



Þórey Dalrós Þórðardóttir



HÁSKÓLI ÍSLANDS  
Raunvísindadeild  
Jarð- og landfræðiskor

## ***Kolefnisbinding í gróðri og jarðvegi á Íslandi***

- Möguleg leið til að draga úr CO<sub>2</sub> í andrúmslofti -  
M.Sc. ritgerð haustið 2004  
Höfundur

Þórey Dalrós Þórðardóttir

*Rannsókn Þóreyjar var unnin í tengslum við loftslagsverkefni Landverndar með fjárhagslegum stuðningi frá Alcoa og landbúnaðarráðuneytingu.*

# Efnisyfirlit

<i>Efnisyfirlit</i>	<i>i</i>
<i>Myndaskrá</i>	<i>iv</i>
<i>Töfluskrá</i>	<i>v</i>
<i>Skammstafanir og skilgreiningar</i>	<i>vi</i>
<i>Inngangur</i>	<i>1</i>
<b>A. Loftslagsbreytingar</b>	<b>4</b>
<b>I. Vísindin</b>	<b>4</b>
Gróðurhúsaáhrifin	4
Hringrás kolefnis	8
Kolefnisforði jarðarinnar	11
<b>II. Alþjóðasamfélagið</b>	<b>12</b>
IPCC	12
Alþjóðasáttmálar	13
Rammisamningur Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar	14
Kyotobókunin	15
Helstu leiðir til stjórnunar á losun gróðurhúsalofttegunda	16
<b>III. Ísland</b>	<b>17</b>
Loftslagsbreytingar á Íslandi	17
Skuldbindingar Íslands	18
Íslenska ákvæðið	18
Útstreymisspá	22
Mengandi starfsemi	24
Stefnumörkun og aðgerðir íslenskra stjórnvalda	31
Stofnanir	34
<b>B. Kolefnisbinding með landgræðslu og skógrækt</b>	<b>36</b>
<b>I. Vísindin</b>	<b>37</b>
Kolefnisforði mismunandi svæða	37
Íslenskur jarðvegur	38
<b>II. Reglur Kyoto bókunarinnar um bindingu kolefnis</b>	<b>39</b>
Upplýsingar sem aðildarríki þurfa að skila inn	45
Skilvirkni Kyoto bókunarinnar og eftirlit	46
Staðan á Íslandi	48
<b>III. Rannsóknir á kolefnisbindingu í landgræðslu, skógrækt og jarðvegi</b>	<b>50</b>
Rannsóknir á kolefnisbindingu ræktaðra skóga á Íslandi	52
Rannsókn á kolefnisbindingu í jarðvegi	56
Rannsókn á kolefnisbindingu í gróðri á uppgræðslusvæðum	57
Niðurstöður rannsókna	57
Mat á gróðurhúsaáhrifum í uppistöðulónum.	59
<b>IV. Möguleikar til bindingar kolefnis á Íslandi</b>	<b>61</b>
Stærð svæða sem þarf að rækta til að binda CO <sub>2</sub>	69
Kostnaður kolefnisbindingar	69

Fjármögnunaraðilar _____	73
Raunhæf markmið með tilliti til landnýtingar, náttúruverndar og kostnaðar ____	75
Þróun bindingar kolefnis á næstu 50 árum _____	76
Mikilvægi kolefnisbindingar _____	79
<b><i>Samantekt</i></b> _____	<b>82</b>
<b><i>Þakkarorð</i></b> _____	<b>85</b>
<b><i>Heimildaskrá</i></b> _____	<b>86</b>

## Myndaskrá

<i>Mynd 1. Gróðurhúsaáhrifin</i>	5
<i>Mynd 2. Hringrás kolefnis</i>	9
<i>Mynd 3. Koldíoxíð hefur verið að aukast stöðugt í andrúmsloftinu síðan iðnbylting hófst</i>	10
<i>Mynd 4. Hlutfallsleg skipting heildarútstreymis gróðurhúsalofttegunda eftir greinum 2002</i>	25
<i>Mynd 5. Útblástur gróðurhúsalofttegunda eftir lofttegundum árið 2001</i>	26
<i>Mynd 6. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda eftir uppsprettum 1990-2001</i>	27
<i>Mynd 7. Losun koldíoxíðs CO<sub>2</sub> á íbúa árið 1999 (útstreymi að frádregnu íslenska ákvæðinu, kolefnisbinding ekki meðtalin)</i>	28
<i>Mynd 8. Átakssvæði landgræðslunnar vegna bindingar CO<sub>2</sub> árið 1999</i>	32
<i>Mynd 9. Samanlagt útstreymi 6 gróðurhúsalofttegunda að teknu tilliti til bindingar 1990-2001</i>	34
<i>Mynd 10. Hlutfallsleg skipting gróðursettra trjátegunda á Íslandi</i>	53
<i>Mynd 11. Mælistöð kolefnisflæðis í lerkiskógi á Fljótsdalshéraði</i>	55
<i>Mynd 12. Yfirlit yfir jarðvegsrof árið 1997</i>	65
<i>Mynd 13. Hlutfall lands eftir rofeinkunn, jöklar, hæstu fjöll, ár og vötn eru undanskilin</i>	67
<i>Mynd 14. Landgræðslusvæði á Íslandi</i>	69
<i>Mynd 15. Fjárveitingar til Landgræðslunnar 1974-2001</i>	74
<i>Mynd 16. Hlutfall kolefnisbindingar af heildarútbلاstri</i>	79

## Töfluskrá

<i>Tafla 1. Líftími og upphitunarstuðull gróðurhúsalofttegunda miðað við CO<sub>2</sub></i>	<i>7</i>
<i>Tafla 2. Magn kolefnis á jörðinni</i>	<i>11</i>
<i>Tafla 3. Spá um útstreymi frá Íslandi til árið 2015. Í þúsundum tonna CO<sub>2</sub></i>	<i>22</i>
<i>Tafla 4. Áætlað útstreymi koldíoxíðs frá nýrri stóriðju eftir árið 1990 sem fallið getur undir íslenska ákvæðið</i>	<i>23</i>
<i>Tafla 5. Viðauki I í Loftslagssamningnum</i>	<i>30</i>
<i>Tafla 6. Meðal kolefnisbinding í gróðri samkvæmt vísindagreinum</i>	<i>58</i>
<i>Tafla 7. Áætluð losun úr lóni miðað við mismunandi sviðsmyndir (breytilegar forsendur)</i>	<i>59</i>
<i>Tafla 8. Rofkvarði og tillögur vegna nýtingar lands til beitar</i>	<i>68</i>
<i>Tafla 9. Kolefnisbinding á átakssvæðum Landgræðslunnar 1997-2000</i>	<i>72</i>
<i>Tafla 10. Hlutfall kolefnisbindingar af heildarútbæstri á Íslandi</i>	<i>81</i>

## Skammstafanir og skilgreiningar

- **IPCC** *Intergovernmental Panel on Climate Change*  
*Milliríkjanefnd um loftslagsbreytingar*
- **UNFCCC** *United Framework Convention on Climate Change*  
*Rammasamningur Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar*
- **LULUCF** *Land use, land-use change and forestry*
- **GHL** *Gróðurhúsalofttegundir*
- **CDM** *Clean Development Mechanism*
  
- **SBSTA** *Subsidiary Body of Scientific and Technical Advice*  
*Undirnefnd fyrir vísinda- og tækniráðgjöf*
- **SBA** *Subsidiary Body of Implementation*
- **COP** *Conference of the Parties*  
*Þing aðildarríkja rammasamnings S.Þ. um loftslagsbreytingar*
- **Ppm** *Parts per million*  
*Mælieining fyrir CO<sub>2</sub> í andrúmslofti*
- **TonnC/ha á ári** *Tonn af kolefni sem binst á einum hektara á einu ári*
- **UNEP** *United Nations Environment Programme*  
*Umhverfisstofnun Sameinuðu Þjóðanna*
- **GWP** *Global Warming Potential*
- **UNCED** *United Nations Conference on Environment and Development*  
*Heimsráðstefna Sameinuðu þjóðanna um umhverfi og þróun*
- **Sinks, Viðtakar** *Viðtakar eru þau ferli sem sem fjarlægja gróðurhúsalofttegundir úr andrúmsloftinu*
  
- **Uppgræðsla** *Að þekja ógróið land gróðri*
  
- **Landgræðsla** *Samheiti yfir aðgerðir til að vernda gróður og jarðveg svo og uppgræðsluaðgerðir*
  
- **Endurheimt landgæða** *Að færa framleiðslugetu landsins í upprunalegt horf*
- **Afforestation Skógrækt** *Ræktaður er nýr skógur á svæði sem ekki hefur verið skógi vaxið í a.m.k. 50 ár*
- **Reforestation Endur-skógrækt** *Ræktaður er nýr skógur á svæði sem ekki hefur verið skógi vaxið eða ræktaður nýr skógur á svæði þar sem skógi hefur verið eytt.*
- **Gigatonn** *Einn milljarður tonna*

*Til að umreikna C í CO<sub>2</sub> má margfalda stærðina með 3,664 (Skógræktarritið 1996)*

## Inngangur

Loftslagsbreytingar eru eitt helsta umhverfisvandamálið sem að jarðarbúum steðjar um þessar mundir (IPCC, 2004). Samkvæmt alþjóðlegum samningi frá 1992 þá ber Íslandi sem og öðrum iðnvæddum þjóðum að leggja sitt af mörkum til þess að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda sem taldar eru valda loftslagsbreytingum (Umhverfissráðuneytið, 2004).

Markmið með verkefni þessu er að fá heildarsýn á það hvaða möguleikar eru til staðar til þess að auka bindingu kolefnis í gróðri og jarðvegi á næstu 50 árum, með aðgerðum eins og ræktun og friðun. Í stefnumörkun Íslands um sjálfbæra þróun til ársins 2020 sem gengur undir heitinu „Velferð til framtíðar“ segir að Ísland muni taka virkan þátt í að koma í veg fyrir hættulega röskun á veðrakerfum jarðarinnar af mannavöldum, með því að draga úr útstreymi og auka bindingu gróðurhúsalofttegunda. Í nýlegri skýrslu íslenskra stjórnvalda til Rammasamnings Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar, kemur fram að ef ekkert verður að gert mun losun gróðurhúsalofttegunda hér á landi halda áfram að aukast (Umhverfissráðuneytið, 2004).

Tildrög þessa verkefnis er að Landvernd hefur hleypt af stokkunum loftslagsverkefni í þeim tilgangi að draga upp mynd af væntanlegri þróun í losun gróðurhúsalofttegunda á 21. öldinni og reyna að finna leiðir til að halda aftur af aukningu og helst af öllu draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. Loftslagsverkefni Landverndar skiptist í fjóra hluta, sem eru fiskveiðiflotinn, samgöngur, alþjóðlegt samstarf og binding kolefnis í gróðri og jarðvegi, sem er einmitt sá hluti sem hér verður tekinn fyrir. Jafnframt er verkefni þetta meistaraþrófsverkefni höfundar í umhverfisfræðum við Háskóla Íslands.

Ein mótvægisáðferð til þess að draga úr magni CO<sub>2</sub> í andrúmslofti er að auka gróðurþekju svo að gróðurinn geti tekið meira CO<sub>2</sub> úr andrúmslofti. Plöntur taka til sín CO<sub>2</sub> andrúmsloftsins og breyta því í lífrænt efni með ljóstillífun. Þetta hefur verið nefnt binding kolefnis. Niðurbrot lífrænna leifa á hinn bóginn losar koldíoxíð út í andrúmsloftið.

Þær spurningar sem svarað verður í verkefni þessu eru hverjir möguleikar kolefnisbindingar á Íslandi eru og hvort möguleiki er á því að Ísland geti orðið gróðurhúsalofttegundalaust árið 2050. Með því er átt við að losun af mannavöldum

verði ekki meiri en tekst að binda í gróðri með sérstökum aðgerðum eða með samstarfi við önnur ríki um verkefni sem draga úr losun. Fjallað verður um hvað Kyoto bókunin segir um bindingu kolefnis og hvaða aðgerðir það séu sem eru leyfilegar. Hver raunhæf markmið í bindingu kolefnis eru og hvað líklegt sé að kolefnisbindingin geti orðið hátt hlutfall af heildarútbæstri á næstu árum og áratugum.

Þessi ritgerð byggist einkum á þeim rannsóknum sem gerðar hafa verið á kolefnisbindingu. Tekin er saman sú þekking sem er að finna í vísindagreinum um þetta viðfangsefni. Hópur vísindamanna hefur unnið að því að rannsaka hversu mikið kolefni binst í gróðri hér á landi. Þessar rannsóknir hafa verið í tengslum við áttak ríkisstjórnarinnar í skógrækt og landgræðslu á árunum 1997-2000. Skrifaðar hafa verið vísindagreinar þar sem greint er frá niðurstöðum rannsókna. Einnig byggist ritgerðin á þeim upplýsingum og skýrslum sem til eru hjá Umhverfissráðuneytinu, á heimasíðum Loftslagssamninganna, munnlegum heimildum og ýmsum heimasíðum og blaðgreinum.

Ritgerð þessi skiptist í stórum dráttum í tvo meginhluta. Fyrri hlutinn kemur fram með bakgrunnsupplýsingar, sem nauðsynlegar eru áður en farið verður að fjalla um kolefnisbindinguna sjálfa. Í fyrsta meginkaflanum er gerð grein fyrir því hvað gróðurhúsaáhrif eru í stuttu máli og kolefnishringásin útskýrð. Fjallað verður um viðbrögð alþjóðasamfélagsins við loftslagsbreytingum, þar sem meðal annars verður farið í helstu alþjóðasamninga sem snúa að gróðurhúsaáhrifum. Á eftir kaflanum um alþjóðasamfélagið verður fjallað um loftslagsmál á Íslandi.

Í seinni hlutanum verður fjallað um kolefnisbindingu í gróðri og jarðvegi, þær rannsóknir sem gerðar hafa verið, tekið verður saman yfirlit yfir þá þekkingu sem til staðar er um bindingu kolefnis í gróðri á Íslandi og greint frá helstu niðurstöðum þessara rannsókna.

Útskýrðar eru reglur Loftslagssamninganna varðandi kolefnisbindingu, raunhæf markmið og möguleika á Íslandi til kolefnisbindingar. Einnig verður fjallað stuttlega um mögulega fjármögnun og reynt að spá fyrir um hugsanlega þróun í kolefnisbindingu á næstu áratugum.

Íslendingar skrifuðu undir Kyoto bókunina 23. maí 2002 og verður hér lögð áhersla á að útskýra reglur hennar um bindingu kolefnis, bæði með almennum hætti og sérstaklega út frá íslenskum aðstæðum. Kyoto bókunin byggist á Loftslagssamningnum sem skrifað var undir á ráðstefnunni um umhverfi og þróun



sem fram fór í Ríó de Janeiro árið 1992. Undir Kyoto bókuninni og Loftslagssamningnum hafa verið settar margar og oft flóknar reglur og ákvæði. Loftslagsbreytingar eru hnattrænt vandamál, þar sem allar þjóðir geta orðið fyrir áhrifum og þess vegna verða allar þjóðir einnig að taka þátt í því að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. Ein ástæða aukningar koldíoxíðs í andrúmslofti er stórfelld eyðing gróðurs og jarðvegs í mörgum heimshlutum.

Útskýrðar verða í stuttu máli aðgerðir íslenskra stjórnvalda varðandi Loftslagssamninginn og helstu leiðir til þess að stjórna losun á gróðurhúsalofttegundum. Í verkefninu verða greindir helstu möguleikar til bindingar á kolefni á Íslandi, með ræktun, friðun og stjórnun. Margt bendir til þess að möguleikar kolefnisbindingar séu miklir, bæði vegna hins sérstaka íslenska eldfjallajarðvegs, sem getur bundið meira kolefni en flestar aðrar jarðvegsgerðir og einnig vegna þess að mikill jarðvegur og gróður hefur tapast síðustu þúsund árin. Vegna þess að land var áður hulið gróðri eiga að vera góðir möguleikar að endurheimta gróðurinn aftur og koma landinu aftur í það horf sem það var hér áður fyrir.

Á hverju ári er útblásturstölum skilað inn til skrifstofa Loftslagssamningsins. Nú hefur hún skilað inn athugasemdum varðandi forsendur útreikninga á útstreymi. Samkvæmt athugasemdunum var nokkrum liðum breytt. Samkvæmt nýju reikniðferðunum er mismunurinn að meðaltali 16% meiri útblástur á hverju ári frá árinu 1990. Í verkefni þessu er alls staðar stuðst við gömlu tölurnar nema í töflu 10. Þar sjást nýjustu tölurnar þar sem búið er að bæta 16% ofan á frá árinu 1990.

## A. Loftslagsbreytingar

Til þess að geta áttað sig á málefnum kolefnisbindingar í samhengi er mikilvægt að gera grein fyrir þeim þáttum sem liggja þar að baki. Hverjar eru ástæður þess að farið er að leggja áherslu á að binda kolefni með uppgræðslu? Grunnástæða þess er sú að aukning CO<sub>2</sub> í andrúmslofti er að valda hlýnun andrúmsloftsins með ófyrirséðum afleiðingum. Nauðsynlegt er að gera grein fyrir því hvað veldur þessum loftslagsbreytingum og hvað mögulega hægt sé að gera.

### I. Vísindin

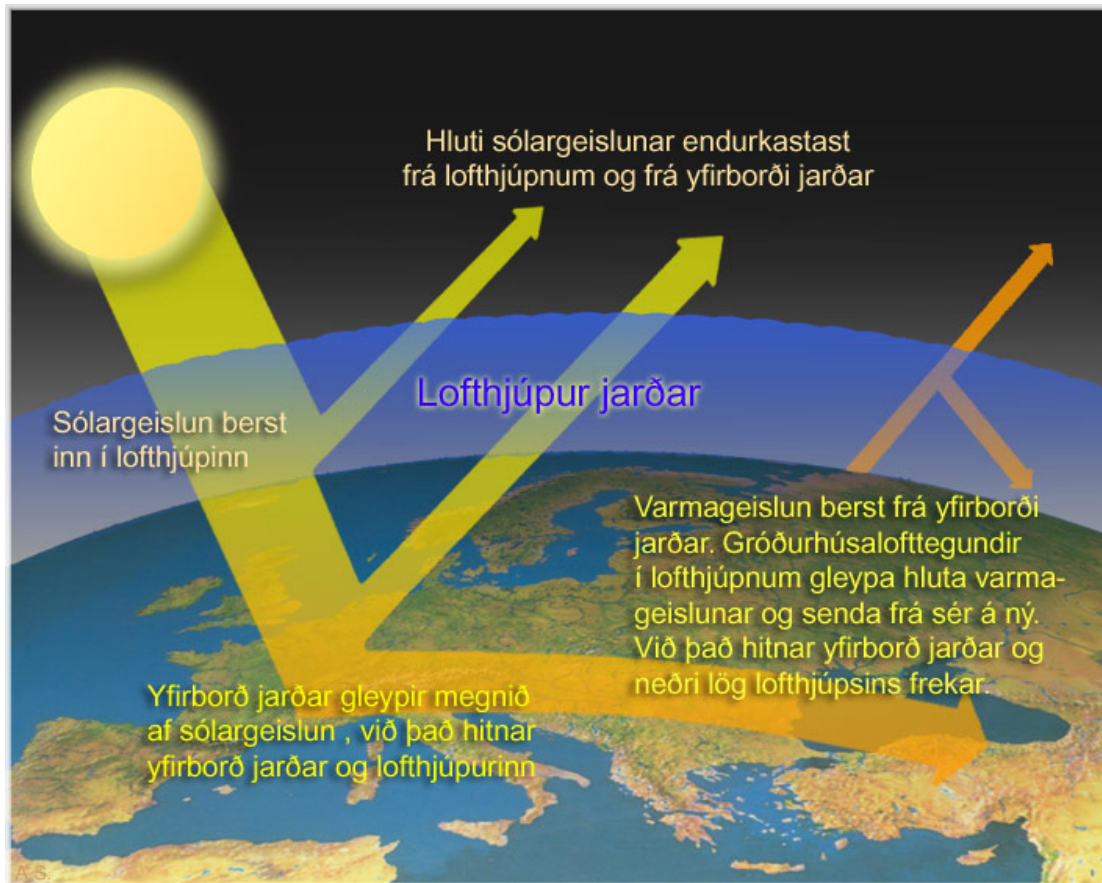
#### *Gróðurhúsaáhrifin*

Það er engum vafa undirorpið að breytingar eru að eiga sér stað í lofthjúpi jarðar með þeim afleiðingum að veðurfar fer hratt hlýnandi. Afleiðingar þess eru ófyrirséðar. Styrkur koldíoxíðs hefur aukist mjög í andrúmsloftinu síðan iðnbyltingin hófst og á sama tíma og koldíoxíð fór að aukast þá fór hitastig jafnframt að stíga upp á við. Það er talað um gróðurhúsaáhrifin þegar átt er við hlýnun andrúmsloftsins af mannavöldum. Jörðinni er þá líkt við gróðurhús, lofthjúpnun er þá líkt við þak gróðurhússins. Aukning gróðurhúsalofttegundanna veldur hitaaukningu, vegna þess að þær senda þá varmageislun sem geislar upp frá yfirborði jarðar aftur til baka og valda upphitun í neðri lögum andrúmsloftsins (mynd 1) (Umhverfisstofnun, 2004).

Efnasamsetning lofthjúpsins er köfnunarefni (N<sub>2</sub>) 78,08% og súrefni (O<sub>2</sub>) 20,95% sem mynda samanlagt 99% lofthjúpsins. Þessar lofttegundir gleypa ekki varmageislun frá jörðu og valda þess vegna ekki gróðurhúsaáhrifum. Það gera hins vegar lofttegundir sem er að finna í litlu magni í andrúmsloftinu. Þær helstu eru vatnsgufa (H<sub>2</sub>O), koldíoxíð (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), óson (O<sub>3</sub>), tvíköfnunarefnisoxíð (N<sub>2</sub>O), brennisteinshexaflúoríð (SF<sub>6</sub>) og ýmis halógenkolefni. Þessar lofttegundir eru kallaðar gróðurhúsalofttegundir vegna gróðurhúsaáhrifa sem þær valda. Koldíoxíð er áhrifamesta gróðurhúsalofttegundin, vegna þess að hana er að finna í mun meira mæli heldur en aðrar gróðurhúsalofttegundir. (Umhverfisstofnun, 2004).

Í raun eru gróðurhúsaáhrifin sjálf lífsnauðsynleg fyrir lífríkið á jörðinni. Án þeirra væri hér mikið kaldara og ekki byggilegt á henni. Meðalhitinn væri í kringum

-16°C en ekki +14°C en það er það hitastig sem hefur mótað kjöraðstæður fyrir líf á jörðinni í dag.



**Mynd 1. Gróðurhúsaáhrifin**

(Umhverfisstofnun, 2004)

Á meðan jafnvægi ríkir í lofthjúpnun þurfum við ekki að hafa áhyggjur. Ef hins vegar jafnvæginu er raskað af mannavöldum fer styrkur koldíoxíðs og annarra gróðurhúsalofttegunda að aukast í andrúmsloftinu og jafnvægi verður ekki lengur til staðar. Sjórinn tekur upp mikið koldíoxíð úr andrúmsloftinu og ef það fer að safnast mikið upp í andrúmsloftinu hefur hann ekki við að taka það allt upp.

Milliríkjanefnd Sameinuðu þjóðanna (IPCC) um loftslagsbreytingar hefur lagt mat á hugsanlega þróun í útstreymi gróðurhúsalofttegunda til næstu aldamóta og hefur í því sambandi skilgreint mismunandi sviðsmyndir sem byggja á forsendum um fólksfjölgun, efnahagsþróun, tækniþróun og aðgerðir, til þess að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda. IPCC er alþjóðleg nefnd sem öll aðildarríki Sameinuðu þjóðanna eiga aðild að og tengist Alþjóðaveðurfræðistofninni (WMO) og Umhverfisstofnun Sameinuðu þjóðanna (UNEP). IPCC stundar ekki rannsóknir

heldur dregur saman það sem best er vitað hverju sinni í vísindaheiminum um loftslagsmálin og leggur mat á þá vitneskju. Skýrslur þessarar nefndar eru sendar aðildarríkjunum til umsagnar á meðan þær eru í vinnslu og samantekt á niðurstöðum er samþykkt á fundum aðildarríkja (Umhverfisstjórnuneytið, 2004).

Hagstæðasta sviðsmyndin gerir ráð fyrir því að styrkur koldíoxíðs verði 540 ppm (parts per million er mælieining fyrir magn koldíoxíðs í andrúmslofti) um næstu aldamót en við verstu aðstæður getur þessi styrkur orðið 970 ppm. Til viðmiðunar þá var styrkurinn 280 ppm við upphaf iðnbyltingarinnar og 368 ppm árið 2000 (Umhverfisstjórnuneytið, 2004).

IPCC lagði fram sína þriðju skýrslu á loftslagsþinginu í Marrakesh árið 2001. Þar kemur meðal annars fram að hitastig hækkaði um 0,6°C á síðustu öld og að þá hækkun megi að hluta rekja til áhrifa mannsins. Í skýrslunni er gert ráð fyrir því að hlýnun verði 1,4-5,8°C á þessari öld, eftir því við hvaða forsendur um framtíðarlosun gróðurhúsalofttegunda er miðað. Spár um hækkun yfirborðs sjávar eru á bilinu 9-88 cm á sama tímabili (IPCC, 2004).

Sjávarborð hefur hækkað um 10-25 cm á undanförunum 100 árum, hugsanlega að miklu leyti sökum hækkingar meðalhita á jörðinni (Umhverfisstjórnuneytið, 2004). Ástæður þess að sjávarborð hækkar vegna hlýnunar er bæði vegna bráðnunar jökla og einnig vegna varmaþenslu sjávarins.

Í Evrópu hefur hitinn hækkað um 0,8°C á síðustu öld. Tíundi áratugurinn var heitasti áratugur í Evrópu síðan mælingar hófust. Afleiðingar loftslagsbreytinga eru margvíslegar og má þar nefna öfgar í veðurfari. Sums staðar mun gæta aukinna þurrka, á meðan á öðrum svæðum mun verða mikil úrkoma og tíðni flóða aukast. IPCC spáir því að sjávarstaða geti hækkað um 21 cm á tímabilinu 1990-2050 sem gera 3,5 mm á ári og um 29 cm frá 2050-2100 sem gera 5,8 mm á ári og má telja víst að þetta eigi einnig við um Ísland (Umhverfisstjórnuneytið, 2004).

Losun gróðurhúsalofttegunda er gefin upp í CO<sub>2</sub>-ígildum. Til að fá út magn losunar ákveðinnar lofttegundar í CO<sub>2</sub>-ígildum er magn hennar margfaldað með ákveðnum upphitunarstuðli. Upphitunarstuðull (GWP, Global Warming Potential) er mælikvarði á gróðurhúsaáhrif af völdum 1 kg af lofttegund miðað við sama magn af koldíoxíði. Aðrar gróðurhúsalofttegundir en koldíoxíð eru í minna magni í andrúmsloftinu. Hæfileiki þeirra til að gleypa varmageislun jarðar er hins vegar hlutfallslega meiri en koldíoxíðs og líftími þeirra er einnig meiri og er misjafn eftir

Því hvaða gróðurhúsalofttegundir eiga í hlut. Í töflu 1 má sjá upphitunarstuðla sem miðast við 100 ára tímabil (Umhverfisstofnun, 2004).

**Tafla 1. Líftími og upphitunarstuðull gróðurhúsalofttegunda miðað við CO<sub>2</sub>**  
(Umhverfisstofnun, 2004)

<b>Gróðurhúsalofttegundir:</b>	<b>Líftími (ár)</b>	<b>Upphitunarstuðull 100 ára</b>
<b>Koldíoxíð (CO<sub>2</sub>)</b>		1
<b>Díköfnunarefnisoxíð (N<sub>2</sub>O)</b>	120	310
<b>Metan (CH<sub>4</sub>)</b>	12.2	21
<b>Vetnisflúorkolefni (HFC)</b>	2 - 250	140 - 11700
<b>Flúorkolefni (PFC)</b>	3200 - 50000	6500 - 9200
<b>Brennisteinshexaflúoríð (SF<sub>6</sub>)</b>	3200	23900

Koldíoxíð er mikilvægasta gróðurhúsalofttegundin. Á sumrin er aukin upptaka koldíoxíðs vegna ljóstíllífunar plantna. Á veturna veldur rotnun lífrænna leifa því að koldíoxíð losnar aftur út í andrúmsloftið. Athafnir manna hafa truflað þetta náttúrulega jafnvægi á ýmsa vegu. Bruni jarðefnaeldsneytis og annarra efna í orkuverum og iðnaði veldur því að aukið magn koldíoxíðs losnar út í andrúmsloftið. Einnig eykst koldíoxíðmagn í andrúmslofti vegna breyttrar landnotkunar og eyðingar skóga (Umhverfissráðuneytið, 2004).

Rétt er að taka það fram að í gegnum alla jarðsöguna hafa átt sér stað sveiflur í veðurfari af náttúrulegum orsökum. Skipst hafa á jökulskeið og hlýskeið. Talið er að ástæður veðurfarsveifla fyrr á tímum hafi verið vegna mismunandi afstöðu jarðar miðað við sólina. Margir hallast að því að breytingar á geislun sólar eigi mestan þátt í meiri háttar loftslagsbreytingum. Inngeislun frá sól gæti breyst af fleiri en einni ástæðu. Orka frá yfirborði sólar gæti verið breytileg, fjarlægðin milli sólar og jarðar kynni að breytast umfram þær reglulegu breytingar sem um er vita, óþekkt efni í geimnum gæti dregið úr geislun. Þetta eru kenningar sem settar hafa verið fram um ástæður veðurfarsbreytinga í sögu jarðarinnar. Það er fyst nú á tímum sem sterkar vísbendingar eru um það að veðurfarsbreytingar eru að eiga sér stað af mannlegum orsökum (Markús Á. Einarsson, 1989). Mismunandi ástæður eru fyrir sveiflum á hitastigi sé miðað við hina ýmsu tímaskala. Mismunandi er hvort um er að ræða sveiflur sem eiga sér stað á milljónum ára, þúsundum ára, hundruðum ára eða tugum ára.

Tenging gróðurhúsaáhrifa við hringrás kolefnis er með þeim hætti að um er að ræða eilífa hringrás þess á jörðinni. Þessi hringrás hefur verið í jafnvægi fram undir þetta en nú eru vísbendingar um að þetta jafnvægi sé að raskast vegna bruna jarðefnaeldsneytis og eyðingar skóga. Afleiðingar þess eru að koldíoxíðs safnast upp í andrúmsloftinu og styrkur þess eykst.

Í næsta kafla verður kolefnishringrásin útskýrð. Á mynd 3 má sjá hve styrkur koldíoxíðs hefur aukist í andrúmsloftinu frá iðnbyltingu.

### *Hringrás kolefnis*

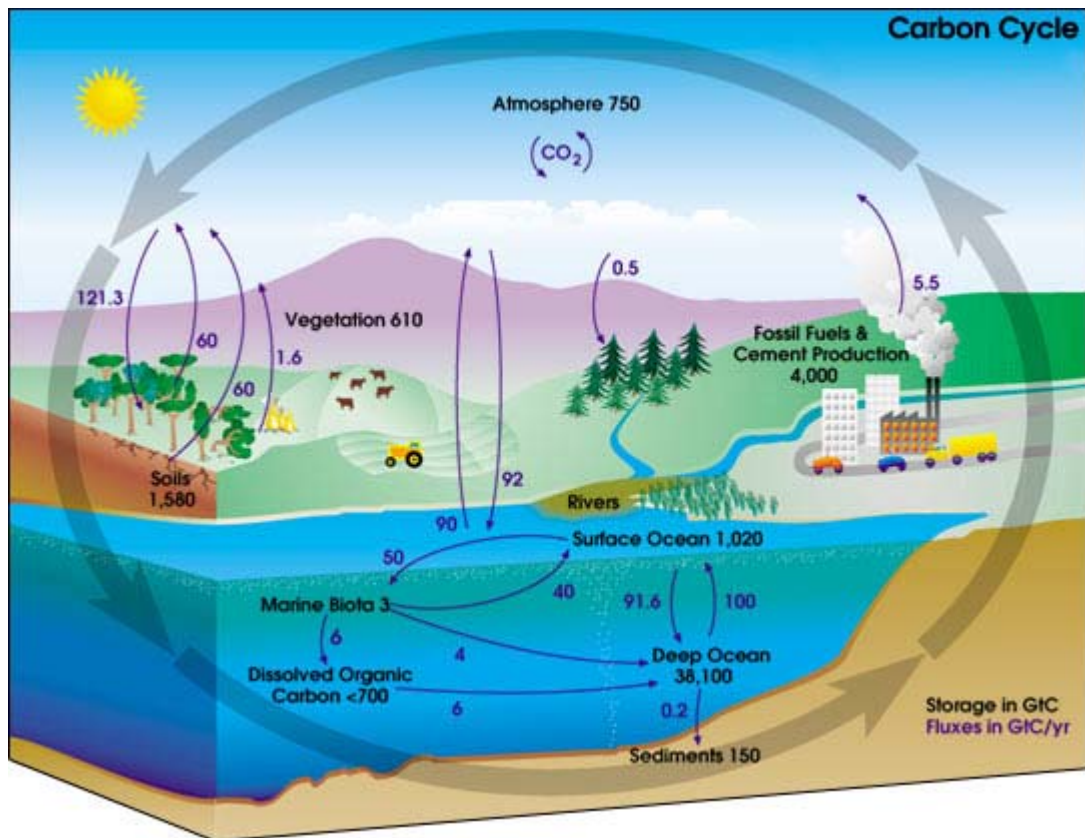
Kolefni C er fjórða algengasta frumefni jarðarinnar (universe) á eftir vetni, helíum og súrefni. Það er uppistaða allra lífrænna efna, allt frá jarðefnaeldsneyti til DNA.

Kolefnishringrásinni má skipta upp í tvo hluta. Annars vegar þá hringrás sem á sér stað á mjög löngum tíma og kallast jarðfræðilegur tími. Þar er um milljónir ára að ræða. Hins vegar er sú hringrás sem tekur styttri tíma og tekur frá nokkrum dögum og upp í nokkur þúsund ár (NASA, 2004).

Hlutfall koldíoxíðs ( $\text{CO}_2$ ) af rúmmáli lofthjúpsins er einungis, 0,037%. Þetta hlutfall hefur aukist úr 0,028% frá því um 1800. Ef allt koldíoxíð lofthjúpsins væri samankomið óblandað öðrum lofttegundum í þunnu lagi við yfirborð jarðar við staðalaðstæður þá væri þykkt lagsins einungis um 3 metrar. Eins og sjá má á mynd 2 þá streymir kolefni á milli jarðvegs, gróðurs, andrúmslofts og hafdjúpa í hringrás, sem nefnd er kolefnishringrásin. Hringrás þessi er svo öflug að hún samsvarar því að allt kolefni andrúmsloftins endurnýist á innan við 10 árum.

Það eru þrjár megin uppsprettur og viðtakar fyrir  $\text{CO}_2$  í andrúmsloftinu. Þær eru:

- Lífhvolfið (the land biosphere) á yfirborði jarðar (ásamt ferskvatni)
- Höfin
- Útblástur jarðefnaeldsneytis og önnur iðnaðarstarfsemi



Mynd 2. Hringrás kolefnis

(NASA, 2004)

Streymið á milli yfirborðs jarðar og andrúmsloftsins er áætlað um 120 gigatonn á ári. Þetta er flæði þar sem jafnvægi er í báðar áttir. 120 gigatonn streyma þannig frá yfirborði jarðar og upp í andrúmsloftið og frá andrúmsloftinu og niður í yfirborð jarðar á hverju ári. Í náttúrulegu ástandi er jafnvægi á milli streymis CO<sub>2</sub> frá yfirborði jarðar og andrúmsloftsins annars vegar og hins vegar á milli sjávarins og andrúmsloftsins, jafnvægi á sér stað því jafn mikið streymir í hvora átt og hlutföllin haldast því í jafnvægi (Andrews, J.E. o.fl., 2004).

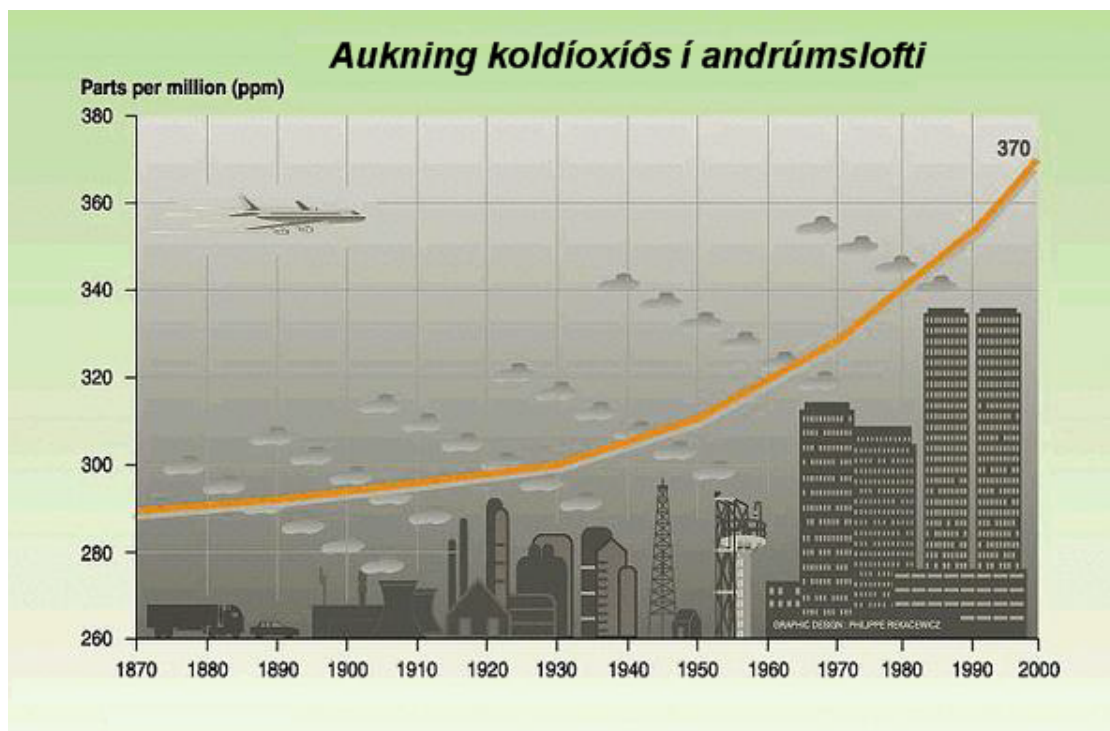
Mikið streymi er á milli hafnsins og andrúmsloftsins á hverju ári. Þetta streymi á sér stað vegna breytinga á hitastigi sjávar. Almennt er sjórinn í hitabeltinu uppspretta (source) CO<sub>2</sub> og sjórinn á norðlægari slóðum viðtaki (sinks) fyrir CO<sub>2</sub> úr andrúmsloftinu. Eftir því sem sjórinn kólnar dregur hann til sín meira CO<sub>2</sub> úr andrúmsloftinu. Að meðaltali er jafnvægi á milli flæðis CO<sub>2</sub> á milli sjávarins og andrúmsloftsins á milli ára en það er ekki svo, sé litið til lengri tíma. Þegar litið er á áratugi, árhundruð og jafnvel þúsundir ára, sést að það eru sveiflur í streymi koldíoxíðs á milli sjávar og andrúmslofts.

Áætlað er að að árið 1991 hafi 6,2 Gt af kolefni farið út í andrúmsloftið vegna bruna jarðefnaeldsneytis.

Auðveldara er að áætla hversu mikið af CO<sub>2</sub> fer út í andrúmsloftið af mannavöldum heldur en að áætla náttúrulegu hringrásina. Styrkur CO<sub>2</sub> í andrúmslofti hefur vaxið um 33% frá því fyrir iðnbyltingu (Andrews, J.E. o.fl., 2004).

Það CO<sub>2</sub> sem nú er í andrúmsloftinu hefur ekki verið meira síðustu 420 000 árin og líklegt er að það hafi ekki verið meira síðustu 20 milljón árin (Andrés Arnalds, 2000).

Ef koldíoxíð eykst mikið í andrúmsloftinu þá hættir náttúrulega hringrásin að vera í jafnvægi, náttúrulegu hringrásinni er raskað af mannavöldum og koldíoxíðið fer að safnast upp í andrúmsloftinu.



Mynd 3. Koldíoxíð hefur verið að aukast stöðugt í andrúmsloftinu síðan iðnbylting hófst (UNEP, 2004)

Mælingar á CO<sub>2</sub> í andrúmslofti hafa verið stundaðar reglulega síðan 1958. Þessar mælingar eiga sér stað í 4000 metra hæð á toppi fjallsins Mauna Loa á Hawaii. Þessi mælingarstaður er því í eins mikill fjarlægð frá helstu mengunarvöldum og hugsast getur.



## *Kolefnisforði jarðarinnar*

Samkvæmt skýrslu IPCC (International Panel on Climate change, 2000) er öll binding kolefnis í gróðri á jörðinni 500-560 Gt. Til samanburðar eru um 1500-2300 Gt bundin í jarðvegi og um 750 Gt eru í andrúmslofti (Kesara Anamthawat-Jónsson, 2002)

**Tafla 2. Magn kolefnis á jörðinni**

<b><i>Aðalforðabúr (reservoir) kolefnis á jörðinni</i></b>	<b><i>Magn kolefnis í Gigatonnum</i></b>
<b><i>Set, aðallega kalksteinn (limestone)</i></b>	20.000.000
<b><i>Höfin</i></b>	38.000
<b><i>Kol, olía og gas</i></b>	7500
<b><i>Lífholvfið (The land Biosphere)</i></b>	2200
<b><i>Andrúmsloftið (Atmosphere)</i></b>	750

Til að glöggva sig betur á því magni kolefnis sem bundið er við yfirborð jarðar þá er það í prósentum talið 99,8%. Þessi 99,8% eru bundin í kolefnisríkum jarðlögum, sjávarseti sem magnesíum og kalsíumkarbónöt, kol, olía og jarðgas. Afgangurinn er í hafinu, lofthjúpi og lífríki jarðar. Í hafinu er fimmtíu sinnum meira af kolefni heldur en í andrúmsloftinu. Jafnvægi er milli koldíoxíðs í hafinu og lofthjúpunum. Lífheimur jarðar hefur losað álíka mikið koldíoxíð og hann hefur bundið. Vegna eyðingar skóga og gróðurlenda losna nú á hverju ári um 1-2 milljarðar tonna af kolefni úr lífheiminum umfram það sem gróðurinn bindur (Þorbergur Hjalti Jónsson, Úlfur Óskarsson, 1996).

Stærsta forðabúrið eru setlögin, bæði setlög á hafsbötni og setlög á þurrlandi. Kolefnið í setinu er mest á forminu  $\text{CaCO}_3$ . Þetta kolefni er ekki í tengslum við andrúmsloftið og hringrás efnisins í setlögnum á sér stað á mjög löngum tíma (geological timescale). Næst stærsta forðabúrið er í sjónum. Töluvert kolefni er bundið í kolum, olíu og gasi. Minnstu forðabúrin eru andrúmsloftið og lífholvfið. Vegna þess hve þessi tvö síðasttöldu forðabúur  $\text{CO}_2$  eru hlutfallslega lítil gerir það þau mjög viðkvæm fyrir öllum breytingum á magni  $\text{CO}_2$  (Andrews, J.E. o.fl.2004).

Greining á ískjörnum frá Grænlandi og Suðurskautinu hefur gefið nokkuð góða mynd af sveiflum og magni  $\text{CO}_2$  síðan frá lokum síðasta jökulskeiðs, sem endaði fyrir um það bil 10 þúsund árum. Við lok síðasta jökulskeiðs var magn  $\text{CO}_2$  í andrúmsloftinu um 200 ppm. Síðustu árþúsundin hefur magnið verið á bilinu 275-285

ppm. Eftir iðnbyltingu fór magnið svo að stíga upp og er nú u.þ.b. 366 ppm. Nú er aukning koldíoxíðs í andrúmsloftinu 1,5 ppm á ári (IPCC, 2000).

## **II. Alþjóðasamfélagið**

Undirritun alþjóðasamninga er mikilvæg í þeirri viðleitni jarðarbúa að stemma stigu við hlýnun andrúmsloftsins af völdum CO<sub>2</sub>. Skrifað hefur verið undir þó nokkra samninga varðandi ýmis umhverfismál og það hefur sýnt sig að undirritun margra þeirra hefur borið nokkurn árangur. Má þar nefna þá samninga sem undirritaðir voru til þess að draga úr notkun ósoneyðandi efna í andrúmslofti. Um er að ræða Vínarsamninginn frá 1985 og Montreal bókunina frá 1987. Undirritun þessara samninga varð til þess að stórlega dró úr losun ósoneyðandi efna. Vonin er sú að undirritun Loftslagssamninganna verði til þess að stórlega dragi úr losun CO<sub>2</sub> í andrúmslofti. Ef ekkert verður að gert er hætt við því að losun CO<sub>2</sub> muni halda áfram að aukast stjórnlaust. Hér á eftir verður farið nánar í Loftslagssamninginn og Kyoto bókunina.

### **IPCC**

Eins og áður hefur komið fram er IPCC alþjóðleg nefnd sem öll aðildarríki Sameinuðu þjóðanna eiga aðild að og tengist Alþjóðaveðurfræðistofnuninni (WMO) og Umhverfisstofnun Sameinuðu þjóðanna (UNEP). IPCC var stofnað árið 1988 í þeim tilgangi að kynna sér þau vandamál sem myndu koma upp vegna mögulegrar hlýnunar andrúmsloftsins. Hlutverk IPCC er að meta á víðtækan, opinn og hlutlausan hátt þær vísinda- og tæknilegu, félagslegu og hagrænu upplýsingar sem nauðsynlegar eru til þess að skilja vísindagrunn þeirrar hættu sem stafar af loftslagsbreytingum af mannavöldum. IPCC stundar ekki rannsóknir heldur dregur saman það sem best er vitað hverju sinni í vísindaheiminum um loftslagsmálin. Skýrslur þessarar nefndar eru sendar aðildarríkjunum til umsagnar á meðan þær eru í vinnslu og samantekt á niðurstöðum er samþykkt á fundum aðildarríkja (Umhverfissráðuneytið, 2004).

## *Alþjóðasáttmálar*

Með aðild að erlendum sáttmálum um umhverfismál eru Íslendingar skuldbundnir til að vinna að þeim markmiðum sem sáttmálarnir kveða á um. Þeir sáttmálar sem tengjast landgræðslustarfinu og þar af leiðandi markmiðum kolefnisbindingar eru þessir:

***Sáttmáli um varnir gegn myndun eyðimarka.*** Var samþykktur árið 1994 og tók gildi hér á landi snemma árs 1997. Helsta markmið þessa samnings er að bæta landnýtingu og koma í veg fyrir uppblástur og gróðureyðingu. Í samningnum er kveðið á um að aðildarríki starfi eftir sérstökum landgræðsluáætlunum, sem hafi sjálfbæra þróun að leiðarljósi (Umhverfissráðuneytið, 2004).

***Rammasamningur um loftslagsbreytingar.*** Á umhverfissráðstefnunni í Ríó de Janeiro árið 1992 var gerður rammasamningur um loftslagsbreytingar, sem Ísland staðfesti 1993. Samningurinn tók gildi árið 1994. Markmið hans er að halda styrk gróðurhúsalofttegunda innan hættumarka, svo að áhrif manna á loftslag jarðar verði sem minnst. Landgræðsluáðgerðir eru ein þeirra leiða sem færar eru til að minnka koldíoxíð í andrúmslofti og draga þannig úr gróðurhúsaáhrifum. Nánar verður fjallað um þennan samning hér á eftir (Umhverfissráðuneytið, 2004).

***Sáttmáli um líffræðilega fjölbreytni.*** Stuðlar að verndun líffræðilegrar fjölbreytni, stöðvun jarðvegsrofs og verndun vistkerfa. Hann var samþykktur 1992 og tók gildi hér á landi 1994 (Landgræðslan, 2003). Aðildarríki samningsins skulu gera áætlanir um að vernda líffræðilega fjölbreytni meðal annars með því að vernda upprunalega náttúru og nýta lifandi auðlindir á sjálfbæran hátt. Bjarga skal tegundum í útrýmingarhættu. Eitt af markmiðum samningsins er að stuðla að sanngjarnri skiptingu þess hagnaðar sem hlýst af nýtingu lifandi auðlinda. Iðnvæddum ríkjum eru sett skilyrði um hvernig þau fá aðgang að auðlindum annarra ríkja sem sjálf hafa litla möguleika á að nýta eigin auðlindir vegna skorts á fjármagni eða tækni. Í samningnum segir einnig að hafa eigi eftirlit með notkun á erfðabreyttum lífverum og auka rannsóknir og vöktun á líffræðilegri fjölbreytni. Þar segir einnig að efla skuli fræðslu og menntun um líffræðilega fjölbreytni (Umhverfissráðuneytið, 2004).

Við landgræðslu vegna kolefnisbindingar verður að hafa öll þau markmið í huga, sem tengjast ofangreindum umhverfissamningum og vinna samkvæmt því, sem ætlast er til af þessum samningum. Hér á eftir verður farið ítarlega í Loftslagssamninginn en ekki verður fjallað nánar um hina tvo.

## *Rammasamningur Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar*

Á Umhverfisstjórnunni í Ríó de Janeiro árið 1992 var Rammasamningur Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar undirritaður af fulltrúum 154 ríkisstjórna. Ísland gerðist aðili að samningnum 16. júní 1993 og tók samningurinn gildi 21. mars 1994. Markmið samningsins er að halda styrk gróðurhúsalofttegunda innan hættumarka, svo áhrif manna á loftslag jarðar verði sem minnst (Umhverfisstjórnun, 2004).

Rammasamningurinn er stefnumarkandi alþjóðasamningur um viðbrögð við loftslagsbreytingum. Hann hefur ekki að geyma lagalega bindandi ákvæði um markmið eða einstakar aðgerðir. Með aðild að þessum samningi gengust aðildarríkin, hvert um sig og sameiginlega, undir þá skuldbindingu að stemma stigu við auknum gróðurhúsaáhrifum, með því að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum og einnig að veita upp á móti útstreymi þessara lofttegunda með því að vernda og auka lífmassa, skóga, höf og önnur vistkerfi á landi, á ströndum og í hafi, þannig að útstreymið árið 2000 yrði ekki meira en það var árið 1990 (Umhverfisstjórnun, 2003).

Samningurinn hefur það meginmarkmið að halda styrk gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftinu innan þeirra marka að komið verði í veg fyrir hættulega röskun á loftslagskerfinu af manna völdum. Markmið samningsins er að hægt verði að ná því innan þeirra tímamarka sem nægðu til þess að vistkerfi geti sjálf aðlagð sig að loftslagsbreytingum til þess að tryggja að matvælaframleiðsla sé ekki í hættu og til að efnahagsþróun geti haldið áfram á sjálfbæran hátt. Markmið samningsins er því ekki að koma í veg fyrir loftslagsbreytingar heldur að halda aftur af hraða þeirra og koma þannig í veg fyrir hættulega röskun á loftslagi af manna völdum (Umhverfisstjórnun, 2003). Á fyrsta aðildarríkjaþingi rammasamningsins í Berlín 1995 var samþykkt að skuldbindingar samningsins væru ekki fullnægjandi til að ná markmiðum hans og því væri nauðsynlegt að koma af stað nýju samningaferli til þess að auka skuldbindingar iðnríkja um samdrátt í útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Árangurinn af samningaferlinu, sem hófst í kjölfar aðildarríkjaþingsins í Berlín, var Kyoto-bókunin. Hún var samþykkt samhljóða á þriðja aðildarríkjaþingi rammasamningsins, sem haldið var í Kyoto 1-10. desember 1997 (Umhverfisstjórnun, 2004).

## *Kyotobókunin*

Með samþykkt Kyotobókunarinnar í desember 1997 er iðnríkjunum úthlutaður losunarkvóti fyrir gróðurhúsalofttegundir. Ákveðið var að taka tillit til sérstakra aðstæðna einstakra ríkja, þegar losunarmörk voru sett og eru þau á bilinu frá því að fela í sér 8% samdrátt miðað við árið 1990 og upp í 10% aukningu. ESB tekur á sig sameiginlega skuldbindingu upp á 8% samdrátt. Í samningum sínum milli hafa ríki ESB síðan samið um skiptingu á þessum samdrætti (Umhverfisráðuneytið, 2004). Að meðaltali eiga iðnríkin að draga úr losun um 5,2% miðað við árið 1990 (Andrés Arnalds, Úlfur Óskarsson, 2000). Án aðgerða er talið að aukning gróðurhúsalofttegunda hefði getað numið tugum prósentu.

Í Loftslagssamningnum er ríkjum heims skipt í tvo hópa. Í öðrum hópnum eru iðnríkin, sem eiga mesta sök á aukningu gróðurhúsalofttegunda og er Ísland í þeim hópi. Þessara ríkja er getið í Viðauka I í samningnum. Í hinum hópnum eru önnur lönd, sem spáð er að verði mengunarvaldar í vaxandi mæli í framtíðinni og er þeirra getið í Viðauka II í samningnum. Í samningnum er miðað við að tilteknir samningsaðilar, OECD ríki eða ríki í Viðauka I auki ekki útstreymi gróðurhúsalofttegunda og sleppi ekki út meira magni af þeim árið 2000 en þau gerðu árið 1990. Sambærileg skuldbinding er ekki lögð á aðra samningsaðila.

Til þess að ná að standa við skuldbindingar sínar verða þjóðir að takmarka útstreymi gróðurhúsalofttegunda og binda kolefni með ræktun. Hvert ríki skal sýna fram á merkjanlegan árangur við að takmarka útstreymi þegar árið 2005. Þau aðildarríki bókunarinnar sem skráð eru í I viðauka við rammasamninginn verða að færa bókhalda um útstreymi gróðurhúsalofttegunda og bindingu kolefnis. Einnig verða þau að skila árlegum skýrslum til skrifstofu samningsins, þar sem greint er frá útstreymisbókhalda og aðgerðum til framkvæmdar bókunarinnar. Við samþykkt Kyoto-bókunarinnar var ljóst að samþykkja yrði ítarlegri ákvarðanir um framkvæmd einstakra atriða hennar áður en iðnríkin gætu fullgilt hana. Á fjórða aðildarríkjaþingi rammasamningsins í Buenos Aires árið 1998 fór fram undirbúningur að þeim ákvörðunum, sem urðu upphafið af því samningarferli sem gengið var frá á sjöunda aðildarríkjaþingi rammasamningsins í Marrakesh í nóvember 2001. Meginákvarðanir 7. aðildarríkjaþingsins varða hin svokölluðu sveigjanleikaákvæði, bindingu kolefnis, framfylgd bókunarinnar og aðstoð við þróunarríkin (Umhverfisráðuneytið, 2004).

Ísland fullgilti Kyoto bókunina 23. maí 2002 og var 55. aðildarríkið sem gerði það. Með því náðist annað af tveimur skilyrðum til að bókunin öðlist gildi. Hitt skilyrðið er að það þurfi samþykki það margra ríkja í Viðauka I (OECD ríkin), að þau beri ábyrgð á a.m.k. 55% af losun gróðurhúsalofttegunda árið 1990. Bókunin tekur gildi á 90. degi eftir að bæði skilyrðin eru uppfyllt. Í lok ársins 2002 höfðu 101 aðildarríki staðfest Kyoto bókunina en þau bera hins vegar einungis ábyrgð á 43,7% af heildarlosun gróðurhúsalofttegunda. Ef Rússland samþykkir bókunina þá mun hún öðlast gildi.

Það eru sex gróðurhúsalofttegundir sem Kyoto bókunin tekur til. Þessar lofttegundir eru koldíoxíð (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), nituroxíð (N<sub>2</sub>O), vetnisflúorkolefni (HFCs), flúorkolefni (PFCs) og brennisteinsflúor (SF<sub>6</sub>) (UNFCCC, 2004).

### *Helstu leiðir til stjórnunar á losun gróðurhúsalofttegunda*

Það má skipta helstu leiðum til stjórnunar á losun gróðurhúsalofttegunda í nokkra flokka. Í fyrsta lagi eru það *staðlar, boð og bönn*. Þessi leið er algeng í öðrum löndum og er oft beitt á sviðum eins og við orkunýtingu í byggingum og tækjum. Slíkar aðferðir geta verið hagkvæmar í ákveðnum tilvikum en víðtæk beiting, til dæmis reglur um að einstakar atvinnugreinar, fyrirtæki eða lönd verði að minnka losun að ákveðnu marki, getur verið mjög kostnaðarsöm vegna ósveigjanleika. Þannig er því ekki endilega tekið tillit til þess hvar ódýrast er að minnka losun (Friðrik Már Baldursson, 1997).

Í öðru lagi eru það *skattar og styrkir*. Með þessum aðferðum er reynt að stýra losun með því að leggja skatta á hverja einingu losunar. Dæmi um notkun þessarar aðferðar er skattur á hvert tonn koldíoxíðs, eða styrkur til fyrirtækja sem minnka losun umfram ákveðin mörk, eða binda koldíoxíð með ræktun. Kosturinn er sá að losun er minnkuð þar sem það er ódýrast, ókosturinn er að óvissa er um árangurinn þannig að ef skatturinn er of lágur verður losun of mikil (Friðrik Már Baldursson, 1997).

Í þriðja lagi er um að ræða *framseljanlega kvóta*. Í kvótakerfi er ákvarðaður heildarkvóti losunar sem deilt er niður á aðila eftir einhverjum leiðum í upphafi. Kvótar einstakra aðila eru framseljanlegir og því munu þeir sem geta minnkað losun á hagkvæmastan hátt selja kvóta og minnka losun. Hér færast óvissan yfir á verðið, sem sveiflast með framboði og eftirspurn í stað þess að vera á magnþættinum eins og þegar sköttum er beitt (Friðrik Már Baldursson, 1997).

Í fjórða lagi eru það ýmsar hliðarráðstafanir. Þessar ráðstafanir eru fyrst og fremst aðgerðir sem styrkja þau stjórnþæki sem talin eru upp að ofan, svo sem breytingar á stefnu stjórnvalda til dæmis í utanríkisviðskiptum eða styrkjum til atvinnustarfsemi, sem stuðla að minni losun. Fræðsla og upplýsingamiðlun um gróðurhúsaáhrifin og hvernig aðilar geta stuðlað að minni losun falla einnig undir þetta (Friðrik Már Baldursson, 1997).

Það er mikilvægt að gera greinarmun á því hvort stjórnþækjum er beitt á alþjóðavettvangi, eða hvort um innlenda stjórnun er að ræða. Það er ekki mikið gagn fyrir heildarmarkmiðið og getur verið kostnaðarsamt fyrir viðkomandi land ef gripið er til aðgerða þar sem samsvarandi aðgerðum er ekki beitt á alþjóðavettvangi (Friðrik Már Baldursson, 1997).

### **III. Ísland**

#### *Loftslagsbreytingar á Íslandi*

Nokkur óvissa er til staðar um hvað gæti gerst á Íslandi ef uppsöfnun gróðurhúsalofttegunda veldur hlýnun. Óvissan er aðallega vegna þess að ekki er vitað hvaða áhrif þessi hlýnun hefði á hafstrauma við Ísland. Það er möguleiki á því að Golfstraumurinn myndi breyta um stefnu og hætta að flytja varma upp að Íslandssströndum og afleiðingar þess yrðu að hér myndi kólna verulega og nánast óbyggilegt yrði. Einnig er ekki útilokað að Golfstraumurinn myndi hreinlega stöðvast, með ófyrirséðum afleiðingum.

Ef ekki er litið á þann möguleika sem breyting á hafstraumum hefur í för með sér þá er talið að hlýnun hér á landi geti orðið um 0,3°C á hvern áratug ef miðað er við ákveðna spá IPCC (Umhverfisstjórnuneytið, 2004).

Rennsli fallvatna myndi aukast vegna meiri úrkomu og bráðunar jökla. Jöklar myndu hopa og munu flestir þeirra hverfa á næstu 100 til 200 árum. Fiskistofnar eru mjög viðkvæmir fyrir öllum breytingum á ytra umhverfi. Breytingar á hafstraumum og hitastigi sjávar vegna loftslagsbreytinga gætu haft slæm áhrif á fiskveiðar og lífsafkomu hér á landi. Hugsanleg hækkun á yfirborði sjávar vegna hlýnunar lofthjúpsins er nokkurt áhyggjuefni fyrir Íslendinga. Hækkun þess gæti valdið skaða vegna aukinnar tíðni sjávarflóða og skemmda, sem þau myndu valda á höfnum og öðrum mannvirkjum. Þetta á sérstaklega við um suðurströndina en þar hafa sjávarflóð

valdið tjóni á mannvirkjum undanfarna áratugi og ljóst að hækkuð sjávarstaða yrði til þess að tíðni og umfang tjóna myndi aukast. Sveiflur í veðurfari hafa töluverð áhrif á landbúnaðarframleiðslu á Íslandi. Íslenskir vísindamenn hafa sýnt fram á, í tengslum við verkefni sem unnið var fyrir UNEP, mögulegar afleiðingar veðurfarsbreytinga af mannavöldum á íslenskan landbúnað. Athugun þeirra leiddi í ljós að hlýnun, sem svaraði til um 1,3°C gæti leitt til 16-19% aukningu á heyframleiðslu á Íslandi. Búast má við því að hækkan meðalhita verði til þess að ýmsar plágur færast í vöxt í landbúnaði og er þar einkum um að ræða skordýr og plöntusjúkdóma (Umhverfisráðuneytið, 2004). Það er talið að íslenskt samfélag verði ekki beint alvarlega fyrir barðinu á loftslagsbreytingum, svo framarlega sem þær hafi ekki neikvæð áhrif á hafstrauma við landið (Tryggvi Felixson, 2002).

### *Skuldbindingar Íslands*

Í Kyoto bókuninni fékk Ísland heimild til að auka sína losun mest allra þjóða, eða um 10% til viðmiðunartímabilsins 2008-2012 miðað við 1990.

Heimildir Íslands til útstreymis gróðurhúsalofttegunda eru tvíþættar. Í fyrsta lagi skal almennt útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi ekki aukast meira en sem nemur 10% frá því sem það var árið 1990. Það felur í sér að það þurfi að vera innan við 3,2 milljónir tonna koldíoxíðsgilda árlega að meðaltali 2008-2012, sem er fyrsta skuldbindingartímabil Kyoto-bókunarinnar. Í öðru lagi skal koldíoxíðsútsteymi frá nýrri stóriðju eftir árið 1990, sem fellur undir íslenska ákvæðið, ekki vera meira en sem nemur 1,6 milljónum tonna árlega að meðaltali á sama tímabili. Áætlað er að þessi 1,6 milljónir tonna nægi fyrir núverandi stóriðju og þeirri sem fyrirhuguð er hér á landi í náinni framtíð (Umhverfisráðuneytið, 2004).

### *Íslenska ákvæðið*

Íslensk stjórnvöld töldu ekki mögulegt að uppfylla markmið rammasamningsins og Kyoto-bókunarinnar og vísuðu til þess að uppbygging þessara alþjóðlegu reglugerða er illa sniðin að þörfum smærri ríkja, sem þó eru iðnvædd. Hagkerfi Íslands er smátt og lítið þarf til þess að verulegar sveiflur verði í útblæstri frá ári til árs. Það var talið að það þyrfti sérstakt íslenskt ákvæði, sem myndi mæta



þörfum Íslands sem lítillar en iðnvæddrar þjóðar. Íslendingar lögðu til að losun vegna iðnaðarferla frá stóriðjuverum, sem taka til starfa eftir 1990 og leiða til meira en 5% aukningar í heildarlosun, verði haldið utan við losunarmörk Kyoto-bókunarinnar. Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi árið 1990 jafngildi 2877 þúsund tonnum af koldíoxíði. Það var lögð áhersla á að fá sérstöðu Íslands viðurkennda. Það tókst og á fundi samningsaðila í Marrakesh seinni part ársins 2001 var samþykkt sérstök ákvörðun 14/CP.7, sem gerði Íslandi mögulegt að gerast aðili að bókuninni. Ákvörðunin er þannig að heimilt er að halda tilteknu magni koldíoxíðs „fyrir utan kerfið“ og gera grein fyrir því sérstaklega. Framkvæmdin er bundin nokkrum skilyrðum og þau helstu eru:

- *Að um einstakt verkefni sé að ræða, sem sé skilgreint sem starfsstöð til iðnaðarvinnslu og hefur verið tekin í notkun eftir 1990.*
- *Að ústreymi koldíoxíðs frá viðkomandi samningsaðila hafi verið minna en 0,05% af heildarústreymi 1990.*
- *Að notuð sé endurnýjanleg orka.*
- *Að notuð sé besta framkvæmd með tilliti til umhverfisins og besta fánlega tækni.*
- *Óheimilt er að framselja þessar heimildir til annarra ríkja. (Umhverfissráðuneytið, 2004)*

Í smáum hagkerfum getur eitt verkefni haft mikil áhrif á heildarútblastur gróðurhúsalofttegunda þjóðarinnar frá ári til árs. Eitt álver getur bætt meira en 15% við heildarútblastur gróðurhúsalofttegunda á Íslandi. Verksmiðja af svipaðri stærð í flestum iðnvæddum ríkjum myndi hafa afar lítil áhrif á heildarútblasturinn (Umhverfissráðuneytið, 2004).

Rök íslenskra stjórnvalda fyrir þörf á séríslensku ákvæði og að Íslendingar fengju að auka útblástur gróðurhúsalofttegunda á skuldbindingartímanum um 10%, eru þau að bygging álvera hér á landi eykur heildarlosun á Íslandi en hnattrænt hafa þau áhrif til lækkunar. Ástæðan er sú að ál er víða framleitt með orku úr jarðefnaeldsneyti, sem leiðir til um það bil átta sinnum meiri losunar en þegar ál er framleitt með endurnýjanlegri orku. Það er mat íslenskra stjórnvalda að ekki sé hægt að Kyoto-bókunin hafi þau áhrif að koma í veg fyrir verkefni sem leiða til samdráttar á heimsvísu, aðeins vegna þessa að þau leiða til hlutfallslega mikillar aukningar í

losun frá einu aðildarríki. Á þessum rökum hefur íslenska sendinefndin byggt málflutning sinn (Umhverfisstjórnuneytið, 2003).

Það skal tekið fram að ekki voru allir sammála þessum sjónarmiðum ríkisstjórnarinnar um þörf á séríslensku ákvæði. Ýmis mótrök hafa komið fram vegna þessa. Meðal þeirra skilyrða sem sett eru fram í íslenska ákvæðinu er að notuð sé endurnýjanleg orka og besta framkvæmd og tækni með tilliti til umhverfisins. Hægt er að setja spurningarmerki við það hvort það að raska stórum svæðum og að færa stór landsvæði undir vatn, með stórum uppistöðulónum, sé besta framkvæmd með tilliti til umhverfisins.

Í samþykktinni er ekki skilgreint hvað felst í „endurnýjanlegum orkugjöfum” og það virðist ekki vera til nein almenn viðurkennd skilgreining á þessu hugtaki. „Endurnýjanlegt” vísar almennt til þess að notkun leiði ekki til þess að notkunarmöguleikar séu skertir eða takmarkaðir í framtíðinni. En það er ljóst að rekstur margra vatnsaflsvirkjana, sem byggjast á manngerðum uppistöðulónum er tímabundinn. Aurburður frá jöklum fyllir lónin með tímanum þannig að virkjunin sem í hlut á verður óstarfhæf. Með þeim hætti er hægt að færa rök fyrir því að orkuframleiðsla með þeim hætti sé ekki „endurnýjanleg”. Komið hafa fram rök bæði með og á móti íslenska ákvæðinu (Tryggvi Felixson, 2002).

### ***Meðrök***

- *Smæð Íslands/fámenni samfélagsins*
- *Notkun endurnýjanlegra orkugjafa*
- *Framleiðsa léttra mála dregur úr orkunotkun í samgöngum*

### ***Mótrök***

- *Fordæmisgildi*
- *Ísland afar ríkt land, sem getur aflað sér losunarheimilda með því að nýta sveigjanleikaákvæði samningsins*
- *Íslenska ákvæðið er framleiðslustyrkur, sem lækkar verð á áli og kann að seinka því að umhverfisvænir kostir komi í stað áls*
- *Framleiðslustyrkir lækka verð á áli og gera samgöngutæki þar með ódýrari. Þetta eykur eftirspurn eftir samgöngum og þar með orkuneytlu og losun gróðurhúsalofttegunda*

- *Stuðlar að mannvirkjagerð á svæðum sem hafa náttúruverndargildi (Tryggvi Felixson, 2002).*

Það er ljóst að ákvörðun ríkistjórnarinnar var ekki óumdeild eins og skilja má af ofangreindum mótrökum.

Tekið skal fram að íslenska ákvæðið nær einungis til koldíoxíðslosunar. Í álverum losnar til viðbótar við koldíoxíð talsvert mikið af flúorkolefnum. Þetta eru mjög virkar gróðurhúsalofttegundir, sem eru langlífar í andrúmsloftinu. Það er því mikilvægt að halda myndun þeirra í skefjum. Þar sem losun flúorkolefna frá álverum fellur ekki undir íslenska ákvæðið, mun árangur stóriðjufyrirtækjanna í því að halda losun þeirra í lágmarki ráða nokkru um möguleika Íslands til þess að standa við skuldbindingar Kyoto-bókunarinnar. Losun flúorkolefna getur orðið allt að 390 þúsund tonn koldíoxíðsgilda eða tæp 12% af losunarheimildum Íslands á fyrsta skuldbindingartímabilinu (Umhverfisáðuneytið, 2003).

Í Marrakesh var meðal annars ákveðið hvers konar kolefnisbindingu aðildarríki bókunarinnar geta tekið fram í bókhalda sínu um losun gróðurhúsalofttegunda. Niðurstöður þessa fundar hafa opnað mikla möguleika fyrir Ísland í tengslum við kolefnisbindingu með landgræðslu og skógrækt. Óvissa hafði ríkt um stöðu landgræðslu gagnvart Kyotobókuninni. Eftir fundinn í Marrakesh lá það ljóst fyrir að telja megi kolefnisbindingu með landgræðslu, skógrækt, stjórn beitilanda, skóga og akra með í bókhalda gróðurhúsalofttegunda gagnvart Kyoto bókuninni. Þessi ákvörðun staðfesti möguleika aðildarríkja Kyotobókunarinnar á því að mæta hluta af skuldbindingum sínum með kolefnisbindingu (Umhverfisráðuneytið, 2004).

Við undirbúning Kyotobókunarinnar sem samþykkt var 1997 gafst ekki nægur tími til að fjalla um kolefnisbindingu í gróðri og varð slík binding skilyrt við skógrækt. Skógrækt fékkst viðurkennd sem bindileið í Kyoto. Þær skógræktarskilgreiningar sem mest eru notaðar af þróuðu ríkjum miða við land sem er með að minnsta kosti 10-20% gróðurhulu og að trén séu allavega 5-7 metra há. Þannig skilgreiningar falla illa að íslenskum aðstæðum. Til dæmis eru 80% birkiskóganna hér á landi lægri en 2 metrar. Ýmsir fleiri óvissuþættir hafa verið til staðar. Nánar verður fjallað um þessa skilgreiningu birkiskóganna hér á eftir.

Framfylgdarákvæðin sem fjallað var um á ráðstefnunni í Marrakesh snúast meðal annars um það hver viðurlög skuli vera við því ef ríki fara fram úr losunarheimildum sínum eða standa ekki við aðrar skuldbindingar innan

bókunarinnar. Nú hefur verið samið um þessi viðurlög þannig að ríki sem fara yfir losunarmörk á fyrsta skuldbindingartímabili (2008-2012) skulu bæta það upp á því næsta með 30% álagi. Til dæmis ef ríki losar eina milljón tonna umfram heimildir á fyrsta tímabili þá dragast 1,3 milljónir tonna frá heimildum þess á næsta tímabili. Þau ríki sem framfylgja ekki ákvæðunum skulu greina frá ástæðum þess og leggja fram tímasetta áætlun um úrbætur. Þau missa einnig heimild til þess að nýta sér sveigjaleikaákvæði bókunarinnar. Ekki hefur verið ákveðið hvort þessi viðurlög verði lagalega bindandi. Í Marrakesh var ákveðið að fresta því að taka ákvörðun um það þar til á fyrsta aðildaríkjaþingi Kyotobókunarinnar, sem haldið verður eftir að bókunin öðlast gildi. Ef niðurstaðan verður sú að viðurlögin verði lagalega bindandi mun hvert ríki þurfa að fullgilda þá niðurstöðu (Umhverfisráðuneytið, 2003).

### Útstreymisspá

Umhverfisráðuneytið skipaði starfshóp um útstreymisbókhald og útstreymisspár vegna gróðurhúsalofttegunda. Fulltrúi Hollustuverndar ríkisins var formaður og aðrir fulltrúar voru frá RALA, Vegagerð ríkisins, Orkustofnun, Þjóðhagsstofnun og Fiskifélagi Íslands. Samkvæmt spám þessa starfshóps verður meðalútstreymi koldíoxíðsgilda á skuldbindingartímabilinu 3200 þúsund tonn eða við útstreymismörk áður en tekið hefur verið tillit til bindingar kolefnis með landgræðslu og skógrækt. Sú binding hefur verið aukin um 100 þúsund tonn frá árinu 1990. Varlega áætlað má gera ráð fyrir því að ný svæði sem tekin verða til landgræðslu eða skógræktar fram að fyrsta skuldbindingartímabili bókunarinnar bæti öðrum 100 þúsund tonnum við. Í töflu 3 má sjá áætlað útstreymi gróðurhúsalofttegunda til ársins 2015. Tölurnar eru gefnar upp í þúsundum tonna af koldíoxíðsgildum (Umhverfisráðuneytið, 2004).

Tafla 3. Spá um útstreymi frá Íslandi til árið 2015. Í þúsundum tonna CO<sub>2</sub>

(Umhverfisráðuneytið, 2003)

	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>
<b>Samgöngur</b>	730	862	924	979	1016
<b>Heimili</b>	43	27	20	18	16
<b>Iðnaður</b>	986	861	766	932	947
<b>Fiskiskip</b>	662	739	700	733	756
<b>Annað</b>	417	376	370	378	370
<b>Samtals</b>	2838	2865	2780	3040	3105
<b>Íslenska ákvæðið</b>	0	273	567	1546	1662

Eldsneytisnotkun ræður miklu um útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Útstreymisspáin byggist á spá orkuspárnefndar um eldsneytisnotkun. Orkuspárnefnd er samstarfsvettvangur nokkurra helstu fyrirtækja, stofnana og samtaka á sviði orkumála auk Hagstofu Íslands og Þjóðhagsstofnunar. Ný eldsneytisspá nefndarinnar kom út í júlí 2001. Til grundvallar spánni eru lagðar forsendur um þróun mannfjölda, landsframleiðslu, fiskveiða og flutninga á landi, í lofti og á sjó, auk annarra þátta. Undir útstreymi frá iðnaði fellur einnig allt útstreymi flúorkolefna frá álframleiðslu. Útstreymi flúorkolefna hafa mikil áhrif á heildarútstreymið. Í spánni er gert ráð fyrir að fyrirtækjum í áliðnaði takist að halda útstreymi flúorkolefna á hverja framleiðslueiningu innan við 0,14 tonn koldíoxíðsgilda á framleitt tonn af áli.

Varðandi íslenska ákvæðið eru þrjú verkefni sem þegar hafa náð 5% viðmiðunarmörkum ákvæðisins. Þau eru stækkun verksmiðju Ísals, stækkun verksmiðju Íslenska járnblendifélagsins og ný verksmiðja Norðuráls.

Tafla 4 sýnir áætlað útstreymi koldíoxíðs frá nýrri stóriðju eftir árið 1990, sem fallið getur undir íslenska ákvæðið. Hámarkið miðast við meðaltal áranna fimm á skuldbindingartímabilinu, 2008-2012 (Umhverfiráðuneytið, 2004).

**Tafla 4. Áætlað útstreymi koldíoxíðs frá nýrri stóriðju eftir árið 1990 sem fallið getur undir íslenska ákvæðið**

(Umhverfiráðuneytið, 2004)

<i>Verkefni</i>	<i>Meðalframleiðsla á Skuldbindingartímabilinu (þús. t. á ári)</i>	<i>Meðalútsreymi á skuldbindingartímabilinu (CO<sub>2</sub>-ígildi á ári, þús. t.)</i>	<i>Framleiðslugeta (þús. t. á ári)</i>
<b>Ísal</b>	408	483	460
<b>ÍJ<sup>1</sup></b>	115	174	115
<b>Norðurál</b>	276	417	300
<b>Fjarðarál</b>	290(áætlað)	438(áætlað)	322
<b>Samtals</b>		1.512	
<b>Ísl. ákvæðið</b>		1.600	
<b>Mismunur</b>		88	

Rétt er að benda á að miðað við fullnýtingu framleiðslugetu mun árlegt útstreymi frá þessum fjórum verkefnum, þ.e. Ísal (460 þús. tonna framleiðsla), Íslenska járnblendifélagið (115 þús. tonna framleiðsla), Norðurál (300 þús. tonna framleiðsla)

<sup>1</sup> ÍJ = Íslenska Járnblendifélagið hf.

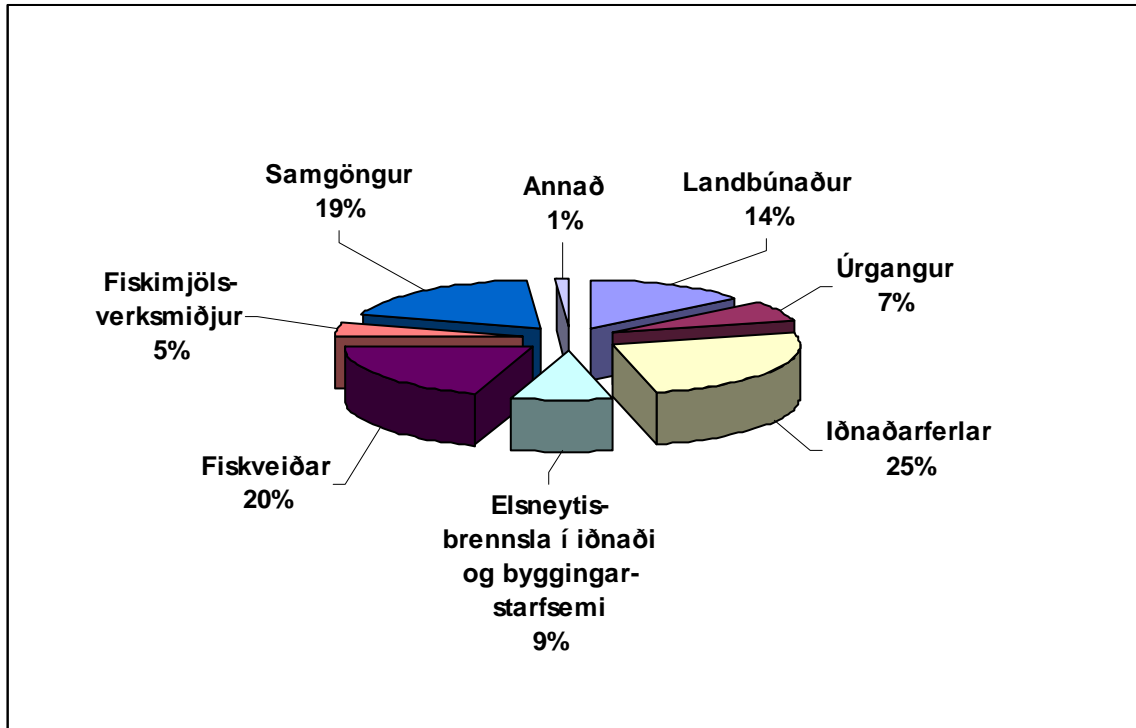
verða mun meira heldur en reiknð var með (Umhverfisstofnun, 2004). Framleiðslugeta Fjarðaráls mun verða 322 þúsund tonn á ári (Alcoa, 2004).

### *Mengandi starfsemi*

Sú starfsemi hér á Íslandi, sem sleppir út gróðurhúsalofttegundum, verður að hafa starfsleyfi í samræmi við lög nr.7/1998 og reglugerð nr. 785/1999 um starfsleyfi fyrir atvinnurekstur, sem getur haft í för með sér mengun. Það má skipta þessari starfsemi gróflega í tvo flokka. Í fyrri flokknum er starfsemi sem losar gróðurhúsalofttegundir og megin losunin er tilkomin vegna efna og aðferða sem notuð eru í viðkomandi framleiðsluferlum eða rotnunar sem á sér stað við ákveðnar aðstæður. Í þennan flokka falla t.d. álverið í Straumsvík, álverið á Grundartanga, svo og Járblendiverksmiðjan á Grundartanga. Staðbundin starfsemi, sem losar gróðurhúsalofttegundir vegna rotnunar eru svo dæmi sé tekið urðunarstaðir sorps og landbúnaður. Það er aðeins umfangsmikil svína- og alifuglarækt sem er starfsleyfis skyld, ekki almennur landbúnaður (Aðalheiður Jóhannsdóttir, 2003).

Í seinni flokknum er starfsemi sem knúin er af orkugjöfum (olíu), sem losa gróðurhúsalofttegundir. Í þeim flokki eru t.d. Kísiliðjan við Mývatn, Sementsverksmiðjan og fiskimjölsverksmiðjur (Aðalheiður Jóhannsdóttir, 2003).

Á mynd 4 má sjá hvernig útstreymi GHG skiptist eftir atvinnugreinum árið 2002. 25% má rekja til iðnaðarferla í stóriðju, 9% til eldsneytisbrennslu í iðnaði og byggingarstarfsemi. Um 20% má rekja til fiskveiða og 19% til samgangna. Landbúnaður er uppspretta um 14% útstreymis GHG og 5% útstreymis stafar af fiskimjölsverksmiðjum. Um 7% útstreymisins er vegna metans frá urðunarstöðum. Kolefnisbinding með skógrækt og landgræðslu nam um 163 þúsund tonnum CO<sub>2</sub> árið 2002 (Umhverfisstofnun, 2004).



**Mynd 4. Hlutfallsleg skipting heildarútstreymis gróðurhúsalofttegunda eftir greinum 2002**  
(Umhverfisráðuneytið, 2004)

Sú skipting sem sést á mynd 4 er notuð hér á landi en sú skipting sem skilað er inn til IPCC er aðeins öðruvísi og miðast við alþjóðlega staðla.

Útblástur frá landbúnaði er að mestu leyti metan frá nautgripum. Mesti útblásturinn vegna úrgangs stafar af útblæstri metans frá sorpurðunarstöðum og einnig kemur töluvert af koldíoxíði frá bruna sorps. Þótt sorpmagn hafi aukist stöðugt hefur útblástur frá því ekki aukist að sama skapi og er ástæðan aukin endurvinnsla og ný tækni í frágangi sorps (Umhverfisráðuneytið, 2004).

Hlutur samgangna er óvenjumikill á Íslandi samanborið við önnur lönd og kemur þar einkum til hátt hlutfall endurnýjanlegra orkugjafa á öðrum sviðum, s.s. húshitun og rafmagnsframleiðslu (Umhverfisráðuneytið, 2004).

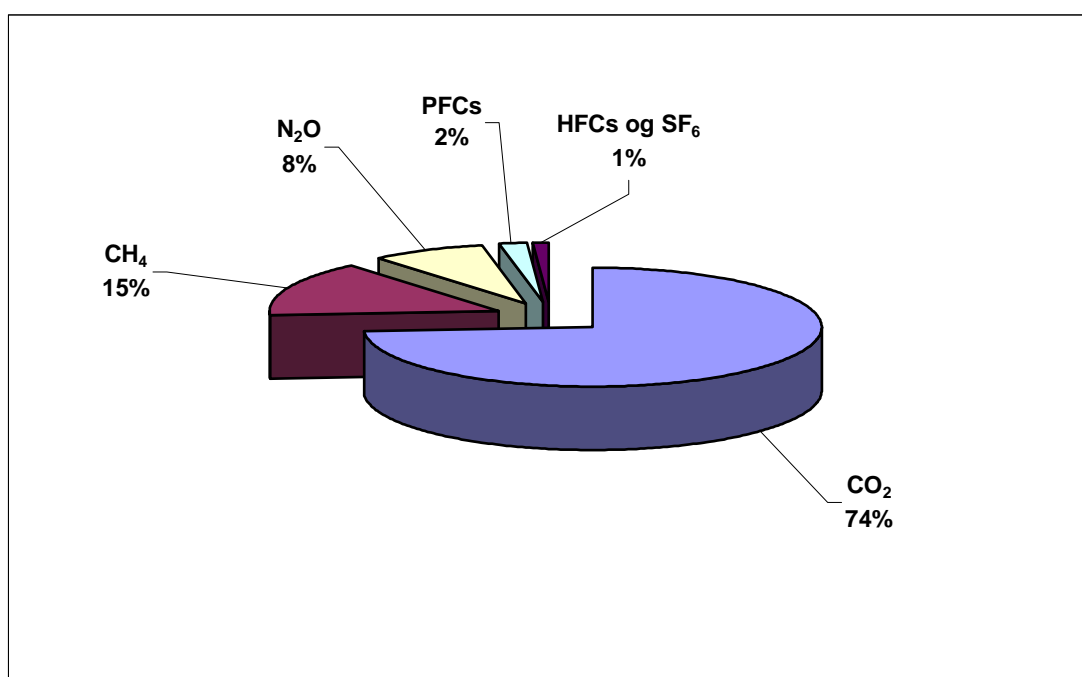
Hlutfall endurnýjanlegra orkugjafa er 70% af heildarorkunotkuninni, sem er mun hærra hlutfall en í flestum öðrum löndum. Það eru þrjú meginatriði sem gera málefni útblásturs gróðurhúsalofttegunda á Íslandi óvenjuleg. Í fyrsta lagi er það þetta háa hlutfall endurnýjanlegra orkugjafa. Í öðru lagi er útblástur frá fiskiskipaflotanum um einn fjórði af heildarútbæstri. Í þriðja lagi er það sú staðreynd að útblástur vegna einstakrar stóriðju hefur hlutfallslega stór áhrif á heildarútbástur þjóðarinnar.

Útblástur gróðurhúsalofttegunda jókst hér á landi um 7% frá árinu 1990 til ársins 2000. Kalt loftslag, fámenni og dreifbýli kallar á mikla orkunotkun til hitaveitu

og samgangna. Helsti iðnaðurinn sem er álframleiðsla og fiskveiðar er einnig mjög orkufrekur.

Árið 2000 kom 53% orku á Íslandi úr jarðhitavirkjunum, 17% af allri orku kom úr vatnsfallsvirkjunum (hydropower), uppspretta 27% orkunnar kom úr olíu og 3% úr kolum. Orka úr jarðhita hefur aukist á undanförunum árum. Það er alltaf er meira og meira framleitt af rafmagni með jarðhita (Umhverfissráðuneytið,2003).

Samkvæmt nýjustu fréttum frá Umhverfissráðuneytinu þá jókst heildarústreymi gróðurhúsalofttegunda um 0,2% á milli árunna 2001-2002. Ef binding kolefnis í gróðri er talin með minnkaði nettólosun gróðurhúsalofttegunda um 0,3% á milli ára (Umhverfissráðuneytið,2004).



**Mynd 5. Útblástur gróðurhúsalofttegunda eftir lofttegundum árið 2001**

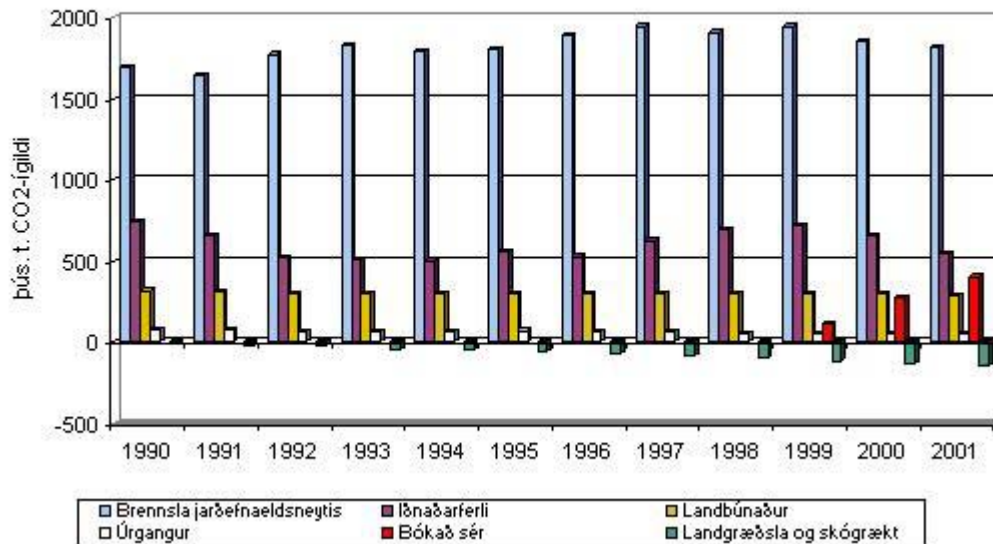
(Umhverfissráðuneytið, 2004)

Á mynd 5 má sjá að hlutur CO<sub>2</sub> er langstærsti hluti gróðurhúsalofttegunda. Árið 2002 þá orsakaði CO<sub>2</sub> 74% af heildarútblastri gróðurhúsalofttegunda (Umhverfissráðuneytið,2004).

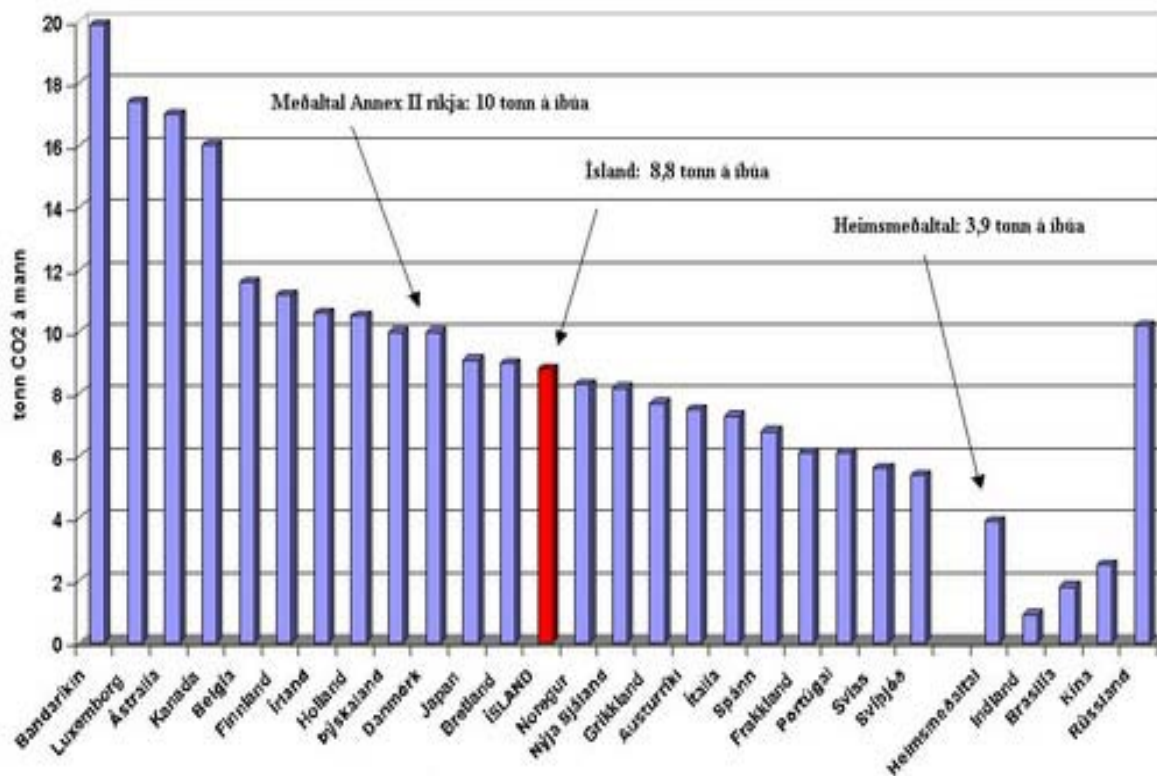
Bruni jarðefnaeldsneytis veldur 79% af útblæstri koldíoxíðs, iðnaðarferlar valda 20% og það sem eftir stendur er tilkomið vegna sorps og landbúnaðar. Á árunum 1990-2000 hafa verið bundin 130 þúsund tonn. Sú binding skiptist þannig að skógrækt er 30% af þeirri tölu og hin 70% er uppgræðsla lands (Umhverfissráðuneytið, 2004).



Á mynd 6 má sjá skiptingu gróðurhúsalofttegunda eftir uppsprettum á milli ára 1990 til 2001. Þar sést að langstærsta hluta útblásturs gróðurhúsalofttegunda má rekja til bruna jarðefnaeldsneytis. Þar sést einnig að hlutur landgræðslu og skógræktar hefur sífelld verið að stækka sem mótvægi við útblástur gróðurhúsalofttegunda.



Mynd 6. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda eftir uppsprettum 1990-2001 (Umhverfisstofnun, 2004).



Mynd 7. Losun koldíoxíðs CO<sub>2</sub> á íbúa árið 1999 (útreikningur frá frádregnu íslenska ákvæðinu, kolefnisbinding ekki meðtalin)

(Umhverfissráðuneytið, 2004).

Meðalútreikningur GHG á hvern mann á Íslandi var 11,7 tonn árið 2002. Ísland er nú númer 14 í röð 24 iðnæddra ríkja hvað varðar magn útreiknings GHG. Mynd 7 sýnir meðalútreikningu CO<sub>2</sub> á mann í þessum 24 iðnríkjum. Heildarútreikningur er aðeins meira ef einnig er tekið með útreikningu frá nýrri stóriðju sem fellur undir íslenska ákvæðið eða 12,7 tonn á mann. Samkvæmt tölum frá Alþjóða orkumálastofnuninni (IEA) sem skrifstofa Loftslagssamningsins vitnar til í sínum gögnum er útreikningur CO<sub>2</sub> að meðaltali 3,9 tonn á hvern jarðarbúa. Samsvarandi tala fyrir Ísland er um 8,8 tonn. Samkvæmt því er losun frá Íslandi rúmlega tvöföld miðað við heimsmeðaltal (Umhverfissráðuneytið, 2004).

Ísland hefur skilað inn útreikningum á útreikningu gróðurhúsalofttegunda reglulega á undanförunum árum til skrifstofu Loftslagssamnings Sameinuðu þjóðanna. Eftir að Ísland skilaði inn útreikningum árið 2003 sendi skrifstofa

Loftslagssamningsins inn athugasemdir varðandi forsendur útreikninga á nokkrum liðum. Samkvæmt athugasemdum var forsendum og aðferðafræði við útreikninga á nokkrum liðum breytt. Sé nýju reikniáferðunum beitt er ústreymi frá Íslandi meira en hingað til hefur verið talið og er mismunurinn um 16% að meðaltali á hverju ári. Mismunurinn skýrist að hluta til vegna ústreymis frá landbúnaði, losun metans frá búfé, búfjáraður og tvíköfnunarefnisoxíði vegna áburðarnotkunar. Einnig virðist ústreymi metans frá urðunarstöðum vera mun meira en reiknað hefur verið með hingað til. Samkvæmt nýjum útreikningum Umhverfisstofnunar sem miðast við þessar nýju reiknireglur, þá kemur í ljós að losun hefur verið mun meiri árið 1990 en áður var talið, en einnig að árangur sem náðst hefur við minnkun ústreymis flúorkolefna er meiri en haldið var (Umhverfiráðuneytið, 2004).

Tafla 5. Viðauki I í Loftslagssamningnum

(IPCC, 2004)

<i>Ríki í viðauka I við Loftslagssamninginn</i>	<i>Hlutfall af koldíoxíðlosun iðnríkjanna 1990</i>	<i>Umsamin losunarmörk Kyoto-bókunarinnar (og innri skipting ESB) fyrir 2008–2012 miðað við 1990</i>
<i>Austurríki</i>	0,4%	-13%
<i>Belgía</i>	0,8%	-7,5%
<i>Danmörk</i>	0,4%	-21%
<i>Finnland</i>	0,4%	0%
<i>Frakkland</i>	2,7%	0%
<i>Þýskaland</i>	7,4%	-21%
<i>Gíkkland</i>	0,6%	+25%
<i>Írland</i>	0,2%	+13%
<i>Ítalía</i>	3,1%	-6,5%
<i>Lúxemborg</i>	0,1%	-28%
<i>Holland</i>	1,2%	-6%
<i>Portúgal</i>	0,3%	+27%
<i>Spánn</i>	1,9%	+15%
<i>Svíþjóð</i>	0,4%	+4%
<i>Bretland</i>	4,3%	-12,5%
<b><i>ESB í heild</i></b>	<b>24,2%</b>	<b>-8%</b>
<i>Pólland</i>	3,0%	-6%
<i>Búlgaría</i>	0,6%	-8%
<i>Tékkland</i>	1,2%	-8%
<i>Eistland</i>	0,3%	-8%
<i>Ungverjaland</i>	0,5%	-6%
<i>Lettland</i>		-8%
<i>Litháen</i>	0,2%	-8%
<i>Rúmenía</i>	1,2%	-8%
<i>Slóvakía</i>	0,4%	-8%
<i>Slóvenía</i>		-8%
<i>Króatía</i>		-5%
<i>Nýja-Sjáland</i>	0,2%	0%
<i>Noregur</i>	0,3%	+1%
<b><i>Ísland</i></b>	<b>0,016%</b>	<b>+10%</b>
<i>Bandaríkin</i>	36,1%	-7%
<i>Kanada</i>	3,3%	-6%
<i>Ástralía</i>	2,1%	+8%
<i>Japan</i>	8,5%	-6%
<i>Rússland</i>	17,4%	0%
<i>Úkraína</i>		0%
<i>Sviss</i>	0,3%	-8%
<i>Mónakó</i>	0,0005%	-8%
<i>Liechtenstein</i>	0,002%	-8%
<b><i>Viðauki I í heild</i></b>	<b>100%</b>	<b>-5,2%</b>

## Stefnumörkun og aðgerðir íslenskra stjórnvalda

Ríkisstjórn Íslands hefur gripið til aðgerða til þess að mæta skuldbindingum Kyoto bókunarinnar. Samráð hefur átt sér stað innan stjórnarráðsins um stefnumörkun í loftslagsmálum. Stefnumörkunin felur í sér tillögur um eftirfarandi ráðstafanir á næstu árum sem muni leiða til lækkunar á útstreymi GHG eða aukningar á bindingu kolefnis. Þessar ráðstafanir eru:

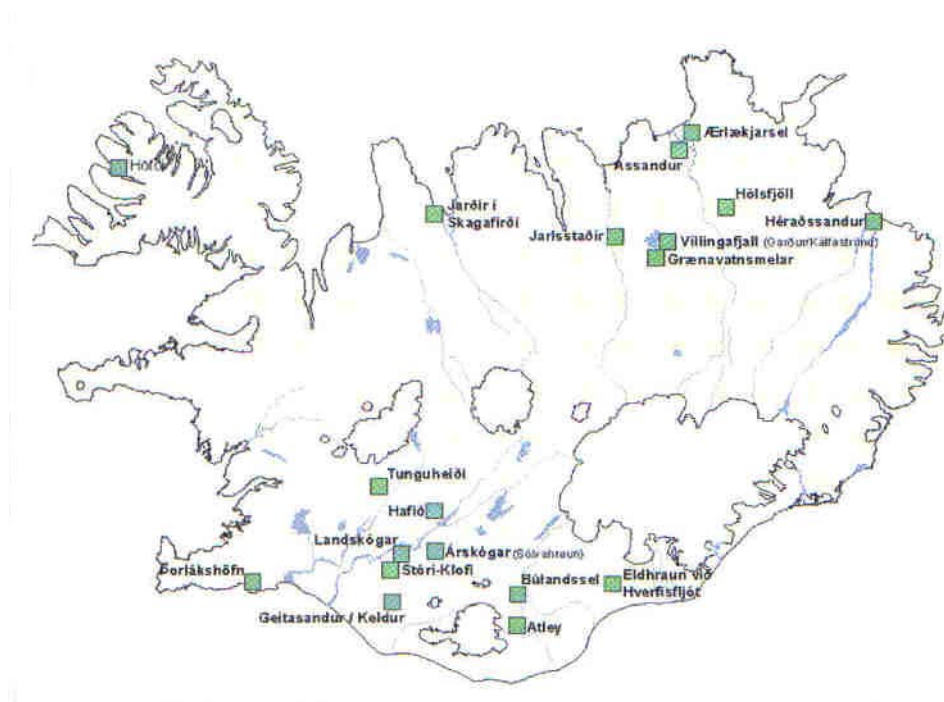
- *Dregið verði úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum með almennum aðgerðum og með breytingum á skattlagningu á dísilbílum, sem leiði til aukningar í innflutningi á slíkum bílum til einkanota.*
- *Tryggt veri að fyrirtæki í áliðnaði geri fullnægjandi ráðstafanir til þess að halda útstreymi flúorkolefna frá framleiðslunni í lágmarki.*
- *Leitað verði leiða til þess að draga úr orkunotkun í fiskiskipaflotanum*
- *Dregið verði úr urðun úrgangs og útstreymi GHG frá urðunarstöðum*
- *Aukin verði binding kolefnis með skógrækt og landgræðslu*
- *Áhersla verði lögð á rannsóknir á þeim þáttum sem áhrif hafa á útstreymi GHG og þróun lausna og úrræða til að mæta því*
- *Efld verði fræðsla og upplýsingagjöf til almennings um leiðir til þess að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda.*

Þessi stefnumörkun verður endurskoðuð árið 2005. Á því ári verða aðildarríki Kyotobókunarinnar að sýna fram á merkjanlegan árangur í því að efna skuldbindingar sínar samkvæmt bókuninni. (Umhverfisstjórnuneytið, 2004).

Meðal aðgerða íslenskra stjórnvalda til að uppfylla skyldur sínar gagnvart Loftslagssamningnum var sérstakt átak á vegum ríkisstjórnarinnar 1997-2000 til þess að auka bindingu kolefnis í gróðri og jarðvegi með skógrækt og landgræðslu. Veittar voru 450 milljónir til þessa verkefnis. Hluti af fénu var varið til rannsókna á kolefnisbindingu, meðal annars til þess að auðvelda stjórnvöldum að skipuleggja aðgerðir af þessu tagi. Valin voru 19 svæði þar sem lúpínu og grastegundum var sáð í örfoka land. Á mynd 8 má sjá hvaða svæði voru valin til þessa átaks (Bjarni D. Sigurðsson, Arnór Snorrason, 2000).

Frá 1990 hafa um það bil 4000 ha á ári verið græddir upp með skógrækt eða landgræðslu. Árið 1995 var áætluð kolefnisbinding á þessum svæðum 56.340 tonn af

CO<sub>2</sub> sem jafngilti 1,8% af heildarútbæstri fyrir það ár. Árið 2002 var kolefnisbindingin komin upp í 163.000 tonn af CO<sub>2</sub> sem jafngilti 5,12% af áætluðum heildarútbæstri fyrir árið 2002 (Bjarni D. Sigurðsson, Arnór Snorrason, 2000).



**Mynd 8. Átakssvæði landgræðslunnar vegna bindingar CO<sub>2</sub> árið 1999**  
(Landgræðslan, 1999)

Rannsóknir sem unnar hafa verið í tengslum við átakið benda til þess að möguleikar til þess að binda kolefni með landgræðslu og skógrækt séu umtalsverðir. Hér á landi hefur kolefnisbinding verið meginhvati til aukningar á opinberum framlögum til landgræðslumála undanfarin ár. Fjárveiting árána 1997-2000 dugði til þess að gróðursetja trjáplöntur í um 900 hektara lands og græða upp 4,7 þúsund hektara af ógrónu landi. Þessi nýi gróður bindur um 19,3 þúsund tonn af koldíoxíði á ári. Helstu plöntutegundir eru alaskavíðir, alaskaösp, ilmbjörk, rússalerki, sitkagreni, síberíulerki og stafafura (Bjarni D. Sigurðsson, Arnór Snorrason, 2000).

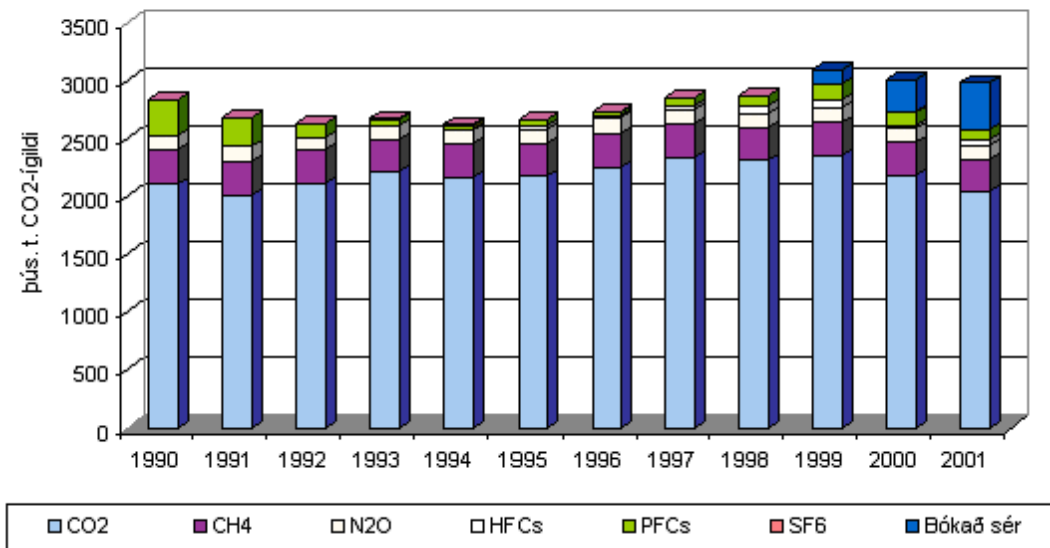
Árangur af átaksverkefni ríkisstjórnarinnar í bindingu koldíoxíðs með landgræðslu og skógrækt var mjög góður. Það markmið, að auka árlega bindingu um 100 þúsund tonn af koldíoxíði (liðlega 27 þúsund tonn af kolefni) umfram það sem var árið 1990, náðist árið 2000 eins og stefnt var að. Þar af náðist að binda 17.500 tonn af koldíoxíði á nýjum landgræðslusvæðum.

Þrátt fyrir að átaksverkefninu sé formlega lokið er lögð rík áhersla á að halda áfram aðgerðum til að auka bindingu kolefnis. Á Íslandi er langminnstur útblástur gróðurhúsalofttegunda miðað við OECD ríkin.

Í prósentum er útblástur gróðurhúsalofttegunda á Íslandi aðeins 0,016% af heildarútblastri OECD ríkjanna (IPCC, 2004). Einhverjum kynni að þykja þetta hlutfall svo lágt að Ísland skipti ekki nokkru máli fyrir heildarútblastur heimsins og ekki tæki því fyrir Íslendinga að hafa áhyggjur af útblástursmálum. Það er hins vegar nauðsynlegt fyrir Íslendinga, þótt þeir séu lítil þjóð og að heildarútblastur sé hlutfallslega lítill, að leggja sitt af mörkum til þess að draga úr útblæstri. Stefnumörkun ríkisstjórnar Íslands felur í sér tillögur um ráðstafanir á næstu árum sem leiða munu til lækkunar á styrk gróðurhúsalofttegunda og aukningu á bindingu kolefnis. Ísland hefur sett sér eftirfarandi markmið í þeim tilgangi að takmarka loftslagsbreytingar af mannavöldum:

- *Ísland taki virkan þátt í alþjóðlegu samstarfi sem miðar að því að koma í veg fyrir hættulega röskun á veðrakerfum jarðarinnar af mannavöldum með því að draga úr útstreymi og auka bindingu gróðurhúsalofttegunda hér á landi.*
- *Dregið verði úr notkun jarðefnaeldsneytis*
- *Íslenskri sérþekkingu á nýtingu endurnýjanlegra orkugjafa verði miðlað til þróunarríkjanna (Umhverfisstjórnun, 2004).*

Samkvæmt upplýsingum frá sviðsstjóra landverndarsviðs Landgræðslu ríkisins er ekki um neina skýra stefnumörkun hjá ríkisstjórninni að ræða varðandi kolefnisbindingu. Ekki hafa verið sett fram neitt ákveðið markmið sem Skógræktin og Landgræðslan gætu farið eftir. Það er athugað eftir hvert ár hversu mikið hefur verið grætt upp og reiknað hver mikil kolefnisbinding hefur verið. Ef Skógræktin og Landgræðslan hefðu skýr markmið að fara eftir þá myndu þær nota tegundir sem myndu binda sem mest kolefni og græða upp á þannig svæðum, stofnanirnar myndu leggja aðaláherslu að binda sem mest kolefni með ræktun sinni (Björn H. Barkarsson, munnleg heimild, 2004).



Mynd 9. Samanlagt útstreymi 6 gróðurhúsalofttegunda að teknu tilliti til bindingar 1990-2001

## Stofnanir

Þær stofnanir sem sjá um framkvæmd kolefnisbindingar eru Landgræðsla ríkisins og Skógrækt ríkisins. Landgræðsla ríkisins sér um landgræðslumál. Höfuðstöðvar landgræðslunnar eru í Gunnarsholti og annast aðalskrifstofan skipulag, samhæfingu og stjórn landgræðslustarfsins. Landgræðslan starfrækir sex héraðssetur sem sinna hvert sínu landssvæði: Á Hvanneyri í Borgarfirði, Hólum í Hjaltadal, Húsavík, Egilsstöðum, Kirkjubæjarklaustri og Árnesi í Árnessýslu. Auk þess að sinna almennu stjórnsýsluhlutverki stofnunarinnar gegna héraðsfulltrúar lykilhlutverki í tengslum við heimamenn og vinna með þeim að landgræðsluverkefnum á viðkomandi svæði (Landgræðsla ríkisins, 2002).

Lögð hefur verið áhersla á það að verkefni verði unnin meira af heimamönnum í hverju héraði. Grunnur hefur verið lagður að slíku starfi, þar sem heimamenn sinni landgræðslumálum í auknum mæli. Starfið kallast „Bændur græða landið” (BGL) og er samstarfsverkefni á milli bænda og landgræðslunnar (Landgræðsla ríkisins, 2002).

Skógrækt ríkisins sér um að stýra aðgerðum í skógrækt. Skógræktin sinnir ráðgjöf, rannsóknum, fræðslu, verndun og þróun á sviði skógræktar á Íslandi. Skógrækt ríkisins starfar samkvæmt þeim lögum sem í gildi eru hverju sinni og lúta



að málum er varða skógrækt og skógarvernd. Skógrækt ríkisins heyrir undir landbúnaðarráðuneytið. Aðalskrifstofa skógræktarinnar er staðsett á Egilsstöðum og er stofnunin með starfssemi í öllum landshlutum. Rannsóknarstöð Skógræktar ríkisins er á Mógilsá í Kollafirði, skógarverðir eru staðsettir á Hallormsstað, Vöglum, Selfossi og Hreðavatni. Skógræktarráðunautar eru á aðalskrifstofu, Hvanneyri, Akureyri og Selfossi (Skógrækt ríkisins, 2003).

## B. Kolefnisbinding með landgræðslu og skógrækt

Til eru tvær leiðir til þess að losa minna koldíoxíð út í andrúmsloftið. Bæði er hægt að draga úr útblæstri hans og binda meira af honum úr andrúmsloftinu með gróðri. Nauðsynlegt er að leggja áherslu á hvort tveggja svo árangur náist.

Ræktun gróðurs til dæmis með landgræðslu, með skógrækt eða með breyttri landnotkun eru virkar leiðir sem bjóða upp á tiltölulega hagkvæma aðferð til að sporna við loftslagsbreytingum. Á máli Loftslagssamningsins kallast þetta á ensku: “land use, land use change and forestry”, LULUCF.

Þetta er hægt að framkvæma á mismunandi hátt, annaðhvort með bindingu gróðurhúsalofttegunda (með gróðursetningu) eða með minni losun út í andrúmsloftið (minnka skógareyðingu).

Binding kolefnis (C) í gróðri er þannig að gróðurinn tekur í sig koldíoxíð (CO<sub>2</sub>) til ljóstillífunnar. Kolefnisbinding í gróðri dregur því úr magni CO<sub>2</sub> sem er ein helsta gróðurhúsalofttegundin. Því meiri sem gróðurþekjan er því meiri verður kolefnisbindingin á viðkomandi landssvæði. Gróðurlendi á Íslandi er talið vera um 2,5 milljónir ha og að það geymi um 3,5 milljónir tonna af kolefni. Talið er að í jarðveginum séu í heild um 490 milljónir tonna. Frá landnámi er áætlað að um 430 milljónir tonna kolefnis hafi tapast úr gróðri og jarðvegi landsins. Um 95% (410 milljón tonn C) er vegna jarðvegseyðingar en afgangurinn vegna gróður- og skógareyðingar. Samkvæmt þessu mati geta að hámarki bæst við 430 milljónir tonna af kolefni í gróður og jarðveg landsins. Þetta samsvarar um 1,6 milljörðum tonna af koldíoxíði (Þorbergur Hjalti Jónsson, Úlfur Óskarsson 1996).

Talið er að ígildi allt að 1,6 milljarða tonna af CO<sub>2</sub> hafi glatast úr vistkerfum landsins á síðustu 1100 árum. Þessi tala samsvarar því að með kolefnisbindingu sé unnt að mæta allri losun gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi í 500 ár. Til samanburðar nemur losun gróðurhúsalofttegunda af manna völdum hér á landi rúmum 3 milljónum tonna á ári (Andrés Arnalds, 2000).

Hægt er að líta á það sem svo að koldíoxíð sé verðmæt auðlind, sem er nauðsynleg fyrir framleiðni gróðurs. Hins vegar hefur of mikill styrkur hans í andrúmslofti óæskileg áhrif á loftslag og veðurfar á jörðinni. Kolefnisbinding með landgræðslu og skógrækt felst í því að umbreyta koldíoxíði, CO<sub>2</sub>, í lífræn efni sem

geymd eru í gróðri og jarðvegi. Umbreyting koldíoxíðs í gróðri og jarðvegi gerir sama gagn og að draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda (Andrés Arnalds, 2000).

Í lífríkinu safnast kolefni einkum á tvo staði. Annars vegar í lífrænar leifar á og í jarðveginum og hins vegar í viðarvef trjákenndra plantna, einkum trjáa.

## **I. Vísindin**

### ***Kolefnisforði mismunandi svæða***

Plöntuleifar rotna fljótt í hita og raka og minnkar rotnunarhraðinn eftir því sem loftslag kólnar. Í hitabeltinu rotna plöntuleifarnar hratt og eru nýttar hratt og því er jarðvegurinn þar fremur kolefnissnauður. Eftir því sem loftslagið er kaldara og sumur styttri rotna leifarnar hægar. Í regnskógum hitabeltisins er kolefnisforðinn nær algerlega í trjánum en að miklu leyti í jarðveginum á norðurslóðum. Ef jarðvegurinn er ekki talinn með, þá geyma skógar heimsins tífalt meira kolefni en önnur gróðurlendi. Ef jarðvegurinn er talinn með er um helmingur af kolefnisforða í skógum heimsins í barrskógabeltinu. Vegna þessa virðast vera góðir möguleikar á bindingu koldíoxíðs á þeim stöðum á norðurslóðum þar sem menn hafa eytt skógi og jarðvegi í gegnum aldirnar. Þess vegna kann landgræðsla og skógrækt á Íslandi að vera góður kostur þótt vöxturinn sé fremur hægur miðað við hlýrri lönd nær miðbaug (Juha E.P. Heikkinen, 2003).

Til þess að lífrænar leifar rotni hratt þarf að vera súrefni til staðar. Í vatnsósa jarðvegi skortir súrefni og þess vegna rotna jurtaleyfar afar seint. Þar hleðst upp kolefnisríkur mór öldum og árpúsundum saman. Því getur forðinn í mómýrum orðið verulega mikill og miðað við flatareiningu meiri en mest gerist í skógum heimsins. Mómýrar eru algengastar í köldu og röku loftslagi og þær þekja mjög stór svæði á norðurslóðum. Ljóst er að í mómýrum er meirihluti kolefnis í jarðvegi heimsins og mun meira en samanlagt kolefni í gróðri og þurrlandisjarðvegi. Af því leiðir að verulegur hluti kolefnisforða í gróðri og jarðvegi heimsins er á norðurslóðum. Myndun mýra þar sem það er mögulegt og endurheimt votlendis virðist vera góður kostur til þess að nema koldíoxíð úr andrúmsloftinu (Juha E.P. Heikkinen, 2003).

Talið er að hlýnun andrúmsloftsins eigi eftir að valda breytingum á votlendi á norðurslóðum. Breytingar á uppbyggingu og virkni vistkerfa (ecosystem structure) munu líklega hafa mikil áhrif á lífefnafræðilega hringrás heimsins. Í vistkerfum

norðurslóða er gífurlegt magn af kolefni í jarðveginum og það er hætt á því að mikið af þessu kolefni sleppi út í andrúmsloftið vegna loftslagsbreytinga, einkum ef hlýnun á sér stað. Sífrerasvæði eru sérstaklega viðkvæm fyrir áhrifum hlýnunar. Samkvæmt rannsóknum þá töpuðu túndrur í Austur-Evrópu um það bil 8,1 Tg af kolefni sumarið 2001 og þá var hitastigið 1,6°C hærra en meðaltal til langs tíma. Miklar sveiflur eiga sér stað í votlendistúndruvistkerfum. Annað hvort taka þau upp mikið af gróðurhúsalofttegundum eða sleppa miklu af þeim út í andrúmsloftið. Þessi vistkerfi eru viðkvæm fyrir sveiflum í hitastigi (Juha E.P. Heikkinen, 2003).

### *Íslenskur jarðvegur*

Lífræn efni í jarðvegi hafa mikilvæg áhrif á efnaeiginleika jarðvegsins. Lífræn efni eru nauðsynleg fyrir virkni vistkerfanna. Þau eru mikilvæg til að halda við gæðum jarðvegs og frjósemi hans þegar til lengri tíma er lítið. Aukinn skilningur á ferlum lífræns kolefnis í jarðvegi var eitt að megin rannsóknarefnunum í jarðvegsfræði á síðari hluta 20. aldar.

Íslenskur jarðvegur er að stærstum hluta svokölluð *Eldfjallajörð* (Andosol), sem er sérstök jarðvegsgerð sem myndast á eldfjallasvæðum jarðar. Meðal einkenna Eldfjallajarðar er frjósemi jarðvegsins, lítil rúmþyngd, en einnig skortur á samloðun sem gerir jarðveginn viðkvæman fyrir roföflunum. Jarðvegur á Íslandi er um margt einstakur, og því veldur sambland áfoks frá auðnum og rofsvæðum og að móðurefni jarðvegsins eru að stærstum hluta gjóska. Jarðvegurinn veðrast auðveldlega og þá myndast nýjar leirsteindir í jarðveginum, einkum allófan, sem er einkennissteind Eldfjallajarðar, en einnig imógólít og ferrihýdrít. Þessar steindir móta eiginleika jarðvegsins ásamt lífrænum efnum sem safnast fyrir í jarðveginum. Þessir eiginleikar valda meðal annars því að þúfnamyndun er mun virkari á Íslandi en annars staðar (Ólafur Arnalds, 2000).

Af öllum jarðvegsgerðum inniheldur íslenski Eldfjallajarðvegurinn og Mójörð (Histosol) meira C en allur annar jarðvegur. Mójörð er hinn lífræni jarðvegur mýranna, hinn eiginlegi mór. Hann finnst aðeins í votlendi þar sem áfok er tiltölulega lítið. Þessi jarðvegur getur orðið mjög þykkur eða meira en sjö metrar. Flestar jarðvegsgerðir innihalda innan við 3 grömm af C á hvert kíló á meðan Andosol, Eldfjallajarðvegur, inniheldur 30-80 g C á hvert kg og Mójörð inniheldur 205 g C á hvert kg. Þessar tölur eru heimsmeðaltal. Á rofsvæðum Íslands er lítið af lífrænu efni, því megnið af því hefur horfið vegna rofs. Vegna þess hve mikið af lífrænu efni hefur

tapast úr stórum hluta jarðvegsins á Íslandi getur hann ekki starfað á eðlilegan hátt. Andosol er í eðli sínu frjósamur jarðvegur en hann þekur aðeins um 1-2% lands og búa um 10% jarðarbúa á svæðum þar sem slíkur jarðvegur er til staðar (Ólafur Arnalds, 2000).

En hvað verður þá um kolefnið sem fýkur burt? Á Íslandi eru fjórir möguleikar. Í fyrsta lagi sest það á óskemmdan jarðveg í nágrenninu. Í öðru lagi sest það á auðnir og svæði sem þegar hafa orðið fyrir rofi. Í þriðja lagi sest það í vötn og í sjó og í fjórða lagi þá oxast kolefnið og fer út í andrúmsloftið (Hlynur Óskarsson, Ólafur Arnalds o.fl., 2004).

Í íslenskum þurrlendisjarðvegi á bersvæði er kolefni um 6-12% af svarðarlaginu, svonefnu A-lagi jarðvegsins. Jarðvegurinn er lagskiptur og er hverju jarðvegslagi gefið heiti og er efsta jarðvegslagið nefnt A-lag. Í birkiskóglendi er kolefni oft um 15% af yfirðboðsmoldinni og kolefnisforðinn nærri 250 tonn C/ha. Örfoka land og gróðurlitlir aurar eru kolefnissnauð en með landgræðslu eða sjálfgræðslu landsins safnast kolefni í jarðvegin. Almennt gildir að lífrænn jarðvegur og kolefnisforði hans myndast hratt í gróskulegum gróðurbreiðum (Hlynur Óskarsson, Ólafur Arnalds o.fl., 2004).

## ***II. Reglur Kyoto bókunarinnar um bindingu kolefnis***

Á sjöunda aðildarríkjaþingi Loftslagssamningsins sem fram fór í Marrakesh í Marokkó dagana 29.október-10.nóvember 2001 voru mótaðar reglur um hvað má telja fram sem aðgerðir til að binda kolefni. Pólitíski ramminn hefur verið ákveðinn. Hins vegar á eftir að móta reglur sem varða það hvernig á að telja aðgerðir fram til kolefnisbókhalds. Tæknilegi ramminn er því ekki alveg fullmótaður. Ræktun gróðurs til dæmis með landgræðslu, skógrækt eða með breyttri landnotkun eru virkar leiðir, sem bjóða upp á tiltölulega hagkvæma aðferð til að sporna við loftslagsbreytingum. Þetta er bæði hægt að framkvæma með bindingu gróðurhúsalofttegunda með gróðursetningu eða með því að minnka losun út í andrúmsloftið með því að minnka skógareyðingu.

Fundir aðildarríkja Loftslagssamningsins eru kallaðir COP (Convention of the Parties) og eru þeir haldnir einu sinni á ári. Nánari útfærsla á ákvæðum samninganna

eru nefndir eftir fundunum. Til dæmis er íslenska ákvæðið kallað CP7/14 og var það ákvæði samþykkt á sjöunda fundi aðildarríkjanna í Marrakesh. Undir COP starfa tvær nefndir sem kallast SBI (Subsidiary Body of Implementation) og SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technical Advice). Á íslensku heitir SBSTA nefndin undirnefnd fyrir vísinda- og tækniráðgjöf.

Kyotobókunin samanstendur af 28 greinum. Greinar 3.3 og 3.4. í Kyoto bókuninni eru þær greinar sem fjalla um skógrækt til mótvægis við útblástur GHG. Í þessum greinum sammingsins er fjallað um þessi mál á almennan hátt og eru ákvarðanir um nánari útfærslu teknar á COP fundunum. Í ákvæðum Kyotobókunarinnar hefur mest áhersla verið lögð á það að koma í veg fyrir að skógar minnki. Aðstæður á Íslandi eru þannig að það sem talað var um í samningnum átti ekki við hér á landi og var þess vegna lögð áhersla að fá gróðurþekjuna (vegetation) metna inn.

Hér fyrir neðan eru greinarnar í Kyotobókuninni, sem fjalla um skógrækt til mótvægis við útblástur gróðurhúsalofttegunda. Þetta eru greinarnar nákvæmlega eins og þær koma fyrir í Kyoto bókuninni. Á eftir greinunum koma svo útskýringar.

Þannig hljómar grein 3.3:

*“Hreinar breytingar á útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá uppsprettum og fjarlægingu með viðtökum, sem eru afleiðing beinnar breytingar á landnotkun af manna völdum og starfsemi á sviði skógarnytja, sem takmarkast við skógrækt, endurræktun og skógeyðingu frá 1990, mældar sem sannanlegar breytingar á kolefnismagni á hverju skuldbindingartímabili, skal nota til þess að efna skuldbindingar hvers aðila, sem getið er um í I. viðauka, samkvæmt þessari grein. Gera skal grein fyrir útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá uppsprettum og fjarlægingu með viðtökum, sem tengjast þessari starfsemi á gagnsæjan og sannanlegan hátt og yfirfara í samræmi við ákvæði 7. og 8. grein.” (Kyotobókunin við rammamning Sameinuðu þjóðanna, 2004).*

Grein 3.4. hljóðar þannig:

*“Áður en fyrsti fundur þings aðila er haldinn, sem gegnir hlutverki fundar aðila að bókun þessari, skal hver aðili, sem getið er um í I. viðauka, leggja fram gögn, sem undirnefnd fyrir vísinda- og tækniráðgjöf tekur til umfjöllunar, er staðfesti kolefnismagn hans árið 1990 og geri kleift að meta breytingar á kolefnismagni viðkomandi aðila á eftirfarandi árum. Þing aðila, sem gegnir hlutverki fundar aðila að bókun þessari, skal, á fyrsta fundi sínum eða eins fljótt og auðið er eftir það, ákveða aðferðir, reglur og viðmiðunarreglur um það hvernig og hvaða viðbótarstarfsemi manna, sem tengist breytingum á útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá uppsprettum og fjarlægingu með viðtökum í flokkunum nytjajarðvegur og breytingar á landnotkun og skógarnytjar, skuli koma til viðbótar við eða til frádráttar frá úthlutuðu magni aðila, sem getið er um í I. viðauka, að teknu tilliti til óvissuþátta, gagnsæis skýrslugerðar, sannprófunarhæfni, vinnu milliríkjanefndarinnar um loftslagsbreytingar á sviði aðferðafræði, ráðgjafar sem undirnefnd fyrir vísinda- og tækniráðgjöf veitir í samræmi við 5. gr. og ákvarðana þings aðila. Slík ákvörðun skal gilda á öðru skuldbindingartímabili og þeim sem á eftir fara. Aðila er heimilt að beita slíkri ákvörðun á fyrsta skuldbindingartímabili sínu með tilliti til þessarar viðbótarstarfsemi manna, svo fremi umrædd starfsemi hafi átt sér stað eftir árið 1990.”*  
*(Kyotobókunin við rammasamning Sameinuðu þjóðanna, 2004)*

Hér verða ákvæðin nánar skilgreind. Ákvæði bókunarinnar um bindingu kolefnis, sbr. 3. og 4. mgr. 3. gr., voru útfærð nánar í ákvörðunum sjöunda aðildarríkjaþingsins. Ríkjum í viðauka I verður heimilt að telja sér til tekna bindingu kolefnis eftir 1990, sem leiðir af beinum aðgerðum í landgræðslu og nýrækt skóga að frádreginni skógareyðingu. Einnig er ríkjum heimilt að taka inn í útstreymisbókhald sitt kolefnisbúskap allra skóglenda, akurlenda og beitolanda. Hvað kolefnisbúskap skóglenda varðar, það er skóga sem voru til 1990, var sett hámark á það magn sem ríki mættu telja sér til tekna í þessu sambandi með ákvörðun aðildarríkjaþingsins í Marakesh (Kyotobókunin við rammasamning Sameinuðu þjóðanna, 2004).

Í grein 3.3 í Kyoto bókuninni er tekið til þess að fjarlæging gróðurhúsalofttegunda og útblástur vegna ákveðinna aðgerða, og er þar átt við skógrækt og endurskógrækt (afforestation and reforestation) síðan 1990, er tekið með til þess að ná markmiðum samningsins. Endurskógrækt er það kallað þar sem ræktaður er nýr skógur á svæði sem ekki hefur verið skógi vaxið eða ræktaður nýr skógur á svæði þar sem skógi hefur verið eytt. Skógrækt er þar sem ræktaður er skógur á svæði sem ekki hefur verið skógi vaxið í a.m.k. 50 ár. Aftur á móti er sú starfsemi sem veldur skógareyðingu dregin frá magni útblásturs sem aðildarríkjum í viðauka I er leyfilegur yfir skuldbindingartímabilið. Í grein 3.4. í Kyotobókuninni, hefur verið ákveðið að hægt sé að bæta aðgerðum á listann í framtíðinni. Það eru samt sem áður mörg atriði í Kyoto bókuninni sem eru óleyst og eru þau tilefni áframhaldandi samningaviðræðna (UNFCCC, 2004).

Á alþjóðavettvangi hefur verið í umræðunni áhrif fleiri aðgerða en skógræktar á kolefnisbókhald þjóða. Það hefur, svo dæmi sé tekið, mikil áhrif að ryðja skóg til akuryrkju. Í Ástralíu er það einn mesti losunarvaldurinn ef hægt er að segja sem svo. Einnig er hægt að bæta meðferð kornakra og taka land úr notkun, svo ástand þess batni af sjálfsdáðum. Bandaríkjamenn hafa verið að leggja áherslu á þetta (Andrés Arnalds og Úlfur Óskarsson, 2000).

Landgræðslu- og skógræktargeirinn (LULUCF sector) býður upp á tækifæri, sem ekki eru mjög kostnaðarsöm, til þess að draga úr magni gróðurhúsalofttegunda í andrúmslofti. Það er bæði hægt að planta trjám og græða upp land og einnig er hægt að vernda skóga og koma í veg fyrir skógareyðingu. Það ríkir samt sem áður töluverð óvissa um það magn GHG sem er tekið upp af gróðrinum og einnig um það magn sem aftur fer út í andrúmsloftið. GHG geta losnað aftur út í andrúmsloftið til dæmis vegna skógarelda eða sjúkdóma í gróðrinum. Samninganefndin í Kyoto og Marrakesh vildi vera viss um að tekið væri á þessum mögulegu vandamálum og ekki væri gilt að taka með í reikninginn fjarlægingu GHG, sem hefði hvort sem er átt sér stað án inngripa mannsins (UNFCCC, 2004).

Það eru fjórar meginreglur sem settar voru fram í Kyoto og Marrakesh samþykktinni, sem taka til landgræðslu- og skógræktargeirans.

- *Listi yfir reglur sem fara á eftir vegna aðgerða í landgræðslu- og skógræktargeiranum (A set of principles to guide activities in the LULUCF sector)*



- *Listi yfir þær aðgerðir sem til greina koma ( A list of eligible activities)*
- *Almennar skilgreiningar (Common definitions)*
- *Kerfi í fjórum þrepum, sem gerir grein fyrir þeim takmörkunum sem til staðar eru, þegar landgræðsla og skógrækt eru notuð til þess að mæta útblástursmarkmiðum. (A four-tier capping system limiting the use of LULUCF activities to meet emissions targets).*

Þessar reglur svara þeim áhyggjum að starfsemi sem eykur eða dregur úr útblæstri GHG í landgræðslu- og skógræktargeiranum skuli ekki vanmeta umhverfisleg heilindi (environmental integrity) Kyotobókunarinnar. Reglurnar leggja áherslu á þörfina fyrir traust og góð vísindi og samræmda aðferðafræði og jafnframt mikilvægi þess að viðhalda líffræðilegum fjölbreytileika. Reglurnar koma í veg fyrir að þær gróðurhúsalofttegundir sem bindast hvort sem er með náttúrulegum hætti verði ekki með í kerfinu. Einnig verður að gera grein fyrir allri losun gróðurhúsalofttegunda frá viðtökum (sinks) vegna mannglegra athafna, til dæmis ef skógareldar eiga sér stað vegna ásetnings mannsins (UNFCCC, 2004).

Kyoto bókunin staðfesti að útblástur og binding vegna eftirfarandi starfsemi í landgræðslu- og skógræktargeiranum væri leyfð til þess að mæta útblástursmarkmiðum:

- *Skógrækt (Afforestation)*
- *Endurskógrækt (Reforestation)*
- *Skógareyðing (Deforestation)*

Með Marrakesh samþykktinni voru ákvarðaðar og skilgreindar fjórar LULUCF aðgerðir til að mæta skuldbindingum varðandi losun gróðurhúsalofttegunda. Til viðbótar við skógrækt, endurskógrækt og skógareyðingu voru samþykktar:

- *Umsjón skóglendis (Forest management)*
- *Umsjón akurlendis (Cropland management)*
- *Beitarstjórnun (Grazing land management)*
- *Landgræðsla (Revegetation)*

Ef ríki ákveða á annað borð að velja leið, ráða þau hversu margar af þessum fjórum leiðum þau velja. Valið er síðan bindandi fyrir fyrsta skuldbindingartímabilið.

Til þess að tryggja samræmi á samanburði á milli aðildarríkja, eru notaðar ákveðnar skilgreiningar á „skógi” og fyrir hverja og eina starfsemi. Nokkur sveigjanleiki er í skilgreiningunni á skógi, svo að aðildarríki geta til dæmis skilgreint lágmarkshæð trjáa skóga á bilinu 2 til 5 metrar og er valið bindandi (UNFCCC, 2004).

Binding gróðurhúsalofttegunda úr andrúmslofti með viðurkenndum viðtökum (sinks) myndar svokallaðar bindingareiningar eða removal units (RMU) sem aðildarríki í Annex I geta nýtt til að mæta skuldbindingum sínum. Þessar brottnámseiningar eru því aðeins gildar, þegar eftirlitsnefnd sérfræðinga hefur staðfest slíkt, samkvæmt ákveðnum eftirlitsaðgerðum. Ekki er hægt að geyma brottnámseiningar á milli skuldbindingartímabila (UNFCCC, 2004).

Á fyrsta skuldbindingartímabilinu eru takmörk fyrir því hvernig hægt er að nýta LULUCF aðgerðir. Gerð er grein fyrir takmörkunum með eftirfarandi fjögurra þrepa kerfi (Tier capping system). Þrep 3 er þrepið sem varðar landgræðslu.

Þrep 1. Ef aðgerðir aðildarríkis, vegna skógræktar eða skógareyðingar, veldur meiri losun heldur en brottnámi gróðurhúsalofttegunda, þá getur viðkomandi ríki mætt því með aðgerðum í umsjón skóglendis upp að heildarmarki 9 megatonn af kolefni á ári, fyrir fimm ára skuldbindingartímabilið.

Þrep 2. Hversu mikið má nýta skógarumsjón til að mæta losunarmarkmiðum, umfram 9 megatonn af kolefni per ár er háð ákveðnu þaki fyrir hvert aðildarríki og birtist sá listi í Marrakesh samþykktinni. Þetta þak inniheldur einnig svokölluð Sameiginleg framkvæmdaverkefni með öðrum ríkjum í viðauka I (eða Joint Implementation Projects), sem innihalda skógarumsjón.

Þrep 3. Losun og brottnám vegna umsjónar akurlendis, beitarlands og landgræðslu má nýta til að standast skuldbindingar á nettó-nettó grunni. Það merkir að breytingar á kolefnismagni á árinu 1990, sinnum fimm, verður frádregið breytingum á kolefnismagni á fyrsta skuldbindingartímabilinu á þeim svæðum sem slíkar aðgerðir eiga sér stað á.

Þrep 4. Aðeins skógrækt og endurræktun skóga koma til greina undir merkjum „Kerfa með hreina þróun” (Clean development projects). Brottnám gróðurhúsalofttegunda vegna slíkra verkefna má aðeins nota upp að 1% af viðmiðunargrunni aðildarríkis fyrir hvert ár á skuldbindingartímabilinu. Frekari skilgreiningar á þessu bíða seinni tíma aðildarríkjaþinga (COP-9).

Reikniaðferðin í þrepi þrjú er kölluð nettó-nettó aðferðin. Ekki hefur verið ákveðið hvaða reikniaðferðir verða notaðar við síðari skuldbindingartímabil bókunarinnar.

Ekki er líklegt að Ísland muni nýta sér hreina framleiðslutækni (Clean development mechanism) varðandi bindingu, vegna þess að í CDM er aðeins um skógrækt og endurræktun skóga að ræða, eins og talað er um í 4. þrepi. Ekki er hægt að nota landgræðslu í CDM verkefni. Hins vegar er hugsanlegt að Ísland gæti nýtt sér þetta við verkefni sem draga úr losun, til dæmis jarðhitaverkefni. Þá myndu Íslendingar koma af stað jarðhitavinnslu í löndum sem ekki eru í viðauka I. Þetta hefur góð áhrif á heildarútblastur heimsins því orka knúin af jarðhita veldur mikið minni útblæstri gróðurhúsalofttegunda heldur en verksmiðja knúin af jarðefnaeldsneyti.

Vinna við aðferðafræði heldur áfram innan SBSTA til þess að draga úr óvissu og þróa útreikninga, vöktun og bókhald yfir útblástur og bindingu í landgræðslu- og skógræktargeiranum (LULUCF) (UNFCCC, 2004). IPCC hefur verið falið að þróa „leiðsögn um góð vinnubrögð við bindingarbókhald” (Good Practice Guidance for LULUCF).

### *Upplýsingar sem aðildarríki þurfa að skila inn*

Í Marrakesh náðist samkomulag um þær upplýsingar sem aðildarríki þurfa að skila inn varðandi kolefnisbindingu. Þessar upplýsingar er að finna í skýrslu frá 7. fundi aðildarríkjanna sem haldinn var í Marrakesh. Um er að ræða ákvörðun númer 22/CP.7. (UNFCCC, 2004). Hér fyrir neðan eru þær upplýsingar taldar upp sem aðildarríki þurfa að skila inn til loftslagsnefndarinnar.

Í fyrsta lagi þarf landfræðileg staðsetning og mörk þess landsvæðis, sem notað er undir aðgerðir innan greinar 3.4, þar með talin landgræðsla að vera skilgreind þannig að **svæði séu auðkennanleg**. Aðilar eru hvattir til að veita nákvæmar upplýsingar til að auðvelda mat á upplýsingum undir áttundu grein Kyoto bókunarinnar.

Í öðru lagi verður það svæði **áfram bókhaldsskilt**, sem gerð er grein fyrir undir grein 3.4. Kyoto bókunarinnar, á næsta skuldbindingartímabili og tímabilunum þar á eftir.

Í þriðja lagi er að **ef upplýsingum er ekki skilað** fyrir einhverju af eftirfarandi: lífmassa ofanjarðar, lífmassa neðanjarðar, dauðum við og/eða lífrænu kolefni í jarðvegi, þá þarf að skila inn sannreynanlegum upplýsingum, sem **sýna að þessir hlutar vistkerfisins eru ekki uppspretta fyrir losun á gróðurhúsalofttegundum.**

Í fjórða lagi skal upplýsingum skilað, sem sýna hvort eða ekki, aðgerðir undir grein 3.3. og 3.4. og aðgreina brottnám vegna: (*Information should also be provided which indicates whether or not anthropogenic greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks from LULUCF under article 3.3. and elected activities under 3.4. factor out removals from:*)

- a) Hækkaðs styrks koldíoxíðs umfram mörk frá því fyrir iðnvæðingu
- b) Óbeinar útfellingar köfnunarefnis
- c) Breytilegrar áhrifa aldursdreifingar vegna aðgerða síðan fyrir 1. janúar 1990.

IPCC hefur verið falið að vinna leiðbeiningar um það hvernig þetta skuli gert.

Í fimmta lagi skal skila inn upplýsingum vegna aðgerða undir grein 3.4: (*Specific information to be reported for activities under article 3.4. shall include*);

- a) Sem sýna að þær hafa átt sé stað eftir 1. janúar 1990 og eru af manna völdum.
- b) Losun gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum frá uppsprettum og fjarlæging með viðtökum fyrir hvert ár skuldbindingartímabils og fyrir viðmiðunarár fyrir þær aðgerðaleiðir sem valdar hafa verið undir grein 3.4. á auðkennanlegum landsvæðum.
- c) Sem sýna að þær flokkast ekki undir aðgerðir undir grein 3.3. (skógrækt).
- d) Fyrir aðildarríki Annex I sem velja skógarumsjón undir grein 3.4. sem sýna að hvað miklu leyti brottnám með viðtökum breytir debet vegna greinar 3.3. í samræmi við kröfur undir málsgrein 10 í annex í ákvörðun - /CMP.1 LULUCF (UNFCCC, 2004).

### *Skilvirkni Kyoto bókuarinnar og eftirlit*

Skilvirkni Kyoto samkomulagsins er háð eftirfarandi tveimur þáttum:

1. Hversu vel aðildarríki halda sig að reglum og hvort þau standast skuldbindingar.
2. Hvort gögn um losun/brottnám gróðurhúsalofttegunda séu áreiðanleg.

Þær greinar sem fjalla um bókhald, skil á gögnum og endurskoðun þeirra eru greinar fimm, sjö og átta í Kyoto bókuninni. Tæknilegri útfærslu ákvæða þessara greina lauk á 8. aðildarríkjaþingi Loftslagssamningsins í Nýju Delhi í október árið 2002. Innihald greina 5, 7 og 8 er útskýrt hér í stuttu máli:

**Grein 5** skuldbindur aðildarríki (Annex I) að hafa tilbúið landskerfi fyrir mat á losun gróðurhúsalofttegunda frá uppsprettum og brottnámi viðtaka (kolefnisbindingu), eigi síðar en árið **2007**.

Samkvæmt skoðanakönnun meðal Annex I ríkja, stefna flest að því að ljúka hönnun landskerfa árið 2004 og uppbyggingu þeirra árið 2005 (FCCC/SBSTA/2002/INT.2 og FCCC/TP/2002/2).

Í stefnumörkun ríkisstjórnar Íslands segir að koma eigi á landskerfi ekki seinna en árið 2007 og farið verði síðan eftir nánari fyrirmælum sem samþykkt verða á þingi aðildarríkja.

Íslensk stjórnvöld þurfa að ákveða fyrir 2008 hvort tekin verða með í bindingarbókhaldið, á fyrsta skuldbindingartímabilinu, landsvæði sem nýtt eru til beitar og skógræktar, frá því fyrir árið 1990 eða annars landbúnaðar. Aðildarríki hafa hins vegar ekki slíkt val á næsta skuldbindingartímabili og þurfa að taka þessi landsvæði inn í bókhald frá og með 2013.

**Grein 7**, gerir þær kröfur til aðildarríkja (Annex I) að skila inn árlegum skýrslum um útstreymi gróðurhúsalofttegunda af manna völdum og að auki skuli skila landsskýrslu með reglulegu millibili. Báðar skýrslur skulu innihalda nauðsynleg viðbótargögn sem sýna fram á efndir skuldbindinga.

Dæmi um þetta er að samkvæmt Decision 22/CO.7 (FCCC/CO/2001/13/Add.3) þurfa aðildarríki Annex I að skila fyrir 1. janúar árið 2006, skýrslu til þess að sýna fram á árangur aðferða fram til ársins 2005. Þessi skýrsla þarf að innihalda lýsingu á:

- a) Innlendum aðgerðum s.s. lagabreytingum eða annars konar breytingum, sem miða að því að efna skuldbindingar Loftslagssamningsins.
- b) Tilhneigningum og spá um þróun losunar gróðurhúsalofttegunda.
- c) Mat á hvernig fyrirhugaðar aðgerðir að teknu tilliti til losunarspár munu mæta skuldbindingum aðildarríkis.
- d) Lýsingu á aðgerðum og verkefnum aðildarríkis sem stuðla að efndum Loftslagssamningsins er varðar grein 10 og 11.

**Grein 8**, tekur til þess að endurskoðunarnefnd sérfræðinga mun fara yfir útstreymisbókhaldsgögn og skýrslur sem skilað er inn og leggja mat á gæði og áreiðanleika gagna og hvort skuldbindingar hafi verið efndar og markmiðum náð.

Þó að tæknilega útfærslan á bókhaldi sé ekki endanlega frágengin er skýrt að áhersla er lögð á að gögn séu auðskiljanleg og sannreynanleg (UNFCCC, 2004).

Kolefnisbókhald á almennt séð að uppfylla eftirfarandi kröfur:

**Skiljanleiki gagna (Transparent).** Forsendur og aðferðir verða að vera skýrar og vel útskýrðar, svo hægt sé að endurtaka mælingar og meta bókhald útfrá gefnum gögnum. Gegnsætt bókhald auðveldar samskipti og eftirlit.

**Samkvæmni (Consistency).** Mikilvægt er að gögn séu sambærileg á milli ára og sama aðferðafræði sé notuð viðmiðmiðunarárið sem og önnur ár.

**Sambærileiki (Comparable).** Mat á losun og bindingu sé sambærilegt milli aðildarríkja samkvæmt Good Practise Guidance.

**Heild (Complete).** Gögn spanni yfir allar uppsprettur og viðtaka og allar gróðurhúsalofttegundir og myndi heildaryfirlit landfræðilega séð.

**Nákvæmni (Accurate).** Að hvorki sé um undir- né yfirmat á losun/bindingu og að óvissuþættir séu minnkaðir eins og mögulegt er nú og þegar fram líður (UNFCCC, 2004).

### **Staðan á Íslandi**

Íslensk stjórnvöld verða að ákveða fyrir 2008 hvort tekin verða með í bindingarbókhaldið á fyrsta skuldbindingartímabilinu landssvæði sem nýtt eru til beitar eða skógræktar frá því fyrir árið 1990 eða annars landbúnaðar (Umhverfisráðuneytið, 2004).

Með Marrakesh samþykktinni voru skilgreindar fjórar LULUCF aðgerðir til að mæta skuldbindingum varðandi losun gróðurhúsalofttegunda. Þessar leiðir eru eins og áður hefur komið fram, umsjón skóglendis, umsjón akurlendis, beitarstjórnun og landgræðsla. Aðildarríki verða að velja eina, enga eða allar leiðirnar og er valið síðan bindandi. Landgræðsla og skógrækt eru þær leiðir sem Íslendingar hafa valið til þess að mæta skuldbindingum samningsins. Umsjón skóglendis og umsjón akurlendis eru ekki leiðir sem til greina koma á Íslandi. Mjög óljóst er hvort beitarstjórnun verði

tekin með til þess að mæta skuldbindingunum. Ekki hefur mikið verið rætt um það og afar ólíklegt er að beitarstjórnun verði tekin með á næsta skuldbindingartímabili.

Það geta falist miklir möguleikar í því ef ákveðið verður að friða land og taka beitarstjórnun með, sem eina leið, til að mæta skuldbindingum. Binding getur orðið mikil ef stórt landsvæði verður friðað. Í raun eykst binding ekki mjög mikið á hverjum og einum hektara en svæðin, sem um er að ræða, eru svo stór að heildarbindingin eykst mikið.

Svo dæmi sé tekið má nefna að ef 300 þúsund hektarar eru friðaðir og ef bindingin ykist um 0,2 tonn CO<sub>2</sub>/ha á ári þá yrði heildaraukning í bindingu 60 þúsund tonn af CO<sub>2</sub> á ári. Gróður hefur eyðst af 3 milljónum ha síðan við landnám og ef til dæmis þriðjungur yrði græddur upp og bindingin væri 0,2 tonn CO<sub>2</sub> á ári á hvern hektara, þá yrði bindingin af því tvær milljónir tonna. Hægt er að segja að það felist miklir möguleikar í friðun fyrir beit. Vegna þess að mikill gróður hefur eyðst í gegnum aldirnar, ættu möguleikarnir að vera miklir á að endurheimta landgæðin aftur (Andrés Arnalds, munnleg heimild, 2004).

Hins vegar eru menn ekki á eitt sáttir um möguleika kolefnisbindingar vegna friðunar fyrir beit. Sumir segja að bindingin aukist sáralítið og sé varla hægt að mæla aukningu í bindingu nema á áratugum eða árhundruðum (Bjarni Diðrik Sigurðsson, munnleg heimild, 2004).

Eins og áður segir, þá eru í ákvæðum Kyoto bókunarinnar ákveðnar skilgreiningar á skógi til að tryggja samanburð á milli aðildarríkja.

Á Íslandi hefur ekki verið tekin ákvörðun um hvernig skilgreining skóga á að vera og er það mjög óljóst hvernig hún á að vera. Í raun hefur þetta ekki mikið verið rætt. Skilgreining á hæð trjána mun verða mjög áhrifamikil ákvörðun. Meira en 80% birkiskóganna eru lægri en tveir metrar. Ef valið yrði að lágmarkshæð trjáa ætti að vera tveir metrar þá munu flest allir birkiskógar á Íslandi falla undir landgræðslu en ekki skógrækt. Miklir möguleikar eru á kolefnisbindingu ef ræktaður er skógur beint á ógróið land. Mikið kolefni binst í rótum birkiskóga og í jarðveginum. Í birkiskógum er meira en 70% af kolefninu neðanjarðar í rótum og jarðvegi (Andrés Arnalds, munnleg heimild, 2004).

Ef skógar eru skilgreindir hærra en 2 m þá þekja skógar aðeins 0,2-0,3%.

Ef Ísland yrði að velja samkvæmt skilgreiningum Kyoto bókunarinnar og trén yrðu að vera á bilinu 2-5 metrar á hæð til þess að verða tekin með í kolefnisbókhald þjóða, þá yrðu það að mestu leyti innfluttar trjátegundir sem myndu falla undir skilgreininguna

á skógi. Þannig skilgreining á skógi myndi vera hvati til þess að nota innfluttar trjategundir í stórum stíl, til þess að nota við kolefnisbindinguna. Það gæti orðið í ósamræmi við samninginn um líffræðilega fjölbreytni, þar sem hvatt er til þess að nota innlendar tegundir, sem falla vel að umhverfinu við uppgræðslu lands og við uppgræðslu landsvæða sem eru viðkvæm og í hættu (Andrés Arnalds, 2002).

### **III. Rannsóknir á kolefnisbindingu í landgræðslu, skógrækt og jarðvegi**

Kolefni er meginuppistaða flestra gróðurhúsalofttegunda, svo sem koldíoxíðs (CO<sub>2</sub>), sem er aðalgróðurhúsalofttegundin, metans (CH<sub>4</sub>) og flúorkolefnissambanda. Kolefnið í gróðurhúsalofttegundum andrúmsloftsins tekur þátt í hringrás kolefnis á yfirborði jarðar. Ljóst er að með því að auka kolefni í gróðri og jarðvegi má minnka styrk kolefnissambanda í andrúmsloftinu. Þess vegna eru þjóðir heims hvattar til að binda kolefni í gróðri og jarðvegi. Eins og áður hefur verið getið var sérstakt átak á vegum ríkisstjórnarinnar gert á árunum 1997-2000 til þess að auka bindingu koldíoxíðs í gróðri og jarðvegi um 100.000 tonn CO<sub>2</sub> á ári umfram það sem var bundið árið 1990. Til þessa verkefnis var veitt 450 milljónir króna. Slíkt átak hefur haft mikla þýðingu fyrir samningsstöðu Íslands, með það að markmiði að fá landgræðslu sem viðurkennda leið til að binda kolefni til mótvægis við losun gróðurhúsalofttegunda. Framkvæmd átaksins hefur verið í höndum Landgræðslu ríkisins og Skógræktar ríkisins (Landgræðslan, 2003).

Aðstæður hér á landi eru að sumu leyti sérstakar og möguleikar til þess að binda kolefni í jarðvegi og gróðri með uppgræðslu eru mun meiri hér á landi en almennt þekkist annars staðar. Það er meðal annars vegna þess að á Íslandi eru víðáttumiklar auðnir, sem eru snauðar af kolefni, sem víða er hægt að græða upp og klæða jafnvel skógi. Íslenskur jarðvegur er eldfjallajarðvegur (Andosol) og eins og áður hefur komið fram getur slíkur jarðvegur bundið meira kolefni en annar þurrlendisjarðvegur (Ólafur Arnalds o.fl., 2004).

Þó að áttakinu sé nú formlega lokið þá er samt sem áður lögð áhersla á það að halda áfram að auka kolefnisbindingu með landgræðslu og skógrækt. Kolefnisbinding er ein þeirra leiða sem ríkisstjórnin vinnur að í viðleitni sinni til þess að stemma stigu



við loftslagsbreytingum. Áætlunin nær yfir tímabilið 2003 til 2014. Ríkisstjórnin gaf tiltölulega nýlega ú t nýja fimm ára skógræktaráætlun, þar sem sérstök áhersla er lögð á kolefnisbindingu. Landbúnaðarráðuneytið sér um framkvæmdir á þessu sviði.

Eftir að átak ríkisstjórnarinnar hófst varð ljóst að það þyrfti að fylgjast með hvort árangur næðist við kolefnisbindinguna. Sérstökum rannsóknahópi var komið á fót til þess að rannsaka hver binding hinna ýmsa verkefna í landgræðslu og skógrækt væri. Rannsóknirnar hófust árið 1998 (Ólafur Arnalds, 2000). Rannsóknahópurinn samanstóð af nefnd sérfræðinga frá fjórum ríkisstofnunum, Landgræðslu ríkisins, Náttúrufræðistofnun Íslands, Rannsóknastofnun Landbúnaðarins og Rannsóknastöð í skógrækt, að Mógilsá.

Sérfræðingahópurinn vann að rannsóknum á bindingu kolefnis í trjám, rannsóknum á bindingu kolefnis í öðrum gróðri og rannsóknum á bindingu kolefnis í jarðvegi. Hópurinn vinnur einnig að þróun gagnabanka fyrir bindingu kolefnis, skýrslugerð vegna IPCC-skýrslu, þróun líkans fyrir uppsöfnun kolefnis og samantekt niðurstaðna og samræmingu verkþátta (Umhverfissráðuneytið, 2004).

Rannsóknirnar á kolefnisbindingunni hafa verið fjórþættar. Rannsókuð hefur verið binding í trjám og í gróðursettum trjám (sequestration in trees and by forestation), binding í lífrænu efni (biomass) öðru en trjám, binding í jarðvegi og mælingar á kolefnisflæði (carbon fluxes) (Ólafur Arnalds o.fl., 2000).

Rannsóknirnar hafa fyrst og fremst beinst að því að meta magn kolefnis í misgömlum uppgræðslum og skógi, jarðvegi, rótum, fínrotum, trjám og öðrum gróðri. Með einföldum samanburði við nálæg svæði, sem eru lík uprunalegu ástandi landsins áður en ræktun hófst, fæst mat á aukningu kolefnismagns vegna aðgerðanna. Við skógrækt á rýru, jarðvegsgrunnu landi eykst kolefnisforði bæði í jarðvegi og trjám en einkum í trjám, á landi sem hefur góða gróður- og jarðvegshulu fyrir. Heildarbinding kolefnis er svipuð í báðum landgerðum (Landgræðslan, 1999).

Einnig hefur verið mæld kolefnisuppsöfnun á uppgræðslu- og skógræktarsvæðum, sem eru misgömul og þar sem mismunandi tegundir hafa verið notaðar við uppgræðslu. Lagðir hafa verið út fastir reitir þar sem mæld er uppskera og kolefnisinnihald róta, jarðvegs og ofanjarðarluta, sem skipt er eftir tegundahópum.

Breytileiki á milli svæða og landshluta er mikill og nauðsyn að meta hann og rannsaka ástæður hans til til að spá fyrir um bindingu á einstökum svæðum. Mælingar á flæði gróðurhúsalofttegunda til og frá landgræðslusvæðum staðfesta bindinguna og treysta gildi gagnanna á alþjóðlegum vettvangi. Mikilvægt er að niðurstöðurnar birtist

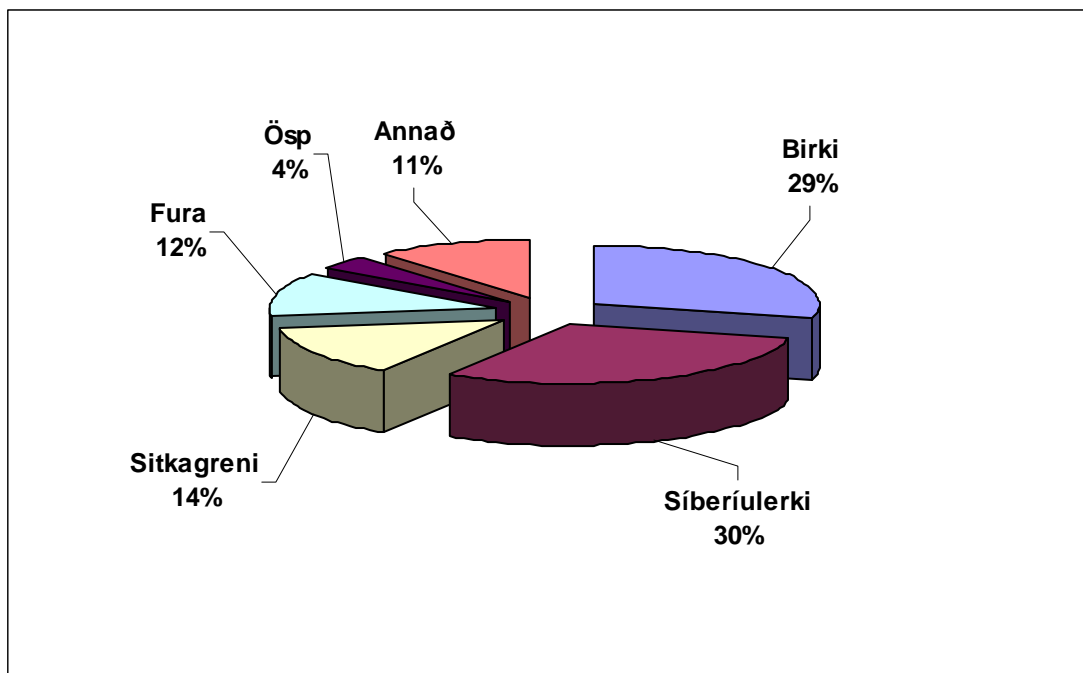
í vísindatímaritum, því milliríkjanefndin um loftslagsbreytingar (IPCC nefndin) tekur aðeins tillit til niðurstaðna sem birtar hafa verið á þann hátt, til að tryggja að faglega sé staðið að rannsóknum (Landgræðslan, 1999).

### *Rannsóknir á kolefnisbindingu ræktaðra skóga á Íslandi*

Við rannsóknir á kolefnisbindingu skógræktar er verið að ákvarða með vísindalegum hætti bindigetu skógræktar miðað við mismunandi skógræktarskilyrði og ræktunarforsendur. Mælingar á viðarmagni og viðarvexti, það er skógmælingafræðin, á sér langa sögu. Í seinni tíð bættust við mælingar á öðrum hlutum trjáanna og núna síðustu árin hafa þessar rannsóknir tekið nýja stefnu vegna aukningar koldíoxíðs í andrúmslofti. Undanfarin ár snúast þær meira um kolefnisforðann í lífmassa vistkerfanna og breytingar á honum (Arnór Snorrason, 2000).

Þegar kolefnisbinding skógræktar er reiknuð út verður upphafsforði kolefnis, áður en skógrækt hófst, að vera þekktur. Mismunurinn á upphafsforða og núverandi forða er sú binding, sem hefur átt sér stað (Arnór Snorrason, 2000).

Hlutfall kolefnis í trjákenndum lífmassa er nánast föst stærð og tekur afar litlum breytingum. Um 50% lífmassa trjáa er kolefni og hleypur breytileikinn á fáum prósentum. Tré eins og fura og lerki eru aðeins kolefnisríkari (Arnór Snorrason, 2000). Hér á landi hafa fengist þær niðurstaður að breytileiki á milli trjáhluta er lítil og er kolefnishlutfall á bilinu 46-54%, sem er svipað og gerist erlendis. Þær niðurstöður sem fengist hafa fyrir kolefnisbindingu í trjám eru mun hærri fyrir eldri barrskógana en áætluð hámarks-meðalbinding í gróðursetningum í barrskógabeltinu sem er 0,96 tonnC/ha (Arnór Snorrason, 2000).



**Mynd 10. Hlutfallsleg skipting gróðursettra trjategunda á Íslandi**

(Bjarni D. Sigurðsson, 2004)

Síberíulerki og birki eru mest notuðu trjategundirnar í skógrækt á Íslandi og er Sitkagreni þriðja mest notað eins og sjá má á mynd 10. Þessar þrjár tegundir voru notaðar í þeirri rannsókn sem hér var gerð. Arnór Snorrason, Bjarni D. Sigurðsson, á Mógilsá, Grétar Guðbergsson, RALA, Kristín Svavarsdóttir, Landgræðslunni og Þorbergur Hjalti Jónsson, Náttúrufræðistofnun gerðu samanburð á kolefnisforða skóglauss beitolands og nærliggjandi misgamalla skógræktarsvæða af sambærilegum uppruna til að meta árlega meðalkolefnisbindingu, sem fæst með skógrækt. Þessi rannsókn var gerð vegna átaksverkefnis ríkisstjórnarinnar til að auka kolefnisbindingu með landgræðslu og skógrækt. Árleg kolefnisbinding í lerkiskógi var um 2,6-3 tonnC/ha á ári, eftir því hvort jarðvegsbindingin var talin með eða ekki. Kolefnisbinding í álíka gömlum lerkiskógi í Varmahlíð í Skagafirði var svipuð eða 2,4-3,3 tonnC/ha á ári, þrátt fyrir að vaxtarskilyrði þar séu erfiðari. Í 54 ára gömlum birkiskógi á Suðurlandi var kolefnisbindingin 1-1,3 tonnC/ha á ári. Í 40 ára gömlum sitkagreniskógi á Suðurlandi var bindingin 3-3,5 tonnC/ha á ári. Rannsóknin leiddi í ljós að stærsti hluti kolefnisforða skóglenda var í jarðveginum (Arnór Snorrason, 2000).

Það er mikilvægt að átta sig að meðal kolefnisbinding á ári breytist eftir aldri skógarins. Kolefnisbindingin minnkar eftir því sem skógurinn eldist. Skógarnir sem

um er að ræða í ofangreindri rannsókn eru tiltölulega ungir eða á aldrinum 16-54 ára (Arnór Snorrason o.fl. 2002).

Rannsóknastöðin að Mógilsá gerði rannsókn á kolefnishringrás á skógræktarsvæði á Fljótsdalshéraði. Þessar mælingar voru hluti af rannsóknarverkefnum SKÓGVIST<sup>2</sup> og NECC, sem er norrænt öndvegissetur, fyrir rannsóknir á kolefnishringrás og áhrifum veðurfars á hana. Mælistöð var reist haustið 2003 í 11 ára gömlum lerkiskógi í landi Vallarness á Fljótsdalshéraði. Mælingarnar sýndu að skógurinn batt 13,3 kgC/ha af kolefni yfir daginn, meðan sólin skein en 14,4 kgC/ha töpuðust út yfir nóttina, vegna niðurbrots í jarðvegi og öndunar. Gróin vistkerfi binda yfirleitt meira kolefni yfir sumarið en þau tapa. Hversu mikil nettó kolefnisbindingin verður yfir árið veltur hinsvegar á framleiðni vistkerfisins og hversu mikið tapast frá jarðvegi utan vaxtartímans. Á fjórum graslendum svæðum á Fljótsdalshéraði var að jafnaði um 97% kolefnisforða vistkerfanna í jarðvegi. Í lerkiskógum í nágrenninu reyndist 70-90% kolefnisforðans vera neðanjarðar, eftir aldri skógarins (Bjarni D. Sigurðsson og Brynhildur Bjarnadóttir, 2004).

Ofangreind mæling fór fram að hausti til þegar kolefnisupptaka er farin að minnka. Kolefnisjöfnuður skógarins var neikvæður þennan dag og tapaðist rúmt kíló (1,1 kg C) frá hverjum hektara vistkerfisins þennan sólarhring. Yfir sumarið er kolefnisupptakan miklu meira vegna þess að dagurinn er lengri og hitastig er hærra. Þá eru trén virk í kolefnisupptökunni (ljóstillífuninni). Á veturna eru hins vegar allar plöntur í dvala og vistkerfið tapar kolefni. Þá er jarðvegur hinsvegar yfirleitt frosinn og þá hægir mjög á niðurbroti og rotnun. Nákvæmt mat á kolefnisbindingu skógarins fæst með stöðugum mælingum yfir heilt ár (Bjarni D. Sigurðsson og Brynhildur Bjarnadóttir, 2004).

---

<sup>2</sup> SKÓGVIST er samstarfsverkefni Náttúrufræðistofnunar Íslands og Skógræktar ríkisins, sem hófst með rannsóknum árið 2002 á Fljótsdalshéraði.



**Mynd 11. Mælistöð kolefnisflæðis í lerkiskógi á Fljótsdalshéraði**

(Þórey D. Þórðardóttir, 2004)

Fyrstu einn til tvo áratuginu eftir gróðursetningu binda trén tiltölulega lítið kolefni. Þá standa trjáplönturnar frekar gisnar og það tekur nokkuð langan tíma fyrir trén að breiða þannig úr sér að laufkrónurnar nái saman og myndi órofið laufþak. Kolefnisbindingu trjáanna má áætla út frá vexti viðarins. Fyrstu 2-3 áratuginu eftir gróðursetningu er binding trjáanna hægfara enda mynda þau ekki samfellt laufþak fyrr en þau eru 15-25 ára. Meðalbindingarhraðinn er mestur um svipað leyti og samfellt laufþak myndast en dvínar úr því. Af þessu að dæma er ljóst að skógrækt á Íslandi getur ekki bundið neitt sem nemur af kolefni næstu tvo áratugi eftir gróðursetningu. Hins vegar getur skógræktin þegar fram líða stundir aukið við það magn sem bundist getur á landinu og lengt þann tíma sem landið bindur koldíoxíð umfram losun (Þorbergur Hjalti Jónsson, Úlfur Óskarsson, 1996).

Skógur bætir á sig kolefni í marga áratugi og jafnvel fáeinir aldir en bindingin dvínar hratt þegar trén hafa náð 50-100 ára aldri. Landgræðsluskógur getur líklega bundið 3-4 tonnC/ha á ári í um þrjá til fjóra áratugi frá því ræktunin hefst. Markmið ræktunar fyrir kolefnisbindingu er að frumframleiðni gróðursins sé sem mest og

kolefnið geymist sem lengst í lífríkinu eða afurðum þess (Þorbergur Hjalti Jónsson, Úlfur Óskarsson, 1996).

### *Rannsókn á kolefnisbindingu í jarðvegi*

Meira er bundið af kolefni í jarðvegi en í öðrum hlutum lífkerfisins að höfunum undanskildum. Binding í gróðri er góður kostur til þess að taka upp kolefni úr andrúmsloftinu. Binding í jarðvegi er einnig góður kostur, því samhliða því að kolefnisbinding á sér stað eykst framleiðni og virkni vistkerfanna. Vistkerfin eru endurheimt á auðnum og hnignuðum svæðum. Íslenski eldfjallajarðvegurinn Andosol hefur tilhneigingu til þess að binda meira kolefni heldur en annar þurrlandisjarðvegur. Í íslenskum þurrlandisjarðvegi er oft bundið  $>40\text{kgC/m}^2$  og í votlandisjarðvegi  $>90\text{kgC/m}^2$ . Í jarðvegi auðnanna er lítið kolefni. Þegar gróður festir rætur í auðnunum taka lífræn efni að safnast fyrir í jarðveginum, jafnframt því sem hann verður smám saman frjósamari. Mikilvægt er að komast að því hve hraðfara þessi binding er ef hún á að verða viðurkennd sem mótvægisleið vegna losunar gróðurhúsalofttegunda. Kolefni var kannað í jarðvegi á 62 stöðum á 33 landgræðslusvæðum á landinu. Markmið þessara rannsókna var að þróa aðferðir til að kanna bindingu kolefnis í jarðvegi við landgræðslu og ákvarða hve mikil bindingin var við átak ríkisstjórnarinnar til að binda kolefni með landgræðslu og skógrækt. Bindihraði var bæði kannaður með aðhvarfsjöfnum og með því að bera saman landgræðslusvæði og svæði þar sem engin landgræðsla hefur átt sér stað. Binding þar sem sáð var í sendnar auðnir er að meðaltali um  $0,6\text{ tonnC/ha}$  á ári. Þessi binding er svipuð eða ívið meiri en binding sem verður við að breyta ræktarlandi í graslendi víða annars staðar en er bæði örari og varir í lengri tíma en annars staðar á röskuðum svæðum. Rannsóknirnar sem gerðar voru sýna að greinilega hægir mjög á bindingunni þegar náttúruleg gróðurframvinda er hæg eða stöðvast alveg. Það er því mikilvægt að finna hagkvæmar leiðir til þess að framvinda vistkerfanna haldi áfram og stöðvist ekki. Með því að nota meðalbindihraða og tölulegar upplýsingar frá hverju rannsóknasvæði fyrir sig má fá góða mynd af bindingu á landgræðslusvæðum á Íslandi. Í tengslum við Loftslagssamningana er þess krafist að til séu upplýsingar um bindigetu (Ólafur Arnalds o.fl. 2000).

## *Rannsókn á kolefnisbindingu í gróðri á uppgræðslusvæðum*

Í tengslum við átak ríkisstjórnarinnar í landgræðslu og skógrækt var kolefnisuppsöfnun í gróðri og jarðvegi á uppgræðslusvæðum rannsökuð. Kolefnisforði í gróðri, bæði ofanjarðar og neðanjarðar og í jarðvegi var mældur á tíu landgræðslusvæðum. Á þeim var að finna misgamlar uppgræðslur við mismunandi aðstæður hvað úrkomu, hæð yfir sjó og landgerð varðar. Mismunandi uppgræðsluaðferðir voru notaðar á þessum svæðum. Um var að ræða melsáningar með áburðargjöf, aðrar grassáningar með áburðargjöf, lúpínusáningar og uppgræðslu með búfjáráburði og tilbúnum áburði. Niðurstöðurnar úr þessum rannsóknum sýndu að kolefni binst bæði í gróðri og jarðvegi við uppgræðslu gróðurlítilla svæða. Árleg binding í gróðri ofanjarðar var á bilinu 0,01-0,5 tonnC/ha og fór bindihraðinn bæði eftir uppgræðsluaðferðum og aðstæðum í umhverfinu. Kolefnisbinding var hraðari á Suðurlandi en Norðurlandi en gögnin leyfðu ekki frekari samanburð á milli landgræðslusvæða né mismunandi uppgræðsluaðferða (Ása L. Aradóttir o.fl. 2000).

### *Niðurstöður rannsókna*

Rannsóknirnar hafa sýnt að :

- *Möguleikar íslenskra vistkerfa til að binda kolefni eru miklir og mun meiri en ætlað var í upphafi.*
  - *Við skógrækt á rýru, jarðvegsgrunnu landi eykst kolefnisforði bæði í jarðvegi og trjám en einkum í trjám, á landi sem hefur góða gróður- og jarðvegshulu fyrir. Heildarbinding kolefnis er svipuð í báðum landgerðum.*
  - *Binding í gróðri er umtalsverð á landgræðslusvæðum.*
  - *Vel miðaði að ná markmiðum ríkisstjórnarinnar með átaki í bindingu CO<sub>2</sub> með landgræðslu og skógrækt.*
  - *Breytileiki á milli svæða og landshluta er mikill og nauðsyn að meta hann og rannsaka ástæður hans vel til að spá fyrir um bindingu á einstökum svæðum.*
  - *Mælingar á flæði gróðurhúsalofttegunda til og frá landgræðslusvæðum staðfesta bindinguna og treysta gildi gagnanna á alþjóðlegum vettvangi.*
- (Landbúnaðarráðuneytið, 2004)

Í heildina hafa niðurstöður verið þær að bindihraði kolefnis í gróðri hérlandis er tiltölulega hár. Í ræktuðum skógum er kolefnisbinding mest 1-3 tonnC/ha (Arnór Snorrason o.fl., 2002) á ári, á uppgræðslusvæðum er hraðinn 0,01-0,5 tonnC/ha á ári og í jarðvegi þar sem sáð er í sendnar auðnir er bindihraðinn 0,6 tonnC/ha á ári. Samkvæmt skýrslum IPCC er bindihraði kolefnis að meðaltali 0,25 tonnC/ha á ári. Tölur hérlandis eru hærri en þetta meðaltal og bindingin varir í lengri tíma en víða annars staðar við landgræðslu á röskuðum svæðum (Ólafur Arnalds o.fl., 2000). Í stuttu máli hafa rannsóknirnar sýnt að möguleikar íslenskra vistkerfa til að binda kolefni eru miklir og mun meiri en ætlað var í upphafi.

**Tafla 6. Meðal kolefnisbinding í gróðri samkvæmt vísindagreinum**

	<i>Bindihraði tonnC/ha á ári</i>
<i>Sendnar auðnir</i>	<i>0,60</i>
<i>Uppgræðslusvæði</i>	<i>0,01-0,50</i>
<i>Ræktaður skógur</i>	<i>1-3</i>
<i>Meðaltal IPCC</i>	<i>0,25</i>
<i>Birkiskógur</i>	<i>1-1,3</i>
<i>Lerkiskógur</i>	<i>2,6-3</i>
<i>Sitkagreniskógur</i>	<i>3-3,5</i>

Kolefnisbinding í skógi er mjög mikilvæg vegna hás bindihraða og vegna stöðugleika kolefnisbindingar í trjám. Á skógarsvæðum er mikill munur á kolefnisbirgðum eftir trjátegundum og aldri skóganna. Munurinn er aðallega í lífmassa ofanjarðar. Gömul sitkagrenitré og lerkitré geyma í sér meira kolefni en birki. Íslenskt birki er aftur á móti harðgerðara vegna mikils erfðabreytileika (Ólafur Arnalds o.fl., 2000).

Binditölur skóga eru meðaltal yfir langan tíma, binda minna fyrst og síðan fer bindingin að aukast. Tölur um bindingu fara eftir því hvaða forsendur eru notaðar við mælinguna. Binditölurnar geta verið aðeins mismunandi eftir því hvað er verið að miða við langan tíma. Yfirleitt er verið að miða við 50 ára tímabil. Ekki er heldur alveg vitað nákvæmlega í hversu langan tíma trén eru að binda kolefni. Það hefur ekki verið rannsakað fyrir meira en 50 ára gömul tré. En talið er að þau geti bundið kolefni



mjög lengi eða alveg til 100 ára aldurs. Þegar skógar eru búnir að ná vissum aldri þá ná þeir ákveðnu jafnvægi og útblástur og upptaka kolefnis verður svipuð (Bjarni Diðrik Sigurðsson, munnleg heimild, 2004)

### *Mat á gróðurhúsaáhrifum í uppistöðulónum.*

Erlendar rannsóknir gefa til kynna að gróðurhúsaáhrif virkjunarlóna séu ákaflega breytileg, allt frá því að vera hverfandi lítil yfir í að vera sambærileg við orkuframleiðslu með olíu. Þeir þættir sem helst eru taldir hafa áhrif á magn gróðurhúsalofttegunda sem losna frá lónum eru einkum heildarmagn lífræns efnis sem fer undir vatn, styrkur súrefnis í vatninu, lögun lóna, sérstaklega dýpi þeirra og hitastig og kolefnisbúskapur þeirra vistkerfa sem undir vatn fara. Hitastig er ráðandi þáttur við myndun gróðurhúsalofttegunda úr lónum. Rannsóknir hafa sýnt að við hitastigsaukningu upp á 10°C tvö- til þrefaldast myndun CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> allt að fimmfaldast. Vegna lágs hitastigs í flestum lónum hér á landi má búast við því að niðurbrot lífræns efnis sé almennt hægfara. Gróðurhúsaáhrif virkjanalóna stafa ekki aðeins af losun lofttegunda sem á sér stað frá yfirborði þeirra heldur einnig vegna kolefnisbúskaps þeirra vistkerfa sem fara undir vatn við gerð lónsins. Þurrlendisvistkerfi eru í flestum tilvikum í jafnvægi hvað gróðurhúsaáhrif varðar. Binding þeirra og losun GHG er af svipaðri stærðargráðu. Votlendi bindur meira CO<sub>2</sub> en það losar. Einnig ef breyting á sér stað í álagi á vistkerfi, til dæmis minnkuð eða aukin beit, getur gróður í kjölfarið verið í fram- eða afturför með meðfylgjandi nettó bindingu eða losun CO<sub>2</sub> (Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, 2001).

Rannsóknarstofnun landbúnaðarins gerði rannsókn fyrir Landsvirkjun á losun CO<sub>2</sub> úr fyrirhuguðu Háslóni Kárahnúkavirkjunar. Til að áætla væntanlega losun CO<sub>2</sub> var stillt upp fjórum sviðsmyndum sem byggja á mismunandi forsendum og líkönum. Um helmingsmunur er á útkomu sviðsmyndar eitt og fjögur, en sviðsmyndir tvö og þrjú gefa mjög áþekka niðurstöðu.

**Tafla 7. Áætluð losun úr lóni miðað við mismunandi sviðsmyndir (breytilegar forsendur)**

Væntalegt Hálsón	1.Sviðsmynd	2.Sviðsmynd	3.Sviðsmynd	4.Sviðsmynd
	Tonn CO <sub>2</sub> /ár	Tonn CO <sub>2</sub> /ár	Tonn CO <sub>2</sub> /ár	Tonn CO <sub>2</sub> /ár
Samtals losun	<b>841</b>	<b>460</b>	<b>468</b>	<b>397</b>

Líkön af væntanlegri losun CO<sub>2</sub> úr Háslóni gefa til kynna að á bilinu 400-850 tonn CO<sub>2</sub> losni úr lóninu á ársgrundvelli (Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, 2001).

Heildargróðurhúsaáhrif væntanlegs lóns eru summa þessara tveggja ferla, þar er binding núverandi vistkerfa leggst af en við tekur losun lónsins. Samanlögð áhrif þessarar tveggja þátta jafngilda gróðurhúsaáhrifum á bilinu 2000-2500 tonn CO<sub>2</sub> á ári. Í skýrslunni segir að þessar tölur séu fengnar úr líkönum sem byggð eru á tiltölulega fátæklegum mælingum í tíma og rúmi. Í henni er einnig áætlað að heildargróðurhúsaáhrif fyrirhugaðs lóns, samkvæmt þessu mati, liggi á bilinu 500-5000 tonn CO<sub>2</sub> á ári (Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, 2001).

Ofangreindar tölur fyrir losun CO<sub>2</sub> eru nokkuð lægri en mælt hefur víða erlendis, til dæmis í Finnlandi og er það væntanlega helst sökum lægra hitastigs lónsins og minni heildarlífmassa sem fer undir vatn.

Þetta á væntalega ekki við í tilviki fyrirhugaðs Háslóns, nema þá að tilkomi verulegt rof nálægra svæða og flutningur lífræns efnis út í lónið því samhliða (Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, 2001).

Það má segja að gróðurhúsaáhrif vegna lónsins séu lítil en ef rof fer að eiga sér stað við lónið þá mun tapast töluvert af kolefni út í andrúmsloftið.

Nokkur hættu er á því að rof hefjist á svæðinu austanmegin við Háslón. Núna er þarna stórt gil og jafnvægi ríkir. Þegar gilið er orðið fullt af vatni, þá brýtur vatnið upp bakkana. Þá myndast opin sár við vatnsbakkana og mikil hættu er á að stórfellt rof austanmegin við lónið muni hefjast. Vestan megin við gilið á mikið rof sér stað. Búið er að rannsaka að þetta geti gerst og reynt verður að gera þær ráðstafanir sem mögulegt er til þess að koma í veg fyrir að þetta muni gerast (Hlynur Óskarsson, munnleg heimild, 2004).

## **IV. Möguleikar til bindingar kolefnis á Íslandi**

Áður en farið er að fjalla um möguleika kolefnisbindingar er nauðsynlegt að gera grein fyrir gróðursögu Íslands.

Gróður tekur upp kolefni á forminu CO<sub>2</sub> og breytir því í lífrænt efni. Þegar gróðureyðing og skógareyðing á sér stað þá minnkar jafnframt upptaka CO<sub>2</sub> og hefur gróðureyðing því áhrif á aukningu CO<sub>2</sub> í andrúmsloftinu.

Léleg landgæði og áframhaldandi jarðvegseyðing eru talin vera alvarlegustu umhverfisvandamálin á Íslandi (Andrés Arnalds, 2002).

Þekking á gróðursögunni er mjög mikilvæg vegna landgræðslustarfsins. Það þarf einnig að þekkja gróðursöguna til þess að geta áttað sig á hverjir möguleikarnir eru þegar verið er að tala um kolefnisbindingu. Það verður að vera hægt að gera sér grein fyrir hversu mikill gróður er horfinn og hvernig þróunin hefur verið síðan landnám hófst. Með þá vitneskju að leiðarljósi er hægt að skoða hve landið er illa farið og sjá hvað væri fræðilega mögulegt að græða upp. Ef gróðurinn og jarðvegurinn er horfinn af stórum svæðum og er illa farinn á öðrum svæðum hlýtur að vera hægt að snúa þróuninni við að einhverju leyti, stoppa rofið og græða upp auðnir. Þegar vitneskja um horfinn gróður og jarðveg er til staðar felst í því ákveðin viðmiðun. Hægt er að keppa að markmiði um að endurheimta gæði landsins. Það er ekki líklegt til árangurs að græða upp land sem annað hvort hefur verið lítið gróið eða alls ekkert. Miklar líkur eru á góðum árangri á svæðum sem áður fyrr voru þakin gróðri (Andrés Arnalds, 1988).

Talið er að um 65% landsins hafi verið gróið um það leyti sem landnámsmennirnir komu til landsins og skógur hafi þakið 25-40% af yfirborði þess. Þessi gróður hafði myndast og þróast fram að landnámi án afskipta mannsins og staðið af sér eldgos og harðindi en var mótstöðulítill gegn því álagi sem búsetunni fylgdi (Andrés Arnalds, 1988).

Rannsóknir sýna að búsetan hafi raskað jafnvæginu sem ríkti milli óblíðra vaxtarskilyrða, viðkvæms gróðurfars og veikrar jarðvegsgerðar. Skógar tóku að eyðast og víðátta gróðursins að dragast saman. Í kjölfar landnámsins hefur fylgt jarðvegseyðing sem staðið hefur fram á okkar tíma. Umfang gróðureyðingarinnar á Íslandi á sér fáar hliðstæður á norðurhveli jarðar. Gróður þekur nú aðeins um 25%

landsins og leifar af hinum fornu skógum þekja aðeins um 1% (Andrés Arnalds, 1988).

Hægt hefur verið að fá vitneskju um gróðursögu Íslands allt frá lokum ísaldar fyrir 10-15 þúsund árum með frjógreiningu. Tekin eru jarðvegssnið úr mýrum og frjókornin rannsökuð. Af frjókornarannsóknum má lesa gróðurfarsögu og einnig er hægt að áætla loftslagssögu. Samkvæmt rannsóknum Þorleifs Einarssonar jarðfræðings er hægt að skipta gróðurfarsögu Íslands í fjögur skeið frá því að ísaldarjökullinn hörfaði. Um leið og jöklarnir hörfuðu af láglandinu, fylgdi sjórinn jökulröndinni og um þetta leyti hækkaði einnig í heimshöfunum vegna mikils leysingavatns úr hinum bráðnandi jöklum. Farg ísaldarjökulsins hafði einnig þrýst landinu heilmikið niður. Hæstu fjöllumörk sunnanlands eru í 110 metra hæð, en annars staðar víðast í 40-50 m hæð yfir núverandi sjávarmáli. Fyrir um 9000 árum hafði landið aftur risið það mikið að sjávarborðið komst í svipað ástand og það er í dag, þó það hafi sveiflast eitthvað. Fyrsta skeiðið nefnist birkiskeiðið fyrra og þá tóku birkiskógar að dreifa sér um allt. Fyrir 7000 árum hófst mýrarskeið en þá jókst úrkoma og skógurinn hraktist úr mýrunum. Fyrir um 5000 árum fór birkið að breiða úr sér aftur og þá hófst birkiskeiðið síðara og lauk því fyrir 2500 árum. Á tímabilinu 4000-2500 árum fyrir okkar daga hafa birkiskógar klætt allt láglandi nema blautustu flóa og náð hátt til fjalls. Á þessu tímabili mun líklega helmingur landsins hafa verið vaxinn skógi. Fyrir 2500 árum kólnaði loftslag og skógurinn hvarf að mestu úr mýrunum. Í Landnámabók Ara fróða segir að Ísland hafi verið víði vaxið á milli fjalls og fjöru. Birkiskóginum tók að hnigna fljótlega eftir að landnám hófst en þess má geta að landið varð alnumið á um það bil 60 árum. Orsakir þessarar skjótu skógareyðingar voru ýmsar. Frá landnámi var lengi höggvinn mikill skógviður til kolagerðar. Besti viðurinn hefur verið notaður í húsagerð og mikill skógur hefur verið höggvinn til eldiviðar, þótt tað og mór hafi verið notað samhliða viðnum. Áhrif beitarinnar og vetrararbeit hefur komið hart niður á skóginum og þar sem skógurinn hefur verið höggvinn sá búfénaðurinn um það að skógurinn ætti ekki afturkvæmt. Augljóst er að birkiskógurinn sem huldi helming landsins fyrir 2500 árum og um fjórðung við upphaf Íslandsbyggðar, hafi á örfáum öldum og jafnvel á fáum áratugum, látið verulega á sjá vegna mikils ágangs manna og dýra. Uppblásturs mun víða hafa verið vart fyrir á öldum. Orsakir uppblástursins voru vegna þeirra öru gróðurfarsbreytinga sem urðu þegar skógurinn vék fyrir graslandinu (Þorleifur Einarsson, 1994).

Öllum gróðri hér á landi eru sköpuð erfið vaxtarskilyrði af hálfu veðurfarsins. Sá gróður, sem vex upp við erfið veðurskilyrði, hefur minna mótstöðuafli gegn hverskonar áverkum heldur en sá gróður, sem býr við betri skilyrði. Orsakir gróðureyðingar hér á landi hafa verið með þrennu móti. Í fyrsta lagi getur veðráttan valdið gróðureyðingu ef veðurfar breytist til hins verra. Í öðru lagi getur of mikil beit og hvers konar rányrkja eytt gróðri. Í þriðja lagi geta náttúruhamfarir eyðilagt gróður á ýmsum svæðum með eldgosum og afleiðingum af þeim eins og öskufalli, hraunrennsli og jökulhlaupum. Þessar orsakir gróðureyðingar geta ýmist unnið saman eða hver fyrir sig. Veðurfar hefur þau áhrif að lítilsháttar lækkun verður á hita um vaxtartímann um nokkurra ára skeið og getur það lamað mjög mótstöðuafli gróðursins gegn öðrum eyðandi öflum. Frjósemi jarðvegs er að miklu leyti undir sumarhita komin, en þurrir vindar valda upplæstri og gróðureyðingu. Allur gróður er mjög næmur fyrir hvers konar hitabrigðum (Hákon Bjarnason, 1994).

Hákon Bjarnason telur að eyðingu birkiskóganna hér á landi megi fyrst og fremst rekja til beitar. Hann segir að birkið hafi orðið að víkja fyrir búfénaði landsmanna og þegar það hvarf þá hvarf einnig besta vernd íslenska jarðvegsins sem hafði verið varinn gegn upplæstri. Þegar skógurinn og kjarrið hvarf þá hófst jarðvegseyðingin (Hákon Bjarnason, 1994).

Eldsumbrot og afleiðingar þeirra geta eytt gróðri að fullu á takmörkuðum svæðum. Einnig geta þau spillt gróðri um allt land, líkt og Skaftáreldar gerðu árin 1783-1784 en það kemur örsjaldan fyrir. Það eru margar sveitir, sem þurft hefur að yfirgefa um tíma vegna eldgosa en þær hafa byggst aftur, jafnskjótt og gróðurinn náði sér. Aska getur dreift sér með vindum um allt land, stundum eitri blandin og drepíð gróður. Jarðvegseyðing heldur áfram að ógna þeim náttúruauðlindum Íslands, sem gróður og jarðvegur eru. Talið er að alvarleg jarðvegseyðing ógni 40% af flatarmáli Íslands (Andrés Arnalds, 2002).

Jarðvegseyðing er það hugtak sem flestum er tamast að nota um eyðingu íslenskra vistkerfa. Er þá yfirleitt átt við eyðingu gróðurlendis og jarðvegs, sem kalla mætti landhnignun og landeyðingu. Jarðvegseyðing er vítt hugtak sem nær yfir þau ferli, sem valda því að eiginleikar jarðvegs verða slíkir að vaxtarmöguleikar gróðurs hafa stórlega spillst. Hnignun íslenskra vistkerfa á margt sameiginlegt með þeirri landeyðingu sem hefur fengið samheitið „desertification“ (eyðimerkurmyndun) á alþjóðlegum vettvangi. Auðnir Íslands eru að mörgu leyti skyldar hrjóstrugum svæðum, sem hafa orðið eyðingunni að bráð annars staðar í heiminum. Gífurlegum

fjárhæðum er varið til baráttunnar við eyðinguna. Með hugtakinu „eyðimerkurmyndun” er átt við varanlega hnignun á frjósemi lands (Ólafur Arnalds, o.fl., 1997).

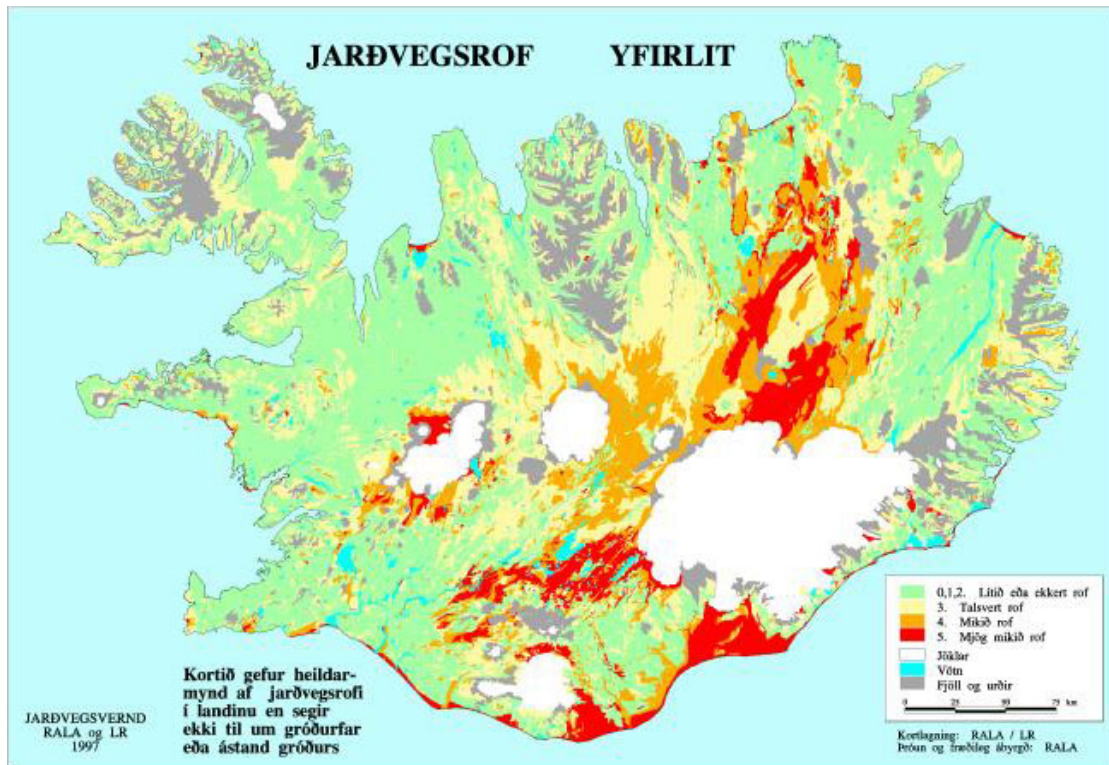
Gróðureyðing tengist loftslagsbreytingum á þann hátt að með eyðingu gróðursins tapast stór geymslusvæði kolefnis. Gróðurinn tekur upp koldíoxíð með ljóstillífun og ekki er gott ef mikill gróður tapast. Auðvitað er langmikilvægast að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda til að koma í veg fyrir loftslagsbreytingar en það að græða upp land og halda við gróðri er ein þeirra leiða sem Íslendingum og öðrum jarðarbúum eru færar til þess að minnka styrk koldíoxíðs í andrúmsloftinu.

Rúmlega helmingur landsins er skilgreindur sem auðn og 17% af flatarmáli landsins eru jöklar, ár og vötn. Með lögum árið 1907 var lagður hornsteinn að skipulegu starfi að landgræðslu og skógrækt hér á landi (Andrés Arnalds, 1988). Það voru lögð drög að Landgræðslu ríkisins, sem er ein elsta starfandi jarðvegsverndarstofnun í heiminum. Fyrstu áratuginu einkenndist landgræðslustarf einkum af varnarbaráttu og var unnið að heftingu sandfoks á svæðunum sem verst voru leikin, með friðun, varnargörðum og sáningu melfræs. Sett voru landgræðslulög árið 1965 þar sem viðfangsefni landgræðslu voru útvíkkuð og lögð áhersla á gróðurvernd og fyrirbyggjandi aðgerðir til að vinna gegn jarðvegseyðingu og hvers konar skemmdum á gróðri (Ása L. Aradóttir, 2001). Árið 1946 var fjöldi trjáplantna sem gróðursettur var á hverju ári yfir 100 þúsund. Árið 2000 höfðu um 84 milljón tré verið gróðursett á Íslandi. Í dag er aðeins 1,4% landsins ræktað og er talið að aðeins 24% séu ræktanleg (Bjarni D. Sigurðsson o.fl, 2000).

Fræðilegir möguleikar til bindingar kolefnis á Íslandi eru mjög miklir af þeirri ástæðu að talið er að um það bil 450 milljónir tonna af kolefni úr lífrænu efni og jarðvegi hafi tapast vegna gróður- og jarðvegseyðingar síðustu 1100 árin. Talan 450 milljón tonn er ekki alveg ljós en ef notað er breiðara bil má áætla að 120-500 milljón tonn hafi tapast. Til samanburðar ef allt þetta kolefni yrði endurheimt má segja að hægt væri að mæta allri CO<sub>2</sub> losun á Íslandi næstu 500 árin (Andrés Arnalds, 2002).

Þessi viðmiðun á aðeins við ef hraði landgræðslu er eins og hann er í dag. Ef landgræðsla ykist á næstu árum og árhundruðum myndi tímaramminn styttest úr 500 árum. Þessi dæmi hér á undan eru aðeins viðmiðunardæmi og ekki er hægt að segja alveg með fullri vissu að þessar tölur séu nákvæmlega þær réttu en þær eru ekki fjarri lagi og hægt að nota þær til viðmiðunar. Á mynd 12 sjást þau svæði þar sem rof á sér stað. Rauðu svæðin eru þau svæði sem verst eru leikin og mjög mikið rof á sér stað á.

Gulu svæðin eru þau, sem næst verst eru leikin og mikið rof á sér stað á. Á ljósgulu svæðunum er talsvert rof.



Mynd 12. Yfirlit yfir jarðvegsrof árið 1997  
(Ólafur Arnalds o.fl. 1997)

Á ljósgrænu svæðunum á lítið eða ekkert rof sér stað. Þau svæði eru aðallega á austan- og vestanverðu landinu. Versta rofið á sér stað á miðju landsins í virka eldgosabeltinu. Þar er jarðvegurinn viðkvæmastur og rof á sér auðveldlega stað. Á Austur- og Vesturlandi eru jarðlögin orðin eldri og eru ekki lengur eins viðkvæm og á virka eldfjallabeltinu. Á stórum svæðum austan- og vestanlands á lítið rof sér stað og nánast ekkert alvarlegt rof á sér stað.

Með því að virða fyrir sér á svona mynd af jarðvegsrofi er hægt að gera sér í hugarlund þá möguleika sem felast í því að græða upp land. Hægt er að sjá að um mjög stór svæði er að ræða, sem eru auðnir. Töluvert af auðnunum hefur þegar verið grætt upp og ljóst er að mikið verk er fyrir höndum við uppgræðslu ef ætlunin er að græða mest allt upp. En það er alls óvíst að slíkt sé raunhæft. Það þarf að spá í hversu nauðsynlegt það er og finnst mörgum ekki auðnirnar bara fallegar? Tæknilega væri hægt að græða mikið upp. Það sem hindrar að allt yrði grætt upp eru fjárveitingar og

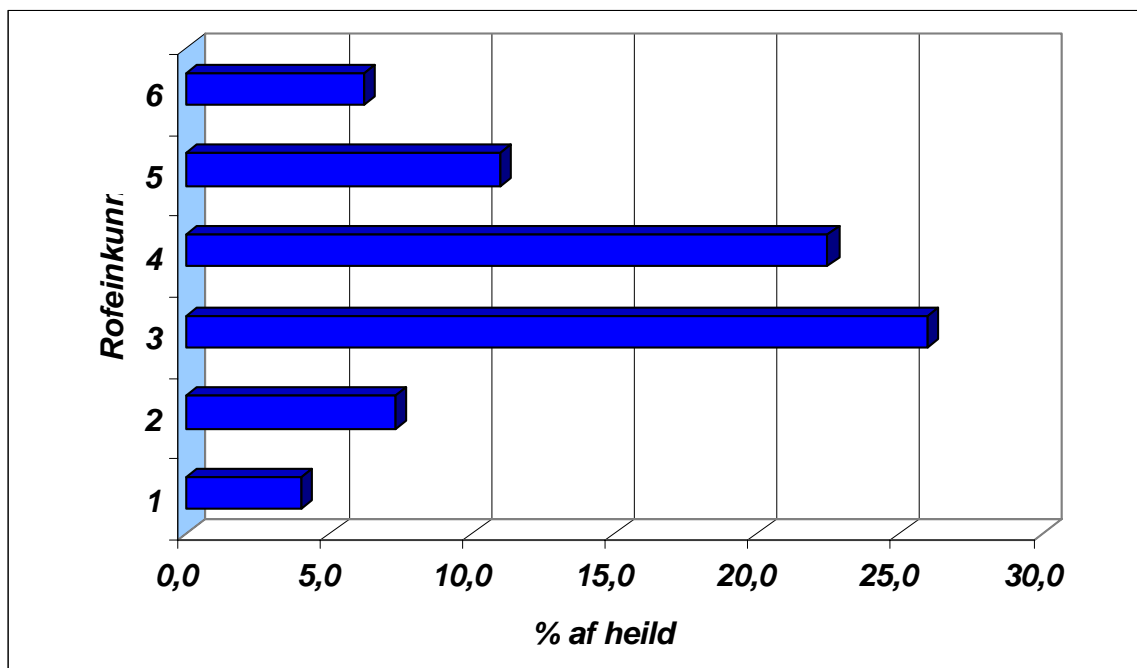
einnig gæti verið erfitt að skilgreina hver forgangsröðin er, hvar eigi að planta trjám og hvar ekki, hvar eigi að vera graslendi og svo framvegis.

Kortlagning á rofi hefur farið fram á vegum Landgræðslu ríkisins og Rannsóknastofnunar landbúnaðarins. Þessar stofnanir settu á laggirnar sérstakt samstarfsverkefni sem kallast *Jarðvegsvernd*, til þess að byggja grunn fyrir nýja landgræðsluáætlun. Markmið þessa verkefnis var að kortleggja jarðvegsrof á öllu landinu og var því verkefni lokið árið 1997.

Um er að ræða tímamótaránnsókn að því er þekkingu á jarðvegsrofi á Íslandi varðar. Afrakstur þessarar rannsóknar varð fyrsta heildarúttekt á jarðvegsrofi á Íslandi. Þetta umfangsmikla verkefni og kortlagning varði í sex ár eða á milli áráanna 1991 og 1996 (Ólafur Arnalds o.fl, 1997).

Landið var flokkað eftir því hvers kyns rof á sér stað og hve alvarlegt það er. Svæðunum var gefin einkunn á bilinu 0-5 eftir því hvað rofið er alvarlegt. Núllið þýðir ekkert rof og fimm þýðir mjög mikið rof. Mikið rof taldist vera á 22% landsins, en rofeinkunnir 3, 4 og 5 samtals á helmingi flatarmáls landsins að undanskildum jöklum, vötnum og fjalllendi. Eins og sjá má af mynd 13, þá er stærsti hluti landsins í rofflokkunum 2 og 3. Ekkert rof telst vera á 4000 km<sup>2</sup> lands. Það á einkum við um ræktað land, skóglendi og votlendi. Land sem hlýtur rofeinkunn 1 og 2 er ýmist gróið land eða hraun. Hæstu fjöll, jöklar, ár og vötn eru samtals um 23% landsins. Það kemur fram að um það bil fjórðungur landsins hlaut rofeinkunn 4 og 5. Þeir flokkar eru ekki taldir beitarhæfir og yfir helmingur landsins telst hafa alvarlegt rof með einkunnir 3,4 og 5. Þessar niðurstöður lýsa slæmu ástandi landsins. Þær matsaðferðir sem í þessari kortlagningu voru notaðar voru miðaðar við íslenskar aðstæður og erfitt er að bera þær saman við tölur sem birtar hafa verið fyrir önnur ríki. Það er samt hægt að segja að ástand landsins sé með því versta sem þekkist fyrir utan þurrkasvæði jarðarinnar (Ólafur Arnalds o.fl, 1997).





**Mynd 13. Hlutfall lands eftir rofeinkunn, jöklar, hæstu fjöll, ár og vötn eru undanskilin (Ólafur Arnalds o.fl, 1997)**

Mest af þessu alvarlega rofi á sér stað á sendnum auðnum landsins og alvarlegt rof, sem er að eyða samfelldu gróðurlendi er á um 14.000 km<sup>2</sup> landsins. Það kom einnig í ljós með kortlagningunni að á landinu eru víðáttumikil svæði þar sem jarðvegsrof telst ekki mikið. Þannig svæði eru aðallega á Vesturlandi og Norðvesturlandi, einnig á Suðurlandsundirlendinu og sums staðar á Austurlandi. Það kom einnig í ljós að rofdílar eru algengir í grónu landi en þeir eru fyrst og fremst afleiðing beitar.

Það hefur verið bent á að kostnaður við að bæta tjón á vistkerfum margfaldast eftir því sem eyðingin eykst. Þannig er í raun er oft of seint að bæta skaðann þegar auðnin er orðin ríkjandi (Ása L. Aradóttir o.fl. 1992). Þess vegna er mjög mikilvægt að fylgjast vel með því landi sem er vel gróið og fær rofeinkunn 3.

Rannsóknastofnun landbúnaðarins og Landgræðsla ríkisins hafa mótað afstöðu til nýtingar lands til beitar í samræmi við flokkun eftir rofkvarðanum. Tillögur vegna beitarnýtingar koma fram í töflu 8.

**Tafla 8. Rofkvarði og tillögur vegna nýtingar lands til beitar**

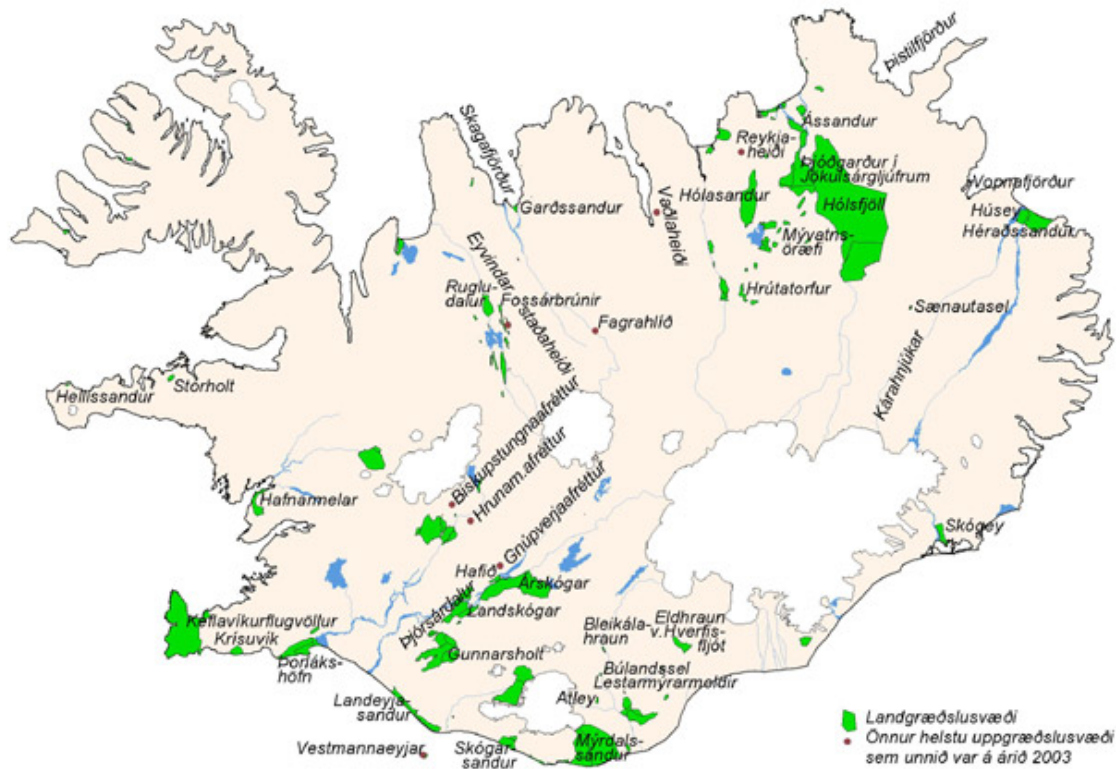
(Ólafur Arnalds o.fl., 1997)

<i>Rofeinkunn</i>	<i>Tillögur er varða beit</i>
0 Ekkert rof	Engar tillögur
1 Lítið rof	Engar tillögur
2 Nokkurt rof	Aðgát
3 Talsvert rof	Draga úr og stjórna beit
4 Mikið rof	Friðun
5 Mjög mikið rof	Friðun

Jaðrvegsrof hefur mikil áhrif á ákvarðanir um stjórn landnýtingar. Að mati Landgræðslu ríkisins og Rannsóknastofnunar landbúnaðarins telst land með rofeinkunn 4 og 5 ekki vera beitarhæft. Töluvert rof á sér stað á landi með rofeinkunn 3 og þarf að taka ákvörðun um nýtingu með hliðsjón af eðli rofsins, góðurfarsins og beitarsögu (Ólafur Arnalds o.fl, 1997).

Samkvæmt landgræðsluáætlun er gert ráð fyrir að landgræðsluverkefni til ársins 2013 verði að mestu neðan við 500 metra yfir sjávaryfirmáli. Gróðurskilyrði versna yfirleitt eftir því sem land hækkar og kostnaður við landgræðslu eykst jafnframt. Ekki er því gert ráð fyrir uppgræðslu á hálendi, nema þar sem jarðvegsrof ógnar mannvirkjum eða náttúruminum (Ólafur Arnalds o.fl, 1997).

Verkefni sem kallast „Bændur græða landið“ er samvinnuverkefni Landgræðslunnar og bænda um uppgræðslu heimalanda. Tilgangur þessa verkefnis er að styrkja bændur til landgræðslu á jörðum sínum, bæði til þess að stöðva rof og þekja land gróðri og gera það vel nothæft til landbúnaðar og annarra nota. Þátttakendur eru nú um 600 og hófst verkefnið árið 1990. Landgræðsla ríkisins hefur umsjón með verkefninu. Hún veitir ráðgjöf og styrki til bænda til áburðarkaupa og afhendir þeim fræ þegar það er nauðsynlegt. Verkefnið var fjármagnað af rekstrarlið Landgræðslu ríkisins og með styrkjum frá 14 sveitarfélögum. Á mörgum bújörðum hefur jarðvegseyðing verið stöðvuð eða verulega minnkuð, rofabörð hafa verið grædd upp og melar þaktir gróðri á ný. Áætlað er að á árinu 2002 hafi bændur unnið að landbótum á um 5500 hekturum í nafni þessa verkefnis (Landgræðslan, 2004).



Mynd 14. Landgræðslusvæði á Íslandi

(Landgræðslan, 2004)

### *Stærð svæða sem þarf að rækta til að binda CO<sub>2</sub>*

Í grein eftir Þorberg Hjálta Jónsson og Úlf Óskarsson í Skógræktarritinu, frá árinu 1996, er áætlað er að landgræðsluskógur á Íslandi þar sem lerki og lúpína vaxa saman geti bundið 3-4 tonn C/ha á ári (11-15 tonn af CO<sub>2</sub> á ári). Er þá miðað við tímann frá því ræktunin er nokkurra ára til 30-40 ára aldurs. 20-27 þúsund hektara svæði þarf til að binda 80 þúsund tonn C á ári (293 þúsund tonn CO<sub>2</sub> á ári) og 250-330 þúsund hektara til að binda alla koldíoxíðsmengun sem spáð er að verði frá landinu árið 2025.

Í 7-9 þúsund hektara landgræðsluskóg þarf 21-45 tonn af lúpínufraei og 18-36 milljónir trjáplantna (2500 til 4000 tré/ha) (Þorbergur Hjalti Jónsson, Úlfur Óskarsson, 1996).

### *Kostnaður kolefnisbindingar*

Ræktun til að ná CO<sub>2</sub> úr loftinu er tiltölulega ný hlið á landgræðslu og skógrækt. Hingað til hafa landbætur og endurheimt landgæða verið drifkraftur

landgræðslu og skógræktar á Íslandi. Hefur það stundur verið kallað að greiða skuldina við landið. Landgræðslustarfið er einnig stutt hagrænum rökum. Af skógunum gefst viður og með landgræðslu fást beitarsvæði. Af ræktun geta skapast ýmis önnur verðmæti. Þótt hagrænu rökunum sé oft haldið á lofti er það ljóst að ekki er skjótfenginn gróði af skógrækt og landgræðslu og oft er það hugsjónin sem drífur fólk áfram. Ræktun til að binda koldíoxíð úr lofti gæti breytt þeim forsendum (Þorbergur Hjalti Jónsson, Úlfur Óskarsson, 1996).

Ræktun landgræðsluskógar kostar líklega nærri 150-300 þúsund kr/ha. Út frá þessari forsendum kostar 1-2,7 milljarða að rækta landgræðsluskóg sem næði 100 þúsund tonnum af CO<sub>2</sub> úr andrúmsloftinu á ári. Þá er átt við heildarkostnað við alla ræktunina. Ræktun liðlega 10 þúsund ha/ári kostar um 1,5-3 milljarða kr/ári. Landgræðsluskógur sem bindur 3-4 tonn á ári getur líklega bundið samtals um 155 tonn C/ha á 50 árum. Út frá fyrrnefndri forsendu um ræktunarkostnað, 150-300 þúsund kr/ha, kostar 1-2 þúsund kr. að binda hvert tonn af kolefni. Þessi tala vanmetur þó kostnaðinn, því ræktunarkostnaðurinn er nánast allur í upphafi en koldíoxíðið er að bindast í marga áratugi. Það þarf því að reikna svokallað núvirði bindingarkostnaðarins (kr/tonnC), sem ekki verður farið nánar út í hér (Þorbergur Hjalti Jónsson, Úlfur Óskarsson, 1996).

Kostnaðurinn við bindingu koldíoxíðs í gróðri og jarðvegi er meiri en svo að undir honum verði staðið með samskotum eða sjálfboðavinnu.

Ljóst er að ræktun er hagkvæm leið samanborið við þær fórnir sem færa þyrfti til þess að minnka losnun koldíoxíðs svo máli skipti (Þorbergur Hjalti Jónsson, Úlfur Óskarsson, 1996).

Álver sem framleiðir 100 þúsund tonn á ári losar frá sér gróðurhúsalofttegundir að ígildi 180 þúsund tonnum af CO<sub>2</sub> á ári. Til að mæta að fullu þessari losun með uppgræðslu þyrfti að græða um 45 þúsund hektara á ári (miðað við 4 tonn CO<sub>2</sub>/ha á ári) en rækta 24 þúsund hektara af skógi (miðað við 7,5 tonn CO<sub>2</sub>/ha á ári bindistuðul). Hagkvæmast væri að breyta ógrónu landi í skóg. Kostnaðurinn gæti orðið um 40-100 milljónir á ári, jafnvel minna, allt eftir því hvað stofnkostnaðinum er deilt niður á langan tíma. Borið saman við framleiðsluverðmæti álsins er ekki um hátt kostnaðarhlutfall að ræða og sama gildir um algengan förgunarkostnað í iðnaði.

Við bruna 1 lítra af bensíni losna 2,32 kg af CO<sub>2</sub>. Til að mæta allri CO<sub>2</sub> notkun frá meðal fjölskyldubíl þyrfti ekki svo dæmi sé tekið að græða nema rúman hektara á nokkurra áratuga fresti. Nefna má Costa Rica sem dæmi um land sem hefur lagt gjald

á eldsneyti til að kosta bindiverkefni (Landvernd, 2004). Miðað við þessar forsendur þá myndi bifreið, sem ekið væri 20.000 km á ári og eyddi 8 L/100km, gefa frá sér 3,7 tonn CO<sub>2</sub> á ári.

Í þeim kostnaðardæmum sem hér eru sett upp er ekki tekið tillit til þeirrar verðmætaaukningar á landi sem uppgræðsla og skógrækt hafa í för með sér. Sama gildir um beinan arð og má þar nefna beit og viðarnytjar og einnig að koma í veg fyrir jarðvegsrof eða aðra hnignun landgæða. Einnig hefur uppgrætt land ýmsa kosti sem erfitt er að verðleggja og hægt er að nefna fegurð skóga, skjól sem af þeim fæst og útivistargildis þeirra. Telja Andrés og Úlfur að ekki væri hægt að ætlast til þess að „mengunarvaldurinn” myndi greiða allan kostnað við að mæta losun gróðurhúsalofttegunda frá athöfnum sínum (Andrés Arnalds og Úlfur Óskarsson, 2000).

Það eru ýmis meginmarkmið með ræktun nýrra skóga og samtímis á sér stað aukning í kolefnisbindingu. Það er talað um fjögur aðalmarkmið með ræktun nýrra skóga. Í fyrsta lagi er það nytjaskógur og er hann er til atvinnusköpunar, og fjárhagslegs ábata fyrir þá sem hann rækta. Í öðru lagi er það útivistarskógur, sem á að vera almenningi til ánægju. Í þriðja lagi er talað um verndarskóg eða landgræðsluskóg til verndar gróðri og jarðvegs. Í fjórða lagi eru ræktaðir nýir skógar til að nýta sem skjólbelti þar sem verið er að skýla ýmsum verðmætum eins og til dæmis byggingum, gördum og fólki (Landgræðslan, 2004). Rétt er að nefna það að Umhverfisstofnun bendir á að umfangsmikil og illa ígrunduð skógrækt getur leitt af sér skaða á vistkerfi, landslagi og menningarverðmætum í stað þess að vera bætandi fyrir umhverfið (Umhverfisstofnun, 2004). Þess vegna gæti verið nauðsynlegt að taka upp mat á umhverfisáhrifum fyrir umfangsmikla skógrækt.

Kostnaður kolefnisbindingar vegna átaksverkefnisins í landgræðslu og skógrækt á árunum 1997-2000 var 13.000 kr á hvert tonn vegna landgræðslu og um 19.000 vegna skógræktar og er þá rannsókna og umsýslukostnaður ekki reiknaður með. Raunkostnaðurinn fer síðan eftir því hve lengi svæðin binda kolefni og hve hratt. Kostnaður við tonnið í landgræðslu er mjög háð tímalengdinni en það má gera ráð fyrir 40 árum miðað við að landgræðslusvæðin þróist í átt til sjálfbærra vistkerfa. Kostnaðurinn er þá 325 kr. Þessum útreikningum verður að taka með fyrirvara, það þarf meðal annars að reikna með vaxtakostnaði, mismunandi lotulengd bindingar, breytilegum umhverfisþáttum og fleira. Þessi tala hér að ofan metur kostnað við

bindingu á eitt tonn koldíoxíðs og ekki eru tekin með í reikningin önnur jákvæð áhrif uppgræðslu og skógræktar (Landgræðslan, 2004).

Samkvæmt upplýsingum úr skýrslu sem gerð var á vegum landgræðsluáttaksins þá sést að hver gróðursettur hektari kostaði að jafnaði 128.000 krónur. Þá er verið að miða við skógræktarluta verkefnisins og í hann fóru 190 milljónir króna. Alls var gróðursett í tæpa 1.500 ha og er áætluð árleg CO<sub>2</sub> binding tæplega 10.000 tonn (Landgræðslan, 2004).

**Tafla 9. Kolefnisbinding á áttakssvæðum Landgræðslunnar 1997-2000**

(Landgræðslan, 2004).

<b>Staðir</b>	<b>Landsvæði (ha)</b>	<b>Bindistuðull tonn CO<sub>2</sub>/ha</b>	<b>Alls kolefnisbinding tonn CO<sub>2</sub></b>
<b>Höfði</b>	143	3,67	524
<b>11 jarðir í Skagafirði</b>	175	4,03	706
<b>Jarlstaðir</b>	96	3,30	317
<b>Grænavatnsmelar</b>	166	3,30	548
<b>Villingafjall</b>	221	2,57	567
<b>Ássandur</b>	257	2,20	565
<b>Ærlækjarsel</b>	208	2,38	496
<b>Hólsfjöll</b>	1500	2,57	3850
<b>Héraðssandur</b>	78	1,83	143
<b>Eldhraun v/Hverfisfljót</b>	73	3,85	281
<b>Búlandssel</b>	32	2,93	94
<b>Atley</b>	184	3,67	675
<b>Geitasandur / Keldur</b>	450	3,67	1650
<b>Stóri Klofi</b>	149	3,30	492
<b>Landsskógar</b>	470	3,30	1551
<b>Árskógar (Sölvahraun)</b>	848	2,93	2487
<b>Hafið</b>	187	2,93	549
<b>Tunguheiði</b>	517	2,93	1517
<b>Þorlákshöfn</b>	166	2,93	487
<b>Samtals</b>	<b>5920</b>	<b>Meðaltal 3,07</b>	<b>Samtals 17498</b>

Samkvæmt upplýsingum frá Andrésí Arnalds og Úlfi Óskarssyni þá er kostnaður kolefnisbindingar 733 kr/tonn á ári CO<sub>2</sub> ef miðað er við 30 ára tímabil og kostnaðurinn yrði 366 kr/tonn á ári CO<sub>2</sub> ef miðað er við 60 ára tímabil. Miðað er við 450 milljón króna framlag til átaks í landgræðslu og skógrækt og að bundin hafi verið 22 þúsund tonn af CO<sub>2</sub>. Með beinni deilingu út frá því kostar 20 þúsund krónur að binda hvert tonn af CO<sub>2</sub>. En það er ekki rökrétt því gróðurinn er að binda CO<sub>2</sub> í áratugi. Aðeins er um að ræða stofnkostnað upp á 20 þúsund krónur tonnið.

Kostnaðarlega séð skiptir miklu máli að uppgræðsluaðgerðir séu unnar af jöfnum þunga allt tímabilið til 2010, þar sem það er hagkvæmast þegar upp er staðið (Andrés Arnalds og Úlfur Óskarsson, 2000).

Bændur gætu gegnt mikilvægu hlutverki í bindingu kolefnis. Hlutverk þeirra gagnvart Kyotobókun loftslagssáttmálans gæti orðið stórt. Bændur eru í mikilli nálægð við mörg uppgræðslu- og skógræktarsvæði og þeir búa yfir þeirri þekkingu og þeim tækjakosti, sem nauðsynlegur er. Þeir geta því bundið kolefni á hagkvæmari hátt en flestir aðrir hópar í þjóðfélaginu. Þjóðin mun hafa beinan hag af slíku og einnig eru miklir hagsmunir í húfi fyrir bændur. Bændur í búfjárrækt hefðu í raun beinan arð af uppgræðslunni vegna þeirra landbóta sem myndu eiga sér stað á jörðunum.

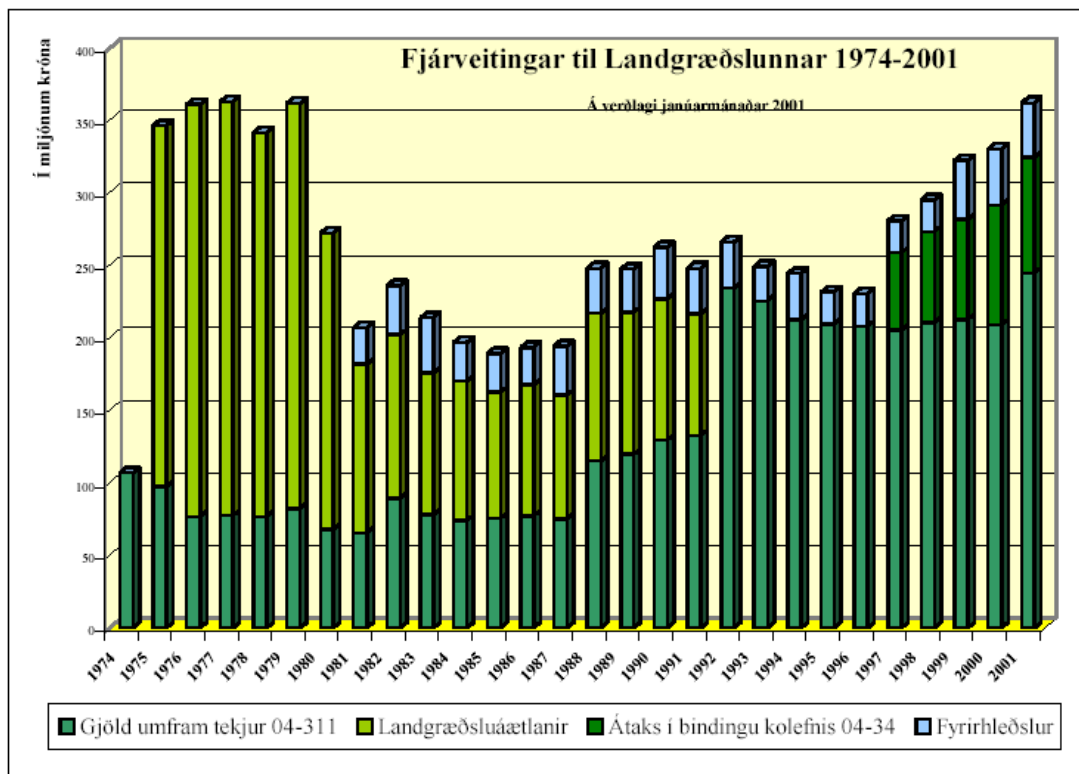
Sem dæmi má nefna að ef ákveðið yrði að bændur gerðust verktakar í samstarfi við Landgræðsluna um að hafa aukið árlega bindingu CO<sub>2</sub> um 200 þúsund tonn árið 2012 með uppgræðslu. Gróft reiknað myndi slíkt verkefni kosta 200 milljónir á ári og þá væri verið að koma af stað uppgræðslu á um 4000 ha af nýjum svæðum á ári (Andrés Arnalds og Úlfur Óskarsson, 2000).

### *Fjármögnunaraðilar*

Samkvæmt Kyotobókuninni er hægt að versla alþjóðlega með útblástursheimildir. Íslendingar eiga ekki möguleika á því. Íslendingar mega auka losun sína um 10% og svo kemur íslenska ákvæðið ofan á það, sem er 1,6 milljónir tonna til viðbótar við þann útblásturskvóta sem fyrir er. Ekki má versla með kvótann í íslenska ákvæðinu. Innanlandsmarkaður með útblásturskvóta er atriði sem hugsanlega mætti skoða. Settur væri kvóti á fyrirtæki og mættu fyrirtæki versla með kvótann sín á milli. Dæmi um það er að ef ein verksmiðja væri að draga úr mengun mætti næsta verksmiðja kaupa kvóta frá henni. Einnig væri möguleiki fyrir verksmiðjur að græða upp land til að mæta útblæstri sínum. Verksmiðjur gætu borgað bændum til að græða upp land fyrir sig, til þess að mæta útblástursmarkmiðum sínum. En þessi markaður með innanlandskvóta er á algeru hugmyndastigi og ekki er á dagskrá að taka hann upp. En þetta er einn möguleiki sem til staðar er (Auður Ingólfssdóttir, munnleg heimild, 2004).

Mengunargjald er algengt í mörgum löndum til dæmis fyrir losun sorps og endurvinnslu. Ef tekið væri til dæmis upp mengunargjald af CO<sub>2</sub> vegna

jarðefnaeldsneytis, væri að hluta hægt að fjármagna kolefnisbindingu. Hægt væri að mæta menguninni frá meðal fjölskyldubíl í 40-80 ár, með uppgræðslu á 1,4 ha lands, sem er illa farið og með lágt kolefnisinnihald, eða með því að gróðursetja tré í 0,7 ha svæði. Kostnaður við að mæta útblæstri CO<sub>2</sub> vegna bensíns og díselolíu myndi krefjast þess að eldsneytisverð myndi hækka um 2-4% (Andrés Arnalds, 2002). Hætt er þó við að slíkt myndi ekki mælast vel fyrir, eins og jafnan þegar um er ræða aukna skattlagningu á almenning.



Mynd 15. Fjárveitingar til Landgræðslunnar 1974-2001

(Landgræðsla ríkisins, 2004)

Á mynd 15 má sjá að fjárveitingar ríkisins til landgræðslu jukust verulega eftir samþykkt svokallaðrar þjóðargjafar árið 1974. Þær fóru síðan stöðugt lækkandi til ársins 1997 en þá hófst átak í landgræðslu, vegna aðildar Íslands að rammasáttmála Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (Landgræðsla ríkisins, 2004).



## *Raunhæf markmið með tilliti til landnýtingar, náttúruverndar og kostnaðar*

Hægt er að segja að raunhæf markmið kolefnisbindingar séu ekki það sama og möguleikar kolefnisbindingar. Eins og áður hefur komið fram virðast möguleikarnir óendanlegir. Stór landsvæði bíða þess að verða grædd upp og fá endurheimt sín fyrri landgæði og hægt væri að binda hundruð þúsundir tonna af kolefni á ári hverju. En raunveruleikinn er ekki svona, ekki er hægt að græða allt upp. Ekki er nema ákveðinni upphæð varið árlega í uppgræðslu og takmarkar það auðvitað bindingarmöguleika. Einnig geta átt sér stað hagsmunaárekstrar, einhverjir vilja gróðursetja tré í stór landflæmi á meðan aðrir telja best að girða svæðin af og láta náttúrulega uppgræðslu hafa sinn gang. Að gróðursetja tré myndi líklega skila meiri kolefnisbindingu en það er mikið meiri vinna heldur en að girða í kringum svæði og láta það síðan eiga sig.

Kolefnisbinding er ekki eina ástæða þess að nauðsynlegt er að græða upp land. Samhliða kolefnisbindingunni er gæði vistkerfanna aukin og líffræðileg fjölbreytni jafnhliða. Eitt af markmiðum loftslagssáttmálans er að auka líffræðilega fjölbreytni samhliða því að draga úr gróðurhúsalofttegundum með bindingu. Þegar land er að gróa upp þá eykst fjölbreytileiki lífsins í jarðveginum. Landi er breytt úr auðn í landsvæði sem ríkt er af lífi. Í alþjóðlegu samhengi er einnig hægt að líta á það að jarðvegseyðing er mikil ógn við tilveru jarðarbúa. Svæðin eru alltaf að minnka þar sem matvælaframleiðsla er möguleg og jarðarbúum er alltaf að fjölga. Það er mikilvægt starf að sporna við jarðvegs- og gróðureyðingu hvort sem það er á Íslandi eða annars staðar í heiminum. En ýmsar spurningar vakna, eins og til að mynda hver séu markmið uppgræðslu? Ef hægt væri að gefa sér að fjármagn væri ekki takmarkandi þáttur, sem er að sjálfsögðu óraunhæfur möguleiki, myndi þá allt vera grætt upp sem mögulegt er eða yrði eitthvað skilið eftir? Hvernig er ákveðið hvar á að vera skógur og hvar á ekki að vera skógur? Hvernig er ákveðið hvað á að græða upp og hvað ekki? Það er mjög langt í land að stórir hlutar landsins verði skógi vaxnir og nú eru aðeins um 1% landsins þakið skógi. Fólk hefur einnig mismunandi viðhorf til ræktunar. Sumum finnst auðnirnar fallegastar, þar sem varla sést stingandi strá svo langt sem augað eygir. Öðrum finnst svo langfallegast að hafa skóg og að svæðin séu sem gróðurrikust. Einnig eru skiptar skoðanir á því hvaða plöntutegundir á að nota við uppgræðsluna. Margir vilja nota lúpínu við uppgræðslu á meðan aðrir eru alfarið á

móti henni í íslensku landslagi. Ekki hefur verið mikið um hagsmunaárekstra að ræða um það hvort og hvað eigi að rækta á ákveðnum svæðum. Skógræktin ákveður hvar á að rækta skóg og hvernig skóg. Landgræðslan ákveður það hvar á að græða upp land og hvaða tegundir notaðar eru. Bændur hafa einnig mikið að segja um hvers konar ræktun þeir vilja á jörðum sínum. Þær raddir sem vilja viðhalda auðnunum eru ekki margar.

### *Þróun bindingar kolefnis á næstu 50 árum*

Ekki er gott að sjá hvernig málefni munu þróast á næstu 50 árum. Ekki er hægt að vita hvort landgræðsla heldur áfram á sama hraða og núna eða hvort afköstin verði meiri eða hvort það dragi úr hraða landgræðslu. Ekki er heldur gott að sjá hversu mikið mun fjúka burt af jarðvegi eða hvort ástand landsins batni óðum. Þó viljinn sé fyrir hendi að græða sem mest land upp þarf fjármagn til þess að græða upp. Það fer mikið eftir því hversu mikið fjármagn verður lagt í verkið hversu mikið er hægt að græða upp og binda af kolefni. Verður einhvern tíma hægt að græða það mikið upp að það nái að binda allt það koldíoxíð sem fer út í andrúmsloftið á Íslandi. Er það raunhæfur möguleiki að það verði hægt með kolefnisbindingu einni saman? Auðvitað verður að draga úr útblæstri eins og hægt er, en það er ekki alltaf mögulegt. Það er varla raunhæfur möguleiki að stöðva algerlega útblástur gróðurhúsalofttegunda, því samfélagið byggist á margskonar iðnaði og starfsemi þar sem það er nánast óhjákvæmilegt að valda einhverri mengun. Hér á landi er takmarkað svigrúm til þess að draga úr losun GHG, vegna þess að hlutfall endurnýjanlegra orkugjafa er það hátt. Þess vegna skiptir bindileiðin miklu máli hér á Íslandi og nauðsynlegt er að grípa til aðgerða og lágmarka mengunina með ýmsum hætti. Markmið Loftslagssamningsins er ekki að hætt verði að blása út GHG en ætlast er til þess að þjóðir heims dragi úr mengun og auki hana alls ekki. Ekki vitum við núna hvort að meirihluti samgöngutækja verði vetnisbílar, rafmagnsbílar eða knúnir annars konar orkugjöfum, sem ekki er jarðefnaeldssneyti. Jafnframt hvort bensínnotkun muni halda áfram að aukast fram eftir öldinni.

Vísbendingar eru um að kolefnisbinding með landgræðslu og skógrækt muni aukast mun meira en áætlanir stjórnvalda hafa gert ráð fyrir. Þetta er ekki aðeins vegna þess að bindistuðlar virðast vera hærri, heldur einnig vegna meiri afkasta í landgræðslu en reiknað var með, til dæmis í uppgræðslustarfi bænda.

Þegar spáð er almennt í það með hvaða hætti þróunin komi til með að verða næstu fimm tíu árin varðandi bindingu kolefnis er ljóst að ekki er auðvelt að gera sér einhverja raunhæfa mynd í hugarlund. Kemur þar einkum til að fimm tíu ár eru verulega langur tími og í raun óendanlega margir áhrifaþættir sem koma til með að hafa áhrif á þróun mála á því tímabili.

Sé þróun undanfarinna ára skoðuð í markmiðssetningu fyrirtækja er ljóst að umhverfismálin skipa þar æ ríkari sess. Í stefnumörkun margra stórra fyrirtækja er tekið fram að fyrirtækið muni einbeita sér að því að reka ábyrga stefnu gagnvart umhverfinu og að það muni reyna að þróa sínar framleiðsluvörur í samræmi við þau markmið. Er í þessu sambandi vert að nefna viðleitni bifreiðaframleiðenda til að koma fram með sparneytnari farartæki og einnig farartæki sem noti aðra og umhverfisvænni orkugjafa en jarðefnaeldsneyti.

Yfirlýsingar stórra fyrirtækja um ábyrga stefnu gagnvart umhverfinu eru vissulega góðra gjalda verðar. Hætt er þó við að þær verði lítið meira en orðin tóm ef þau þurfa ekki að lúta einvers konar eftirliti. Ef fyrirtæki geta komið fram með yfirlýsingar um ábyrga stefnu sína í umhverfismálum, án þess að þurfa að lúta aðhaldi, yrði þannig til kapphlaup stórra og fjársterkra fyrirtækja um að markaðssetja stefnu sína í umhverfismálum sem best. Þannig yrði almenningur blekkur og teldi þannig ranglega að viðkomandi fyrirtæki væri ábyrgt gagnvart umhverfinu og rétt væri að snúa viðskiptum sínum til þess.

En hvernig yrði eftirlit með athöfnum fyrirtækja í umhverfismálum best tryggt? Segja má að í markaðshagkerfum vestrænna þjóða, sé markaðurinn sem slíkur besti eftirlitsaðilinn. Telja má líklegt að aukin umhverfisvitund almennings komi til með að þíða aukið vægi umhverfismála í túlkun neytenda á þeim ábata sem þeir hljóta í viðskiptum sínum við einstök fyrirtæki. Þannig munu fyrirtæki þurfa í æ ríkari mæli að horfa á allan framleiðsluferil vara sinna og tryggja að hann sé sem umhverfisvænstur í heild sinni. Sjónarhornið muni þannig verða víðara og fyrirtækið horfi á hvaðan hráefnin í framleiðsluvörurnar eru fengin, með hvaða hætti þau eru unnin, hvernig varan er framleidd hjá fyrirtækinu og að lokum hvernig varan er notuð af kaupendum. Það muni þannig þurfa að tryggja að öll framleiðsla og meðferð vörunnar í heild sinni valdi sem minnstum umhverfisaskaða og veiti viðskiptavinunum sem mestan ábata umhverfislega séð (Einar Gunnar Einarsson, viðskiptafræðingur M.Sc., munnleg heimild 2004).

Langt er þó frá, að þetta sjónarmið verði látið ráða öllu á komandi áratugum. Eftirlit og inngríp opinberra aðila mun einnig í vaxandi mæli koma til. Eftir því sem vitund almennings um hreinna umhverfi og meiri loftgæði eykst, vex einnig þrýstingurinn á opinbera aðila um að setja reglur, sem lúta að því að fyrirtæki taki með í reikninginn þann umhverfisskaða, sem þau valda. Þannig kæmu til kostnaðarliðir, misstórir eftir eðli þeirrar starfsemi sem fyrirtækið stundaði, sem lækka myndu hagnað og endurspegla þann umhverfisskaða sem um væri að ræða.

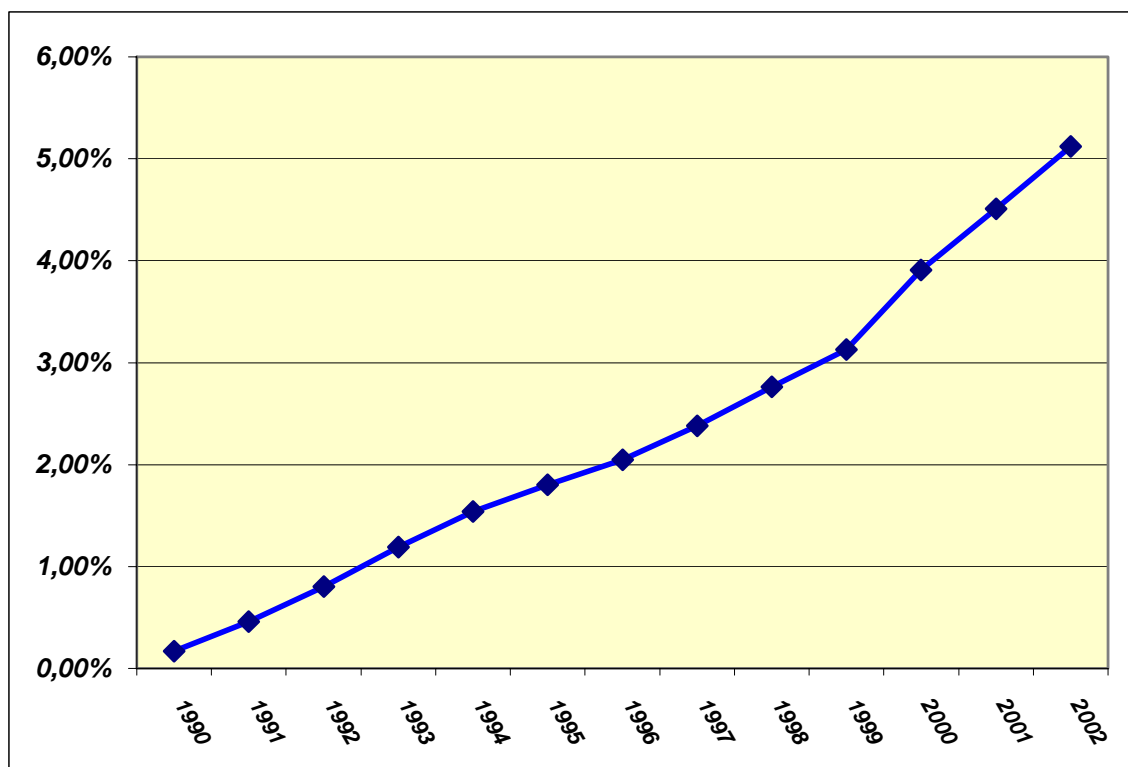
Slík meðferð kostnaðar í reikningsskilum hefur mætt mikilli andstöðu margra fyrirtækja, einkum þeirra sem menga mikið með framleiðsluferlum sínum, eða framleiða vörur sem hafa í för með sér mikla mengun og umhverfisskaða. Þessir kostnaðarliðir koma til með að hafa afgerandi áhrif á afkomu margra stórra fyrirtækja og verri afkoma þýðir að fjárfestar líta á viðkomandi fyrirtæki sem verri fjárfestingarkost og gengi hlutabréfa viðkomandi fyrirtækja hrynur. Í þessu sambandi er jafnframt vert að geta þess að þær aðgerðir sem myndu hafa bætandi áhrif á umhverfið, svo sem gróðursetning trjáa eða annað þess háttar, myndu þó koma viðkomandi fyrirtæki til góða og lækka þann kostnað, sem það þyrfti að taka á sig. Með því að þessar breytingar myndu koma til framkvæmda, myndi eftirlitshlutverk hlutabréfamarkaðarins verða virkjað og mikilvægi umhverfisins í starfsemi fyrirtækja verða viðurkennt, með fjárhagslegum mælikvörðum. Það er að mestu óljóst hvenær og með hvaða hætti þessar aðferðir verða teknar upp en telja má öruggt að svo verði í náninni framtíð (Einar Gunnar Einarsson, viðskiptafræðingur M.Sc., munnleg heimild 2004).

Þótt hér að framan hafi verið lýst tvenns konar aðferðum, sem líklegar eru til að ráða miklu um framtíðar farveg umhverfismála er ljóst að ekki er hægt að láta markaðsöflin, með tiltekinni aðkomu opinberra aðila, eina og sér um að ráða þróuninni. Ákveðinn markaðsbrestur er og verður óhjákvæmilega til staðar. Hann snýr einkum að tímasetningu upplýsinga sem tiltækar eru á markaðnum og ákvarðanatöku byggðri á þeim. Þannig koma tilteknar skemmdir á umhverfinu oft ekki í ljós fyrr en löngu eftir að þær hafa átt sér stað og ákvarðanir á markaðnum á hverjum tíma eru þannig teknar á grundvelli gamalla upplýsinga. Til að koma að nokkru í veg fyrir þennan markaðsbrest er ljóst að hlutverk opinberra aðila hlýtur áfram að verða mjög mikilvægt og í sumum tilvikum ráðandi. Opinberir aðilar, ríkis- og sveita- eða hérðasstjórnir, í hverju landi, bregðast þá við aðstæðum á hverjum og einum stað. Alþjóðlegar ráðstefnur, þar sem stefna í umhverfismálum er samræmd,

skapa svo þann ramma sem þær skulu starfa innan. Slíkar alþjóðlegar ráðstefnur verða áfram ráðandi og í raun lykilatriði varðandi alla ákvarðanatöku og aðhald einstakra ríkja í umhverfismálum (Einar Gunnar Einarsson, viðskiptafræðingur M.Sc., munnleg heimild 2004).

### *Mikilvægi kolefnisbindingar*

Hvert er mikilvægi kolefnisbindingar? Skiptir hún einhverju máli þegar litið er á heildarmyndina, bæði alþjóðlega og innanlands? Er kolefnisbinding stór hluti af því að draga úr gróðurhúsalofttegundum? Hversu stór hluti af aðgerðapakkanum er kolefnisbindingin?



**Mynd 16. Hlutfall kolefnisbindingar af heildarútbæstri**

(Umhverfisráðuneytið, 2004)

Er kolefnisbinding það stór hluti af heildarmyndinni að hún skipti einhverju máli? Skiptir það einhverju máli fyrir Íslendinga að græða upp land og rækta skóg til þess að koma í veg fyrir loftslagsbreytingar? Eru Íslendingar ekki svo lítill hluti af heildarmyndinni að aðgerðir þeirra skipta sáralitlu máli? Auðvitað er nauðsynlegt að allir grípi til aðgerða þótt þeir séu ekki stór hluti af heildarmyndinni á alþjóðlegum grundvelli. Kolefnisbinding er stórt hlutfall af heildarútbæstri á Íslandi og er þess

vegna mikilvægur þáttur í að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda hér á landi. Það munar um allt það land sem grætt er upp og þann skóg sem ræktaður er. Tilgangur landgræðslu og skógræktar er ekki eingöngu að binda kolefni. Oft eru aðrar ástæður fyrir því. Margt fólk er áhugafólk um skógrækt og gróðursetur tré í stórum stíl sér til ánægju. Það fólk er að sinna áhugamáli sínu og fegra umhverfi sitt í leiðinni. Það er hæpið að kolefnisbinding sé þeim efst í huga við gróðursetninguna.

Einnig er nauðsynlegt að græða upp land til að hefta uppblástur og kemur þá kolefnisbinding einnig sjálfkrafa inni. Hægt er að nota bindinguna sem mótvægisáðgerð, ásamt öðrum leiðum. Hægt er að fara fram á að mengandi starfsemi undirgangist skuldbindingar til þess að binda tiltekið magn koldíoxíðs, ásamt því að draga úr mengun og jafnframt geta fyrirtæki tekið það upp hjá sjálfum sér. Til dæmis gætu álver ákveðið að græða upp land til þess að mæta útblæstri sínum og í því sambandi má nefna að Alcoa er að rækta upp skóg, Skógurinn er staðsettur mitt á milli Reyðarfjarðar og athafnasvæðis fyrirtækisins á Austurlandi. Álver gætu orðið fjármögnunaraðili landgræðslu með þeim hætti að bæta fyrir útblástur sinn.

Sumarið 2003 voru fyrstu plönturnar gróðursettar í Reyðarfirði. Þessi gróðursetning var upphafið að því sem Alcoa hefur kallað „tíu milljón trjáa verkefnið“. Fyrirtækið mun gefa Fjarðarbyggð 450 trjáplöntur árlega fram til 2007. Gróðursetningarsvæðið er í daglegu tali kallað af heimamönnum „Alcoa-skógurinn“. Það eru starfsmennirnir í hverju landi fyrir sig sem taka að að sér að gróðursetja trén (Alcoa, 2004).

Áætlun Alcoa er að gróðursetja tíu milljón tré fyrir árið 2020. Þessi tré munu verða gróðursett um allan heim og eiga þau að geta bundið 250 þúsund tonn af koldíoxíði á hverju ári. Til samanburðar þá verður árleg framleiðslugeta Fjarðaráls 322 þúsund tonn af áli (Alcoa, 2004). Útblástur álvers af þeirri stærðargráðu mun verða um það bil 400 þúsund tonn af CO<sub>2</sub> á ári. Miðað við það að útblástur frá hverjum 100 þúsund tonnum losi 180 þúsund tonn af CO<sub>2</sub> ígildum. Samkvæmt þessum tölum þá á álverið langt í land með að gróðursetja tré til að bæta fyrir útblástur sinn að fullu. Trén taka aðeins upp brot að því CO<sub>2</sub> sem streymir út úr álverunum. Það er þó mjög jákvætt að álverin séu að gróðursetja tré til þess að bæta fyrir útblástur sinn þótt trén taki ekki upp nema brot af því sem streymir út af GHL.

Ef farið verður eftir mengunarbótareglunni (Polluter Pays Principle), sem sett var fram á Ríó ráðstefnunni 1992 þá þarf sá sem mengar að bæta fyrir mengun sína.

**Tafla 10. Hlutfall kolefnisbindingar af heildarútblastri á Íslandi**

(Umhverfissráðuneytið, 2004)

<b>Ár</b>	<b>Heildarútblastur CO<sub>2</sub> ígildi</b>	<b>Heildarbinding Tonn/CO<sub>2</sub></b>	<b>Hlutfall</b>
<b>1990</b>	3.321.750	5.940	0,17%
<b>1991</b>	3.162.530	14.680	0,46%
<b>1992</b>	3.069.800	24.690	0,80%
<b>1993</b>	3.111.740	37.160	1,19%
<b>1994</b>	3.059.480	47.120	1,54%
<b>1995</b>	3.113.310	56.340	1,80%
<b>1996</b>	3.203.790	65.730	2,05%
<b>1997</b>	3.388.160	80.840	2,38%
<b>1998</b>	3.405.580	94.000	2,76%
<b>1999</b>	3.578.950	112.310	3,13%
<b>2000</b>	3.352.230	131.270	3,91%
<b>2001</b>	3.212.440	144.980	4,51%
<b>2002</b>	3.181.170	163.000	5,12%

## Samantekt

Helstu niðurstöður þessa verkefnis eru þær að möguleikar kolefnisbindingar á Íslandi eru frekar miklir vegna sérstæðra eiginleika hins íslenska eldfjallajarðvegs, Andosol. Mikið af kolefni hefur fokið á haf út í gegnum aldirnar og þess vegna eru möguleikarnir miklir á því að endurheimta kolefnið. Kolefnisbinding getur auðveldlega verið ein þeirra leiða sem Íslendinga geta notað til þess að draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda. Árið 2000 var kolefnisbindingin 131.270 þúsund tonn eða sem samsvarar tæpum 4% af heildarútblastri. Frá árinu 1997 hafa farið fram rannsóknir á kolefnisbindingu í gróðri og jarðvegi vegna átaks ríkisstjórnarinnar í landgræðslu og skógrækt. Komnar eru niðurstöður úr mörgum þessara rannsókna þar sem ákveðnar binditölur eru settar fram. Svo virðist vera að þessar binditölur séu frekar teygjanlegar og erfitt að setja fram eina ákveðna tölu, sem á til dæmis við um kolefnisbindingu ákveðinna trjátegunda. Tölurnar koma mismunandi út eftir því hvaða forsendur eru notaðar, svo sem aldur trjáanna og þéttleiki gróðurþekju. Kolefnisbinding er mótvægisáðgerð sem getur aldrei orðið nema hluti af heildarútblastri CO<sub>2</sub> á Íslandi. Ekki er hægt að græða það mikið það muni mæta öllum útblæstri frá Íslandi, sem er rúmlega 3 milljónir tonna af CO<sub>2</sub>. Árið 2002 var kolefnisbindingin komin í 163 þúsund tonn af CO<sub>2</sub> á ári eða sem samsvarar 5,12% af heildarútblastri gróðurhúsalofttegunda á Íslandi. Það er langt í land að landgræðsla muni mæta öllum útblæstri en samhliða með öðrum markmiðum eins og í samgöngum, sjávarútvegi og alþjóðasamskiptum er kolefnisbindingin mikilvægur þáttur. Kolefnisbinding er í mörgum tilfellum ódýrari leið til þess að vega upp á móti áhrifum CO<sub>2</sub> heldur en ýmsar aðrar leiðir sem hafa mikil áhrif á iðnað og þar af leiðandi á efnahagslíf Íslands.

Komið hafa upp raddir sem líta á kolefnisbindingu sem flóttaleið frá því að þurfa að draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda. Loftslagssamningurinn hefur sett fram alls kyns reglur og ákvæði til þess að það þáð komi skýrt fram það sem leyfilegt sé að gefa upp í bindingarbókhaldið. Kolefnisbinding er góð leið samhliða öðrum aðgerðum til þess að minnka styrk koldíoxíðs í andrúmslofti.

Í Kyotobókuninni segir að það megi nota skógrækt sem leið til þess að binda CO<sub>2</sub> í andrúmslofti og í Marrakesh samkomulaginu fékkst því framgengt að hægt væri að nota landgræðslu, sem leið til að binda kolefni. Það var mjög mikilvægt fyrir okkur



Íslendinga af því að hér eru ekki miklir möguleikar til skógræktar í stórum stíl.

Hæðarskilgreiningar trjáa hafa ekki hentað fyrir okkur hér á Íslandi. Það er skilgreint sem skógur ef trén eru hærri en 2-5 metrar en augljóst er að ef Íslendingar ætla að fara eftir þessum skógræktarskilgreiningum þá er það hvatning til þess að nota innfluttar trjátegundir en ekki innlendu birkitrén. Meirihluti íslensku skóganna er lægri en tveir metrar. Ekki hefur verið tekin ákvörðun hvaða hæðarskilgreiningu á að nota á skóga á Íslandi. Það er ljóst að ef tekin verður sú ákvörðun að hafa skógarskilgreiningu yfir tvo metra, þá munu 80% birkiskóganna teljast til landgræðslu.

Möguleikar til fjármögnunar geta verið með ýmsum hætti. Ríkisstjórnin leggur ákveðna upphæð í landgræðslu á ári hverju en fjármögnunin gæti einnig verið með þeim hætti að fyrirtæki og stofnanir borgi upp mengun sína með því að græða upp ákveðin svæði.

Margir þjóðfélagshópar taka þátt í því að græða landið. Landgræðslan er í samstarfi við fjölmarga aðila. Það má nefna bændur, áhugafólk, landgræðslufélög og sveitarfélög sem leggja einnig sitt af mörkum.

Höfundur hefur farið í gegnum nokkrar af þeim fræðigreinum sem skrifaðar hafa verið um kolefnisbindingu bæði á Íslandi og erlendis. Mismunandi var hvort um var að ræða viðurkenndar ritrýndar greinar eða ekki, nokkrar greinanna hafa verið birtar í viðurkenndum alþjóðlegum tímaritum á meðan aðrar hafa aðeins verið gefnar út hér á landi. Svo virðist vera sem fræðimenn séu ekki á einu máli um mikilvægi kolefnisbindingar í gróðri og jarðvegi. Sumir vilja meina að möguleikarnir séu óendanlegir. Aðrir eru hins vegar ekki svo bjartsýnir og segja að möguleikarnir séu takmarkaðir. Það virðist einnig vera þannig að í málefnum kolefnisbindingar, eins og í mörgum öðrum vísindum að ekki nein ein niðurstaða sem sé sú eina rétta. Höfundur vill meina að möguleikar kolefnisbindingar hér á landi séu góðir upp að vissu marki. Varla er raunhæft að endurheimta allt það kolefni sem horfið hefur í gegnum aldirnar. Á mörgum stöðum er jarðvegur alveg horfinn og það sem eftir stendur er aðeins grjót og er ekki hlaupið að því að græða upp og mynda jarðveg á þess konar svæðum.

Helsta markmið landgræðslu og skógræktar er að hefta gróður- og jarðvegseyðingu og auka gæði lands. Vætanlega mun það markmið verða áfram helsta ástæða landgræðslu. Binding kolefnis er gott markmið sem kemur í kjölfarið af öðrum landgræðsluáðgerðum.

Athyglisvert er að stefnumörkun ríkisstjórnar Íslands er nánast engin í málefnum kolefnisbindingar. Fyrir utan átak ríkisstjórnarinnar á milli árunna 1997 og 2000 þá hafa ekki verið nein skýr markmið hvernig kolefnisbindingu skal háttað á næstu árum. Meðal annars vegna þessa gæti verið erfitt að sjá fyrir hvernig málin munu þróast á næstu áratugum. Nauðsynlegt er að um skýra stefnumörkun sé að ræða í málefnum kolefnisbindingar ef góður árangur á að nást. Greinilegt er að heildarbinding kolefnis hefur aukist jafnt og þétt síðan árið 1990 og árið 2002 var hún orðin rúm 5% af heildarútbæstri gróðurhúsalofttegunda. Ekki er gott að spá fyrir hve hátt hlutfall kolefnisbindingin getur orðið á næstu áratugum vegna margra óvissuþátta sem koma inni á svo löngum tíma. Líklegt verður þó að teljast að hún aukist jafnt og þétt sé miðað við aukninguna frá 1990. Ef hins vegar útblástur gróðurhúsalofttegunda eykst þá verður sífellt erfiðara að auka hlutfall kolefnisbindingar sem mótvægisáðgerðar. Nauðsynlegt er fyrir Ísland að leggja áherslu á það að losun gróðurhúsalofttegunda aukist alls ekki og helst að draga úr losun þeirra.

## **Þakkarorð**

Höfundur vill þakka öllum þeim sem lögðu þessu verkefni lið á einn eða annan hátt. Auður Ingólfssdóttir, Tryggvi Felixson, Ingibjörg Jónsdóttir, Björn H. Barkarson, Andrés Arnalds, Bjarni Diðrik Sigurðsson, Hlynur Óskarsson, Anna María Ágústsdóttir, Einar Gunnar Einarsson, Alcoa og Landvernd eiga öll þakkir skyldar fyrir aðstoð við gerð þessa verkefnis. Aðrir sem aðstoðuðu mig við verkefni þetta fá einnig þakkir.

## Heimildaskrá

- Aðalheiður Jóhannsdóttir (2003, 12.október). Auðlindin andrúmsloft og útstreymisheimildir. [Grein] *Morgunblaðið*.
- Alcoa. Tíu milljón tré.  
[http://www.alcoa.com/iceland/ic/environment/ten\\_million\\_trees.asp](http://www.alcoa.com/iceland/ic/environment/ten_million_trees.asp). (Skoðað 26/7 2004)
- Ása L. Aradóttir, Kristín Svavarsdóttir, Þorbergur Hjalti Jónsson, Grétar Guðbergsson 2000: Carbon accumulation in vegetation and soils by reclamation of degraded areas. *Búvísindi*. **13**, 99-113.
- Andrews, J.E., Brimblecombe, P., Jickells, T.D., Liss, P.S. and Reid, B., 2004: *An Introduction to Environmental Chemistry*. University of East Anglia, UK. Blackwell Publishing.
- Andrés Arnalds og Úlfur Óskarsson (2000). Kolefnisbinding með landgræðslu og skógrækt-nýtt sóknarfæri fyrir íslenskan landbúnað. Ráðunautafundur.
- Andrés Arnalds 1988: Landgæði á Íslandi fyrr og nú. *Græðum Ísland 1907-1987*. Reykjavík. Gutenberg.
- Andrés Arnalds. Carbon Sequestration and the restoration of land health. An example from Iceland.
- Arnór Snorrason, Þorbergur Hjalti Jónsson, Kristín Svavarsdóttir, Grétar Guðbergsson og Tumi Traustason 2000: Rannsóknir á kolefnisbindingu ræktaðra skóga á Íslandi. *Skógræktarritið*.
- Arnór Snorrason, Bjarni D. Sigurðsson, Grétar Guðbergsson, Kristín Svavarsdóttir og Þorbergur Hjalti Jónsson 2002: Carbon sequestration in forest plantation in Iceland. *Búvísindi*. **15**, 81-93
- Bjarni D. Sigurðsson og Brynhildur Bjarnadóttir. Beinar mælingar á kolefnisbindingu skógræktarsvæða. Fræðaging landbúnaðarins, 2004.
- Bjarni D. Sigurðsson, Arnór Snorrason, 2000. Carbon sequestration by afforestation and revegetation as a means of limiting net-CO<sub>2</sub> emissions in Iceland.. *Biotechnol. Agron Soc. Environ.* 2000 **4** (4), 303-307
- Friðrik Már Baldursson, 1997. Þjóðhagsstofnun. Efnahagsleg sjónarmið varðandi minnkun losunar á gróðurhúsalofttegundum.
- Hlynur Óskarsson, Ólafur Arnalds, Jón Guðmundsson, Grétar Guðbergsson 2004: Organic carbon in Icelandic Andosols: geographical variation and impact of erosion. *Catena* **56**, 225-238.

- Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, 2001: Mat á gróðurhúsaáhrifum fyrirhugaðs Háslóns. Rannsóknarstofnun landbúnaðarins. Mars 2001.
- Juha E.P. Heikkinen , 2003: *Carbon Balance of the Arctic Wetlands in Europe*. Department of Environmental Science, University of Kuopio.
- Landbúnaðarráðuneytið. *Átak í landgræðslu og skógrækt*. <http://landbunadarraduneyti.is/utgefid-efni/nr/192> (Skoðað 28/7 2004)
- Landgræðslan. *Landverndarsvið. Bændur græða landið*. <http://www.land.is/landbunadur/wglgr.nsf/key2/bgl.html> (Skoðað 29/7 2004)
- Landgræðslan (2004). *Þingsályktun um landgræðsluáætlun 2003-2014*. <http://www.land.is/landbunadur/wglgr.nsf/key2/landgraedsluaetlun.html> (Skoðað 25.maí 2004)
- Landvernd. *Hlutverk kolefnisbindingar*. <http://www.landvernd.is/page3.asp?ID=1078> (Skoðað 14/6, 2004).
- NASA. Earth observatory. The carbon cycle. <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/CarbonCycle/> (Skoðað 15/8 2004)
- Markús Á. Einarsson, 1989: *Hvernig viðrar?* Iðunn, Reykjavík.
- Ólafur Arnalds, 2000. Ráðunautafundur. Rannsóknir á kolefnisbindingu í landgræðslu og skógrækt. Rannsóknarstofnun landbúnaðarins.
- Ólafur Arnalds, Grétar Guðbergsson og Jón Guðmundsson. *Carbon sequestration and reclamation of severely degraded soils in Iceland*. *Búvísindi*, 13, 2000. 87-97.
- Ólafur Arnalds et.al. (1997). *Jarðvegsrof á Íslandi*. Reykjavík: Steindórsprent Gutenberg ehf.
- Stefnumörkun um framkvæmd Loftslagssamningsins og Kyotobókunarinnar
- Tryggvi Felixson, 2002: Loftslagsbreytingar af mannavöldum. **Í:** Auður H. Ingólfssdóttir (ritstj.), *Grænskinna, umhverfismál í brennidepli*. Mál og Menning.
- Umhverfissráðuneytið. *Loftslagsmál*. <http://www.umhverfissraduneyti.is/raduneyti/verkefni/Loftslagsmal//nr/430> (Skoðað 24.maí 2004).
- Umhverfissráðuneytið, Íslandi og loftslagsbreytingar af mannavöldum. Skýrsla umhverfissráðherra, 1997.

- Umhverfisráðuneytið. *Alþjóðlegir umhverfissamningar. Kyoto-bókun við rammasamning sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar.*  
<http://www.althingi.is/altext/127/s/1100.html> (Skoðað 21.júní 2004)
- Umhverfisráðuneytið. Skýrsla umhverfisráðherra um niðurstöðu 7. aðildarríkjaþings Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (Lögð fyrir Alþingi á 127. löggjafarþingi 2001-2002).  
<http://www.althingi.is/pdf/thingskjal.php4?lthing=127&skjalnr=349> (Skoðað 30/6 2004).
- Umhverfisráðuneytið, 2003. *Iceland's Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change.*
- Umhverfisráðuneytið. *Losun gróðurhúsalofttegunda minnkar á milli ára.*  
<http://www.umhverfisraduneyti.is/frettir/nr/583> (Skoðað 5/7 2004).
- Umhverfisstofnun. *Mengunarvarnasvið. Helstu gróðurhúsalofttegundir.*  
<http://www.hollver.is/mengun/GHL/helstu.html> (Skoðað 27/7 2004)
- Umhverfisstofnun. *Loftslagsbreytingar.*  
<http://www.ust.is/Mengunarvarnir/Hnattraemengun/Grudurhusaahrifin/Loftslagsbreytingar/> (Skoðað 17/8 2004)
- UNEP. *Introduction to climate change.*  
<http://www.grida.no/climate/vital/06.htm> (Skoðað 12/8 2004).
- UNFCCC. *A guide to the climate change convention and its Kyoto Protocoll. Preliminary version.* <http://unfccc.int/resource/guideconvkp-p.pdf> (Skoðað 16/6 2004).
- Umhverfisráðuneytið, 2001: *Veðurfarsbreytingar og afleiðingar þeirra. Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar.*
- Velferð til framtíðar. *Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi. Stefnumörkun til 2020*
- Vísindavefurinn. *Hvað er koltvísýringsbinding í gróðri á Íslandi mikil?*  
<http://www.visindavefur.is> (Skoðað 18/6, 2004)
- Watson, R o.fl., 2000: *Land use, land-use change and forestry. A Special Report of the IPCC. Inergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.*
- Þorbergur Hjalti Jónsson, Úlfur Óskarsson 1996: *Skógrækt og landgræðsla til að nema koltvísýring úr andrúmslofti. Skógræktarritið*

- Þorleifur Einarsson, 1994: Vitnisburður frjógreiningar. Í: Hreggviður Norðdahl (ritstj.), *Gróður Jarðvegur og Saga. Rit Landverndar 10*. Steindórsprent Gutenberg.
- Auður Ingólfssdóttir, umhverfisráðgjafi, (munnleg heimild, 12/7 2004)
- Andrés Arnalds, fagmálastjóri Landgræðslu ríkisins, (munnleg heimild, 7/7 2004)
- Björn H. Barkarson, sviðsstjóri landverndarsviðs Landgræðslu ríkisins, (munnleg heimild, 23/9 2004)
- Bjarni Diðrik Sigurðsson, skógvistfræðingur á Mógilsá, (munnleg heimild, 11/8 2004)
- Hlynur Óskarsson, vistfræðingur á umhverfissviði RALA, (munnleg heimild, 11/8 2004)
- Einar Gunnar Einarsson, viðskiptafræðingur M.Sc., (munnleg heimild, 10/9 2004)