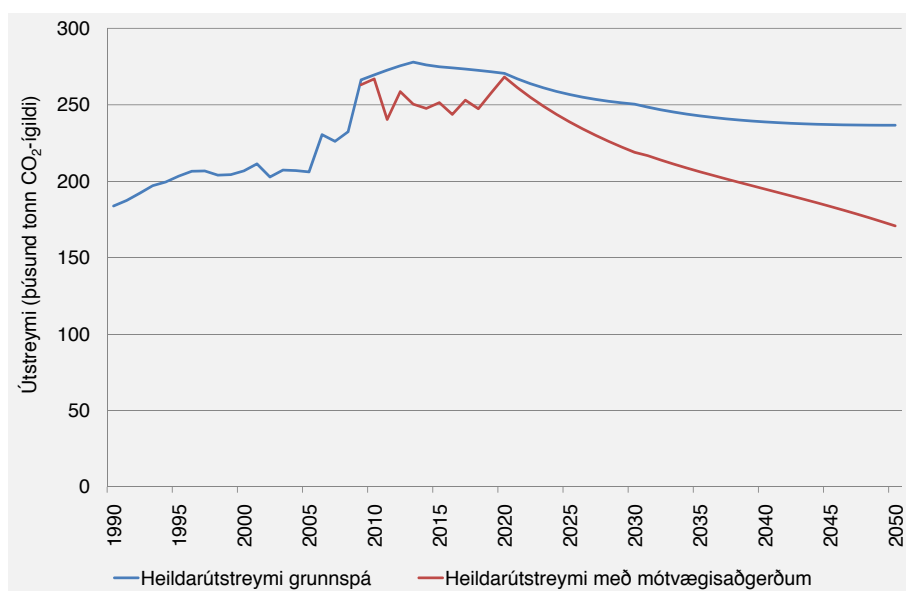
Spá um magn úrgangs í mismunandi afsetningarleiðir með mótvægisáðgerðum er að finna á mynd 4-76. Mynd 4-77 sýnir þróun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda m.v. mótvægisáðgerðir frá 1990-2050. Samanburð á grunnspá og útstreymi með mótvægisáðgerðum er að finna á mynd 4-78.

#### 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

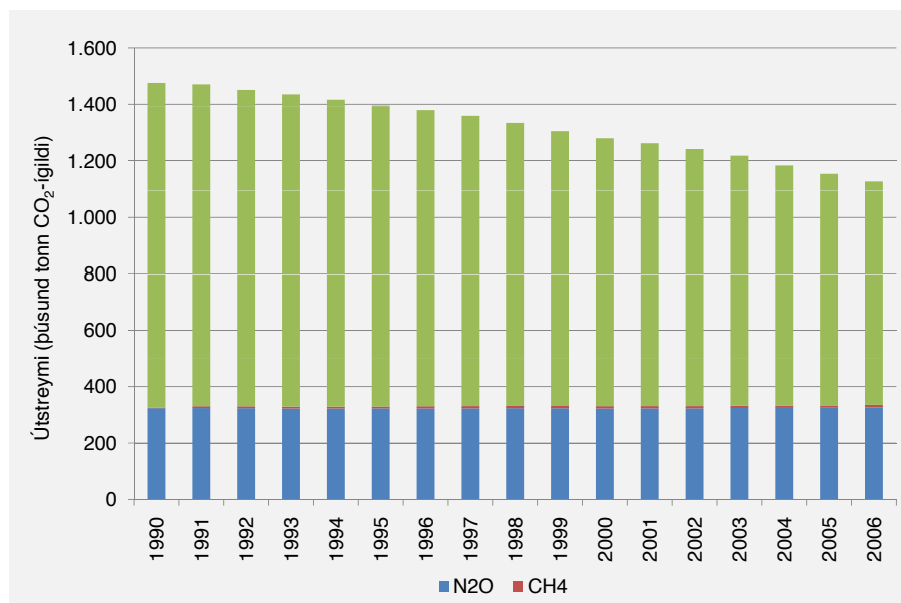
Útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna landnotkunar hér á landi var um 1127 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígildi á ári 2006, samkvæmt þeim tölum sem Landbúnaðarháskóli Íslands (LbHÍ) safnar fyrir Umhverfisstofnun, og skilað er til loftslagssamningsins. Þetta er um 32% af heildarútstreymi þess árs. Aðalástæða 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.

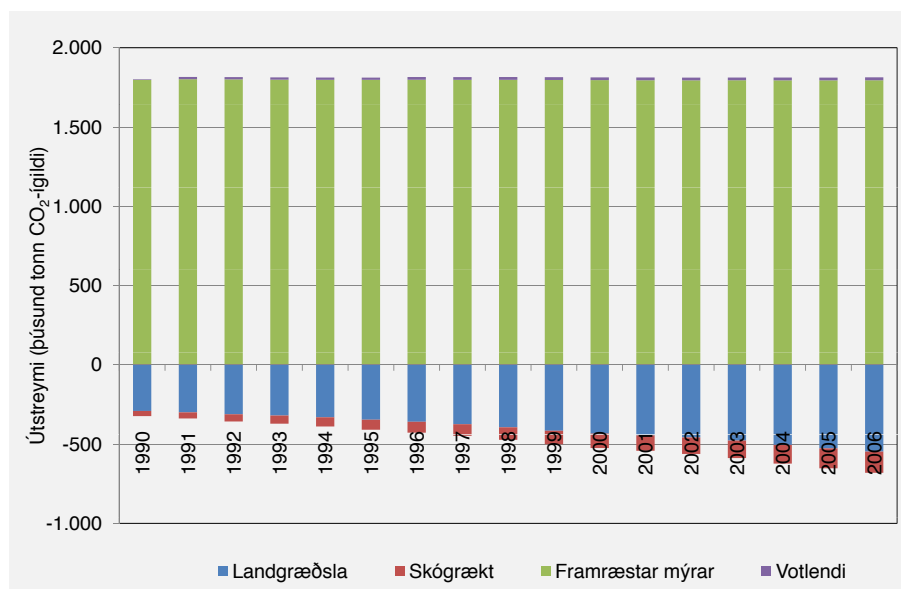
Eins og sjá má á mynd 4-80 hefur útstreymi frá framræstum mýrum ekki breyst svo neinu nemi frá 1990. Á hinn bóginn hefur binding með landgræðslu og skógrækt aukist á undanförmum árum.

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).



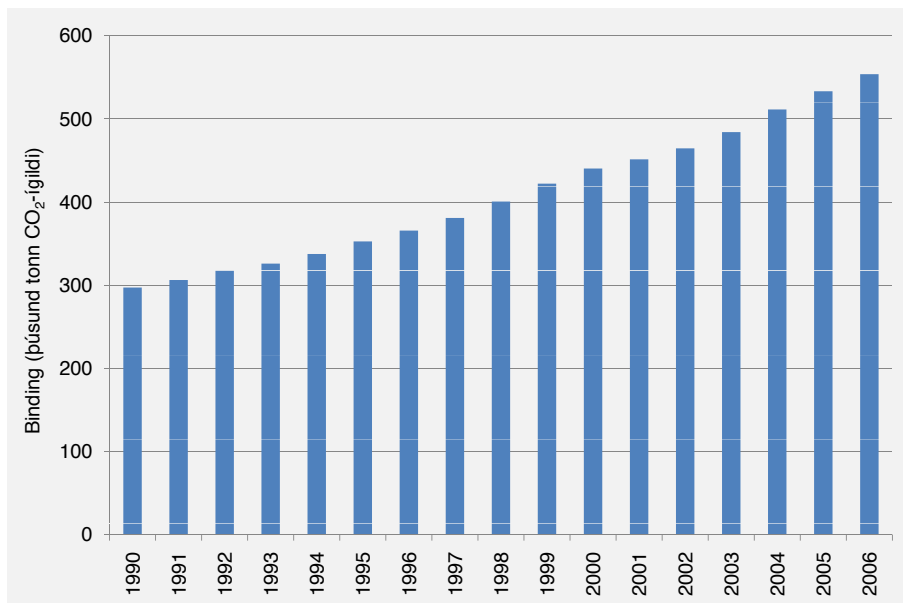
Mynd 4-80. Heildarústreymi og –binding vegna landnotkunar (LULUCF) á gróðurhúsalofttegundum reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildi flokkað eftir ástæðum losunar (UST National Inventory Report, Iceland 2008).



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

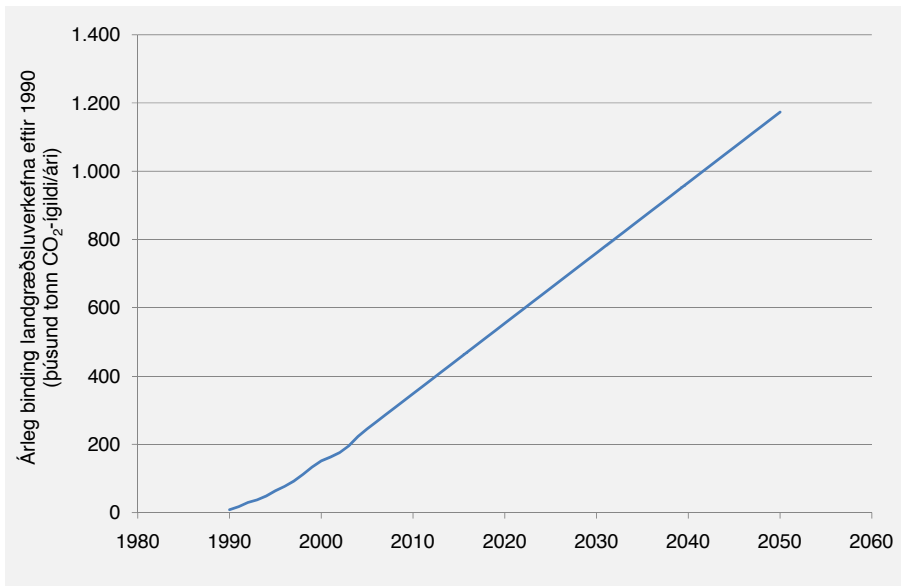
Nýskógrækt er áhrifamikil leið til bindingar kolefnis úr andrúmsloftinu. Viður trjáa er að mestu gerður úr kolefniskeðjum og innihalda þau því mikið magn kolefnis. Einingis lítill hluti Íslands er þakinn skógi. Stefna stjórnvalda er að auka ræktun skóga verulega. Ótullega hefur verið unnið að rannsóknum 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).

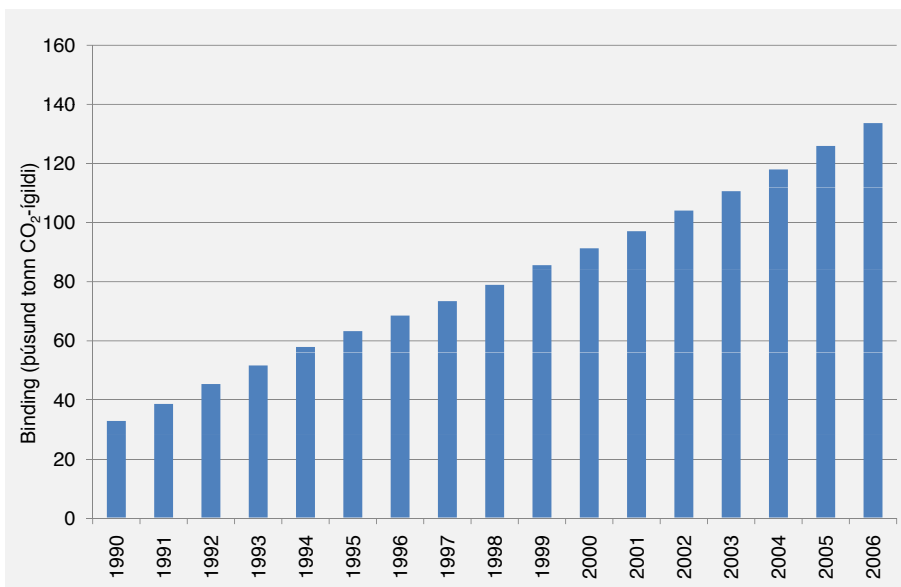
Vaxtarferill trjáa er með þeim hætti að árlegur vöxtur er lítill framan af ævi þeirra. Smám saman bætist við vaxtarhraðann uns hann nær hámarki þegar tréð er 20-40 ára. Síðan fer að draga úr vextinum aftur og stöðvast hann síðan nánast þegar tréð nær fullri hæð, eftir 90-120 ár (Arnór Snorrason 2006). 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 útstreymis 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

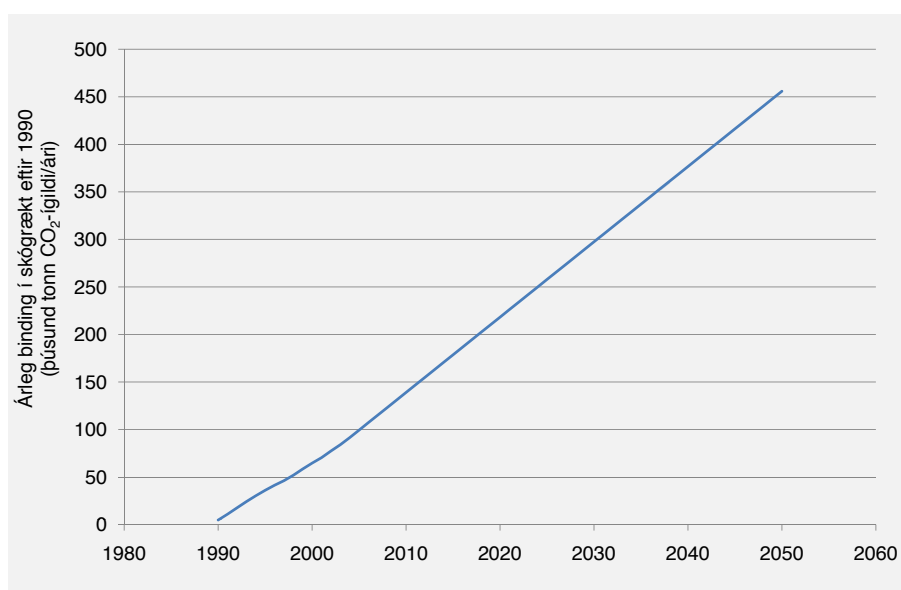
Sú tegund landnotkunar sem orsakar mest útstreymi gróðurhúsalofttegunda eru framræstar mýrar. Samkvæmt tölum frá LbhÍ nam þetta útstreymi á Íslandi 1.795 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda árið 2006. Þetta útstreymi er ekki talið með í bókhaldi vegna Kyoto-bókunarinnar (Umhverfisstofnun 2008). Aðgerðir 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).

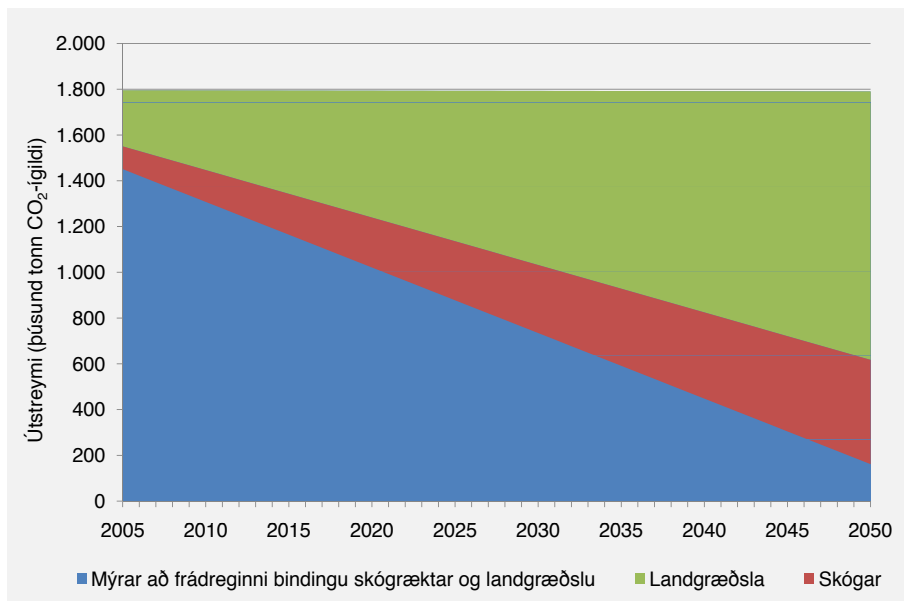
Lifrænt efni hefur safnast í mýrar á mjög löngum tíma þannig að útstreymi getur haldist óbreytt lengi. Nokkuð fer þó eftir aðstæðum hve lengi framræsla endist. Við erfiðar aðstæður lokast skurðir með tímanum af sjálfu sér. Þar sem land hallar geta skurðir hins vegar auðveldlega haldið sér við og jafnvel 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.

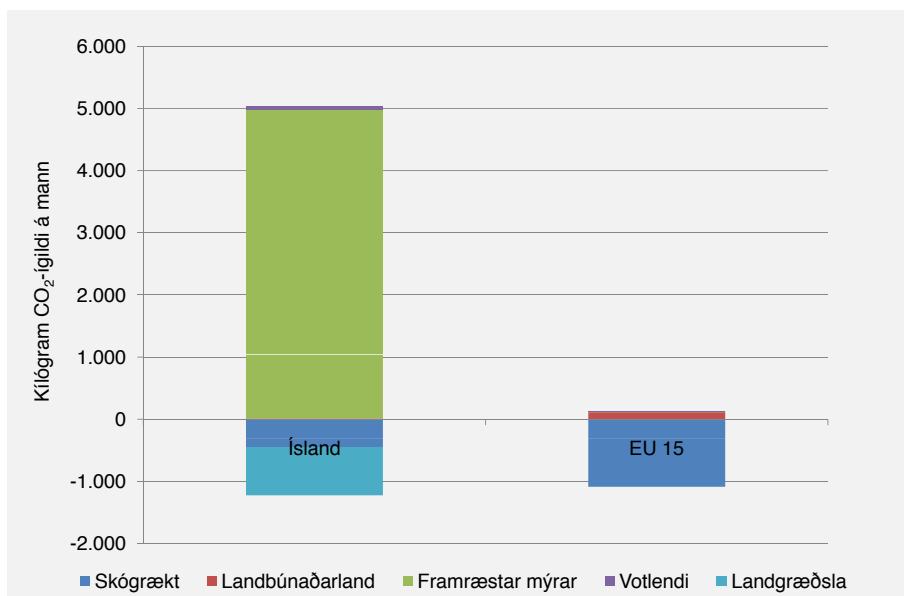
Mynd 4-85 sýnir spá um þróun heildarútstreymis. Engar breytingar verða á útstreymi frá framræstu votlendi en til frádráttar kemur aukin binding skóga og landgræðsluverkefna.

#### 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).

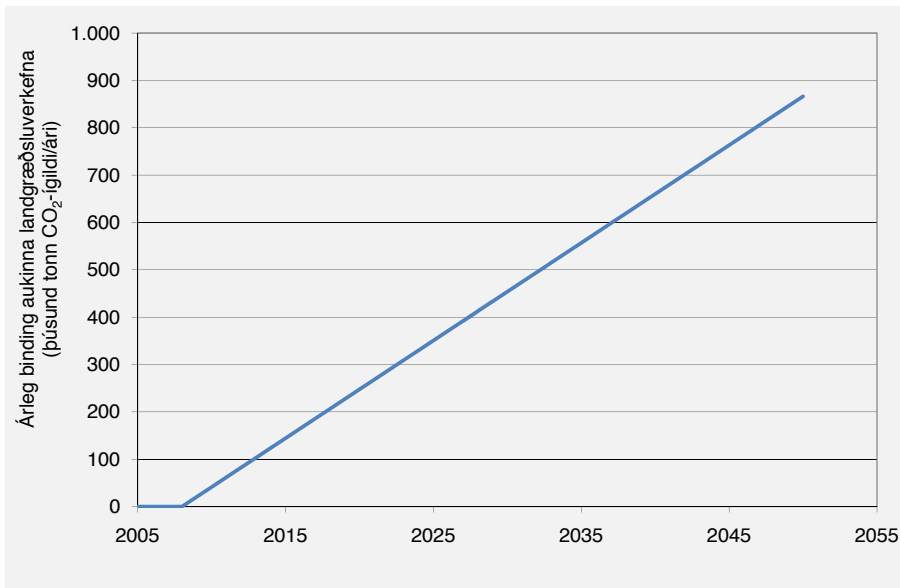


Reiknað er með að um 10.000 km<sup>2</sup> af þessu landi henti vel til landgræðslu, mest í innan við 200 metra hæð (Anna María Ágústsdóttir 2004). Núverandi umfang aðgerða Landgræðslunnar nema um 75 km<sup>2</sup>/ári (Guðmundur Halldórsson og fleiri 2008). Tæknibúnaður, sem þarf til landgræðslu, er 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).

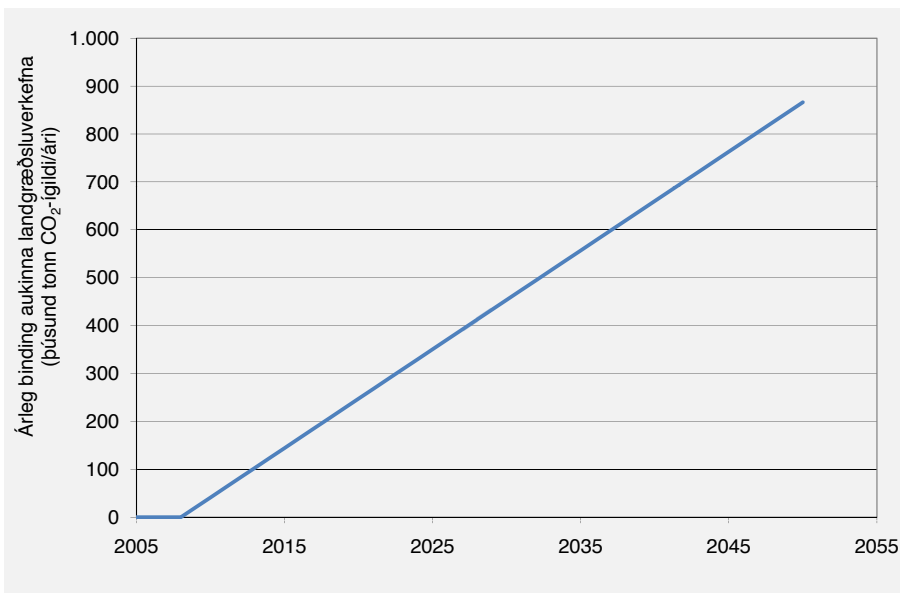
Miðað við þær forsendur sem gefnar voru hér að framan um árlega meðalbindingu og tímabil bindingar landgræðsluáðgerða má spá fyrir um árangur af tvöföldun umfangs aðgerða. Neðra mat á árlegri bindingu umfram bindingu eldri aðgerða (fyrir 1990) er um 580 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda á ári árið 2020 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

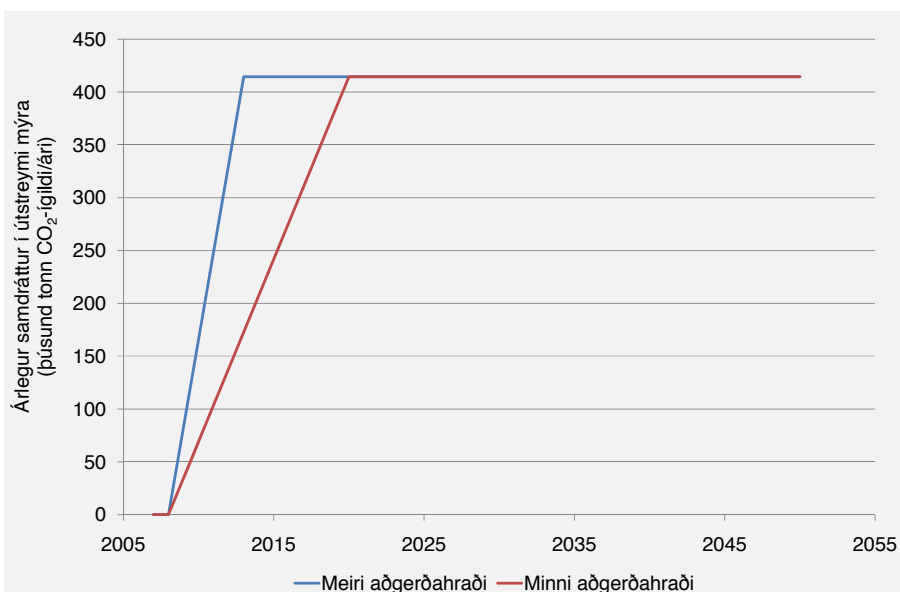
Flatarmál ræktaðra skóga á Íslandi er um 289 km<sup>2</sup> samkvæmt nýlegri úttekt (Arnór Snorrason 2006). Markmið stjórnvalda, eins og fram kemur t.d. í lögum um landshlutaverkefni í skógrækt er að skógar þeki a.m.k. 5% lands neðan 400 m.y.s., samtals um 2.155 km<sup>2</sup> (Alþingi 2006). Miðað við 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 vegaframkvæmdir. 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>                                |

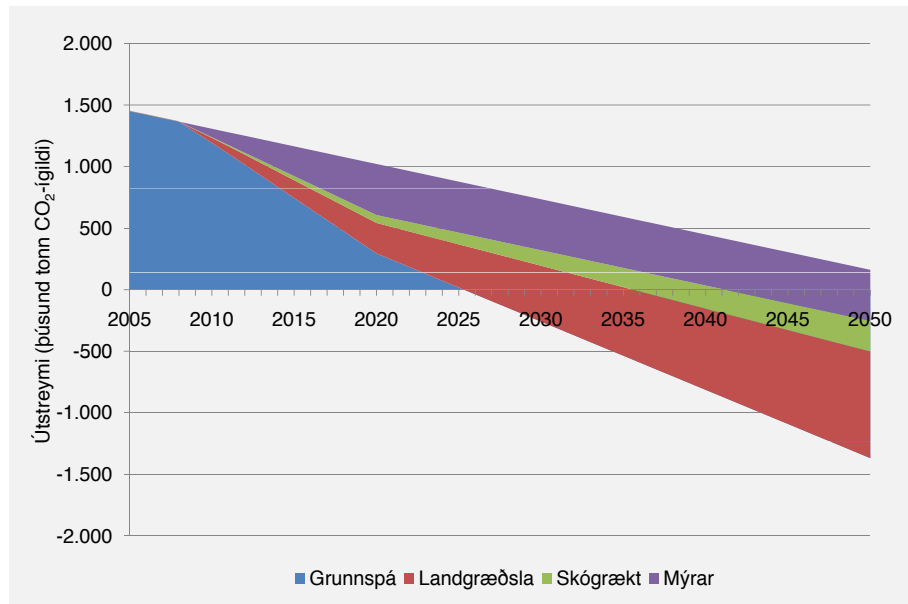
Tafla 4-45. Árleg binding/samdráttur í útstreymi vegna breyttrar landnotkunar árið 2020 og 2050 miðað við óbreyttar aðgerðir og það sem er framkvæmanlegt með auknum aðgerðum.

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.

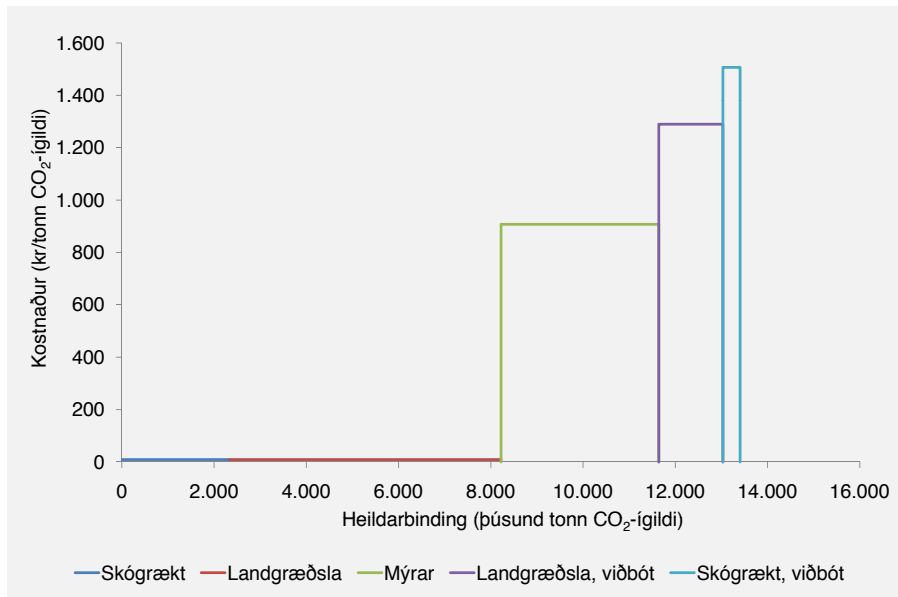


og upp í um 8,2 milljónir kr. á km<sup>2</sup>, á verðlagi ágúst 2008, eftir aðstæðum að græða land (Guðmundur Halldórsson munnleg heimild). Miðað við að miðgildi þessa kostnaðar veiti mat á meðalkostnaði má búast við að kostnaðurinn sé um 6,85 milljónir kr. á km<sup>2</sup>. Miðað við 60 ára bindingu 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.

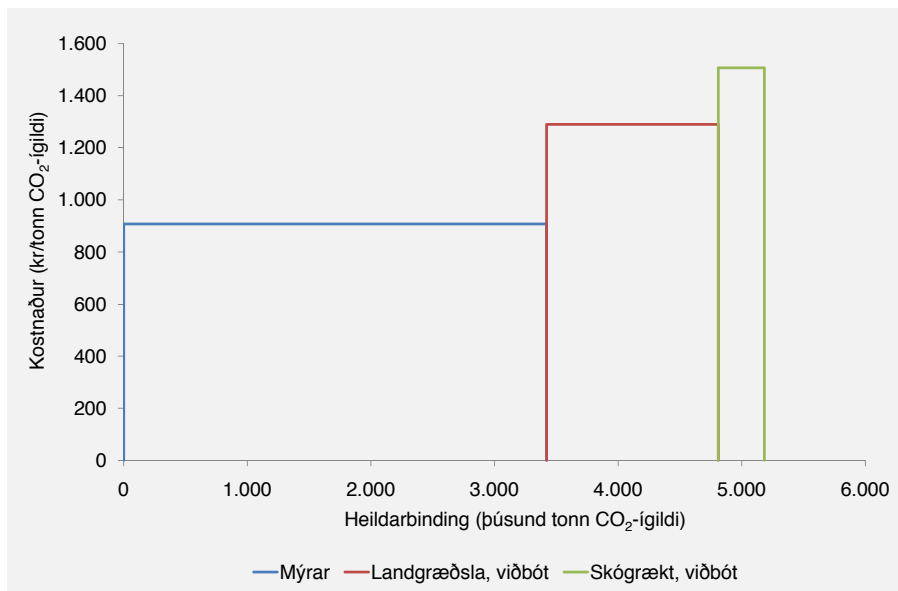
Miðað við þær forsendur sem gefnar voru hér að framan mun tvöföldun á umfangi landgræðslu fram til 2050 þýða að verkefnum sem við óbreyttan aðgerðahraða hefði verið lokið á næstu 82 árum verður lokið á næstu 41 árum. Samkvæmt reiknireglunni sem lýst er í viðauka II mun þetta þýða kostnaðarauka sem nemur 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

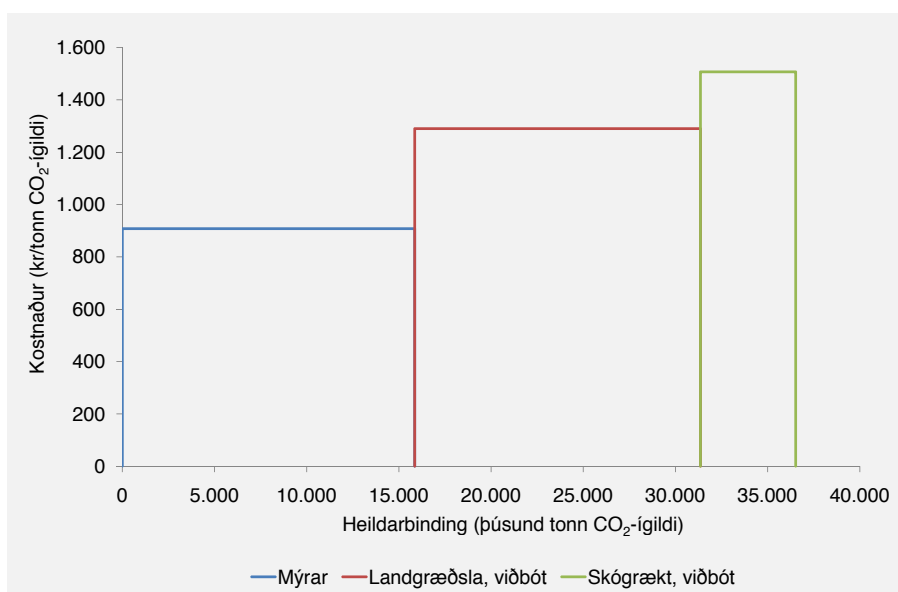
Samkvæmt heimildum frá Skógrækt Ríkisins kostar nýskógrækt um 23,8 milljónir kr á km<sup>2</sup> á verðlagi ágúst 2008 (Arnór Snorrason 2006). Á móti þeirri upphæð koma tekjur af sölu timburs. Innri ávöxtun í nytjaskógrækt hefur verið metin á bilinu 0,8-2,2% (Einar Gunnarsson og fleiri 1987, Brynjar 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 útstreymi gróðurhúsalofttegunda alls fram til 2020 raðað eftir kostnaði. Stuðst er við miðgildi kostnaðar.



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



Mynd 4-93. Framboð á samdrætti í útstreymi/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 vantalin 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 nálgá 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.

## 5 Sveigjanleikaákvæði og viðskiptakerfi<sup>16</sup>

### 5.1 Sveigjanleikaákvæði Kyoto bókuarinnar

#### 5.1.1 Inngangur

Sveigjanleikaákvæði Kyoto-bókuarinnar eiga að auðvelda iðnríkjum sem eiga aðild að bókuinni að mæta skuldbindingum sínum um takmörkun á útstreymi gróðurhúsalofttegunda og auka líkur á að markmið loftslagssamningsins náist. Sameiginleg framkvæmd (Joint Implementation, JI) og kerfi um hreina þróun (Clean Development Mechanism, CDM), gefa iðnríkjunum færi á að ráðast í verkefni í öðrum ríkjum og minnka útstreymi þar. Við það skapast losunarheimildir sem hægt er að nota til að mæta innlendu útstreymi eða selja á markaði. Alþjóðlegt markaðskerfi með losunarheimildir (Emission Trading, ET) heimilar að iðnríki sem hafa tekið á sig skuldbindingar geti framselt útstreymisheimildir til annarra ríkja sem einnig hafa tekið á sig skuldbindingar. Ákvæðin byggja á þeirri forsendu að minnkun útstreymis sé jafn gagnleg umhverfinu, sama hvar í heiminum hún á sér stað og hvetur til þess að dregið verði úr útstreymi þar sem hagkvæmni er mest. Ákvæðin eru hvati fyrir stjórnvöld og fyrirtæki til að fjárfesta í ríkjum sem skemmra eru komin á veg í iðnþróun og afla sér losunarheimilda til notkunar eða sölu. Með því að færa nýjustu tækni og aðferðir til þessara ríkja er jafnframt stuðlað að sjálfbærri þróun í ríkjum sem hafa ekki getu til að nýta sér þá þekkingu og þær aðferðir sem þegar eru til staðar.<sup>17</sup>

Iðnríki, sem samþykkt hafa Kyoto-bókuina og bera skuldbindingar um að draga úr útstreymi, verða að sýna fram á að notkun sveigjanleikaákvæðanna sé viðbót við ráðstafanir innanlands til að draga úr útstreymi. Ekki er skilgreint að hve miklu leyti ríki mega nota áunnar losunarheimildir til að uppfylla skuldbindingar sínar.

Sveigjanleikaákvæðin heimila þátttöku fyrirtækja eða annarra lögaðila, undir eftirliti og á ábyrgð hlutaðeigandi ríkja. Ábyrgðin nær þó ekki til fjárhagslegra skuld-

<sup>16</sup> Þessi kafli er að hluta til byggður á óbirtri greinargerð Andra Júlíussonar um Sveigjanleikaákvæðin sem unnin var fyrir sérfræðinganeftindina.

<sup>17</sup> Freestone, D. (2005), p. 11.



bindinga, heldur er opinberum aðilum ætlað að tryggja rétta framkvæmd og skráningu áunninna losunarheimilda.<sup>18</sup>

Til að taka þátt í sveigjanleikaákvæðunum þarf hvert ríki að koma á fót sérstakri landsskrifstofu (Designated National Authority) sem hefur umsjón með þátttöku þarlendra aðila í verkefnunum. Skrifstofan gefur út formlegar heimildir til þátttöku og þróar innlendar reglur um þátttöku í samræmi við opinbera stefnu og samþykktir um sveigjanleikaákvæðin. Hlutverk landsskrifstofu í móttökuríki er jafnframt að ganga úr skugga um að fyrirhugaðar framkvæmdir séu í samræmi við innlenda stefnu og stuðli jafnframt að sjálfbærri þróun.<sup>19</sup>

### 5.1.2 Sameiginleg framkvæmd (JI)

Kyoto bókunin heimilar iðnríkjunum að uppfylla hluta skuldbindinga sinna með því að fjármagna verkefni, sem draga úr útstreymi í öðrum iðnríkjum. Þetta kallast sameiginleg framkvæmd (JI). Algengust eru þó verkefni sem unnin eru í ríkjum A-Evrópu og eru fjármögnuð af þróaðri iðnríkjum. Lögð er áhersla á að framkvæmdin sé í höndum einkaaðila og víða hafa yfirvöld hvatt fyrirtæki til að taka þátt í verkefnum af þessu tagi.<sup>20</sup>

Öll verkefni um sameiginlega framkvæmd þurfa samþykki hlutaðeigandi ríkja bæði ríkisins þar sem verkefnið er unnið og ríkisins sem útstreymisheimildirnar renna til. Verkefnin eiga að draga úr útstreymi, eða auka bindingu gróðurhúsalofttegunda umfram það sem ella hefði átt sér stað. Sýna þarf fram á að samdráttur útstreymis eða binding sé raunveruleg viðbót við venjulegar framfarir og áður ákveðnar framkvæmdir. Losunarheimildum vegna verkefnisins er bætt við heimildir í viðtökuríkinu og þær dregnar frá heimildum móttökuríkisins. Af þessu leiðir að umfang losunarheimilda er óbreytt; þær hafa einungis færst milli landa.

Verkefni um sameiginlega framkvæmd eru mun færri og umfangsminni en verkefni um hreina þróun. Á fyrri hluta árs 2007 var um að ræða 10 milljón tonn útstreymisheimilda vegna JI verkefna og var verð á þeim tæpar 8 €/tonn (um 1200 krónur m.v. 150 kr/€) (IETA, Carbon Markets 2007).

### 5.1.3 Hrein þróun (CDM)

Kyoto-bókunin heimilar iðnríkjum að fjármagna verkefni, sem draga úr útstreymi eða auka bindingu í þróunarríkjum og öðlast þannig losunarheimildir. Þetta kallast kerfi um hreina þróun (Clean Development Mechanism, CDM). Ákvæðinu er ætlað að ýta undir fjárfestingu einkageirans í þróunarríkjunum og stuðla að sjálfbærri þróun þar sem verkefnið á sér stað.

Aukin fjárfesting og innflutningur á nýjustu tækni og þekkingu gagnast þróunarríkjunum og ýtir undir framþróun á mörgum sviðum. Verkefnin eiga að draga úr útstreymi frá því sem ella hefði orðið og þær losunarheimildir sem skapast eru skráðar í heimaríki fjárfestans. Taki margir fjárfestar þátt geta heimildir skipst á milli ríkja eftir samkomulagi þeirra. Hins vegar eru slíkar heimildir ekki dregnar frá útstreymisheimildum þróunarríkisins þar sem þau hafa ekki fengið úthlutað heimildum skv. Kyoto-bókuninni. Þetta veldur þó ekki auknu heildarútstreymi á heimsvísu því stað-

18 Eddy, Nathalie (2005). Public Participation in CDM and JI Projects. In Legal Aspects of Implementing the Kyoto Protocol Mechanisms: Making Kyoto Work Legal Aspects, p. 74.

19 Stowell, Deborah (2006), p. 8-9.

20 Oberthür, S. and Ott, H.E. (1999), p. 157.

festa þarf samdrátt útstreymis frá því sem ella hefði orðið áður en samsvarandi losunarheimildir eru gefnar út.

Kerfið byggir á skýrri verkaskiptingu, aðgengi almennings að upplýsingum er tryggt, það hvetur til fjárfestingar einkaaðila og hefur skilað sér í auknu flæði fjármagns og hreinnar framleiðslutækni til þróunarríkjanna. Til að tryggja samræmingu og staðlaða framkvæmd var komið á fót stofnunum og eftirlitsaðilum sem hafa eiga yfirumsjón með framkvæmd sveigjanleikaákvæðanna.<sup>21</sup>

Aðildarríkjaþing Loftslagssamningsins er jafnframt æðsta vald í málefnum sveigjanleikaákvæðanna, en framkvæmdastjórn CDM (CDM Executive Board) hefur umsjón með framkvæmdinni milli þinga og leggur fram reglulegar skýrslur á aðildarríkjaþinginu.

Sjálfstæður eftirlitsaðili (Designated Operational Entity, DOE) annast umsjón og endurskoðun fyrir framkvæmdaraðila verkefnanna samkvæmt samningi þar um. Framkvæmdastjórn CDM veitir fyrirtækjum umboð til að taka að sér þetta eftirlitshlutverk að uppfylltum ströngum skilyrðum en þess er meðal annars krafist að þau séu óháð. Vottun utanaðkomandi aðila á framkvæmdunum er nauðsynleg, til að staðfesta þann samdrátt útstreymis sem hvert verkefni felur í sér. Eftirlitsaðilinn gefur út matsskýrslu og vottun til framkvæmdastjórnar CDM og síðan eru gefnar út losunarheimildir í samræmi við staðfestan samdrátt í útstreymi. Þessi hluti ferlisins byggir á skýrslu DOE.<sup>22</sup>

Fjöldi skráðra CDM verkefna var í aprílbyrjun 2009 um 1550 og eru þau mjög mismunandi, bæði hvað varðar eðli og umfang. Að meðaltali minnka þau árlegt útstreymi um 280 milljón tonn CO<sub>2</sub>.<sup>23</sup> Þau verkefni sem skráð hafa verið hingað til munu draga úr útstreymi um 1530 milljón tonn CO<sub>2</sub> til og með árinu 2012, en heildaráætlunin um verkefni á döfinni gerir ráð fyrir útstreymisminnkun um 2.900 milljón tonn til 2012.<sup>24</sup>

Langflest CDM verkefni tengjast endurnýjanlegum orkugjöfum og orkuframleiðslu eða um 54%. Þeirra á meðal eru vatnsaflsvirkjanir, vindorkuver og jarðhitavirkjanir. 20% verkefna tengjast úrgangi og felast meðal í því að fanga metan frá urðunarstöðum eða loka urðunarstöðum. 8% verkefna eru tengd því að fanga útstreymi frá brennslu jarðefnaeldsneytis og 6% verkefna tengjast landbúnaði. Um 10% verkefna tengjast ýmiss konar iðnaði og má þar nefna verkefni til að draga úr útstreymi flúorkolefna við álframleiðslu í þróunarríkjum. Nánar má lesa um verkefni á vef loftslagssamningsins<sup>25</sup>. Þó nokkur jarðhitaverkefni hafa hlotið samþykki. Má þar nefna verkefni í Nicaragua<sup>26</sup> þar sem 66 MW<sub>e</sub> jarðhitavirkjun skapar nærri 2 milljónir tonna af útstreymisheimildum á 7 ára tímabili 2005–2012. Að auki má búast við að unnt verði að fá heimildir samþykktar í allt að 3 tímabil sem hvert um sig eru 7 ár. Jarðhitaverkefni í El Salvador (42 MW) skapar rúmlega 1,2 milljónir tonna af heimildum á sama tímabili<sup>27</sup>. Í jarðhitaverkefni á Papúa Nýju Gíneu verða til 2,8 milljónir tonna af útstreymisheimildum á 10 ára tímabili 2006–2016 en stærð virkjunar er um

21 Haites, Eric (2007). Carbon Markets ([http://unfccc.int/files/cooperation\\_and\\_support/financial\\_mechanism/application/pdf/haites.pdf](http://unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanism/application/pdf/haites.pdf))

22 Netto, Maria and Barani Schmidt, Kai-Uwe (2005), p. 187.

23 CDM. Clean Development Mechanism (CDM) (<http://cdm.unfccc.int/index.html>).

24 CDM (B). CDM Statistics (<http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>)

25 <http://www.cdm.unfccc.int/>

26 <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1135673240.22/view>

27 <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1141464500.33/view>

52 MW<sup>28</sup>. Í 20 MW jarðhita-virkjun á Filipseyjum verða til rúmlega 500 þúsund tonn af útstreymisheimildum á 7 ára tímabili frá 2008–15. Að lokum er hér nefnd til sögunnar 110 MW jarðhitavirkjun sem er um 150 km suður af Jakarta í Indónesíu en þar verða til um 4,6 milljón tonna af útstreymisheimildum á tímabilinu 2006–2013<sup>29</sup>.

Enginn vafi virðist á því að jarðhitaverkefni sem íslensk fyrirtæki hafa ráðist og munu ráðast í geti uppfyllt öll skilyrði sem krafist er til öðlast útstreymisheimildir og geta þau því haft verulega þýðingu við að draga úr nettóútstreymi á Íslandi verði þessar heimildir samþykktar hér og vilji fjárfestar flytja þær hingað.

Útstreymisheimildir sem verða til við CDM verkefni geta gengið kaupum og sölum. Verðið er breytilegt eftir því hvers eðlis verkefnið er og hvernig því vindur fram. Útstreymisheimildir sem nýst geta fyrirtækjum sem falla undir viðskiptakerfi ESB kostuðu í lok október 2008 um 16 € hvert tonn (2400 kr/tonn m.v. 150 kr./€). Annars er verðið lægra eða um 7 – 14 €/tonn. Í mars 2009 var verð heimilda sem fallið geta undir viðskiptakerfi ESB um 10 €/tonn. Almennt er búist við að verð heimilda muni hækka eftir því sem auknar kröfur koma fram um samdrátt. Í janúar 2008 gerði framkvæmdastjórn ESB ráð fyrir að verð heimilda verði komið í 40 €/tonn fyrir 2020 (SEC(2008) 85/3).

#### 5.1.4 Viðskipti með losunarheimildir (Emission Trading)

Þau aðildarríki Kyoto-bókunarinnar sem hafa tekið á sig skuldbindingar geta skipst á heimildum sín á milli og nægir að tilkynna um slíkan flutning til loftslagssamningsins. Slík viðskipti hvorki auka við né draga úr útstreymisheimildum. Nokkur ríki sem tóku á sig skuldbindingar með Kyoto-bókuninni búa yfir ríkulegum útstreymisheimildum vegna þess að í þessum ríkjum varð verulegur efnahagssamdráttur á árunum eftir 1990, sem er grunnár bókunarinnar. Talið er að þessar útstreymisheimildir geti skipt þúsundum milljónum tonna og hafa ríki sem erfitt eiga með að uppfylla sínar skuldbindingar verið að kaupa hluta þeirra. Japan hefur t.d. keypt heimildir frá Rússlandi en einnig er talið að Hvíta Rússland hafi selt töluverðar heimildir. Ekki er vitað um verð í þessum viðskiptum.

Flutningur þessara og annarra heimilda milli ríkja er skráður í gagnagrunn í hverju landi og komið til miðlægrar alþjóðlegrar skráningarmiðstöðvar (International Transaction Log, ITL), sem rekin er af skrifstofu loftslagssamningsins.<sup>30</sup>

Markaðskerfi þetta er tæki til þess að lækka heildarkostnað við samdrátt útstreymis á heimsvísu, þ.e. að ná fram sem mestum samdrætti með sem minnstum tilkostnaði. Viðskipti með heimildir er skilvirk leið til þess að ná tilteknum umhverfismarkmiðum, þar sem ekki er einungis hugað að umhverfismarkmiðunum heldur er einnig tekið tillit til efnahagslegra þátta.<sup>31</sup>

#### 5.1.5 Ísland og sveigjanleikaákvæðin

Íslensk stjórnvöld geta eins og önnur nýtt sveigjanleikaákvæði Kyoto bókunarinnar

28 <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1143246000.13/view>).

29 <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/KPMG1159285050.32/view>

30 Wijnen, Rutger de Witt (2005). Emissions Trading under Article 17 of the Kyoto Protocol. In Legal Aspects of Implementing the Kyoto Protocol Mechanisms: Making Kyoto Work, p. 406.

31 Tietenberg, Tom (2003). Environmental and Natural Resource Economics, p. 409-411.

til að draga úr nettóútreymi hér á landi. Heimildir sem fluttar eru hingað til lands teljast til tekna í bókhaldi um útreymi gróðurhúsalofttegunda og eru jafngildar öðrum útreymisheimildum þ.á.m. vegna bindingar með skógrækt eða landgræðslu. Með því að kaupa heimildir er stigið skref í þá átt að uppfylla alþjóðlegar skuldbindingar og hvatt til þátttöku atvinnulífs. Útreymisheimildir sem fást með sveigjanleikaákvæðum geta ásamt aðgerðum innanlands nýst til að ná markmiðum um samdrátt útreymis bæði í bráð og lengd. Þótt allt bendi til að Ísland muni uppfylla skuldbindingar sínar samkvæmt Kyoto-bókuninni 2008 til 2012 þá er brýnt að huga að þessu sem fyrst bæði vegna þess að samkeppni um þessar heimildir mun hugsanlega aukast en eins tekur nokkur ár frá því ákvörðun um einstök verkefni er tekin þar til útreymisheimildir fara að skila sér. CDM verkefni eru samþykkt til ákveðins tíma og unnt er að framlengja þau í allt að þrjú 7 ára tímabil.

Ekkert í framkvæmd eða eðli sveigjanleikaákvæðanna virðist stríða gegn stefnu eða hagsmunum Íslands. Með því að notast við sveigjanleikaákvæðin getur Ísland nýtt sér að fullu þá möguleika sem Kyoto-bókunin felur í sér. Orkuþörf þróunarríkja eykst stöðugt og á því sviði búa Íslendingar yfir mikilvægri þekkingu og tækni til að aðstoða þróunarríki við að mæta hluta af þessari þörf með nýtingu endurnýjanlegra orkugjafa.

Í töflunni hér að neðan er rakið dæmi um það hvernig unnt er að nýta sveigjanleikaákvæði við að afla útreymisheimilda. Alger óvissa ríkir um það hvernig verð á þessum heimildum muni þróast. Í mars 2009 var verð heimilda sem nýtast inn í útreymiskerfi ESB um 10 €/tonn. Engin ástæða er þó til að einskorða sveigjanleikaheimildir sem stjórnvöld vilja nýta á þann hátt heldur mætti nýta verkefni sem tengjast baráttu gegn skógareyðingu og endurheimt skóga í þróunarríkjum, en verð á þeim heimildum er lægra. Stjórnvöld hafa þó ekki ákveðið hvernig útreymisheimildir þau muni viðurkenna hér á landi. Einnig geta stjórnvöld aflað heimilda með stuðningi við verkefni í þróunarríkjum á vegum íslenskra aðila og með viðskiptum við önnur ríki sem tekið hafa á sig skuldbindingar.

|      | Sveigjanleikaheimildir,<br>þúsund tonn | Hlutfall af útreymi Íslands |          | Verð<br>€/tonn | Heildarkostnaður<br>milljón € |
|------|--|-----------------------------|----------|----------------|-------------------------------|
|      |  | Tilvik 1                    | Tilvik 2 |                |                               |
| 2015 | 200                                    | 4,3%                        | 3,3%     | 25             | 5                             |
| 2020 | 1.000                                  | 22%                         | 17%      | 40             | 40                            |
| 2030 | 2.000                                  | 44%                         | 34%      | 50             | 100                           |

Tafla 5-1. Dæmi um notkun sveigjanleikaheimilda – miðað við tilvik 1 og 2.

Í töflunni kemur fram að miðað árið 2020 gæti það kostað um 40 milljón € á ári að draga úr útreymi um 1 milljón tonna frá heimildum Íslands samkvæmt Kyoto-bókuninni en það svarar til 22% eða 17% af heildarútreymi eftir því hvort miðað er við tilvik 1 eða tilvik 2 í útreymisspánni án mótvægisáðgerða. Í þessu samhengi má nefna stefnu norskra stjórnvalda sem sett hafa þau markmið að Noregur verði kolefnishlutlaus árið 2030. Ætlunin er að ná stórum hluta þessa markmiðs með því að kaupa útreymisheimildir sem verða til vegna sveigjanleikaákvæðanna. Heimildirnar verða að uppfylla kröfur loftslagssamningsins og ætlunin er að semja um eða kaupa

30–35 milljónir tonna á tímabilinu 2008-2012. Fjárhagsáætlun fyrir verkefnið á árinu 2008 er 4,1 milljarður norskra króna.

## 5.2 Viðskipti með útstreymisheimildir

### 5.2.1 Viðskiptakerfi ESB með losunarheimildir (EU-ETS)

Árið 2003 samþykkti Evrópusambandið tilskipun nr. 87/2003 þar sem komið er á fót viðskiptakerfi með útstreymisheimildir gróðurhúsalofttegunda.<sup>32</sup> Tilskipunin skuldbindur aðildarríkin til að setja þak á útstreymi frá ákveðnum iðngreinum og raforkuframleiðslu og er grundvöllur að samræmdum innri markaði með losunarheimildir. Reynslutímabilið frá 2005-2007 var notað til þess að sníða helstu agnúa af kerfinu áður en skuldbindingartímabil Kyoto bókunarinnar 2008-2012 hæfist.<sup>33</sup> Ýmsar lagfæringar voru gerðar í kjölfarið og er kerfið enn í mótun. Tilskipunin nær til um 10.500 fyrirtækja (starfstöðva) sem losa um 50% alls CO<sub>2</sub> innan ESB og um 40% af öllum gróðurhúsalofttegundum.<sup>34</sup>

Samkvæmt tilskipun ESB er losunarheimildum úthlutað til orkuvera og nokkurra flokka iðnframleiðslufyrirtækja. Undir tilskipunina munu eftir 2012 falla um 40% alls útstreymis í ESB. Hvert ríki úthlutar til fyrirtækja innan sinna landamæra en áætlun um úthlutun þarf að hljóta samþykki framkvæmdastjórnar ESB. Fyrsta tímabili úthlutunar er lokið en annað tímabil fellur saman við fyrsta skuldbindingatímabil Kyoto-bókunarinnar. Með tilskipuninni er fyrirtækjum gert að draga úr útstreymi eða afla sér heimilda á markaði að öðrum kosti. Markaður er sameiginlegur fyrir allt ESB svæðið. Fyrirtækjum er heimilt að afla sér heimilda með CDM/JI-verkefnum að hluta. Verð á heimildum hefur sveiflast mjög en var ímars 2009 11 €/tonn fyrir 2008–2012. Fyrri hluta ársins 2008 var verðið 25–30 €/tonn. Það er ljóst að þótt tilskipunin sé orðinn hluti af EES samningnum þá tekur hún að engu yfir aðild Íslands að loftslags-samningnum og Kyoto-bókuninni. Einnig var þannig frá hlutum gengið að fyrirtæki sem fallið gátu undir tilskipunina hér á landi á tímabilinu 2008 til 2012 voru undanþegin enda var þar fyrst og fremst um að ræða varaafstöðvar og fiskimjölsverksmiðjur, sem einungis starfa lítinn hluta ársins, og losa þar með lítið af gróðurhúsalofttegundum.

Hins vegar munu flugsamgöngur falla undir tilskipunina á árinu 2012 og þá munu þau flugfélög sem annast flug til og frá Íslandi þurfa að draga úr útstreymi eða kaupa hluta af sínum útstreymisheimildum á markaði. Útstreymi frá alþjóðlegum flugsamgöngum er hlutfallslega meira hér sem hlutfall af almennu útstreymi en hjá öðrum ríkjum sem falla undir Kyoto-bókunina. Þessi ákvörðun ESB getur því komið til með að hafa meiri áhrif hér en annars staðar. Í skýrslu stýrihóps samgönguráðuneytisins í ágúst 2008 er fjallað ítarlega um áhrif viðskiptakerfisins á flugsamgöngur á Íslandi<sup>35</sup> en markmið tilskipunarinnar er m.a. að draga verulega úr flugi í Evrópu á styttri leiðum og hvetja til flutninga með vistvænni ferðakostum.

32 European Commission. Emission Trading Scheme (EU ETS). (<http://ec.europa.eu/environment/climat/emission.htm>).

33 Proposals to include emissions from aviation in the ETS from 2011 are currently under discussion within the EU.

34 European Commission (2008). EU emissions trading – an open system promoting global innovation ([http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/bali/eu\\_action.pdf](http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/bali/eu_action.pdf))

35 <http://www.samgonguraduneyti.is/utgefing-efni/nr/1688>

Í janúar 2008 birti framkvæmdastjórn ESB síðan tillögur sínar um breytingar á útstreymistilskipuninni frá og með 2013. Samkvæmt þeim tillögum, sem samþykktar voru í desember 2008, fellur ál- og járnblendiframleiðsla undir viðskiptakerfið frá 2013.

Almenna reglan verður sú að fyrirtækjum er stunda orkuframleiðslu verður gert að kaupa allar sínar útstreymisheimildir á uppboðum. Önnur fyrirtæki eins og olúhreinistöðvar og fleiri framleiðslufyrirtæki fá úthlutað 80% af heimildum án endurgjalds árið 2013 en það hlutfall á að lækka frá ári til árs og verða komið í 30% árið 2020 og 0% árið 2027. Í þriðja flokki verða svo fyrirtæki sem talin eru sérstaklega háð verði á alþjóðamörkuðum með afurðir sínar og fyrirtæki sem hætta er talin á að flytji framleiðslu sína út af svæðinu (kolefnisleki). Gert er ráð fyrir að þessi fyrirtæki fái heimildum úthlutað án endurgjalds. Úthlutað verður eftir viðmiðum sem ákveðin verða af framkvæmdastjórninni þannig að þau fyrirtæki sem hafa þegar gripið til aðgerða til að draga úr útstreymi líði ekki fyrir það. Gert er ráð fyrir að ákvörðun um hvaða greinar atvinnustarfsemi fylli þennan þriðja flokk verði tekin 2011 en þar verður einkum um að ræða orkufrekan iðnað. Ál- og járnblendiframleiðsla munu því falla undir viðskiptakerfið frá 2013. Um útstreymisheimildirnar gilda reglur innri markaðarins um frjálst flæði vöru, fjármagns og þjónustu.

Í skýrslum framkvæmdastjórnar ESB er gert ráð fyrir því að verð á útstreymisheimildum verði komið í um 35–40 €/tonn CO<sub>2</sub> (5.200–6.000 kr./tonn m.v. 150 kr/€) árið 2020 en verðið er nú eins og áður sagði um 11 €/tonn (1.650 kr./tonn).

Búast má við að skipaflutningar verði teknir undir viðskiptakerfið um miðjan næsta áratug og eins getur röðin eftir það komið að landflutningum.

Viðskipti með útstreymisheimildir eru leyfð milli lögaðila innan ESB, en einnig til aðila í ríkjum utan ESB sem staðfest hafa Kyoto-bókunina. Þessari heimild er ætlað að styrkja og auka hagræði kerfisins og til þess að auka mótunaráhrif Evrópukerfisins á alþjóðlegan markað með losunarheimildir.<sup>36</sup>

Evrópusambandið gerir ráð fyrir því að tekjur af sölu útstreymisheimilda á uppboðum muni renna í ríkissjóði aðildarríkjanna og að heildartekjur af þeim verði um 2000 milljarðar evra árið 2020. Ætlast er til að hluta þessara tekna verði varið til aðgerða í þróunarríkjum til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda og til að gera þessum ríkjum auðveldara að laga sig að loftslagsbreytingum. Hluti teknanna á að renna til nýsköpunar og rannókna á loftslagsvænni tækni. Uppboðin verða einnig samræmd innan ESB þótt hvert ríki fyrir sig annist uppboð á heimildum innanlands.

Gert er ráð fyrir að draga smám saman úr þeim heimildum sem til ráðstöfunar eru innan kerfisins og að samdrátturinn milli 2013 og 2020 verði 1,74% á ári eða 16% alls á tímabilinu. Gert er ráð fyrir að 5% heimilda verði haldið til ráðstöfunar til nýrrar starfsemi í ESB.

### 5.2.2 Viðskipti með útstreymisheimildir

Heimsmarkaður með losunarheimildir velti 31 milljörðum dollara árið 2006 og um 1,7 milljarði heimilda (tonna). Samsvarandi tölur fyrir árið 2007 voru 64 milljarðar dollara og 2,9 milljarðar heimilda. Viðskipti með heimildir frá CDM verkefnum námu 6,2 milljörðum dollara og magn heimilda nam 562 milljónum tonna árið 2006 en

36 Sama heimild, bls. 425-426.

790 milljón tonn að andvirði 13 milljarða dollara árið 2007. Árið 2006 var verslað með 16 milljónir heimilda frá JI verkefnum að andvirði 141 milljón dollara. Árið 2007 var verslað með 41 milljón tonn að andvirði 499 milljón dollara.<sup>37</sup> Sé magn og verð heimilda borið saman milli ára má sjá að talsverð aukning er í viðskiptum með þessar heimildir og að verð fer hækkandi.

Í töflunni hér að neðan má sjá verðmæti á hvert tonn útstreymisheimilda. Miðað er við gengi um 150 kr. á hverja evru.

| Verð á hvert tonn CO <sub>2</sub>        | €/tonn | Kr/tonn     |
|--|--------|-------------|
| Viðskipti milli ríkja                    | Óþekkt |             |
| JI heimildir                             | 7,7    | 1.155       |
| CDM heimildir – frumútgáfa (primary)     | 7–14   | 1.050–2.100 |
| CDM heimildir – viðurkenndar (secondary) | 15     | 2.250       |
| ESB heimildir – lok október 2008         | 19     | 2.850       |
| ESB heimildir – meðalverð 2007           | 17,5   | 2.625       |

Tafla 5-2. Verðmæti á hvert tonn útstreymisheimilda.

Útstreymisheimildir ganga kaupum og sölum eins og hverjar aðrar afurðir á fjármálamörkuðum og tíðkast bæði framvirkir samningar, skortsölur og aðrar tegundir gerninga á þessu sviði. Hver sem er getur stofnað kolefnisreikning í ESB en ekki einungis þeir aðilar sem falla undir viðskiptakerfi sambandsins með útstreymisheimildir.<sup>38</sup>

Í ýmsum öðrum ríkjum er verið að byggja upp viðskiptakerfi svipaðs eðlis og í Evrópusambandinu. Þar má nefna Nýja Sjáland þar sem kerfið á að ná til alls efnahagslífsins þ.m.t. landbúnaðar og skógræktar, iðnaðar og orkuframleiðslu. Kerfið á einnig að ná til eldsneytisnotkunar og þurfa seljendur (innflytjendur) að afla sér heimilda til mótvægis við það útstreymi sem eldsneytisnotkunin veldur. Í Ástralíu er viðskiptakerfi í undirbúningi. Í 10 ríkjum í Bandaríkjunum hefur verið sett á laggirnar viðskiptakerfi en samkvæmt því er orkufyrirtækjum gert að draga úr útstreymi um 10% til ársins 2018 (<http://www.rggi.org>). Einnig eru virk nokkur kerfi þar sem fyrirtæki og einstaklingar geta keypt heimildir og kolefnisjafnað það útstreymi sem þau valda að hluta eða heild (voluntary emission reduction) en þessi kerfi hafa ekki hlotið staðfestingu loftslagssamningsins.

Enginn vafi er á að þessi markaður mun vaxa eftir því sem árin líða og kröfur um aukinn samdrátt útstreymis gróðurhúsalofttegunda aukast.

37 <http://siteresources.worldbank.org/NEWS/Resources/State&Trendsformatted06May10pm.pdf>

38 Sjá Point Carbon: Carbon Market Europe og CDM/JI Monitor, <http://www.pointcarbon.com/>.

## 6 Tæknilausnir í sjónmáli

---

Skýrsla sú sem hér birtist endurspeglar þá yfirsýn sem er til staðar varðandi tæknilausnir sem þykja fýsilegar við hið mikla verkefni að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

Þegar horft er til framtíðar í viðum skilningi er nauðsynlegt að gera sér grein fyrir vandamálinu á forsendum sögulegs og tæknilegs bakgrunns.

Orkukerfið sem notast er við á Íslandi er um margt merkilegt sambland endanlegra og endurnýjanlegra orkugjafa. Mestur hluti raforkuframleiðslu og varmaframleiðslu í samfélaginu er tengdur endurnýjanlegum orkugjöfum. Hins vegar er orkunotkun í samgöngum, bílum, skipum og flugvélum að mestu háð jarðefnaeldsneyti, innfluttu bensíni, þotueldsneyti og dísilolíu. Þessi orkunotkun er mikil uppspretta koldíoxíðs. Neyslumynstrið í samfélaginu leiðir einnig að öðru leyti til margs konar útblásturs. Lífsferli vöru leiðir þannig einnig til útblásturs samfélagsins, hvort sem er við framleiðslu, notkun eða förgun vörunnar.

Hér á eftir verða skoðaðar þær tæknilausnir sem eru í sjónmáli. Stuðst er við tímarás og tæknistig og þeim tæknilausnum raðað annars vegar í tímaröð og hins vegar eftir stöðu tækni.

### 6.1 Nýtnistuðlar samfélagsins og tæknilausnir sem eru framkvæmanlegar nú þegar og í náinni framtíð.

Útstreymi nútímasamfélags á Íslandi er á margan hátt afrakstur neyslubjóðfélags þar sem engar sérstakar hömlur hafa verið settar á bestu nýtni eða takmörkun útstreymis. Förgun eða nýting sorps og úrgangs eru þættir þar sem búast má við heilmiklum tækni framförum á næstunni. Aðgerðir, í sjónmáli hér, snúast ekki endilega um tækni heldur miklu fremur meiri beitingu fyrirbyggjandi þekkingar samfara vitundaraukningu um lífsferli vara. Þessi beiting þekkingar á eftir að hafa mikil áhrif á neyslumynstur samfélagsins. Þá er mikilvægt að gera sér grein fyrir að flest allt útstreymi efna út í umhverfið má hefta með því að horfa til áðurgreinds lífsferlis.



Þegar horft er til orkunotkunar í íslensku samfélagi skal fyrst staldrað við rafmagnsvinnslu úr vatnsorku eða gufuorku. Hefðbundin vinnsla raforku úr vatnsorku hefur tekið nokkrum framförum varðandi nýtni; eitt dæmi um það er bestun á lögun og framleiðslutækni vatnshjóra í hverflum þar sem segja má að nú sé notuð hönnunartækni sem leiðir til næstum því hundrað prósent nýtni. Búast má við að vatns hverflar verði í næstu framtíð framleiddir með bestu fáanlegu nýtnistuðlum, sem nálgast það besta sem völ verður á miðað við þessa tækni.

Öðru máli gegnir um vinnslu raforku úr jarðgufu eða ñvökva. Þessi vinnsla er mjög háð hversu vel tæknin nær að nálgast hina fræðilegu nýtnistuðla. Sú tækni sem notast er við í vinnslu raforku úr jarðgufu tekur mið af nýtnistuðlum sem kenndir eru við Frakkann Carnot. Enn eiga hinir raunverulegu nýtnistuðlar nokkuð langt í að ná hinu fræðilega hámarki. Sem dæmi má taka að íslenskar jarðgufuvirkjanir hafa nýtnistuðul í raforkuvinnslu sem nemur um það bil 12 af hundraði. Afgangsvarmann má nota til húshitunar, en segja má að flestar jarðvarmavirkjanir hér á landi hafi mjög hátt nýtnistig (um 90%), þegar undan eru skildar nýrri virkjanir þar sem afgangsvarmi er ekki nýttur. Þessar virkjanir líða fyrir lága orkunýtni. Hér fer tæknistigið vaxandi eins og rætt verður um í kafla 6.2.

Tæknistig við notkun raforku úr jarðvarma á formi rafljósastuddrar ylræktar getur tekið framförum þegar hugað er að möguleikum á því að nýta raforkuna þannig að ljós sé framleitt með sérútbúnum díóðum sem gefa frá sér sýnilegt ljós sem liggur mjög nálægt litrófi blaðgrænu (sem á við um bæði lauf og þörungum). Núverandi notkun á natrínlömpum í gróðurhúsum hefur tekið nokkrum framförum en nýtnistuðlar díóðuljósá hafa alla möguleika á að skara fram úr. Þessi þróun ylræktar með díóðulýsingu auk íbætingar koldíoxíðs (t.d. úr jarðhitagasi) í andrúmsloft gróðurhúsanna er sú tækniframför sem hægt er að binda nokkrar vonir við á næsta áratug. Vegurinn frá hinni gömlu Edison-ljósaperu að nýttisku díóðuperu hefur falið í sér miklar rannsóknir og ef litið er til ljósframleiðslu fyrir hvert notað vatt í afli, má segja að þróunin hafi verið þannig að upphaflegt gildi var nokkur lúmen/vatt en nú nálgast gildið 700 lúmen á hvert vatt rafalls fyrir eintóna (555 nm) grænt ljós. (Department of Energy USA). (Eitt lúmen er um það bil ljósmagnið frá venjulegu vaxkerti í eins fets fjarlægð frá kveik).

Áður en lokið er við umfjöllun um hitun með jarðvarma er nauðsynlegt að ræða um þann möguleika að vinna með rafmagn og jarðhitalind samtímis, en þessi lausn einkennir svokallaðar varmadætur. Miklar tækniframfarir hafa orðið á þessu sviði og áhugavert að geta þess að frændur vorir Svíar beisla nú meiri jarðhita til húshitunar en við Íslendingar með því að nota varmadætur! Með notkun varmadælna er unnt að notast við tiltölulega kaldvolga varmalind eins og 4-7 gráðu heitan húsgrunn, bæta við um þriðjung afli frá rafmagni og hita hífýli. Þannig má spara 2/3 rafmagnsins. Ástæða er fyrir Íslendinga að huga að notkun varmadæla og koma nokkur tiltölulega jarðköld svæði á landinu sterklega til greina í því sambandi eins og nú þegar er til athugunar.

## 6.2 Tæknilegar lausnir á næstu áratugum

Þegar miðað er við umfjöllunina að framan er ljóst að varðandi jarðvarmann þá eru áhugaverðar lausnir í þróun sem gera munu kleift að nýta betur jarðgufu með því að

notast við annan vinnuvökva en sjálft vatnið. Á þessu sviði eru að ryðja sér til rúms nýjar lausnir með margar tegundir vinnuvökva, allt frá einföldum kolvetnum til annarra efna, með notkun á öðrum eðlisfræðilegum þáttum eins og leysni ammóníaks í vatni og áhugaverðu samspili mismunandi varmafræðilegrar óreiðu í ammóníaki bundnu í vatni annars vegar – og í gasformi hins vegar. Íslensk jarðhitafyrirtæki hafa fylgst vel með í þessum efnum og eru nú þegar í notkun ýmsar tegundir svokallaðra tvívökvaerfa. Ítalir með allan sinn bakgrunn í Larderello eru til dæmis að gera áhugaverðar tilraunir með smærri og stærri kerfi á þessu sviði.

Hér á Íslandi hefur verið unnið frumherjastarf með Kalína-tæknina sem byggir á leysni ammóníaks í vatni. Niðurstöður þessarar vinnu hafa verið mikilvægar og lærdómsríkar en tæring ammóníaksins á vélbúnaði er ennþá nokkur farartálmi.

Koldíoxíð og fleiri gastegundir sem fylgja jarðvarmavirkjun eru gróðurhúsalofttegundir. Aukin þekking á bindingu eða beislun þessara gasa er mikil áskorun hér á landi og um leið mikilvæg varðandi útflutning á þekkingu til jarðvarmabeislunar. Söfnun gasa, einkum brennisteinsvetnis og koldíoxíðs er ein af lausnum á þessu sviði. Tilraunir tengdar OR og fleirum með beislun og bindingu gasa á Hellisheiði eru mikilvægt innlegg á þessu sviði. Enn er ekki fullkannað hvaða möguleika karbónatmyndun í íslensku basalti getur haft til að binda koldíoxíð. Þekking á þessu mun vaxa mjög á næsta áratug.

Annar möguleiki er að safna koldíoxíði saman, láta það hvarfast við vetni, sem unnið er með rafgreiningu og mynda metanól og/eða aðrar afurðir þess eins og til dæmis DME eða dísil/bensín í tæknilega fullkomnara og dýrara ferli. Kostnaður við vetnisframleiðslu er enn nokkur hindrun varðandi þetta ferli og til að samkeppnishæfni fáiast er þess krafist að í samkeppninni við jarðolíu þurfi verð á olíufatinu á heimsmarkaði að vera a.m.k. 75 dalir eða þar um bil eða hærra.

Tilraunir með þetta hér á landi eru áhugaverðar og ástæða til að mæla með áframhaldi þeirra.

Kostnaður við vetnisframleiðslu er einnig einn af þeim þáttum sem verður afgerandi um almenna beina notkun vetnis í samgöngum hér á landi. Tveir aðrir þættir koma einnig til; geymsla og geymsluform og loks kostnaður við gerð efnarafala. Þar mun þróun verðs á jarðefnaeldsneyti einnig hafa áhrif. Í samantekt virðist að vetnistækni, hvort sem er sem hluti af tilbúnu eldsneyti eða í beinni notkun, gæti hugsanlega á næstu áratugum leikið hlutverk í minnkun útblásturs frá Íslandi.

Aukin nýtni í bifreiðum, flutningatækjum, skipum og flugvélum er framar öllu þegar hugað er að hagkvæmari eldsneytisnotkun. Tæknilegar lausnir til þess að spara eldsneyti hafa komið fram á mörgum sviðum og eitt íslenskt fyrirtæki, Marorka, hefur hlotið alþjóðlega viðurkenningu fyrir kerfi sín. Búast má við að umhverfis- og tæknimenning Marorku hafi áhrif á nálgun Íslands á þessu sviði í framtíðinni. Þá má nefna að tæknilegar endurbætur á vélbúnaði við rafmagnsframleiðslu um borð í skipum hafa þegar leitt til áhugaverðra lausna eins og í tilviki rafsúu sem framleidd er hér á landi. Þegar hugað er að tæknilausnum framtíðarinnar hér á landi er ljóst að mikið rými er fyrir hugmyndafræðina sem einkennir tæknivinnu framangreindra fyrirtækja.

Loks er komið að nýtni við ál- og járnblendiframleiðslu. Ljóst er að mikill hluti íslensku raforkunnar fer til þess að rafgreina áloxíð og sundra efnasamböndum við kísiljárnframleiðslu. Báðar þessar leiðir þarfnast nú kolefnaríkra skauta. Mikið útstreymi verður við hvörfun kolefnisins og súrefnis í báðum tilvikum.

Tvær leiðir skulu nefndar í þessu sambandi. Fyrst skal nefnt að við kísiljárnframleiðslu (þetta á einnig við um kísilframleiðslu úr kvartsi almennt) má safna saman koldíoxíði og hvarfa með vetni eins og fyrr er nefnt. Auk þess myndi lokun kísiljárnofns geta leitt til þess að kolmónoxíð yrði varðveitt – það yrði ekki oxað í hið orkufreka efnasamband koldíoxíð – heldur unnt að nota kolmónoxíðið strax með minni kostnaði við eldsneytisframleiðslu. Í tilviki álframleiðslu væri unnt að safna koldíoxíðinu saman og hvarfa strax við vetni til framleiðslu eldsneytis. Þetta ferli er heldur flóknara en það sem tengt er kísiljárninu vegna mikillar þynningar koldíoxíðs í útblæstri frá álframleiðslu.

Að skipta um rafskautatækni í ál- eða kísiljárnframleiðslu er tæknilega mögulegt og æskilegt frá sjónarmiði útstreymis. Kísiljárnframleiðslan er flóknari og hafa verið gerðar tilraunir með ýmiss konar plasmataekni. Á sviði álframleiðslu eru hins vegar á borðinu lausnir eins og nefndar eru hér í skýrslunni um svokallaða carbothermic aðferð og óvirk forskaut. Kostnaður við að efla slíka tækni verður mikill og er erfitt að bera hann saman við yfir aldargamla tækni Hérault-Hall ferlisins. Hér á landi er tækni hinna óvirku rafskauta afar áhugaverð og hægt að mæla með því að vel verði fylgst með á þessu sviði.

### 6.3 Lausnir um miðja öldina

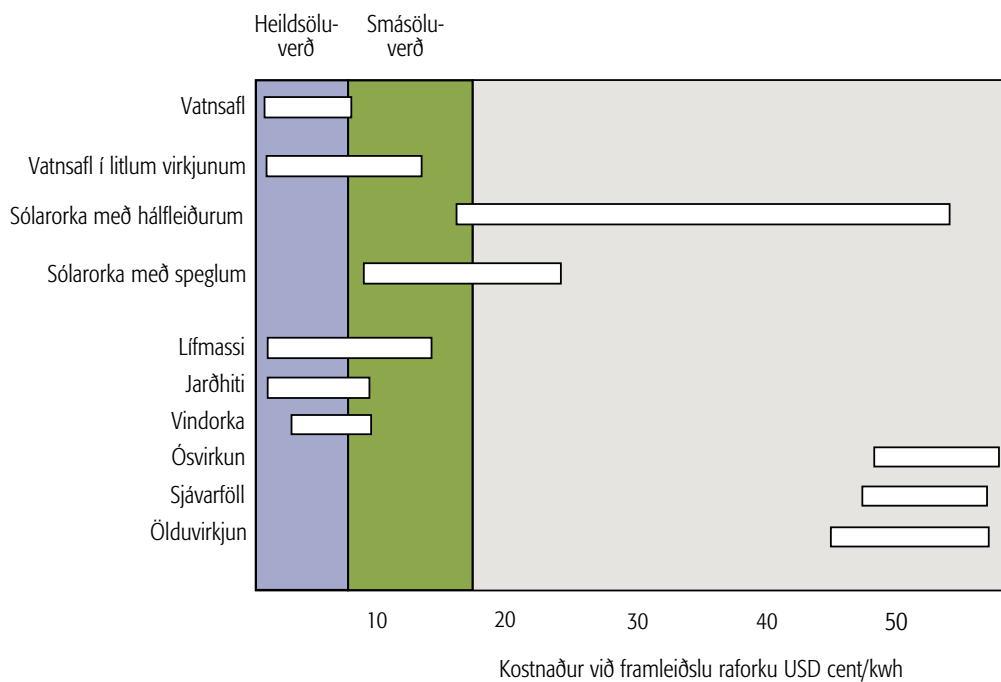
Notkun endurnýjanlegrar orku á Íslandi hefur takmakast af hefðbundinni vatnsorkubeislun og notkun jarðvarma. Margar aðrar tegundir endurnýjanlegrar orku eru fyrir hendi í miklu magni hérlandis en hafa ef til vill liðið fyrir ofgnótt og hagkvæmni annarra áður nefndra orkuþátta.

Vindorka sem vissulega er til í miklu magni er ákjósanleg uppspretta. Vandí hennar er tæknilega hve vindur hér er óstöðugur og ennfremur fólgin í skorti á geymsluhæfni orkunnar. Einnig verður ekki litið fram hjá öðrum umhverfisáhrifum, einkum sjónmengun og meintum hávaða. Bent hefur verið á áhugavert samspil vindorku og vatnsorku og þá ýmist samspili sem er árstíðabundið tengt lækun vatnsyfirborðs í uppistöðulónum að vorlagi eða þá notkun vindorku til að dæla vatni í lón eins og tilraunir hafa verið gerðar með erlendis. Tækniframfarir hafa orðið miklar í vindorku og stærð og hagkvæmni rafala eykst. Þessi orkubeislun mun örugglega verða notuð hér og ekki ólíklegt að það verði frá og með öðrum áratug aldarinnar og frameftir.

Flutningaskip í förum milli Íslands og Ameríku þekkja glöggst sterka vinda á leiðinni og rætt hefur verið um að drýgja eldsneyti með því að beita seglum, smáum seglum einskonar flugdrekum sem skjóta má á loft undan byr og nota til þess að draga fley undan vindi.

Sjávarorka er mikil við Ísland. Úthafsöldur skella á ströndinni og Atlantshafið sunnan og vestan Íslands ber mikla ölduorku. Miklar tækniframfarir hafa orðið á beislun ölduorku en því er vart að búast við að hún verði mjög hagkvæm fyrr en kemur fram á öldina.

Svipaða sögu er að segja af sjávarföllum og hafstraumum. Þó er viðbúið að virkjun sjávarfalla á svæðum eins og við Breiðafjörð geti orðið hagkvæm, einkum í samhengi við þverbrúun fjarða og við svipaðar aðstæður þar sem kostnaði við mannvirki er deilt



Mjög rúmar tölur byggðar á OESD, DoE, Net Ltd., Þorsteinn I. Sigfússon f. skýrslu Brynhildar Davíðsdóttir et al, Drög

Mynd 6-1. sýnir lauslega áætlun um fjárfestingarkostnað (stofnkostnaður grundvallaður á 6% vaxtastigi og afskriftartíma á 15-25 árum og rafaflí sem aflað er).

með annars konar framkvæmdum. Tæknilegar útfærslur felast mest í hverflum af mörgu tagi og ekki sýnt hvaða tækni muni hafa vinninginn. Íslendingar hafa fylgst náið með þessari þróun. Vel er hægt að hugsa sér aðsetur til tilrauna hérlendis og bjóða með því framleiðendum hverfla upp á aðstöðu til raunprófana. Hægt er að mæla með því að unnið verði með Evrópuþjóðum eins og Skotum um áframhaldandi rannsóknir og prófanir hér á landi.

Vatnsafl mun halda áfram að vera mikilvæg orkuuppspretta á Íslandi. Eftir því sem líður á öldina og búast má við aukinni hitun vegna gróðurhúsaáhrifa mun bráðnun jökla aukast. Þá þarf að huga að því að auka hæfni virkjana til að taka við meira rennsli, bæði með endurbótum á hverflum og ekki síður á stækkun rennislísa. Ekkert af þessu kallar endilega á meiri eða fullkomnari tækni, nema ef væri bortækni.

Á þessu sviði ber einnig að líta á aðra orku sem fallvatn ber í sér á leið sinni að ósi elfu. Hér er til dæmis mjög áhugavert að líta til ósvirkjunar, virkjunar þeirrar orku sem felst í því að blanda söltu vatni og ósöltu. Norðmenn hafa þegar byrjað tilraunir með þessa orku og huga að ósvirkjunum í framtíðarorkukerfi Noregs. Hér á landi er mikil orka fólgin í ósum landsins og víða áhugavert að huga að virkjunum. Þar væri mikilvægt að byrja á að huga að virkjunum áa eins og Þjórsár og Ölfusár þar sem hundruð megavött eru óvirkjuð. Eins er mjög áhugavert að huga að virkjunum áa og elfa á svæðum Íslands þar sem umhverfisröskun yrði óumflýjanlega mikil vegna hefðbundinna vatnsaflsvirkjana eins og til dæmis á Vestfjörðum og víðar.

Á sviði jarðhitavirkjana er ennþá horft til varmarafmagns. Þessi tækni er enn ófullkomin; notast við storkutækni (solid state technology) þar sem hitamunur heits og kalds er virkjaður með varmastreymi um hálfleiðara. Á þessu sviði er horft til hinnar fullkomnari tækni sem kennd er við vakúmdíóður þar sem rafeindir eru örvaðar af

hitamun til þess að hoppa yfir bil tómarúms og flytja þannig varmaorku yfir í raforku. Nýtnistuðlar varmarafmagns í dag eru of lágir – en gætu fræðilega boðið upp á hagnýtingu í framtíðinni. Hún býður enn tæknilegra framfara.

Lægstu verðmörk á mynd 6-1 eru byggð á bestu aðstæðum (bestu fáanlegu tækni, bestun virkjunarstærðar og hönnunar). Byggt á gögnum frá OECD, Department of Energy USA og NET Ltd. í Sviss. Myndin er aðeins ætluð sem umræðugrunnur.

## **7 Samantekt aðgerða og samlegðaráhrif<sup>39</sup>**

Eins og fram hefur komið í köflunum hér á undan koma margvíslegar mótvægisáðgerðir til greina til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Hingað til hefur aðeins verið fjallað um mögulegar mótvægisáðgerðir í einstökum geirum. Í kafla 7 er útstreymi og mótvægisáðgerðir skoðaðar í heildarsamhengi og áhrif mótvægisáðgerða á heildarútstreymi skoðuð.

### **7.1 Úrræði til að draga úr útstreymi**

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi nam 4.482 þúsund tonnum árið 2007 (m.v. CO<sub>2</sub>-ígildi). Það er 1.082 þúsund tonnum meira en árið 1990. Svo sem fram kemur í töflu 7-1 hefur útstreymið aukist í öllum atvinnugreinum sem þar eru tilgreindar nema í fiskveiðum, fiskimjölsvinnslu, landbúnaði, öðrum iðnaði og olíubrennslu til orkuframleiðslu. Mest dróst útstreymið saman í fiskveiðum, eða um 91 þúsund tonn. Mest jókst aftur á móti útstreymi frá álframleiðslu, eða um 409 þúsund tonn. Í samgöngum nam aukningin 408 þúsund tonnum og 188 þúsund tonnum í framleiðslu á járblendi. Aukið útstreymi frá samgöngum má að mestu leyti rekja til að bílum hefur fjölgað mikið. Árið 1990 taldi flotinn 134 þúsund ökutæki en 227 þúsund árið 2006. Auknar framkvæmdir hafa aukið útstreymi frá vélum og tækjum. Enda þótt útstreymi í álframleiðslu hafi aukist á því tímabili sem hér um ræðir ber að hafa í huga að framleiðsla á áli óx stórum á þessum tíma. Ný álver tóku til starfa á Grundartanga (1998) og við Reyðarfjörð (2007) og álverið í Straumsvík var stækkað. Framleiðsla áls nam t.d. 88 þúsund tonnum árið 1990, en 455 þúsund tonnum árið 2007. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á hvert framleitt tonn af áli hafði því dregist saman úr 6,5 tonnum árið 1990 í 2,1 tonn árið 2007. Framleiðslugeta járblendisverksmiðjunnar var einnig aukin, en útstreymi á hvert framleitt tonn kísilmálmshafur haldist svipuð, eða 3,1-3,4 tonn af gróðurhúsalofttegundum.

<sup>39</sup> Kaffi 7 byggist að hluta til á óbirtri greinargerð Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands.

|                               | 1990  | 2007  | Breyting |
|-------------------------------|-------|-------|----------|
| Oliubrensla v/orkuframleiðslu | 57    | 31    | -26      |
| Fiskimjöl                     | 127   | 79    | -48      |
| Annar iðnaður                 | 99    | 44    | -55      |
| Efnanotkun                    | 15    | 81    | 66       |
| Sementsframleiðsla            | 102   | 128   | 26       |
| Jarðhitavirkjanir             | 67    | 152   | 85       |
| Mannvirkjagerð                | 136   | 221   | 85       |
| Úrgangur                      | 180   | 254   | 74       |
| Járblendisframleiðsla         | 205   | 393   | 188      |
| Landbúnaður                   | 573   | 534   | -39      |
| Fiskveiðar                    | 662   | 571   | -91      |
| Álframleiðsla                 | 569   | 978   | 409      |
| Samgöngur                     | 609   | 1.017 | 408      |
| Samtals                       | 3.401 | 4.483 | 1.082    |

Tafla 7-1. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda árin 1990 og 2007 (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildum.)

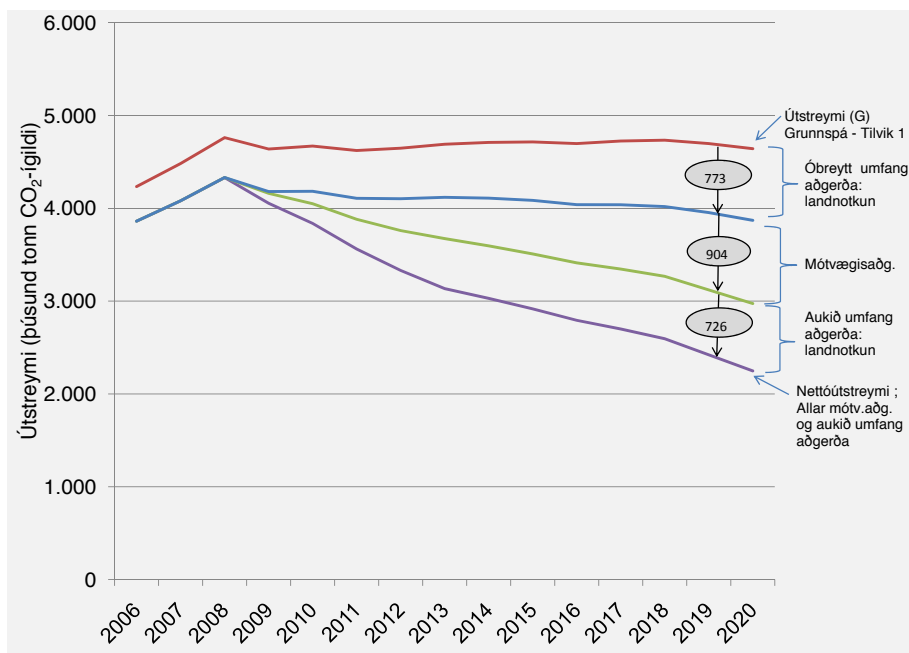
Árið 2020 er gert ráð fyrir að heildarútstreymi gróðurhúsalofttegunda nemi samtals um 4.644 þúsund tonnum, þar sem heildarútstreymi er skilgreint sem útstreymi án landnotkunar. Er þá miðað við afskiptalausá þróun (hér tilvik 1 í útstreymisspá Umhverfisstofnunar). Með ýmsum mögulegum mótvægisáðgerðum (án aðgerða á sviði landnotkunar) mætti hugsanlega draga úr útstreymi um 904 þúsund tonn. Þessar mótvægisáðgerðir eru betur skýrðar þegar fjallað er um einstakar atvinnugreinar hér á eftir, og einnig hefur verið fjallað um þær í kafla 4. Ef enn fremur er gert ráð fyrir að árlegt umfang nýrra verkefna í landgræðslu og skógrækt haldist óbreytt m.v. núverandi umfang má áætla að sú kolefnisbinding sem af því hlytist myndi nema um 773 þúsund tonnum og því leiða til heildarsamdráttar á um 1.677 þúsund tonnum í nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda, þar sem nettóútstreymi er reiknað sem heildarútstreymi að frádregnum mótvægisáðgerðum og bindingu. Það samsvarar 36% af áætluðu heildarútstreymi ársins 2020. Ef að auki er gert ráð fyrir auknum aðgerðum á sviði landnotkunar þannig að til viðbótar við aukið umfang skógræktar- og landgræðsluáðgerða verði fyllt í skurði og votlendi þannig endurheimt, má ætla að hægt verði að draga úr heildarlosun um 726 þúsund tonn í viðbót. Samtals væri þá hægt að draga úr útstreymi um 52% (Tafla 7-2 og mynd 7-1).

Mynd 7-1 sýnir hvernig spár gera ráð fyrir að nettóútstreymi og mótvægisáðgerðir þróist á tímabilinu 2006-2020. Samkvæmt þeirri spá koma fyrstu mótvægisáðgerðir fram árið 2009 og dregst útstreymi saman um 130 þúsund tonn vegna þeirra. Hér er fyrst og fremst um að ræða áhrif aðgerða á sviði landnotkunar. Litlar mótvægisáðgerðir eru í atvinnugreinum fyrstu árin en þær aukast verulega er á tímabilið líður.

Tafla 7-3 sýnir spá miðað við tilvik 2. Í því tilviki er gert ráð fyrir að árið 2020 verði útstreymi gróðurhúsalofttegunda samtals 5.994 tonn, og munar þar mestu um aukna ál- og járnblendisframleiðslu. Er þá, sem fyrr, miðað við afskiptalausá þróun.

|  | Útstreymi    | Mótvægisáðgerðir |           |
|--|--------------|------------------|-----------|
|  |              | Tonn             | %         |
| Olíubrennsla v/orkuframleiðslu                             | 15           | 8                | 53        |
| Annar iðnaður  | 30           | 0                | 0         |
| Fiskimjöl  | 54           | 54               | 100       |
| Sementsframleiðsla   | 86           | 22               | 26        |
| Efnanotkun   | 110          | 0                | 0         |
| Orkuframleiðsla  | 201          | 100              | 50        |
| Mannvirkjagerð   | 245          | 28               | 11        |
| Úrgangur   | 271          | 24               | 9         |
| Járnblandiframleiðsla                                      | 409          | 19               | 5         |
| Landbúnaður  | 500          | 62               | 12        |
| Fiskveiðar   | 542          | 409              | 75        |
| Samgöngur  | 847          | 98               | 12        |
| Álfframleiðsla   | 1.333        | 80               | 6         |
| <b>Samtals</b>   | <b>4.643</b> | <b>904</b>       | <b>19</b> |
| Landnotkun, óbreytt umfang aðgerða                         |              | 773              | 17        |
| <b>Samtals með óbreyttu umfangi aðgerða</b>                |              | <b>1.677</b>     | <b>36</b> |
| Landnotkun, aukið umfang aðgerða                           |              | 726              | 16        |
| <b>Samtals, með auknu umfangi aðgerða (nettóútstreymi)</b> |              | <b>2.404</b>     | <b>52</b> |

Tafla 7-2. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2020 miðað við afskiptalausá þróun og áhrif hugsanlegra mótvægisáðgerða (þúsund tonn m.v. CO<sub>2</sub>-ígildi – tilvik 1).



Mynd 7-1. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi árin 2006-2020 og hugsanlegar mótvægisáðgerðir. Þúsund tonn m.v. CO<sub>2</sub>-ígildi (tilvik 1).



|                                      | Útstreymi | Mótægisaðgerðir |     |
|--------------------------------------|-----------|-----------------|-----|
|                                      |           | Tonn            | %   |
| Olíubrensla v/orkuframleiðslu        | 16        | 8               | 50  |
| Annar iðnaður                        | 34        | 0               | 0   |
| Fiskimjöl                            | 54        | 54              | 100 |
| Sementsframleiðsla                   | 138       | 35              | 26  |
| Efnanotkun                           | 110       | 0               | 0   |
| Jarðhitavirkjanir                    | 211       | 100             | 47  |
| Mannvirkjagerð                       | 259       | 30              | 12  |
| Úrgangur                             | 271       | 24              | 9   |
| Járnblendiframleiðsla                | 647       | 19              | 3   |
| Fiskveiðar                           | 542       | 409             | 75  |
| Landbúnaður                          | 500       | 62              | 12  |
| Samgöngur                            | 940       | 109             | 12  |
| Álframleiðsla                        | 2.272     | 136             | 6   |
| Samtals                              | 5.994     | 987             | 16  |
|                                      |           |                 |     |
| Landnotkun, óbreytt umfang aðgerða   |           | 773             |     |
| Samtals með óbreyttu umfangi aðgerða |           | 1.760           | 29  |
|                                      |           |                 |     |
| Landnotkun, aukið umfang aðgerða     |           | 726             |     |
| Samtals, með auknu umfangi aðgerða   |           | 2.486           | 41  |

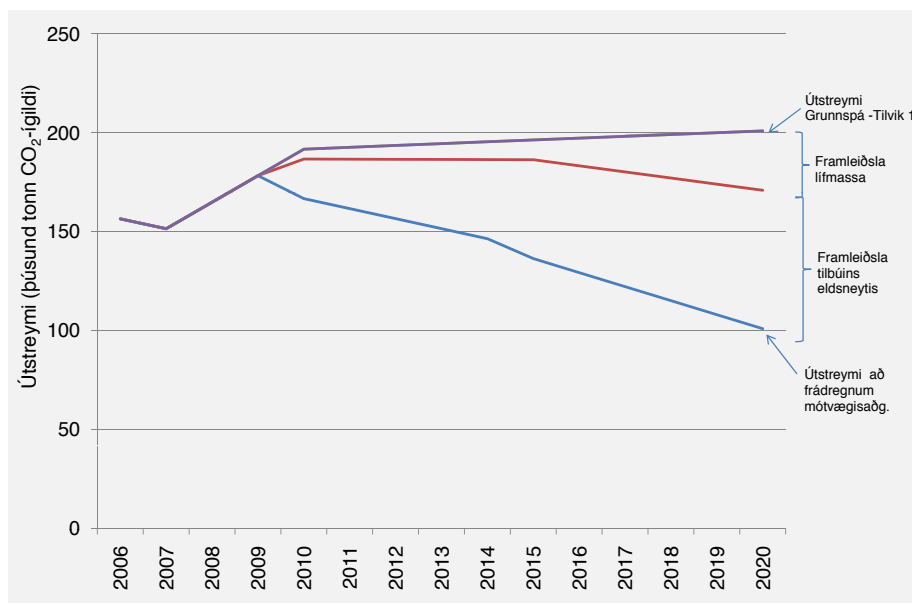
7-3. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2020 m.v. afskiptalausna þróun og áhrif hugsanlegra mótægisaðgerða (Þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi – tilvik 2).

Með sömu mótægisaðgerðum og gert er ráð fyrir í tilviki 1, mætti draga úr útstreymi um 987 þúsund tonn. Ef enn fremur er gert ráð fyrir að árlegt umfang nýrra verkefna í landgræðslu og skógrækt haldist óbreytt frá núverandi umfangi má áætla að sú kol-efnisbinding sem af því hlyst myndi nema um 773 þúsund tonnum og því leiða til heildarsamdráttar á um 1.760 þúsund tonn í nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda. Það samsvarar 29% af áætluðu heildarútstreymi ársins 2020. Ef að auki er gert ráð fyrir auknum aðgerðum á sviði landnotkunar líkt og í tilviki 1, má ætla að hægt verði að auka bindingu um 726 þúsund tonn í viðbót. Samtals væri þá hægt að draga úr útstreymi um 41% árið 2020 (miðað við tilvik 2 í útstreymisspá Umhverfisstofnunar).

Hér á eftir verður nánari grein gerð fyrir þeim mótægisaðgerðum sem gert er ráð fyrir að gripið verði til í hverri atvinnugrein fyrir sig á næsta áratug.

### 7.1.5 Orkuframleiðsla

Til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu á Íslandi er annars vegar hægt að nýta endurnýjanlega orkugjafa í staðinn fyrir jarðefnaeldsneyti og hins vegar að finna leiðir til að fanga útstreymi frá jarðvarmavirkjunum, endurnýta



Mynd 7-2. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna jarðvarmavirkjana árin 2006–2020 og hugsanlegar mótvægisáðgerðir (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).

kolefni með framleiðslu tilbúins eldsneytis, binda kolefni í einfrumulífmassa og með bindingu í basalti.

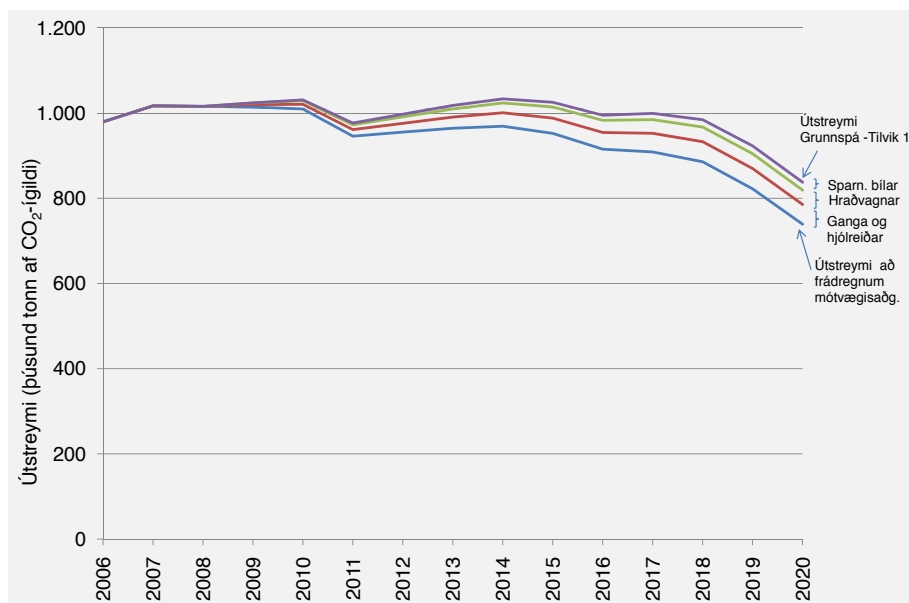
Hér er gert ráð fyrir að árið 2020 verði hægt að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda um 70 þúsund tonn með því að endurnýta kolefni með framleiðslu tilbúins eldsneytis, um 30 þúsund tonn með því að binda kolefni í einfrumulífmassa. Kostnaður við fyrstnefndu aðferðina er áætlaður 5.600 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi, en kostnaður við að binda kolefni í einfrumulífmassa ræðst af því hvaða aðferð er notuð. Tvær aðferðir koma til greina. Annars vegar er hægt að binda brennistein í útblæstri jarðvarmavirkjana í einfrumulífmassa. Binding CO<sub>2</sub> fylgir þá með í kaupbæti og er því enginn aukakostnaður við bindinguna. Hin aðferðin felst í því að nota það vetni sem til fellur til að auka framleiðslu lífmassa og er kostnaður við það áætlaður um 5.700 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

### 7.1.6 Samgöngur

Þeim aðgerðum sem beita má til að draga úr útstreymi frá samgöngum á landi má skipta í fjóra flokka. Í þann fyrsta falla aðgerðir sem styrkja almenningsamgöngukerfið og ýta undir að fólk fari ferða sinna gangandi eða hjólandi. Í annan flokk falla möguleikar á að blanda lífildsneyti í bensín og dísilolíu og einnig má blanda metanóli í bensín. Í þriðja lagi má beita aðgerðum til að bæta orkunýtingu, svo sem að fjölga sparneytnum fólksbílum og auka hlut dísilfólksbíla og tvinnbíla í bílaflotanum. Loks má draga úr útstreymi með nýrri tækni, svo sem E85-bílum, metanbílum, rafmagnsbílum og vetnisbílum.

Vegna þess hve aðgerðirnar geta skarast er nauðsynlegt að setja fram ákveðnar sviðsmyndir til að glöggva sig á því hversu mikið þær aðgerðir sem ráðist er í myndu samanlagt draga mikið úr útstreymi. Hér er gert ráð fyrir þrenns konar aðgerðum til að draga úr útstreymi í samgöngum. Í fyrsta lagi er miðað við að gerðar verði nauðsynlegar ráðstafanir til að ýta undir að almenningur gangi og hjóli meira. Í öðru lagi er gert ráð fyrir að hraðvagnakerfi verði komið á fót og í þriðja lagi að hlutfall sparneytnari fólksbíla aukist. Samtals er áætlað að þessar aðgerðir minnki útstreymi um

Mynd 7-3. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna samgangna á landi árin 2006–2020 og hugsanlegar mótvægisáðgerðir. Miðað er við ákveðna sviðsmynd sem gerir ráð fyrir aukinni áherslu á göngu og hjólréiðar, tilkomu hraðvagna og þess að sparneytnari fjólsbílur lleysi aðra eyðslufrekari af hólmi (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).



100 þúsund tonn, eða 12% (sjá mynd 7-7). Tekið er tillit til þess að þessar áðgerðir geti skarast.

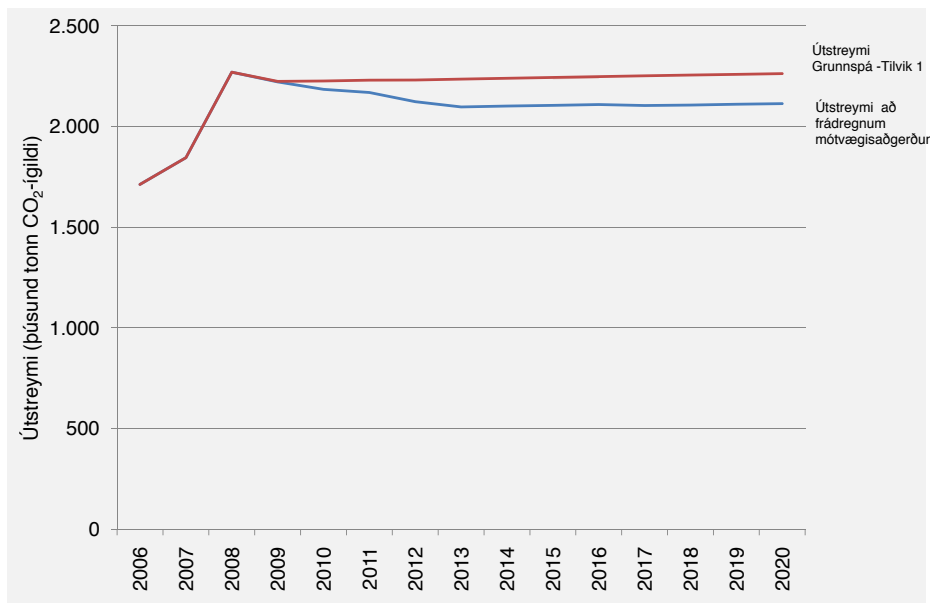
Kostnaður við þessar áðgerðir er misjafn. Aukin notkun sparneytnari bíla hefur í för með sér beinan ávinning upp á 215 þúsund kr. hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi og hreinn ávinningur af því að fólk gangi og hjóli meira nemur 38.000 kr. á hvert tonn CO<sub>2</sub> ígilda. Hér er litið framhjá þeim áhrifum sem síðarnefnda atriðið hefur á heilsu fólks og mengun, bæði hljóðmengun og loftmengun, en ábatinn af því að ganga og hjóla eykst ef þau áhrif væru tekin með. Áætlaður kostnaður við að draga úr útstreymi með því að taka upp hraðvagna er um 25.000 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi þegar litið er framhjá minni mengun.

Í ofangreindri sviðsmynd er ekki gert ráð fyrir ýmsum öðrum möguleikum til að draga úr útstreymi, svo sem rafbílavæðingu, en þeim eru gerð betri skil í kafla 4.3. Hér skal þó minnst á einn valkost sem ekki er tilgreindur: tengiltvinnbíla, þ.e. tvinnbíla sem hægt er að tengja við rafmagn (e. plug-in hybrids). Tengiltvinnbílar ganga bæði fyrir bensíni eða dísil og rafmagni, en ólíkt mörgum öðrum rafmagnstvinnbílum er bæði hægt að hlaða rafgeyma þeirra með því að tengja þá við rafmagn eða hlaða þá með hefðbundnum hætti með akstri. Mögulegur samdráttur í útstreymi ræðst af því hvernig rafmagnið sem hlaðið er á bílana er framleitt, en þar sem raforkan er framleidd með lítt mengandi hætti, svo sem í vatnsorkuverum, getur sá samdráttur orðið mikill. Nýlegar rannsóknir gefa til kynna að við þær aðstæður mætti draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda um rúm 60% frá bílum (McKinsey 2009). Kostnaður árið 2030 er áætlaður nálega 20 evrur á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

#### 7.1.4 Iðnaður

##### Áframleiðsla

Gera má ráð fyrir að frekari umbætur í framleiðslustýringu og aukin rafvæðing geti minnkað útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá álverum um 6%. Vart er við því að búast að frekari minnkun útstreymis verði möguleg fyrir en upp úr 2030 þegar hugsanlegt er að eðalrafskaut verði fýsilegur kostur.



Mynd 7-4. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda í iðnaði árin 2006–2020 og hugsanlegar mótvægisáðgerðir skv. tilviki 1 (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).

Hér er gert ráð fyrir að hægt verði að minnka útstreymi um þessi 6% án þess að það hafi nokkurn viðbótarkostnað í för með sér.

### Járblendisframleiðsla

Helstu möguleikar til að draga úr útstreymi eru að auka notkun á timburkurli, nota rafhitara í stað olíuhitara eða fanga kolefni í útstreymi. Hér verður einkum staðnæmst við fyrri tvo kostina.

Fræðilega væri hægt að auka notkun á timburkurli frá sorphirðu og draga með því úr útstreymi um 12 þúsund tonn. Kostnaður við slíkt er áætlaður um 400 kr. á hvert tonn. Að auki mætti draga úr útstreymi um 6 þúsund tonn í viðbót með því að nota einnig kurl úr fersku timbri, eða um alls 4,6%. Ekki myndi þurfa að ráðast í frekari fjárfestingar til að nýta það kurl.

Tveir olíubrennarar hafa þegar verið teknir úr notkun hjá járnblendiverksmiðjunni 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 verði að draga úr útstreymi um 1.500 tonn af gróðurhúsalofttegundum með þessum hætti.

Fræðilega er mögulegt að fanga nánast allan kolefnisútblástur úr járnblendisverksmiðjunni og nýta í tilbúið eldsneyti. Þetta er langtímaverkefni sem kallar á mikla rannsókn- og þróunarvinnu. Miðað við útgefið starfsleyfi má auka framleiðslu um sem svarar einum ofni til viðbótar við þá þrjá sem þegar eru í notkun. Verði af þeirri stækkun má gera ráð fyrir að sá verði byggður lokaður með endurheimt kolefnis í huga.

### Sementsframleiðsla

Við framleiðslu á sementsgjalli losnar koldíoxíð úr hráefnum og vegna 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 gróðurhúsa-

lofttegunda frá sementsframleiðslu kemur til vegna brennslu koladufts sem eldsneytis. Talið er að hægt sé að skipta út allt að helmingi þessarar eldsneytisnotkunar fyrir kolefnishlutlaust eldsneyti og draga úr útstreymi um 25%. Kostnaður við þessar breytingar er áætlaður um 1.900 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

### **Mannvirkjagerð**

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 framkvæmda-svæðum auk tækja sem notuð eru í landbúnaði. 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. Útstreymi helst eðlilega í hendur við framkvæmdir.

Tæknilegir möguleikar liggja helst í þróun nýrra orkugjafa líkt og í samgöngugeira og þá helst kemur til íblöndun lífdísils. Einnig má ætla að nokkur tækifæri liggi í betra skipulagi vinnu og flutninga. Fyrir um áratug síðan voru gerðar breytingar á vöru-gjöldum á atvinnutæki sem auðvelduðu endurnýjun á tækjum og við þá breytingu voru eldri tæki aflögð og í staðinn komu nýrri tæki með betri eldsneytisnýtingu. Frekari samdráttur í útstreymi ræðst af tækniþróun og endurnýjun tækjanna.

Talið er að árið 2020 verði hægt að minnka útstreymi frá mannvirkjagerð um 28 þúsund tonn á ári með því íblöndun lífdísils, eða um 11%. Kostnaður er áætlaður um 4.600 krónur á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

### **Annar iðnaður**

Undir þennan lið fellur útstreymi vegna starfsemi annarra stærri iðnfyrirtækja, svo sem áburðarverksmiðju, steinullarframleiðslu, malbikunarstöðva og notkun eldsneytis í öðrum iðnaði. Útstreymi frá þessari starfsemi fer minnkandi, enda hafa nokkur fyrirtæki, sem töldust til þessa geira, nú hætt starfsemi.

### **Efnanotkun**

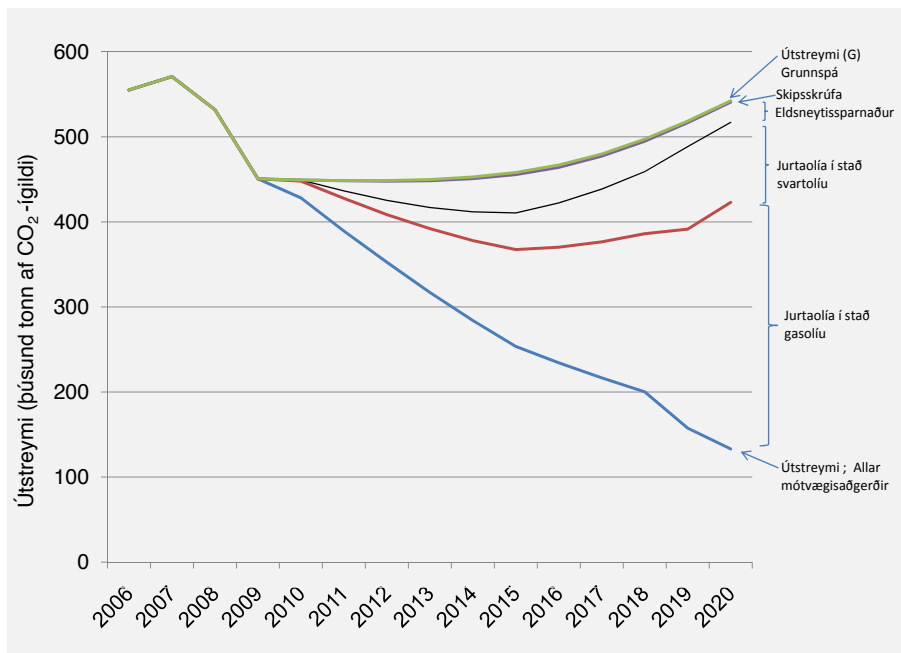
Flokkurinn efnanotkun skiptist í leysiefni og HFC efni og telur um 2% af heildarútstreymi Íslands. Upplýsingar um hugsanlegar mótvægisáðgerðir eru brotakenndar og því litið framhjá þeim hér.

Mynd 7-5 sýnir spá um þróun heildarútstreymis gróðurhúsalofttegunda á tímabilinu 2006-2020 í öllum iðngreinum og hugsanlegar mótvægisáðgerðir. Myndin nær með öðrum orðum til útstreymis frá álverum, járnblendisverksmiðju, sementsverksmiðju og mannvirkjagerð og hugsanlegra mótvægisáðgerða í þessum iðngreinum. Einnig er litið til útstreymis í öðrum iðnaði og efnanotkun en ekki tekið tillit til neinna hugsanlegra mótvægisáðgerða í þeim atvinnugreinum.

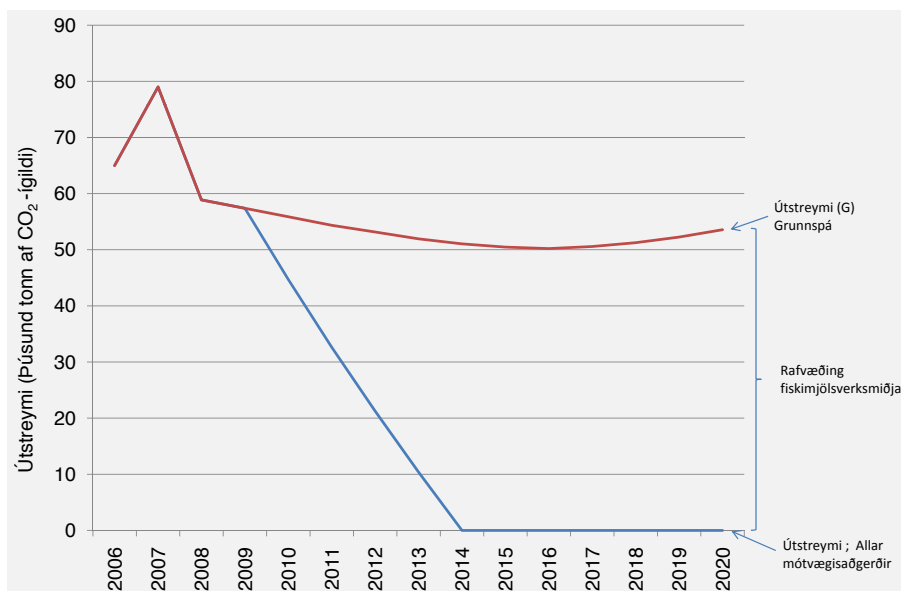
#### **7.1.1 Fiskveiðar**

Til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda fiskveiðiflotans má grípa til áðgerða er miða að því að spara eldsneyti, auka nýtingu loftslagsvænni orkugjafa og auka notkun landrafmagns við landlegur.

Ýmsir möguleikar eru á að minnka útstreymi með því að skipta úr svart- eða gasolíu í aðra orkugjafa. Í þeirri sviðsmynd sem hér er sett fram 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 verði notkun svartolíu algerlega hætt. Miðað er við hægfara innleiðingu



Mynd 7-5. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna fiskveiða árin 2006–2020 og hugsanlegar mótvægisáðgerðir (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).



Mynd 7-6. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna framleiðslu á fiskimjöli árin 2006–2020 og hugsanlegar mótvægisáðgerðir (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).

á jurtaolíu. 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.

Í þeirri sviðsmynd sem hér er gengið út frá er einnig gert ráð fyrir að skipt verði um skráfu í 10 stórum skipum – togurum og uppsjávarveiðiskipum – og með því dregið úr útstreymi um 10% hjá þeim skipum 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 minnkun á 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%. Sá samdráttur kæmi ekki til viðbótar við þann samdrátt er leiðir af aukinni notkun jurtaolíu, heldur dregst frá því útstreymi sem er til staðar

eftir að búið er að taka tillit til áhrifa notkunar jurtaolíu á útstreymi. 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 (sjá mynd 7-2).

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 kæmi að skipta um skrúfu á. Kostnaður við að skipta um orkugjafa er um 5.800 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

### 7.1.2 Fiskimjölsvinnsla

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

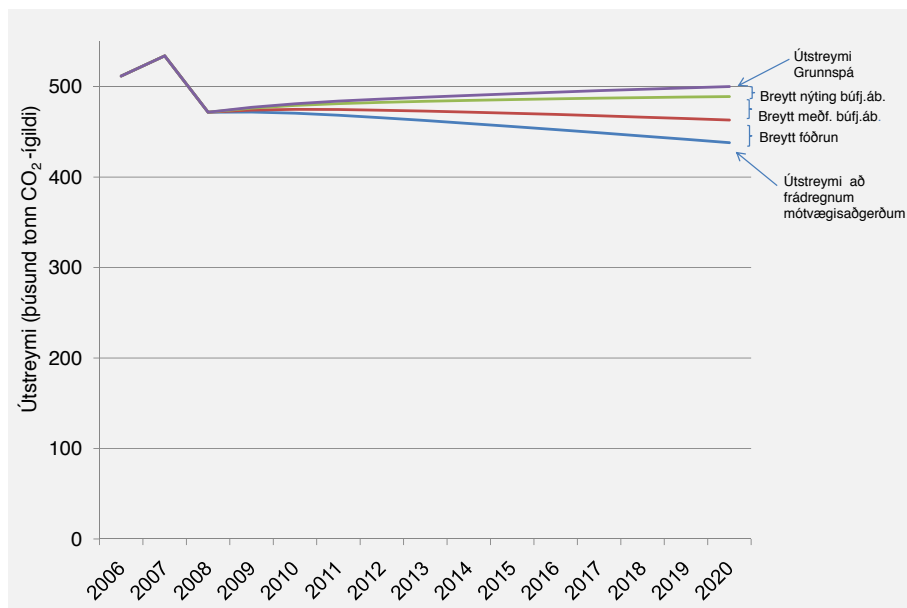
Kostnaður við að breyta öllum helstu fiskimjölverksmiðjum landsins þannig að þær noti ekki lengur olíu gæti numið um 1,3 milljörðum kr. Á móti kemur umtalsverður sparnaður þar sem mun ódýrara er að nota rafmagn en olíu. Árið 2007 er áætlað að þessi sparnaður hafi numið um 500 kr. á hvert tonn af hráefni. 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 ekki tekið tillit til þess kostnaðar sem leggja þarf í til að tryggja öllum fiskimjölverksmiðjum aðgang að ótryggri orku. Jafnframt er líklegt að erfitt reynist fyrir verksmiðjurnar að keyra alfarið á ótryggri orku.

### 7.1.3 Landbúnaður

Útstreymi vegna landbúnaðar einskorðast við útstreymi frá dýrum og landbúnaðarlandi. Samhæft regluverk um fóðrun jörturdýra sem hefði það að markmiði að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda gæti skilað um 11% samdrætti í útstreymi frá búfénaði þ.e. samdrætti sem næmi um 26 þúsund tonnum CO<sub>2</sub>-ígilda á ári. Einnig væri hægt að geyma mykju 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 búfjáráburðar ætti að gera kleift að draga úr innkaupum á tilbúnum köfnunarefnisáburði 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 búfjáráburðar 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. Þetta gæti því numið um 11 þúsund tonnum 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.

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 liggi í kringum \$60 á tonn CO<sub>2</sub>-ígildis (Smith et al. 2007). Þetta gerir því um 5.000 kr./tonn CO<sub>2</sub>-ígildis.



Mynd 7-7. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna landbúnaðar árin 2006–2020 og hugsanlegar mótvægisáðgerðir (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).

Kostnaður við endurbætur á geymslum fyrir búfjáraburð 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 mykjuþrónna, 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.

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 hækkanir hafa orðið á tilbúnum áburði á undanförunum 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.

Útstreymi árið 2020 er áætlað um 500 þúsund tonn en með ofangreindum mótvægisáðgerðum mætti minnka það um 62 þúsund tonn (sjá mynd 7-4).

### 7.1.7 Meðferð úrgangs

Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá úrgangi má að mestu leyti rekja til þess að haugas frá loftfirrtu niðurbroti lífræns úrgangs losnar út í andrúmsloftið. Að auki losnar koldíoxíð við brennslu úrgangs. Helstu leiðir við að minnka þetta útstreymi eru þær að draga úr myndun úrgangs, minnka urðun lífræns úrgangs og auka þess í stað endurvinnslu, jarðgerð, gasgerð, eða brennslu. Þessar aðgerðir geta dregið úr útstreymi um allt að 9%. Hreinn fjárhagslegur ávinningur við að minnka þetta út-



streymi gæti numið um 14.000 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi. Ekki er tekinn með aukinn kostnaður vegna söfnunar og flokkunar úrgangs.

## 7.2 Breytt landnotkun

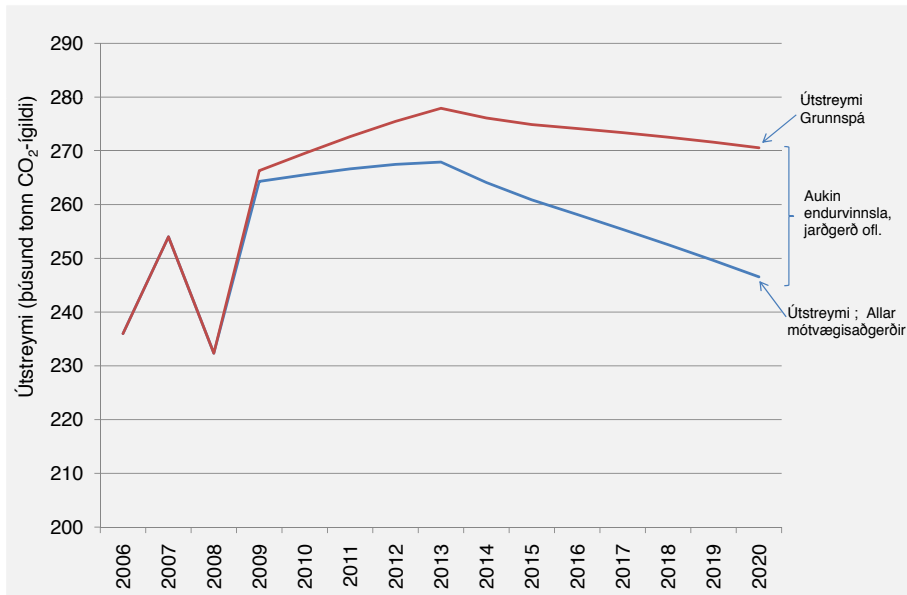
Helsta uppspretta gróðurhúsalofttegunda vegna landnotkunar eru framræstar mýrar. Einnig losnar nokkuð af gróðurhúsalofttegundum frá uppistöðulónum virkjana þar sem jarðvegur hefur horfið undir vatn. Til frádráttar þessu útstreymi kemur binding í skógrækt og landgræðslu. Mögulegt væri að auka verulega umfang landgræðslu- og skógræktarverkefna og endurheimta hluta af því votlendi sem framræst hefur verið. Hér er áætlað að hægt væri að auka bindingu um 415 þúsund tonn árið 2020 með því að endurheimta votlendi, 247 þúsund tonn með því að auka landgræðslu og um 66 þúsund tonn með aukinni skógrækt.

Kostnaður við að endurheimta votlendi er áætlaður um 900 kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi, um 1.300 kr. við aukna landgræðslu og 1.500 kr. við aukna skógrækt.

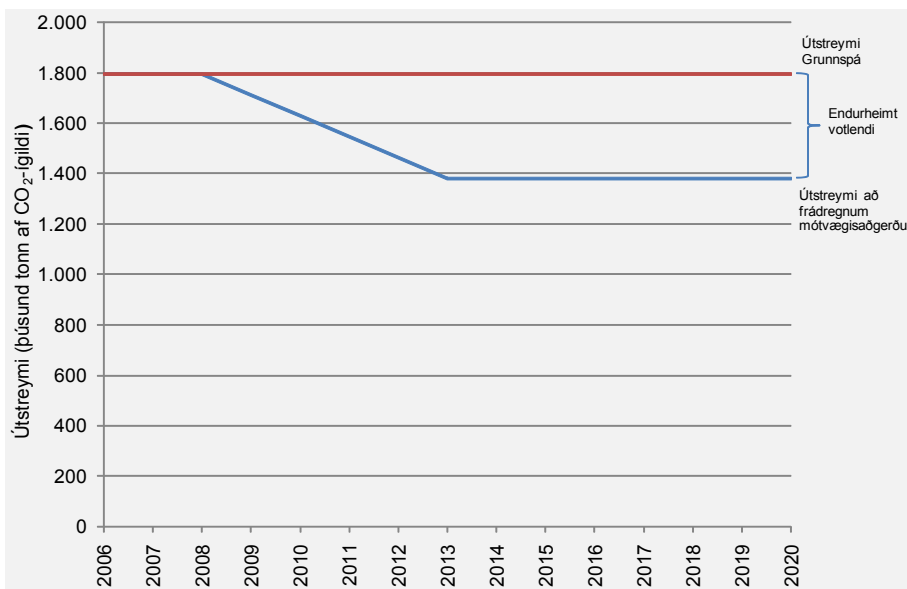
Í töflu 7-4, er útstreymi árið 1990 borið saman við áætlað nettóútstreymi árið 2020 ef gripið yrði til ofangreindra mótvægisáðgerða. Útstreymi árið 1990 nam 3.400 þús-

|                                      | Útstreymi<br>1990 | Útstreymi<br>2007 | Nettóútstreymi<br>2020 | Breyting 1990–2020 |      |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------|------|
|                                      |                   |                   |                        | Tonn               | %    |
| Olíubrennsla v/orkuframleiðslu       | 57                | 31                | 7                      | -50                | -88  |
| Annar iðnaður                        | 99                | 44                | 30                     | -69                | -70  |
| Fiskimjöl                            | 127               | 79                | 0                      | -127               | -100 |
| Sementsframleiðsla                   | 102               | 128               | 64                     | -38                | -37  |
| Efnanotkun                           | 15                | 81                | 110                    | 95                 | 635  |
| Jarðhitavirkjanir                    | 67                | 152               | 101                    | 34                 | 51   |
| Mannvirkjagerð                       | 136               | 221               | 217                    | 81                 | 59   |
| Úrgangur                             | 180               | 254               | 247                    | 67                 | 37   |
| Járnblendiframleiðsla                | 205               | 393               | 390                    | 185                | 90   |
| Fiskveiðar                           | 662               | 571               | 133                    | -529               | -80  |
| Landbúnaður                          | 573               | 534               | 438                    | -135               | -24  |
| Samgöngur                            | 609               | 1017              | 749                    | 140                | 23   |
| Álframleiðsla                        | 569               | 978               | 1.253                  | 684                | 120  |
| Samtals                              | 3.401             | 4.483             | 3.739                  | 338                | 10   |
| Landnotkun, óbreytt umfang aðgerða   |                   |                   | 773                    |                    |      |
| Samtals með óbreyttu umfangi aðgerða |                   |                   | 2.966                  | -435               | -13  |
| Landnotkun, aukið umfang aðgerða     |                   |                   | 726                    |                    |      |
| Samtals, með auknu umfangi aðgerða   |                   |                   | 2.240                  | -1161              | -34  |

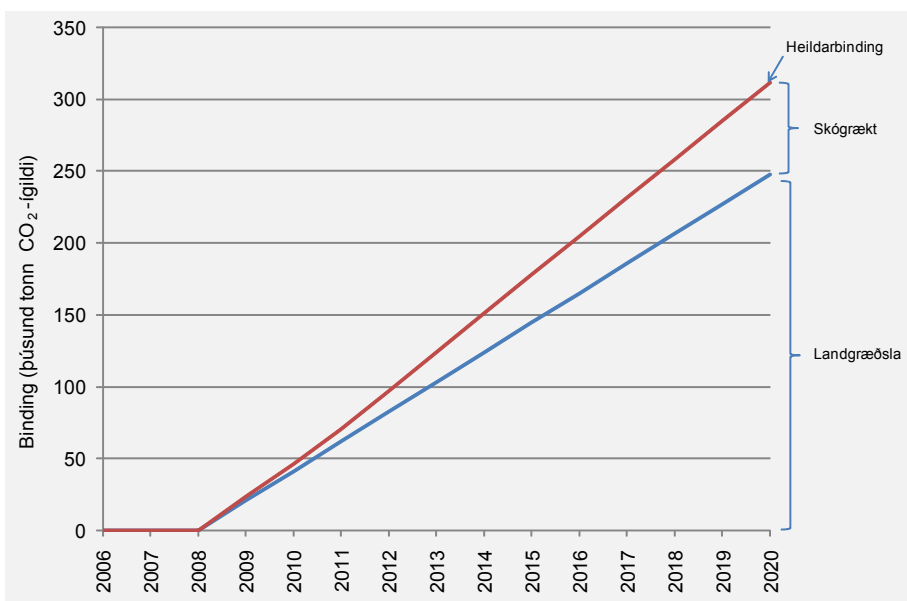
Tafla 7-4. Nettóútstreymi árið 1990, 2007 og spá um nettóútstreymi árið 2020 (tilvik 1). Þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.



Mynd 7-8. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda vegna úrgangs á landi árin 2006–2020 og hugsanlegar mótvægisáðgerðir (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).



Mynd 7-9. Spá um bindingu gróðurhúsalofttegunda með aukinni landgræðslu og skógrækt 2006–2020 (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).



Mynd 7-10. Spá um bindingu gróðurhúsalofttegunda með aukinni landgræðslu og skógrækt 2006–2020 (þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).

und tonnum, en til samanburðar er áætlað að það verði tæplega 3.739 þúsund tonn árið 2020, eða 338 þúsund tonnum meira. Aukningin nemur um 10%. Ef að auki er tekið tillit til þeirrar bindingar sem yrði ef umfang aðgerða á sviði landnotkunar héldist óbreytt m.v. núverandi umfang má ætla að nettóútsreymi árið 2020 verði um 2.966 þúsund tonn, eða 435 þúsund tonnum minna en var árið 1990. Samdrátturinn gæti numið um 13%. Ef enn fremur er gert ráð fyrir að umfang aðgerða á sviði landnotkunar yrði aukið (þ.e. endurheimt votlendis og aukin skógrækt og landgræðsla), gæti nettóútsreymi verið komið í 2.240 þúsund tonn árið 2020. Það myndi svara til 1.161 þúsund tonna minna útsreymis árið 2020 en 1990, eða um þriðjungs samdrátt.

Ef borið er saman við útsreymi ársins 2007 gæti útsreymi til ársins 2020 dregist saman um 17%, 34% og 50% miðað við sömu forsendur og hér að ofan.

Ef binding vegna endurheimtar votlendis, sem nemur um 415 þúsund tonnum er

|   | Útsreymi 1990 | Útsreymi 2007 | Nettóútsreymi 2020 | Breyting 1990–2020 |      |
|---|---------------|---------------|--------------------|--------------------|------|
|   |               |               |                    | Tonn               | %    |
| Oliubrennsla v/orkuframleiðslu                | 57            | 31            | 8                  | -49                | -86  |
| Annar iðnaður                                 | 100           | 44            | 34                 | -66                | -66  |
| Fiskimjöl                                     | 127           | 79            | 0                  | -127               | -100 |
| Sementsframleiðsla                            | 103           | 128           | 103                | 0                  | 0    |
| Efnanotkun                                    | 19            | 81            | 110                | 91                 | 480  |
| Jarðhitavirkjanir                             | 67            | 152           | 111                | 44                 | 66   |
| Mannvirkjagerð                                | 136           | 221           | 229                | 93                 | 68   |
| Úrgangur                                      | 184           | 254           | 247                | 63                 | 34   |
| Járnblendiframleiðsla                         | 204           | 393           | 628                | 424                | 208  |
| Fiskveiðar                                    | 662           | 571           | 133                | -529               | -80  |
| Landbúnaður                                   | 573           | 534           | 438                | -135               | -24  |
| Samgöngur                                     | 608           | 1.017         | 831                | 223                | 37   |
| Álframleiðsla                                 | 569           | 978           | 2.136              | 1.567              | 275  |
| Samtals                                       | 3.409         | 4.483         | 5.007              | 1.598              | 47   |
| Landnotkun, óbreyttar aðgerðir                |               |               | 773                |                    |      |
| Samtals, með óbreyttum aðgerðum               |               |               | 4.234              | 825                | 24   |
| Landnotkun, binding umfram óbreyttar aðgerðir |               |               | 726                |                    |      |
| Samtals, með viðbótarbindingu                 |               |               | 3.508              | 99                 | 3    |

Tafla 7-5. Nettóútsreymi árið 1990, 2007 og spá um nettóútsreymi árið 2020 (tilvik 2). Þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

ekki talin til möguleika til bindingar, er samtals samdráttur í nettóúttreymi miðað við 1990 um 22%.

Í töflu 7-5. er nettóúttreymi árið 1990 borið saman við áætlað nettóúttreymi árið 2020 fyrir tilvik 2 ef gripið yrði til ofangreindra mótvægisáðgerða. Í samanburði við úttreymi árið 1990, er búist við að úttreymi gæti orðið 47% hærrí árið 2020. Ef að auki er tekið tillit til þeirrar bindingar sem yrði ef umfang aðgerða á sviði landnotkunar héldist óbreytt m.v. núverandi umfang má ætla að nettóúttreymi árið 2020 verði um 4.234 þúsund tonn, eða 825 þúsund tonnum meira en var árið 1990. Ef enn fremur er gert ráð fyrir að umfang aðgerða á sviði landnotkunar yrði aukið (þ.e. endurheimt votlendis og aukin skógrækt og landgræðsla), gæti nettóúttreymi verið komið í 3.508 þúsund tonn árið 2020 og er því 3% meira en árið 1990. Ef binding vegna endurheimtar votlendis, er ekki talin með heldur eingöngu binding vegna aukins umfangs skógræktar- og landgræðsluáðgerða, yrði aukning í nettóúttreymi um 15% árið 2020 miðað við 1990.

Ef borið er saman við úttreymi árið 2007 gæti úttreymi ársins 2020 hafa aukist um 12%, dregist saman um 6% og 22% miðað við sömu forsendur og hér að ofan.

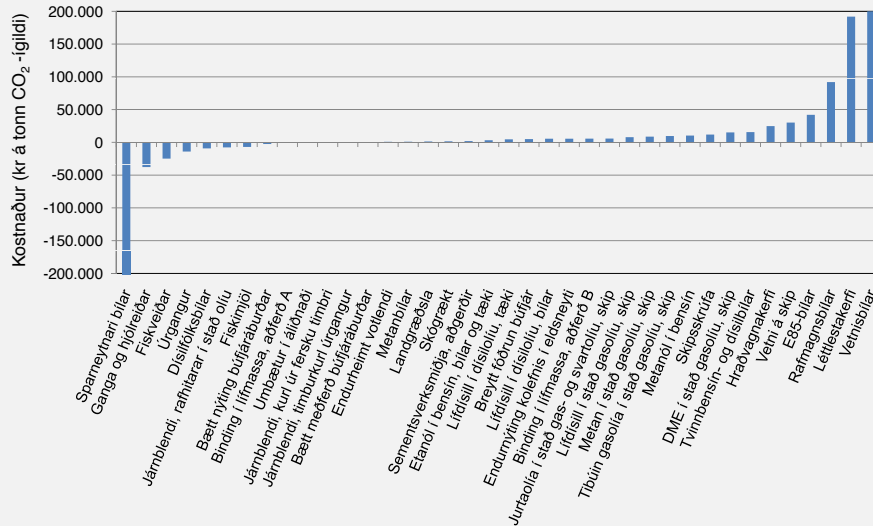
### 7.3 Kostnaður

Þær aðgerðir sem hér hafa verið kynntar eru misdýrar. Sumar, svo sem aukin áhersla á göngu og hjólreiðar, hafa í för með sér hreinan ávinning og er kostnaðurinn í því tilfalli neikvæður. Kostnaður við mótvægisáðgerðir er borinn saman í töflu 7-6, þar sem aðgerðir sem hafa hreinan ábata í för með sér eru sýndar sem mínustölur. Taflan nær til allra þeirra aðgerða sem rætt hefur verið um í skýrslunni sem virðast tæknilega mögulegar fyrir 2020.

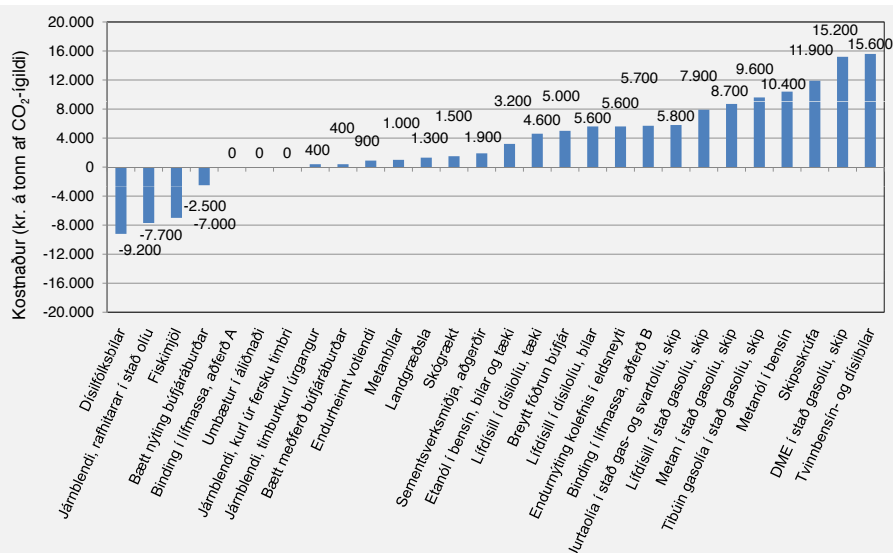
| Aðgerð                                   | Kr. á tonn                        |
|--|-----------------------------------|
|  | Kostnaður á CO <sub>2</sub> -tonn |
| Sparneytnari bílar                       | -215.000                          |
| Ganga og hjólreiðar                      | -37.800                           |
| Fiskveiðar                               | -24.800                           |
| Úrgangur                                 | -14.000                           |
| Dísilfólksbílar                          | -9.200                            |
| Járblendir, rafhitarar í stað olíu       | -7.700                            |
| Fiskimjöl                                | -7.000                            |
| Bætt nýting búfjáraburðar                | -2.500                            |
| Binding í lífmassa, aðferð A             | 0                                 |
| Umbætur í áliðnaði                       | 0                                 |
| Járblendir, kurl úr fersku timbri        | 0                                 |
| Járblendir, timburkurl úrgangur          | 400                               |
| Bætt meðferð búfjáraburðar               | 400                               |
| Endurheimt votlendi                      | 900                               |
| Metanbílar                               | 1.000                             |
| Landgræðsla                              | 1.300                             |
| Skógrækt                                 | 1.500                             |
| Sementsverksmiðja, aðgerðir              | 1.900                             |
| Etanól í bensín, bílar og tæki           | 3.200                             |
| Lífdísill í dísilolíu, tæki              | 4.600                             |
| Breytt fóðrun búfjár                     | 5.000                             |
| Lífdísill í dísilolíu, bílar             | 5.600                             |
| Endurnýting kolefnis í eldsneyti         | 5.600                             |
| Binding í lífmassa, aðferð B             | 5.700                             |
| Jurtaolía í stað gas- og svartolíu, skip | 5.800                             |
| Lífdísill í stað gasolíu, skip           | 7.900                             |
| Metan í stað gasolíu, skip               | 8.700                             |
| Tibúin gasolía í stað gasolíu, skip      | 9.600                             |
| Metanól í bensín                         | 10.400                            |
| Skipsskrúfa                              | 11.900                            |
| DME í stað gasolíu, skip                 | 15.200                            |
| Tvinnbensín- og dísilbílar               | 15.600                            |
| Hraðvagnakerfi                           | 24.800                            |
| Vetni á skip                             | 30.200                            |
| E85-bílar                                | 42.000                            |
| Rafmagnsbílar                            | 92.000                            |
| Léttlestakerfi                           | 192.000                           |
| Vetnisbílar                              | 258.000                           |

Tafla 7-6. Kostnaður við hinar ýmsu aðgerðir. Krónur á hvert tonn CO<sub>2</sub>-ígildi.

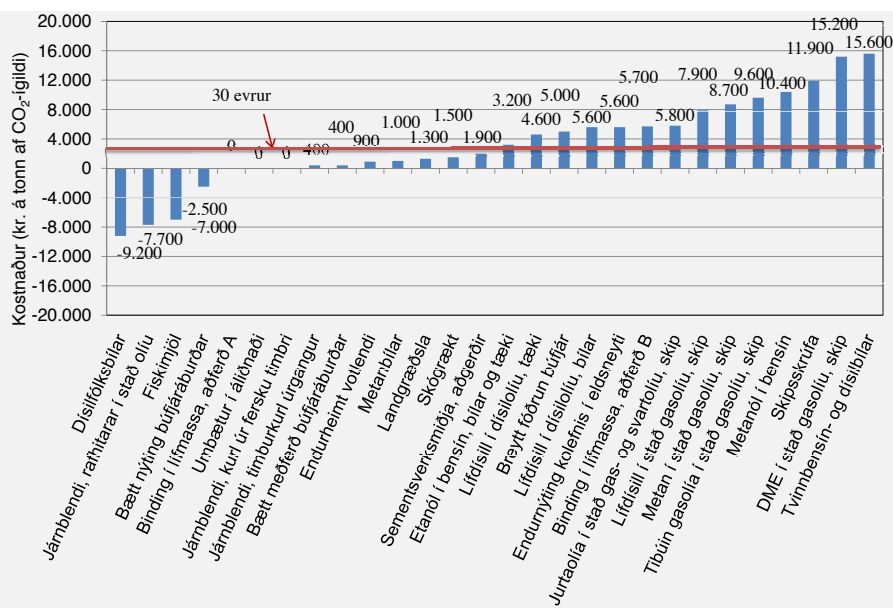
Glögglega má ráða af töflu 7-6 að kostnaður við mótvægisáðgerðir er mismunandi. Á meðan aðgerðir á borð við sparneytnari bíla hafa í för með sér hreinan ábata að fjárhæð 215 þúsund kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi er kostnaður við vetnisbíla áætlaður um 258 þúsund kr. á hvert tonn. Mismunandi kostnaður þessara aðgerða sést betur á myndum 7-11 og 7-12.



Mynd 7-11. Ábati (mínustölur) og kostnaður við ólíkar mótvægisáðgerðir. Kr. á tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.



Mynd 7-12. Ábati (mínustölur) og kostnaður við ólíkar mótvægisáðgerðir sem hafa í för með sér minni ábata en 20 þúsund kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi eða minni kostnað en 20 þúsund kr. á hvert tonn.



Mynd 7-13. Ábati (mínustölur) og kostnaður við ólíkar mótvægisáðgerðir borinn saman við áætlað verð (30 evrur) á losunarheimildum árið 2020.

Á mynd 7-13 er ábati og kostnaður við þær mótvægisáðgerðir sem kosta minna en 20 þúsund kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi borinn saman við áætlað verð á losunarheimildum árið 2020. Hér er reiknað með að heimildir kosti þá 30 evrur á hvert tonn eða sem svarar til 3.600 kr. á gengi 26. ágúst 2008.

Þær kostnaðartölur sem sýndar eru í töflu 7-6 og myndum 7-11, 7-12 og 7-13 eru fengnar með því að reikna fyrst ábata og kostnað og núvirða síðan hvora stærð fyrir sig. Jafnframt er tekið tillit til þess að samdráttur í útstreymi fellur ekki allur til strax heldur dreifist á það tímabil sem til skoðunar er hverju sinni. Í samræmi við það er því næst ákveðið hvað hvert tonn af CO<sub>2</sub> losunarheimildum mætti kosta að núvirði til þess að réttlætanlegt væri að ráðast í viðkomandi aðgerð. Ef viðkomandi aðgerð hefur hreinan ábata í för með sér mun það verð á losunarheimildum sem þannig er fundið verða neikvætt, en jákvætt ef aðgerðin hefur í för með sér nettókostnað.

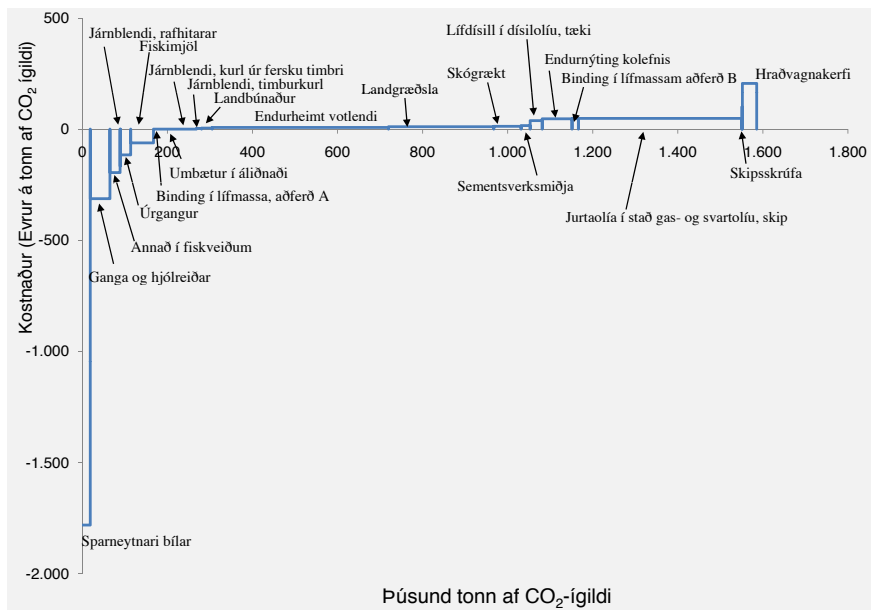
Á mynd 7-14 er framboðsferill mótvægisáðgerða sýndur, það er kostnaður við hverja aðgerð er borinn saman við þann samdrátt í útstreymi sem hún hefur í för með sér árið 2020. Samdráttur í útstreymi er sýndur á lárétta ásnum en kostnaður á þeim lóðrétta. Miðað er við gengi evru eins og það var 26. ágúst 2008, 120,65 kr. Súlur sem ganga langt niður fyrir núll á lóðrétta ásnum sýna aðgerðir sem hafa í för með sér hreinan ávinning. Í þann flokk falla t.d. sparneytnari bílar. Breidd hverrar súlu sýnir aftur á móti þann samdrátt í útstreymi sem hver aðgerð hefur í för með sér. Aukin notkun sparneytnari fólksbíla myndi minnka útstreymi um 19 þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi og því er sú súla mun mjórri en súlan sem sýnir ábata af því að auka göngu og hjólreiðar, enda leiðir sú aðgerð til þess að útstreymi minnkar um 46 þúsund tonn. Kostnaður við landgræðslu og skógrækt er jafn og fyrir vikið eru þessar súlur jafnháar en aftur á móti eru þær misbreiðar þar sem þær hafa í för með sér mismikla bindingu. Myndin sýnir allar þær aðgerðir sem miðað var við í sviðsmyndunum hér að framan.

Á mynd 7-15 er nánar litið á þá möguleika sem bjóðast til að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda og eru ódýrari en 20 evrur á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

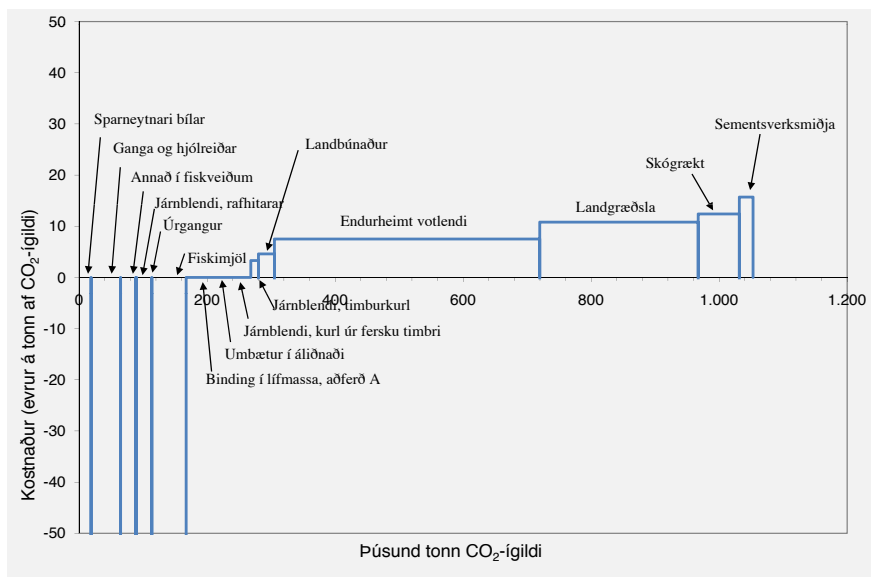
Mynd 7-16 sýnir þá kosti sem til greina koma og kosta minna en 50 evrur. Allir aðrir valkostir sem hér hafa verið ræddir kosta 100 evrur eða meira.

Gagnlegt kann að vera að bera saman kostnað mótvægisáðgerða og líklegt verð losunarheimilda árið 2020. Gert er ráð fyrir að heimild til losunar á einu tonni af gróðurhúsalofttegundum kosti þá 30 evrur (rauð lína á mynd 7-17). Gera má ráð fyrir að það sé fjárhagslega hagkvæmt fyrir fyrirtæki og hið opinbera að ráðast í allar þær aðgerðir sem eru ódýrari eða jafndýrar og losunarheimildirnar. Miðað við ofangreindar forsendur myndi líklega borga sig að nota lífdísil í stað gasolíu á tæki, en ekki að vinna eldsneyti úr kolefni í útstreymi jarðvarmavirkjana.

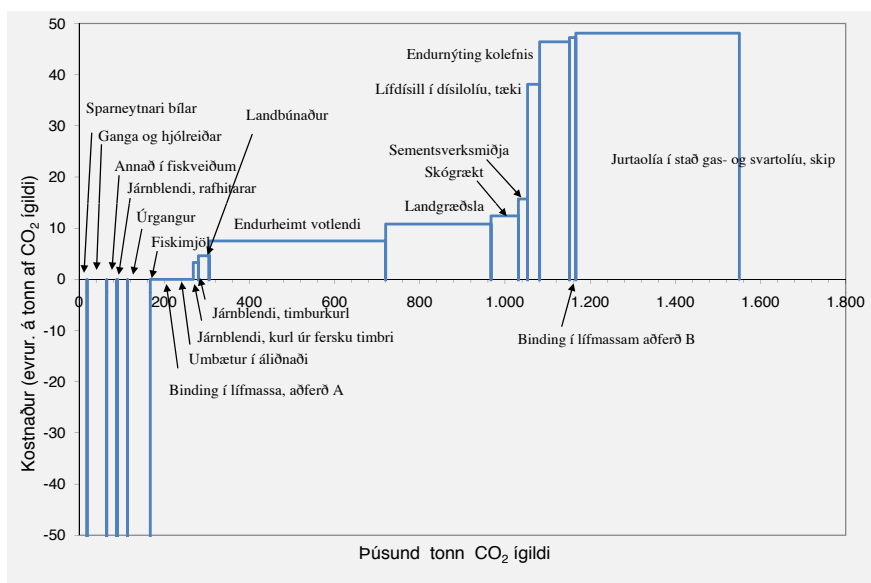
Á mynd 7-18 er sýnt hvernig gert er ráð fyrir að nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda þróist fram til ársins 2020 og hvernig hægt verður að vinna gegn útstreymi með ýmsum mótvægisáðgerðum. Þeim aðgerðum er skipt í nokkra flokka. Fyrst má nefna bindingu sem hlýst af óbreyttu umfangi aðgerða á sviði landnotkunar, í öðru lagi þær aðgerðir sem hægt er að grípa til og hafa ábata í för með sér, í þriðja lagi aðgerðir sem kosta 20 evrur eða minna á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi, í fjórða lagi aðgerðir sem kosta 21-50 evrur og í fimmta lagi dýrari aðgerðir.



Mynd 7-14. Framboðsferill mótvægisáðgerða árið 2020. Kostnaður við allar mótvægisáðgerðir sem ofangreindar sviðsmyndir gera ráð fyrir að hægt verði að ráðast í og áætlaður samdráttur í útstreymi vegna hvernar áðgerðar í evrum á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.



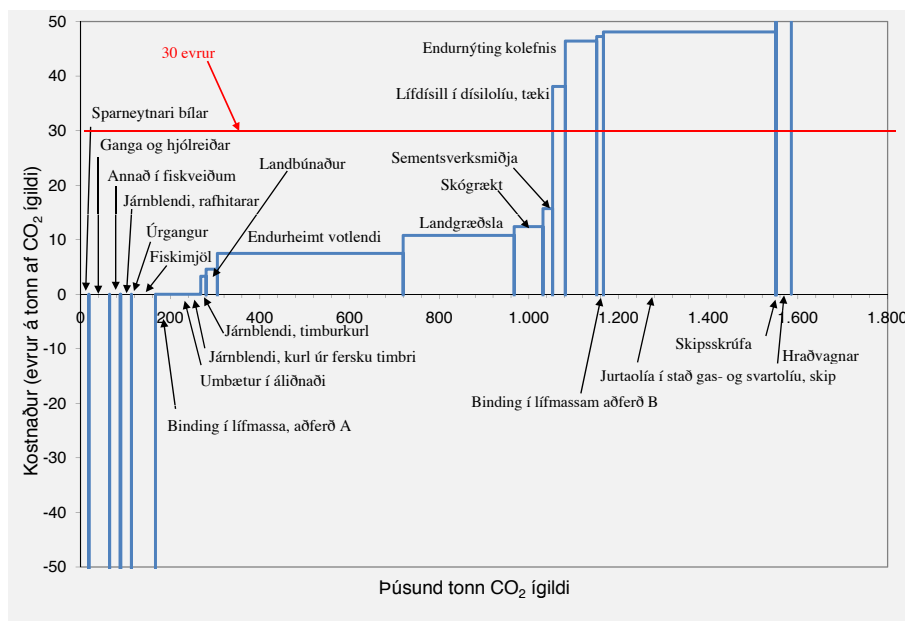
Mynd 7-15. Framboðsferill mótvægisáðgerða. Mótvægisáðgerðir sem kosta minna en 20 evrur á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.



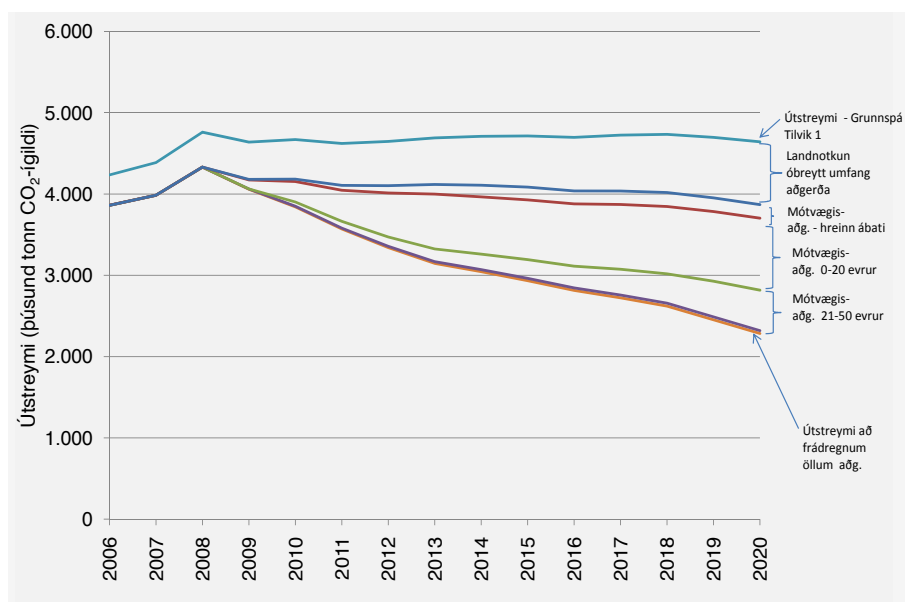
Mynd 7-16. Framboðsferill mótvægisáðgerða. Mótvægisáðgerðir sem kosta minna en 50 evrur á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.



Mynd 7-17. Nettóútspreymi gróðurhúsalofttegunda, binding vegna óbreytts umfangs aðgerða á sviði landnotkunar og mögulegar mótvægisáðgerðir raðað eftir kostnaði á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.



Mynd 7-18. Nettóútspreymi gróðurhúsalofttegunda, binding vegna óbreyttrar landnotkunar og mögulegar mótvægisáðgerðir raðað eftir kostnaði á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.



## 7.4 Sveigjanleikaákvæði Kyoto-bókunarinnar

Sveigjanleikaákvæði Kyoto-bókunarinnar felast í þremur aðferðum sem auðvelda eiga iðnríkjum sem eiga aðild að bókuninni að mæta skuldbindingum sínum um takmörkun á útspreymi gróðurhúsalofttegunda og auka líkur á að markmið loftslags-samnings S.P. náist. Tvö þeirra, sameiginleg framkvæmd (JI) og kerfi um hreina þróun (CDM), gefa iðnríkjunum færi á að ráðast í verkefni í öðrum ríkjum og minnka útspreymi þar. Við það skapast eða færast til losunarheimildir sem hægt er að nota til að mæta innlendu útspreymi eða selja á markaði. Þriðja ákvæðið er alþjóðlegt markaðskerfi með losunarheimildir (ET) þannig að iðnríkin sem hafa tekið á sig skuldbindingar geta framselt útspreymisheimildir til annarra ríkja sem einnig hafa tekið á sig skuldbindingar. Þetta ákvæði er mikilvægt til að nýta hin tvö ákvæðin til fulls.

Ákvæðin byggja á þeirri forsendu að samdráttur í útstreymi sé jafn gagnlegur umhverfinu, sama hvar í heiminum hann á sér stað og hvetur til þess að dregið verði úr útstreymi þar sem fjárhagsleg hagkvæmni er mest (sjá kafla 5).

Iðnríki, sem samþykkt hafa Kyoto-bókunina og bera skuldbindingar um að draga úr útstreymi, verða að sýna fram á að notkun sveigjanleikaákvæðanna sé viðbót við ráðstafanir innanlands til að draga úr útstreymi. Hins vegar er ekki skilgreint að hve miklu leyti ríki mega nota áunnar losunarheimildir til að uppfylla skuldbindingar sínar.

Verð losunarheimilda hefur lækkað umtalsvert undanfarið og í mars 2009 var verð heimilda sem fallið geta undir viðskiptakerfi ESB um 10 €/tonn. Sveigjanleikaheimildirnar eru eitthvað ódýrari. Líklegt þykir að verð eigi eftir að hækka á ný og miða má við verð upp að 20–30 evrum á tonn árið 2020. Ef gert er ráð fyrir að verð heimilda sé 30 evrur, má færa rök fyrir því að skilvirkara sé að kaupa heimildir á markaði en að ráðast í aðgerðir sem eru dýrari. Sem dæmi um þá fjárhæð sem verja þyrfti til kaupa á losunarheimildum má taka eftirfarandi. Ef útstreymi árið 2020 þarf að vera 40% minna en árið 1990, má nettóútstreymi árið 2020 ekki fara upp fyrir 2.040 þúsund tonn. Samkvæmt tilviki 1 í útstreymisspá Umhverfisstofnunar er gert ráð fyrir að brúttóútstreymi ársins 2020 verði 4.600 þúsund tonn. Munurinn er því um 2.550 þúsund tonn. Þetta bil mætti brúa á eftirfarandi hátt: Í fyrsta lagi gæti óbreytt umfang aðgerða á sviði landnotkunar skilað bindingu sem svarar 773 þúsund tonnum. Í öðru lagi gætu aðgerðir sem kosta minna en 30 evrur tonnið skilað 1.050 þúsund tonnum (sjá upptalningu í töflu 7-6). Samtals gætu því þessir tvær liðir dregið úr útstreymi um 1.820 þúsund tonn. Þriðji valkosturinn, miðað við þær forsendur sem hér hefur verið byggt á, væri því sá að kaupa um 730 þúsund tonn af losunarheimildum.

## 7.5 Þjóðhagsleg áhrif

Í þessari greinargerð hefur eingöngu verið litið til þess hvað hinar ýmsu aðgerðir til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda gætu kostað og í því skyni reynt að meta þann ábata og kostnað sem þær hafa í för með sér. Greiningin er þröng í þeim skilningi að eingöngu er litið á kostnað og ábata þeirra fyrirtækja eða atvinnugreina sem um ræðir, en ekki tekið tillit til þeirra margvíslegu þjóðhagfræðilegu áhrifa sem aðgerðir til að draga úr útstreymi geta haft í för með sér. Til þess að slíkt sé unnt þarf að vera hægt að herma eftir þeim áhrifum í þjóðhagslíkani og skoða þannig afleiðingar aðgerða bæði í bráð og lengd. Slíkt líkan var ekki tiltækt og í raun er vart til heppilegt líkan héraendis til að framkvæma slíka greiningu. Brýnt er að á þessu verði gerð bót þannig að hægt verði að skoða áhrifa hinna ólíku þátta á greinargóðan hátt.



## 8 Niðurstöður og samantekt

---

### 8.1 Takmark og aðferðir

Á vordögum 2007 skipaði umhverfisráðherra sérfræðinganefnd til að fjalla um möguleika á að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda í sex mismunandi geirum samfélagsins. Einnig skyldi nefndin kanna möguleika á að beita öðrum mótvægisáðgerðum þ.e. bindingu kolefnis og notkun sveigjanleikaákvæða loftslagssamningsins til að minnka nettóútstreymi.

Markmið nefndarinnar var því að meta tæknilega möguleika til minnkunar á nettóútstreymi gróðurhúsalofttegunda frá orkuframleiðslu, samgöngum, sjávarútvegi, iðnaðarferlum, landbúnaði, meðferð úrgangs auk bindingu kolefnis í gróðri, jarðvegi, jarðlögum og með framleiðslu lífmassa og með framleiðslu eldsneytis. Þar sem þær áðgerðir sem fjallað var um eru misdýrar var kostnaður og ábati hverrar mótvægisáðgerðar metinn á hvert tonn af minnkuðu útstreymi gróðurhúsalofttegunda metið í CO<sub>2</sub>-ígildum. Niðurstöður nefndarinnar sýna því hversu mikil áhrif hver mótvægisáðgerð hefur á nettóútstreymi, og hvað hver og ein áðgerð kostar.

#### 8.1.1 Aðferðafræði

Nefndin byggði á viðurkenndri aðferð til að meta kostnað og ábata mótvægisáðgerða, og hefur aðferðin sem nefndin beitti m.a. verið notuð af ráðgjafafyrirtækinu McKinsey & Company og tæknihóp (technical support unit) sem starfar fyrir Vinnuhóp 3 (Working Group 3) hjá Milliríkjanefnd Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (IPCC).

Aðferðafræðin byggdist á eftirfarandi skrefum:

- Framtíðarspá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda í einstaka geirum til ársins 2050 var fengin frá Umhverfisstofnun. Sú spá byggir að miklu leyti á nýjustu eldsneytisspá Orkustofnunar frá árinu 2008. Spáin samanstendur af tveimur tilvikum, þar sem tilvik 1 er hin eiginlega grunnspá en í tilviki 2 voru áhrif framleiðsluaukningar í stóriðju á útstreymi gróðurhúsalofttegunda skoðuð. Framtíðarspáin var síðan notuð til að setja fram **grunnspá**, sem lýsir væntanlegu útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi ef ekkert er að gert, svokallaðri afskiptalausri þróun. Það þýðir að hvorki stjórnmöld, einstaklingar né

fyrirtæki grípi til sérstakra aðgerða umfram það sem leiðir af venjubundinni þróun.

- Útstreymi frá einstökum geirum var metið og áhrif einstakra mótvægisáðgerða voru metin. Með mótvægisáðgerðum er átt við leiðir til minnkunar á útstreymi gróðurhúsalofttegunda umfram **grunnspá**, innan hvers geira.
- Mögulegur samdráttur í útstreymi, mældur 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 aðgerða. **Taka ber fram að þeir heildarmöguleikar til að draga úr útstreymi sem fjallað er um sýna einungis hvað er tæknilega mögulegt en fela ekki í sér framtíðarspá. Hvort tæknilega mögulegur samdráttur verður að veruleika er háð t.d. stjórnvaldsáðgerðum.**
- Kostnaður vegna hvernar mótvægisáðgerðar var metinn sem summa fjárfestingar og rekstrarkostnaðar. Fjárfestingarkostnaði var dreift á líftíma fjárfestingar með 5% reiknivöxtum. Ábati hvernar áðgerðar var einnig metinn fyrir hvert ár fjárfestingar. Núvirtur nettó kostnaður (eða ábati) hvernar 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 sérhvernar mótvægisáðgerðar var síðan deilt á hvert tonn af minnkun útstreymi gróðurhúsalofttegunda fyrir tímabilið 2009-2020. Þessum áðgerðum var síðan raðað upp í kostnaðarferil, eiginlegan framboðsferil mótvægisáðgerða, sem lýsir framboði mótvægisáðgerða eftir núvirtum nettó kostnaði á hvert tonn gróðurhúsalofttegunda sem ekki fer út í andrúmsloftið.

## 8.2 Niðurstöður – samantekt

Árið 2007 var útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi 4.482 þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi. Það er 1.082 þúsund tonnum meira en árið 1990. Eins og fram kemur í töflu 8-1 hefur útstreymi aukist í öllum þeim atvinnugreinum sem þar eru tilgreindar nema í fiskveiðum, fiskimjölsvinnslu, landbúnaði, öðrum iðnaði og olíubrennslu til orkuframleiðslu.

Í hverjum geira er möguleiki á margvíslegum mótvægisáðgerðum. Tafla 8-2, gefur yfirlit yfir þær mótvægisáðgerðir sem fjallað er um í skýrslunni fyrir hvern geira. Taka ber fram að þær áðgerðir sem taldar eru upp í töflu 8-2, eru bæði þær áðgerðir sem nú þegar eru tæknilega mögulegar og þær sem búist er við að verði fánlegar síðar á tímabilinu. Nánari umfjöllun um hverja áðgerð er að finna í kafla 4.

### 8.2.1 Sviðsmyndir

Þar sem nokkur óvissa ríkir um áframhaldandi uppbyggingu orkufreks iðnaðar eru tvö losunartilvik metin. Í tilviki 1 er miðað við að framleiðslumagn í iðnaði sé jafnmikið og framleiðslugeta starfandi fyrirtækja í árslok 2007 segir til um. Í tilviki 2 er

|                                | 1990  | 2007  | Breyting |
|--------------------------------|-------|-------|----------|
| Oliubrennsla v/orkuframleiðslu | 57    | 31    | -26      |
| Fiskimjöl                      | 127   | 79    | -48      |
| Annar iðnaður                  | 99    | 44    | -55      |
| Efnanotkun                     | 15    | 81    | 66       |
| Sementsframleiðsla             | 102   | 128   | 26       |
| Jarðhitavirkjanir              | 67    | 152   | 85       |
| Mannvirkjagerð                 | 136   | 221   | 85       |
| Úrgangur                       | 180   | 254   | 74       |
| Járnblendisframleiðsla         | 205   | 393   | 188      |
| Landbúnaður                    | 573   | 534   | -39      |
| Fiskveiðar                     | 662   | 571   | -91      |
| Álframleiðsla                  | 569   | 978   | 409      |
| Samgöngur                      | 609   | 1.017 | 408      |
| Samtals                        | 3.401 | 4.483 | 1.082    |

Tafla 8-1. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda árin 1990 og 2007. Þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

byggt á framleiðslumagni sem leyfilegt er að framleiða samkvæmt skv starfsleyfum í lok árs 2008 (sjá kafla 3).

Í tilviki 1 er gert ráð fyrir að árið 2020 muni útstreymi gróðurhúsalofttegunda nema samtals um 4.600 tonnum og er þá miðað við afskiptalausá þróun. Með ýmsum mótvægisáðgerðum án breytinga á landnotkun (þ.e. í landgræðslu og skógrækt) mætti hugsanlega draga úr útstreymi um 904 þúsund tonn. Betur er fjallað um þessar mótvægisáðgerðir í köflum 4 og 7.

Ef einnig er gert ráð fyrir að umfang aðgerða á sviði landnotkunar (þ.e. skógrækt og landgræðslu) haldist óbreytt frá því sem nú er, má áætla að sú kolefnisbinding sem af því hlytist myndi leiða til þess að hægt verði að draga úr nettó útstreymi gróðurhúsalofttegunda um 1.677 þúsund tonn. Það samsvarar 36% af áætluðu heildarútstreymi ársins 2020 við afskiptalausá þróun. Ef að auki er gert ráð fyrir auknu umfangi aðgerða á sviði landnotkunar (þ.e. endurheimt votlendis og aukin landgræðsla og skógrækt) má ætla að hægt verði að auka bindingu um 726 þúsund tonn í viðbót. Samtals gæti þá verið hægt að draga úr útstreymi um 52% (Tafla 8-3). Ef minnkun í útstreymi vegna endurheimtar votlendis er ekki talin með lækkar mögulegur samdráttur í 43% af útstreymi ársins 2020.

Í töflu 8-4 er útstreymi árið 1990 borið saman við áætlað útstreymi árið 2020 ef gripið yrði til allra þeirra mótvægisáðgerða sem fjallað var um í kafla 7. Útstreymi árið 1990 nam 3.400 þúsund tonnum en áætlað er að það verði tæplega 3.739 tonn árið 2020, eða nálega 338 þúsund tonnum meira. Aukningin nemur um 10%. Ef tekið er

|                             | Aðgerðir til lengri (2050) og skemmri (2020) tíma sem fjallað er um (sjá kafla 4)  |
|-----------------------------|--|
| Orkuframleiðsla             | Aukin skilvirkni virkjana og notkunar orku, söfnun CO <sub>2</sub> og binding í basalt, söfnun CO <sub>2</sub> og framleiðsla tilbúins eldsneytis, söfnun CO <sub>2</sub> og framleiðsla á lífmassa  |
| Samgöngur                   | Ganga, hjólfreiðar, styrking almenningsgangna, sparneytnari bifreiðar, dísilbifreiðar, blöndun lífdísils í dísilolíu, blöndun etanóls í bensín, blöndun metanóls í bensín, ný bifreiðatækni svo sem E-85, metanbílar, tvinnbifreiðar, tengiltvinnbifreiðar, rafmagnsbifreiðar, vetnisbifreiðar   |
| Iðnaðarferlar og efnanotkun |  |
| Álframleiðsla               | Bætt framleiðslustýring, rafvæðing ofna, söfnun CO <sub>2</sub> og niðurdæling eða nýting í aðra framleiðslu, eðalrafskaut, klóríð ferli, súlfíð ferli, kolvarma ferli   |
| Sementsframleiðsla          | Kolefnishlutlaust eldsneyti, aukið hlutfall óbrennanlegra efna   |
| Járnblendisframleiðsla      | Raforka í stað olíu, timburkurl, söfnun CO <sub>2</sub> og niðurdæling eða nýting í aðra framleiðslu   |
| Mannvirkjagerð              | Íböndun lífdísils í gasolíu  |
| Efnanotkun                  | Vantar betri upplýsingar   |
| Sjávarútvegur               | Bætt orkunýting búnaðar, léttari og endurhönnuð veiðarfæri, skilvirkari aflvél, einangrun vistarvera, nýting á kælivatni og afgasi, betri mótstöðueiginleikar skips, stærri skipsskrúfa, skilvirkari tækjabúnaður, notkun loftslagsvænni orkugjafa svo sem jurtaolíu, lífdísils, tilbúinnar gasolíu, DME, lífmetan og vetnis, aukin notkun landrafmagns, rafvæðing fiskmjölsverksmiðja |
| Úrgangur                    | Draga úr myndun úrgangs, fanga hauggas, draga úr urðun lífræns úrgangs og beina honum í endurvinnslu, jarðgerð, gasgerð eða brennslu   |
| Landbúnaður                 | Breytt fóðrun, bætt meðferð búfjáraður, bætt nýting búfjáraður   |
| Landnotkun                  | Skógrækt, landgræðsla og endurheimt votlendis  |

Tafla 8-2. Aðgerðir til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda.

tillit til þeirrar bindingar sem óbreytt umfang aðgerða á sviði landnotkunar hefði í för með sér er ætlað að nettóútstreymi árið 2020 verði um 3.000 þúsund tonn, eða 435 þúsund tonnum minna en það var árið 1990. Samdrátturinn gæti því numið um 12%. Ef gert er ráð fyrir auknu umfangi aðgerða á sviði landnotkunar (þ.e. endurheimt votlendis, og aukinni landgræðslu og skógrækt) gæti nettóútstreymi verið komið í 2.240 þúsund tonn árið 2020. Það myndi svara til 1.161 þúsund tonna

|   | Útstreymi | Mótvægisáðgerðir |     |
|---|-----------|------------------|-----|
|   |           | Tonn             | %   |
| Oliubrennsla v/orkuframleiðsla                      | 15        | 8                | 53  |
| Annar iðnaður                                       | 30        | 0                | 0   |
| Fiskimjöl   | 54        | 54               | 100 |
| Sementsframleiðsla                                  | 86        | 22               | 26  |
| Efnanotkun  | 110       | 0                | 0   |
| Orkuframleiðsla                                     | 201       | 100              | 50  |
| Mannvirkjagerð                                      | 245       | 28               | 11  |
| Úrgangur  | 271       | 24               | 9   |
| Járnblendiframleiðsla                               | 409       | 19               | 5   |
| Landbúnaður   | 500       | 62               | 12  |
| Fiskveiðar  | 542       | 409              | 75  |
| Samgöngur   | 847       | 98               | 12  |
| Álfframleiðsla                                      | 1.333     | 80               | 6   |
| Samtals   | 4.643     | 904              | 19  |
| Landnotkun, óbreytt umfang aðgerða                  |           | 773              | 17  |
| Samtals með óbreyttu umfangi aðgerða                |           | 1.677            | 36  |
| Landnotkun, aukið umfang aðgerða                    |           | 726              | 16  |
| Samtals, með auknu umfangi aðgerða (nettóútstreymi) |           | 2.404            | 52  |

Tafla 8-3. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2020 miðað við afskiptalausá þróun og áhrif hugsanlegra mótvægisáðgerða (þúsund tonn m.v. CO<sub>2</sub>-ígildi – tilvik 1).

minna útstreymis árið 2020 eða um þriðjungs samdráttar frá árinu 1990. Frá 2007 yrði samdráttur útstreymis til 2020 17%, 34% eða 50%, miðað við sömu forsendur.

Ef binding vegna endurheimtar votlendis, sem áætluð er að nemi um 415 þúsund tonnum árlega, er ekki talin til möguleika til bindingar, er samdráttur í nettóútstreymi miðað við 1990 samtals um 22% og 41% miðað við 2007.

Tafla 8-5 sýnir niðurstöður miðað við tilvik 2 (framleiðsla í stóriðju miðað við starfsleyfi). Útstreymi árið 2020 nemur samtals um 5.994 tonnum og munar þar mestu um aukna ál- og járnblendiframleiðslu. Með sömu mótvægisáðgerðum og gert er ráð fyrir í tilvik 1 þá mætti draga úr útstreymi um 987 þúsund tonn. Ef gert er ráð fyrir óbreyttum aðgerðum á sviði landnotkunar, þ.e. skógrækt og landgræðslu, er dregið úr útstreymi um 1.760 þúsund tonn. Það samsvarar tæplega 29% af áætluðu heildarútstreymi ársins 2020. Ef gert er ráð fyrir auknu umfangi aðgerða á sviði landnotkunar (þ.e. endurheimt votlendis og aukinni landgræðslu og skógrækt) má ætla að hægt verði að auka bindingu um 726 þúsund tonn í viðbót. Samtals gæti þá verið hægt að draga úr nettóútstreymi um 41% árið 2020 miðað við afskiptalausá þróun. Ef minnkun í útstreymi vegna endurheimtar votlendis er ekki talin með lækkar samdráttur í 34% af útstreymi ársins 2020.



|                                      |                |                |                     | Breyting 1990–2020 |           |
|--------------------------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|-----------|
|                                      | Útstreymi 1990 | Útstreymi 2007 | Nettóútstreymi 2020 | Tonn               | %         |
| Oliubrennsla v/orkuframleiðslu       | 57             | 31             | 7                   | -50                | -88       |
| Annar iðnaður                        | 99             | 44             | 30                  | -69                | -70       |
| Fiskimjöl                            | 127            | 79             | 0                   | -127               | -100      |
| Sementsframleiðsla                   | 102            | 128            | 64                  | -38                | -37       |
| Efnanotkun                           | 15             | 81             | 110                 | 95                 | 635       |
| Jarðhitavirkjanir                    | 67             | 152            | 101                 | 34                 | 51        |
| Mannvirkjagerð                       | 136            | 221            | 217                 | 81                 | 59        |
| Úrgangur                             | 180            | 254            | 247                 | 67                 | 37        |
| Járblendiframleiðsla                 | 205            | 393            | 390                 | 185                | 90        |
| Fiskveiðar                           | 662            | 571            | 133                 | -529               | -80       |
| Landbúnaður                          | 573            | 534            | 438                 | -135               | -24       |
| Samgöngur                            | 609            | 1017           | 749                 | 140                | 23        |
| Álframleiðsla                        | 569            | 978            | 1.253               | 684                | 120       |
| <b>Samtals</b>                       | <b>3.401</b>   | <b>4.483</b>   | <b>3.739</b>        | <b>338</b>         | <b>10</b> |
| Landnotkun, óbreytt umfang aðgerða   |                |                | 773                 |                    |           |
| Samtals með óbreyttu umfangi aðgerða |                |                | 2.966               | -435               | -13       |
| Landnotkun, aukið umfang aðgerða     |                |                | 726                 |                    |           |
| Samtals, með auknu umfangi aðgerða   |                |                | 2.240               | -1161              | -34       |

Tafla 8-4. Útstreymi árið 1990, 2007 og spá um nettóútstreymi árið 2020 (tilvik 1). Þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

Í töflu 8-6 er útstreymi árið 1990 borið saman við áætlað nettóútstreymi árið 2020 fyrir tilvik 2. Í samanburði við útstreymi árið 1990 er búist við að útstreymi árið 2020 gæti aukist um 47%, eða um 12% miðað við 2007. Ef tekið er tillit til óbreyttra aðgerða í landnotkun ásamt aukins umfangs aðgerða á sviði landnotkunar gæti nettóútstreymið orðið 3.500 þúsund tonn eða 3% meiri en árið 1990 sem samsvarar 22% samdrætti miðað við 2007. Ef minnkun í útstreymi vegna endurheimtar votlendis, sem áætlað er að nemi um 415 þúsund tonnum er ekki talin með, er samtals aukning í nettóútstreymi árið 2020 um 15% miðað við útstreymi ársins 1990. Hins vegar ef miðað er við árið 2007 yrði útstreymi um 22% minna miðað við sömu forsendur.

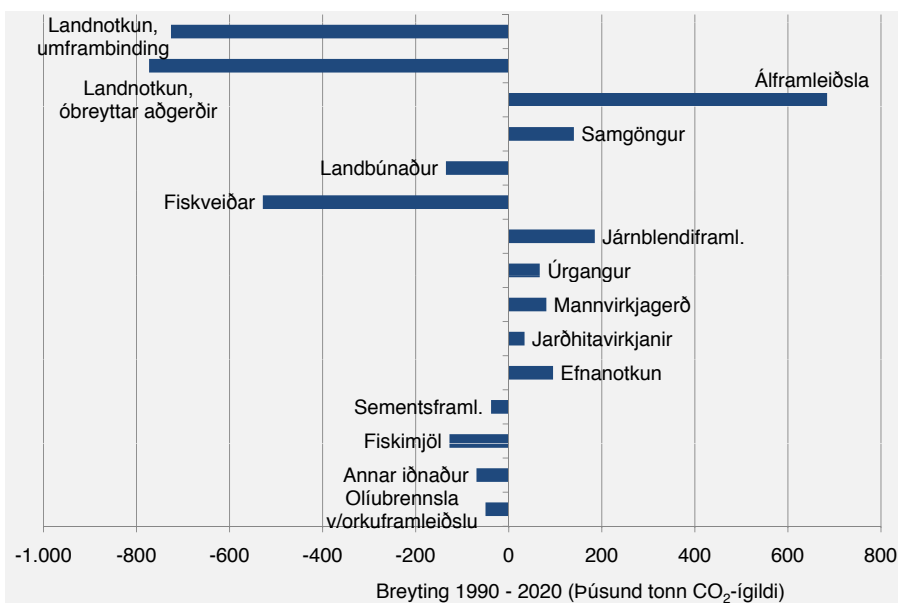
Gagnlegt er að líta nánar á hvernig áætlað er að útstreymi frá einstökum atvinnugreinum þróist á milli áronna 1990 og 2020, skv. tilviki 1. Svo sem sjá má af mynd 8-1 er gert ráð fyrir að útstreymi aukist mest í álframleiðslu, eða um ríflega 680 þúsund tonn, en að aukningin verði mun minni í öðrum atvinnugreinum.

### 8.2.2 Kostnaður

Þær aðgerðir sem fjallað var um í köflum 4 og 7 eru misdýrar. Sumar aðgerðir, svo

|                                      | Útstreymi | Mótvægisáðgerðir |     |
|--------------------------------------|-----------|------------------|-----|
|                                      |           | Tonn             | %   |
| Olíubrennsla v/orkuframleiðslu       | 16        | 8                | 50  |
| Annar iðnaður                        | 34        | 0                | 0   |
| Fiskimjöl                            | 54        | 54               | 100 |
| Sementsframleiðsla                   | 138       | 35               | 26  |
| Efnanotkun                           | 110       | 0                | 0   |
| Jarðhitavirkjanir                    | 211       | 100              | 47  |
| Mannvirkjagerð                       | 259       | 30               | 12  |
| Úrgangur                             | 271       | 24               | 9   |
| Járnblendiframleiðsla                | 647       | 19               | 3   |
| Fiskveiðar                           | 542       | 409              | 75  |
| Landbúnaður                          | 500       | 62               | 12  |
| Samgöngur                            | 940       | 109              | 12  |
| Álframleiðsla                        | 2.272     | 136              | 6   |
| Samtals                              | 5.994     | 987              | 16  |
| Landnotkun, óbreytt umfang aðgerða   |           | 773              |     |
| Samtals með óbreyttu umfangi aðgerða |           | 1.760            | 29  |
| Landnotkun, aukið umfang aðgerða     |           | 726              |     |
| Samtals, með auknu umfangi aðgerða   |           | 2.486            | 41  |

Tafla 8-5. Spá um útstreymi gróðurhúsalofttegunda árið 2020 miðað við afskiptalaus áhrif og áhrif hugsanlegra mótvægisáðgerða. Þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi (Tilvik 2 við útstreymisspá Umhverfisstofnunar).



Mynd 8-1. Áætlaðar breytingar á útstreymi á milli árunna 1990 og 2020 eftir atvinnugreinum (tilvik 1), með mótvægisáðgerðum. Þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

|   |                |                |                     | Breyting 1990–2020 |      |
|---|----------------|----------------|---------------------|--------------------|------|
|   | Útstreymi 1990 | Útstreymi 2007 | Nettóútstreymi 2020 | Tonn               | %    |
| Olíubrensla v/orkuframleiðslu                 | 57             | 31             | 8                   | -49                | -86  |
| Annar iðnaður                                 | 100            | 44             | 34                  | -66                | -66  |
| Fiskmjöl                                      | 127            | 79             | 0                   | -127               | -100 |
| Sementsframleiðsla                            | 103            | 128            | 103                 | 0                  | 0    |
| Efnanotkun                                    | 19             | 81             | 110                 | 91                 | 480  |
| Jarðhitavirkjanir                             | 67             | 152            | 111                 | 44                 | 66   |
| Mannvirkjagerð                                | 136            | 221            | 229                 | 93                 | 68   |
| Úrgangur                                      | 184            | 254            | 247                 | 63                 | 34   |
| Járnblendiframleiðsla                         | 204            | 393            | 628                 | 424                | 208  |
| Fiskveiðar                                    | 662            | 571            | 133                 | -529               | -80  |
| Landbúnaður                                   | 573            | 534            | 438                 | -135               | -24  |
| Samgöngur                                     | 608            | 1017           | 831                 | 223                | 37   |
| Álframleiðsla                                 | 569            | 978            | 2.136               | 1.567              | 275  |
| Samtals                                       | 3.409          | 4.483          | 5.007               | 1.598              | 47   |
| Landnotkun, óbreyttar aðgerðir                |                |                | 773                 |                    |      |
| Samtals, með óbreyttum aðgerðum               |                |                | 4.234               | 825                | 24   |
| Landnotkun, binding umfram óbreyttar aðgerðir |                |                | 726                 |                    |      |
| Samtals, með viðbótarbindingu                 |                |                | 3.508               | 99                 | 3    |

Tafla 8-6. Útstreymi árið 1990, 2007 og spá um nettóútstreymi árið 2020 (tilvik 2). Þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

sem aukin áhersla á göngu og hjólreiðar, eða aukin notkun sparneytnari bifreiða, hafa í för með sér hreinan ávinning og er nettókostnaðurinn í því tilfelli neikvæður. Nettókostnaður við hinar ólíku aðgerðir er borinn saman í töflu 8-7 þar sem aðgerðir sem hafa hreinan ábata í för með sér eru sýndar sem mínustölur. Taflan nær til allra þeirra aðgerða sem fjallað hefur verið um í skýrslunni sem komið gætu til framkvæmda fyrir 2020. Greiningin á kostnaði er þröng í þeim skilningi að eingöngu er litið á kostnað og ábata þeirra fyrirtækja eða atvinnugreina sem um ræðir en ekki tekið tillit til þeirra margvíslegu þjóðhagfræðilegu áhrifa sem aðgerðir til að draga úr útstreymi geta haft í för með sér. Ekki eru heldur metin ýmis jákvæð ytri áhrif sem hljóttast af mótvægisáðgerðum, svo sem bætt heilsa og minni loftmengun vegna aðgerða í samgöngum.

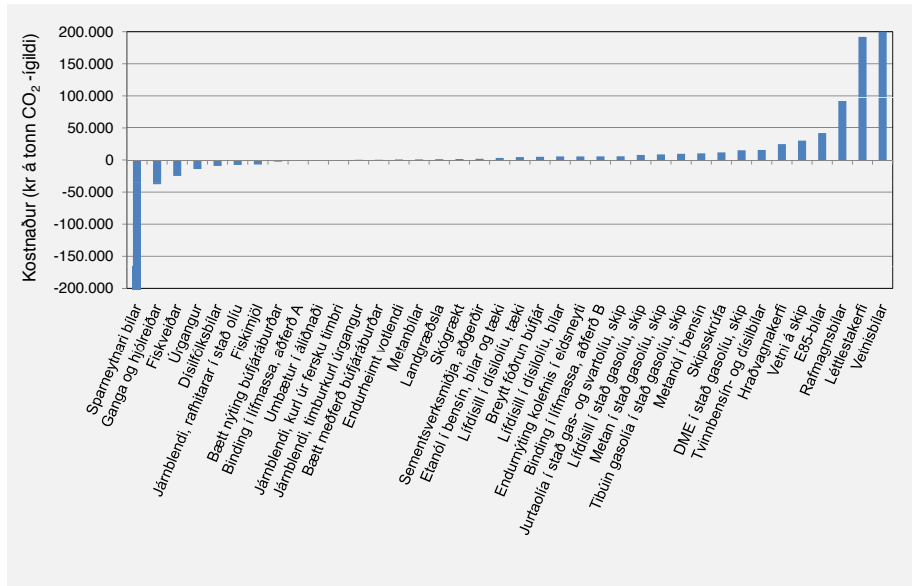
Glögglega má ráða af töflu 8-7 að kostnaður við mótvægisáðgerðir er mismunandi. Á meðan aðgerðir á borð við sparneytnari bifreiðar hafa í för með sér hreinan ábata að fjárhæð 215 þúsund kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi er kostnaður við vetnisbíla áætlaður um 258 þúsund kr. á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi. Athygli vekur að þær aðgerðir

| Aðgerð                                   | Kr. á tonn                        |
|--|-----------------------------------|
|  | Kostnaður á CO <sub>2</sub> -tonn |
| Sparneytnari bílar                       | -215.000                          |
| Ganga og hjólréiðar                      | -37.800                           |
| Fiskveiðar                               | -24.800                           |
| Úrgangur                                 | -14.000                           |
| Dísilfólksbílar                          | -9.200                            |
| Járnblendi, rafhitarar í stað olíu       | -7.700                            |
| Fiskimjöl                                | -7.000                            |
| Bætt nýting búfjáraburðar                | -2.500                            |
| Binding í lífmassa, aðferð A             | 0                                 |
| Umbætur í áliðnaði                       | 0                                 |
| Járnblendi, kurl úr fersku timbri        | 0                                 |
| Járnblendi, timburkurl úrgangur          | 400                               |
| Bætt meðferð búfjáraburðar               | 400                               |
| Endurheimt votlendi                      | 900                               |
| Metanbílar                               | 1.000                             |
| Landgræðsla                              | 1.300                             |
| Skógrækt                                 | 1.500                             |
| Sementsverksmiðja, aðgerðir              | 1.900                             |
| Etanól í bensín, bílar og tæki           | 3.200                             |
| Lífdísill í dísilolíu, tæki              | 4.600                             |
| Breytt fóðrun búfjár                     | 5.000                             |
| Lífdísill í dísilolíu, bílar             | 5.600                             |
| Endurnýting kolefnis í eldsneyti         | 5.600                             |
| Binding í lífmassa, aðferð B             | 5.700                             |
| Jurtaolía í stað gas- og svartolíu, skip | 5.800                             |
| Lífdísill í stað gasolíu, skip           | 7.900                             |
| Metan í stað gasolíu, skip               | 8.700                             |
| Tibúin gasolía í stað gasolíu, skip      | 9.600                             |
| Metanól í bensín                         | 10.400                            |
| Skipsskrúfa                              | 11.900                            |
| DME í stað gasolíu, skip                 | 15.200                            |
| Tvinnbensín- og dísilbílar               | 15.600                            |
| Hraðvagnakerfi                           | 24.800                            |
| Vetni á skip                             | 30.200                            |
| E85-bílar                                | 42.000                            |
| Rafmagnsbílar                            | 92.000                            |
| Léttlestakerfi                           | 192.000                           |
| Vetnisbílar                              | 258.000                           |

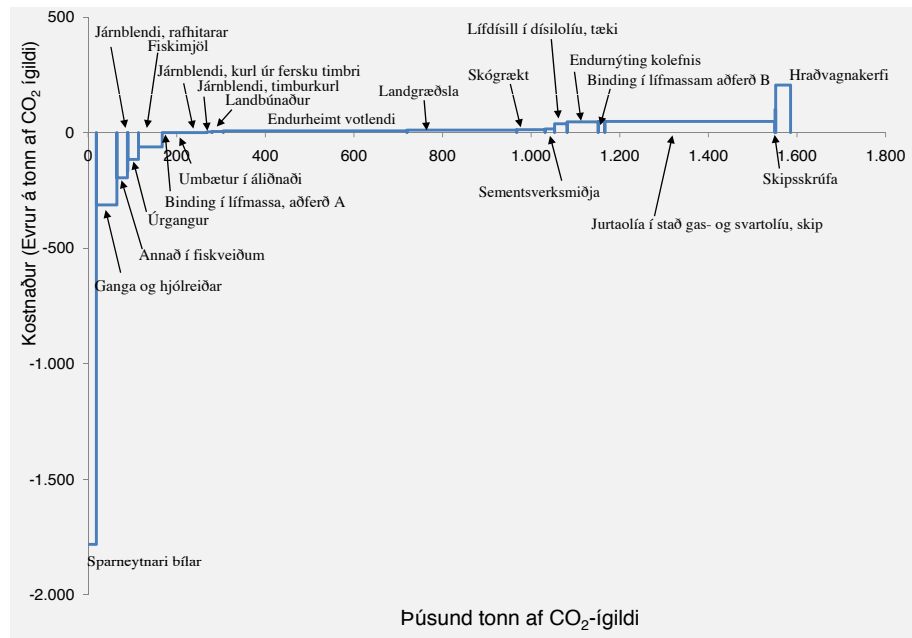
Tafla 8-7. Kostnaður við hinar ýmsu aðgerðir. Krónur á hvert tonn CO<sub>2</sub>-ígildi.

sem dregið geta úr nettóútreymi með hreinum ábata gefa samtals um 4,1% minnkun á útreymi árið 2020, miðað við afskiptalausá þróun.

Mynd 8-2 sýnir nettóokostnað við ólíkar mótvægisáðgerðir þar sem kostnaður er metinn í krónum á tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi. Á myndinni má glögglega sjá hina miklu breidd í kostnaði mismunandi mótvægisáðgerða.



Mynd 8-2. Hreinn ábati (mínustölur) og kostnaður við ólíkar mót vægisáðgerðir (kr. á tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi).



Mynd 8-3. Framboðsferill mót vægisáðgerða árið 2020. Kostnaður við allar mót vægisáðgerðir sem ofangreindar sviðsmyndir gera ráð fyrir að hægt væri að ráðast í og áætlaður samdráttur í útstreymi sem fylgir hverri áðgerð. Evrur á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.

Á mynd 8-3 er kostnaður við hverja mót vægisáðgerð borinn saman við þá minnkun í útstreymi sem hver áðgerð hefur í för með sér árið 2020. Samdráttur í útstreymi er sýndur á lárétta ásnum en kostnaður – mældur í evrum – á þeim lóðrétta. Miðað er við gengi evru eins og það var 26. ágúst 2008, 120,65 kr. Súlu sem ganga langt niður fyrir núll á lóðrétta ásnum sýna áðgerðir sem hafa í för með sér hreinan ávinning. Í þann flokk falla t.d. sparneytnari bílar. Breidd hvernar súlu sýnir aftur á móti þann samdrátt í útstreymi sem hver áðgerð hefur í för með sér. Aukin notkun sparneytnari fólksbíla myndi minnka útstreymi um 19 þúsund tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi og því er sú súla mun mjórri en súlan sem sýnir ábata af því að auka göngu og hjólréiðar, enda leiðir sú áðgerð til þess að útstreymi minnkar um 46 þúsund tonn árið 2020.

Myndin sýnir allar þær aðgerðir sem miðað var við í sviðsmyndum fyrir hvern geira og fjallað var um í köflum 4 og 7.

### 8.2.3 Tæknilegir möguleikar til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda

#### – samantekt

Það er ljóst að þær mótvægisáðgerðir sem fjallað hefur verið um eru bæði misdýrar og misskilvirkar við að minnka útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Niðurstöðurnar sýna glögglega hina miklu breidd mótvægisáðgerða sem unnt er að beita til að draga úr því útstreymi sem búast má við ef þróunin er afskiptalaus. Túlka ber þó niðurstöðurnar sem mat á tæknilegum möguleikum til að draga úr útstreymi, en hvort þær aðgerðir verða innleiddar fer m.a. eftir breytingum á kostnaði vegna tækniframfara, hagþróun, innleiðingu tækninnar auk hugsanlegra stjórnvaldsáðgerða. Því getur verið mikill munur á þeim tæknilegum möguleikum sem settir eru fram og þeirri minnkun sem síðar verður. Ljóst er að miklir möguleikar eru á að draga úr útstreymi og unnt að velja saman ýmsar aðgerðir til að ná þeim markmiðum sem stjórnvöld vilja stefna að. Þó er ljóst að bæði að almenningur, atvinnulíf og stjórnvöld eiga krefjandi verkefni fyrir höndum.

**Niðurstöðurnar sýna að mögulegt er að draga umtalsvert úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi.**

- Ef miðað er við losunarspá tilviks 1 og **allar** mótvægisáðgerðir innleiddar (án tillits til kostnaðar – samanber kafla 7), er hægt að draga úr útstreymi ársins 2020 um 52% miðað við grunnspá (afskiptalaus þróun). Þetta samsvarar 34% samdrætti í útstreymi miðað við árið 1990 og 50% miðað við 2007. Ef minnkun í útstreymi vegna endurheimts votlendis er ekki talin með lækkar möguleg minnkun í nettóútstreymi árið 2020 í 22% miðað við árið 1990 og 40% miðað við 2007.
- Ef miðað er við losunarspá tilviks 2 og **allar** mótvægisáðgerðir innleiddar (án tillits til kostnaðar – samanber kafla 7), er hægt að draga úr útstreymi ársins 2020 um 41,5% miðað við grunnspá (afskiptalaus þróun). Nettóútstreymi árið 2020 væri þá 3% hærra en það var árið 1990 en 21% lægra en árið 2007. Ef minnkun í útstreymi vegna endurheimts votlendis er ekki talin til mótvægisáðgerða verður nettóútstreymi árið 2020 15% hærra en 1990 en 12% lægra en árið 2007.

#### **Dæmi um samverkandi áhrif mótvægisáðgerða og sveigjanleikaákvæða loftslagssamningsins**

Til að draga úr nettóútstreymi um 40% árið 2020, miðað við árið 1990, má nettóútstreymi árið 2020 ekki vera meira en 2.040 þúsund tonn. Til að halda nettóútstreymi innan þeirra marka má hugsa sér að nota samverkandi áhrif mótvægisáðgerða og sveigjanleikaákvæða loftslagssamningsins. Ef gert er ráð fyrir að kvótaverð verði 30 evrur árið 2020 má færa rök fyrir því að eðlilegt sé að nota allar þær mótvægisáðgerðir sem mögulegar eru og kosta upp að 30 evrum, en kaupa heimildir fyrir því magni sem uppá vantar.

Losunarspáin sem byggir á tilviki 1, gerir ráð fyrir að útstreymi ársins 2020 verði 4.643 þúsund tonn. Munurinn á útstreymi ársins 2020 miðað við afskiptalausna þróun og útstreymi sem uppfyllir takmark um 40% minnkun miðað við árið 1990 er því um 2.550 þúsund tonn. Ef miðað er við tilvik 2 yrði útstreymi um 6.000 þúsund tonn árið 2020, án nokkurra mótvægisáðgerða. Í þessu tilviki yrði munurinn mun hærri eða 3.960 þúsund tonn. Mögulegt er að brúa þetta bil í báðum tilvikum með samverkandi áhrifum áðgerða á sviði landnotkunar, mótvægisáðgerða og beitingar sveigjanleikaákvæða. Þetta bil mætti brúa á eftirfarandi hátt:

- Í fyrsta lagi gæti óbreytt umfang áðgerða á sviði landnotkunar skilað bindingu upp á 770 þúsund tonn.
- Í öðru lagi gætu áðgerðir sem kosta minna en 30 evrur tonnið skilað 1.050 þúsund tonnum í tilviki 1, og 1.120 þúsund tonnum í tilviki 2. Samtals gætu því þessir tveir liðir dregið úr útstreymi um 1.820 þúsund tonn í tilviki 1 og 1.890 þúsund tonn í tilviki 2.
- Þriðji valkosturinn, miðað við þær forsendur sem hér hefur verið byggt á, væri sá að kaupa 730 þúsund tonn af losunarheimildum í tilviki 1, en um 2.070 þúsund tonn af losunarheimildum í tilviki 2.

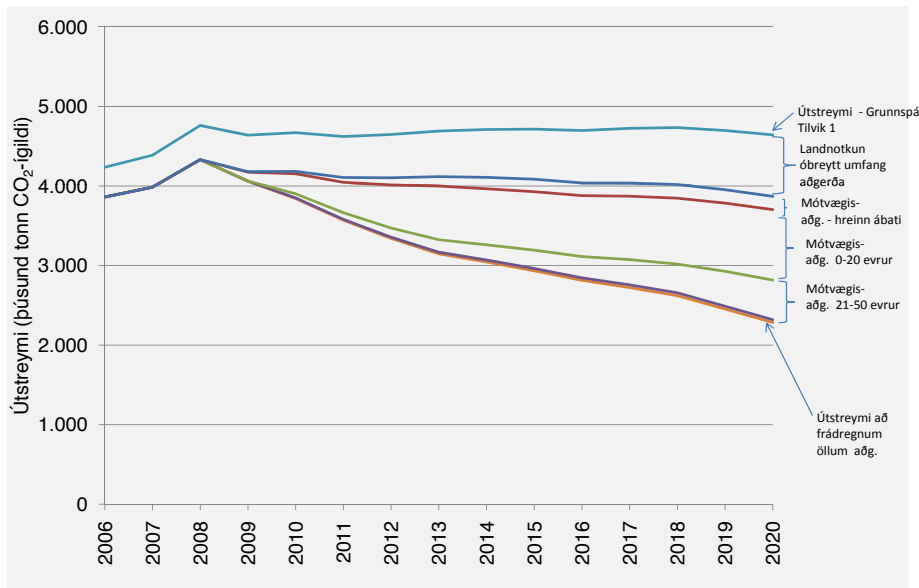
Mynd 8-4 sýnir útstreymi gróðurhúsalofttegunda til ársins 2020 miðað við tilvik 1, og hvernig hægt verður að vinna gegn útstreymi með ýmsum mótvægisáðgerðum. Þeim áðgerðum er skipt í nokkra flokka eftir kostnaði. Í fyrsta lagi þá bindingu sem hlýst af óbreyttu umfangi áðgerða á sviði landnotkunar, í öðru lagi þær mótvægisáðgerðir sem hafa hreinan ábata í för með sér, í þriðja lagi áðgerðir sem kosta 0–20 evrur eða minna á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi, í fjórða lagi áðgerðir sem kosta 21–50 evrur á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi, og í fimmta lagi dýrari áðgerðir. Hér er eingöngu litið til minnkunar í útstreymi miðað við árið 2020 ef um afskiptalausna þróun er að ræða:

- Mótvægisáðgerðir sem fela í sér óbreytt umfang áðgerða á sviði landnotkunar geta skilað bindingu upp á 770 þúsund tonn, eða um 17%.
- Mótvægisáðgerðir sem fela í sér hreinan ábata geta dregið úr útstreymi um 192 þúsund tonn, eða um 4,1%.
- Mótvægisáðgerðir sem kosta frá 0-20 evrum á tonnið geta dregið úr útstreymi um 886 þúsund tonn eða um 19%.
- Mótvægisáðgerðir sem kosta á bilinu 21-50 evrur á tonnið geta dregið úr útstreymi um 518 þúsund tonn eða um 11%.
- Mótvægisáðgerðir sem eru dýrari en 50 evrur á tonnið geta dregið úr útstreymi um tæplega 1% eða um 35 þúsund tonn.

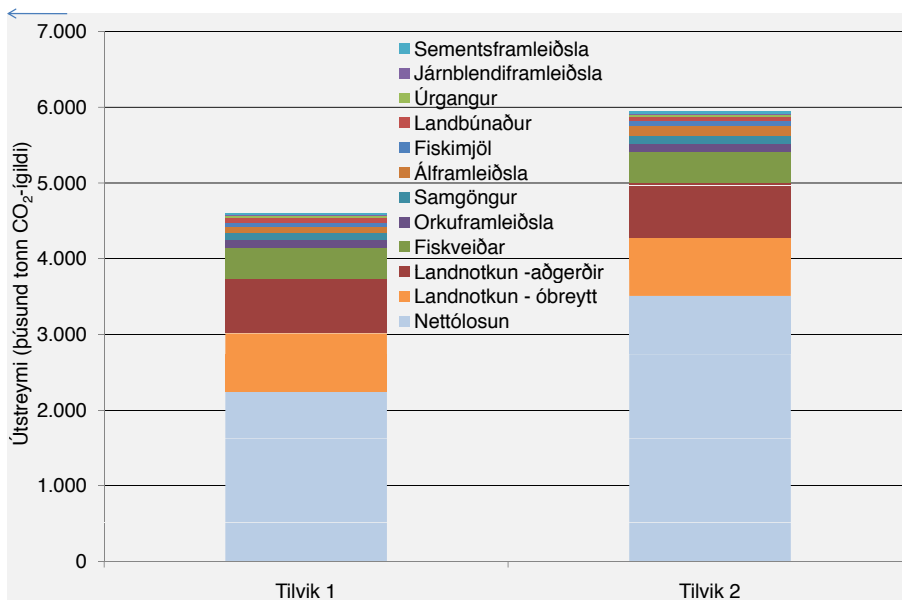
Þegar mótvægisáðgerðir eru skoðaðar með tilliti til geira er ljóst að samdráttur í útstreymi á sér aðallega stað vegna breyttrar landnotkunar og vegna möguleika á aukinni notkun lífildsneytis í sjávarútvegi. Mynd 8-5 sýnir glögglega mismunandi vægi mótvægisáðgerða milli geira fyrir tilvik 1 og tilvik 2.

#### 8.2.4 Mikilvægi áðgerðahraða og tímasetningar áðgerða

- Ef ætlunin er að ná tilteknum árangri við að draga úr útstreymi miðað við



Mynd 8-4. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda, binding vegna óbreyttrar landnotkunar og mögulegar mótvægisáðgerðir skv kafla 7, raðað eftir kostnaði á hvert tonn af CO<sub>2</sub>-ígildi.



Mynd 8-5. Nettóútstreymi og mótvægisáðgerðir innan geira, útstreymi árið 2020 (þúsund tonn CO<sub>2</sub> -ígildi).

ákveðin tímamörk er mikilvægt að hefja aðgerðir sem fyrst á tímabilinu því töluverðan tíma getur tekið áður en árangur aðgerða kemur fram. Mikill aðgerðahraði seint getur haft aukinn kostnað í för með sér miðað við þjóðarframleiðslu þar sem ráðast þarf í meiri framkvæmdir á styttri tíma. Þó ber að hafa í huga að kostnaður mótvægisáðgerða sem eru í þróun er líklegur að lækka umtalsvert á komandi árum.

- Fjárfestingar, hvort sem er í iðnaði, sjávarútvegi eða einfaldlega í fjölskyldubílum hafa tiltölulega langan líftíma. Því hafa þær fjárfestingar sem gerðar eru í dag áhrif á útstreymi gróðurhúsalofttegunda langt til framtíðar. Því fyrir sem fjárfestingum er beint til loftslagsvænni tækni því fyrir skila þær árangri.



### 8.3 Niðurlag

Í þessari skýrslu hafa verið skoðaðir helstu möguleikar Íslendinga til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda, bæði hvað varðar kostnað og það magn gróðurhúsalofttegunda sem hver mótvægisáðgerð getur skilað.

Ljóst er að miklir möguleikar eru til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi og unnt er að velja saman ýmsar áðgerðir til að ná þeim markmiðum sem stjórnvöld vilja stefna að. Túlka ber þó niðurstöðurnar sem koma fram í þessari skýrslu sem mat á tæknilegum möguleikum til að draga úr nettóútstreymi, en hvort þær áðgerðir verða innleiddar fer m.a. eftir breytingum á kostnaði áðgerða vegna tækniframfara, hagþróun og hugsanlegum stjórnvaldsáðgerðum. Mikill munur getur verið á því sem er tæknilega mögulegt og þeirri minnkun sem síðan verður raunin. Niðurstöður sýna að:

- Ef miðað er við losunarspá í tilviki 1, og allar mótvægisáðgerðir innleiddar (án tillits til kostnaðar) er hægt að draga úr útstreymi um 52% miðað við útstreymi á árinu 2020 við afskiptalaus þróun. Útstreymi verður 34% lægra árið 2020 miðað við útstreymi 1990 og 50% lægra en útstreymi árið 2007. Ef minnkun í útstreymi vegna endurheimts votlendis er ekki talin með lækkar möguleg minnkun í nettóútstreymi árið 2020 í 22% miðað við árið 1990 og 42% ef miðað við 2007.
- Ef miðað er við losunarspá tilviks 2, og allar mótvægisáðgerðir innleiddar (án tillits til kostnaðar) er hægt að draga úr útstreymi um 41% miðað við útstreymi á árinu 2020. Útstreymi í tilviki 2 árið 2020 verður þó 3% hærra miðað við útstreymi árið 1990 en verður 22% lægra en útstreymi ársins 2007. Ef minnkun í útstreymi vegna endurheimts votlendis er ekki talin til mótvægisáðgerða verður nettóútstreymi árið 2020 15% hærra en árið 1990 en 12% lægra ef miðað er við 2007.

Kostnaður mótvægisáðgerða er mismikill og spannar bil frá áðgerðum sem gefa hreinan fjárhagslegan ávinning svo sem aukin áhersla á göngu og hjólfreiðar, eða aukin notkun sparneytnari bifreiða, til mótvægisáðgerða sem í dag eru mjög dýrar, t.d. vetnisvæðing samgangna. Þó ber að hafa í huga að við tækniframfarir er líklegt að kostnaður dýrari áðgerðanna muni falla umtalsvert þegar til lengri tíma er litið. Hafa ber í huga að greiningin á kostnaði er þröng í þeim skilningi að eingöngu er litið á kostnað og ábata þeirra fyrirtækja eða atvinnugreina sem um ræðir, en ekki tekið tillit til þeirra margvíslegu þjóðhagfræðilegu áhrifa sem mótvægisáðgerðir geta haft í för með sér. Slíkar þjóðhagfræðileg áhrif þarf að meta síðar og þá með tilliti til mismunandi stjórnvaldsáðgerða. Auk þjóðhagfræðilegra áhrifa er ekki metin hin ýmsu jákvæðu ytri áhrif sem hljótast vegna mótvægisáðgerða, svo sem bætt heilsa og minni loftmengun vegna áðgerða í samgöngum.

Niðurstöður gefa þó til kynna að áðgerðir sem fela í sér hreinan fjárhagslegan ábata geti dregið úr útstreymi um 4,1% umfram nettóútstreymi ársins 2020.

Mótvægisáðgerðir sem eru tæknilega mögulegar fyrir 2020 eru misdreifðar milli geira. Óbreytt landnotkun og breytt landnotkun, sem felur í sér aukna skógrækt, landgræðslu og endurheimt votlendis, telja 64% af minnkun útstreymis ársins 2020

og aðgerðir í sjávarútvegi telja um 17,5%. Þessar aðgerðir í sjávarútvegi byggja að miklu leyti á aukinni notkun lífoldsneytis. Gert er ráð fyrir að notkun lífoldsneytis auki ekki nettóútstreymi kolefnis, en ekki er sjálfgefið að svo sé í raunveruleikanum ef litið er til útstreymis vegna framleiðslu eldsneytisins. Því ber að leggja áherslu á að það lífoldsneyti sem notað er til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda hérlandis sé framleitt með sjálfbærum hætti.

Mótvægisáðgerðir í iðnaði svo sem eðalrafskaut eru ekki líklegar að hafa veruleg áhrif á útstreymi gróðurhúsalofttegunda fyrr en eftir árið 2020.

Til að draga úr útstreymi á milli 25–40% árið 2020, miðað við árið 1990 þýðir að nettóútstreymi árið 2020 má ekki fara upp fyrir 2.550 þúsund tonn (25% minnkun) annars vegar eða 2.040 þúsund tonn hins vegar (40% minnkun). Til að ná því markmiði er eðlilegt að notuð séu samverkandi áhrif mótvægisáðgerða innanlands og sveigjanleikaákvæði loftslagssamningsins eins og við á. **Þó ber að hafa í huga að sveigjanleikaákvæðin eru aðeins hugsuð sem viðbót við innlenda minnkun á nettóútstreymi.**

Fjárfestingar, hvort sem er í iðnaði, sjávarútvegi eða einfaldlega í fjölskyldubílum hafa tiltölulega langan líftíma og hafa því áhrif á útstreymi í framtíðinni. Vegna þessa, og til að draga úr kostnaði við umfangsmiklar aðgerðir seinna á tímabilinu er skynsamlegt að fjárfestingum sé beint strax í átt að loftslagsvænni tækni.



## 9 Heimildir

Andrés Arnalds, 2004. Carbon sequestration and the restoration of land health – An example from Iceland. *Climatic Change*, 65(3): 333-346.

Anna María Ágústsdóttir, 2004. Revegetation of eroded land and possibilities of carbon sequestration in Iceland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 70(2): 241-247.

Arnór Snorrason og Bjarki Þór Kjartansson, 2005. Íslensk skógarúttekt. *Fræðafing landbúnaðarins 2005*: 162.

Arnór Snorrason, 2006. Langtímaspá um kolefnisbindingu nýskógræktar. *Skógræktarritið* 6(2):

Arnór Snorrason, 2007. Langtímaspá um kolefnisbindingu nýskógræktar. *Fræðafing landbúnaðarins 2007*: 522-527.

Arnór Snorrason, Bjarni D. Sigurdsson, Grétar Guðbergsson, Kristín Svavarsdóttir & Þorbergur H. Jónsson. 2002. Carbon sequestration in forest plantations in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, 15: 79-91.

Árni Snæbjörnsson og Óttar Geirsson 1981. *Vatnsmiðlun*. Bændaskólinn á Hvanneyri, Hvanneyri.

Ása L. Aradóttir, Kristín Svavarsdóttir og Jón Guðmundsson, 2006. Binding kolefnis á landgræðslu-svæðum. *Fræðafing landbúnaðarins 2006*:245-248.

Ása L. Aradóttir, Kristín Svavarsdóttir, Þorbergur Hjalti Jónsson, og Grétar Guðbergsson, 2000. Carbon accumulation in vegetation and soils by reclamation of degraded areas. *Búvisindi* 13:99-113.

Bernstein, L., J. Roy, K. C. Delhotal, J. Harnisch, R. Matsuhashi, L. Price, K. Tanaka, E. Worrell, F. Yamba, Z. Fengqi, 2007: Industry. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Birkemose T. 2006. Stort potentiale for mere biogas i Danmark. Dansk Landbrugsrådgivning. Artikel nr. 85. Landscentret/Planteavl, 3 s.

Birgir Sævarsson, Óbirtar rannsóknir um nýtni skrófu

Bjarni D. Sigurðsson, Arnór Snorrason, Bjarki Þór Kjartansson og Brynhildur Bjarnadóttir, 2005. Kolefnisbinding með nýskógrækt. Hvar stöndum við og hverjir eru möguleikarnir? *Fræðafing landbúnaðarins 2005*: 20-24

Bjarni D. Sigurðsson, Ásrún Elmarsdóttir, Brynhildur Bjarnadóttir og borgþór Magnússon, 2008. Mælingar á kolefnisbindingu mismunandi skógargerða. *Fræðafing landbúnaðarins 2008*: 301-308.

Bogner, J., M. Abdelrafie Ahmed, C. Diaz, A. Faaij, Q. Gao, S. Hashimoto, K. Mareckova, R. Pipatti, T. Zhang, Waste Management, In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.)), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Bragi Árnason and Thorsteinn I. Sigfússon, „Converting CO<sub>2</sub> emissions and Hydrogen into Methanol Vehicle Fuel”, *Journal of Metals, JOM*, Vol 51, No. 5, May 1999, pp. 46 -47.

Brynhildur Bjarnadóttir, Arnór Snorrason og Bjarni D. Sigurðsson, 2008. Kolefnisbinding með skógrækt. Yfirlit og aðferðir. *Fræðafing landbúnaðarins 2008*: 283-289.

Brynjar Skúlason, Aðalsteinn Sigurgeirsson og Guðmundur Halldórsson, 2003. Arðsemi skógræktar á Íslandi. *Ráðunautafundur 2003*: 94-102.

Bruno, M.j. 2004. Aluminum Carbothermic Technology, U.S. DOE Cooperative agreement No.DE-FC36-00ID13900.

Carbon Recycling International (<http://www.carbonrecycling.is/>)

CIA factbook <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>

Daði Már Kristofersson, E. Eyþórsdóttir, G. H. Harðarson & M. B. Jónsson. 2007. *Samanburður á rekstrarhagkvæmni mjólkurframleiðslu með íslenskum kúm og fjórum erlendum kúakynjum*. Fjölrit LbhÍ. Nr 15, 68 p.

EAA (European Aluminium Association), 2006, Aluminium recycling in Europe

Einar Gunnarsson, Edgar Guðmundsson og Ragnar Árnason, 1987. Hagkvæmni nytjaskógræktar. Í framkvæmdanefnd um framtíðarkönnun á vegum Forsætisráðuneytis, *Auðlindir um aldamót*. Gutenberg, Reykjavík.

Emil Ragnarsson, Árbók VFÍ/TFÍ 2007 Orkuspar

Erna Bjarnadóttir og Stefán Örn Valdimarsson, 1992, Verðmæti búfjáraburðar. Í Rikharð Brynjólfsson (Ed.), *Nýting búfjáraburðar*. Rit búvisindadeildar nr 1.

European Environmental Agency, dataservice

Fjarðanet ehf, [www.fjardanet.is](http://www.fjardanet.is) skoðað í júlí 2008

Gardner B., 1983. Efficient Redistribution Through Commodity-Markets. *American Journal of Agricultural Economics* 65 (2): 225-234.

Giger-Reverdin, S., Morand-Fehr, P. & Tran, G. 2003. Literature survey of the influence of dietary fat composition on methane production in dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 82, 73-79.

Guðbergur Rúnarsson, Hvert fara krónurnar, Ægir, febrúar 1999

Guðbergur Rúnarsson, Orkunotkun og fiskveiðar 1990–1997

Hagfræðistofnun Háskóla Íslands, 2009, Óbirt greinargerð  
Hagstofa Íslands, [www.hagstofan.is](http://www.hagstofan.is).

Hjort-Gregersen K. 1999. Centralized Biogas Plants – Integrated Energy Production, Waste Treatment and Nutrient Redistribution Facilities. *Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics*, 30 s.

Hlynur Óskarsson, 1998. *Icelandic Peatlands: Effects of Draining on Trace Gas Release*. Doktorsgitgerð frá Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, Georgia, USA

Hlynur Óskarsson, 1999. Kolefnisbúskapur mýra: Áhrif framræslu og gildi endurheimtar mýra til viðhalds kolefnisforða þeirra. *Ráðstefnurit afmælisráðstefnu Líffræðifélags Íslands*, Hótel Loftleiðum, 18.-20. nóvember 1999. Blaðsíða 60.

Hlynur Óskarsson, 2008. Endurheimt votlendis – möguleg leið til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. *Fræðavingur landbúnaðarins 2008*.

Hlynur Óskarsson, Ólafur Arnalds, Jón Guðmundsson og Grétar Guðbergsson, 2004. Organic carbon in Icelandic soils: geographical variation and impact of erosion. *Catena* 56:225-238.

Humphreys, K. and M. Mahasenan, 2002: Towards a sustainable cement industry – Substudy 8: Climate Change. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Geneva, Switzerland.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007a, Climate change 2007 – The Physical Science Basis, Working Group I contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007b, Climate change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007c, Climate change 2007 – Mitigation of Climate Change, Working Group III contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK

International Aluminium Institute, Sustainability report.

IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IGES. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplucf/gpplucf.htm>)

IRG, 2004. COAnalysis of Methane Mitigation Options using the MARKAL Model for the US. *US EPA Coalbed Methane Outreach Program*. (<http://www.epa.gov/methane/projections.html>)

Jóhann Pétur Andersen framkvæmdastjóri Félags fiskmjölsframleiðenda, Grænt bókhald, [www.ust.is](http://www.ust.is), [www.sf.is](http://www.sf.is).

Kamsma, R.P.M., July 2003. Landfill Gas Formation in Iceland, (2003), University of Den Bosch, the Netherlands og C.A. Meyles B.Sc., Environment and Food Agency of Iceland, Reykjavík.

Lackner og Sigfússon, 2006, Ráðstefna með Columbia háskóla í Reykjavík, júní 2006.

Landvernd, 2005, Loftslagsverkefni, Landvernd

Loftslagsnefnd sjávarútvegsins, 2009, óbirt greinargerð.

McKinsey&Company, 2009, Pathways to a Low-Carbon Economy: version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve, McKinsey&Company.

Mannvit ([www.mannvit.is](http://www.mannvit.is), maí 2008)

Mannvit, 2009, *Minnkun á losun gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum á landi*, unnin fyrir Vegagerðina, óbirt skýrsla.

Mannvit, 2008, *Losun gróðurhúsalofttegunda frá meðhondlun úrgangs*, unnið fyrir Umhverfissráðuneytið, óbirt samantekt

Mannvit, 2008, *Minnkun losunar gróðurhúsalofttegunda frá fiskveiðum: forsendur og niðurstöður kostnaðargreiningar á notkun endurnýjanlegs eldsneytis á fiskiskip*, Skýrsla unnin fyrir sérfræðinganefnd til að kanna möguleika á samdrætti í nettólosun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi og Umhverfissráðuneytið, óbirt skýrsla.

Mills, J.A.N., Dijkstra, J., Bannink, A., Cammell, S.B., Kebreab, E. & France, J. 2001. A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: Model development, evaluation, and application. *J. Anim. Sci.* 79, 1584-1597.

NOU: Et klimavennlig Norge 2006, Departementenes servicesenter, Informasjonsforvaltning, Oslo 2006, ISSN 0333-2306

OECD, 2001. The Incidence and Income Transfer Efficiency of Farm Support Measures, AGR/CA/APM(2001)24/FINAL, Paris.

OECD, 2003. Policy-Related Transaction Costs and Policy Choice: Main Report, AGR/CA/APM(2003)15/FINAL, Paris.

Orkuveita Reykjavíkur, 2008, Umhverfisskýrsla 2007, Orkuveita Reykjavíkur, Reykjavík.

Orkusparnefnd, 2008, Eldsneytisspá 2008-2050, Orkustofnun OS-2008/009, Reykjavík

Orkusparnefnd, 2008, Raforkuspá 200x – 20xx, Orkustofnun OS- , Reykjavík

Ólafur Arnalds, G. Guðbergsson og Jón Guðmundsson, 2000. Carbon sequestration and reclamation of severely degraded soils in Iceland. *Búvísindi* 13:87-98.

Prosjekt Rapport for Norges Fiskarlag. Resultater trålerflåten 2006. Energinettvert Fiskeflåte. Lips Coastal and Inland Propulsion Systems, Wärtsilä  
[http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship\\_power/media\\_publications/brochures/product/propulsors/efficiency\\_rudder.pdf](http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship_power/media_publications/brochures/product/propulsors/efficiency_rudder.pdf)

Pucher, J., Buehler, R., 2008, Making Cycling Irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany, *Transport Reviews*, Vol 28, No. 4, July 2008.

Ragnar K. Ásmundsson, NOV 2005 Varmadætur : hagkvæmni á Íslandi 14635 Íslenskar orku-rannsóknir ÍSOR-2005/024

Ragnhildur Sigurðardóttir, 2000. *Effects of Different Forest Types on Total Ecosystem Carbon Sequestration in Hallormsstaður Forest, Eastern Iceland*. PhD-thesis, Yale University: 193 pp.  
Rasmussen, T.D., L. Hedemand, J. Hviid og J. Johnsen Høy, 2001. *Overdækning af gyllebeholdere*. Landbrugets Rådgivningscenter.

Rósa Jónsdóttir ofl, Aðdráttarafi beitu – banvænn biti, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, maí 2005

Sigfússon, Þorsteinn I, 2007, Pathways to hydrogen as an energy carrier, *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 365, p.1025-1042.

Sjardin, M., 2003: CO<sub>2</sub> emission factors for non-energy use in the non-ferrous metal, ferroalloys and inorganics industry. Copernicus Institute, Utrecht, pp. 63.  
Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H.H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, R.J. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach, and J.U. Smith, 2007. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B*, 363. doi:10.1098/rstb.2007.2184.

Sommer, S.G., Möller, H.B. & Petersen, S.O., 2001. Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling. *DJF rapport, husdyrbrug nr 31* – 53 s.

Thambimuthu Kelly, et al (2007) IPCC report, chapter 3, Capture of CO<sub>2</sub>. IPCC, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/srccs.htm>, maí 2008

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change, [http://unfccc.int/ghg\\_data/ghg\\_data\\_unfccc/items/4146.php](http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/items/4146.php) (maí 2008)

Umhverfissráðuneytið, 2008. National Inventory Report. Iceland 2008. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. ([http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/4303.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4303.php)).

Umhverfissráðuneytið, 2007. National Inventory Report. Iceland 2007. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. ([http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/4303.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4303.php)).

Umhverfisstofnun, 2008, Spá um losun gróðurhúsalofttegunda til 2050, óbirt gögn.

Umhverfissráðuneytið, 2007. *National Inventory Report. Iceland 2007*. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. ([http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/4303.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4303.php)).

Umhverfissráðuneytið, 2008. *National Inventory Report. Iceland 2008*. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. ([http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/4303.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4303.php)).

Umhverfisstofnun, 2007. *National Inventory Report, Iceland 2007*. ([http://unfccc.int/national\\_reports/initial\\_reports\\_under\\_the\\_kyoto\\_protocol/items/3765.php](http://unfccc.int/national_reports/initial_reports_under_the_kyoto_protocol/items/3765.php))

Umhverfisstofnun. Skýrsla UST-2004:14. Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2004-2016

Umhverfisstofnun. Nóvember 2008. Birna S. Hallsdóttir. Spá um magn úrgangs og losun GHL. Óútgefin gögn.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2008. Report of the review of the initial report of Iceland. FCCC/IRR/2007/ISL. ([http://unfccc.int/documentation/documents/advanced\\_search/items/3594.php?rec=j&preref=600004613#beg](http://unfccc.int/documentation/documents/advanced_search/items/3594.php?rec=j&preref=600004613#beg))

VGK-Hönnun. Júní 2007. Sameiginleg svæðisáætlun um meðhöndlun úrgangs: Niðurstöður ráðgjafa um meðhöndlun lífræns úrgangs og urðunarstaði. Samantekt fyrir verkefnisstjórn.

Worrell, E., L.K. Price, N. Martin, C. Hendriks, and L. Ozawa Meida, 2001b: Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual Review of Energy and Environment*, 26, pp. 303-29.

Þorsteinn Guðmundsson, Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson, 2004. Organic carbon accumulation and pH changes in an Andic Gleysol under a long-term fertilizer experiment in Iceland. *Catena*, 56(1-3): 213-224.

Þórhallur Ásbjörnsson, Losun gróðurhúsalofttegunda frá fiskiskipum 2005

Þóroddur Sveinsson, 2009. Leið til að lækka áburðarkostnað á kúabúum – bætt nýting búfjár-áburðar. Fræðaðing landbúnaðarins 2009.

#### **Munnlegar heimildir**

Prokatin ehf, Jakob K. Kristjánsson, maí 2008

Carbon Recycling International, K.C. Tran, janúar 2009

Einar Hreinsson, veiðarfærasérfræðing hjá Hafrannsóknarstofnuninni, júní – júlí 2008

Jón Einar Marteinnsson, framkvæmdastjóra Fjarðanets ehf, 11.júlí 2008

Leo Mayer, febrúar – maí 2008.

Gunnar H. Sigurðsson, Sementsverksmiðjan, 2008

Þorsteinn Hannesson, ELKEM Ísland, desember 2008





## 10 Viðaukar

### Viðauki I

Við mat á kostnaði vegna samdráttar í útstreymi er stuðst við meðalkostnað tímabils sem metinn er m.t.t. hvenær kostnaður og ábati á sér stað, sbr. Hendriks og fleiri (2001). Aðferðina má setja fram á tvo hliðstæða vegu. Gerum ráð fyrir aðgerð sem skilar sama samdrætti í útstreymi öll ár og hefur sama árlegan kostnað og ábata. Þá er einingakostnaður aðgerðarinnar:

$$C_t = \frac{(\alpha C^{inv} + C_t^{O\&M} - B_t)}{R_t}$$

þar sem:

$C_t$  er einingakostnaður vegna bindingar á ári  $t$

$C^{inv}$  er kostnaður vegna fjárfestingar

$C_t^{O\&M}$  er viðhalds og rekstrarkostnaður á ári  $t$

$\alpha$  er jafngreiðslufaktor (annuity factor):  $\frac{r}{(1 - (1+r)^{-T})}$

$B_t$  eru tekjur vegna aðgerða á ári  $t$

$T$  er áætlaður líftími fjárfestingar

$r$  er ávöxtunarkrafan

$R_t$  er samdráttur í útstreymi á ári  $t$

Jafngreiðslufaktorinn,  $\alpha$ , dreifir fjárfestingarkostnaðinum í  $T$  jafnar greiðslur með samanlagt núvirði sem er jafnt upphaflegri fjárfestingu. Þ.e.:

$$\sum_{t=1}^T \frac{\alpha}{(1+r)^t} = 1$$

Þessi aðferð er einföld og aðgengileg ef árlegur kostnaður og samdráttur í bindingu er jafn yfir tímabilið. Ef svo er ekki er einfaldara að setja aðferðina fram á forminu:

$$C_t R_t = (\alpha C^{inv} + C_t^{O\&M} - B_t)$$

Þessi fullyrðing segir í raun ekki annað en að heildarkostnaður við samdrátt í útstreymi á ári  $t$  sé jafn summu alls kostnaðar að frádregnum tekjum. Þessi fullyrðing þarf að vera sönn fyrir allt fjárfestingatímabilið, þannig að:

$$\sum_{t=1}^T \frac{C_t R_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{(\alpha C^{inv} + C_t^{O\&M} - B_t)}{(1+r)^t}$$

Meðalkostnað tímabils má finna með því að finna einingakostnað sem er sá sami fyrir öll tímabil og leysir jöfnuna, þ.e.:

$$C_t = C = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{(\alpha C^{inv} + C_t^{O\&M} - B_t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+r)^t}} = \frac{C^{inv} + \sum_{t=1}^T \frac{(C_t^{O\&M} - B_t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+r)^t}} =$$

Þessi útgáfa er notuð í þeim tilfellum þar sem kostnaður, tekjur eða samdráttur í útstreymi er breytilegur.

### Viðauki II

Vandasamt er að meta vergan kostnað vegna aðgerða þar sem kostnaður og ábati falla á mismunandi tímaskala. Það að ráðast í nýjar aðgerðir eða að flýta aðgerðum sem ákveðið hefur verið að ráðast í hefur fyrst og fremst í för með sér aukin fjármagns-kostnað. 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. Látum  $\theta$  vera hlutfallslegan framkvæmdahraða verkefnis, það hlutfall heildar sem lokið er á hverju ári. Taka mun  $1/\theta = T$  ár að ljúka verkefninu á þessum framkvæmdahraða. Gefum okkur að heildarkostnaður framkvæmda sé  $C$  krónur og þar með kosti  $\theta C$  að framkvæma  $\theta$  hluta heildarverksins. Ef ávöxtunarkrafan er  $\rho$  þá er núvirði heildarkostnaðar verkefnisins

$$HK(C, \theta, \rho) = \int_0^{1/\theta} \theta C e^{-\rho t} dt = \left[ -\frac{\theta C}{\rho} e^{-\rho t} \right]_0^{1/\theta} = \frac{\theta C}{\rho} \left( 1 - e^{-\rho/\theta} \right)$$

sem er línulegt í kostnaði. Kostnaðaraukinn við að auka aðgerðahraða frá  $\theta$  til  $\theta^1$  er þá

$$\Delta HK = HK(C, \theta^1, \rho) - HK(C, \theta, \rho) = \frac{C}{\rho} \left( (\theta^1 - \theta) + \theta e^{-\rho/\theta} - \theta^1 e^{-\rho/\theta^1} \right)$$

Hlutfallsleg kostnaðaraukning vegna flýtingar aðgerða er:

$$\frac{\Delta HK}{HK(C, \theta, \rho)} = \left( (\theta^1 - \theta) + \theta e^{-\rho/\theta} - \theta^1 e^{-\rho/\theta^1} \right) \left( \theta - \theta e^{-\rho/\theta} \right)^{-1}$$

Þessi aðferð við mat á kostnaði tekur ekki tillit til þess að hagnaður af aðgerðum fellur fyrir. T.d. tekjur af nýtingu lands, bætt landgæði, minna tjón vegna áfoks, stöðugri vatnsbúskapur og aukið dýra og plöntulíf eru allt dæmi um jákvæð áhrif af landgræðslu og skógrækt. Tekjurnar af þessum þáttum munu að sjálfsögðu falla fyrir ef aðgerðum er flýtt. Kostnaður er því oftalinn með þessari aðferð. Samt sem áður gefur hún vísbendingu um hámarks-kostnað við t.d. kolefnisbindingu með mismunandi aðgerðum og breytingum á umfangi þeirra.

