

# Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna

## Rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006



Landsvirkjun

Febrúar 2008



**Landsvirkjun**

# Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna

## Rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006



**Landbúnaðarháskóli  
Íslands**

Febrúar 2008



Skýrsla LV nr: LV-2008/028

Dags: 25.02.2008

Fjöldi síðna: 142    Upplag: 35    Dreifing:  Opin     Takmörkuð til

Titill: Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna - rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006

Höfundar / fyrirtæki: Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, Landbúnaðarháskóli Íslands

Verkefnisstjóri: Hugrún Gunnarsdóttir

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: \_\_\_\_\_

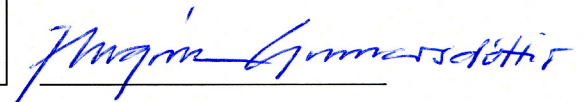
Útdráttur: Skýrslan greinir frá úttekt á gróðurhúsaáhrifum uppistöðulóna hér á landi. Á árunum 2003-2006 var unnið að ítarlegum rannsóknum á losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni, inntakslóni Blönduvirkjunar. Niðurstöður þeirra rannsókna, ásamt niðurstöðum mælinga á losun gróðurhúsalofttegunda úr jarðvegskjörnum, voru notaðar til að áætla losun gróðurhúsalofttegunda úr öðrum lónum. Niðurstöður verkefnisins sýndu að losun koltvísýrings úr Gilsárlóni var áþekk losun úr erlendum lónum en losun metans hærrí. Losun úr öðrum lónum hér á landi er áætluð verulega lægri eða hverfandi lág.

Lykilorð: Gróðurhúsaáhrif, lón, metan, koltvísýringur, losunarstuðlar, Gilsárlón, Blönduvirkjun

ISBN nr:

ISSN nr:

Undirskrift verkefnisstjóra  
Landsvirkjunar



## Efnisyfirlit

	bls.
1. Inngangur.....	7
2. Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna.....	9
2.1. Ferli gróðurhúsalofttegunda í vistkerfum.....	9
2.2. Ferli gróðurhúsalofttegunda í uppistöðulónum.....	11
3. Skipulag og framvinda verkefni.....	15
3.1. Rannsóknarpættir og mældar breytur .....	16
3.1.1. Mælingar á grunnbreytum .....	17
3.1.2. Mat á losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni .....	17
3.1.3. Mat á flæði gróðurhúsalofttegunda í vistkerfum við Gilsárlón .....	18
3.1.4. Samanburður við önnur lón .....	19
4. Mælingar á grunnbreytum .....	21
4.1. Veðurfarsbreytur .....	21
4.2. Dýpi Gilsárlóns.....	23
4.3. Magn lífræns kolefnis.....	24
5. Losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni – Koltvísýringur.....	27
5.1. Síritandi mælingar á flæði CO <sub>2</sub> með iðuflæðisturni.....	27
5.1.1. Markmið.....	27
5.1.2. Tækjabúnaður og mæliaðferð .....	27
5.1.3. Staðsetning.....	28
5.1.4. Niðurstöður.....	29
5.1.5. Mat á flæði CO <sub>2</sub> af lóninu og nágrenni þess.....	51
5.2. Klefamælingar á flæði CO <sub>2</sub> um yfirborð Gilsárlóns.....	56
5.2.6. Niðurstöður klefamælinga á flæði CO <sub>2</sub> um yfirborð Gilsárlóns.....	57
6. Losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni - Metan og hláturgas.....	59
6.1. Metanflæði af yfirborði Gilsárlóns.....	59
6.2. Losun metans með loftbólum.....	62
6.3. Losun metans um yfirborð Gilsárlóns – samantekt.....	66
7. Losun CO <sub>2</sub> og CH <sub>4</sub> við afgösun afrennslisvatns.....	67
7.1. Losun CO <sub>2</sub> úr afrennslisvatni Gilsárlóns.....	67
7.2. Losun CH <sub>4</sub> úr afrennslisvatni Gilsárlóns.....	68
7.3. Árleg heildarlosun CO <sub>2</sub> og CH <sub>4</sub> með afgösun.....	69
8. Mælingar á flæði gróðurhúsalofttegunda í gróðurlendum við Gilsárlón.....	71
8.1. Flæði koltvísýrings í mýri og mólendi.....	71
8.1.1. Niðurstöður mælinga á CO <sub>2</sub> flæði.....	72
8.1.2. Líkön fyrir CO <sub>2</sub> flæði í mýrinni.....	74
8.1.3. Reiknaður CO <sub>2</sub> jöfnuður fyrir mýri við Gilsárlón .....	80
8.1.4. Líkön fyrir CO <sub>2</sub> flæði í móanum.....	83
8.1.5. Reiknaður CO <sub>2</sub> jöfnuður fyrir móa við Gilsárlón .....	90
8.2. Losun metans úr mýrlendi við Gilsárlón .....	92
8.2.1. Niðurstöður mælinga á losun metans úr mýrinni .....	93
8.2.2. Heildarlosun metans úr mýrinni .....	95
8.3. Áhrif breyttrar landnotkunar- myndun Gilsárlóns - á losun Gróðurhúsalofttegunda .....	97
8.3.1. Áhrif mólendis .....	97

	8.3.2. Áhrif mýrlendis .....	97
	8.3.3. Samanlögð áhrif gróðurlenda í lónstæði Gilsarlóns ....	98
9.	Mat á losun gróðurhúsalofttegunda úr öðrum lónum .....	99
	9.1. Kjarnatilraun .....	99
	9.2. Losun metans úr lónum Þjórsár-Tungnársvæðisins .....	103
	9.3. Líkan til að áætla losun metans úr lónum .....	105
10.	Samantekt og umræður .....	109
	10.1. Heildarniðurstöður verkefnis .....	109
	10.1.1. Inngangur .....	109
	10.1.2. Losun koltvísýrings .....	109
	10.1.3. Losun metans .....	110
	10.1.4. Losun hláturgass .....	111
	10.1.5. Losun úr öðrum lónum .....	111
	10.1.6. Áhrif gróðurlenda .....	112
	10.2. Niðurstöður verkefnisins og rammamningur Sameinuðu þjóðanna um loftlagsbreytingar .....	112
	Heimildir .....	115
I.	Viðauki .....	119
	I.A. Síritandi mælingar með iðuflæðisturni -Tengsl NEE við aðra mælda þætti .....	119

# 1. Inngangur

Hlýnun andrúmslofts jarðar er eitt helsta áhyggjuefni, sem mannkyn hefur þurft að glíma við. Aukinn styrkur gróðurhúsalofttegunda í andrúmslofti er orsakavaldur hlýnunarinnar, en aukningin er að mestu til kominn vegna brennslu manna á kolum og olíu en líka vegna landbúnaðar og ýmissar landnýtingar, t.d. skógareyðingar (IPCC 2001).

Helstu gróðurhúsalofttegundirnar eru koltvísýringur ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) og hláturgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (IPCC 2001). Allar losna þessar lofttegundir úr, eða eru bundnar af, náttúrulegum vistkerfum og þar sem vistkerfi jarðar eru virkir þátttakendur í hringrás þessara lofttegunda getur nýting manna á vistkerfunum haft afgerandi áhrif á losun eða bindingu þeirra á gróðurhúsalofttegundum.

Ein megin skuldbinding Rammasamnings Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar, sem Ísland er aðili að (Stjórnartíðindi 1993), er að aðildarþjóðirnar gefi upp alla losun gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum, sundurliðaða eftir uppruna. Virkjanalón eru ein gerð landnýtingar sem losun er árlega gefin upp fyrir. Árið 2005 var losun vegna virkjanalóna hér á landi áætluð alls  $212,3 \cdot 10^3$  tonn  $\text{CO}_2$  ígildi, þar af  $141,4 \cdot 10^3$  tonn vegna  $\text{CO}_2$ ,  $49,1 \cdot 10^3$  tonn vegna  $\text{CH}_4$  og  $21,7 \cdot 10^3$  tonn vegna  $\text{N}_2\text{O}$  (UST. 2007).

Í virkjunarlónum myndast þessar lofttegundir við niðurbrot (rotnun) lífrænna efna í þeim gróðri og jarðvegi sem fer undir vatn. Gróðurhúsaáhrif virkjunarlóna hafa nokkuð verið í sviðsljósinu á undanfórnum áratug, eða allt frá því að vera fyrst reifuð fræðilega (Gagnon og Chamberland 1993; Rudd ofl. 1993) og fyrstu mælingar birtust (Kelly ofl. 1994; Duchemin ofl. 1995). 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 (World Commission on Dams, 2000, St-Louis ofl. 2000; Tremblay ofl. 2005). Helst eru það uppistöðulón í hitabeltinu sem láta frá sér verulegt magn af gróðurhúsalofttegundum og stafar það einkum af miklu magni af lífrænum efnum, háu hitastigi og ríkjandi loftfirrtum aðstæðum í vatnsbol lónanna (Fearnside 2002; dos Santos ofl. 2005; Tremblay ofl. 2005; Delmas ofl. 2005). Á norðlægari slóðum hefur losun gróðurhúsalofttegunda úr lónum reynst ákaflega breytileg en í öllu falli lægri en í hitabeltinu og virðist einkum eiga sér stað á fyrstu tíu árunum eftir að landi er sökkt (Duchemin ofl. 1995; Kelly ofl. 1997; Scott ofl. 1999; Huttenen ofl. 2002; Huttenen ofl. 2003; Åberg ofl. 2004; Tremblay ofl. 2005).

Ástæða breytileikans í losun lofttegundanna frá einu lóni til annars er sú að áhrifavaldarnir eru margir og breytilegir í tíma og rúmi. Sá þáttur sem vegur hvað þýngst í þessu sambandi er heildarmagn gróðurs og lífræns jarðvegs sem fer undir vatn í hverju tilviki, en aðrir þættir eins og hitastig, dýpi, styrkur súrefnis í vatnsbolnum og kolefnisbúskapur þeirra vistkerfa sem undir vatn fara skipta einnig máli (Rosa og dos Santos 1999; IPCC 2001).

Mjög er breytilegt hversu mikið gróið land fer undir vatn við gerð virkjunarlóna og hér á landi er það mun minna en almennt gerist erlendis (Hákon Aðalsteinsson 1998). Það eru helst lón Blönduvirkjunar sem eru sambærileg við erlend lón hvað þetta varðar.



Núverandi mat á losun gróðurhúsalofttegunda úr virkjanalónum hér á landi, eins og því er skilað til Rammasamningsins (UST. 2007), er byggt á notkun losunarstuðla sem Ráðgjafastofnun samningsins (IPCC) hefur gefið út (IPCC 2006). Þeir stuðlar eru byggðir á mælingum á lónum þar sem gróið land var fyrir. Vegna þess hve lítið af grónu landi hefur farið undir lón hér á landi má fyrirfram búast við minni losun en þar er gert ráð fyrir.

Sumarið 2003 hófust rannsóknir við Gilsárlón til að meta gróðurhúsaáhrif íslenskra uppistöðulóna. Sá breytileiki sem er til staðar í losun gróðurhúsalofttegunda úr lónum (Tremblay ofl. 2005) gerir það erfitt að heimfæra niðurstöður mælinga á lónum í einu landi yfir á lón í öðru landi og því var lagt af stað með það verkefni sem hér verður greint frá. Losun gróðurhúsalofttegunda úr virkjunarlónum hefur ekki verið metin með sambærilegum hætti áður hér á landi og er verkefnið því það fyrsta sinnar tegundar héraðs (sjá þó: Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson 2001).



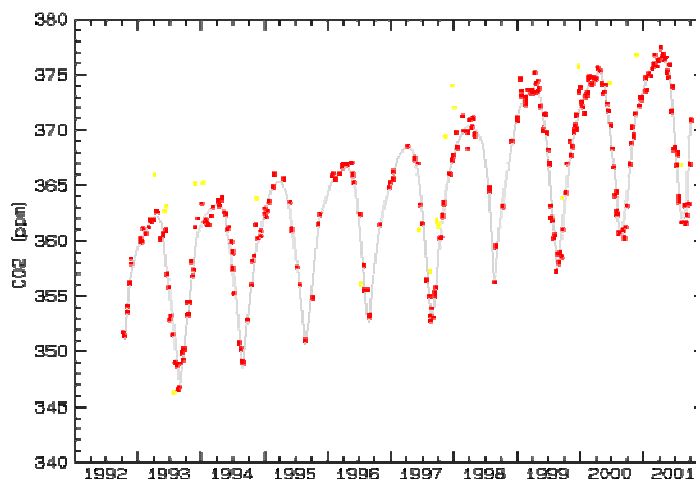
*Gilsárlón á Auðkúluheiði, inntakslón Blönduvirkjunar.*

## 2. Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna

### 2.1. Ferli gróðurhúsalofttegunda í vistkerfum

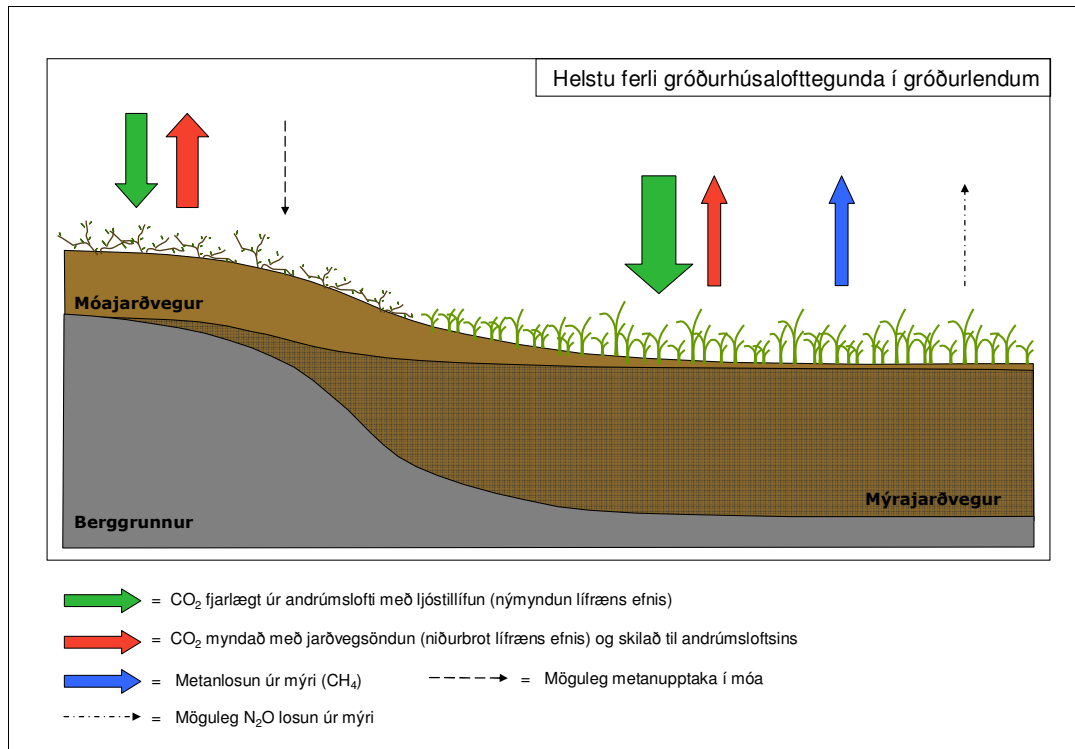
Gróðurhúsalofttegundir myndast við niðurbrot og oxun lífrænna efna. Að sama skapi dregur nýmyndun lífræns efnis, fyrir tilstilli ljóstillífunar, úr styrk gróðurhúsalofttegunda í andrúmslofti. Hringrás vistkerfa á lífrænu efni, þ.e. nýmyndun og niðurbrot þess, er ákaflega mikilvæg sem sést best á því að styrkur flestra gróðurhúsalofttegunda í andrúmslofti sveiflast verulega eftir árstíðum og á þetta sérstaklega við á norðurslóðum (mynd 2.1). Við gerð uppistöðulóna, þar sem grónu landi er sökk, verða breytingar á þessum ferlum nýmyndunar og niðurbrots en mjög er misjafnt eftir aðstæðum hvort og þá hve mikið slíkar breytingar leiða til aukinnar losunar gróðurhúsalofttegunda.

Hér að neðan verður farið yfir helstu ferli gróðurhúsalofttegunda í þeim vistkerfum sem algengast er að fari undir vatn við myndun uppistöðulóna hér á landi. Þá verður gerð grein fyrir helstu breytingum sem verða á þessum ferlum við það að landi er sökk við myndun lóna. Í kjölfarið verður farið yfir helstu þætti sem hafa áhrif á fyrrgreind ferli og þar með ákvarða hvort um veruleg gróðurhúsaáhrif er að ræða eða ekki.



Mynd 2.1 Línuritíð sýnir styrk  $CO_2$  í andrúmslofti yfir Stórhöfða. Sveiflurnar stafa af árstíðabundnum mun á nýmyndun og niðurbroti vistkerfa á lífrænu efni. (Fengið að láni af heimasíðu Veðurstofunnar).

Virkjunarframkvæmdir hér á landi eru oftast en ekki á frekar gróðursnauðu landi en í þeim tilvikum sem grónu landi hefur verið sökk er langoftast um mýrar eða móa að ræða. Mynd 2.2 hér að neðan sýnir á einfaldaðan hátt helstu ferli sem tengjast losun og upptöku gróðurhúsalofttegunda í þessum vistkerfum.



Mynd 2.2 Helstu ferli gróðurhúsalofttegunda í mýri og mólendi

Almennt gildir um þurrlandisvistkerfi, eins og móann í þessu tilviki, að þau eru í jafnvægi hvað varðar upptöku og losun á CO<sub>2</sub>, þ.e.a.s. ljóstillífun gróðurs (græn ör á mynd 2) fjarlægir álíka mikið CO<sub>2</sub> úr andrúmsloft eins og niðurbrot lífræns efnis í jarðvegi (rauð ör) skilar aftur út í það. Undantekningar frá þessu eru annars vegar aðstæður þar sem gróður er í framför (t.d. landgræðslusvæði eða skógur í örum vexti) en þá á sér stað umfram upptaka á CO<sub>2</sub>; og hins vegar aðstæður þar sem gróðri hefur hnignað (t.d. land illa farið af rofi) og upptaka gróðurs á CO<sub>2</sub> vegur ekki upp þá losun sem á sér stað sökum niðurbrots í jarðvegi.

Mikilvægt er að hafa í huga hvað varðar íslenskar aðstæður að þurrlandisjarðvegur hér á landi er að megninu til Andosol, eða eldfjallajarðvegur, sem hefur að geyma mun meira lífrænt efni en flestar gerðir þurrlandisjarðvegs. Algengt er að jarðvegur hér á landi innihaldi á milli 20-30 kg af kolefni á lífrænu formi á hvern fermetra lands, samanborið við innan við 10 kg fyrir helstu jarðvegsgerðir. Þessi mikli forði af lífrænu efni í jarðvegi, getur haft áhrif á hversu lengi gróðurhúsaáhrif af virkjunarframkvæmdum vara. Lágur hiti lóna getur einnig lengt niðurbrotstíma þess efnis sem sökkt er.

Í votlendi er ekki um sama jafnvægi að ræða á milli þessara tveggja ferla (nýmyndunar og rotnunar) líkt og í móanum. Ástæðan fyrir því að þessu er öðruvísi farið í mýrum er sú að vegna hárrar jarðvatnsstöðu er niðurbrot jurtaeifa ófullkomið og í tímans rás safnast lífrænar leifar plantna fyrir og myndað þykk mólög. Því má segja að í gegnum tíðina hafi votlendi virkað sem svelgur (sink) fyrir CO<sub>2</sub>, vegna þess að upptaka á CO<sub>2</sub> (græn ör á mynd 2) er mikilvirkari en losun CO<sub>2</sub> vegna niðurbrots (rauð ör). Há vatnsstaða mýra leiðir aftur á móti til hægfara loftfirrts niðurbrots og myndunar metans (CH<sub>4</sub>). Virkni metans sem gróðurhúsalofttegundar er um 25 föld virkni CO<sub>2</sub>.

Því má segja að áhrif mýra á styrk gróðurhúsalofttegunda í andrúmslofti sé tvíþætt; annars vegar virka þær sem svelgur fyrir CO<sub>2</sub> en hinsvegar eru þær uppspretta fyrir CH<sub>4</sub>. Heildaráhrif mýra á styrk gróðurhúsalofttegunda í andrúmslofti ráðast af hlutfallslegum styrk þessara tveggja ferla og mælingar sýna að mýrar geta bæði haft jákvæð og neikvæð áhrif á styrk gróðurhúsalofttegunda, allt eftir aðstæðum á hverjum stað. Samkvæmt mælingum hér á landi eru heildaráhrif mýra jákvæð því að þær eru nokkuð frjósamar og taka því til sín allnokkuð CO<sub>2</sub> en gefa aftur á móti frá sér öllu minna metan en þekkt er t.d. í nágranalöndunum. Eitt af því sem skiptir máli í þessu sambandi er stærð loftaðs (aerobic) hluta mýrarjarðvegsins (efsta lagið) en veruleg oxun á metani getur átt sér stað í þessu lagi og þannig dregið úr losun þess út í andrúmsloftið.

Þriðja mikilvæga gróðurhúsalofttegundin sem getur myndast við niðurbrot lífræns efnis er N<sub>2</sub>O eða hláturgas. N<sub>2</sub>O myndast annars vegar úr nitrati (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) við svo nefnda afnitrun og hins vegar úr ammóníum (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) við níttratmyndun. Myndunin verður í tveimur ferlum sem fara fram við ólíkar aðstæðna. Annað ferlið á sér stað við loftfirrtar aðstæður, hitt við loftaðar aðstæður. Sveiflur í súrefnisstyrk, auk framboðs á nitrati og ammóníum, eru því kjöraðstæður þessara ferla. Framboð á NO<sub>3</sub><sup>-</sup> og NH<sub>4</sub><sup>+</sup> getur aukist við notkun áburðar eða vegna niðurbrots lífræns efnis.

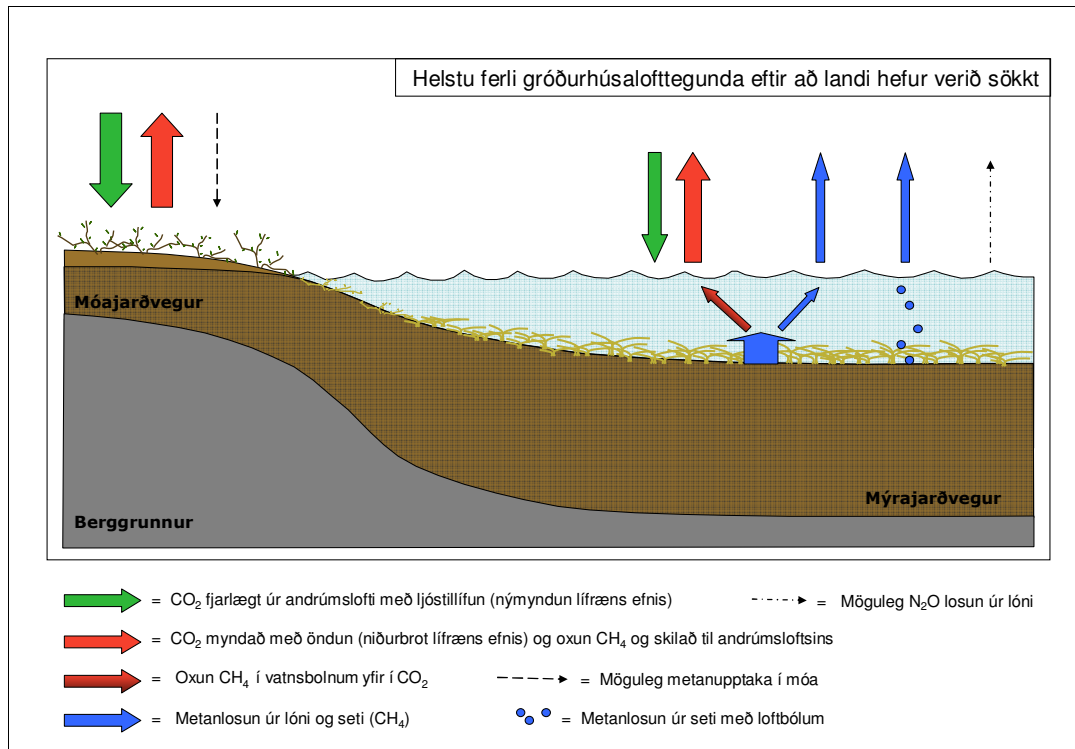
## **2.2. Ferli gróðurhúsalofttegunda í uppistöðulónum**

Helstu ferli gróðurhúsalofttegunda í lónum eru sýnd á mynd 2.3. Í kjölfar þess að grónu landi er sökkð verða breytingar á þeim ferlum sem lýst var hér að framan. Breytingarnar eru einkum af þrennum toga: í fyrsta lagi færast ljóstillífunin að mestu yfir á þörungum og í flestum tilvikum dregur úr nýmyndun lífræns efnis (einkum ef svifaur er mikill); í öðru lagi skapast í og við botn nánast loftfirrt umhverfi, en við slíkar aðstæður leiðir niðurbrot lífræns efnis til myndunar CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O; í þriðja lagi gerist það að oxun CH<sub>4</sub>, sem áður átti sér stað í efsta hluta mýrarjarðvegsins, á sér nú stað í vatnsbolnum. En sökum þess að CH<sub>4</sub> er illleysanlegt í vatni þá losnar hluti þess með loftbólum og sleppur á þann hátt við oxun.

Samantekið gildir því að myndun lóns á fyrrum grónu landi leiðir til þess að upptaka CO<sub>2</sub> minnkar (græn ör á mynd 2.3) jafnframt því að mestur hluti lífræns efnis fyrirfinnst nú við loftfirrtar aðstæður sem getur leitt af sér aukna CH<sub>4</sub> (blá ör) og N<sub>2</sub>O (brotin lína) myndun og losun út í vatnsbolinn.

Hluti þess CO<sub>2</sub> sem myndast í vatninu kemur fram sem aukinn styrkur uppleysts CO<sub>2</sub>. Almenn er styrkur koltvísýrings í vötnum yfir jafnvægisstyrk miðað við andrúmsloftið. Aukið niðurbrot lífræns efnis getur aukið á þessa yfirmettun. Við það að fara í gegnum virkjun eða um yfirfall losnar þessi umframstyrkur úr vatninu og jafnvægi næst við andrúmsloftið. Sama gildir einnig um uppleyst CH<sub>4</sub>, þó í mun minna mæli sé vegna þess hve illa það leysist í vatni. Við öldurót á lónunum getur hluti uppsafnaðs CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> losnað.





Mynd 2.3 Helstu ferli gróðurhúsalofttegunda í sökktu landi.

Þeir þættir sem helst eru taldir hafa áhrif á magn gróðurhúsalofttegunda sem losna frá lónum eru: heildarmagn lífræns efnis sem fer undir vatn, annars vegar í jarðvegi og hins vegar í gróðri; styrkur súrefnis í vatnsbolnum; lögun lóna og þá einkum dýpi þeirra; hitastig; veðurlag, og kolefnisbúskapur og næringarefnastaða þeirra vistkerfa sem undir vatn fara.

Mjög breytilegt er hversu mikið gróið land fer undir vatn við gerð virkjunarlóna. Hér á landi er það mun minna en almennt gerist erlendis. Það eru helst lón Blönduvirkjunar sem eru sambærileg við erlend lón hvað þetta varðar. Aftur á móti inniheldur íslenskur jarðvegur mun meira lífrænt efni en flestar erlendar jarðvegsgerðir. Gerð gróins lands skiptir einnig máli því magn lífræns efnis í jarðvegi og gróðri er ákaflega breytilegt á milli vistgerða og jafnvel innan þeirra. Þannig er magn lífræns efnis í votlendi margfalt það sem fyrirfinnst í rýrum móa.

Styrkur súrefnis skiptir máli því afurðir niðurbrots lífræns efnis eru breytilegar eftir því hvort það er í nægjanlegum styrk (loftháðar aðstæður) eða ekki (loftfirrtar aðstæður). Við loftfirrtar aðstæður á sér stað niðurbrot sem leiðir til myndunar metans (CH<sub>4</sub>) en við loftháð niðurbrot myndast koltvísýringur (CO<sub>2</sub>). Samspil loftfirtra og loftháðra aðstæðna getur leitt til N<sub>2</sub>O myndunar. Þar sem CH<sub>4</sub> hefur rúmlega tuttugufalda virkni og N<sub>2</sub>O um þrjúhundruð falda virkni sem gróðurhúsalofttegundir á við CO<sub>2</sub> skiptir myndun þessara efna hlutfallslega miklu máli. Við íslenskar aðstæður er ekki líklegt að hluti vatnsbolsins sé súrefnislaus en viðbúið er að loftfirrtar aðstæður ríki aftur á móti í öllu botnsetinu nema efstu sentimetrinum.

Dýpt lóna skiptir verulegu máli því losun gróðurhúsalofttegunda, einkum metans, af yfirborði lóna er breytileg eftir dýpi. Hluti þess metans sem myndast við loftfirrtar aðstæður hvarfast við súrefni og vatn í loftaða hluta vatnsbolsins og getur þá yfirgefið lónið sem CO<sub>2</sub> eða orðið eftir í vatninu sem karbónat eða bundið málmjónum. Aukið dýpi eykur líkurnar á oxun metans, sérstaklega ef vatnsbolurinn er að mestu leyti loftaður eins og búast má við hér á landi.

Hitastig er ráðandi þáttur fyrir starfsemi niðurbrotsörvera jafnt sem annarra örvera. Rannsóknir sýna að við hitastigsaukningu um 10 °C tvö- til þrefaldast myndun CO<sub>2</sub> og myndun CH<sub>4</sub> allt að fimmfaldast. Sökum lágs hitastigs í flestum lónum hér á landi má búast við því að niðurbrot lífræns efnis sé almennt hægfara. Lögum lóns skiptir þó verulegu máli í þessu sambandi því yfirborðsmikil en grunn lón geta hitnað verulega, samanber Blöndulón en meðalhiti þess er um 12 °C yfir sumarmánuðina.

Næringarefnainnihald þess efnis sem brotnar niður og innstreymi næringarefna í lónið getur haft veruleg áhrif, bæði almennt á hraða niðurbrots og eins á framboð nitrats og ammónium og þar með myndun N<sub>2</sub>O.

Veðurlag skiptir máli því að ef stillur eru ríkjandi getur vatnið í lóninu orðið yfirmettað með tilliti til gróðurhúsalofttegunda og þegar það síðan streymir út úr lóninu (í gegnum virkjunina eða á yfirfalli) losna lofttegundirnar út í andrúmsloftið, en slík losun kemur ekki fram í mælingum af yfirborði lóns og mikilvægt að taka tillit til þess. Einnig má búast við yfirmettun að vetri til þegar lón eru ísilögð. Veðurlag getur einnig haft áhrif á ljósmagn sem berst niður í vatnsbolinn. Bjartviðri eykur tiltækt ljós til ljóstillífunar en vindar auka rót í vötnum og ljós nær skemur niður í vatnsbolinn.

Gróðurhúsaáhrif virkjunarlóna stafa ekki einungis af þeirri losun lofttegunda sem á sér stað af yfirborði þeirra heldur verður einnig að taka tillit til kolefnisbúskapar þeirra vistkerfa sem fara undir vatn við gerð lónsins. Þurrlendisvistkerfi, eins og fyrr segir, eru í flestum tilvikum í jafnvægi hvað gróðurhúsaáhrif varðar, þ.e. binding þeirra og losun á gróðurhúsalofttegundum er af svipaðri stærðargráðu. Votlendi, aftur á móti, bindur meira CO<sub>2</sub> en það losar, en losar einnig frá sér verulegt magn af CH<sub>4</sub>. Heildaráhrif lónanna eru munur þess sem var á losun eða upptöku í þeim gróðurlendum sem fyrir voru og þess sem er í lónunum.

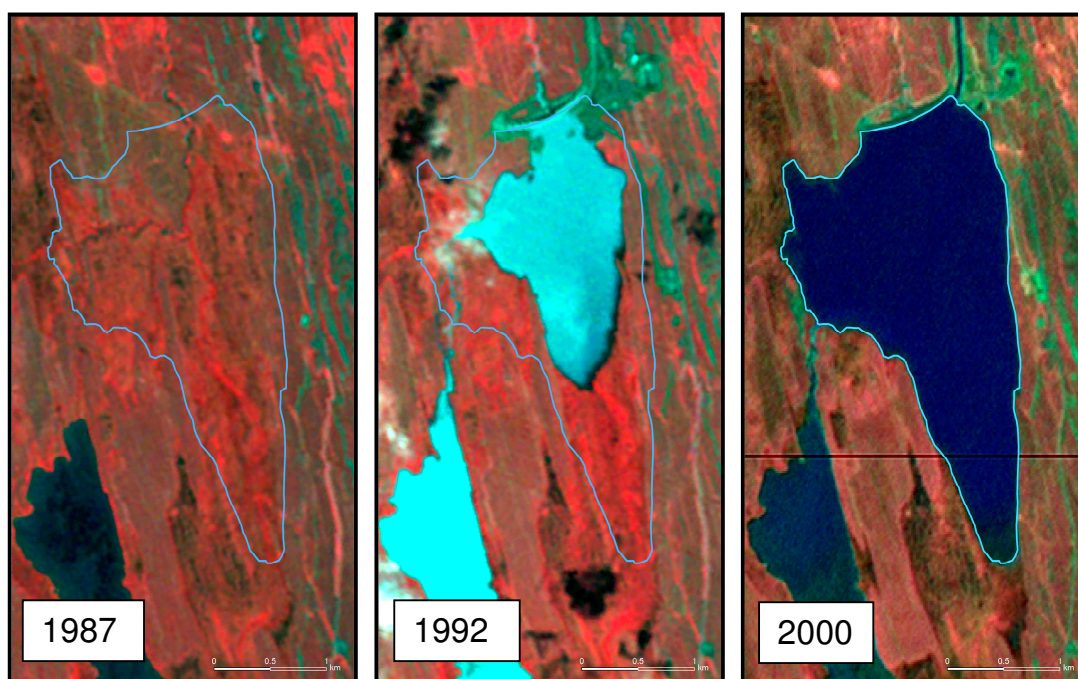
Af ofangreindu er augljóst að mælingar á losun/bindingu gróðurhúsalofttegunda þurfa að taka tillit til eftirfarandi umhverfispáttá, þ.e. hitastigs, breytileika í dýpi, ljósmagns, gerðar og aldurs lóna, gerð vistkerfa sem sökkt var og kolefnismagn þeirra.



### 3. Skipulag og framvinda verkefnis

Sumarið 2003 hófust rannsóknir við Gilsárlón til að meta gróðurhúsaáhrif íslenskra uppistöðulóna. Ástæður þess að Gilsárlón varð fyrir valinu voru fjölmargar. Fyrst ber að nefna að lónstæðið var algróið fyrir framkvæmdir við gerð lónsins. Verulegt magn lífræns kolefnis fór því undir vatn og þar af leiðandi líklegt að um einhverja losun á gróðurhúsalofttegundum væri að ræða úr lóninu. Aðrar mikilvægar ástæður fyrir valinu voru eftirfarandi: stærð lónsins var hentug fyrir slíka rannsókn; góð aðkoma fyrir bíl og bát; stöðugt vatnsyfirborð (inntakslón); gott aðgengi allt árið og góð aðstaða í Blönduvirkjun fyrir starfsfólk og tækjabúnað.

Gilsárlón er inntakslón Blönduvirkjunar (mynd 3.1). Lónið er um 4,3 km<sup>2</sup> að stærð og vatnsborð þess er í um 410 m hæð yfir sjávarmáli. Lónstæðið var eins og fyrr segir algróið, að mestu mýri en einnig lyngmóar. Fyllt var í lónið 1992. Þar sem lónið er inntakslón virkjunarinnar er vatnshæð þess nokkuð stöðug.



Mynd 3.1 Gilsárlón. Myndröðin er samsett úr þrem LandSat gervitunglamyndum. Fyrsta myndin frá 1987 sýnir lónstæðið fyrir framkvæmdir og koma mýrar fram sem skær- og dökkrauðar en mólendi sem rauðgrátt. Á mynd tvö frá 1992 er vatn tekið að safnast í lónið. Myndin frá árinu 2000 sýnir lónið í endanlegri stærð.

Til margs var að líta við framkvæmd verkefnis sem þessa en einkum eru það þó tveir þættir sem skipta mestu um tilhögun og framkvæmd þess: annars vegar sú staðreynd að mörg og frekar flókin ferli koma við sögu í gróðurhúsaáhrifum lóna; hinsvegar það að lítil sem engin reynsla er af slíkum mælingum hérlendis og aðstæður í flesta staði erfiðari en víðast erlendis og því lítt sambærilegar. Í ljósi þessa var á upphafsári rannsóknanna lögð megináhersla á að þróa og staðfæra aðferðir, velja hentug svæði til mælinga og frumkeyra mælibúnað. Að lokinni þeirri vinnu var hafist handa við mælingar sem sumar hverjar hófust strax fyrsta sumarið en allar mælingar voru



komnar af stað á öðru ári verkefnisins (2004). Mælingum var haldið áfram allt fram á haust 2005. Hér að neðan er gerð frekari grein fyrir rannsóknunum og því hvaða þættir voru mældir og hvenær.

### 3.1. Rannsóknarþættir og mældar breytur

Í grunninn skiptist verkefnið í fjóra meginþætti: 1) mælingar á grunnbreytum; 2) mat á losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni; 3) mat á flæði gróðurhúsalofttegunda í vistkerfum svipuðum og þeim sem fóru undir vatn við gerð lónsins; 4) samanburður við önnur lónstæði. Þessir fjórir meginþættir greindust frekar í tíu undirþætti (tafla 3.1). Gerð er frekari grein fyrir hverjum þessara meginþátta hér að neðan.

Tafla 3.1. Yfirlit yfir skipulag verkefnisins og mældar breytur.

Meginþættir	Undirþættir	Mældar breytur
Mælingar á grunnbreytum	Veðurfarsþættir	Lofthiti
		Jarðvegshiti
		Hiti vatnsbols
		Loftraki
		Inngeislun
		Úrkoma
	Eðlisþættir	Dýpi Gilsárlóns
Efnaþættir	Magn lífræns kolefnis í lónstæði	
Losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni	Mat á flæði koltvísýrings CO <sub>2</sub>	Flæði um yfirborð lóns - <i>klefamælingar</i> - <i>iðufælðismælingar</i>
	Mat á flæði metans CH <sub>4</sub>	Flæði um yfirborð lóns
		Losun með loftbólum
		Afgösun frárennslisvatns
Mat á flæði hláturgass N <sub>2</sub> O	Flæði um yfirborð lóns	
Flæði gróðurhúsalofttegunda í mýrlendi og mólendi við Gilsárlón	Mat á flæði koltvísýrings CO <sub>2</sub>	Flæði CO <sub>2</sub> í mólendi
		Flæði CO <sub>2</sub> í mýrlendi
	Mat á flæði metans CH <sub>4</sub>	Flæði CH <sub>4</sub> í mýrlendi
Mat á flæði hláturgass N <sub>2</sub> O	Flæði N <sub>2</sub> O í mýrlendi	
Samanburður við önnur lón	Kjarnatíraun	Losun metans úr kjörnum af Gilsárlónssvæðinu
		Losun metans úr kjörnum af Þjórsár-Tungnársvæðinu

### 3.1.1. Mælingar á grunnbreytum

Mælingar á grunnbreytum s.s. hita og ljósi eru forsenda þess að geta fært ósamfelldar mælingar á losun lofttegunda yfir á ársgrundvöll með aðstoð líkana. Mældir voru eftirfarandi þættir: lofthiti og loftraki, jarðvegshiti, hiti vatnsbols, og inngeislun. Einnig var gerð mæling á dýpi Gilsárlóns og lagt mat á magn lífræns kolefnis sem fór undir vatn við gerð lónsins.

Í júlí 2003 var sett upp síritandi veðurstöð við suðurenda lónsins sem mældi lofthita, loftraka, jarðvegshita og inngeislun sólarljóss. Fyrir utan tvö stutt stopp um miðjan vetur 2004 og 2005, mældi stöðin fyrrgreindar breytur óslitið allt til loka verkefnisins í nóvember 2005 (sjá nánar kafla 4.1) Sem mat á úrkomu við Gilsárlón var notast við gögn Veðurstofunnar yfir mælda úrkomu við Kolkuhól fyrir árin 2003-5.

Gögn yfir hitastig vatnsbols Gilsárlóns voru fengin frá Landsvirkjun en vatnshiti er mældur reglulega við inntak Blönduvirkjunar. Til að sannreyna gildi þeirra mælinga fyrir lónið almennt var hitastig vatnsbolsins (2m dýpi) einnig mælt í miðju sunnanverðu lóninu frá maí 2005 og fram í október sama ár. Gott samræmi reyndist á milli hitamælinga í lóninu og við inntakið (sjá nánar kafla 4.1).

Sumarið 2004 var dýpi Gilsárlóns metið á 76 punktum (sjá nánar kafla 4.2). Sama sumar var safnað jarðvegssýnum úr mólendi og mýrlendi umhverfis Gilsárlón til að meta magn lífræns kolefnis sem fór undir vatn við gerð lónsins. Sumarið 2005 var haldið áfram með þennan þátt verkefnisins er safnað var gróðursýnum úr sömu vistkerfum til að meta magn lífræns kolefnis í gróðurhluta kerfanna (sjá kafla 4.3).

### 3.1.2. Mat á losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni

Af fenginni reynslu var vitað fyrirfram að ómögulegt væri að reka langtímamælingar á loftskiptum yfirborðs lóna með stökum flotklefum; aðstæður hér á landi eru einfaldlega of vindasamar til að slíkt sé gerlegt. Því var upphafspáttur verkefnisins að hanna einfaldan, sterkan og meðfærilegan flotpramma (mynd 3.2). Pramminn var dreginn á flot í júní árið 2003. Á meðan á verkefninu stóð var pramminn ávallt dreginn í land í lok mælitímabilsins áður en lónið lagði, yfirleitt seinnihluta októbermánaðar, og færður út á lónið á vorin um leið og færi gafst eftir að ísa leysti og aurbleyta á vegum aftraði ekki för, yfirleitt upp úr miðjum maí.



Mynd 3.2. Pramminn sem notaður var við mælingar á loftskiptum um yfirborð Gilsárlóns.

Mælingar á flæði CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> og N<sub>2</sub>O milli andrúmslofts og yfirborðs lóns hófust strax í kjölfar þess að pramminn var tekinn í gagnið, eða í júní 2003 og var haldið áfram með reglulegu millibili fram í seinnihluta októbermánaðar þess árs. Árin 2004-5 stóðu mælingar yfir frá miðjum maí og fram í október. Í öllum tilvikum fóru mælingar fram á nokkrum punktum. Yfir mælitímabilið var sýnum til CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O greininga yfirleitt safnað á tveggja vikna fresti (sjá nánar kafla 5.1). Flæði CO<sub>2</sub> um yfirborð lónsins var mælt á staðnum (sjá nánar kafla 6.3) og var oftast mælt á 2-3 vikna fresti yfir mælitímabilið með þeirri undantekningu þó að tækjabúnaðurinn bilaði sumarið 2003 og mælingar því færri það árið en upphaflegar áætlanir gerðu ráð fyrir.

Til viðbótar við CO<sub>2</sub> mælingarnar á prammanum var einnig sett upp síritandi mælistöð við sunnanvert Gilsárlón til mælinga á upptöku/losun vistkerfa á CO<sub>2</sub> (sjá nánar kafla 7). Búnaðurinn virkar á þann hátt að hann nýtir samhliðamælingar á styrk CO<sub>2</sub> og hreyfingu vinds til að segja til um losun eða upptöku koltvísýrings í viðkomandi vistkerfi. Tækjabúnaðurinn gefur því bæði mat á CO<sub>2</sub> flæði lónsins og gróðurlendanna í kring, allt eftir því hvaðan vindar blása hverju sinni. Stöðin var sett upp til reynslu í lok sumars 2003 og höfð í gangi fram í október það ár. Árin 2004-5 var stöðin í gangi frá seinnihluta maí og fram í október.

Í lónum getur verulegur hluti þess metans sem myndast í botnseti þeirra losnað með loftbólum út í andrúmsloftið. Búnaði sem hannaður var til að safna loftbólum var komið fyrir í vatnsbolnum á miðju sumri 2003 (sjá nánar kafla 5.2). Búnaðurinn gaf góða raun og var því fljótlega fjölfaldaður. Alls voru settir upp 12 loftbólusafnarar á þrem stöðum í lóninu, meðaldýpi 4, 7 og 13 m. Árið 2003 var loftbólum safnað samfelt frá miðjum júlí og fram í október. Búnaðurinn var aftur settur út í maí 2004 og loftbólum safnað óslitið næsta eitt og hálf árið eða fram í október árið 2005. Endrum og eins voru nokkur afföll á söfnurunum sökum veðurs en að jafnaði voru um 9-12 safnarar virkir.

Við rennsli vatns úr Gilsárlóni og út í Blöndu, um yfirfall eða í gegnum virkjunina, afgangast vatnið og loftegundir sem eru í meiri styrk en jafnvægistyrkur við andrúmsloftið segir til um, losna úr vatninu og út í andrúmsloftið í hlutfalli við styrk þeirra í vatninu. Til að meta þennan þátt losunarinnar voru tekin vatnssýni úr lóninu með reglulegu millibili yfir íslausan hluta ársins 2005, alls sjö sinnum frá byrjun júní og fram í lok september. Sýnum var safnað á þremur stöðum á lóninu hverju sinni (sjá nánar kafla 5.3).

### **3.1.3. Mat á flæði gróðurhúsalofttegunda í vistkerfum við Gilsárlón**

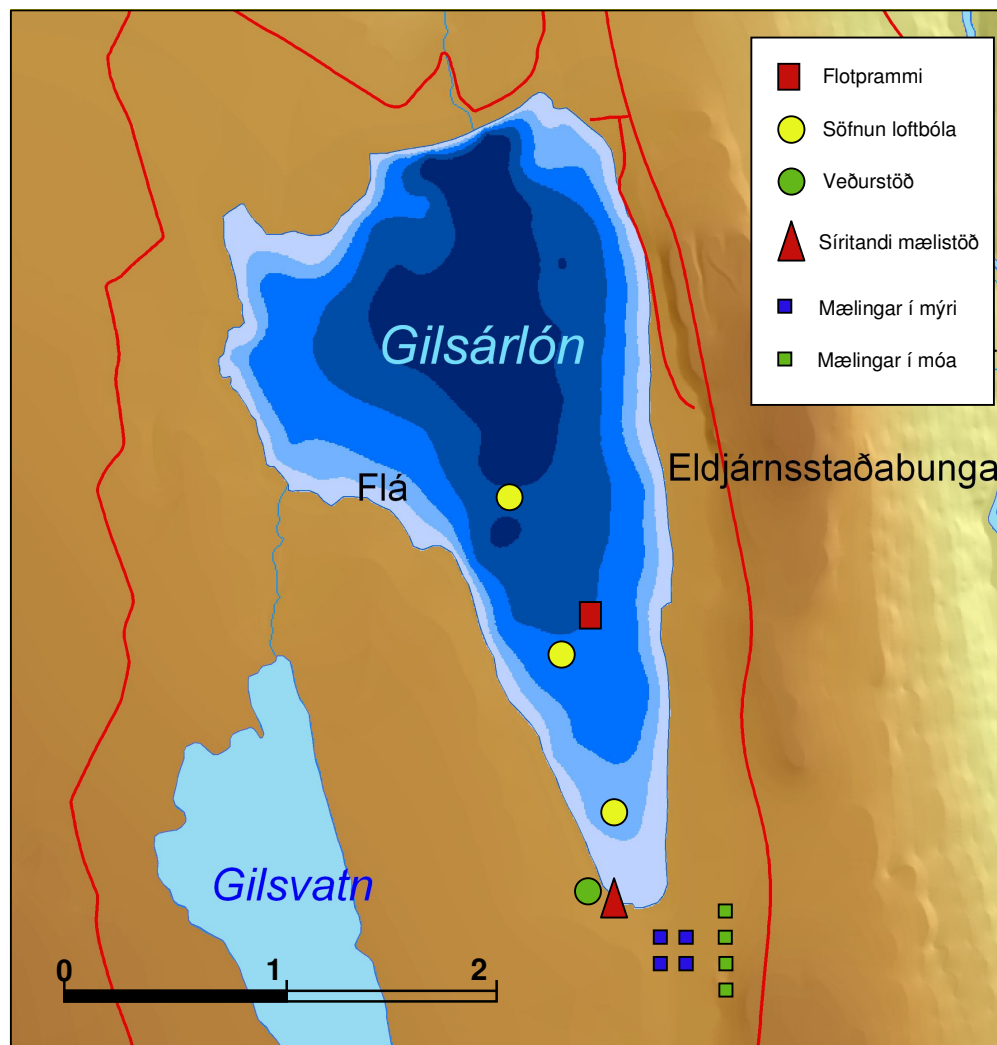
Við heildarmat á gróðurhúsaáhrifum lóna þarf að taka tillit til kolefnisbúskaps þeirra gróðurlenda sem fóru undir vatn við gerð viðkomandi lóns. Við Gilsárlón var það einkum mýrlendi sem fór undir vatn en einnig nokkuð af mólendi. Einn meginþáttur verkefnisins var því að leggja mat á flæði gróðurhúsalofttegunda í þessum vistkerfum.

Sumarið 2004 var hafist handa við reglulegar mælingar á flæði lofttegundanna í gróðurlendum umhverfis Gilsárlón. Mælingar í mýrlendi hófust um miðjan júní og mælt var með reglulegu millibili að mánaðarmótum september og október. Mælt var á fjórum mælireitum og var flæði CO<sub>2</sub> mælt á staðnum (sjá nánar kafla 6.2) en sýnum til CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O greininga safnað í þar til gerðar flöskur (sjá nánar kafla 5.4). Mælingar

á flæði CO<sub>2</sub> í mólendi hófust í byrjun júlí 2004 og var mælt reglulega allt til loka september en mælireitirnir þar voru sex talsins (sjá nánar kafla 6.2). Mælingar þessar í gróðurlendunum voru síðan endurteknar árið 2005 og þá mælt með reglulegu millibili frá því um miðjum maí og fram að mánaðarmótum september og október.

### 3.1.4. Samanburður við önnur lón

Í sumarlok og á haustdögum 2005 voru teknir jarðvegskjarnar úr mýrinni við Gilsárlón annars vegar og hins vegar úr gróðurlendum Þjórsár-Tungnársvæðisins. Tilgangur þessa var að setja upp tilraun í rannsóknastofu þar sem kjörnunum er sökkt og losun metans úr þeim mæld. Þess var vænst að með slíkum samanburði væri hægt að áætla þá losun sem hefur átt sér stað úr lónum Þjórsár-Tungnársvæðisins og í framhaldi af því að smíða líkan sem segir almennt til um losun metans úr lónum útfrá því magni lífræns kolefnis sem sökkt er í hverju tilviki. Unnið var að þessari tilraun árið 2006 (sjá nánar kafla 8).



Mynd 3.3. Staðsetning helstu mælistöðva á Gilsárlónsvæðinu.



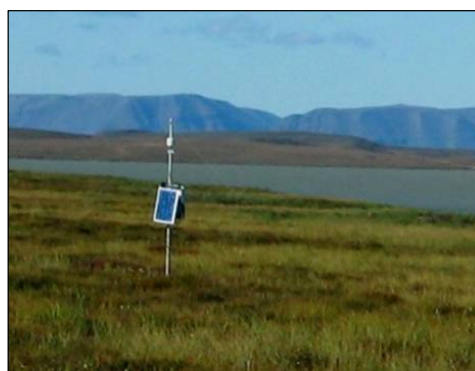


## 4. Mælingar á grunnbreytum

Til stuðnings líkanagerð á seinni stigum verkefnisins voru eftirfarandi grunn-umhverfisbreytur mældar: lofthiti og -raki, jarðvegshiti, vatnshiti, vatnsdýpi, og inngeslun sólarljóss (PAR), ásamt því að úrkomugögn voru fengin frá Veðurstofu Íslands. Þá var og lagt mat á heildarmagn lífræns kolefnis, sem fór undir vatn við gerð lónsins. Hér að neðan eru niðurstöður þessara mælinga raktar í stuttu máli. Í seinni köflum skýrslunnar er notast við þessar breytur við keyrslur líkana, sem líkja eftir flæði gróðurhúsalofttegunda á ársgrundvelli (sjá kafla 5-8).

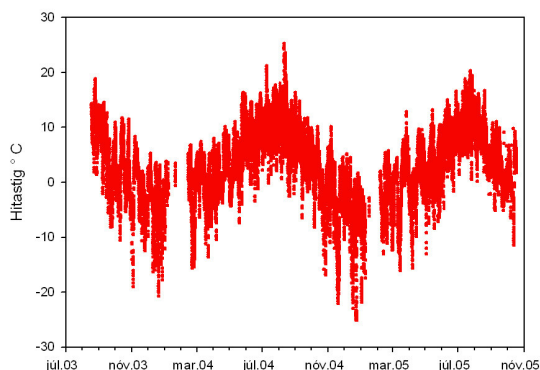
### 4.1. Veðurfarsbreytur

Sumarið 2003 var sett upp veðurstöð við suðurenda Gilsárlóns (sjá myndir 4.1 og 3.3). Stöðin var útbúin með Campbell 1000x sírita sem skráði veðurfarsbreytur á hálf tíma fresti. Orkuþörf stöðvarinnar var mætt með sólarrafhlöðu (10 w). Stöðin mældi lofthita og -raka í tveggja metra hæð en jarðvegshiti var mældur á 10 cm dýpi á tveimur punktum. Þessu til viðbótar var tengdur við stöðina inngeslunarnemi, sem nemur þann hluta sólarljóss, sem nýtist plöntum til vaxtar (PAR nemi).

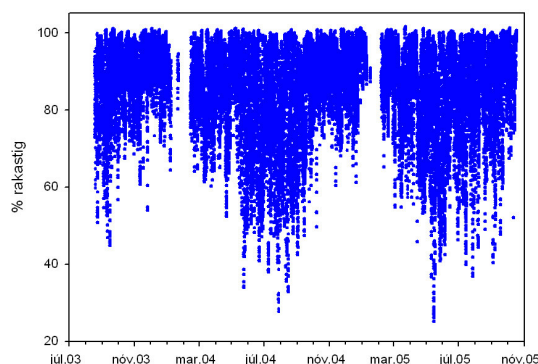


Mynd 4.1 Veðurstöðin við Gilsárlón.

Í heildina gekk rekstur stöðvarinnar mjög vel og gekk hún samfelld ef frá eru talin stutt hlé á mælingum í byrjun árs 2004 og 2005. Niðurstöður lofthita og -raka mælinga má sjá á myndum 4.2 og 4.3.



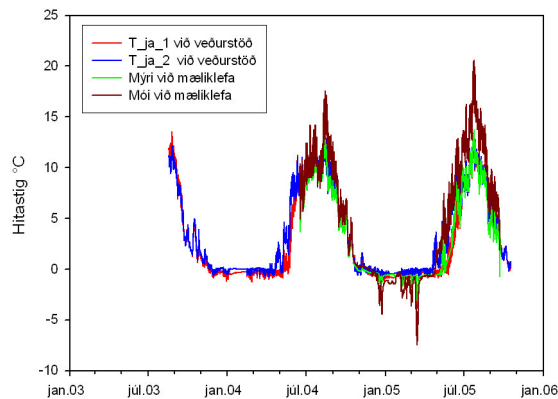
Mynd 4.2 Lofthiti við Gilsárlón á mælitímabilinu.



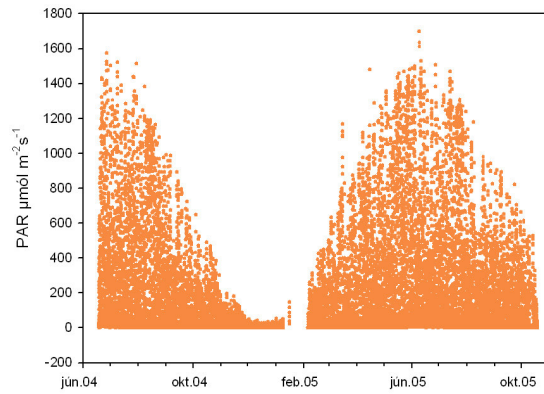
Mynd 4.3 Loftraki við Gilsárlón á mælitímabilinu.

Meðalhiti á ársgrundvelli yfir mælitímabilið var 2,2°C, en kaldast varð -25,1°C (23.12.04) og hlýjast 20,2°C (24.07.05). Meðalhiti yfir sumartímann (15 maí - 15 sept.) var 8,1°C árið 2004, en 6,1°C árið 2005. Meðalloftraki á ársgrundvelli reyndist 84,3%, en loftraki yfir sumarmánuðina var nokkru lægri eða 74,2%. Nokkuð algengt var að loftraki færi niður fyrir 50% að sumri til.

Niðurstöður mælinga á jarðvegshita má sjá á mynd 4.4. Til viðbótar nemunum tveimur í veðurstöðinni var jarðvegshiti einnig mældur frá byrjun sumars 2004 fram á haust 2005 með tveimur nemum sem staðsettir voru við mælireitina í gróðurlendunum.



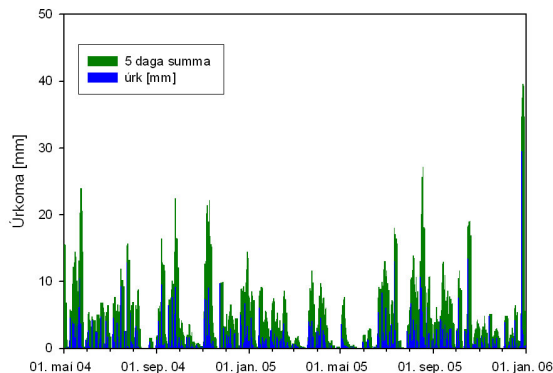
Mynd 4.4 Jarðvegshiti við Gilsárlón 2003-2005.



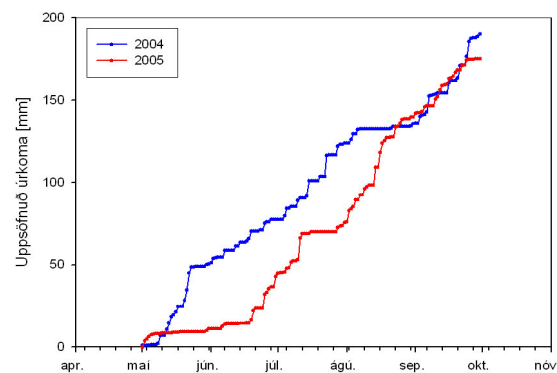
Mynd 4.5 Inngeislun sólarljóss (PAR) við Gilsárlón frá miðju sumri 2004 og fram á haust 2005.

Á mælitímabilinu var meðaljarðvegshiti á 10 cm dýpi á ársgrundvelli 3,2°C í móanum og 2,6°C í mýrinni. Meiri hitasveiflur voru í móajarðveginum samanborið við mýrajarðvegin. Þannig voru hæðstu og lægstu hitagildin í móajarðvegi 20,6 og -7,4°C samanborið við 13,6 og -3,0°C í mýrinni.

Niðurstöður mælinga á inngeislun (PAR) fyrir tímabilið frá miðju sumri 2004 og fram á haust 2005 má sjá á mynd 4.5. Myndin sýnir vel þá miklu sveiflu sem er í inngeislun sólar eftir árstíðum á þessari breiddargráðu.



Mynd 4.6 Úrkoma við Kolkuhól frá maí 2004 til loka árs 2005 (gögn frá Veðurstofu Íslands).



Mynd 4.7 Uppsöfnuð úrkoma við Kolkuhól fyrir tímabilið maí-september (gögn frá Veðurstofu Ísl.)

Úrkomugögn fyrir Kolku voru fengin frá Veðurstofu Íslands og sýnir mynd 4.6 niðurstöður mælinga á úrkomu fyrir tímabilið frá maí 2004 til loka árs 2005. Frekar þurrt er á svæðinu og meðalársúrkoma einungis rúmlega 400 mm. Úrkoma á megin vaxtartímabili gróðurs (júní-ágúst) er í mörgum tilvikum innan við 100 mm (mynd 4.7) og þurrkar á svæðinu geta varað í margar vikur. Slík þurrkatímabil voru í maí og júní 2005 og ágúst 2004 (mynd 4.7).



### 4.3. Magn lífræns kolefnis

Lónstæði Gilsárlóns var algróið fyrir framkvæmdir og til að meta magn lífræns kolefnis sem fór undir vatn við gerð lónsins var sýnum safnað árin 2004-5 úr vistkerfum við Gilsárlón. Vistkerfin umhverfis lónið eru sama eðlis og þau vistkerfi sem undir vatn fóru og eru í raun beint framhaldi af þeim. Sýnum var safnað annarsvegar úr jarðvegi móa og mýra og hinsvegar af gróðri sömu vistkerfa.

Jarðvegssýnum var safnað af þremur svæðum í hvoru vistkerfi fyrir sig og á hverju svæði voru tekin 3-4 sýni á tilviljunarkenndan hátt. Á hverjum sýnatökustað voru tekin 4 hlutsýni af jarðvegi frá yfirborði og niður á 30 cm dýpi. Þessum hlutsýnum var síðan blandað saman til að mynda eitt sýni. Alls var á þennan hátt safnað 10 sýnum úr mýrunum við lónið og 12 sýnum úr mólendinu. Þessu til viðbótar voru á tekin sýni til ákvörðunar á rúmþyngd jarðvegs. Jarðvegssýnin voru unnin á þann hátt að fyrst voru þau þurrkuð, þá sigtuð, því næst möluð og loks greind í CN greini til ákvörðunar á hlutfallslegu magni lífræns kolefnis og niturs.

Gróðursýnum úr vistkerfunum var safnað á þann hátt að í lok verkefnisins var öllum gróðri í gasflæðimælireitunum (sjá mynd 5.13) safnað með því að klippa hann niður við rót. Hver reitur var 35x35 cm að flatarmáli. Alls voru sex reitir klipptir í mólendinu og fjórir í mýrinni. Gróðursýnin voru unnin á þann hátt að fyrst voru þau þurrkuð, því næst möluð og loks greind í CN greini til ákvörðunar á hlutfallslegu magni lífræns kolefnis og niturs.

Niðurstöður greininga á hlutfallslegu magni lífræns kolefnis og niturs í jarðvegs- og gróðursýnunum má sjá í töflu 4.2.

Tafla 4.2. Hlutfallslegt magn lífræns kolefnis og niturs í jarðvegi og gróðri við Gilsárlón

	Jarðvegur			Gróður		
	Kolefni %	Nitur %	C/N	Kolefni %	Nitur %	C/N
Mólendi	4,98	0,37	13,7	35,4	0,86	41,8
Mýri	22,9	1,25	18,3	42,8	1,02	42,9

Til að áætla heildarmagn lífræns kolefnis í jarðvegi á flatareiningu, út frá þessum hlutfallstölum, var dýpt jarðvegs í mólendinu og mýrinni við Gilsárlón metin. Alls var jarðvegisdýpt mæld á 21 punkti í mólendinu og á 57 punktum í mýrinni. Mælipunktarnir voru lagðir út á sniðum sem lágu bæði norður-suður og austur-vestur. Á hverju sniði fyrir sig voru punktar lagðir út á tilviljunarkenndan hátt. Samkvæmt matinu reyndist meðaldýpt mýrajarðvegs vera 2,49 m ( $\pm 1,1$ ) og móajarðvegs 0,49 m ( $\pm 0,28$ ). Í töflu 4.3 eru þessi gögn yfir jarðvegisdýpt, ásamt gögnum um hlutfall lífræns kolefnis og rúmþyngd jarðvegs, notuð við að reikna út heildarmagn lífræns kolefnis á fermetra lands.

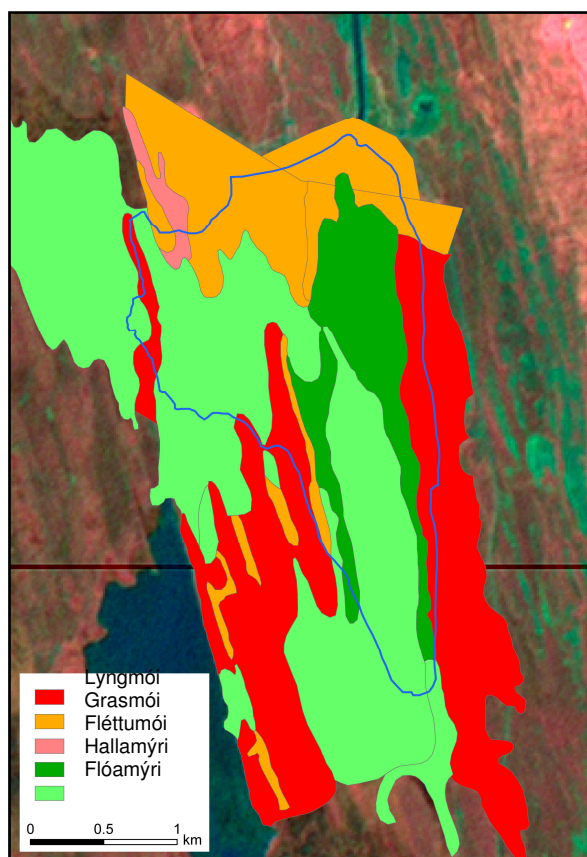
Tafla 4.3 Heildarmagn lífræns kolefnis á fermetra lands í vistkerfum við Gilsárlón.

	Kolefni % C	Rúmpyngd g cm <sup>3</sup> þ.v.	Jarðvegsdýpt m	C í jarðvegi kg m <sup>2</sup>	C í gróðri kg m <sup>2</sup>	Heildarkolefnismagn kg C m <sup>2</sup>
Mólendi	4,98	0,71	0,49	17,3	0,2	<b>17,5</b>
Mýri	22,9	0,27	2,49	154,0	0,3	<b>154,3</b>

Gilsárlón er 4,3 km<sup>2</sup> að stærð og svæðið sem lónið þekur var, eins og fyrr segir, algróið. Vitað var að svæðið hafði að stórum hluta verið mýrlendi en einnig nokkurt mólendi. Til að geta nýtt ofangreindar tölur yfir magn lífræns kolefnis á fermetra (tafla 4.3) til að leggja mat á heildarmagn þess lífræna efnis sem fór undir vatn við gerð lónsins er nauðsynlegt að vita hlutfall mýr- og mólendis í lónstæðinu.

Til að nálgast þær upplýsingar var notast við gróðurkort Náttúrufræðistofnunnar af svæðinu. Þekja mismunandi gróðurlenda var hnitúð af gróðurkortunum og lögð yfir gervitunglamynd af svæðinu. Útlínur lónsins voru síðan lagðar yfir þekjugeirana og heildarþekja hvers gróðurlendis innan lónstæðisins því næst metin. Niðurstöður þessarar greiningar má sjá á mynd 4.10. Samkvæmt greiningunni þekja mýragerðirnar tvær um 2,9 km<sup>2</sup> eða 67% lónstæðisins og móagerðirnar þrjár um 1,4 km<sup>2</sup> eða um 33% lónstæðisins.

Mynd 4.10 Þekja fyrrum gróðurlenda í lónstæði

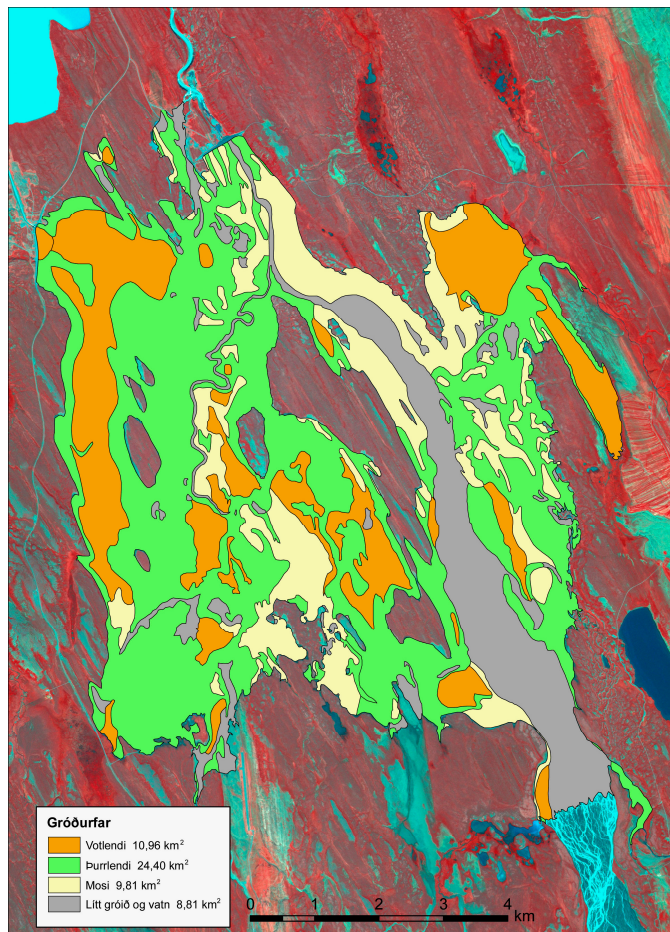


Gilsárlóns (blá lína = útlínur lóns)

Heildarmagn lífræns kolefnis sem fór undir vatn við gerð Gilsárlóns er fengið með því að margfalda flatarmálþekju vistgerðanna með magni lífræns kolefnis á flatareiningu (sjá tafla 4.3). Alls fóru, samkvæmt því, 0,45 milljón tonn af lífrænu kolefni í mýrinni undir vatn og 0,02 milljón tonn í mólendinu. Samtals gera þetta 0,47 milljón tonn af lífrænu kolefni, eða að jafnaði 108,5 kg C á fermetra.



Þar sem mjög svipuð gróðurlendi og jarðvegsgerðir fóru undir vatn við gerð Blöndulóns (mynd 4.11) eins og fóru undir Gilsárlón er einnig hægt að nýta gögnin yfir lífrænt kolefni í jarðvegi og gróðri til að reikna út heildarmagn lífræns kolefnis sem sökk var við myndun Blöndulóns. Margfeldi þekju þessara gróðurlenda og magns lífræns kolefnis á flatareiningu gefur 2,2 milljón tonn af kolefni sem fóru undir vatn við myndun Blöndulóns. Að jafnaði er magn lífræns kolefnis á fermetra lands 38,9 kg sem er verulega minna magn en fór undir Gilsárlón ( $108,7 \text{ kg m}^{-2}$ ) og stafar það einkum af tvennu; annars vegar því að hluti lónstæðis Blöndulóns var ógróinn (15%) og hins vegar því að hlutfall mýrlendis var mun minna af heildinni, eða 20% samanborið við 67% þekju mýrlendis í lónstæði Gilsárlóns.



Mynd 4.11 Þekja þeirra gróðurlenda sem fóru undir vatn við myndun Blöndulóns.

## 5. Losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni – Koltvísýringur

Hér er gerð grein fyrir þeim mælingum sem voru gerðar á flæði CO<sub>2</sub> um yfirborð Gilsárlóns. Annars vegar var um að ræða mælingar með síritandi iðuflæðisturni og hins vegar með mæliklefum á yfirborði lónsins.

### 5.1. Síritandi mælingar á flæði CO<sub>2</sub> með iðuflæðisturni.

#### 5.1.1. Markmið:

Flæði CO<sub>2</sub> milli vistkerfa og andrúmsloftsins er mjög breytilegt. Margir ólíkir þættir hafa áhrif á flæðið og einnig er breytilegt frá einu kerfi til annars hverjir þeir þættir eru. Sumir þessara þátta eru síbreytilegir en aðrir eru stöðugir í lengri tíma. Ekki er heldur alltaf vitað hvaða þættir ráða mestu um flæðið hverju sinni. Samfelldar síritandi mælingar eru því líklegri til að gefa betri mynd af flæðinu en mælingar á einstökum tímapunktum.

Vegna þessa var settur upp síritandi iðuflæðisturn til að mæla CO<sub>2</sub> flæði annars vegar af yfirborði lónsins og hins vegar af því gróðurlendi, sem algengast var í lónstæðinu fyrir virkjun. Síritandi iðuflæðisturn mælir flæðið milli andrúmsloftsins og þess vistkerfis sem vindur blæs af hverju sinni.

#### 5.1.2. Tækjabúnaður og mæliaðferð:

Iðuflæðisturn er í raun samstæða af tækjabúnaði (Mynd 5.1). Megineiningar samstæðunnar eru annars vegar vindhraðamælir, sem mælir iðustreymi í lofti og lofthita út frá breytingum á hljóðhraða, og hins vegar gasgreinir, sem greinir styrk CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>O í lofti. Vindhraðamælirinn í samstæðunni er *WindMaster Pro 3 Axis Ultrasonic Anemometer* frá *Gill Instruments Ltd*. Gasgreinirinn er *LI-7500 Open Path CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Gas Analyzer* frá *LI-COR Biosciences*.



Mynd 5.1 Iðuflæðisturn við Gilsárlón

Mælingar á vindhraða og gasstyrk eru gerðar mjög títt (10 Hz) og er í samstæðunni búnaður, sem samstillir mælingarnar. Einnig er þar hugbúnaður, sem tekur á móti gögnum, sýnir niðurstöður og varðveitir hrágögn. Hugbúnaðurinn sem notaður var til móttöku gagna var WinFluxWMP v1.0 frá Joe Verfaillie Global Change Research Group at San Diego State University. Við úrvinnslu gagna var hins vegar notað forritið *EddySoft* frá Olaf Kolle og Corinna Rebmann. Mæliaðferðin byggist á að tengja saman lofthreyfingar og samsetningu þess lofts. Flæðið til og frá því yfirborði, sem mælt er af er síðan reiknað út frá samfylgni (covariance) lofthreyfinga og styrkbreytinga (Aubinet et al. 2000).

Tækjasamstæðan þarf töluvert rafmagn, en ekki er aðgangur að línurafmagni þar sem turninum var valinn staður. Til þess útvega rafmagn var því sett upp 100W vindrafstöð ásamt tveimur 80W sólarcellum (Mynd 5.2). Vindrafstöðin og sólarcellurnar hlóðu rafmagni á tvo rafgeyma (220 Ahr), sem síðan knúðu tækjasamstæðuna. Þessi uppsetning reyndist í heildina vel en þó voru vissir byrjunarörðugleika, sem glíma þurfti við. Stór hluti af þeim hléum, sem urðu í mælingunum stöfuðu af því að geymar tæmdust og tækin slökktu á sér. Þessu til viðbótar var stuðst við bensíndrífna rafstöð til að hlaða inn á geymana ef þeir höfðu tæmst. Ætíð var slökkt á turninum meðan slík hleðsla stóð yfir.



Mynd 5.2 Vindrafstöð og sólarcellur sem notuð voru til að útvega orku fyrir iðuflæðisturninn.

Turninn var settur upp til prufukeyrslu haustið 2003. Mælingar hófust síðan í maí 2004 og stóðu fram í miðjan október það ár. Turninn var þá tekin niður og settur aftur upp í maí 2005 og tekin niður í lok október 2005.

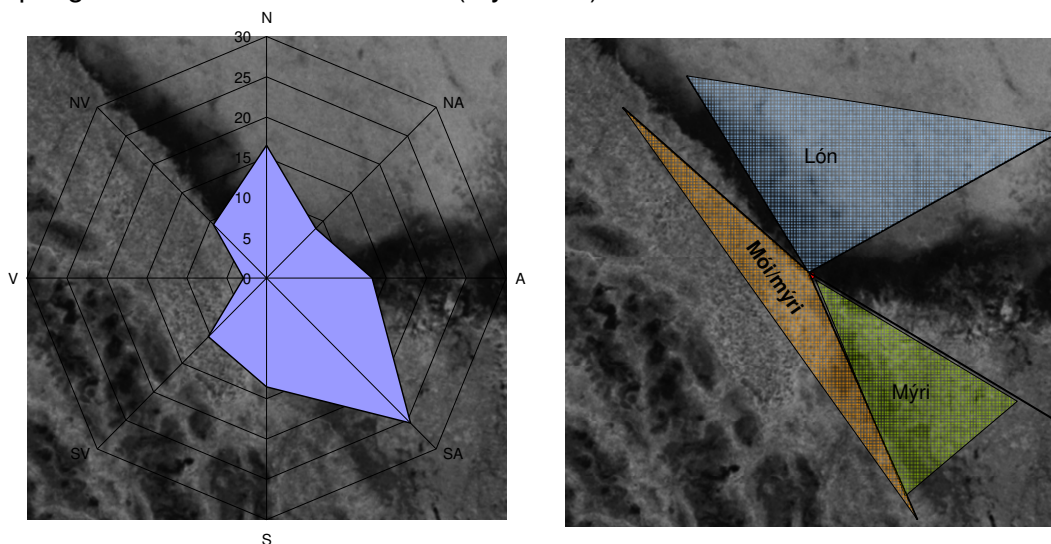
### 5.1.3. Staðsetning:

Turninn var settur upp á mörkum lóns og gróðurlenda við SV enda lónsins. Turninn mælir flæði af því svæði, sem vindur blæs af hverju sinni. Stærð og samsetning þess svæðis sem er að baki mælingar hverju sinni er breytileg eftir bæði vindátt og vindhraða. Það svæði, sem turninn er að mæla af hverju sinni er hér eftir nefnt

bakland turnsins (“footprint”). Með auknum vindhraða stækkar baklandið. Vægi hvers hluta baklandsins er einnig breytilegt eftir vindhraða. Sá hluti baklandsins, sem næst er turninum hefur þó ávalt hlutfallslega meiri áhrif en sá hluti, sem er fjær. Af þessum ástæðum er æskilegast að baklandið sé sem einsleitast. Við staðsetningu turnsins þarf að taka tillit til þessara þátta.

Athugun á tíðni vindátta á svæðinu leiddi í ljós að algengustu vindáttir voru annars vegar suðaustlægar áttir og hins vegar norðlægar áttir (Mynd 5.3).

Með því að staðsetja turninn við SV “horn” lónsins blæs vindur samkvæmt því oftast annars vegar af mýri og hins vegar af lóninu. Þar virtist einnig vera nokkuð einsleitt bakland í þessar algengustu vindáttir. Turninum var því valinn staður á mörkum mýrar og lóns við SV enda lónsins. Í suðvestan og vestan áttum blæs vindur þar af mólendi, sem gerði þá staðsetningunni enn fýsilegri. Í upphafi mælinga var fyrirhuguð skipting baklands miðuð út frá turni (Mynd 5.3).



Mynd 5.3. Til vinstri: Vindrós frá veðurstöð á Kolkuhóli lögð ofan á loftmynd af svæðinu kringum iðuflæðisturninn. Til hægri: Loftmynd af turnsvæði þar sem dregin eru inn skipting baklands eins og hún var miðuð út frá turninum í upphafi mælinga. Á myndinni sést greinilega dökkt svæði meðfram ströndinni

### 5.1.4. Niðurstöður

#### Útreikningar á flæði.

Turninn mælir flæði á  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , varma (H sensible heat) og hreyfiorku (momentum flux) milli andrúmsloftsins og viðkomandi vistkerfa. Niðurstöðurnar eru reiknaðar sem 30 mínútna meðaltöl. Fyrir þá gerð gasgreinis (LI-7500 open path), sem er í tækjasamstæðunni er nauðsynlegt að taka tillit til þeirra áhrifa, sem breytinga á vatnsinnihaldi og eðlisþyngd þess lofts, sem mælt er, hafa á styrkbreytingar  $\text{CO}_2$  (Webb et al. 1980). Aðferðin við að reikna út  $\text{CO}_2$  flæðið byggist í mjög einfaldaðri mynd á því að bera saman styrk  $\text{CO}_2$  annars vegar í því lofti, sem er að streyma upp (frá vistkerfinu) og hins vegar styrkinn í því lofti, sem er að streyma niður (að vistkerfinu). Ef styrkur einhvers efnis í loftinu sem streymir að vistkerfinu er meiri en styrkurinn í því lofti, sem streymir frá því er það túlkað sem upptaka vistkerfisins á viðkomandi efni. Ef loftið sem streymir niður að vistkerfinu er kaldara en það sem streymir upp frá því mælist styrkur efna meiri í loftinu, sem er á niðurleið en því sem er á uppleið án þess að nokkuð hafi verið fjarlægt úr því. Hér er því ekki um



raunverulega upptöku að ræða. Við útreikninga á flæði þarf því að taka tillit til þessa. Sá þáttur í mældu flæði, sem stafar af þessum orsökum er oftast nefndur WPL þáttur, eftir þeim sem fyrstir bentu á tilvist hans í mældu flæði og sýndu hvernig reikna mætti út áhrifin (Webb et al. 1980). Við útreikninga á 30 mínútna gildum var *Eddyflux* forritið notað. Í því forriti er innbyggður sá möguleiki að taka áhrif WPL þáttarins með í útreikningana og var það gert.

Lofþrýstingur, lofthiti og rakastig eru mikilvægar stærðir varðandi útteikning á flæði. Lofthiti og loftraki voru mældir á veðurstöð við turninn (kafli 4.1) en gögn um breytingar á lofþrýstingi voru fengin frá Veðurstöð á Kolkuhóli við Blöndulón.

### **Hreinsun gagna.**

Í gögnunum eins og forritið skilar þeim af sér eru iðulega einstakir mælipunktar, sem víkja langt frá næstu mælingum (spikes). Þessi frávik geta verið af ýmsum orsökum bæði tækjatengdum og orsökum tengdum umhverfisþáttum og breytingum á þeim. Þessi útslög voru greind og hreinsuð úr gögnunum áður en unnið var frekar með þau. Aðferðin við að greina útslögin byggist á mati á því hversu langt einstök gildi víkja frá meðalbreytileika í mælingunum. Fyrst er reiknaður mismunur þess hversu ákveðið gildi víkur frá næsta gildi á undan og hve það víkur frá næsta gildi á eftir. Síðan eru greind þau gildi þar sem mismunur í frávikum frá gildum á undan og eftir fellur utan skilgreindra marka.

**Jafna 5.1. Mat á frávikum einstakra mæligilda;  $d_i$  mælikvarði á frávik.**

$$d_i = (NEE_i - NEE_{i-1}) - (NEE_{i+1} - NEE_i)$$

**Jafna 5.2. Skilgreind viðmiðunarmörk fyrir frávik einstakra gilda;  $Md$  = miðgildi  $d_i$ ,  $MAD$  (sjá Jafna 5.3),  $z$  = stuðull fyrir vidd viðmiðunarmarka. (skilgreint af notanda)**

$$Md + \left( \frac{z \cdot MAD}{0,6745} \right) < d_i < Md - \left( \frac{z \cdot MAD}{0,6745} \right)$$

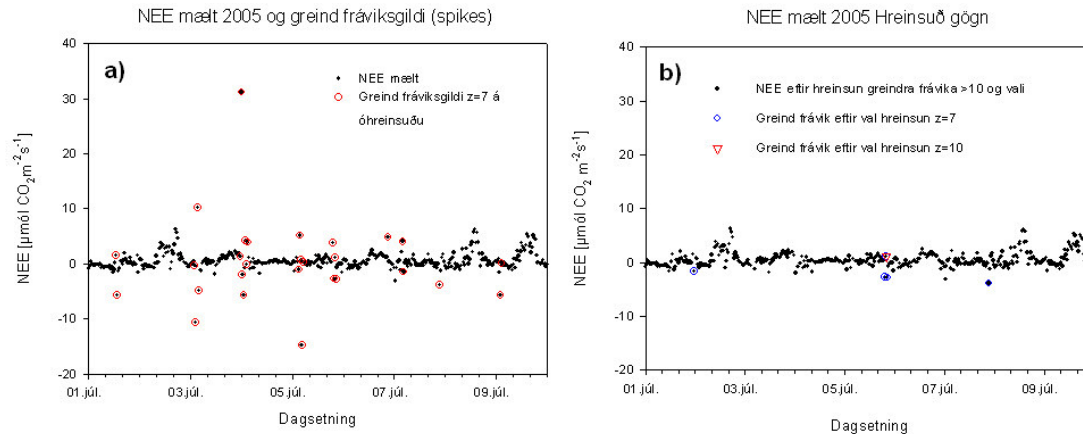
**Jafna 5.3. Skilgreining vegna Jafna 5.2**

$$MAD = \text{miðgildi}(|d_i - Md|)$$

Frávik sem greind voru með þessum hætti voru hreinsuð úr gagnasafninu með kerfisbundum hætti. Gildi sem víkur mjög langt frá öðrum gildum veldur því að aðlægt gildi greinast einnig sem frávik. Þess vegna skiptir máli í hvaða röð gildin eru fjarlægð. Greining og hreinsun frávika úr gögnunum gerist því í nokkrum skrefum. Mynd 5.4 sýnir dæmi um gögn fyrir og eftir hreinsun.

Við ákveðin veðurskilyrði geta myndast hitahvörf þar sem loft næst jörðu nær ekki að blandast efri loftlögum. Ef hitahvörfin eru lægri en hæð iðuflæðiturnsins er flæði  $CO_2$  eingöngu milli loftsins næst jörðu og viðkomandi kerfis (gróðurlendis, lóns). Iðuflæðis turninn mælir því ekki raunverulegt flæði  $CO_2$  milli andrúmslofts og viðkomandi kerfa á þeim tíma. Mælingar við slík skilyrði er því ekki notaðar til að meta flæði  $CO_2$  milli viðkomandi kerfa og andrúmsloftsins.

Algengast er að nota núningshraða (friction velocity)  $U^*$  [ $m s^{-1}$ ] sem mælikvarða á uppblöndun loftmassans.  $U^*$  er reiknað út frá samfylgni (covariance) lóðréttra lofthreyfinga og hreyfingar í vindstefnu. Þessi stærð er ein af þeim stærðum sem *Eddyflux* forritið reiknar og skilar með öðrum stærðum. Í Viðauka 1 eru gróf, sem sýna  $NEE$ , sem fall af  $U^*$  (Myndir I41-I45).



Mynd 5.4 Dæmi um hreinsun gagna. Mæld gildi á NEE 1.-10.7.2005. a) Óhreinsuð gögn og greind frávik. b) Gögn fyrir sama tímabil sem búið er að hreinsa út frá greindum frávikum og mati á þeim.

Með því að skoða hvort NEE er breytilegt eftir  $U^*$  er unnt að greina hvort hitahvörf hafi haft áhrif á mælingar á NEE. NEE, sem mælist við lágt gildi á  $U^*$  er þá frábrugðið því, sem mælist við hærri gildi á  $U^*$ . Ekki fundust nein merki þess að skortur á uppblöndun loftmassa hafi haft áhrif á það NEE, sem mældist. Við úrvinnslu á flæðigögnum voru því notaðar allar mælingar á NEE, sem ekki féllu út vegna greininga á frávikum.

### Greining á gögnum

Næsta skref í úrvinnslu gagnanna fólst í því annars vegar að greina breytileikann í þeim og bera saman við aðrar mældar stærðir. Markmið þeirrar úrvinnslu var í fyrsta lagi að kanna hvort mögulegt væri að greina gögnin m.t.t. upptöku og losunar. Í öðru lagi hvort einhverjar umhverfisbreytur gætu skýrt breytileikann í gögnunum. Slík tengsl umhverfisbreyta og mælinga væri hugsanlegt að nýta til að fylla í eyður í gögnunum, hvort heldur í heild eða fyrir mismunandi bakland, miðað við heildarflæði  $CO_2$  (NEE) eða sundurgreint í upptöku og losunarpátt. Með því að fylla í eyður í mælingum fæst yfirleitt betri mynd af heildarflæðinu yfir viðkomandi tímabil, en næst með einföldu meðaltali mælinga. Gögn voru greind bæði óflokkuð og flokkuð m.t.t. tíma sólarhrings dagsetningar, mánaða, vindáttar (baklands) og birtu.

Flokkun gagnvart vindátt var annars vegar uppskipting í  $10^\circ$  bil (smærri bil einnig skoðuð) og hins vegar miðað við skiptingu í mismunandi bakland. Í fyrstu voru mælingar flokkaðar eftir þeirri skiptingu baklands, sem dregin var upp í upphafi mælinga. Á seinni stigum úrvinnslu kom í ljós að hentugt væri að skipta því baklandi, sem skilgreint var sem lón upp í tvennt.

Tafla 5.1 Afmörkun baklands

Bakland mælinga	gráður
Lón þrengri mörk	0-55°
Lón strandsvæði	325-0°
Mýri	120-160°
Mói_mýri	160-310°

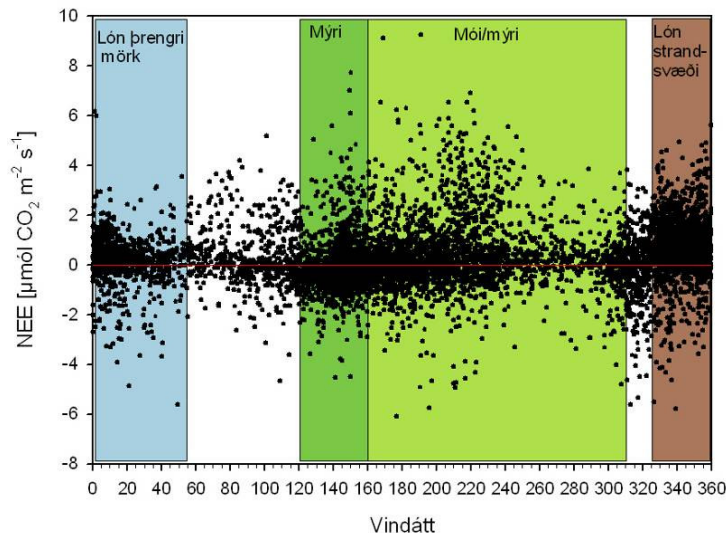
Gagnvart birtu voru mælingar þar sem nýtanlegt ljós til ljóstillífunar (PAR) var  $<1$  skoðuð sérstaklega. Við svo lítið ljós er engin ljóstillífun í gangi.



Fylgni mælinga á CO<sub>2</sub> flæði (NEE) við vindhraða, sólarljós (PAR), lofthita, jarðvegshita loftraka, loftþrýsting og önnur flæði, varmaflæði (H), flæði vatnsgufu (E), flæði uppgufunarvarma (LE) flæði hreyfiorku ( $\tau$ ) og núningshraða (friction velocity U\*) var könnuð við sérhverja uppskiptingu gagnanna.

### Dreifing mælinga

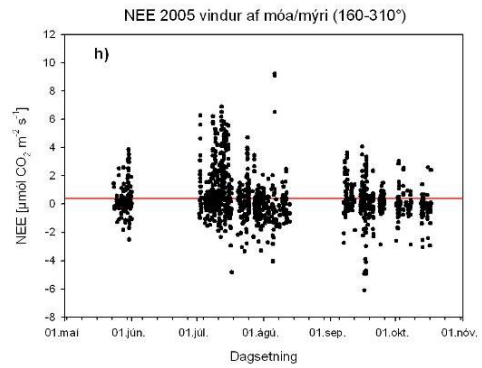
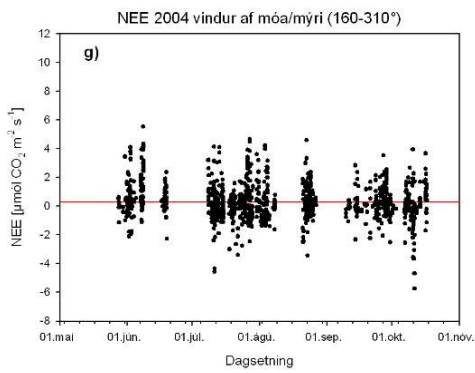
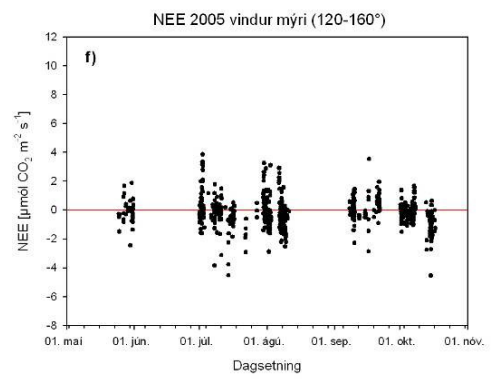
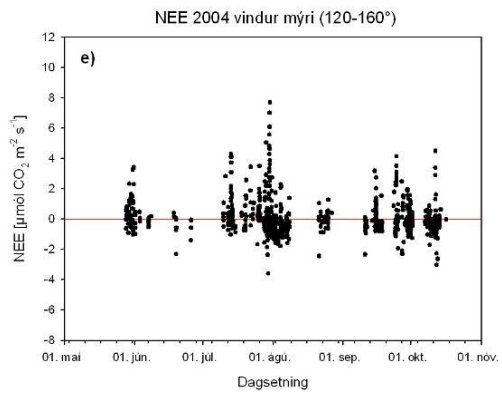
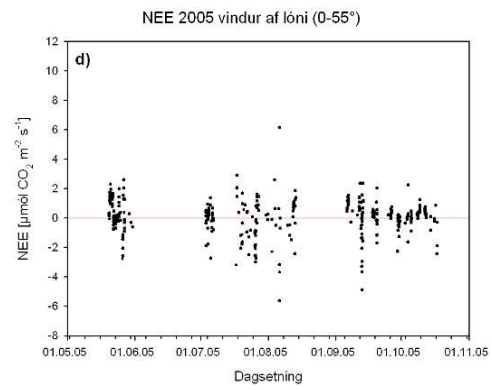
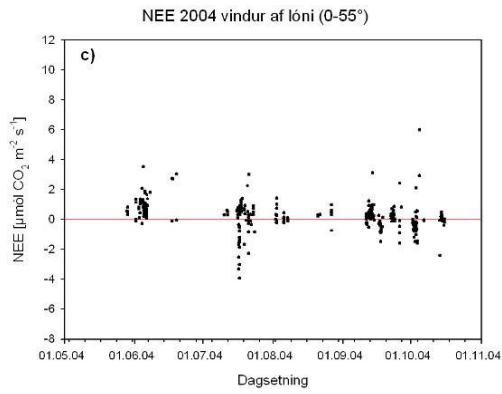
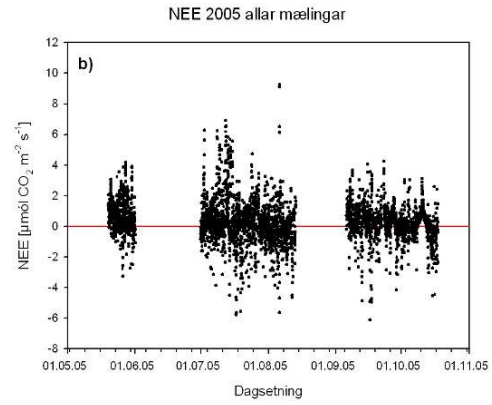
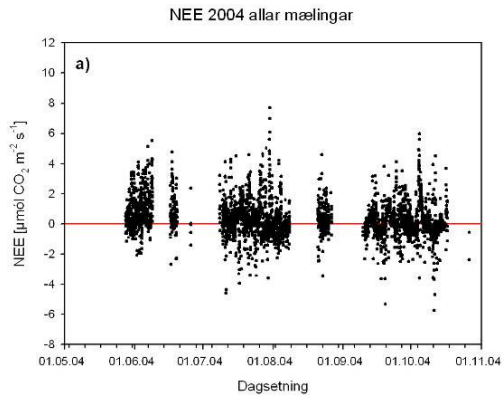
Mælingar með iðuflæðisturninum árið 2004 hófust 28. maí og stóðu til 26. október, 2005 hófust mælingar 19. maí og stóðu til 17. október. Bæði árin er nokkuð af eyðum í mælingunum, sem eins og áður segir skýrist að mestu af straumleysi. Ef horft er til mælinga af hverju einstöku baklandi verða eyðurnar umfangsmeiri því aðeins er unnt að mæla af einu svæði á hverjum tíma.

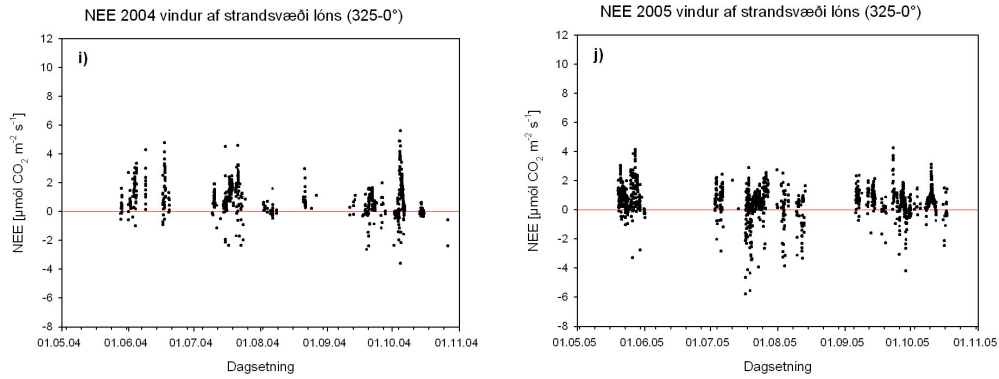


Mynd 5.5 Skipting mælinga eftir vindátt. Afmörkun mismunandi baklands mælinganna er einnig sýnd með litbreytingum í bakgrunni.

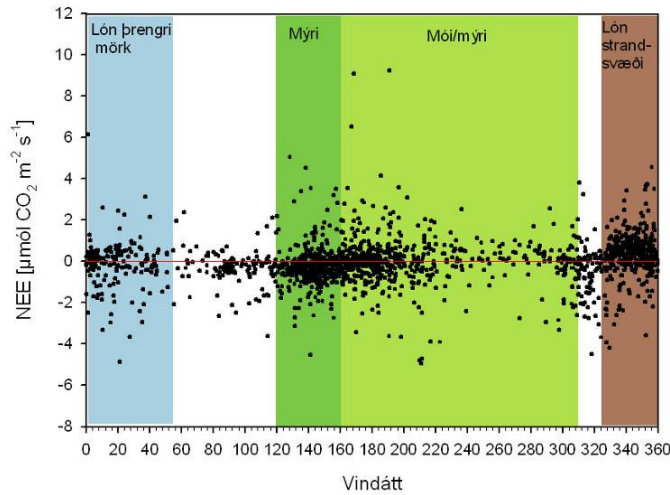
Mynd 5.5 sýnir dreifingu mælinga eftir vindátt og af mismunandi baklandi. Dreifing mælinga er í ágætu samræmi við vindrós svæðisins og mælingar dreifast ágætlega m.t.t. skilgreiningar baklands. Ekki er neinn afgerandi munur á flæði m.t.t. baklands, þó er flæðið jafnara, þ.e. minna útslag, þegar blæs af lóninu en þegar blæs af öðrum svæðum. Ef mælingar flæðis af mismunandi baklandi eru skoðaðar m.t.t. jafnvægislínu (NEE = 0) sést að þegar mælingar eru af baklandi sem er gróið svæði skiptist flæðið (NEE) nokkuð jafnt milli losunar og upptöku. Þegar NEE er >0 er viðkomandi svæði að losa CO<sub>2</sub> út í andrúmsloftið en þegar NEE er < 0 er svæðið að taka upp CO<sub>2</sub> úr andrúmsloftinu. Þegar mælingar eru af lóninu mælist flæðið oftast > 0, þ.e. svæðið er að losa CO<sub>2</sub>.

Mynd 5.6 sýnir dreifingu mælinga yfir mælitímann árin 2004 og 2005, svo og skiptingu mælinga m.t.t. baklands. Mælingar í myrkri voru flokkaðar frá og skoðaðar sérstaklega. Á Mynd 5.7 eru sýndar þær mælingar við PAR<1. Við þau skilyrði er engin ljóstillífun í gangi en engu að síður mælist upptaka og það í öllum gerðum baklands. Það virðist því sem önnur ferli en bein ljóstillífun ráði því hvort upptaka mælist eða ekki

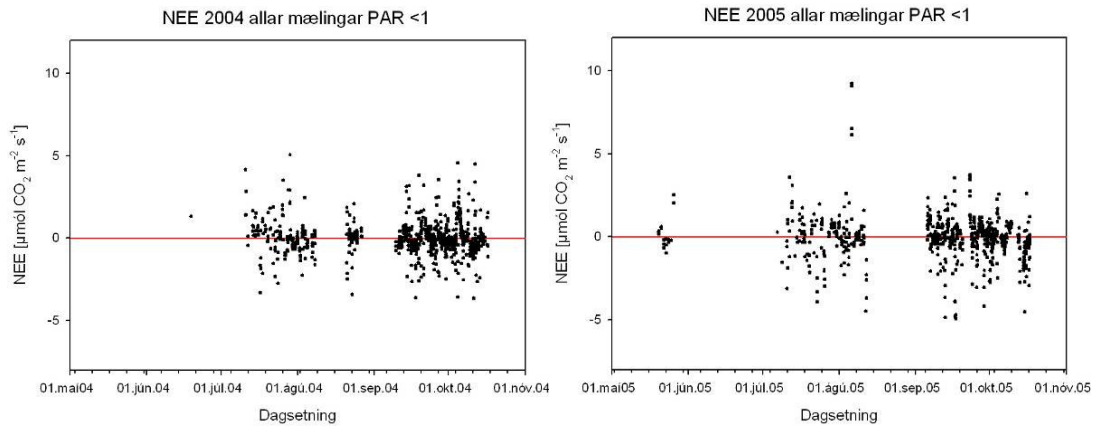




Mynd 5.6. Mælingar á NEE 2004 og 2005: a) allar mælingar 2004, b) allar mælingar 2005, c) mælingar 2004 af lóni, d) mælingar 2005 lóni, e) mælingar 2004 af mýri, f) mælingar 2005 blæs af mýri, g) mælingar 2004 af móa\_mýri, h) mælingar 2005 af móa\_mýri, i) mælingar 2004 af strandsvæði lóns, j) mælingar 2005 af strandsvæði lóns.



Mynd 5.7 Mælingar á NEE þegar myrkur var ( $PAR < 1$ )



Mynd 5.8 Dreifing mælinga við  $PAR < 1$  yfir mælitímann a) 2004 b) 2005.

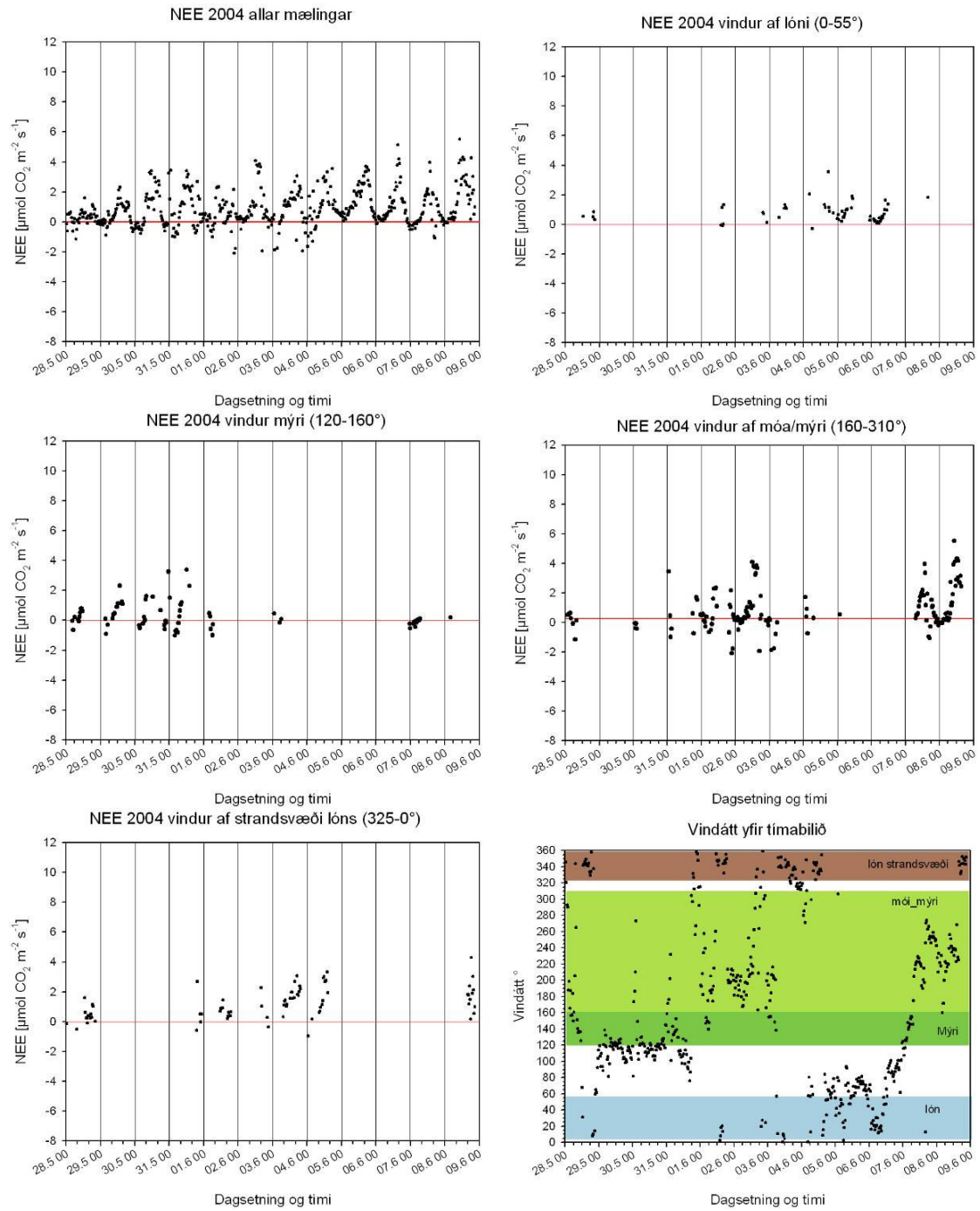
## Dagsveiflur og breytileiki yfir mælitímann

### Dagsveiflur:

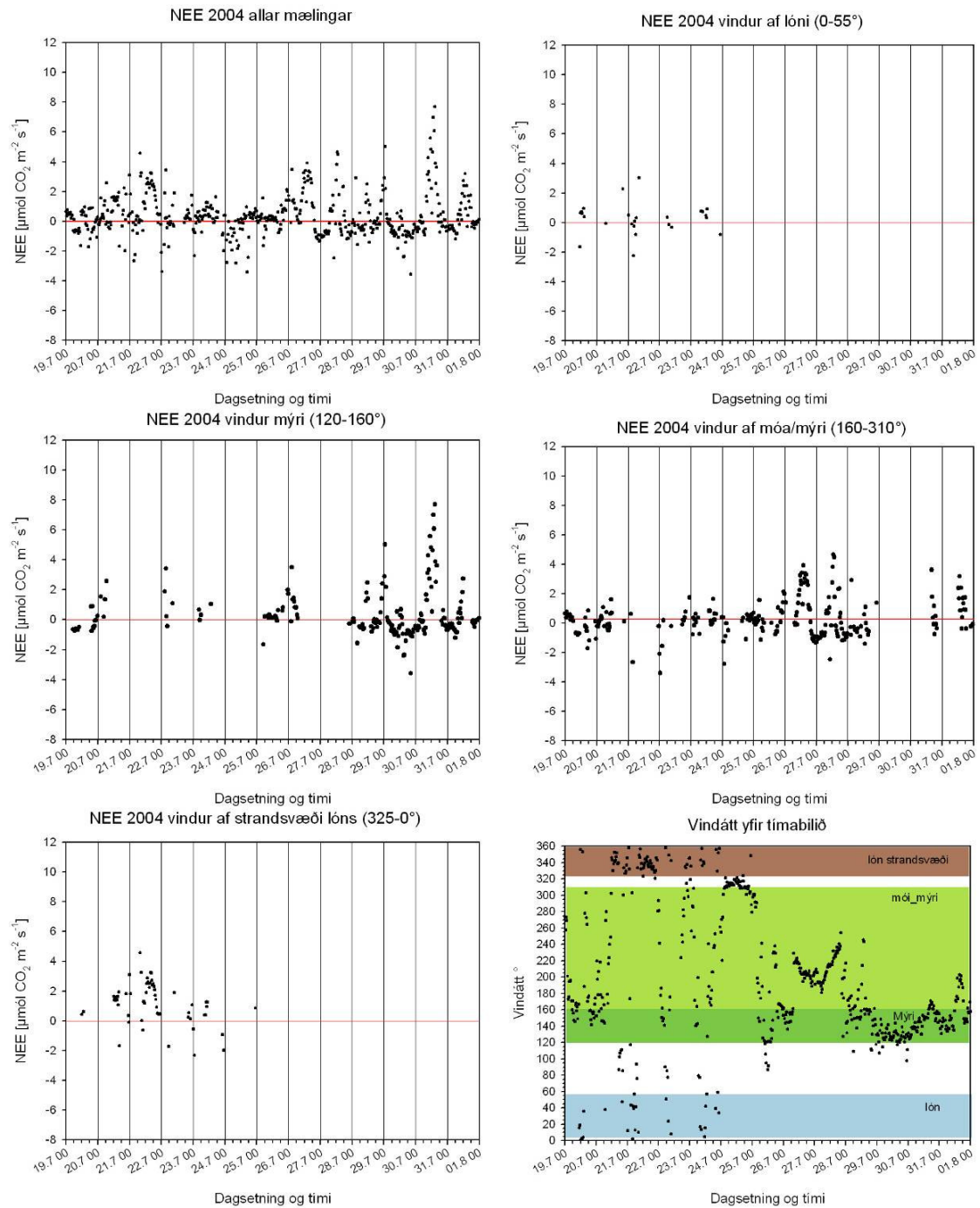
Það hvernig flæði CO<sub>2</sub> breytist innan sólarhringsins og eins yfir lengra tímabil getur gefið vísendingar um hvaða þættir ráði mestu um flæðið. Á myndum 7.10-12 eru sýnd dæmi um mælingar á NEE yfir nokkur valin tímabil.

Á tímabilinu 28.5-9.6.2004 (Mynd 5.9) er dagsveifla í mældu flæði CO<sub>2</sub> (NEE) greinileg þegar horft er til allra mælinga. Toppur er í losun (NEE >0) yfir miðjan dag en í kringum miðnættið er minnst losun og jafnvel upptaka (NEE <0). Sama sveiflan kemur fram í mælingum af öllum baklöndum. Upptaka mælist þó nær eingöngu af gróðurlendunum (mýri og mói\_mýri). Töluvert stór hluti mælinga fellur utan skilgreindra baklanda.

Á tímabilinu 19.7.-1.8. 2004 (Mynd 5.10) er dagsveiflan ekki eins greinileg og á fyrra tímabili. Flestar mælinganna er af gróðurlendunum og tiltölulega fáar af lóninu eða strandsvæði þess. Eins og á fyrra tímabilinu koma fyrir dagar þar sem toppur er í losun af gróðurlendunum um miðjan daginn, en einnig eru dagar þar sem greina má topp í losun um miðnættið og litla losun eða upptöku (NEE <0) um miðjan dag. Slíka dagsveiflu er algengt að sjá í grónum kerfum þar sem ljóstillífun og öndun eru ráðandi ferli. Upptaka mælist nær eingöngu í grónum baklöndum. Fáar mælingar falla utan skilgreindra baklanda.

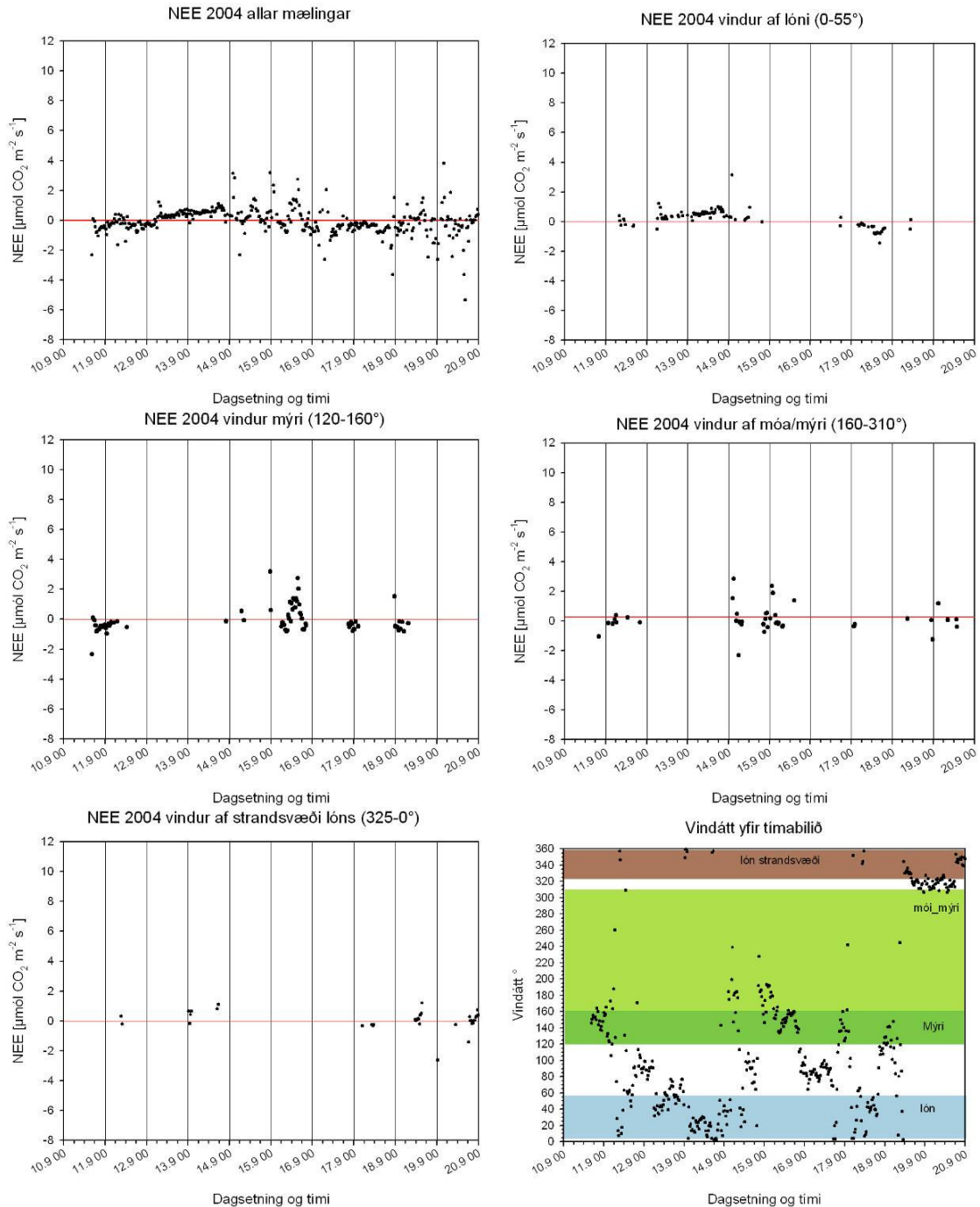


Mynd 5.9 Mælingar á NEE 28.5 -10.6. 2004 flokkaðar m.t.t. baklands ásamt breytingum á vindátt yfir tímabilið.



Mynd 5.10 Mælingar á NEE 19.7.-1.8. 2004 flokkaðar m.t.t. baklands ásamt breytingum á vindátt yfir tímabilið



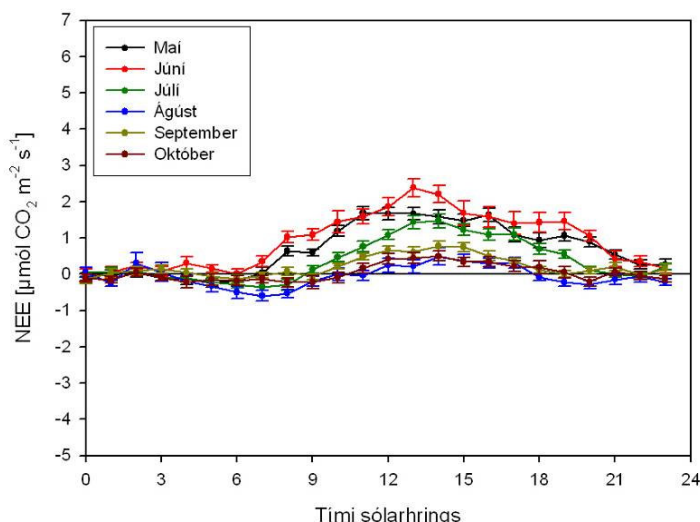


Mynd 5.11 Mælingar á NEE 10-20.9.2004 flokkaðar m.t.t. baklands ásamt breytingum á vindátt

Á tímabilinu 10.9.-20.9. 2004 (Mynd 5.11) er fæsta daga hægt að greina neina dagsveiflu, þó eru tveir til þrjár dagar þar sem toppur verður í losun um miðjan dag. Einn þeirra toppa má greinilega rekja til þess baklands, sem skilgreint er sem mýri. Títtölulega fáar mælingar eru af baklandinu mói\_mýri en þar virðist þó vera toppur í losun um miðnætti tvo daga. Nokkuð stór hluti mælinga er af lóninu og á fyrri hluta tímabilsins er greinileg samfelld lág losun en á seinni hluta tímabilsins mælist greinileg upptaka. Fáar mælingar eru af strandsvæði lónsins. Töluvert stór hluti mælinga fellur utan skilgreindra baklanda.



Sólarhringsssveifla mælinga í hverjum mánuði er sýnd á næstu fimm myndum (Mynd 5.12 -Mynd 5.15 ) annars vegar fyrir allar vindáttir og hins vegar sundurgreint m.t.t. baklands. Gildi fyrir hverja klukkustund er reiknað sem meðaltal allra mælinga fyrir viðkomandi klukkustund í mánuðinum.



Mynd 5.12 Sólarhringsssveifla allra mælinga í hverjum mánuði.

Þegar horft er til allra mælinga (Mynd 5.12) er greinileg dagsveifla í mælingunum. Losun er í hámarki yfir miðjan daginn og er hún mun meiri fyrri hluta sumarsins (maí-júlí) en seinni hlutann. Seinni hluta nætur og fram undir hádegi mælist að jafnaði lítils háttar upptaka seinni hluta sumars.

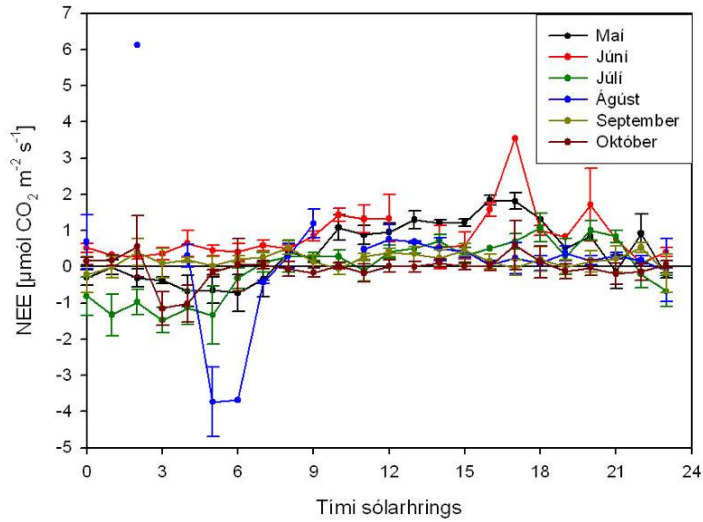
Mælingar þegar lónið er baklandið (Mynd 5.13) sýna ekki eins greinilega dagsveiflu. Að jafnaði mælist losun úr lóninu yfir daginn og suma mánuði einnig yfir nóttina. Upptöku gætir helst að nóttu til. Stakur toppur í losun í ágúst byggist aðeins á einni mælingu og er vart marktækur.

Mælingar þegar mýrin er baklandið (Mynd 5.14) sýna greinilegan topp í losun yfir miðjan dag í maí, júlí og september, engar mælingar voru af þessu baklandi í júní yfir miðjan daginn. Mælingar á öðrum tímum sýna að jafnaði upptöku.

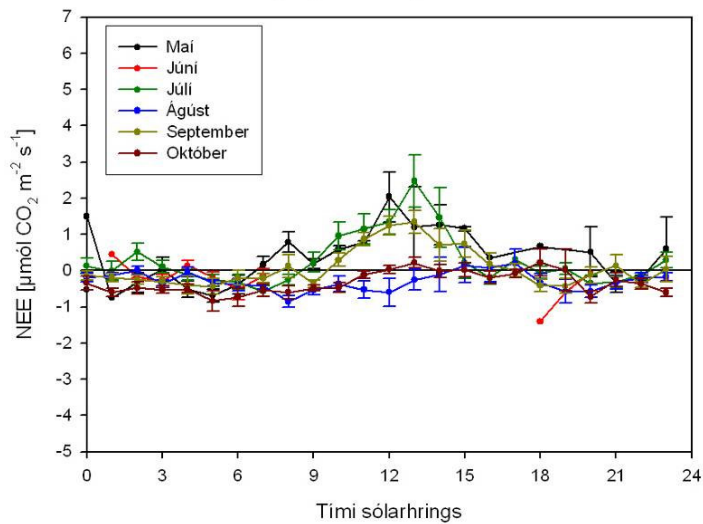
Mælingar þegar baklandið er mói\_mýri (Mynd 5.15) sýna greinilegan topp í losun um miðjan dag og er toppurinn hærri fyrri hluta sumars. Upptaka mælist sitt hvoru megin við losunartoppinn seinni hluta sumars (ágúst –október).

Mælingar þegar strandsvæði lónsins er baklandið (Mynd 5.16) sýna mjög áþekkt munstur og mælingar af lóninu. Losun er þó mun ákveðnari í október en af lóninu. Upptaka er nær eingöngu bundin við tímabilið frá miðmætti til morguns í júlí og ágúst. Breytingar á meðalflæði innan sólarhringsins eru í grófum dráttum tvenns konar annars vegar er flæði af mýri og móa\_mýri og hins vegar er flæði af lóninu og strandsvæði þess.

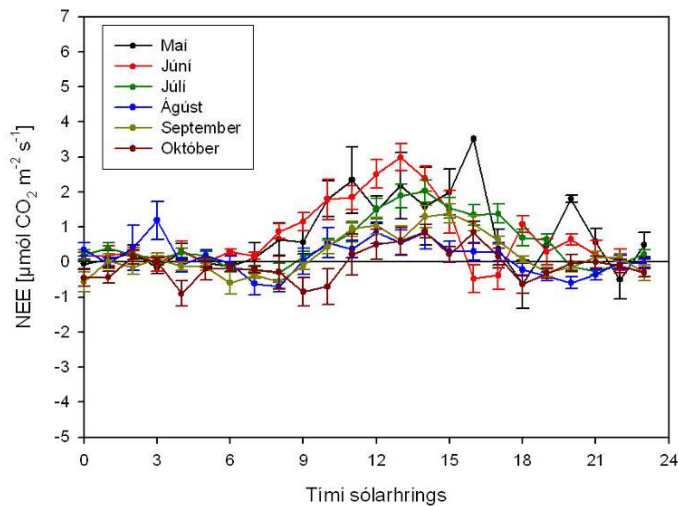
Varðandi gróna baklandið þá sýna mælingar munstur sem er frábrugðið því, sem gróin þurrlandskerfi eru alla jafnan að sýna, þ.e. upptöku um miðjan dag og losun yfir nóttina. Þau kerfi, sem hér er mælt flæði af sýna hvorugt. Upptaka gróðursins þegar ljóstillifun er í gangi er því greinilega yfirsýggð af öflugra losunarferli. Það losunarferli nær aftur á móti ekki að halda uppi losun yfir nóttina. Skýringin á því getur annars vegar verið sú að það sé háð einhverri stýribreytu sem dragi mjög úr ferlinu eða snúi því við að nóttu til eða hins vegar að losunin að nóttu til sé dulin vegna einhvers þriðja ferlis, sem verki í gagnstæða átt á þeim tíma. Ekki er vitað um neitt ferli, sem eingöngu er virkt að nóttu til og gæti leitt til upptöku á CO<sub>2</sub> á þeim tíma.



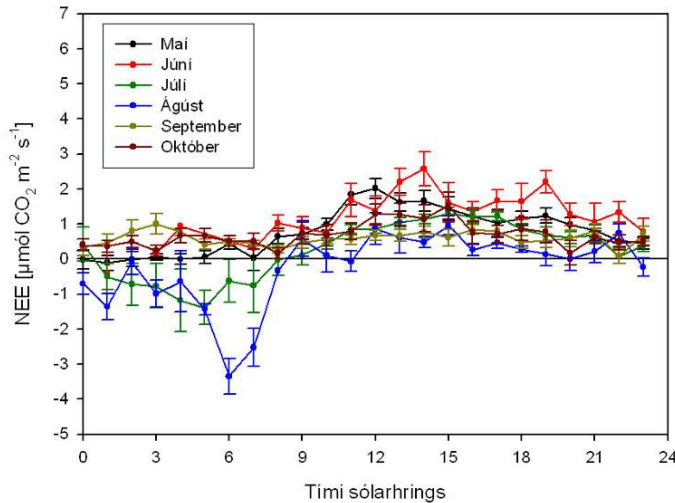
Mynd 5.13 Sólarhrings sveifla mælinga á NEE með lón (0-55°) skilgreint sem bakland.



Mynd 5.14 Sólarhrings sveifla mælinga á NEE með mýri (120-160°), sem skilgreint bakland.

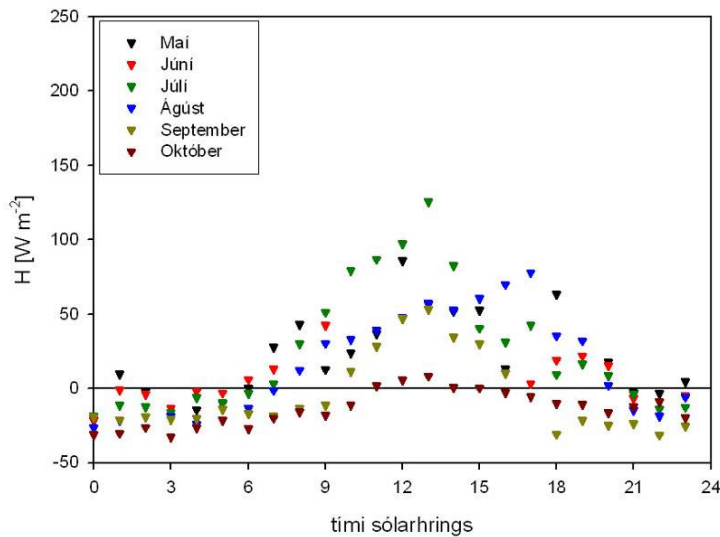


Mynd 5.15 Sólarhrings sveifla mælinga á NEE með móa\_mýri (160-310°) sem skilgreint bakland.



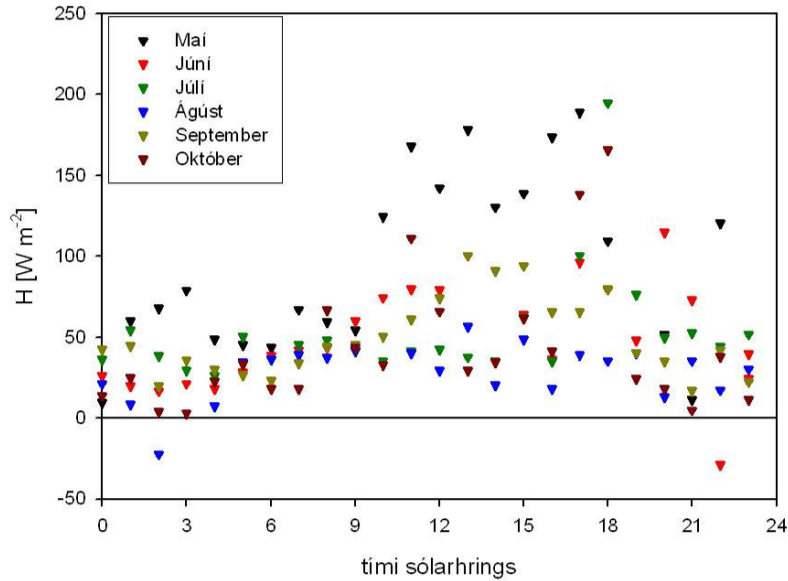
Mynd 5.16 Sólarhrings sveifla mælinga á NEE með strandsvæði lóns (325-0°), sem skilgreint bakland.

Loftskipti milli vatns og lofts eru háð mismun í styrk viðkomandi efnis og streymi vatns og lofts að snertifletinum milli efnanna. Varmaflæði er einn þeirra þátta, sem valdið getur iðuflæði í yfirborðslagi vatnsins. Þegar varmi streymir úr vatninu orsakar sá flutningur blöndun í yfirborðslaginu en þegar varmi streymir í vatnið úr loftinu veldur það lagskiptingu yfirborðslagsins. Varmaflæði mælt af mýrinni sveiflast mjög reglubundið yfir sólarhringinn (Mynd 5.17) og með sama hætti og NEE. Varmaflæði er því einn þáttur, sem mögulega gæti stýrt losun CO<sub>2</sub> úr mýrinni.

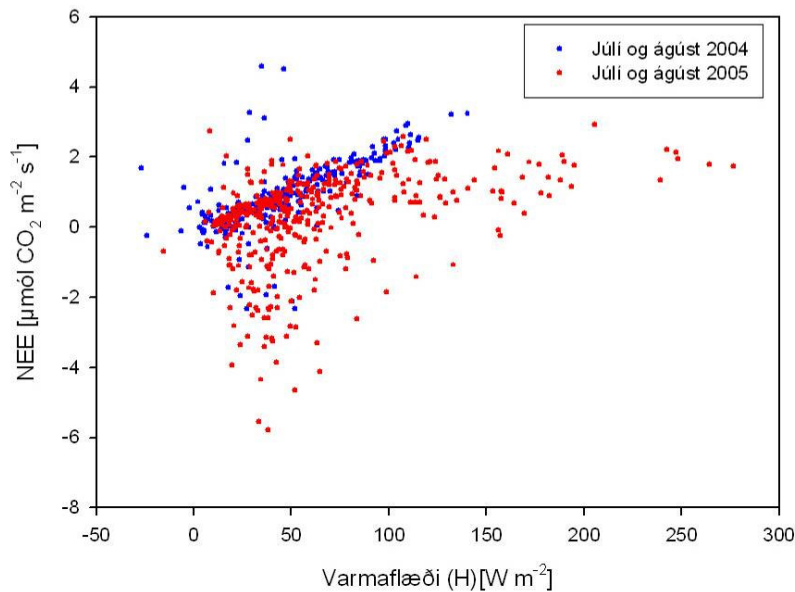


Mynd 5.17 Sólarhrings sveifla í varmaflæði, mælingar af mýri (120-160°). Hver punktur er meðaltal allra mælinga á viðkomandi tíma sólarhrings í hverjum mánuði.

Flæði CO<sub>2</sub> (NEE) af lóninu og strandsvæði þess er yfirleitt frá lóninu til andrúmsloftsins (NEE >0). Styrkur CO<sub>2</sub> í yfirborðslagi lónsins er samkvæmt því alla jafnan meiri en jafnvægisstyrkur miðað við styrk í loftinu yfir lóninu.



Mynd 5.18 Sólarhringssveifla í varmaflæði, mælingar af lóni (0-55°). Hver punktur er meðaltal allra mælinga á viðkomandi tíma sólarhrings í hverjum mánuði.

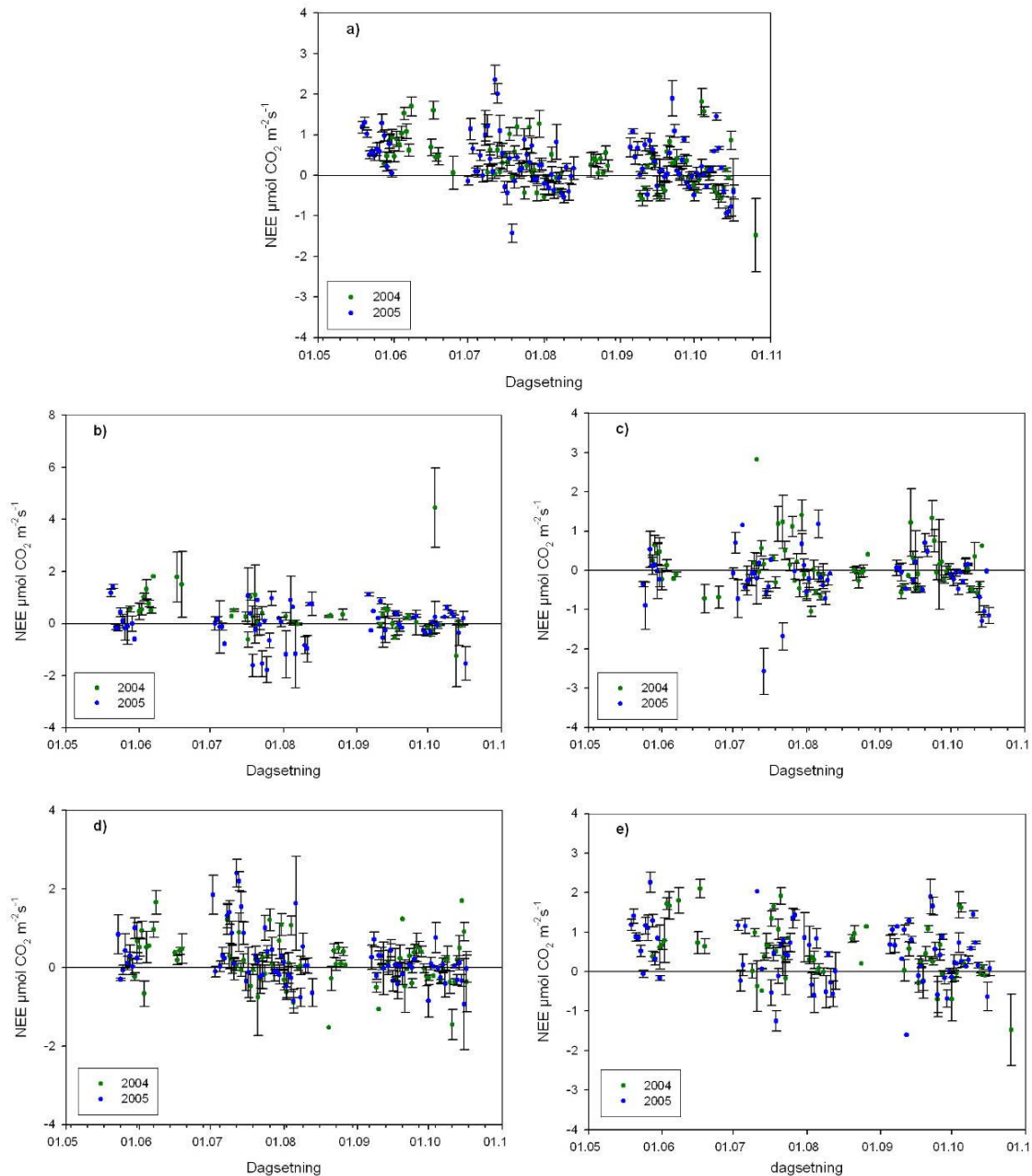


Mynd 5.19 NEE mælt af strandsvæði lónsins (325-0°) í júlí og ágúst, sem fall af varmaflæði

Upptaka, þegar hún mælist, er þó að jafnaði seinnipart nætur eða snemma morguns. Varmaflæði af lóninu eða strandsvæði þess hefur ekki jafn greinilega dagsveiflu og af mýrinni (Mynd 5.18). Uppblöndun í lóninu er einnig háð fleiri þáttum en varmaflæðinu og einkum og sér í lagi vindhraða. Varmaflæðið eykst einnig með vindhraða. Upptaka lónsins í júlí og ágúst virðist einkum vera við varmaflæði innan við 100 W m<sup>-2</sup> (Mynd 5.19).

Breytileiki yfir mælitímann.

Breytileika í NEE yfir sumarið má skoða með því að bera saman dagsmeðaltöl mælinga á hverjum tíma. Á Mynd 5.20 eru sýnd dagsmeðatöl fyrir mælingar 2004 og 2005. Annars vegar eru meðatöl fyrir allar mælingar og hins vegar sundur greint m.t.t. baklands.



Mynd 5.20 Dagsmeðaltöl NEE 2004 og 2005 annars vegar allar mælingar og hins vegar sundur greint m.t.t. baklands; a) allar mælingar, b) vindur af lóni (0-55°), c) vindur af mýri (120-160°), d) vindur af móa\_mýri (160-310°), e) vindur af strandsvæði lóns (325-0°) (Ath. mælinga af lóni eru sýndar á öðrum kvarða)

Ekki er neinn merkjanlegur munur milli ára, hvorki í mælingunum í heild né sundurgreindum eftir baklandi. Breyting yfir mælitímann er einnig lítt áberandi hvort heldur lítið er á allar mælingarnar eða mælingar af mismunandi baklandi. Mælingar af öllum baklöndunum sýna aukningu í flæði yfir hásumarið en misgreinilega þó. Aukningin er greinilegri af grónu svæðunum en af lóninu eða strandsvæði þess. Bæði árin eru tiltölulega fáar mælingar í júní og seinni hluta ágúst, sem veldur aukinni óvissu varðandi breytileikan yfir mælitímann. Þær mælingar sem þó eru í ágúst benda til þess að ákveðin lægð sé í heildarflæðinu (NEE) þann tíma.

### Mögulegir þættir sem stýra flæði CO<sub>2</sub>

Ein leið til að segja fyrir um flæði CO<sub>2</sub> þann tíma þegar eyður eru í mælingunum eða á tímabilum sem mælingar ná ekki til, er að tengja mælingar á NEE við aðra mælda þætti eins og lofthita, vindhraða, PAR eða varmaflæði. Það NEE, sem er mælt er niðurstaða úr fleiri en einu ferli. Í þeim mælingum, sem hér um ræðir eru a.m.k. þrjú megin ferli, sem ráða miklu um NEE. Einnig er líklegt að vægi einstakra áhrifaþátta sé breytilegt eftir baklandi mælinganna hverju sinni.

Í fyrsta lagi er upptaka CO<sub>2</sub> við ljóstillífun, í öðru lagi er myndun CO<sub>2</sub> við niðurbrot á lífrænu efni og í þriðja lagi eru loftskipti milli vatnsyfirborðs, hvort heldur er á lóninu eða í gróðurlendunum, og andrúmsloftsins.

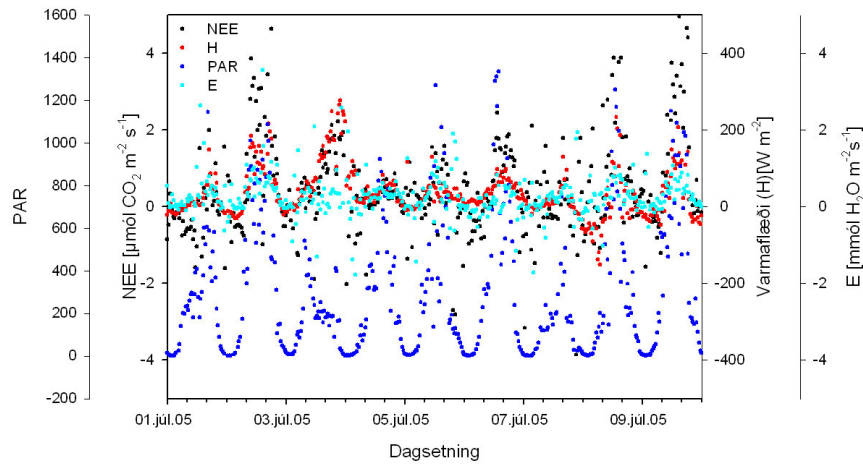
Hvert og eitt þessara ferla er drifið áfram af ólíkum þáttum. Ljóstillífun ræðst m.a. af tiltæku ljósi og magni ljóstillífandi vefja. Aðrir þættir eins og styrkur CO<sub>2</sub> í umhverfinu og vatnsbúskapur plantnanna geta einnig haft mikil áhrif. Upptaka CO<sub>2</sub> úr vatni getur verið óbein þ.e. á formi HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Niðurbrot lífrænna efna er mjög háð bæði gæðum þess efnis, sem brotið er niður og eins hitastigi og aðgengi að súrefni. Loftskiptin milli vatnsyfirborðs og andrúmsloftsins ráðast m.a. af mismun í styrk CO<sub>2</sub>, annars vegar í vatnsyfirborðinu og hins vega í loftinu næst yfirborðinu og af flutningi CO<sub>2</sub> til og frá yfirborðslaginu. Styrkur CO<sub>2</sub> í vatninu er háður myndun þess við niðurbrot og upptöku við ljóstillífun. Einnig hvarfast CO<sub>2</sub> við vatnið og jónir þess og myndar bæði bí-karbonsat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) og karbonsýru (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Þessi efnahvörf verða bæði með ólífrænum efnahvörfum og eins fyrir tilstuðlan þörunga og háð ljósi (Tchernov et al. 2003). Aðgengi ljóstillífunar í vatni að CO<sub>2</sub> ræðst því af mjög mörgum þáttum. Flutningur CO<sub>2</sub> í vatninu til og frá yfirborðinu ræðst af varmastreymi og vindhraða. Varmaflutningur úr vatninu yfir í andrúmsloftið (H>0) veldur kælingu á vatninu næst yfirborðinu sem sekkur við það (nema hitastig þess sé undir 4°C) og veldur uppblöndun og þar með flutningi CO<sub>2</sub> að yfirborðslaginu. Varmaflutningur úr lofti í vatnið stuðlar að lagskiptingu vatnsins. Upptaka CO<sub>2</sub> úr þessu lagskipta lagi getur lækkað styrk þess í vatninu og stuðlað að upptöku úr lofti.

Það er því ljóst að flæði CO<sub>2</sub> milli andrúmsloftsins og lónsins getur ráðist af mjög mörgum þáttum og að ekki nema fáir þeirra voru mældir reglulega í þessu verkefni. Flæði CO<sub>2</sub> af öðrum baklöndum er einnig að hluta til háð þessum sömu þáttum því staðsetning iðuflæðisturnsins gerir það að verkum að áhrifa lónsins gætir þar einnig. Lónið teygir sig með ákveðnum hætti inn í gróðurlendin.

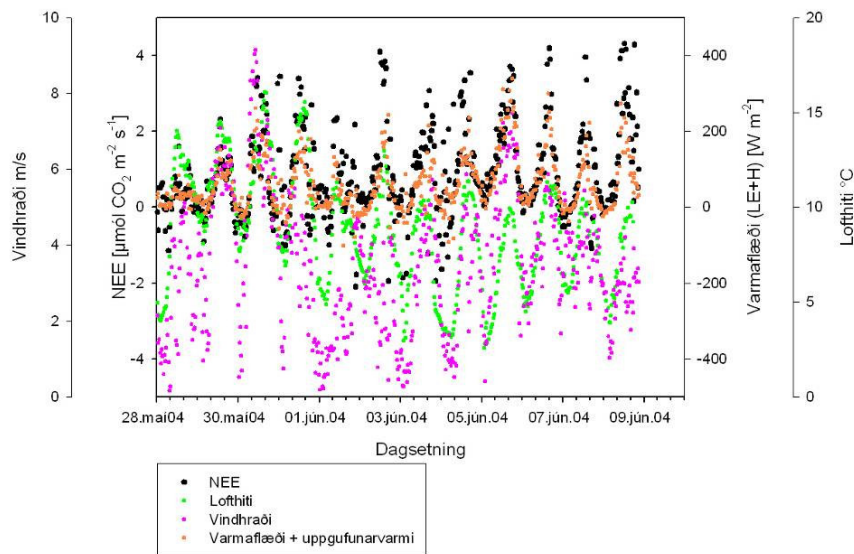
Sú rýni í iðuflæðisgögnin sem gerð er grein fyrir hér að framan sýnir að það eru reglubundnar sveiflur í mældu flæði CO<sub>2</sub> (NEE). Sveiflurnar eru misgreinanlegar eftir tímabilum og baklandi. Dagsveifla í mældu NEE af grónu baklandi er ekki í samræmi við þá sveiflu sem venjulega greinist í grónum vistkerfum. Sveiflur í mældu NEE af lóninu og strandsvæði þess benda til að loftskipti milli vatnsyfirborðsins og

andrámsloftsins hafi meiri áhrif á flæðið sem mælist en bein myndun og upptaka CO<sub>2</sub>.

Á Mynd 5.21, Mynd 5.22 og Mynd 5.23 eru sýndar samtímamælingar á NEE ósundurgreint m.t.t. baklands og nokkrum öðrum mældum þáttum fyrir nokkur valin tímabil. Á þessum myndum sést greinilega að sveiflur margra þátta fylgjast að í tíma og er það sterk vísbending um að þeir þættir stýri að einhverju leyti flæði NEE eða ráðist af sameiginlegum þriðja þætti.

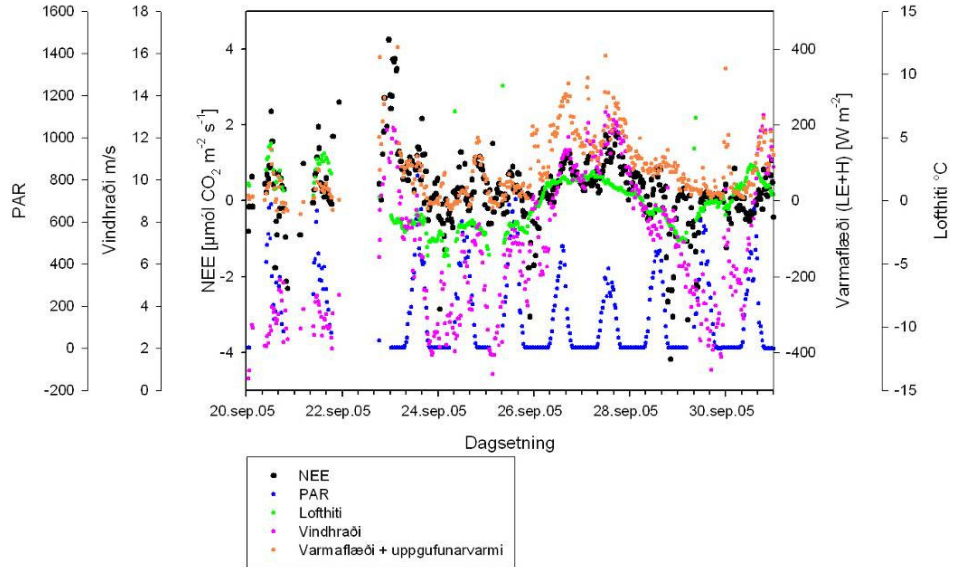


Mynd 5.21 Samtímasveiflur 1.7.-10.7.2005 í mældu heildarflæði CO<sub>2</sub> (NEE), varmaflæði (H), flæði vatnsgufu (E) milli yfirborðs og andrámslofts fyrir öll baklönd. Einnig eru sýndar sveiflur í tiltæku ljósi (PAR).



Mynd 5.22 Samtímasveiflur 28.5.-9.6.2004 í mældu heildarflæði CO<sub>2</sub> (NEE), loftthita, vindhraða og samanlögðu varmaflæði og uppgufunarvarma (H+LE). Mælingar af öllum baklöndum.

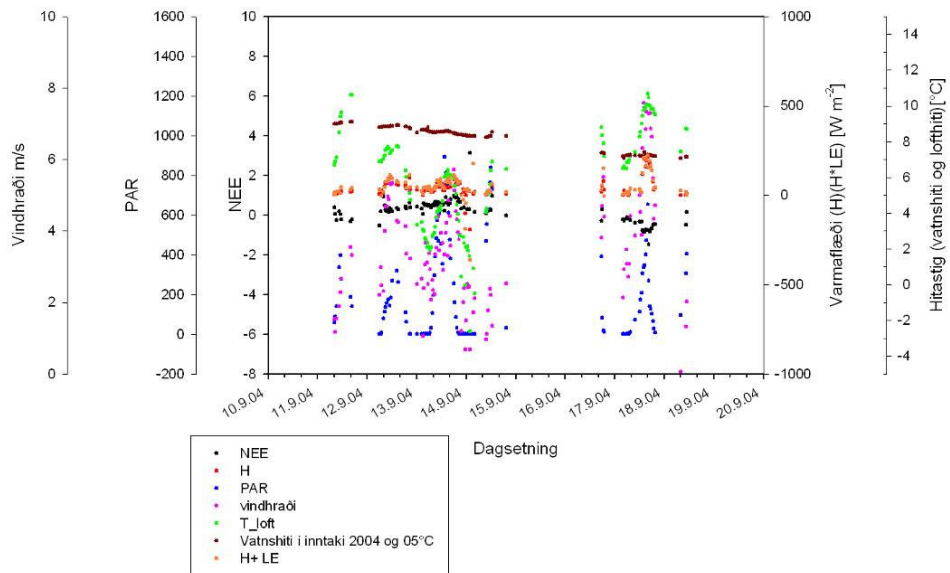




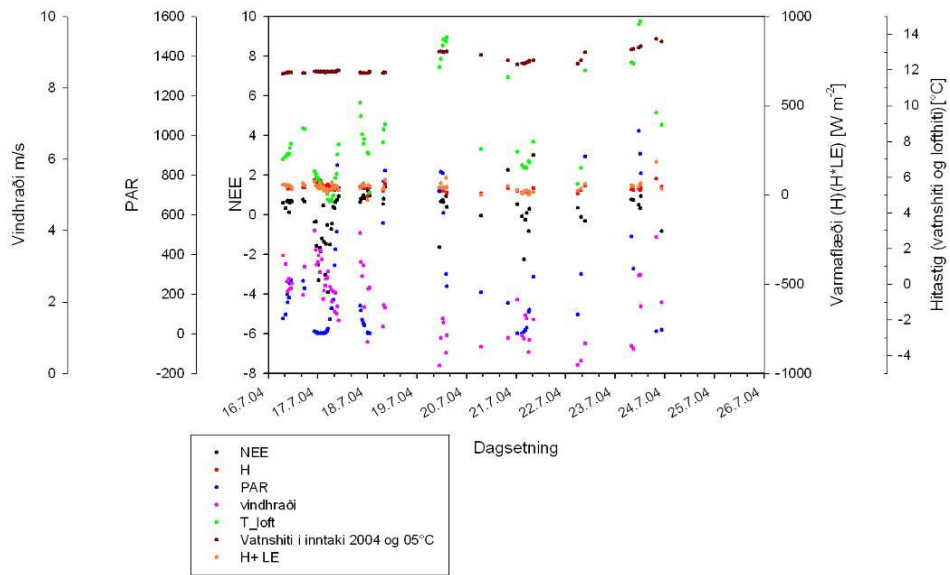
Mynd 5.23 Samtímasveiflur 20.9.-1.10.2005 í mældu heildarflæði CO<sub>2</sub> (NEE), lofthita, vindhraða, tiltæku ljósi og samanlögðu varmaflæði og uppgufunarvarma (H+LE). Mælingar af öllum baklöndum.

Á Mynd 5.24 og Mynd 5.25 eru sýndar mælingar á NEE með lónið sem bakland og samtímabreytingar í öðrum mældum stærðum. Sveiflur í NEE af lóninu eru mun minni en í ósundurgreindu flæði. Því er örðugra að greina á myndunum möguleg tengsl NEE við breytingar í öðrum þáttum. Mælingar af hverju baklandi fyrir sig eru eðli málsins samkvæmt ekki eins samfeldar og ósundurgreindar mælingar.

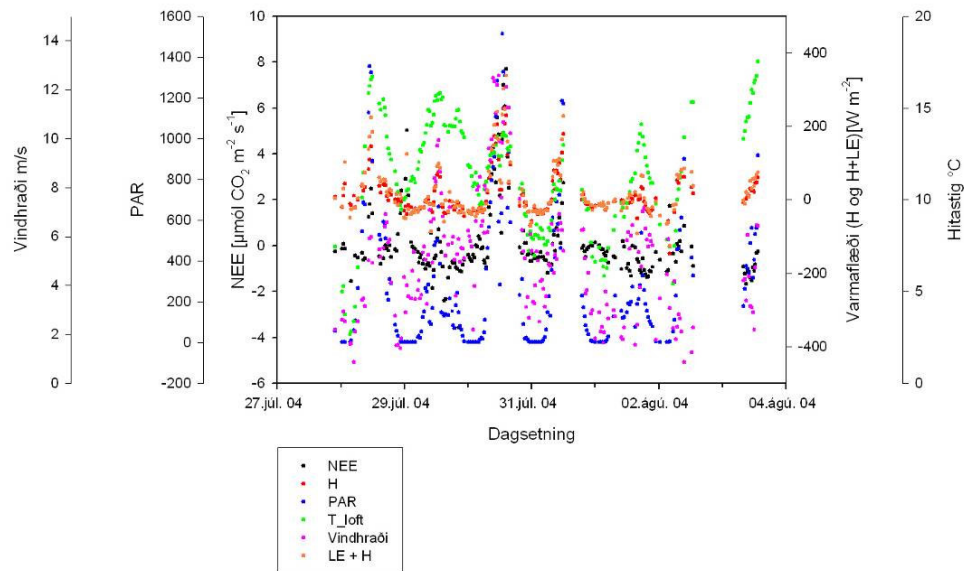
Á Mynd 5.26, Mynd 5.27, Mynd 5.28 og Mynd 5.29 eru sýndar mælingar með gróin kerfi sem bakland. Þar eru tengslin milli NEE og annarra mældra þátta meira áberandi. Einkum virðast toppar í losun CO<sub>2</sub> tengjast aukningu í vindhraða og varmaflæði og PAR. Tengslin eru óljósari á öðrum tímum.



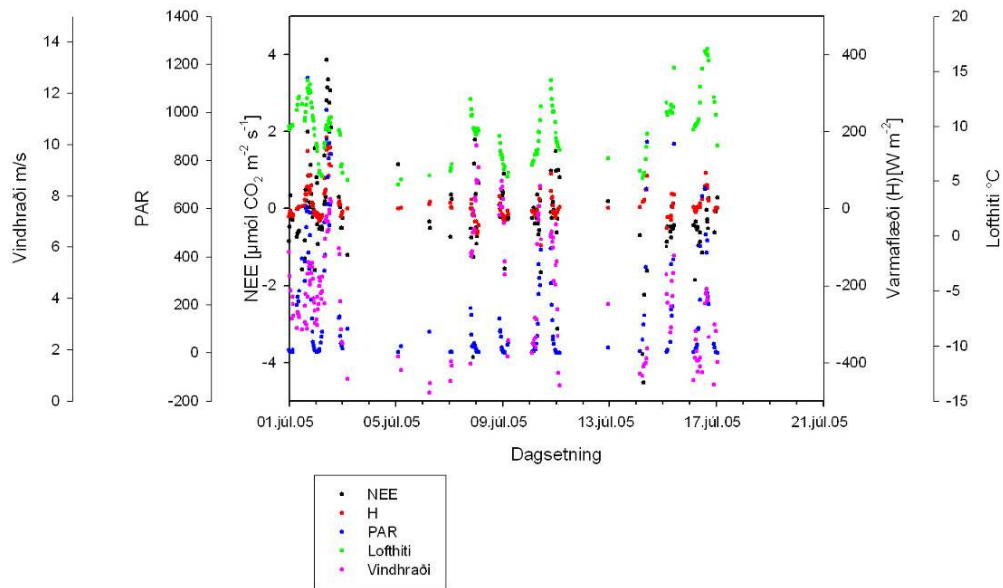
Mynd 5.24 Samtímasveiflur 10.9.-20.9.2004 í mældu heildarflæði CO<sub>2</sub> (NEE), varmaflæði (H), tiltæku ljósi (PAR), vindhraða, lofthita (T\_loft), vatnshita og samanlögðu varmaflæði og uppgufunarvarma. Mælingar með lón (0-55°) sem bakland



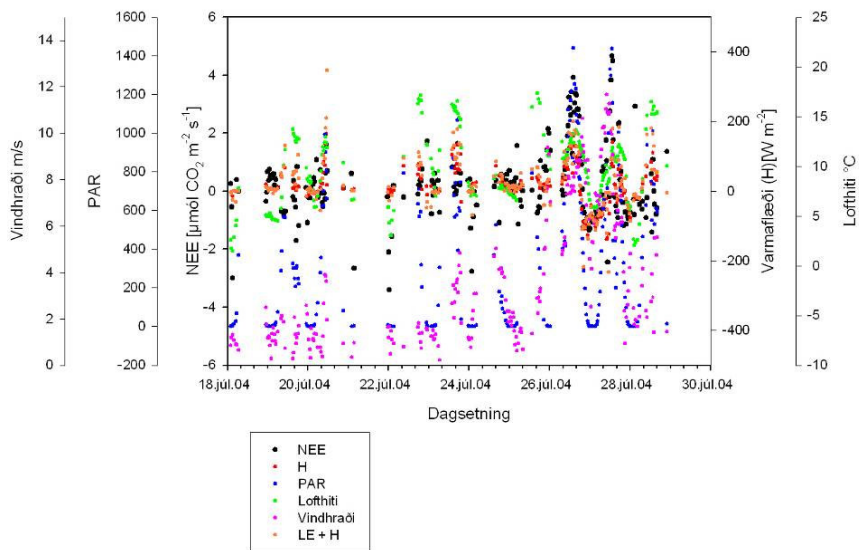
Mynd 5.25 Samtímasveifur 16.7.-26.7.2004 í mældu heildarflæði CO<sub>2</sub> (NEE), varmaflæði (H), tiltæku ljósi (PAR), vindhraða, loftshita (T\_loft), vatnshita og samanlögðu varmaflæði og flæði uppgufunarvarma. Mælingar með lón (0-55°) sem bakland



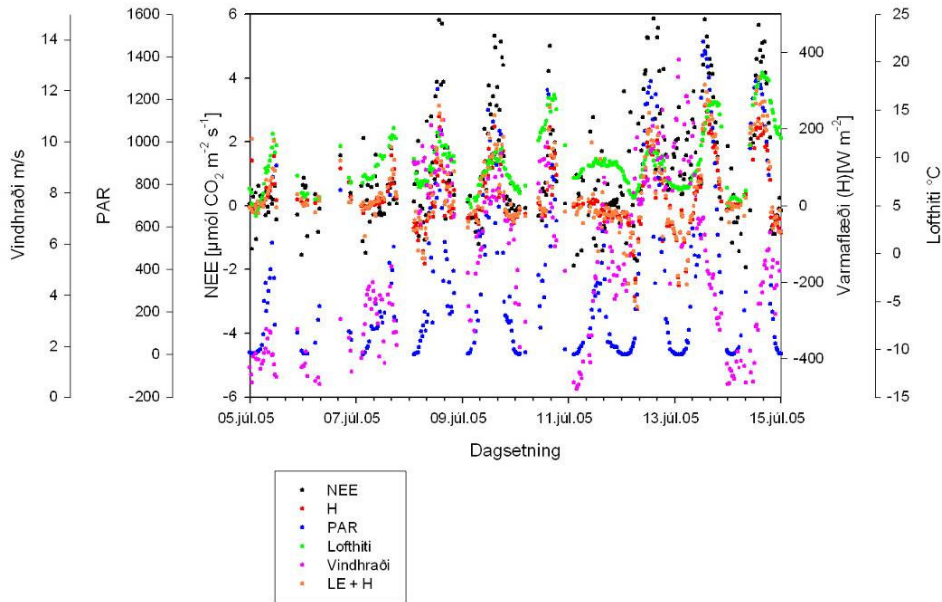
Mynd 5.26 Samtímasveifur 27.7.-4.8.2004 í mældu heildarflæði CO<sub>2</sub> (NEE), varmaflæði (H), tiltæku ljósi (PAR), loftshita (T\_loft), vindhraða, vatnshita og samanlögðu varmaflæði og flæði uppgufunarvarma. Mælingar með mýri (120-160°) sem bakland



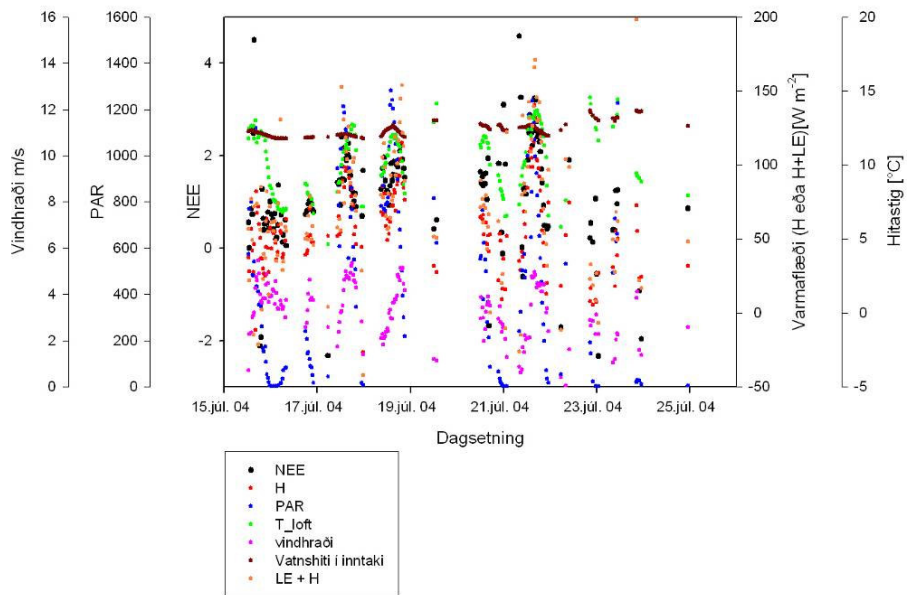
Mynd 5.27 Samtímasveiflur 1.7.-21.7.2005 í mældu heildarflæði CO<sub>2</sub> (NEE), varmaflæði (H), tiltæku ljósi (PAR), lofthita (T\_loft), vindhraða, vatnshita og samanlögðu varmaflæði og flæði uppgufunarvarma. Mælingar með mýri (120-160 °) sem bakland



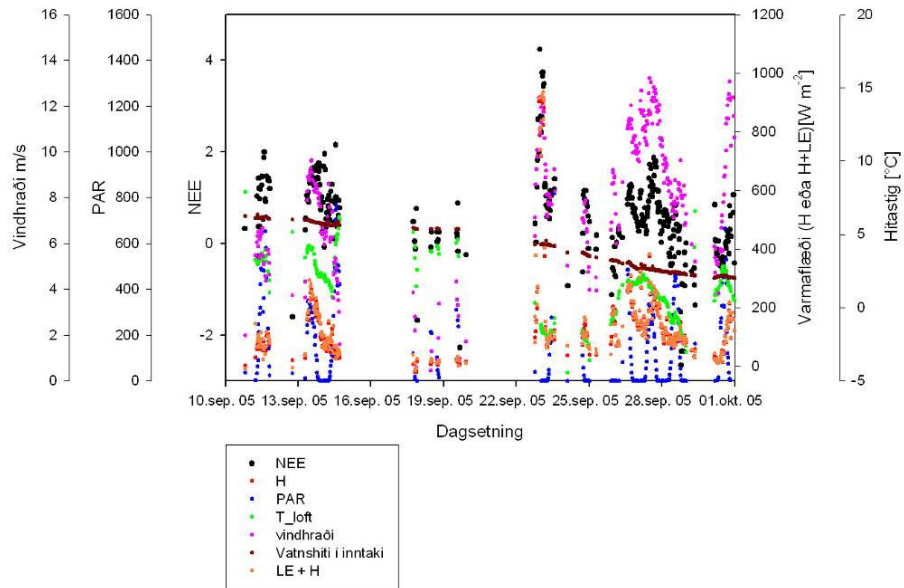
Mynd 5.28 Samtímasveiflur 18.7.-30.7.2004 í mældu heildarflæði CO<sub>2</sub> (NEE), varmaflæði (H), tiltæku ljósi (PAR), lofthita (T\_loft), vindhraða, vatnshita og samanlögðu varmaflæði og flæði uppgufunarvarma. Mælingar með móa/mýri (160-310 °) sem bakland



Mynd 5.29 Samtímasveiflur 5.7.-15.7.2005 í mældu heildarflæði  $CO_2$  (NEE), varmaflæði (H), tiltæku ljósi (PAR), lofthita ( $T_{loft}$ ), vindhraða, vatnshita og samanlögðu varmaflæði og flæði uppgufunarvarma. Mælingar með móa/mýri (160-310 °) sem bakland



Mynd 5.30 Samtímasveiflur 10.7.-26.7.2004 í mældu heildarflæði  $CO_2$  (NEE), varmaflæði (H), tiltæku ljósi (PAR), lofthita ( $T_{loft}$ ), vindhraða, vatnshita og samanlögðu varmaflæði og flæði uppgufunarvarma. Mælingar með strandsvæði lónsins (325-0 °) sem bakland



Mynd 5.31 Samtímasveiflur 10.9.-1.10.2005 í mældu heildarflæði  $CO_2$  (NEE), varmaflæði (H), tiltæku ljósi (PAR), lofthita ( $T_{loft}$ ), vindhraða, vatnshita og samanlögðu varmaflæði og flæði uppgufunarvarma. Mælingar með strandsvæði lónsins (325-0 °) sem bakland

Á Mynd 5.30 og Mynd 5.31 eru sýndar mælingar á NEE þar sem strandsvæði lónsins er baklandið. Á fyrri myndinni eru tengsl NEE við aðra þætti fremur óljós en þó má greina tengsl í sveiflum. Á seinni myndinni eru tengsl NEE við vindhraða og varmaflæði greinileg en einnig virðist vatnshiti hafa áhrif.

Út frá þeirri rýni í gögnin, sem gerð er grein fyrir hér að ofan er ljóst að tengsl eru milli flæðis  $CO_2$  (NEE) og nokkurra annarra þátta. Einkum virðast tengsl vera milli NEE annars vegar og varmaflæðis, vindhraða, lofthita og tiltæks ljóss (PAR) hins vegar. Þess vegna var kannað hvort unnt væri að magnbinda þessi tengsl með marktækum hætti. Fylgni NEE við vindhraða, lofthita, varmaflæði (bæði sem varmi og bundið í uppgufunarvarma) og tiltækt ljós (PAR) var könnuð fyrir mælingar ósundurgreindar m.t.t. baklands og eins skipt m.t.t. baklands. Fylgni var einnig könnuð sérstaklega milli sömu þátta og NEE sem mælt var þegar  $PAR < 1$ . Við  $PAR < 1$  er engin ljóstíllífun í gangi og fækkar því þeim ferlum sem áhrif hafa á NEE um eitt. Ekki er vitað til að unnt sé með sambærilegum hætti að einangra loftskipti milli vatnsyfirborðs og andrúmslofts frá myndun  $CO_2$  við niðurbrot lífræns efnis eða við ólífræn efnahvörf í vatni.

Ekki tókst að finna marktæka fylgni milli NEE og annarra breyta, hvorki fyrir flæði ósundurgreint eða sundurgreint m.t.t. baklands. Aðgreining mælinga við  $PAR < 1$  skilaði ekki heldur neinni marktækri fylgni NEE og annarra þátta.

Gröf sem sýna NEE sem fall af ofangreindum þáttum eru sýnd í Viðauka 1. Þar eru bæði sýnd gröf fyrir allar mælingar, ósundurgreindar og sundurgreindar m.t.t. baklands og eins fyrir þær mælingar sem gerðar voru við  $PAR < 1$ .

Sú greining, sem gerð var á gögnunum leiddi því ekki til þess að hægt væri að fylla í eyður í mælingum með notkun líkana sem tengja saman flæðimælingar og aðrar mældar breytur.



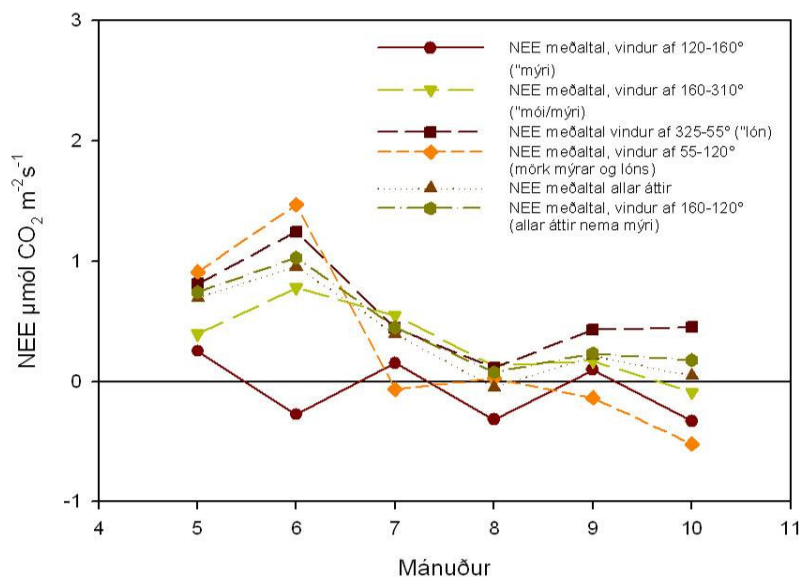
Til eru aðrar aðferðir en hér voru reyndar við að fylla í eyður í gögnum úr iðuflæðismælingum. Meðal þeirra aðferða sem notaðar hafa verið eru:

1. Meðalgildi mælinga á aðlægum tímabilum á viðkomandi tíma sólarhrings notuð í stað mælinga sem vantar.
2. Útbúnar eru sérstakar uppsláttartöflur sem raða mældum gildum upp út frá þeim breytum sem mældar eru. Fyllt í eyður með mælingum sem eru gerðar við líkastar aðstæður og þær sem mælingar vantar fyrir.
3. Fyllt í eyður út frá ólínulegu fjölbreytuaðhvarfi að mældum gögnum.
4. Notaðar eru s.n. munsturgreiningar (artificial neural network) á mældum gögnum.

Það má því segja að ekki sé fullreynt hvort fylla megi í eyður í mælingum í heild eða þegar vindur blæs úr ákveðinni átt. Að svo stöddu hefur þessum aðferðum við að fylla í eyður í mælingunum ekki verið beitt á gögnin.

### 5.1.5. Mat á flæði CO<sub>2</sub> af lóninu og nágrenni þess.

Greining iðuflæðisgagnanna sýndi ekki beina marktæka fylgni mælds flæðis CO<sub>2</sub> við aðrar mældar stærðir. Losun/upptaka CO<sub>2</sub> af þeim svæðum sem mælt var af er því metin út frá meðaltali allra mælinga í hverjum almanaksmánuði af viðkomandi baklandi. Það meðaltal gefur að okkar mati ágæta nálgun á heildarflæði CO<sub>2</sub> af svæðinu kringum turninn. Mynd 5.32 sýnir þessi mánaðarlegu meðaltöl sundurgreind m.t.t. mismunandi baklands. Skipting baklands er með öðrum hætti en hér að ofan. Hér er allt lónið tekið saman í eina heild. Tafla 5.2 sýnir mánaðarleg meðatöl fyrir þess víðari skilgreiningu (325-55°) á lóninu. Samkvæmt þeim meðaltölum er lónið að losa alla mánuðina, sem mælingar stóðu. Mest er losunin í júní  $1,247 \pm 0,081 \mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  og minnst í ágúst  $0,114 \pm 0,075 \mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  sem svarar til  $197,5 \pm 12,8$  og  $18,1 \pm 11,9 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ klst}^{-1}$ . Að meðaltali er losunin af lóninu samkvæmt þessu  $22,1 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ .



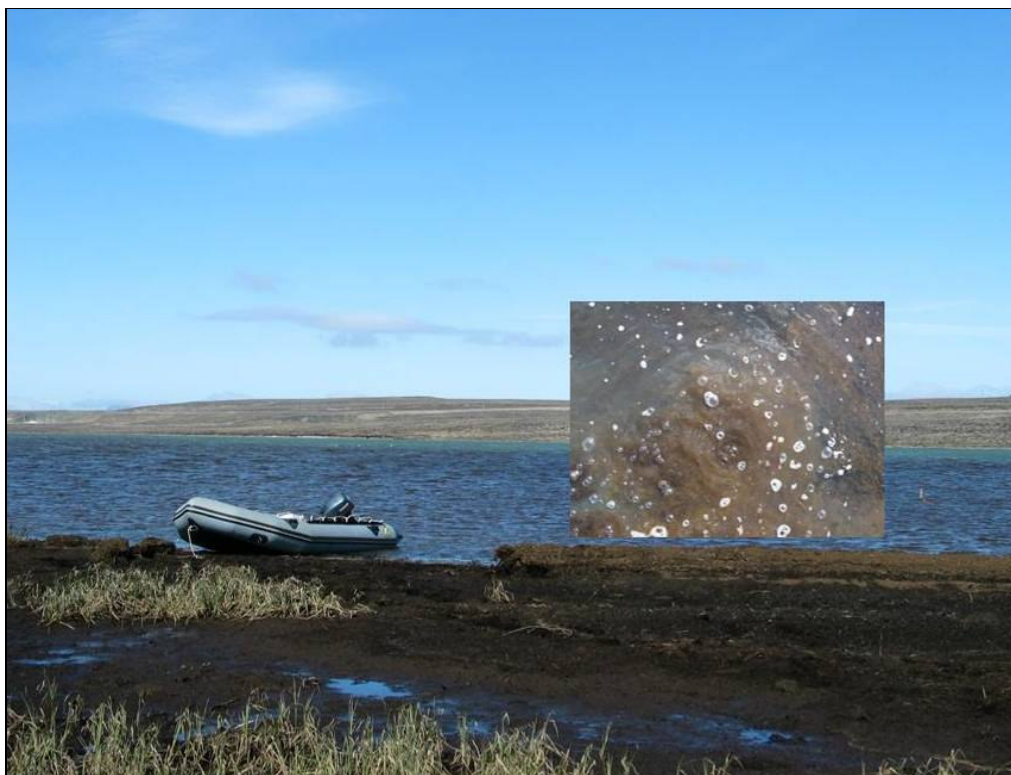
Mynd 5.32 Meðaltal allra mælinga á NEE í hverjum almanaksmánuði 2004 og 2005, skipt eftir baklandi. (Lón óskipt)



Af Mynd 5.32 og annarri greiningu iðuflæðisgagnanna er áberandi hve lítill munur er á mældu NEE eftir mismunandi baklandi. Þessi litli munur milli baklanda er ekki eins og búist var við í upphafi verkefnisins. Þó virðist mýrin helst skera sig úr. Líkleg skýring á þessum litla mun er að umhverfis turninn er svæði með sundurtættum gróðurlausum mýrarjarðvegi (Mynd 5.33). Eins og sjá má á Mynd 5.3 teygja slík svæði sig töluvert meðfram strönd lónsins. Líklega eru þessi svæði að losa umtalsvert magn af CO<sub>2</sub>, sem yfirskyggir mun á flæði frá lóninu og þeim gróðurlendum, sem að því liggja. Dagsveiflur í flæði CO<sub>2</sub> af grónu baklandi eru einnig frábrugðnar því gera má ráð fyrir varðandi slík svæði, sem styður þá tilgátu að þessi eðrusvæði séu að ráða miklu um það flæði, sem mælist. Mælingar af baklöndum sem skilgreind eru sem mýri annars vegar og sem mói\_mýri hins vegar er því hæpið að túlka sem CO<sub>2</sub> flæði mýra og mólendis á svæðinu.

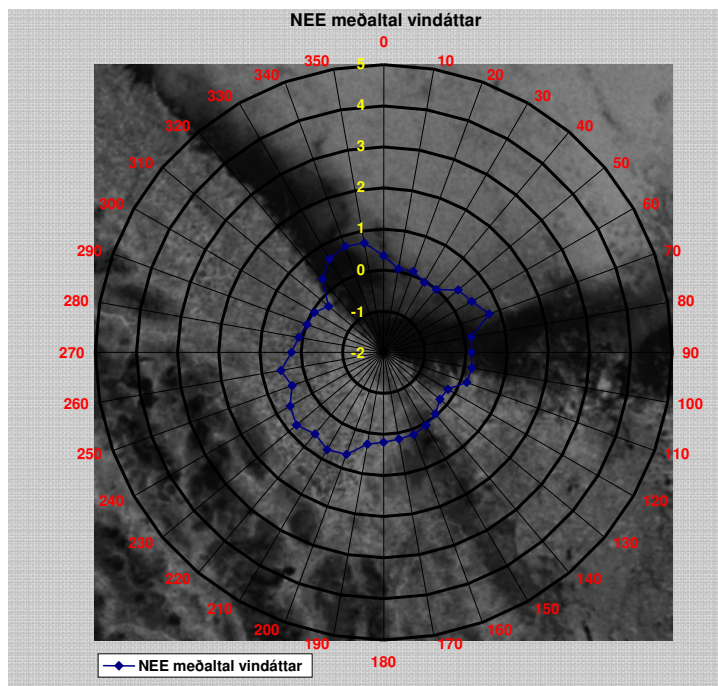
Tafla 5.2 Samantekt á mánaðarlegu meðalflæði CO<sub>2</sub> við víða skilgreiningu á lóni (325-55°) sem baklandi mælinganna.

Vindur af lóni	Mánaður	Meðaltal NEE $\mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	n	Staðalfrávik	Staðalskekkja
325-55°	Maí	0,812	394	1,048	0,053
325-55°	Júní	1,247	176	1,077	0,081
325-55°	Júlí	0,444	741	1,284	0,047
325-55°	Ágúst	0,114	260	1,216	0,075
325-55°	September	0,431	817	0,901	0,032
325-55°	Október	0,452	632	1,057	0,042



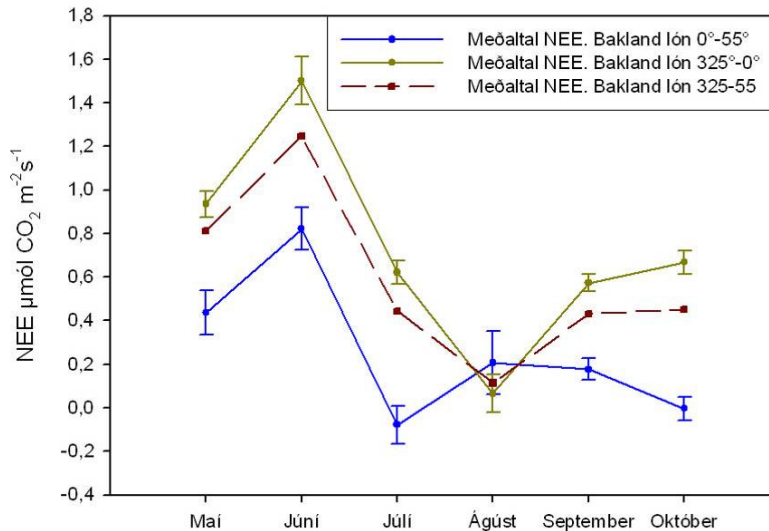
Mynd 5.33 Lífræn strönd sem myndast hefur við Gilsárlón. Á innfelldu myndinni sést hvernig gas streymir úr þessum lífræna massa þegar stigið er á hann.

Í ljósi þess að flæði, sem mælist þegar  $m_y$  og  $m_{y'}^*$  eru baklöndin sé sambland af því, flæði af viðkomandi gróðurlendi og af eðjusvæðinu og að eðjusvæðið hafi einnig áhrif á mælingar af lóninu var ákveðið að skipta mælingum af lóninu upp. Með því að þrengja skilgreiningu á lóni sem baklandi í  $0^\circ\text{--}55^\circ$  og líta á baklandið frá  $325^\circ\text{--}0^\circ$  sem strandsvæði fæst mat á  $\text{CO}_2$  flæði frá annars vegar þeim hluta lónsins þar, sem áhrif eðjusvæðisins eru að líkindum minni og hins vegar þar, sem losun af eðjusvæðunum eru líkast ráðandi. Þessi skipting er sú sama og notuð er í allri framsetningu á niðurstöðum hér að ofan. Á Mynd 5.34 er sýnt meðaltal allra mælinga skipt upp í  $10^\circ$  bil. Þar sést greinilega að munur er á mælingum af lóninu þegar vindur blæs frá  $325\text{--}0^\circ$  og þegar vindur blæs frá  $0\text{--}55^\circ$ , sem styður þá skiptingu á baklandinu. Á myndinni sést vel hvernig eðjusvæðin liggja með strönd lónsins. Áhrif þessa eðjusvæðis gera það einnig að verkum að þegar vindur stendur af grónu svæðunum er ekki hægt að túlka mælingar sem flæði af viðkomandi gróðurlendum.



Mynd 5.34 Meðaltal mælinga á NEE [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] í hverjum  $10^\circ$  geira.

Á Mynd 5.35 eru sýnd mánaðarleg meðatöl af lóninu þrengt skilgreindu og af því baklandi, sem skilgreint er sem strandsvæði. Einnig er sýnt til samanburðar meðalflæði fyrir lónið í heild ( $325\text{--}55^\circ$ ). Tafla 5.3 og Tafla 5.4 eru töluleg framsetning á sömu gögnum.



Mynd 5.35 Meðaltal allra mælinga á NEE af lóni í hverjum almanaksmánuði 2004 og 2005. Lóni skipt upp í strandsvæði (325-0°) og lón (0-55°)

Heildarjöfnuður CO<sub>2</sub> flæðis af lóninu er samkvæmt þessu hæstur í júní en þá er mælist losun  $0,822 \pm 0,097 \mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  og lægstur í júlí en þá mælist upptaka -  $0,078 \pm 0,087 \mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  þetta svarar til  $130,1 \pm 15,3$  og  $-12,3 \pm 13,8 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ klst}^{-1}$ . Sjálfgildi loftslagssamningsins er  $64,6 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ klst}^{-1}$  fyrir íslausa tímabilið.

Tafla 5.3: Samatekt á mánaðarlegu meðalflæði CO<sub>2</sub> miðað við þrengri mörk á lóni sem baklandi.

Vindur af lóni	Mánuður	Meðaltal NEE $\mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	n	Staðalfrávik	Staðalskekkja
0-55°	Mái	0,437	98	1,020	0,103
0-55°	Júní	0,822	66	0,785	0,097
0-55°	Júlí	-0,078	189	1,197	0,087
0-55°	Ágúst	0,207	88	1,353	0,144
0-55°	September	0,176	295	0,852	0,050
0-55°	Október	-0,003	196	0,749	0,053

Heildarjöfnuður CO<sub>2</sub> flæðis af strandsvæðinu er einnig hæstur í júní eða  $1,501 \pm 0,110 \mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en lægstur í ágúst  $0,066 \pm 0,087 \mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  sem svarar til  $237,7 \pm 17,3$  og  $10,4 \pm 13,8 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ klst}^{-1}$

Tafla 5.4: Samantekt á mánaðarlegu meðalflæði CO<sub>2</sub> af baklandi skilgreindu sem strandsvæði

Vindur af lóni nærri vestur strönd	Mánuður	Meðaltal NEE $\mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	n	Staðalfrávik	Staðalskekkja
325-0°	Mái	0,936	296	1,029	0,060
325-0°	Júní	1,501	110	1,149	0,110
325-0°	Júlí	0,621	552	1,265	0,054
325-0°	Ágúst	0,066	172	1,140	0,087
325-0°	September	0,573	522	0,897	0,039
325-0°	Október	0,668	436	1,113	0,053

Tafla 5.5 sýnir heildarflæði CO<sub>2</sub> á flatareiningu af lóninu í hverjum mánuði, annars vegar það sem gera má ráð fyrir að gildi um megin hluta lónsins og hins vegar það sem gera má ráð fyrir að gildi um þau strandsvæði sem eru með sundurtættum mýrarjarðvegi.

Tafla 5.5 Heildarflæði CO<sub>2</sub> af fermetra lóns.

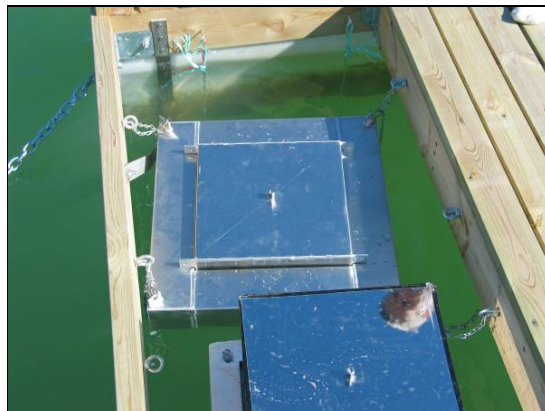
<b>Heildar CO<sub>2</sub> flæði í hverjum mánuði [g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>]</b>	<b>Bakland: lón 0°-55°</b>	<b>Bakland: strandsvæði 325°-0</b>
<i>Maí</i>	51,5	110,3
<i>Júní</i>	93,7	171,2
<i>Júlí</i>	-9,1	73,2
<i>Ágúst</i>	24,4	7,8
<i>September</i>	20,1	65,4
<i>Október</i>	-0,4	78,7
<b>Heildarjöfnuður allra mánaða</b>	<b>180,2</b>	<b>506,5</b>
<b>Meðaltal g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup></b>	<b>0,98</b>	<b>2,75</b>
<b>Meðaltal mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> klst<sup>-1</sup></b>	<b>40,8</b>	<b>114,7</b>
<b>Meðaltal kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup></b>	<b>9,8</b>	<b>27,5</b>

Losunin er að meðaltali 9,8 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> fyrir meginhluta lónsins en 27,5 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> úr strandsvæðunum. Borið saman við sjálfgildi Rammasamningsins, sem er 11,8 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> yfir íslausan tíma, þá er lónið að losa með flæði um yfirborð um 83% af því sem gert er ráð fyrir í leiðbeiningum IPCC (IPCC 2006). Gera má ráð fyrir losunin af meginhluta lónsins sé eitthvað minni þar sem áhrifa eðjussvæðisins gætir einnig í því mati. Losun strandsvæð með lífrænu efni er hins vegar 133% meiri en þar er gert ráð fyrir.

## 5.2. Klefamælingar á flæði CO<sub>2</sub> um yfirborð Gilsárlóns

Markmið þessara mælinga var að leggja mat á CO<sub>2</sub> losun eða upptöku af yfirborði lónsins. Þessar mælingar voru ráðgerðar sem viðbót við iðuflæðismælingar.

Aðferðir: Mælingar fóru fram af pramma, sem komið var fyrir á lóninu yfir íslausu tíma ársins. Við mælingar var komið fyrir flotrömmum, sem mæliklefi var settur á. Fyrsta árið voru flottrammarnir gerðir úr frauðplasti og rammar eins og þeir, sem settir voru í jarðveg festir við þá. Sú hönnun var síðan betrumbætt og notaðir sérsníðaður flotkragi (Mynd 5.36) og feldur í hann rammi úr plexigleri 10 cm djúpur. Við mælingar var mæliklefi settur á ramman og þétt með vatni í rauf á rammanum. Þessar mælingar var eingöngu hægt að framkvæma í tiltölulega litlum öldugangi (vindstyrkur < 6-8 m/s)



Mynd 5.36 Flotkragi (fjær) eins og sá sem notaður var fyrir mælingar á flæði CO<sub>2</sub>.



Mynd 5.37 Flotkragi eins og notaður var fyrsta árið við mælingar á flæði CO<sub>2</sub>. Til vinstri er mæliklefi festur á kragann. Mynd til hægri sýnir mæliklefa með skyggingu

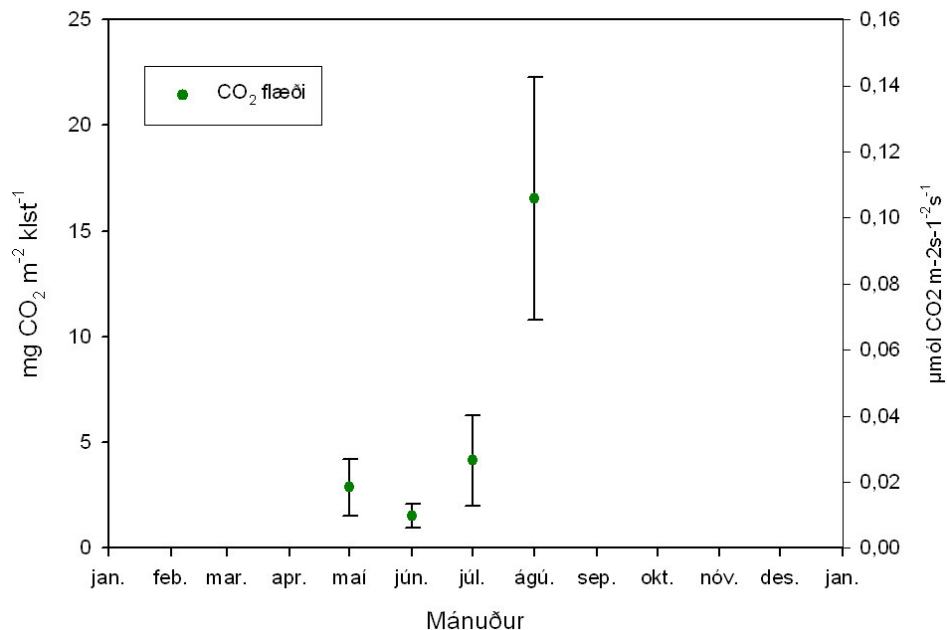
Breytingar á styrk CO<sub>2</sub> í mæliklefa vor mældar með LICOR 6200 og varði hver mæling í 4 mínútur. Mælt var bæði við það ljós sem var hverju sinni og eins með því að myrkva klefann (Mynd 5.37). Mælingar með myrkvuðum klefa er ekki hægt að túlka með sama hætti og þegar mælt er á jarðvegi sem beina mælingu á öndun. Markmið þeirra var þó að kanna mikilvægi ljósháðra ferla á flæði CO<sub>2</sub> um yfirborðið.



Margar aðferðir hafa verið notaðar til að meta losun CO<sub>2</sub> af yfirborði lóna. Í þessu verkefni var aðeins notuð ein aðferð. Ein aðferð, s.n “thin boundary layer method”, byggist á mælingum á styrk CO<sub>2</sub> í yfirboði lónsins og er flæðið reiknað út frá vindstyrk og hitastigi lónsins. Önnur aðferð er gassöfnun úr klefum og greining gassýna á rannsóknastofu. Hver þessara aðferða hefur sína kosti og ókosti (Lambert and Fréchet 2005).

### 5.2.6. Niðurstöður klfamælinga á flæði CO<sub>2</sub> um yfirborð Gilsárlóns

Alls náðust 32 mælingar á frammanum á flæði CO<sub>2</sub>, með og án skyggingar í hvert skipti. Gögnin gefa ekki tilefni til aðgreiningar milli ára. Hins vegar virðist vera munur í losun yfir sumarið. Einstakar mælingar sýndu upptöku en meðaltal allra mælinga í hverjum mánuði sýnir losun alla mánuði, sem mælt var í.



Mynd 5.38 Meðaltal allra mælinga á losun í hverjum mánuði af yfirborði lónsins. Einingar annars vegar þær sömu og notaðar eru fyrir mælinga í aðlægum gróðurlendum. [ $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ klst}^{-1}$ ] og hins vegar þær sem notaðar eru í mælingum með iðuflæðisturninum [ $\mu\text{mól CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]

Samkvæmt þessum tiltölulega fáu mælingum er losunin 1,5-4,1 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> klst<sup>-1</sup> (0,036 - 0,098 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>) í maí til júlí, en um 16,5 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> klst<sup>-1</sup> (0,4 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>) í ágúst (Mynd 5.38), þetta svarar til 0,010-0,026 μmól CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> og 0,104 μmól CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, svo notaðar séu sömu einingar og í iðuflæðismælingunum. Mesta mældi losun var 29,4 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> klst<sup>-1</sup>. Meðaltal allra mánaða er 6,27 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> klst<sup>-1</sup> (1,5 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>). Sá flæðistuðull, sem IPCC miðar við að notaður sé til að meta CO<sub>2</sub> losun úr lónum á okkar loftslagsbelti yfir íslausan tíma er 11,8 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> (IPCC 2006). Þessar mælingar benda því til að losun á CO<sub>2</sub> úr lóninu sé umtalsvert minni en þar er gert ráð fyrir.

Meðaldagsgildi fyrir CO<sub>2</sub> jöfnuð í mýrinni yfir sumartímamann eru samkvæmt niðurstöðum reiknilíkananna, sem notuð voru, á bilinu -1,1 til -3,5 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>.



Þessar niðurstöður gefa upplýsingar um þá losun, sem er af megin hluta lónsins við þær aðstæður sem mælt var. Þessi losunin (Mynd 5.38) virðist vera um stærðargráðu minni en mældist með iðuflæðisturninum í maí til júlí en í ágúst er losunin áþekk með báðum aðferðunum.

Mælingar með mæliklefum á yfirborði gefa mun minni losun fyrir maí til júlí  $0,4-1,0 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ , en mælist með iðuflæðisturninum  $15,0 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  að meðaltali yfir sama tíma. Í ágúst er minni munur á milli þess, sem mælist með þessum tveimur aðferðum. Þá er losun, sem mældist með klefum að meðaltali um  $4,0 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  en með iðuflæðisturninum  $7,9 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ . Mjög mikill munur er á þessum aðferðum og ólíklegt að verið sé að mæla það sama með þeim báðum. Þannig eru til dæmis allar klefamælingarnar gerðar að degi til og í tiltölulega litlum vindi. Iðuflæðisturninn er hins vegar siritandi og mælir því bæði í vindi og logni, myrkri og ljósi. Við vindasamar aðstæður brýtur aldan upp yfirborð lónsins og flýtir fyrir losun koltvísýrings. Iðuflæðisturninn mælir við slíkar aðstæður en ómögulegt er að stunda klefamælingar á lóninu þegar svo háttar til. Sú afgösun, sem verður vegna öldugangs á lóninu mælist því að hluta til með iðuflæðisturninum en ekki með klefamælingum.

## 6. Losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni - metan og hláturgas

Metan myndast í botnseti lóna en þar ríkjast að mestu loftfirrtar aðstæður og við slík skilyrði leiðir niðurbrot lífræns efnis til myndunar  $\text{CH}_4$  og í sumum tilvikum  $\text{N}_2\text{O}$  (sjá inngangskafla). Myndun metans er háð magni og gæðum þess lífræna efnis sem finnst í setinu. Hitastig er einnig afgerandi þáttur í myndun  $\text{CH}_4$  því myndun þess er afleiðing niðurbrots örvera á lífrænu efni og öll starfsemi þeirra er háð hitastigi. Metan sem myndað er í setinu getur borist út í vatnsbolinn og síðan losnað út í andrúmsloftið með flæði (diffusion) um yfirborð lónsins. En sökum þess að  $\text{CH}_4$  er illleysanlegt í vatni á það einnig til að safnast fyrir í botnsetum lóna og mynda þar loftbólur sem síðan losna þegar þær hafa náð ákveðinni stærð, allt eftir aðstæðum hverju sinni. Rannsóknir hafa sýnt að verulega breytilegt er frá einu lóni til annars hversu stór hluti  $\text{CH}_4$  losnar út í andrúmsloftið með loftbólum annars vegar eða með flæði hins vegar (Huttunen 2002).

Hér að neðan er greint frá mælingum á losun  $\text{CH}_4$  úr Gilsárlóni á árunum 2003-2005. Skemmst er frá því að segja að í engum tilfellum mældist losun á  $\text{N}_2\text{O}$  og því allri umfjöllun um hláturgas sleppt.



Mynd 6.1 Flotpramminn sem notaður var til mælinga á flæði  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  og  $\text{CO}_2$  um yfirborð lónsins. Pramminn var einnig notaður til vatnssýnatöku, til hitastigsmælinga og á tímabili til söfnunar loftbóla.

### 6.1. Metanflæði af yfirborði Gilsárlóns

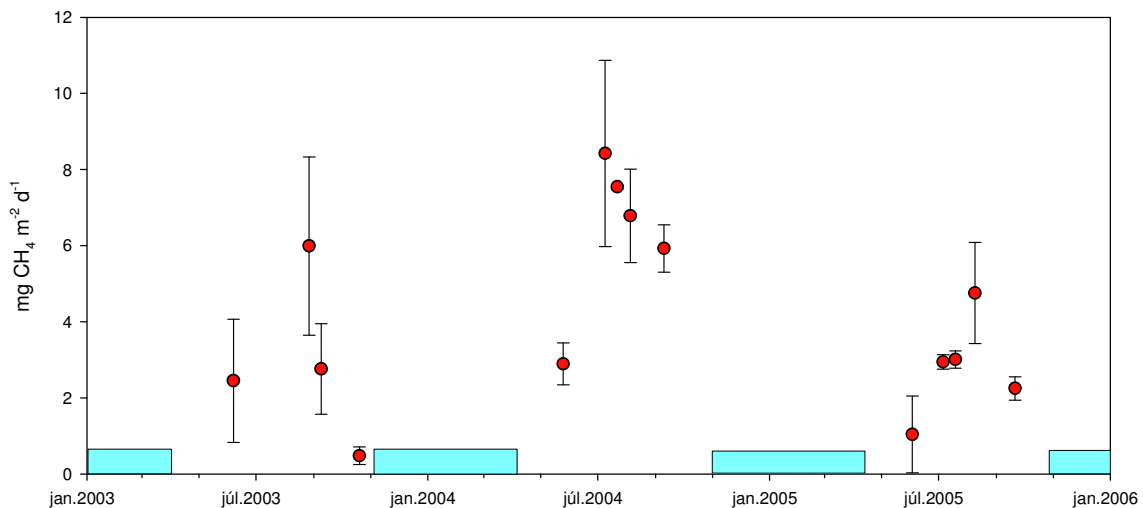
Losun metans með flæði um yfirborð Gilsárlóns var mæld yfir íslausan hluta árána 2003-2005. Söfnun sýna til að meta flæðið fór fram á pramma staðsettum á miðju sunnanverðu lóninu (Mynd 6.1 og Mynd 6.2). Sýnum var safnað með þar til gerðum söfnunarklefum (Mynd 6.2). Nokkur þróunarvinna var lögð í klefana til að aðlaga þá veðuraðstæðum á lóninu. Þegar vindasamt er verður fljótt nokkur alda á lóninu og við það eykst verulega hættan á að sýnataka spillist vegna þess að það lofti inn í

klefana. Endanlega útfærsla klefanna dró verulega úr þessu vandamáli (Mynd 6.2). Við sýnatöku var klefnum komið fyrir á yfirborði lónsins og loftsynum safnað úr þeim með reglulegu millibili. Styrkur metans í sýnunum var síðan greindur í Varian 3600 gasgreini, sem staðsettur er á Keldnaholti. Á þennan máta fæst breyting á styrk á tímæiningu sem umreiknað er yfir á losun metans á flatareiningu á viðkomandi tímabili.



Mynd 6.2 Söfnunarklefar sem notaðir voru til að meta flæði  $CH_4$  og  $N_2O$ . Frumgerðin er fjær á myndinni en endanlega útfærslan nær.

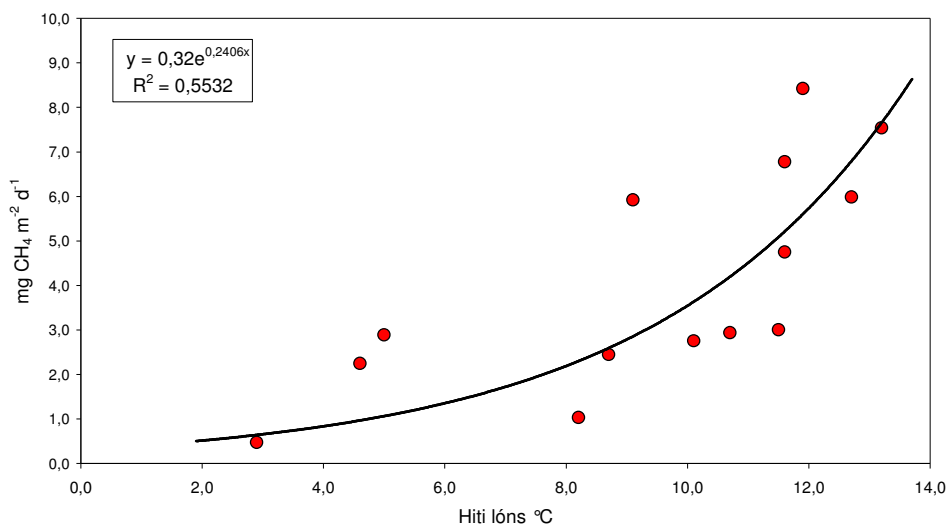
Metanflæði af yfirborði Gilsárlóns var mælt með þessu móti alls fjórtán sinnum á árunum 2003-5. Mun fleiri tilraunir voru gerðar til að meta flæðið en mikill öldugangur leiddi til þess að hætta varð við mælingar og taka varð upp klefana áður en mælingum lauk.



Mynd 6.3 Losun metans með flæði af yfirborði Gilsárlóns. Blá svæði tákna þann hluta árs sem að lónið var ísilaft.

Niðurstöður þessara 14 mælinga gefa samt sem áður nokkuð glögga mynd af losun metans með flæði af yfirborði lónsins (Mynd 6.). Losunin er lág að vorlagi og að hausti til en er allnokkur á miðju sumri.

Þetta mynstur á við um öll þrjú árin og bendir til þess að flæði metans sé háð hitastigi vatnsbolsins, en hitastig hans sýnir svipað mynstur (mynd 4.8). Því var fylgni losunar metans með flæði við hitastig lónsins kannað. Hitastig er almennt ein helsta lykilbreytan er varðar myndun og losun metans. Niðurstöður greiningarinnar eru settar fram á Mynd 6..



Mynd 6.4 Fylgni milli hitastigs vatnsbols og flæðis  $CH_4$  af yfirborði Gilsárlóns.

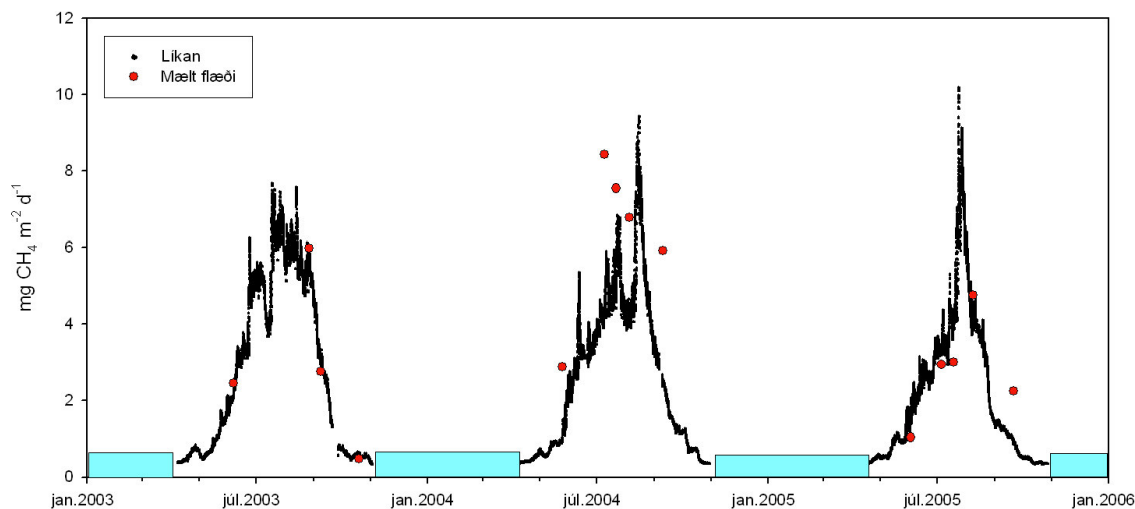
Jákvæð fylgni er á milli hitastigs lónsins og flæðis metans af yfirborði þess og var jafna 6.1 notuð til að lýsa sambandi metanflæðis og hitastigs.

Jafna 6.1

$$M_F = a \cdot e^{bt_i}$$

$M_F$  = flæði  $CH_4$  af fermetra lóns á dag í milligrömmum,  $t_i$  = hiti lóns,  $a = 0,32$  og  $b = 0,2406$ .

Líkanið útskýrir ríflega helming breytileikans í mældu flæði metans af yfirborði Gilsárlóns ( $R^2=0,5532$ ). Líkanið var keyrt með hitagögnum Landsvirkjunar fyrir Gilsárlón (kafli 4.1) fyrir íslausan hluta árána 2003-2005. Hitagögnin eru með hálf tímauplausn. Niðurstöður líkankeyrslunnar má sjá á mynd 6.5.



Mynd 6.5 Niðurstöður keyrslu líkans fyrir flæði  $CH_4$  af yfirborði Gilsárlóns fyrir íslausan hluta árána 2003-2005. Niðurstöður mælinga eru sýndar með rauðum deplum. Blá svæði tákna þann hluta árs sem að lónið er íslegt.

Niðurstöður líkankeyrslunnar gefa til kynna að flæði metans um yfirborð lónsins aukist hratt er lónið hlýnar í byrjun sumars og að sama skapi dregur hratt úr flæðinu þegar líður að hausti og lónið kólnar. Gott samræmi er milli mældra gilda og niðurstöður líkankeyrslunnar.

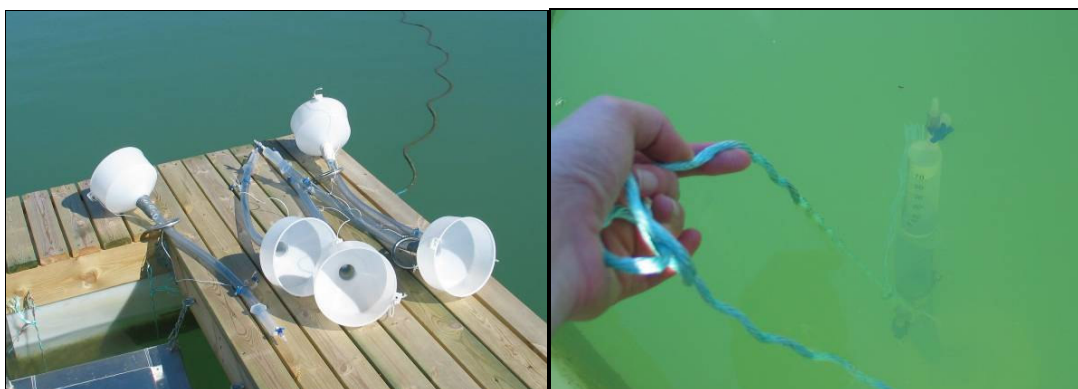
Niðurstöður líkansins gera kleyft að reikna árlega heildarlosun metans með flæði um yfirborði Gilsárlóns. Við útreikningana var flæði metans yfir ísilagðan hluta ársins skilgreint sem 0. Niðurstöður útreikninganna má sjá í töflu 6.1.

Tafla 6.1. Árleg heildarlosun metans með flæði af yfirborði Gilsárlóns fyrir árin 2003-5.

	mg CH <sub>4</sub> m <sup>-2</sup> ár <sup>-1</sup>	Losun úr lóni á ári - tonn CH <sub>4</sub>
2003	567,9	2,44
2004	504,6	2,17
2005	405,5	1,74

## 6.2. Losun metans með loftbólum

Til að meta umfang og magn þess metans sem losnar úr lóninu með loftbólum voru hannaðir sérstakir loftbólusafnarar að finnskri fyrirmynd (mynd 6.6) en slíkir safnarar höfðu gefist vel við álíka rannsóknir á uppistöðulónum í norður Finnlandi (Huttonen ofl. 2001). Útbúnaðurinn er þannig hannaður að í hann getur safnast verulegt magn loftbóla en kostir þess eru annarsvegar að ekki þarf stöðugt að vitja safnaranna og hinsvegar að verulega er dregið úr hættu á mæliskekkju vegna óreglulegrar losunar loftbóla.



Mynd 6.6. Til hægri má sjá nokkra loftbólusafnara áður en þeir voru settir út og til vinstri er verið að leggja einn þeirra út

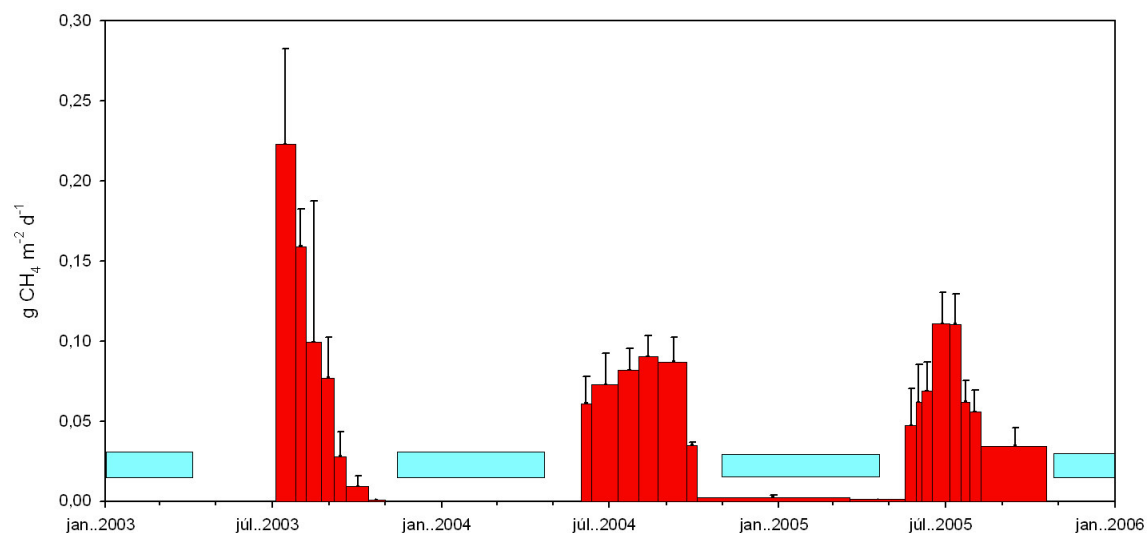
Fyrstu safnararnir voru útbúnir fyrriparts sumars 2003 og prófaðir um miðjan júlí. Útbúnaðurinn gaf strax góða raun og voru í framhaldinu settir út 12 safnarar á þrem stöðvum á lóninu (mynd 6.7). Á hverri stöð var söfnurunum komið fyrir á um tveggja metra dýpi til að tryggja að ekki bærist annað loft í þá en loftbólur af botni lónsins.

Til að byrja með var notast við prammann og safnarar látnir hanga niður úr honum en það gaf ekki góða raun því í illviðrum vildu þeir losna og tapast. Frá og með 2004 voru þeir því allir látnir hanga niður úr þremur 25m löngum flotlínum, fjórir á hverri (mynd 6.7) og reyndist sú útfærsla vel. Flotlínurnar voru á þremur stöðvum þar sem dýpi var 4m, 7m og 13m. Reglulega var vitjað um safnarana og sýni tekin til greininga á styrk metans í loftbóluloftinu. Sýnin voru greind í Varian 3600 gasgreini útbúnum með FID nema. Sýnin voru ekki greind með tilliti til CO<sub>2</sub>, en niðurstöður annars staðar frá benda til þess að CO<sub>2</sub> sé hverfandi í loftbólum sem myndast í seti lóna (Huttenen ofl. 2002).



Mynd 6.7. Ein af þremur flotlínum með loftbólusöfnurum. Fjórir safnarar hanga neðan úr hverri línu.

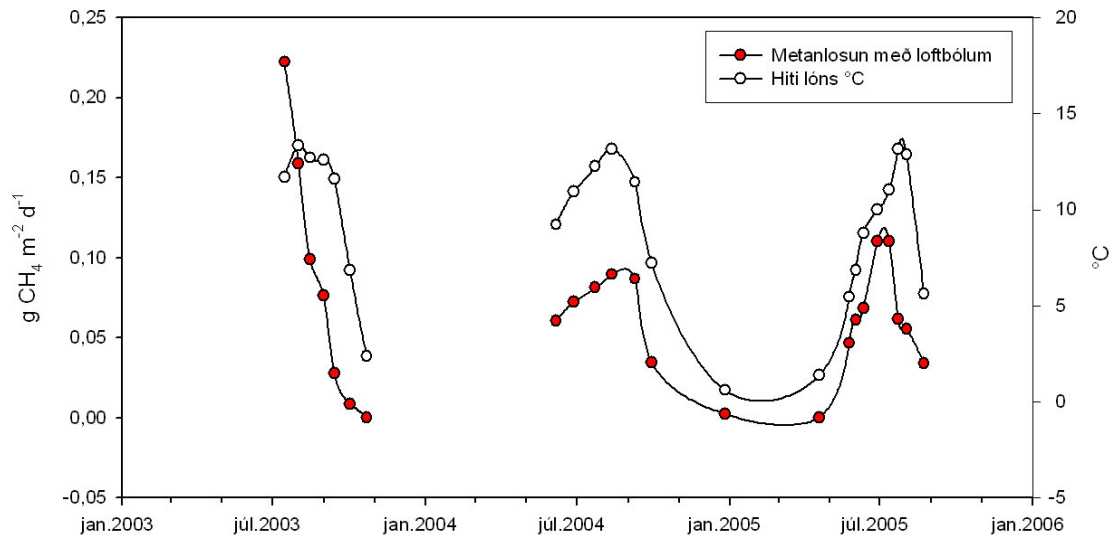
Sumarið 2003 var losun loftbóla metin samfelt frá miðjum júlímánuði og fram í október. Árið 2004 voru safnararnir settir út um miðjan maí og loftbólum safnað samfelt allt fram á haust 2005 (9-12 safnarar að sumri til en 3 yfir veturinn 2004-5). Losun loftbóla í Gilsárlóni reyndist mjög breytileg að magni, eða frá því að vera 0,8 ml á fermetra á dag (vetur 2004-5) upp í það að vera 356 ml m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> á miðju sumri 2003. Losunin sýndi sterka árstíðasvörun, jókst hratt að vori og náði hámarki upp úr miðju sumri en rénaði síðan hratt er hausta tók. Losun loftbóla reyndist ákaflega lág yfir vetrarmánuðina; var reyndar ekki nema brot af sumarlosuninni.



Mynd 6.8. Losun metans úr Gilsárlóni með loftbólum. Rauðu súlurnar sýna magn metans sem losnar á fermetra á dag yfir gefið tímabil. Bláu strikin tákna það tímabil sem lónið er lagt ísi á hverju ári.

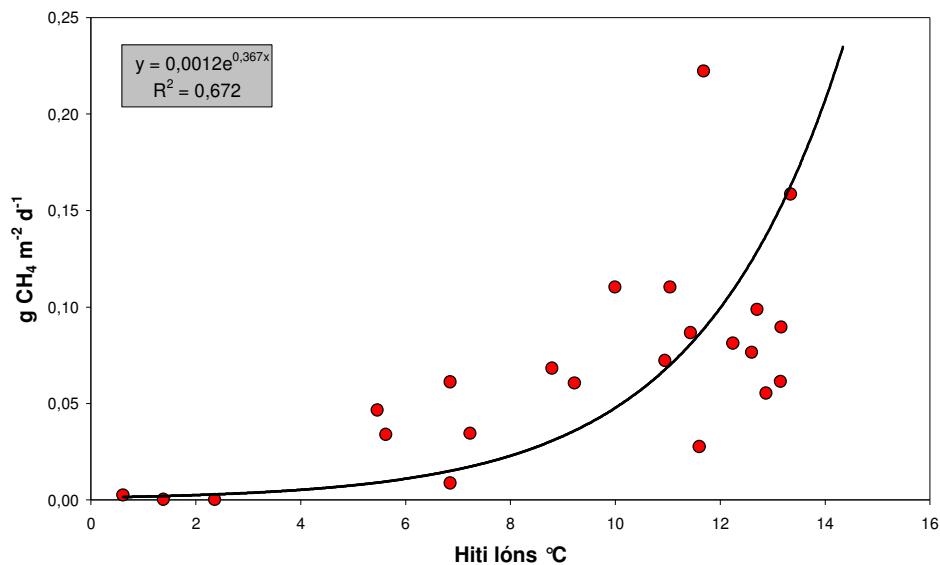


Styrkur metans í sýnum úr loftbólunum mældist á bilinu 24-100% og að meðaltali 61,7%. Styrkurinn sýndi lítinn breytileika eftir árstíðum og því er árstíðabreytileikinn í losun metans með loftbólum svipaður og breytileikinn í magni loftbóla. Ekki reyndist marktækur munur milli mælistöðva á losun með loftbólum og er því notað meðaltal allra safnara á hverju tímabili. Mynd 6.8 sýnir losun metans með loftbólum fyrir mælitímabilið 2003-2005. Áberandi á mynd 6.8 er hin mikla árstíðabundna sveifla í losun metans með loftbólum og bendir það til þess að losunin sé tengd sveiflum í hitastigi. Samanburður á hita lóns og losuninni (Mynd 6.) gefur í skyn sterka fylgni losunarinnar við hitastig lónsins.



Mynd 6.9 Grafið sýnir annars vegar mældan breytileika í losun metan með loftbólum og hins vegar sveiflur í hita lóns yfir sama tímabil.

Samband losunar metans með loftbólum við hitastig lóns var greint frekar og aðhvarfslína dregin til að líkja eftir fylgninni (Mynd 6.). Greiningin sýnir að loftbólulosunin er verulega hitastigsháð, en veldisfall losunar af hitastigi lóns virðist skýra um tvo þriðju af breytileikanum í losuninni.



Mynd 6.10. Fylgni milli losunar  $CH_4$  með loftbólum og hitastigs vatnsbols (meðalhiti söfnunartímabils).

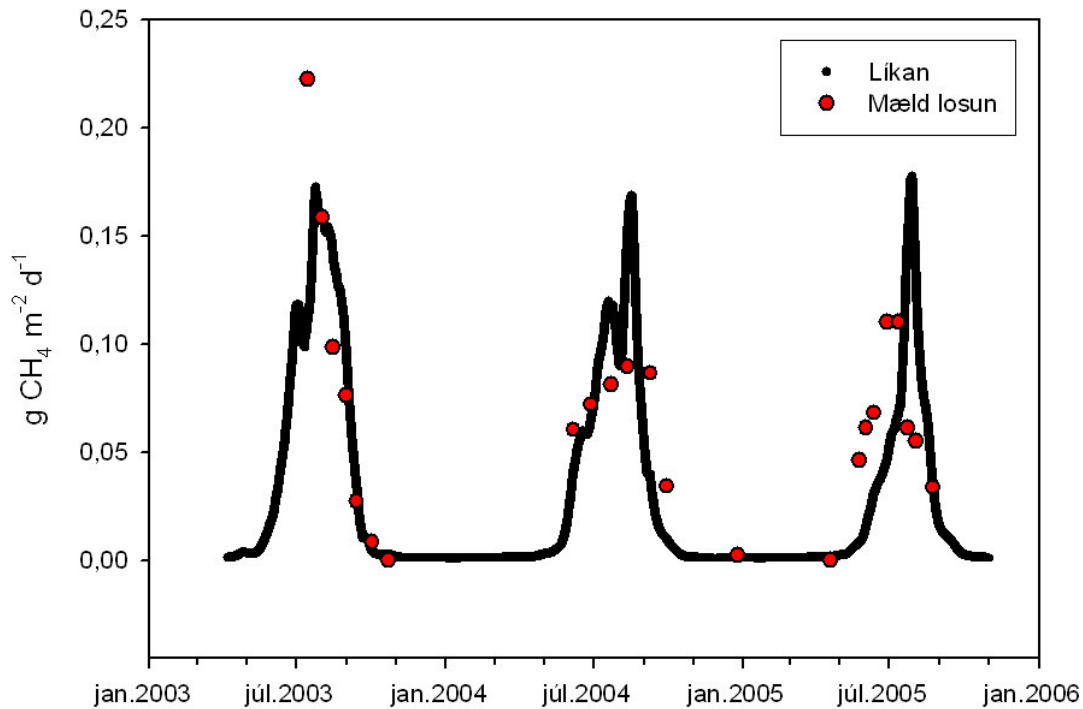
Ágætt jákvæð fylgni er á milli hitastigs lónsins og losunar metans með loftbólum. Jafna 6.2 var notuð til að lýsa sambandi metanlosunar og hitastigs.

Jafna 6.2

$$M_L = a \cdot e^{bt_i}$$

$M_L$  = losun  $CH_4$  í grömmum á fermetra lóns á dag,  $t_i$  = hiti lóns,  $a = 0,0012$  og  $b = 0,367$ .

Líkanið var keyrt með hitagögnum Landsvirkjunar fyrir Gilsárlón (kaflí 4.1) fyrir árin 2003-2005. Hitagögnin eru með hálf tímaupplausn. Niðurstöður samkeyrslunnar má sjá á mynd 6.11.



Mynd 6.11 Niðurstöður líkans fyrir losun  $CH_4$  með loftbólum úr Gilsárlóni fyrir árin 2003-2005. Niðurstöður mælinga eru sýndar með rauðum deplum

Ágætt samræmi er milli mældra gilda og niðurstöður líkankeyrslunnar. Losun loftbóla er mjög lág yfir vetrarmánuðina en eykst hratt þegar hlýna tekur að vorlagi, er mjög mikil á miðju sumri en dregst síðan hratt saman þegar líður að hausti og lónið kólnar.

Notkun líkansins gerir kleyft að reikna árlega heildarlosun metans með loftbólum úr Gilsárlóni. Niðurstöður útreikninganna má sjá í töflu 6.2.

Tafla 6.2 Árleg heildarlosun metans með loftbólum úr Gilsárlóni fyrir árin 2003-5.

	$g CH_4 m^{-2} \text{ár}^{-1}$	Losun úr lóni á ári - tonn $CH_4$
2003	11,64	50,1
2004	9,65	41,5
2005	7,01	30,1

### 6.3. Losun metans um yfirborð Gilsárlóns - samantekt

Í töflu 6.3 er að finna samantekt yfir heildarlosun metans úr Gilsárlóni. Þar er lögð saman losun metans með flæði og losun með loftbólum. Nefna ber að til viðbótar þessari losun metans um yfirborð lónsins losnar metan einnig með afgösun úr afrennslisvatni virkjunarinnar (tekið fyrir í kafla 7). Árleg losun metans á hvern fermetra yfirborðs lónsins er samkvæmt þessu 7,4 - 12,2 g (meðaltal 9,8 g). Þessi losun er svipuð og mældist úr lóninu Lokka í norður Finnlandi (Huttunen ofl. 2002) sem er eitt nærtækasta dæmið. Niðurstöður erlendra mælinga á losun metans úr lónum eru þó ákaflega breytilegar og dæmi má finna um bæði mun hærri og lægri gildi en mældist við Gilsárlón (St-Louis ofl. 2000).

Tafla 6.3 Losun metans úr Gilsárlóni samkvæmt niðurstöðum líkana fyrir helstu ferli metanlosunar.

	Árleg losun á fermetra g CH <sub>4</sub> m <sup>-2</sup> ár <sup>-1</sup>	Árleg heildarlosun lóns* Tonn CH <sub>4</sub>
Flæði af yfirborði lóns	0,4 – 0,6	1,7 – 2,4
Losun með loftbólum	7,0 – 11,6	30,1 – 50,1
<b>Lón í heild</b>	<b>7,4 – 12,2</b>	<b>32,9 – 54,8</b>

\* án losunar CH<sub>4</sub> vegna afgösunar frárennslisvatns (kafla 7)

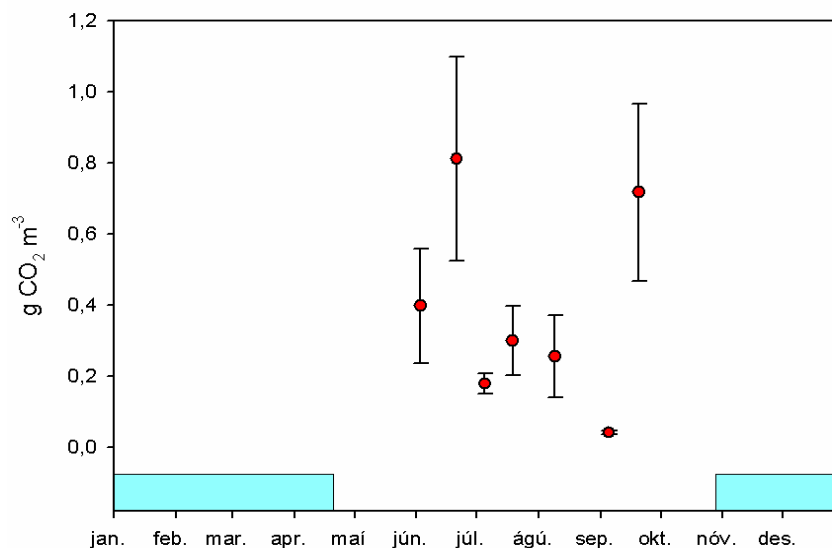
## 7. Losun CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> við afgösun afrennslisvatns

Við rennsli vatns úr Gilsárlóni og út í Blöndu, um yfirfall eða í gegnum virkjunina, losnar uppleyst CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> úr vatninu og út í andrúmsloftið í hlutfalli við styrk lofttegundanna í vatninu. Styrkur CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> í vatninu áður en það fer í gegnum virkjunina er mælikvarði á hve mikið getur losnað við afgösun vatnsins. Þegar vatnið fer í gegnum virkjunina losnar það CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> sem er umfram jafnvægisstyrk þeirra við andrúmsloftið. Uppleysta CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> sem losnar á þennan hátt er tilkomið vegna niðurbrots lífræns efnis í lóninu og er hluti heildarlosunar lofttegundanna úr lóninu.

Til að meta þennan þátt losunarinnar voru tekin vatnssýni úr lóninu með reglulegu millibili yfir íslausan hluta ársins 2005, alls sjö sinnum frá byrjun júní og fram í lok september. Sýnum var safnað á þremur stöðum á lóninu hverju sinni. Sýnataka fór þannig fram að 10 ml sýni var tekið neðan yfirborðs (20-30 cm) með loftþéttri sprautu og komið fyrir í loftþéttu 20 ml sýnaglassi sem blásið hafði verið með hreinu N<sub>2</sub>. Sýnið var síðan hrist kröftuglega í um mínútu en við það losna lofttegundirnar úr vatnsfasanum yfir í loftfasann í glasi. Allt það CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> sem mælist í loftinu í flöskunni er komið úr vatnssýninu og svarar nokkurn vegin til þeirrar yfirmettunar sem var á vatnssýninu. Sýnin voru geymd í kæli þar til þau voru greind í annars vegar LICOR 6200 gasgreini (CO<sub>2</sub>) og hins vegar Varian 3600 gasgreini (CH<sub>4</sub>).

### 7.1. Losun CO<sub>2</sub> úr afrennslisvatni Gilsárlóns

Styrkur CO<sub>2</sub> í lóninu breytist töluvert yfir sumarið, hann er mestur í upphafi sumars og um haustið en dettur niður um mitt sumarið (Mynd 7.1)



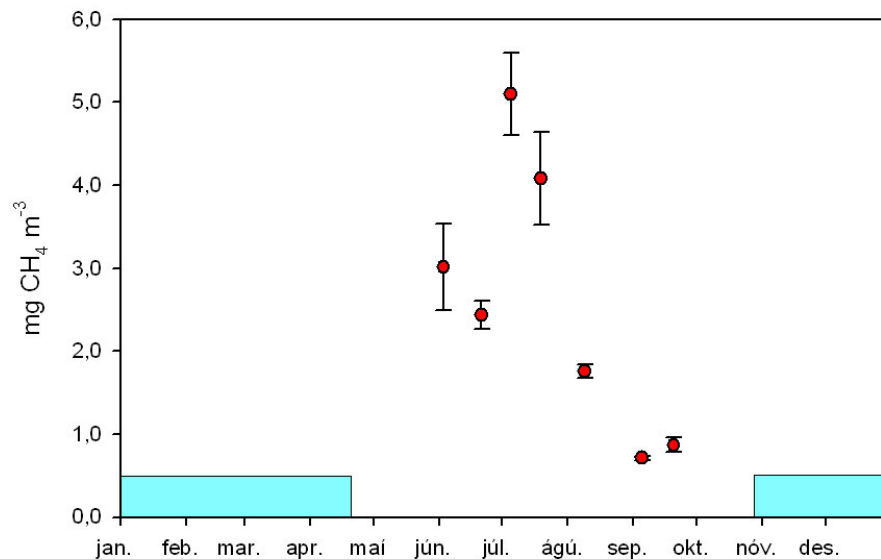
Mynd 7.1 Áætluð afgösun CO<sub>2</sub> úr afrennslisvatni Gilsárlóns útrá styrk CO<sub>2</sub> í vatnssýnum. Blá svæði gefa til kynna það tímabil sem lónið var ísilagt.

Útfrá styrk  $\text{CO}_2$  í vatnssýnunum var afgösun þess úr afrennslisvatni virkjunarinnar yfir íslausan tíma ársins 2005 áætluð með því að taka meðaltal mælinganna og gaf það  $0,39 \pm 0,11 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-3}$ .

Styrkur  $\text{CO}_2$  í sýnunum var að meðaltali um 220 ppm sem er nokkru lægri en styrkur þess í andrúmsloftinu. Styrkur  $\text{CO}_2$  sem eftir verður í vatnsfasa sýnanna er því ívið minni að jafnaði en jafnvægisstyrkur miðað við hlutþrýsting  $\text{CO}_2$ . Mat á því hvað getur losnað við afgösun er því ofmetið sem þessum mun nemur.

## 7.2. Losun $\text{CH}_4$ úr afrennslisvatni Gilsárlóns

Niðurstöður mælinganna á styrk  $\text{CH}_4$  í sýnunum má sjá á mynd 8.2. Styrkur uppleysts metans var mun hærri fyrri parts sumars en seinna um sumarið eða þegar hausta tók. Í júní var styrkurinn um 2,5-3,0 mg metans á hvern rúmmetra, jókst í um 4-5,0 mg í júlí, var í tæplega 2,0 mg í ágúst og var kominn niður fyrir 1,0 mg í september.



Mynd 7.2. Áætluð afgösun  $\text{CH}_4$  úr afrennslisvatns Gilsárlóns útfrá styrk  $\text{CH}_4$  í vatnssýnum. Blá svæði gefa til kynna það tímabil sem lónið var ísilagt.

Niðurstöður mælinganna voru síðan notaðar til að áætla losun metans úr því vatni sem rennur frá lóninu. Þó þokkaleg fylgni væri milli mælinganna og hitastigs ( $R^2=0,549$ ) voru ekki neinar forsendur fyrir líkansmíð til að líkja eftir magni uppleysts metans vegna þess að gögnin náðu einungis til eins árs. Losun metans úr afrennslisvatni yfir íslausan tíma var því áætluð útfrá meðaltali mælinganna á uppleystu metani og gaf það  $2,6 \pm 0,6 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-3}$ . Þar sem niðurstöður annarra mælinga á metanlosun (loftbólur / flæði) benda til þess að mjög lítið af metani myndist í lóninu að vetrarlagi var losunin yfir vetrarmánuðina áætluð 0.

### 7.3. Árleg heildarlosun CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> með afgösun

Úr Gilsárlóni renna að meðaltali 39 m<sup>-3</sup> sek<sup>-1</sup> (Landsvirkjun 1996) og árið 2005 var lónið íslaut í 194 daga. Margfeldi þessar stærða og áætlaðrar losunar lofttegundanna úr hverjum rúmmetra gefa 255 ± 72 tonn CO<sub>2</sub> og 1,7 ± 0,6 tonn CH<sub>4</sub> á ári. Umreiknuð yfir á flatareining nemur losunin 3,1 ± 0,9 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> og 0,02 ± 0,007 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> yfir íslausan tíma ársins (Tafla 7.1). Ekki er gert ráð fyrir neinni losun með afgösun yfir vetrartímann.

Tafla 7.1 Áætluð losun CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> úr Gilsárlóni við afgösun í virkjun.

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
<b>Möguleg afgösun [g m<sup>-3</sup>]</b>	0,39	0,0026
<b>Heildarlosun úr lóni við afgösun [tonn dag<sup>-1</sup>]</b>	1,31	0,009
<b>Tonn yfir íslausan tíma (194 dagar)</b>	255	1,7
<b>Meðallosun á íslausa daga [kg ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>]</b>	3,06	0,02

Miðað við rúmmál lónsins þá geymir Gilsárlón rúmlega 11 daga forða fyrir virkjunina (áætlað út frá dýptarmælingum). Vegna lögunar lónsins og staðsetningar inn og útfalls þess er fremur ólíklegt að allt vatn í lóninu endurnýist á 11 daga fresti. Sú yfirmettun sem mælist í vatnssýnunum er því að líkindum meiri en hún er jafnan í vatninu sem fer í gegnum virkjunina.





## 8. Mælingar á flæði gróðurhúsalofttegunda í gróðurlendum við Gilsárlón

Hér verður gerð grein fyrir mælingum á flæði CO<sub>2</sub> í mólendi og mýri við suðurenda Gilsárlóns og mælingum á losun CH<sub>4</sub> úr mýrinni. Einnig er gerð grein fyrir þeim líkönum sem gerð voru til að yfirfæra þær mælingar á lengri tímabil.

### 8.1. Flæði koltvísýrings í mýri og mólendi.

Markmið þessa hluta verkefnisins var að leggja mat á CO<sub>2</sub>-upptöku og losun þeirra gróðurlenda, sem fóru undir lónið.

Aðferðir: Mælingar voru gerðar á sérsmíðuðum álrómmum, 35x35 cm, sem komið var fyrir á hverjum mælipunkti (mynd 5.13). Rammarnir ganga 20 cm niður í jörðina og hindra þannig loftskipti útfyrir viðkomandi mælireit. Ofan á römmunum er renna sem mæliklefar falla ofan í, en meðan á mælingu stendur er rennan fyllt af vatni og myndast þannig loftþéttur mælireitur.

Settir voru niður 6 áframmar í móa og 4 í mýri við suðurenda Gilsárlóns. Notaðir voru sömu rammar til mælinga á losun CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O í mýrinni Rammar sem settir voru niður í móann voru eingöngu notaðir til mælinga á CO<sub>2</sub>. (Mynd 8.16 og Mynd 8.29).



Mynd 8.1 Búnaður til mælinga á CO<sub>2</sub> upptöku og losun. Annars vegar mæliklefi og hinsvegar LICOR 6262 gasgreynir.

Mælingar á CO<sub>2</sub> flæði eru gerðar með sérútbúnum mæliklefum, sem komið er fyrir á ofangreindum römmum (Mynd 8.1). Styrkur CO<sub>2</sub> í klefanum var mældur á 6 sekúndna

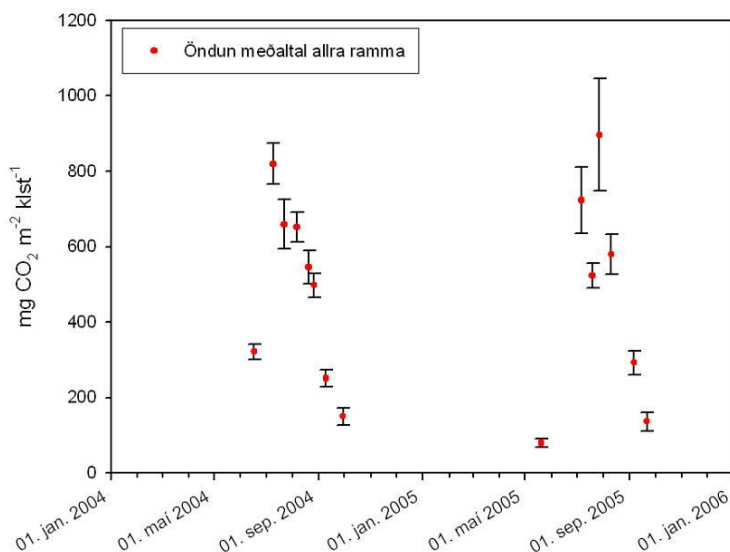
fresti í 4 mínútur með LiCOR færangleikum gasgreini (LiCOR 6200). Þessar mælingar voru gerðar í þörum á hverjum ramma, annars vegar við það ljósmagn, sem er hverju sinni og hins vegar í myrkvuðum klefa strax á eftir. Með því móti fæst annars vegar mat á heildarupptöku eða losun (NEE net ecosystem exchange) þess svæðis (gróðurs og jarðvegs), sem er innan rammans og hins vegar mat á jarðvegsöndun sama svæðis. NEE er heildarjöfnuður kerfisins og er summa ljóstillífunar eða upptöku CO<sub>2</sub> úr loftinu og öndunar eða losunar CO<sub>2</sub>. Með því að mæla öndunina sérstakleg í myrkvuðum klefum (ljóstillífun = 0) er unnt að reikna ljóstillífunina með einföldum frádrætti. (NEE - öndun = ljóstillífun)

Samhliða hverri mælingu var jarðvegshiti á 10 cm dýpi mældur við hvern mæliramma í mýrinni og á 5 cm dýpi í móanum. Mæliklefinn er útbúinn með ljósnema, sem skráir samhliða mælingum á styrk CO<sub>2</sub> það ljósmagn sem berst inn í klefann af þeim bylgjulengdum sem nýtast plöntum til ljóstillífunar (PAR = photosynthetic active radiation).

### 8.1.1. Niðurstöður mælinga á CO<sub>2</sub> flæði.

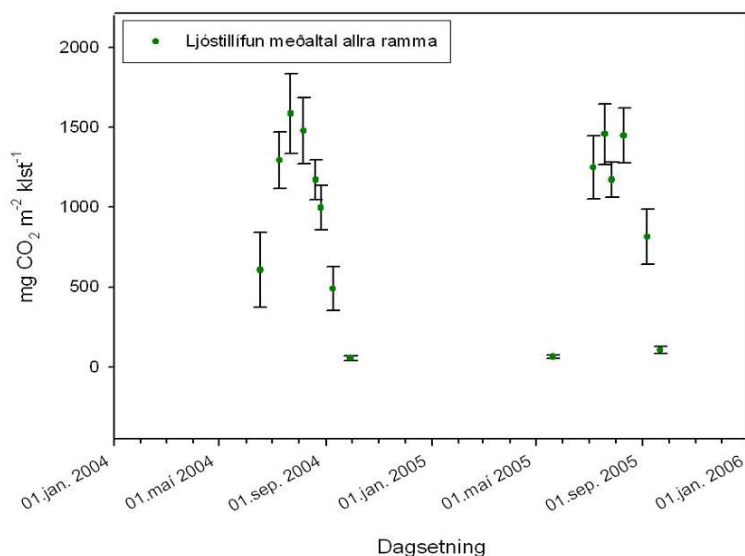
Mælt var reglulega yfir sumrin 2004 og 2005 á öllum römmum. Alls var mælt 15 sinnum. Í hvert skipti var mælt bæði í mýri og móa á öllum römmum, bæði í ljósi og myrkvuðum klefum. Að auki var mælt aukalega á tveimur römmum á hvoru svæði við breytilega skyggingu. Alls voru því framkvæmdar 180 mælingar í mýrinni og 189 mælingar í móanum. Niðurstöður mælinga eru sýndar á Mynd 8.2-5.

Niðurstöðurnar sýna greinilegan topp um hásumarið eins og við er að búast. Breytileiki í öndun ræðst mest af hitastigi og í ljóstillífun mest af ljósi, sem hvoru tveggja er í hámarki um mitt sumar. Einnig hafa ýmsir aðrir þættir áhrif. Varðandi öndunina má nefna framboð og samsetningu lífrænna efna, sem brotin eru niður og aðgang að súrefni, sem ræðst mest af vatnsstöðu jarðvegs. Varðandi ljóstillífun eru aðrir áhrifaþættir einkum magn ljóstillífandi vefja (grænmassi) og vatnsskortur.

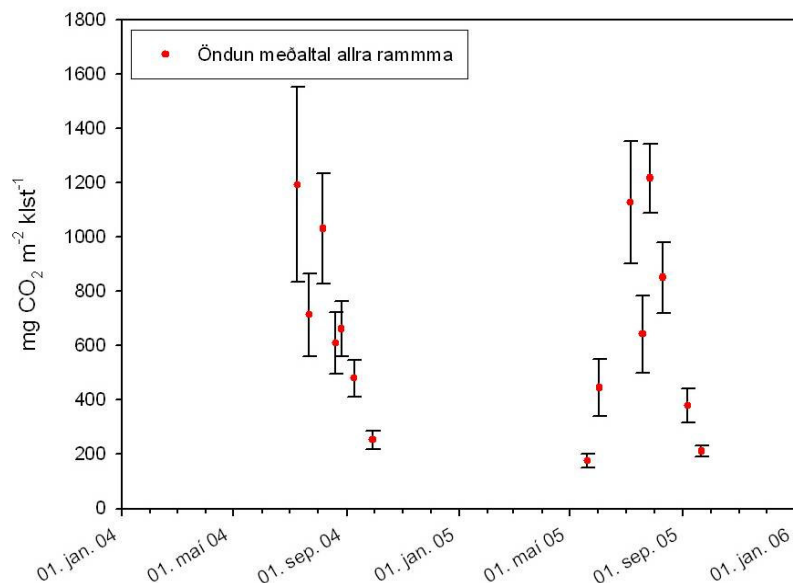


Mynd 8.2 Niðurstöður mælinga á jarðvegsöndun í mýri við Gilsárlón

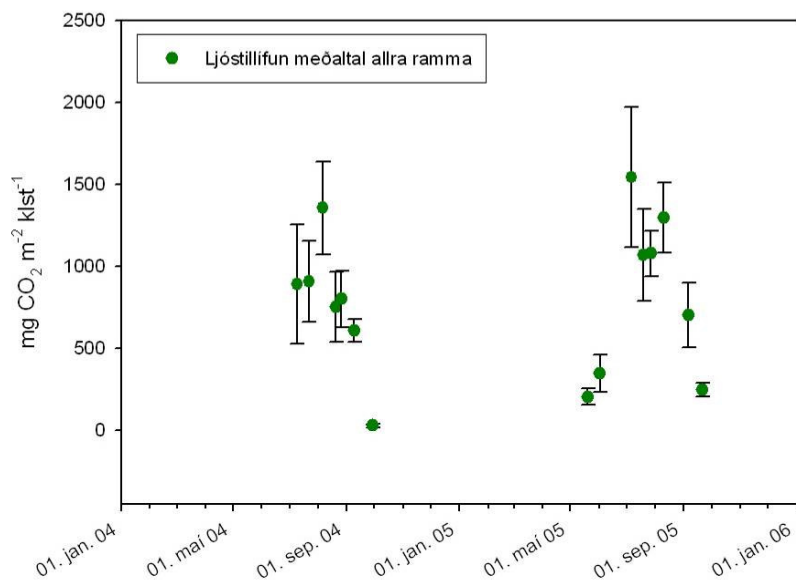
Markmið þessara mælinga var að meta heildarjöfnuð  $\text{CO}_2$  flæðis í þessum gróðurlendum. Mælingarnar voru notaðar til að kvarða líkingar, sem tengja öndun annars vegar og ljóstillífun hins vegar við hitastig og mælingar á innkomnu ljósi (PAR). Þetta var gert fyrir þrjár gerðir gróðurlenda þ.e. betur gróinn móa, rýran móa og mýri. Þessi kvörðuðu líkön voru síðan notuð til að reikna ljóstillífun, öndun og NEE yfir það tímabil sem mælingar á hitastigi og ljósi ná yfir.



Mynd 8.3 Niðurstöður mælinga á ljóstillífun í mýri við Gilsárlón



Mynd 8.4 Niðurstöður mælinga á jarðvegsöndun í móa við Gilsárlón



Mynd 8.5 Niðurstöður mælinga á ljóstillifun í móa við Gilsárlón

Hér á eftir verður gerð grein fyrir úrvinnslu þessara gagna, kvörðun og vali þeirra líkinga, sem notaðar voru til að yfirfæra mælingarnar á lengri tímabil.

### 8.1.2. Líkön fyrir CO<sub>2</sub> flæði í mýrinni.

#### Líkön fyrir jarðvegsöndun í mýrinni:

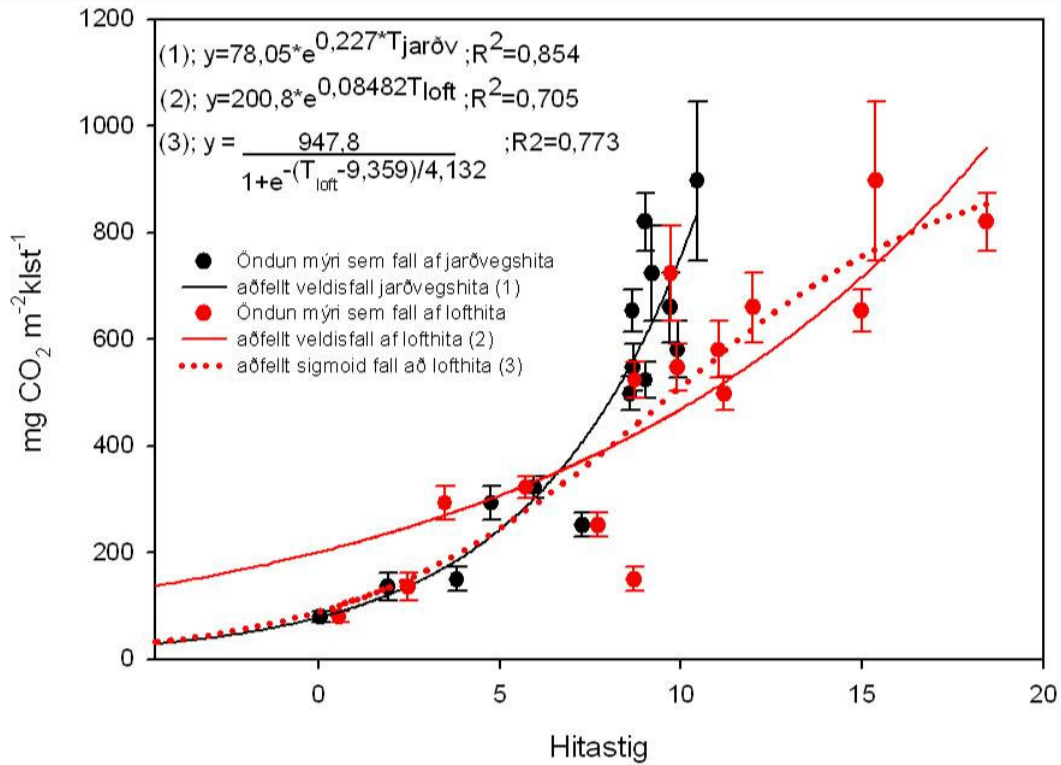
Óverulegar sveiflur reyndust vera í vatnshæð í mýrinni. Hitastig er því væntanlega sá umhverfispáttur sem mestu ræður um öndunina. Nokkrar líkingar voru prófaðar fyrir mælda öndun á römmunum í mýrinni. Bæði jarðvegshiti og lofthiti voru prófaðir sem stýribreytur. Á Mynd 8.6 eru sýndar þrjár af þeim aðhvarfslíkingum sem prófaðar voru.

Jafna 8.1 er aðhvarfslíkingin fyrir öndun sem veldisfall af jarðvegshita. Hún skýrir um 85% af breytileika í jarðvegsöndun í mýrinni.

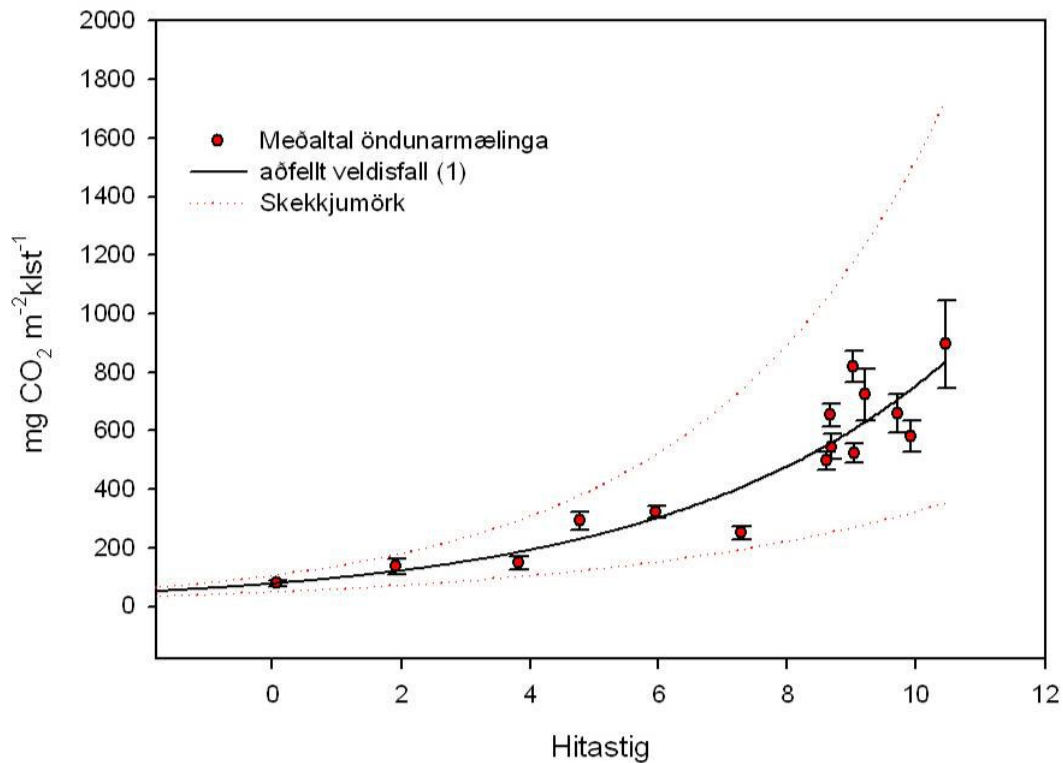
$$\text{Jafna 8.1} \quad y = 78,05 * e^{0,227T_{jarðv}} \quad R^2 = 0,854$$

Jafna 8.2 er aðhvarfslíking fyrir öndun sem veldisfall af lofthita. Hún skýrir um 70% af breytileika í meðaltali mælinga á öndun.

$$\text{Jafna 8.2} \quad y = 200,8 * e^{0,08482T_{loft}} \quad ; R^2 = 0,705$$



Mynd 8.6 Jarðvegsöndun (meðaltal allra ramma) í mýri sem fall af jarðvegshita og aðfældar líkingar



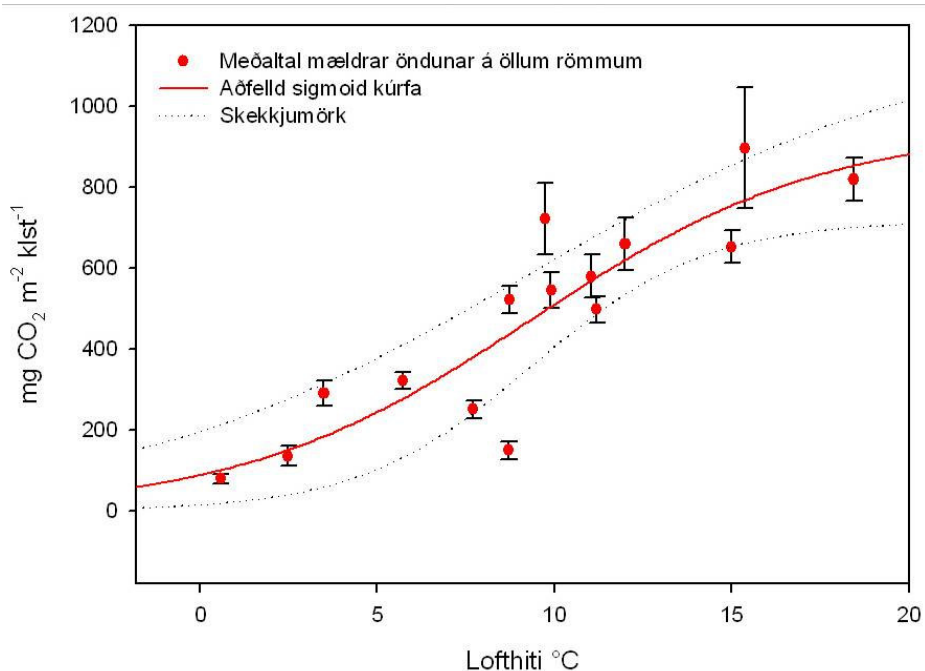
Mynd 8.7 Jarðvegsöndun í mýri sem fall af jarðvegshita og aðfellt veldisfall



Jafna 8.3 er aðhvarfslíking fyrir öndun sem sigmóíðfall af lofthita. Hún skýrir um 77% af breytileika mældrar öndunar í mýrinni.

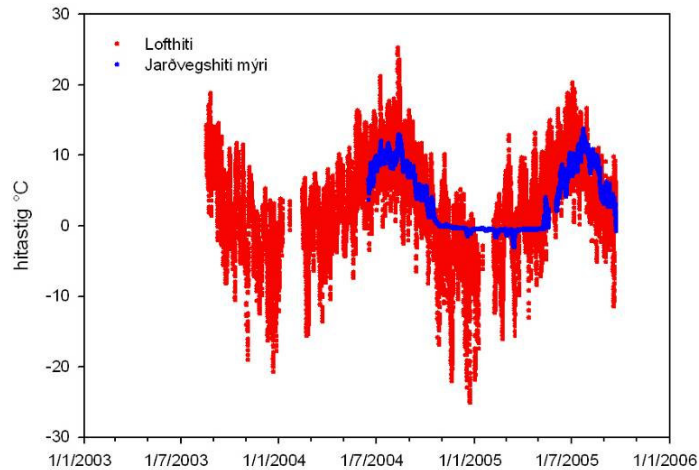
$$\text{Jafna 8.3} \quad y = \frac{947,8}{1 + e^{-\frac{(T_{\text{loft}} - 9,359)}{4,132}}} ; R^2 = 0,773$$

Á Mynd 8.7 og Mynd 8.8 eru tvær þessara líkinga sýndar með skekkjumörkum. Veldisfall af lofthita (**Jafna 8.2**) fellur illa að mælingum við lágt hitastig (Mynd 8.6) og samkvæmt þeirri líkingu er mjög mikil öndun við lágt hitastig. Við lágt hitastig (<5°C) falla jöfnur (7.1) og (7.3) vel saman og skiptir því ekki máli hvor þeirra er notuð við útreikninga á öndun fyrir það hitastigsbil. Við jarðvegshita um 10 °C er tiltölulega mikill breytileiki í mældri öndun á þröngu hitastigsbili. Lofthiti er hins vegar mun breytilegri við þessar sömu mælingar og virðist skýra hluta þess breytileika sem er í mælingum. Jarðvegshiti var mældur á 10 cm dýpi og kann það að skýra að öndunin fylgir betur lofthita en jarðvegshita. Hiti ofarlega í jarðvegi sveiflast meira með lofthita en hiti dýpra. Lofthiti virðist því vera raunhæfari stýribreyta en jarðvegshiti á 10 cm dýpi sem bendir til þess að mest niðurbrot eigi sér stað í efsta hluta jarðvegsins. Að vetri til þegar jörð er frosin og snjór yfir sveiflast jarðvegshiti ekki eins með lofthita (sjá Mynd 8.9).



Mynd 8.8 Jarðvegsöndun í mýri við Gilsárlón sem fall af lofthita og aðfellt sigmóíðkúrfra

Ef lofthiti er notaður sem stýribreyta reiknast mikil losun að vetri til en það verður að teljast ólíklegt þegar jarðvegur er frosinn á 10 cm dýpi. (Mynd 8.9)

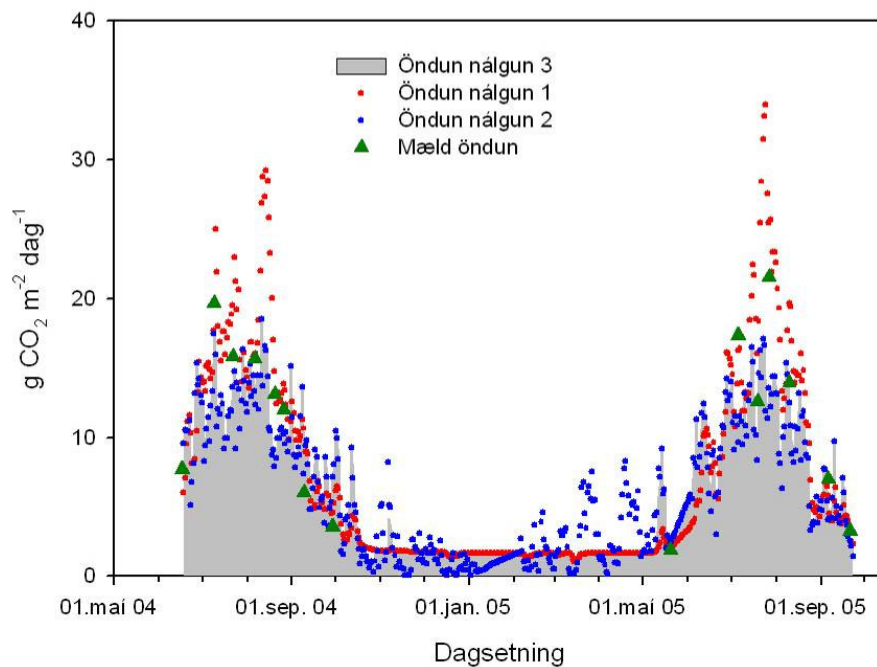


Mynd 8.9. Samanburður á lofthita og jarðvegshita (10 cm) í mýri við Gilsárlón

Með þetta í huga er öndun í mýri reiknuð samkvæmt þremur mismunandi nálgunum:

1. Öndun reiknuð allt árið, sem veldisfall af jarðvegshita á 10 cm dýpi. (Jafna 8.1)
2. Öndun reiknuð allt árið sem sigmóíðfall af lofthita. (Jafna 8.3)
3. Öndun yfir þann tíma, sem frost er á 10 cm dýpi, reiknuð sem veldisfall af jarðvegshita á 10 cm dýpi, annars sem sigmóíðfall af lofthita.

Á Mynd 8.10 eru sýnd dagsgildi reiknaðrar jarðvegsöndunar samkvæmt þessum þremur nálgunum. Mælingar á öndun eru einnig sýndar til samanburðar.



Mynd 8.10 Dagsgildi reiknaðrar öndunar í mýri við Gilsárlón samkvæmt þremur mismunandi nálgunum. Meðaltal mældrar öndunar sýnt til samanburðar

## Líkön fyrir ljóstillífun í mýrinni:

Ljóstillífun ræðst einkum af magni ljóstillífandi vefja (grænmassa) og tiltæku ljósi, hitastig hefur einnig áhrif. Þurrkur getur einnig dregið verulega úr ljóstillífun þó þess gæti ekki í mýrinni. Magn grænmassa breytist yfir sumarið í samræmi við vöxt plantna á svæðinu. Tiltækt ljós til ljóstillífunar (PAR) og hitastig var mælt á 30 mínútna fresti (sjá kafla 4.1). Við úrvinnslu á niðurstöðum mælinga á ljóstillífun voru gögn greind með tilliti til tímabila. Mælingar, sem gerðar voru í maí og fyrrihluta júní skáru sig nokkuð frá öðrum mælingum. Á þeim tíma er gróður varla kominn af stað og því mun minna af ljóstillífandi plöntuvefjum en á öðrum tímum sumarsins. Ekki reyndist grundvöllur til frekari skiptingar upp í tímabil.

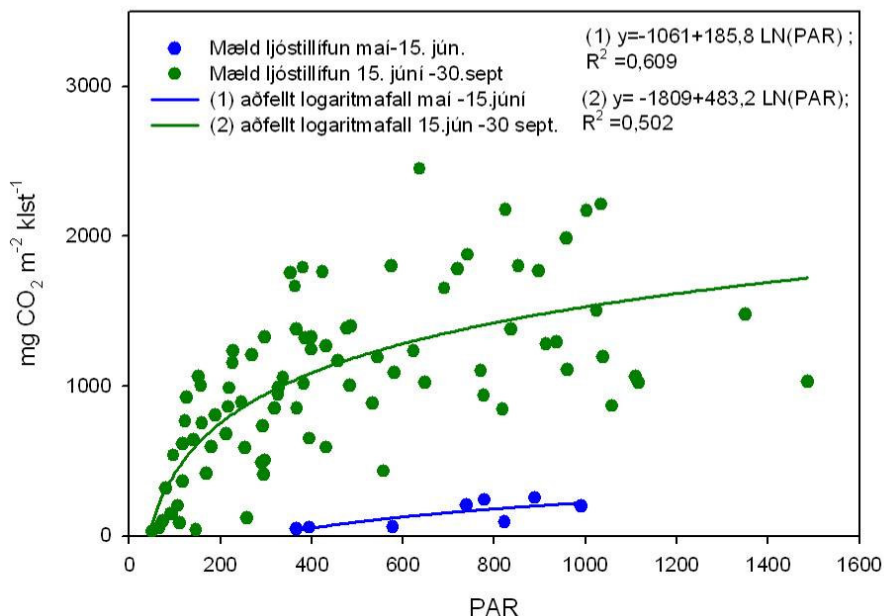
Mælingar á ljóstillífun á einstökum römmum voru notaðar til að kvarða aðhvarfslíkingar fyrir þessi tvö tímabil þ.e. maí -15. júní og 15. júní -30. september. Annars vegar voru notaðar líkingar sem lýsa ljóstillífun sem falli af tiltæku ljósi (PAR) (Jafna 8.4 og Jafna 8.5) og hins vegar líking sem tekur tillit til áhrifa hitastigs (Jafna 8.6). Niðurstöður þessara kvörðunar eru sýndar á Mynd 8.11 og Mynd 8.12.

Jafna 8.4 lýsir ljóstillífun í mýrinni í maí-15. júní sem falli af tiltæku ljósi. Hún skýrir um 60% af breytileika í mældri ljóstillífun á því tímabili (Mynd 8.11).

$$\text{Jafna 8.4 } y = -1061 + 185,8 \ln(\text{PAR})$$

Jafna 8.5 lýsir ljóstillífun 15. júní til 30. september sem falli af tiltæku ljósi. Hún skýrir um 50 % af þeim breytileika sem er í mælingum á ljóstillífun á því tímabili (Mynd 8.11).

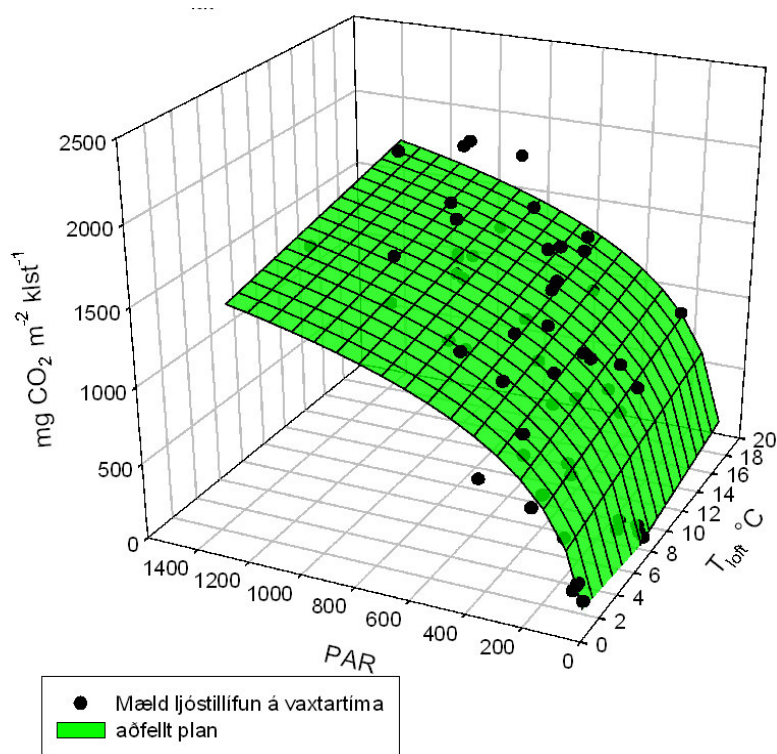
$$\text{Jafna 8.5 } y = -1809 + 483,2 \ln(\text{PAR})$$



Mynd 8.11 Mæld ljóstillífun í mýri skipt upp í tvö tímabil. Annars vegar mælingar fyrir grænkun og hins vegar á vaxtartíma. Einnig eru sýnd aðfæld logaritmaföll að mælingum hvors tímabils (Jafna 8.4 og Jafna 8.5)

**Jafna 8.6** lýsir ljóstíllífun fyrir tímabilið 15. júní til 30. september sem falli af tiltæku ljósi og lofthita. Hún skýrir um 58% af breytileika mældrar ljóstíllífunar (Mynd 8.12).

$$\text{Jafna 8.6} \quad z = -2026 + 18,74(T_{\text{loft}}) + 479,4 \ln(\text{PAR})$$

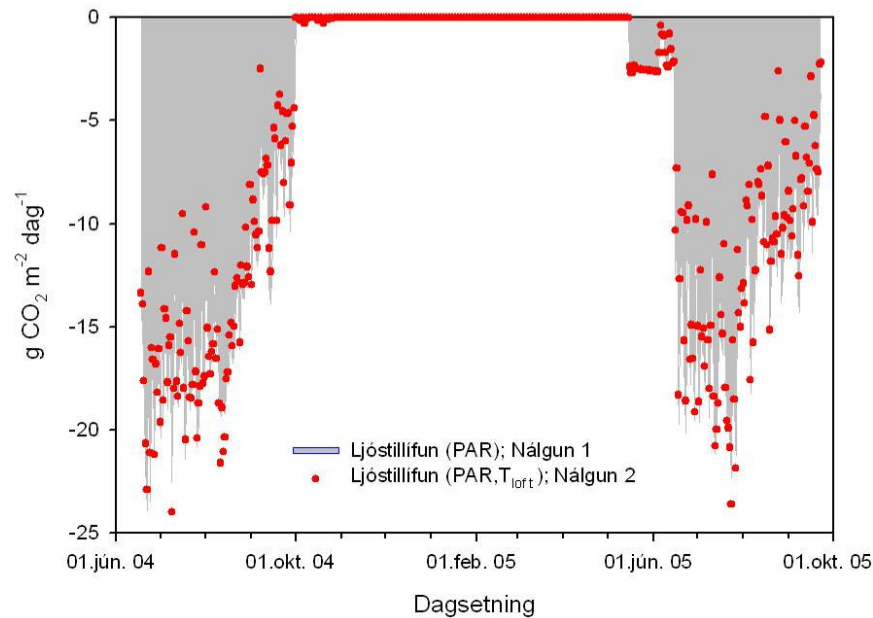


Mynd 8.12 Mæld ljóstíllífun í mýri við Gilsárlón 15. júlí til 30. september, sem fall af tiltæku ljósi og lofthita. Einnig aðfellt plan að þeim mælingum (Jafna 8.6).

Ljóstíllífun í mýrinni fyrir hvern dag var reiknuð, út frá 30 mín mælingum á tiltæku ljósi (PAR) og lofthita ( $T_{\text{loft}}$ ), samkvæmt tveimur nálgunum:

1. Jafna 8.4 notuð til að reikna ljóstíllífun í maí til 15. júní og jafnframt frá 1. október og út árið. Jafna 8.5 notuð til að reikna ljóstíllífun frá 15. júní til 30. september.
2. Eins og nálgun 1 nema Jafna 8.6 notuð til að reikna ljóstíllífun frá 15. júní til 30. september.

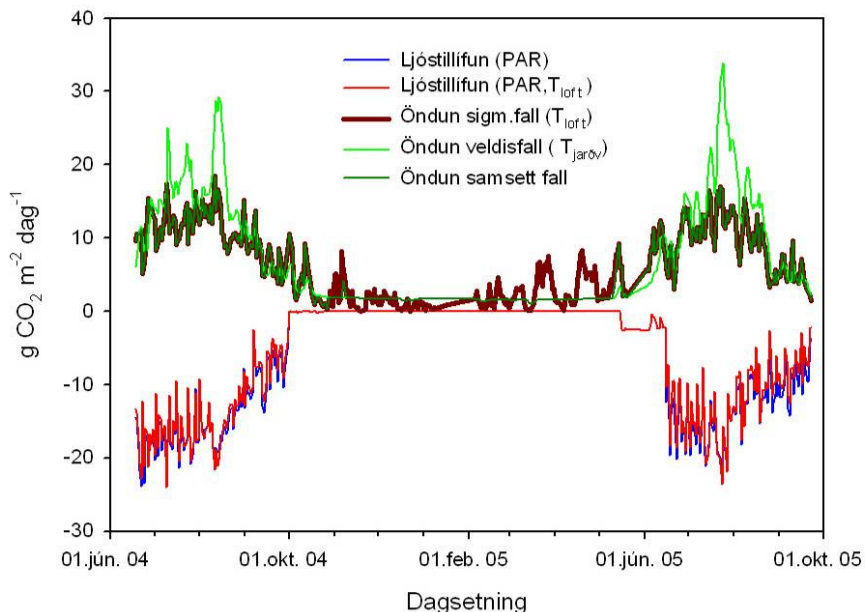
Dagsgildi fyrir ljóstíllífun reiknaða með þessum hætti eru sýnd á Mynd 8.13.



Mynd 8.13. Dagsgildi útreiknaðrar ljóstillifunar samkvæmt tveimur mismunandi nálgunum. Annars vegar ljóstillifun tveggja tímabila reiknuð eingöngu út frá PAR (nálgun 1), hins vegar er ljóstillifun á tímabilinu 15. júní til 30. september reiknuð út frá PAR og lofthita (nálgun 2).

### 8.1.3. Reiknaður CO<sub>2</sub> jöfnuður fyrir mýri við Gilsárlón.

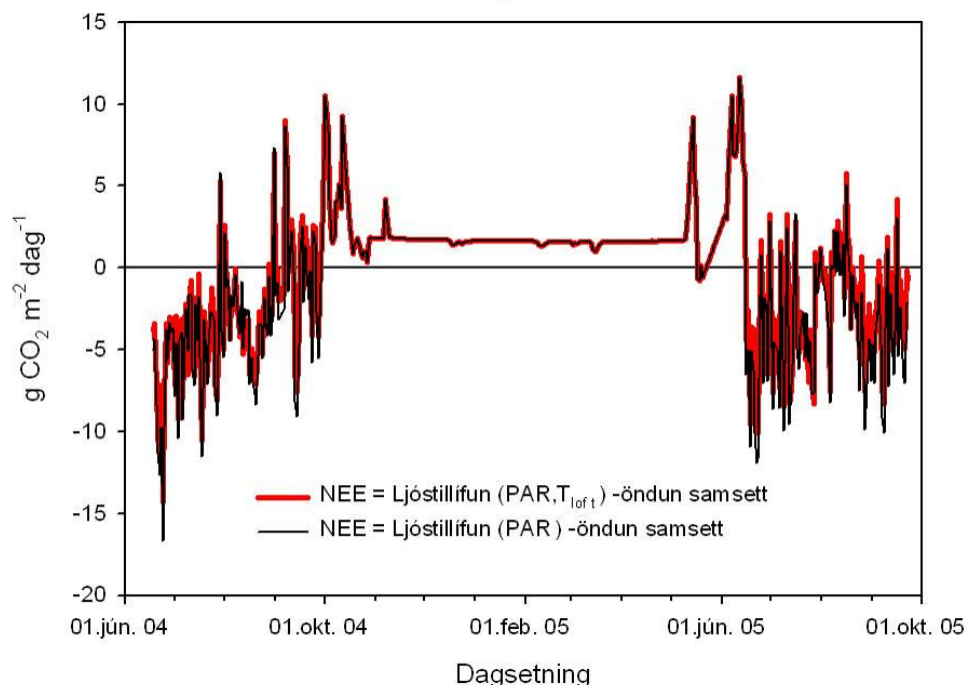
Á grundvelli þessara líkinga er hægt að meta heildarflæði koltvísýrings milli mýrarinnar og andrúmsloftsins. Ljóstillifun og öndun er reiknuð út frá 30 mínútna mæligildum fyrir hitastig og PAR. Dagsmeðaltal er síðan reiknað á grundvelli þeirra útreikninga.



Mynd 8.14. Niðurstöður jarðvegsöndunar og ljóstillifunarútreikninga fyrir mýri við Gilsárlón. Dagsgildi [g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>] fyrir mismunandi nálganir (sbr texta)

Dagsgildi öndunar og ljóstillífunar reiknuð á þennan hátt fyrir það tímabil sem mælingar umhverfispátta náðu til eru dregin saman á Mynd 8.14.. Í raun er um að ræða samlagningu á Mynd 8.10 og Mynd 8.13.

Dagsjöfnuður (NEE) CO<sub>2</sub> fyrir sama tímabil er sýndur á Mynd 8.15.



Mynd 8.15 Dagsjöfnuður fyrir CO<sub>2</sub> flæði [g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>] í mýri við Gilsárlón miðað við öndun samkvæmt nálgun (3) og annars vegar nálgun (1) og hins vegar nálgun (2) fyrir ljóstillífun.

Þessar mismunandi nálganir; þrjár fyrir öndun og tvær fyrir ljóstillífun, gefa möguleika á sex mismunandi samsetningum. Nálganirnar fyrir öndun eru þó mislíklegar eins og rakið er hér að ofan. Tafla 8.1 sýnir öndun, ljóstillífun og CO<sub>2</sub> jöfnuð (NEE) yfir nokkur tímabil. Heildar CO<sub>2</sub> jöfnuður fyrir viðkomandi tímabil er aðeins sýndur miðað við samsett öndunarfall.

Tafla 8.1 Heildaröndun og ljóstillífun ásamt CO<sub>2</sub> jöfnuði nokkurra tímabila fyrir mýri við Gilsárlón.

Heildarflæði [g CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> ] mýri	20.6-30.9. 2004	1.10.2004-15.5.2005	15.5.-22.9.2005	20.6.2004-19.6.2005	23.9.2004-22.9.2005
Öndun sigmóíðfall (T <sub>loft</sub> )	1099	521	1103	1840	1672
Öndun veldisfall (T <sub>jarðv</sub> )	1420	417	1403	2009	1861
Öndun samsett fall	1099	447	1098	1762	1594
Ljóstillífun (PAR), Nálgun 1	-1462	-1	-1348	-1587	-1407
Ljóstillífun (PAR, T <sub>loft</sub> ); Nálgun 2	-1401	-1	-1245	-1519	-1296
NEE = Ljóstillífun (PAR, T <sub>loft</sub> ) - öndun samsett	-303	446	-147	243	298
NEE = Ljóstillífun (PAR) - öndun samsett	-363	446	-249	175	187

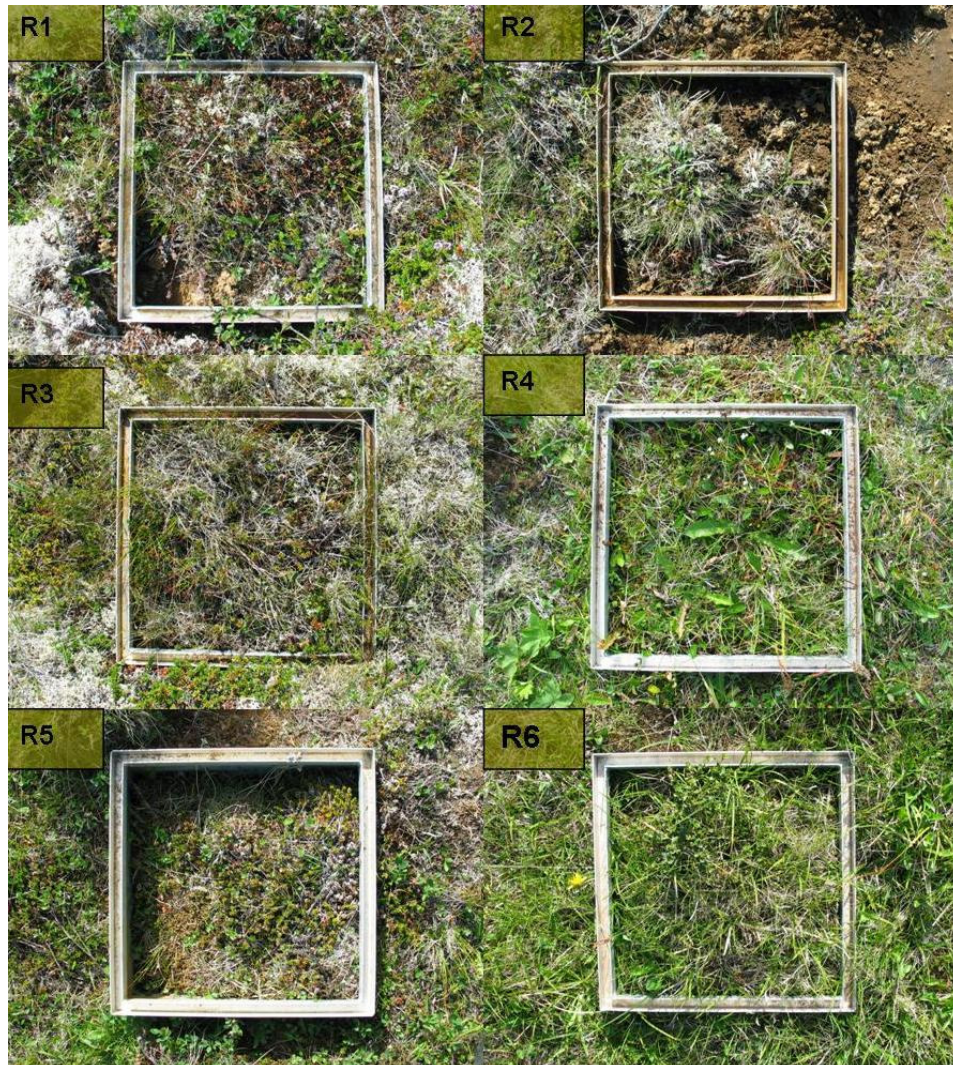


Samkvæmt þessum niðurstöðum er upptaka koltvísýrings í heildina yfir sumarið upp á 150-350 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> en ársjöfnuður samkvæmt þeim forsendum sem notaðar voru 170-300 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> losun.

Rétt er að hafa nokkra fyrirvara á þessum niðurstöðum. Í fyrsta lagi voru engar mælingar á ljóstillífum eða öndun að vetri til og því mikil óvissa varðandi þá losun sem reiknuð er yfir þann tíma. Einnig er gengið út frá því í þessum útreikningum að engin ljóstillífum eigi sér stað yfir vetrartímann. Slíkt er ekki að öllu leyti rétt því þó nokkur ljóstillífum getur verið hjá lágplöntum yfir vetrartímann. Einkum á þetta við hjá mosum og einnig geta sígrænir smárunar verið virkir að vetri til. Í öðru lagi er mikilvægt að hafa í huga að þau líkön sem eru að baki þessum útreikningum skýra ekki nema 50-60% af þeim breytileika sem er í mælingunum á ljóstillífum en um 70-80 % af breytileika í mælingum á öndun. Í þriðja lagi getur verið töluverður breytileiki í heildarjöfnuði frá einu ári til annars. Þetta sést t.d. á þeim mun sem er á heildarjöfnuði milli tveggja jafnlangra tímabila í töflu 6.1. Til lengri tíma litið hefur mýrin verið að safna í sig lífrænu efni eins og sá forði sem þar er til staðar sýnir best.

#### 8.1.4. Líkön fyrir CO<sub>2</sub> flæði í móanum.

Mikill breytileiki er í mólendi á svæðinu. Stafar það bæði af því að töluvert rof er í yfirborðinu og eins er mikil mósaík í gróðurfari þar, sem skiptast á mosablettir og blettir þar, sem háplöntur eru ráðandi. Við staðsetningu ramma var reynt að taka tillit til þessa breytileik þannig að samsetning yfirborðspekju í römmunum væri sem áþekktust því, sem var utan þeirra.

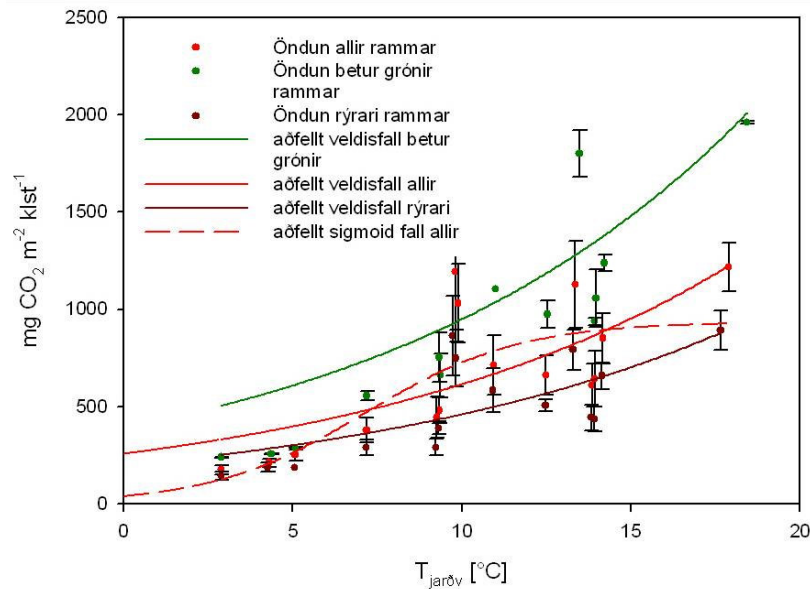


Mynd 8.16 Myndir af mælirömmum sem settir voru niður í móa við Gilsárlón. Rammar nr 4 og nr. 6 eru flokkaðir sem betur grónir en aðrir sem rýrari, sbr. umfjöllun í texta

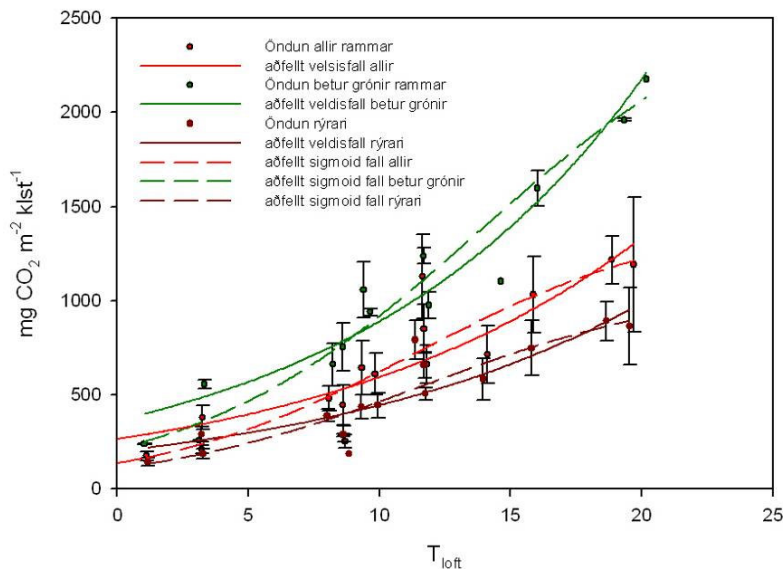
Þessi munur á gróðri í römmunum kom fram í mælingum á CO<sub>2</sub> flæði, og þá bæði hvað varðar ljóstillifun og öndun. Gróðurinn í römmunum bregst einnig mismunandi við breytilegum aðstæðum. Ljóstillifun mosa er t.d. mjög háð rakastigi. Mosar taka eingöngu vatn úr lofti og hafa engar rætur. Sígrænir smárunnar eins og krækilyng sýna litla árstíðabreytingu í grænmassa miðað við grös og jurtir.

## Líkön fyrir jarðvegsöndun í móanum:

Niðurstöður mælinga á jarðvegsöndun í móanum voru greindar m.t.t. tímabila, skiptingu mæliramma í rýra og betur gróna, jarðvegshita, lofthita. Best samsvörun fékkst milli meðaltals mældrar öndunar og breytinga í lofthita (Jafna 8.8) en einnig var viðunandi fylgni við jarðvegshita (Jafna 8.7). Ekki skipti máli hvort römmum var skipt upp í rýra og betur gróna eða ekki. Sigmóíðfall skýrði í öllum tilvikum betur breytileika gagnanna en veldisfall.



Mynd 8.17. Jarðvegsöndun í móa við Gilsárlón sem fall af jarðvegshita, annars vegar allir rammar óháð gróðurfari og hinsvegar römmum skipt upp eftir gróðurfari. Einnig eru sýnd aðfæld föll við mismunandi uppskiptingu.



Mynd 8.18 Jarðvegsöndun (meðaltal) í móa við Gilsárlón sem fall af lofthita, annars vegar allir rammar óháð gróðurfari og hinsvegar skipt upp eftir gróðurfari. Einnig eru sýnd aðfæld föll við mismunandi uppskiptingu.

Öndun í móanum er reiknuð samkvæmt tveimur mismunandi jöfnum (Jafna 8.7 og Jafna 8.8). Í báðum tilfellum er gengið út frá meðaltali allra ramma og sigmíóð aðhvarfsfalli.

Jafna 8.7 lýsir meðaltali öndunar á öllum römmum í hverri mælingu í móanum sem falli af jarðvegshita. Samkvæmt henni skýrir lofthitinn 57% breytileikans í meðaltali mælinganna:

$$\text{Jafna 8.7 } y = \frac{934,9}{1 + e^{-\frac{(T_{\text{jarðv}} - 7,122)}{2,287}}} ; R^2 = 0,5687$$

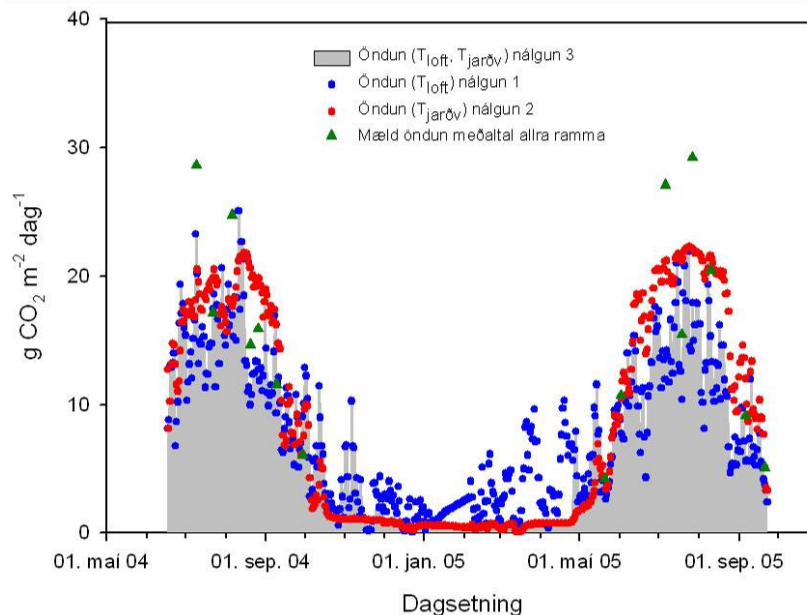
Jafna 8.8 lýsir meðaltali öndunar á öllum römmum í hverri mælingu í móanum sem falli af lofthita. Samkvæmt henni skýrir lofthitinn um 82% af breytileika í meðaltal allra ramma.

$$\text{Jafna 8.8 } y = \frac{1448}{1 + e^{-\frac{(T_{\text{loft}} - 11,4)}{5,052}}} ; R^2 = 0,8162$$

Notaðar eru þrjár mismunandi nálganir til að reikna dagsgildi öndunar í móanum.

1. öndun sem fall af lofthita allt árið
2. öndun sem fall af jarðvegshita allt árið
3. öndun sem fall af lofthita yfir tímabil þegar jarðvegshiti er yfir 0 °C en annars sem fall af jarðvegshita.

Niðurstöður þessara nálgana eru sýndar á Mynd 8.19. Þar eru einnig sýnd til samanburðar meðaltal mældra gilda viðkomandi dags.

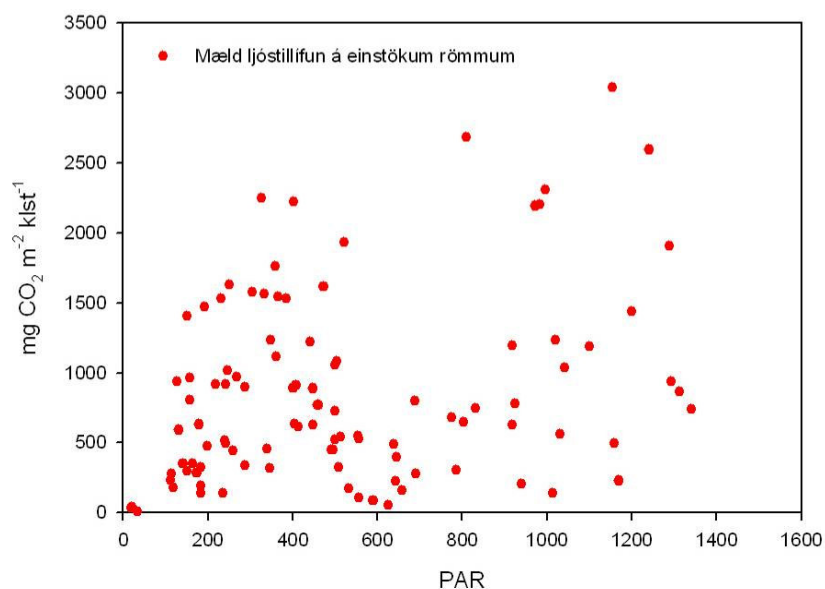


Mynd 8.19. Dagsgildi [ $g \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ] mismunandi nálgana (sbr texta) við útreikning á öndun í móa. Einnig er sýnt meðaltal mælinga á öllum römmum viðkomandi dag.

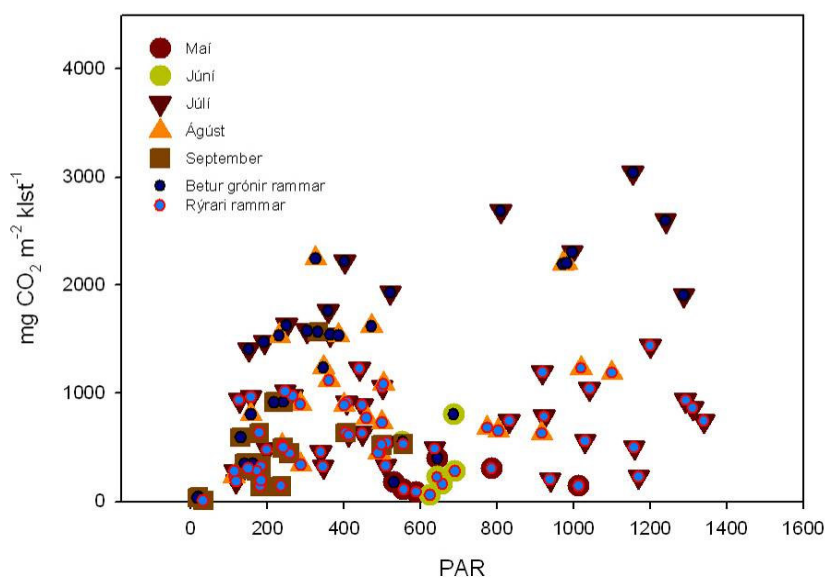


### Likön fyrir ljóstillífun í móanum:

Mikill breytileiki, sem ekki skýrist af mismiklu tiltæku ljósi (PAR), er í mældri ljóstillífun á einstökum römmum í móanum. (Mynd 8.20) Sá breytileiki á sér að einhverju leyti skýringar í hvenær sumars er mælt og einnig í mismunandi gróðurfari ramma (Mynd 8.21).



Mynd 8.20. Mæld ljóstillífun [ $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ klt}^{-1}$ ] á einstökum römmum í móa við Gilsárlón sem fall af PAR. Óflokkuð gögn.

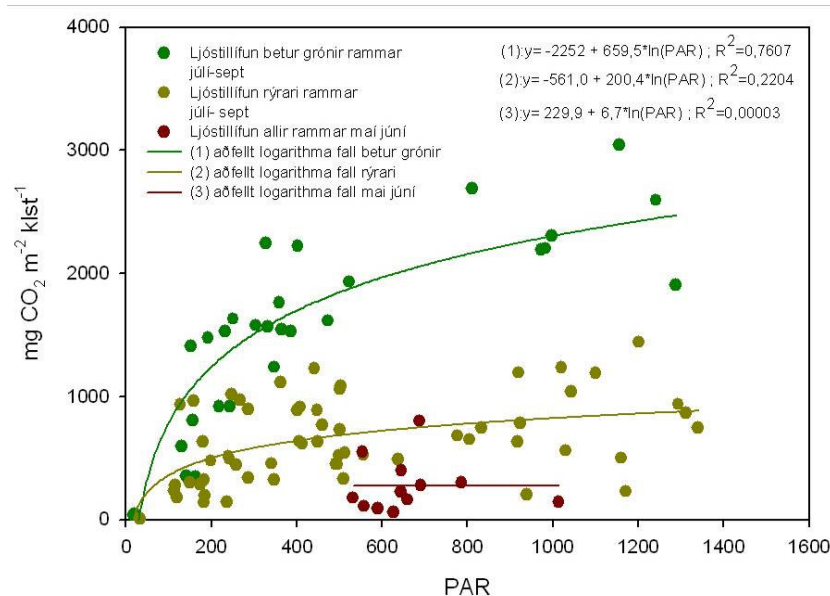


Mynd 8.21. Mæld ljóstillífun [ $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ klt}^{-1}$ ] á stökum römmum í móa við Gilsárlón sem fall af PAR. Mælingar flokkaðar upp eftir gróðurfari ramma og mælitíma.

Mælingar á ljóstillífum í móanum voru notaðar til að kvarða aðhvarfslíkingar, sem lýsa ljóstillífum sem falli af tiltæku ljósi (PAR). Prófaðar voru nokkrar mismunandi leiðir. Í fyrsta lagi voru notaðar mælingar á einstökum römmum og logaritma líkingar felldar að þeim gögnum. Í öðru lagi voru gögn dregin saman með því að taka meðaltal mælinga við vaxandi PAR-gildi. Meðaltalið mældrar ljóstillífunar var tekið yfir jafnan fjölda (5) PAR-gilda. Meðaltal PAR-gildanna var tekið með þeim hætti að tekið var meðaltal af  $\ln(\text{PAR})$  og því meðaltali síðan breytt í PAR-gildi [ $\exp(\ln(\text{PAR}))$ ].

Í báðum tilvikum voru prófaðar margvíslegar flokkanir á gögnunum m.t.t. tímabila og ramma. Einnig var kannað hvort aðrar mælistærðir s.s. hitastig jarðvegs, lofthiti, úrkoma, eða loftraki gætu skýrt hluta breytileikans.

Gagnvart mælingum á einstökum römmum fékkst aðeins viðunandi ( $R^2 > 0,5$ ) aðhvarf gagnvart mælingum á betur grónum römmum í júlí til og með september (Mynd 8.22). Jafna 8.9 sýnir ljóstillífum einstakra ramma í júlí til september á betur grónum römmum í móa við Gilsárlón sem fall af PAR (sbr líking (1) á Mynd 8.22). Samkvæmt því skýrir tiltækt ljós 76% af breytileika í mældri ljóstillífum á betur grónum römmum í móanum. Aðrar mældar stærðir lögð lítil til að skýra breytileika í mæligögnum.



Mynd 8.22. Mæld ljóstillífum [ $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ klt}^{-1}$ ] á stökum römmum í móa við Gilsárlón og aðfelld logaritmaföll. Mælingum er skipt upp í tvö tímabil og á öðru þeirra einnig eftir gróðurfari í römmunum

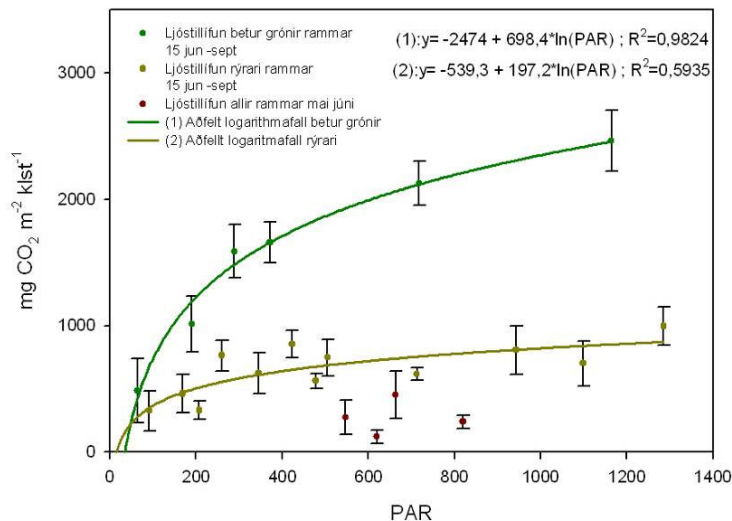
Jafna 8.9:  $y = -2252 + 659,5 * \ln(\text{PAR})$ ;  $R^2=0,7607$

Gagnvart meðaltali mælinga við vaxandi PAR-gildi fékkst hins vegar mjög góð fylgni við mælingar á betur grónum römmum í júlí til september og eins viðunandi fyrir rýru rammanna á sama tímabili (Mynd 8.23). Jafna 8.10 og Jafna 8.11 eru aðhvarfslíkingar þessara mælinga. Samkvæmt jöfnu 6.10 er 98% af breytileika í meðaltali mælinga á ljóstillífum teknu með ofangreindum hætti skýrt með breytileika í tiltæku ljósi. Sambærileg tala fyrir rýra móann er 59% (Jafna 8.11).

Jafna 8.10:  $y = -2474 + 698 * \ln(\text{PAR})$ ;  $R^2=0,9824$



Jafna 8.11:  $y = -539,3 + 197,2\ln(PAR)$ ;  $R^2=0,5935$

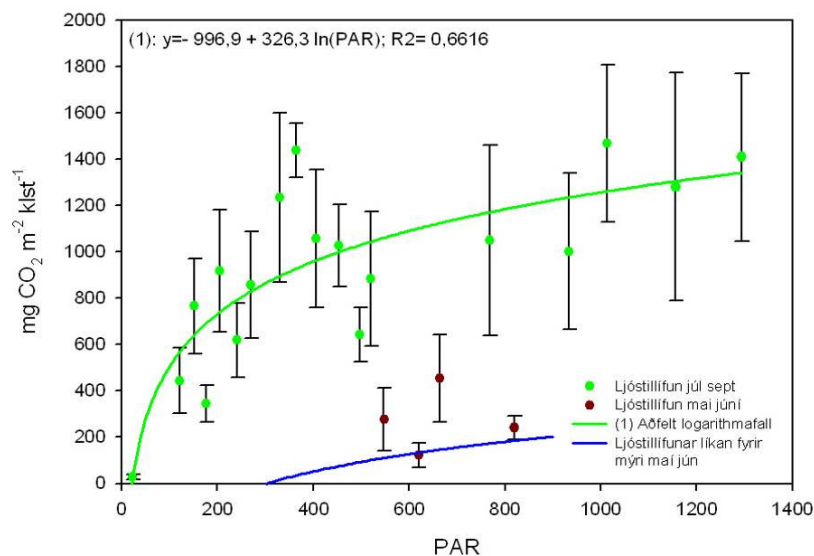


Mynd 8.23. Upptaka CO<sub>2</sub> með ljóstíllífun (meðaltal) miðað við vaxandi PAR. Mælingar í móa við Gilsáríón flokkað eftir gróðurfari ramma og tímabilum. Aðfellt logarítmaföll með viðunandi aðhvarf.

Það að skipta mælingum upp eftir gróðurfari innan rammanna reyndist vel til að skýra þann breytileika, sem var í niðurstöðum mælinga á ljóstíllífun í móanum. Hins vegar er ekki sjálfgefið með hvaða hætti sú skipting yfirfærast á mólendi við lónið í heild eða þann móa sem fór undir lón. Rammarnir voru lagðir þannig út að gróðurfari innan þeirra væri í heild sem líkast því sem það er utan þeirra. Þess vegna er einn möguleiki að skipta römmunum ekki upp m.t.t. gróðurfars. Mynd 8.24 sýnir meðaltal mælinga við vaxandi PAR-gildi fyrir alla ramma óháð gróðurfari en skipt í tvö tímabil. Jafna 8.12 lýsir mælingum við vaxandi PAR á öllum römmum í móanum á tímabilinu júlí til september sem falli af tiltæku ljósi. Samkvæmt henni er unnt að skýra um 66% af breytileika mælinga með breytileika í tiltæku ljósi.

Jafna 8.12:  $y = -996,9 + 326,3 * \ln(PAR)$ ;  $R^2 = 0,6616$

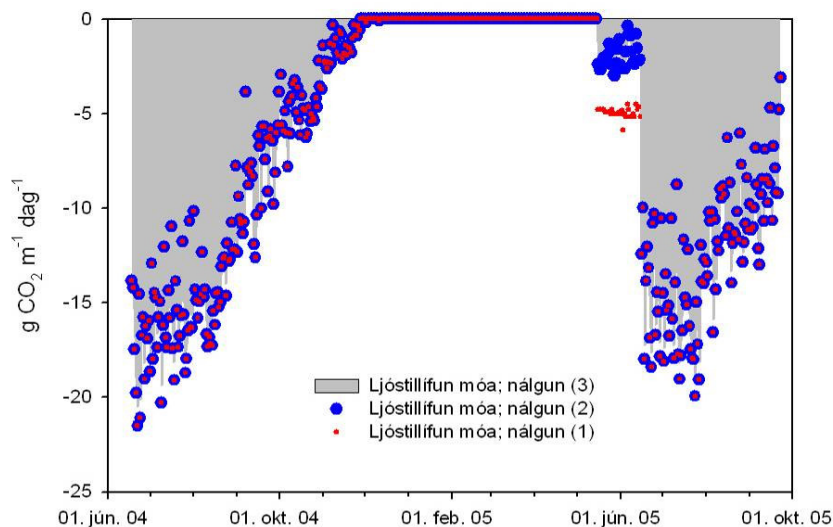
Með því að taka meðaltal mælinga með ofangreindum hætti fékkst ekki viðunandi fylgni mælinga í maí og júní gagnvart tiltæku ljósi. Fyrir það tímabili tókst því ekki að finna aðhvarfslíkingu við mældra umhverfispætti sem nota má til að meta ljóstíllífun móans út frá. Til þess að meta ljóstíllífun á því tímabili er ein leið að nota einfaldlega meðaltal mældra gilda fyrir þann tíma, sem PAR er yfir ákveðnu gildi. Önnur leið væri að nota þá aðhvarfslíkingu (Jafna 8.4), sem fékkst gagnvart mælingum í mýrinni fyrir sama tímabil. Hvoru tveggja eru mælingar fyrir grænkun. Á Mynd 8.24 er þessi líking dregin inn.



Mynd 8.24. Ljóstíllífur (meðalatal allra ramma) við vaxandi PAR. Mælingar í móa við Gilsárlón flokkaðar eftir tímabilum. Einnig sýnd aðhvarfslíking fyrir ljóstíllífur í mýri við Gilsárlón fyrir grænkun.

Dagsgildi fyrir ljóstíllífur í móanum er því reiknuð með þremur nálgunum.

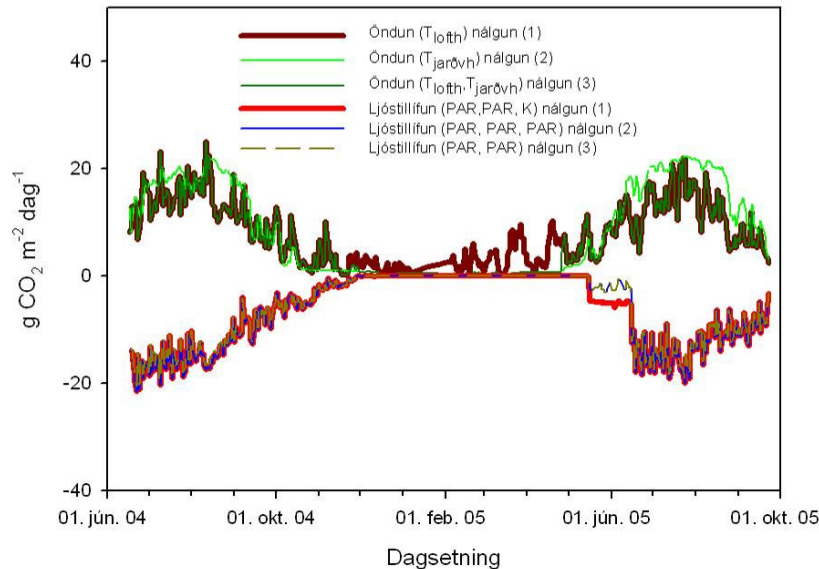
1. Ljóstíllífur frá 15 júní og út árið reiknuð sérstaklega fyrir betur gróin (Jafna 8.10) og rýrari svæði (Jafna 8.11) og síðan tekið vegið meðaltal út frá skiptingu ramma (4 rýrir og 2 betur grónir). Ljóstíllífur í maí til 15 júní reiknuð sem meðaltal mældra gilda á því tímabili ( $=273,3 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ klst}^{-1}$ ) að því tilskildu að PAR gildi sé yfir 100. Gengið var út frá að engin ljóstíllífur sé frá áramótum til maí.
2. Ljóstíllífur frá 15 júní út árið reiknuð eins og í nálgun (1), en ljóstíllífur í maí til 15. júní reiknuð með aðhvarfslíkingu fyrir sama tímabil í mýrinni (Jafna 8.4).



Mynd 8.25 Dagsgildi ljóstíllífunar [ $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ] í móa við Gilsárlón miðað við mismunandi nálganir (sjá texta)

3. Ljóstillífun frá 15. júní út árið reiknuð út frá sameiginlegri aðhvarfslíkingu allra ramma (Jafna 8.12) en ljóstillífun í maí til 15. júní reiknuð samkvæmt aðhvarfslíkingu fyrir sama tímabil í mýrinni (Jafna 8.4).

Niðurstöður þessara mismunandi nálgana eru sýndar á Mynd 8.25. Dagsgildi öndunar og ljóstillífunar reiknuð samkvæmt mismunandi nálgunum fyrir það tímabil sem mælingar umhverfispátta náðu til eru sýnd á Mynd 8.26



Mynd 8.26 Dagsgildi [ $g CO_2 m^{-2}$ ] jarðvegsöndunar og ljóstillífunar samkvæmt mismunandi nálgunum (sjá texta) fyrir móa við Gilsárlón.

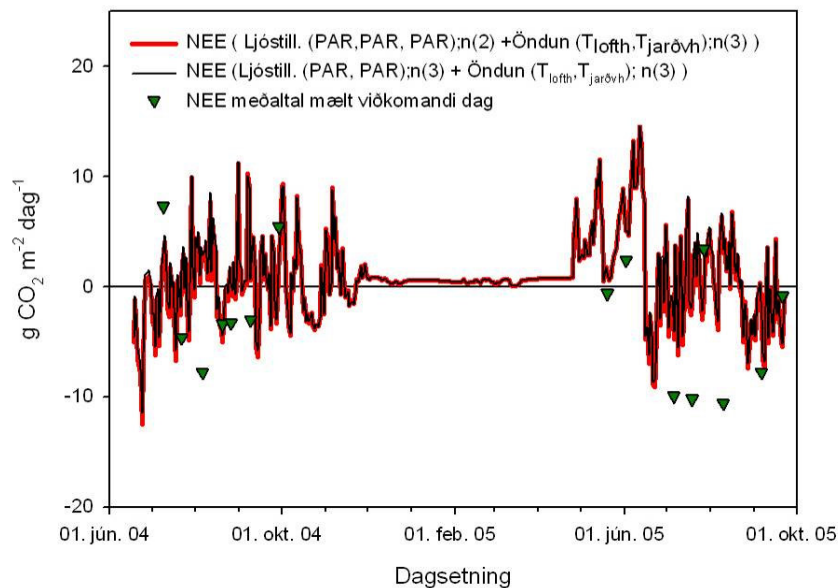
### 8.1.5. Reiknaður $CO_2$ jöfnuður fyrir móa við Gilsárlón.

Þessar mismunandi nálganir, þrjár fyrir öndun og þrjár fyrir ljóstillífun, gefa möguleika á níu mismunandi samsetningum varðandi heildarjöfnuð yfir ákveðin tímabil. Tafla 8.2 sýnir öndun, ljóstillífun og  $CO_2$  jöfnuð (NEE) yfir nokkur tímabil. NEE er aðeins sýndur miðað við samsett öndunarfali og ljóstillífun samkvæmt nálgunum (2) og (3).

Tafla 8.2 Heildaröndun og ljóstillífun ásamt  $CO_2$  jöfnuði nokkurra tímabila fyrir móa við Gilsárlón.

Heildar jöfnuður mói [ $g CO_2 m^{-2}$ ]	20.6-30.9. 2004	1.10.2004- 15.5.2005	15.5.- 22.9.2005	20/6/04- 19/6/05	23/9/04- 22/9/05
Öndun ( $T_{lofth}$ ) nálgun (1)	1384	750	1416	2435	2229
Öndun ( $T_{jarövh}$ ) nálgun (2)	1668	252	2008	2292	2318
Öndun ( $T_{lofth}, T_{jarövh}$ ) nálgun (3)	1384	401	1416	2086	1881
Ljóstillífun(PAR,PAR,K) nálgun (1)	-1371	-187	-1378	-1766	-1622
Ljóstill. (PAR,PAR,PAR) nálgun (2)	-1371	-187	-1287	-1675	-1531
Ljóstill.(PAR,PAR) nálgun (3)	-1324	-189	-1252	-1629	-1497
NEE (L. n(2)+Ö.n(3))	14	214	130	411	349
NEE (L. n(3)+Ö.n(3))	60	212	165	457	383
NEE (L. n(1)+Ö.n(3))	13	214	38	320	259

Í heildina virðist móinn vera að losa CO<sub>2</sub> hvor heldur lítið er á heilt ár eða aðeins yfir sumarið. Ársjöfnuðurinn er á bilinu 350-460 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> og sumarjöfnuður er losun upp á 15-165 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> miðað við þær forsendur, sem notaðar voru. Eins og gagnvart jöfnuði í mýrinni verður að hafa í huga að engar mælingar voru gerðar að vetri og því mikil óvissa gagnvart því tímabili. Ef borið er saman meðaltal mældra gilda fyrir CO<sub>2</sub> jöfnuð og reiknuð gildi kemur í ljós að þegar mælingar eru að sýna nettó losun eru útreikningar að gera það sama (Mynd 8.27). Hins vegar þegar mælingar sýna nettó upptöku að meðaltali þá eru útreikningar ekki ávallt að sýna það sama. Þetta er ekki óeðlilegt þegar haft er í huga að mælingar voru ávallt gerðar að degi til á um tveggja klukkustunda tímabili. Reiknuðu gildin eru hins vegar meðalgildi yfir allan sólarhringinn. Hlutur ljóstillífunar er því ofmetinn í mælingum miðað við dagildi.



Mynd 8.27 Dagsjöfnuður CO<sub>2</sub> flæðis [g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>] í móa við Gilsárlón miðað við öndun samkvæmt nálgun (3) og annars vegar nálgun (2) og hins vegar nálgun (3) fyrir ljóstillífun.

Að móinn sé að tapa kolefni yfir sumarið getur ekki talist eðlilegt ástand og gengur ekki upp til langframa. Hinsvegar þegar horft er til ástands mólendisins kemur sú niðurstaða ekki mjög á óvart. Mólendi á svæðinu er almennt fremur rýrt og töluvert rofið (Mynd 8.28)



Mynd 8.28 Dæmigert mólendi við Gilsárlón



## 8.2. Losun metans úr mýrlendi við Gilsárlón

Mælingar á losun metans úr mýrinni við Gilsárlón hófust vorið 2004 og var losunin mæld með jöfnu millibili alls sex sinnum yfir sumarið og fram á haust. Mælingar voru endurteknaðar árið 2005 og þá mælt sjö sinnum frá því um miðjum maí og fram að mánaðarmótum september og október.

Sýnum til greininga á  $\text{CH}_4$  var safnað úr sérútbúnum klefum (Mynd 8.30), sem komið var fyrir á mælireitunum (Mynd 8.29). Notaðir voru sömu mæliramma og fyrir mælingar á  $\text{CO}_2$  flæði. Sýnum var safnað úr klefunum á hálf tíma fresti (við 0, 30 og 60 mín.) og fékkst þannig mat á stefnu og stærð breytinga í styrk  $\text{CH}_4$  og þar með losun þess á flatareiningu fyrir viðkomandi tímabil. Sýnum var komið fyrir í loftþéttum glösum og þau geymd í kæli allt þar til þau voru greind í Varian 3600 gasgreini, sem staðsettur er á Keldnaholti.



Mynd 8.29 Einn af mælirömmunum.



Mynd 8.30 Metansýnataka í gangi.

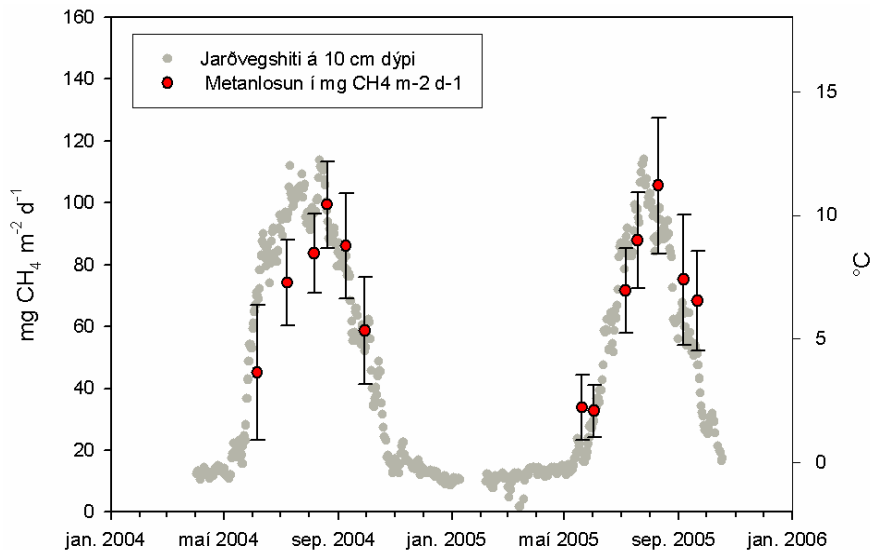
Metanlosunin var mæld á alls fjórum mælirömmum og var reynt að endurspegla breytileikann í mýrinni með staðsetningu þeirra. Reistir voru pallar við hvern mæliramma til að draga úr áhrifum umgangs á metanlosunina. Við tvo af mælireitunum var komið fyrir síritandi jarðvegshitanemum á 10 cm dýpi sem skráðu hitastigið á hálf tíma fresti. Jarðvatnsstaða við sýnatöku var skráð.



Mynd 8.31. Mýrin við Gilsárlón. Mælingar á losun metans og flæði koltvísýrings áttu sér stað á svæðinu fyrir miðri mynd. Ef vel er rýnt má sjá tvo af mælipunktunum.

### 8.2.1. Niðurstöður mælinga á losun metans úr mýrinni

Niðurstöður mælinga má sjá á Mynd 8.32. Verulegur breytileiki er í losuninni, bæði milli mældidaga og á milli mælipunkta. Ákveðinnar sveiflu gættir í gögnunum, losunin er lág að vori en eykst er líður á sumarið, en dvín svo aftur þegar haustar. Metanmyndandi örverur eru sem fyrr segir háðar hitastigi í virkni sinni og sveiflan í losuninni bendir eindregið til svörunar við hitastig jarðvegs, sem sýndur er sem grár ferill á Mynd 8.32.



Mynd 8.32. Mæld losun metans úr mýrlendi við Gilsárlón sumrin 2004 og 2005. Grár ferill sýnir hitasveiflu jarðvegs frá vorinu 2004 og fram á haust 2005

#### Líkön fyrir losun metans úr mýrinni:

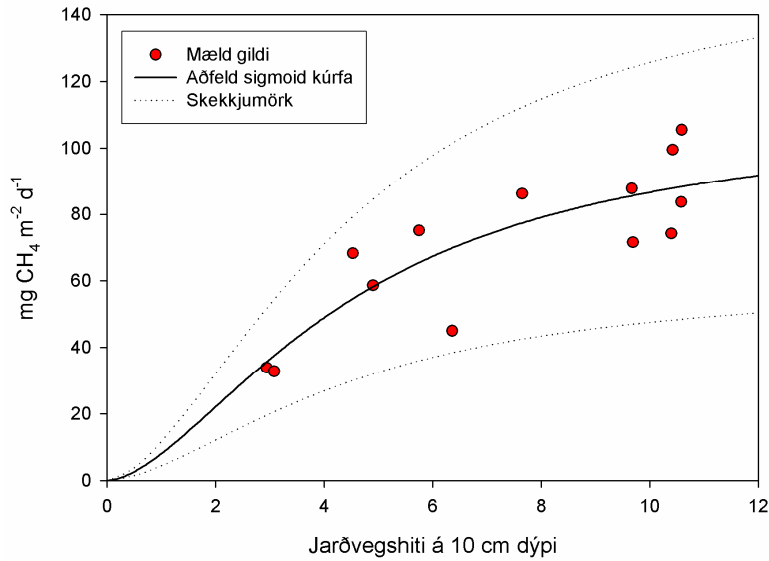
Markmið þessara mælinga var að meta heildarjöfnuð CH<sub>4</sub> flæðis mýrarinnar og því voru niðurstöðurnar notaðar til að kvarða líkingar, sem tengja metanlosunina við jarðvegshita. Þessi kvörðuðu líkön voru síðan notuð til að reikna metanlosunina yfir það tímabil sem mælingar á hitastigi ná yfir (vor 2004 – haust 2005).

Við gerð líkans fyrir metanlosun sem fall af jarðvegshita var fyrst tekið mið af þekktri svörun metanmyndandi örvera við hækkandi hitastigi en örverur sýna í flestum tilvikum veldissvörun, oftast á bilinu 2-4 földun í virkni yfir 10°C bil (Dunfield ofl. 1993). Eftir því sem hitastig hækkar síðan meira dregur úr virkniaukningunni allt þar til hámarksvirkni er náð við eitthvað ákveðið hitastig.

Við samanburð á mæliniðurstöðum og falli af jarðvegshita er erfitt að greina nokkra veldissvörun. Hugsanlegt er að virkni örveranna gagnvart hitastigi sýni veldissvörun á bilinu 0-5°C en síðan byrji að draga úr svöruninni við hitastig hærra en 5°C. Mælingar eru aftur á móti fáar á bilinu 0-5°C og því erfitt að fullyrða um eðli metanlosunarinnar á því bili.

Prófuð voru fleiri líkön og var niðurstaðan sú, að sigmóíðfall, sem sýnir veldissvörun á bilinu 0-5°C og hægir síðan á aukningunni (Mynd 8.33) sýndir besta fylgni við gögnin ( $R^2=0,711$ ) af öllum þeim líkönum, sem reynd voru.



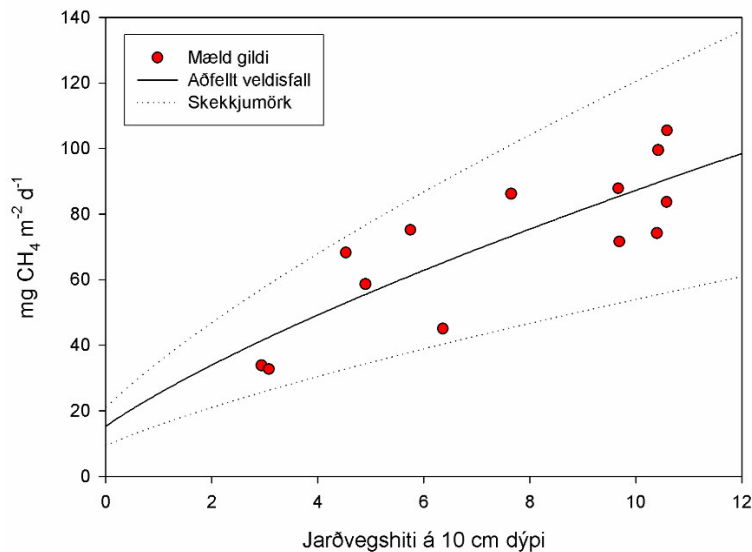


Mynd 8.33. Niðurstöður mælinga á losun  $CH_4$  úr mýri og aðfellt sigmóíðfall með skekkjumörkum.

Jafna sigmóíðfallsins er eftirfarandi:

Jafna 8.13 
$$M_m = \frac{a}{\left(1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b\right)}$$

$M_m$  = losun  $CH_4$  í mg á  $m^2$  á dag;  $x$  = jarðvegshiti;  $a = 109,83$ ;  $b = -1,675$ ;  $x_0 = 4,55$ .



Mynd 8.34 Niðurstöður mælinga á losun  $CH_4$  úr mýri og aðfellt veldisfall með skekkjumörkum

Ókostur við þessa nálgun er að hún gerir ekki ráð fyrir neinni losun að vetri til en ýmsar rannsóknir hafa sýnt fram á losun á sér stað úr mýrlendi að vetri og að sú losun nemi sem svarar 10-20% af heilsárslosuninni (Huttonen 2003). Sökum þessa var ákveðið að notast einnig við aðra nálgun sem hafði litlu minni fylgni við gögnin ( $R^2=0,692$ ) en sýnir losun við lágt hitastig ( $\leq 0$ ) (Mynd 8.34).

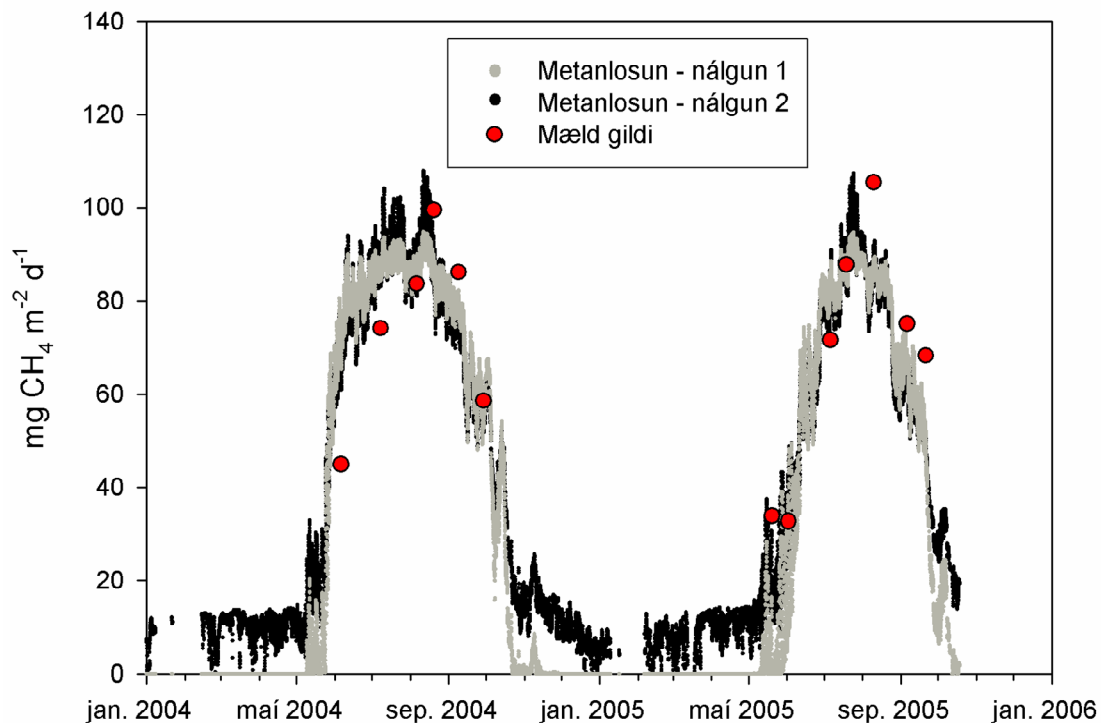
Jafna fallsins er eftirfarandi:

$$\text{Jafna 8.14} \quad M_m = a(1 + x)^b$$

$M_m$  = losun  $\text{CH}_4$  í mg;  $x$  = jarðvegshiti;  $a = 15,305$ ;  $b = 0,726$ .

### 8.2.2. Heildarlosun metans úr mýrinni

Mögulegt er að áætla heildarlosun metans fyrir ákveðin tímabil út frá jarðvegshita og ofangreindum líkönum. Bæði líkönin voru keyrð með jarðvegshitagögnum fyrir tímabilið frá byrjun árs 2004 og fram í miðjan október 2005. Hitagögnin eru með hálf tímaupplausn. Niðurstöður samkeyrslunnar má sjá á Mynd 8.35 (nálgun 1 er sigmóíðlíkanið og nálgun 2 er veldislíkanið).



Mynd 8.35 Niðurstöður líkana fyrir losun  $\text{CH}_4$  úr mýrinni við Gilsárlóni fyrir árin 2004-2005. Niðurstöður mælinga eru sýndar með rauðum deplum. Nálgun 1 er sigmóíðlíkanið og nálgun 2 er veldislíkanið.

Ágætt samræmi er milli mældra gilda og niðurstöður líkanakeyrslanna. Yfir sumarmánuðina sýna líkönin svipaða hegðun, þó gæti meiri sveiflna yfir miðsumarið hjá veldislíkaniinu (nálgun 2) sem er e.t.v. í meira samræmi við mældu gildin. Eins og fyrr segir er mikill munur á niðurstöðum líkananna fyrir vetrarmánuðina þar sem nálgun 1 sýnir nánast enga losun en nálgun 2 allnokkra.

Niðurstöður keyrslu þessara tveggja nálgana gera kleift að reikna árlega heildarlosun metans úr mýrinni við Gilsárlón. Niðurstöður útreikninganna má sjá í töflu 5.3.

Tafla 8.3 *Árleg heildarlosun metans úr mýrinni við Gilsárlón fyrir árin 2004-5.*

	<b><i>Nálgun 1</i></b> <b><i>[g CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> ár<sup>-1</sup>]</i></b>	<b><i>Nálgun 2</i></b> <b><i>[g CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> ár<sup>-1</sup>]</i></b>
<b>2004</b>	11,04	13,11
<b>2005*</b>	8,46	10,96

\* frá 15.10.2004 til 15.10.2005

Losunin er af sömu stærðargráðu og þekkt er fyrir mýrar en frekar í lægri kantinum. Til dæmis sýndi úttekt á 10 mýrum í norður Finnlandi losun á bilinu 1,5 – 66,0 g metans á fermetra á ári (Huttunen ofl. 2003).

### **8.3. Áhrif breyttrar landnotkunar- myndun Gilsárlóns - á losun gróðurhúsalofttegunda.**

Í skilum til Rammasamnings S.þ. er gerð grein fyrir losun vegna landnotkunar og breyttrar landnotkunar. Landnotkun er öll notkun á landi hvort heldur er um að ræða akuryrkju, skógrækt, beitarnýtingu eða virkjanalón.

Við mat á nettóáhrifum virkjanalóna á losun gróðurhúsalofttegunda er nauðsynlegt að taka tillit til þeirrar losunar/upptöku, sem var á viðkomandi landi áður en það fór undir lón. Mikilvægt er að hafa í huga að gagnvart Rammasamningi S.þ. er aðeins talin fram losun úr landi sem telst á einhvern hátt vera nýtt (managed). Losun eða upptaka gróðurhúsalofttegunda úr öðru landi er ekki talin fram hvorki sem losun né binding. Votlendi á Íslandi, sem ekki hefur verið ræst fram eða tekið til annarra nota, hefur gagnvart Rammasamningum verið talið ónotað (unmanaged). Öðru máli gegnir um mólendið. Það er talið til graslendis og telst vera nýtt. Sú breyting, sem varð á landnotkun við gerð Gilsárlóns, felst því annars vegar í því að mólendi var tekið úr notkun sem graslendi (beitarland) og því breytt í lón, hins vegar var mýrlendi, sem áður var ónotað land tekið undir lón. Samkvæmt leiðbeiningum IPCC (IPCC 2006) um bókhaldið gagnvart Rammasamningum dregst því sú losun/upptaka, sem var í mólendinu frá, en ekki sú losun/ upptaka, sem var áður í mýrlendinu.

#### **8.3.1. Áhrif mólendis**

Heildarflatarmál mólendis, sem fór undir Gilsárlón er áætlað 1,4 km<sup>2</sup> (kafli 4). Samkvæmt meðaltali þeirrar árslosunar, sem reiknuð var fyrir mólendið við lónið út frá mismunandi líkönum (kafli 8.1.5) var það að tapa sem nemur 360 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> ári<sup>-1</sup>. Fyrir allt mólendi, sem var í lónstæðinu svarar þetta til 508 t CO<sub>2</sub> á ári. Miðað við að þessi losun dreifist jafnt yfir árið og henni jafnað á allt lónið þá koma til frádráttar 3,2 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>, sem er álíka stærð og losnar við afgösun.

Engar mælingar voru gerðar í mólendinu að vetri til og mat á þeirri losun á þeim tíma háð mun meiri óvissu en matið fyrir það tímabil, sem mælingar voru gerðar á. Einnig er gert ráð fyrir því að engin ljóstillífun sé í gangi á tímabilinu frá áramótum til maí byrjunar. Við mat á losun úr uppistöðulónum samkvæmt leiðbeiningum IPCC er gert ráð fyrir að engin losun CO<sub>2</sub> eigi sér stað (IPCC 2006).

Miðað við íslausu tímamann er heildartap mólendisins samkvæmt mælingum (kafli 8.1.5) að meðaltali 5,7 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>, ef því er jafnað á allt lónið eru það 1,8 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>, yfir íslausu tímamann. Miðað við að engin losun sé úr móanum yfir vetrartímam til samræmis við það, sem gengið er út frá varðandi lónin, er þetta jafnframt mat á heildar frádrátt vegna mólendisins.

#### **8.3.2. Áhrif mýrlendis**

Ef litið er fram hjá leiðbeiningum Rammasamningsins og jafnframt tekið tillit til þeirrar losunar/upptöku, sem var í mýrlendinu í lónstæðinu breytist heildarmyndin. Miðað við niðurstöður líkana, sem notuð voru fyrir ársjöfnuð (kafli 8.1.3) eru mýrlendin að tapa um 226 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> ári<sup>-1</sup>. Ef þessu er jafnað á allt lónið svarar þetta til losunar 4,2 kg

CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Ef aðeins er tekið tillit til þess tíma sem mælingar náðu yfir þ.e. sumartímann þá var mýrlendið í heild að binda 23,9 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>, sem koma þá til viðbótar losuninni sem mældist úr lóninu. Ef þessari bindingu er jafnað á allt lónið eru það um 16,1 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> yfir sumarið.

Mýrlendi er einnig að losa metan, sem með sambærilegum hætti mætti dragast frá losun lónsins. Heildarlosun lónsins yfir íslausan tíma er 0,524 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Losun metans yfir sumartímann úr mýrlendi við lónið var 0,482 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Losun þess flatamáls mýrlendis, sem var í lónstæðinu jafnað yfir á allt lónstæðið er 0,326 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Gerð lónsins hefur því aukið á losun metans yfir sumartímann um 0,198 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>.

Yfir veturinn var losun CH<sub>4</sub> úr mýrlendinu áætluð 0,140 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> (mismunur á nálgun 1 og 2 sbr. kafla 8.2.2) Úr lóninu er á þeim tíma eingöngu gert ráð fyrir losun með loftbólum 0,012 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Gerð lónsins hefur því dregið úr losun metans yfir vetrartímann um 0,128 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>.

Miðað við 202 daga íslausa eru heildar áhrifin aukning um 0,052 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> yfir allt árið.

### 8.3.3. Samanlögð áhrif gróðurlenda í lónstæði Gilsárlóns

Miðað við þann ársjöfnuð sem reiknaður var fyrir gróðurlendin þá voru þau að tapa sem nemur 7,4 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Heildarlosun lónsins jafnað yfir á allt árið er 7,1 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Nettó áhrif lónsins miðað við þessar forsendur að það dregur úr losun CO<sub>2</sub> um 0,3 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Hér er þó að líkindum á ferðinni ofmat á losun gróðurlendanna á CO<sub>2</sub> yfir vetrartímann, sérstaklega mýrlendisins. Einnig er mögulegt að vanmat sé á losun lónsins á CO<sub>2</sub> yfir veturinn, en einhver virkni er þar, eins og mælingar á losun metans sýna (kafla 6). Frá þess dregst sú aukning sem verður í losun metans 0,052 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Hvert 1 kg metans er 25 kg að CO<sub>2</sub> ígildi. Í CO<sub>2</sub> ígildum eru miðað við þessar forsendur áhrif lónsins aukin losun um 1,0 kg CO<sub>2</sub> ígildi á ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>.

Miðað við íslausa tímann þá eru gróðurlendin að binda 14,3 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> og lónið að losa 12,9 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Í heild eru því áhrif lónsins nettó aukning um 27,2 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> í losun. Þessu til viðbótar kemur aukning á losun CH<sub>4</sub> um 0,198 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Sú aukning svarar til aukningar um 5,0 kg CO<sub>2</sub> ígildi ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Samtals eru því áhrifin af gerð lónsins yfir íslausa tímann aukning um 32,2 kg CO<sub>2</sub> ígildi ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>.

## 9 Mat á losun gróðurhúsalofttegunda úr öðrum lónum.

Sá hluti verkefnisins, sem gerð hefur verið skil hér að framan, er ítarleg þriggja ára úttekt á losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni og nærliggjandi vistkerfum. Ástæða þess að Gilsárlón varð fyrir valinu sem viðfangsefni þessarar rannsóknar var, meðal annars, vegna þess að svæðið sem fór undir lónið var algróið, að mestu grösugar mýrar og móar með kolefnisríkum jarðvegi og því ástæða til að ætla að nokkur losun gróðurhúsalofttegunda gæti verið úr lóninu. En hvað, ef nokkuð, segja niðurstöður þessa verkefnis okkur um losun gróðurhúsalofttegunda úr öðrum lónum?

Uppistöðulón hér á landi eru breytileg með tilliti til magns lífræns efnis sem fór undir vatn, en í þessu samhengi er lífrænt efni forsenda myndunar gróðurhúsalofttegunda. Þó gildir um flest lónanna, að Blöndulóni, Háslóni og Laxárdalslóni undanskyldum, að mun minna magn lífræns efnis fór þar undir vatn en við Gilsárlón. Í mörgum tilvikum er jafnvel um hverfandi magn af lífrænu efni að ræða.

Tilvist lífræns efnis er forsenda myndunar gróðurhúsalofttegunda og ætla má að gott samband sé milli losunar lofttegundanna og magns lífræns efnis í hverju tilviki. Hér er sett fram sú tilgáta að nota megi upplýsingar um magn lífræns efnis, sem sökkt var til að segja fyrir um losun gróðurhúsalofttegunda úr viðkomandi lóni. Til að kanna þessa tilgátu var gerð tilraun með jarðvegskjarna þar sem kjörnunum var sökkt og losun metans og hláturgass úr þeim mæld og síðan borin saman við magn lífræns efnis í kjörnunum. Hér að neðan er greint frá framkvæmd og niðurstöðum þessarar tilraunar.

### 9.1 Kjarnatilraun

Í þeim tilvikum þar sem grónu landi hefur verið sökkt hafa gróðurlendi verið mjög misjöfn með tilliti til heildarmagns lífræns efnis. Við Gilsárlón var magnið með mesta mótí enda þöktu mýrar stærsta hluta lónstæðisins. Flest gróðurlendi og þá sérstaklega á hálendinu, hafa að geyma mun minna magn lífræns efnis. Fyrir þessa tilraun var ákveðið að bera saman Þjórsár-Tungnársvæðið við Gilsárlónssvæðið. Þjórsár-Tungnársvæðið varð fyrir valinu einkum vegna þess að þar er að finna röð lóna á frekar stuttu svæði og til eru gróðurkort af öllu svæðinu frá því fyrir framkvæmdir. Því er þekkt hverskonar gróðurlendi fór undir í hverju tilviki og þessi gróðurlendi má einnig finna í dag í umhverfi lónanna.



Mynd 9.1 Frá kjarnatökuferð á Þjórsár-Tungnársvæðið. Sultartangastífla í baksýn.



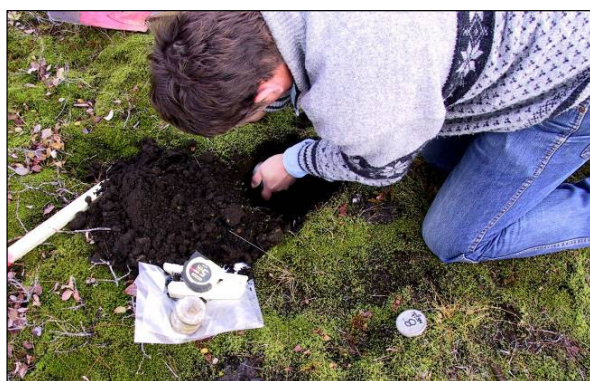
Teknir voru kjarnar annarsvegar úr mýrinni við Gilsárlón og hinsvegar úr öllum megingerðum gróðurlendis sem fóru undir á Þjórsár-Tungnársvæðinu. Einnig voru teknir kjarnar úr botnseti Gilsárlóns en þeir reyndust ekki nothæfir. Kjörnunum var komið fyrir við staðlaðar aðstæður í rannsóknastofu, þeim sökkt undir vatn og losun metans úr þeim mæld. Með tilrauninni var stefnt að því að kanna hvort með einfaldri aðferð væri hægt að áætla losun metans og hláturgass úr lónum útfrá magni lífræns efnis sem fer undir vatn.

Á Þjórsár-Tungnársvæðinu er að finna 25 mismunandi gróðurlendi sem fóru undir vatn (gróðurkort NÍ). Ógerningur var að ætla sér að taka kjarna úr öllum þessum gróðurlendum. Sum þessara gróðurlenda höfðu hverfandi litla þekju í lónstæðunum og var þeim því sleppt. Í mörgum tilvikum var einnig um verulega lík, eða skyld, gróðurlendi að ræða og í slíkum tilvikum voru gróðurlendin sameinuð í einn flokk. Þannig varð úr að teknir voru kjarnar úr þeim sex gróðurlendum sem höfðu mesta útbreiðslu (tafla 9.1).



Mynd 9.2 Þrjár kjarnar voru teknir úr hverju gróðurlendi á Þjórsár-Tungnársvæðinu







Kjarnar, bæði úr mýrinni við Gilsárlón og úr gróðurlendum Þjórsár-Tungnársvæðisins, voru teknir á haustdögum 2005. Til kjarnatökunnar voru notuð plaströr, 5 cm í þvermál (mynd 9.2). Kjarnarnir samanstóðu af jarðvegi og gróðri og náðu í flestum tilvikum niður á 30 cm dýpi, enda jarðvegur á Þjórsár-Tungnársvæðinu í flestum tilvikum ekki þykkari en svo.



Mynd 9.3 Sýnataka fyrir rúmþyngdarmælingar

Fjórir kjarnar voru teknir úr mýrinni við Gilsárlón en þrjár úr hverju af þeim sex gróðurlendum sem urðu fyrir valinu á Þjórsár-Tungnársvæðinu. Á hverjum kjarnatökustað voru einnig tekin tvö rúmþyngdarsýni, en mat á rúmþyngd jarðvegs er nauðsynlegt til að hægt sé að heimfæra magn lífræns efnis í jarðvegi yfir á flatareiningu.

Tafla 9.1 Yfirlit yfir þau sex gróðurlendi sem kjarnatilraunin byggðist á.

<p><u>Gróðurkortaeining A5</u> - Mosi með grösom</p> <p>Í lónstæði: Króks-, Hrauneyja-, Sultartanga- &amp; Bjarnalóns</p> <p>Heildarflatarmál A5 í lónstæðum: 0,61 km<sup>2</sup></p> <p>Lífrænt kolefni í gróðri og jarðvegi: 2,1 kg C m<sup>-2</sup> (30cm)</p>	
<p><u>Gróðurkortaeining A8</u> - Mosi með smárunnum og grösom</p> <p>Í lónstæði: Króks-, Hrauneyja-, Sultartanga- &amp; Bjarnalóns</p> <p>Heildarflatarmál A8 í lónstæðum: 2,17 km<sup>2</sup></p> <p>Lífrænt kolefni í gróðri og jarðvegi: 18,7 kg C m<sup>-2</sup> (30cm)</p>	
<p><u>Gróðurkortaeining E2</u> - Pursaskegg með smárunnum</p> <p>Í lónstæði: Sultartangalóns og Hrauneyjalóns</p> <p>Heildarflatarmál E2 í lónstæðum: 1,05 km<sup>2</sup></p> <p>Lífrænt kolefni í gróðri og jarðvegi: 0,7 kg C m<sup>-2</sup> (30cm)</p>	
<p><u>Gróðurkortaeining H3</u> - Grös með smárunnum</p> <p>Í lónstæði: Króks-, Hrauneyja-, Sultartanga- &amp; Bjarnalóns</p> <p>Heildarflatarmál H3 í lónstæðum: 1,41 km<sup>2</sup></p> <p>Lífrænt kolefni í gróðri og jarðvegi: 4,5 kg C m<sup>-2</sup> (30cm)</p>	
<p><u>Gróðurkortaeining K2</u> - Nýgræðingur með elftingu</p> <p>Í lónstæði: Sultartangalóns, Hrauneyjalóns og Krókslóns</p> <p>Heildarflatarmál K2 í lónstæðum: 1,69 km<sup>2</sup></p> <p>Lífrænt kolefni í gróðri og jarðvegi: 0,2 kg C m<sup>-2</sup> (30cm)</p>	
<p><u>Gróðurkortaeining Melur / Auðn</u> – ógróinn eða nánast svo</p> <p>Í lónstæði: Vatnsfells-, Króks-, Hrauneyja-, Sultartanga- &amp; Bjarnalón</p> <p>Heildarflatarmál auðna í lónstæðum: 38,13 km<sup>2</sup></p> <p>Lífrænt kolefni í gróðri og jarðvegi: ~0,0 kg C m<sup>-2</sup> (30cm)</p>	



Í rannsóknastofu var kjörnunum komið fyrir í grindum (mynd 9.4) og þeir fylltir af vatni þannig að um 5 cm af vatni flaut yfir hverjum kjarna. Vatn úr Þjórsá var notað fyrir kjarnana af Þjórsár-Tungnársvæðinu og vatn úr Blöndu fyrir mýrarkjarnana af Gilsárlónsvæðinu. Einnig voru settir upp tveir kjarnar einungis með vatni sem viðmið.

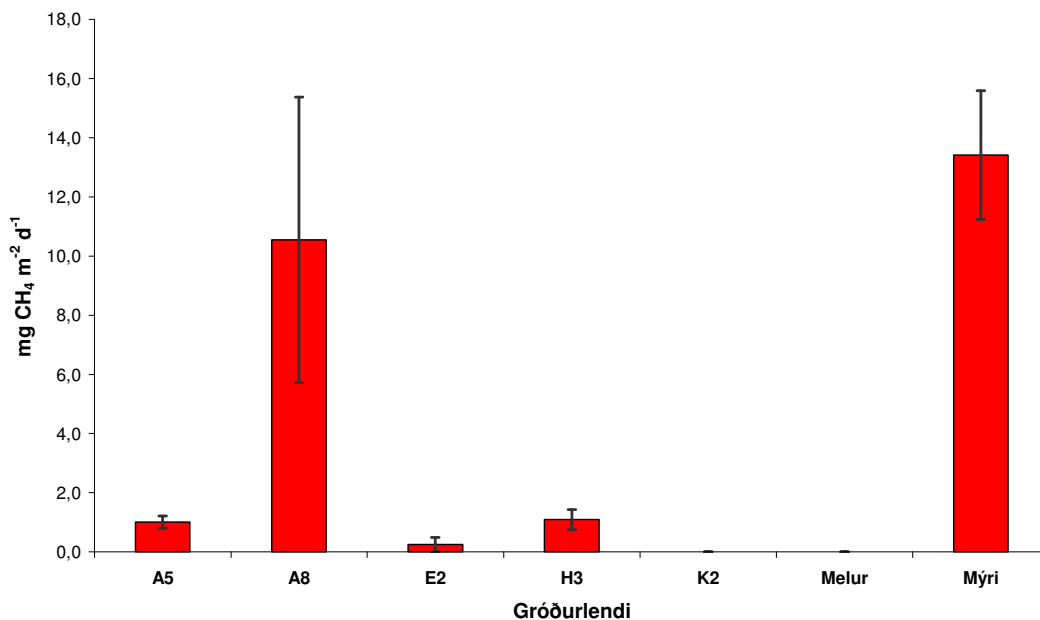
Þessi uppsetning á kjörnunum miðar að því að skapa loftfirrtar aðstæður í þeim en við slíkar aðstæður myndast í flestum tilvikum metan við niðurbrot lífræns efnis. Allir kjarnarnir voru geymdir við 10 °C í um fjóra mánuði til að leyfa þeim að jafna sig og láta örverustarfsemi ná jafnvægi.

Til að meta losun metans og hláturgass úr kjörnunum var þeim lokað tímabundið með þar til gjörðu loki en við það myndaðist loftþétt hólf efst í rörunum og voru sýni tekin úr þessu hólfi, í gegnum septa, með 20 mínúta millibili og þau greind í gasgreini (Varian 3800, FID og ECD namar).



Mynd 9.4 Myndin sýnir uppsetningu hluta kjarnanna í hitastýrðum skáp.

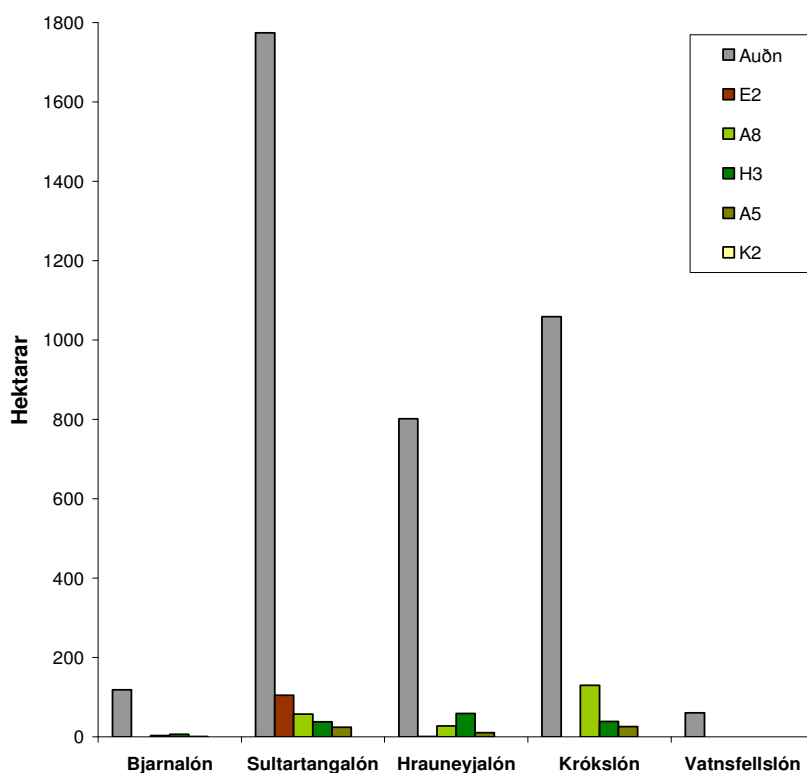
Niðurstöður mælinganna sýndu verulegan breytileika milli gróðurlendanna sex hvað varðar losun metans, eða frá 10,6 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> (gróðurlendi A8) yfir í að losun var ekki mælanleg úr kjörnunum úr melunum (mynd 9.5). Losun úr kjörnum úr mýrinni við Gilsárlón reyndist að meðaltali 13,4 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>. Engin losun N<sub>2</sub>O mældist.



Mynd 9.5 Losun metans úr kjörnum úr gróðurlendum Þjórsár-Tungnársvæðisins og úr mýrinni við Gilsárlón

## 9.2 Losun metans úr lónum Þjórsár-Tungnársvæðisins

Niðurstöður kjarnatilraunarinnar gefa mat á losun metans úr helstu gerðum gróðurlenda Þjórsár-Tungnársvæðisins við aðstæður þar sem þeim hefur verið sökk undir vatn. Með upplýsingum um þekju þessara gróðurlenda í lónstæðum svæðisins má heimfæra niðurstöður tilraunarinnar yfir á lónin og áætla á þann hátt losun metans úr þeim. Gögn yfir þekju mismunandi gróðurlenda í hverju lónstæði fyrir sig var fengin af gróðurkortum NÍ (mynd 9.6).



Mynd 9.6 Þekja gróðurlendanna sex (sjá töflu 9.1) í lónstæðum Þjórsár-Tungnársvæðisins. Auðnir (melar) eru þar mjög áberandi yfirborðsgerð.

Með þessum upplýsingum um þekju gróðurlenda hvers lónstæðis var losun metans úr hverju lóni áætluð útfrá niðurstöðum kjarnatilraunarinnar (tafla 9.2). Niðurstöður þeirra útreikninga gefa áætlaða losun metans á fermetra á dag við 10°C hita vatnsbols, þ.e. við sama hita og kjarnatilraunin var framkvæmd við. Gildi niðurstaðnanna er því einkum til samanburðar á milli lóna frekar en mat á heildarlosun. Á mynd 9.7 má sjá niðurstöður þessa mats á losun metans úr lónum Þjórsár-Tungnársvæðisins.

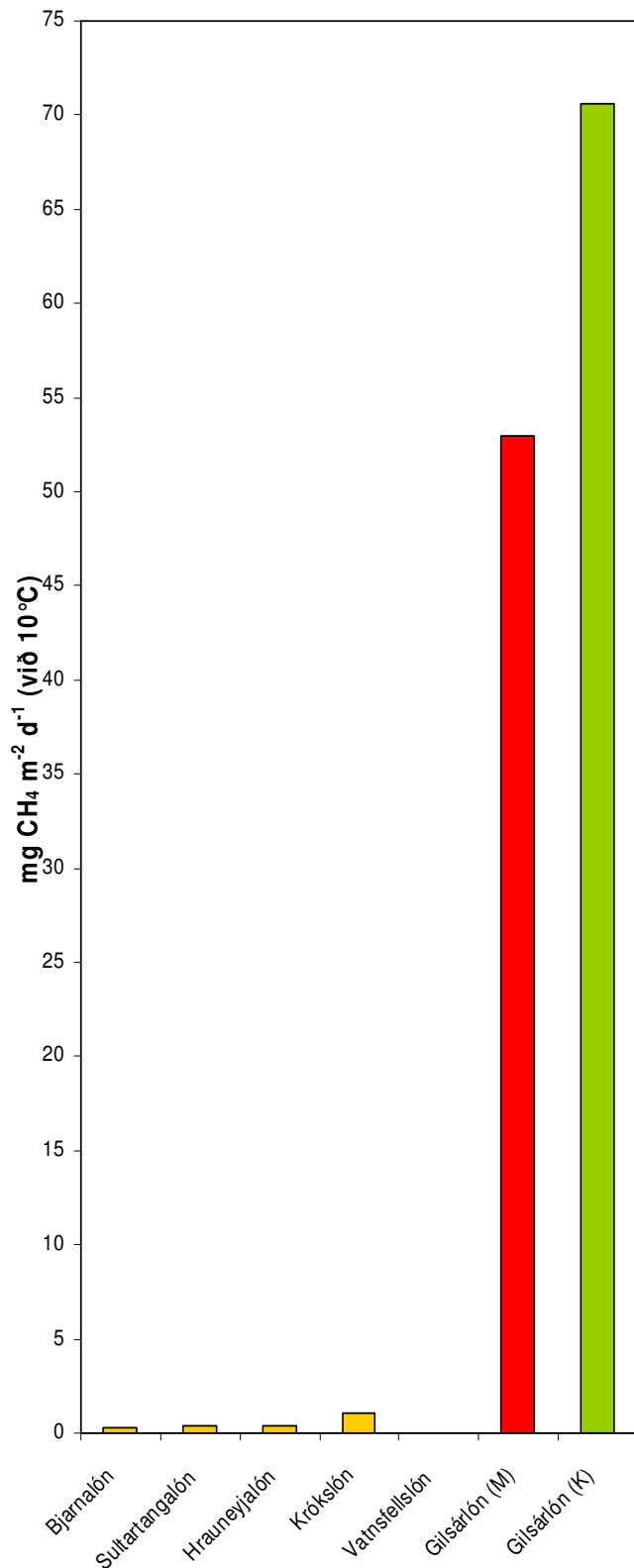
Tafla 9.2 Áætluð dagslosun metans  $m^{-2}$  við 10°C úr lónum Þjórsár-Tungnársvæðisins. Mæld losun úr Gilsárlóni við 10°C sýnd til samanburðar.

Lón	$g CH_4 m^{-2} d^{-1}$ (við 10°C)
Bjarnalón	0,29
Sultartangalón	0,35
Hrauneyjalón	0,40
Krókslón	1,02
Vatnsfellslón	0,00
Gilsárlón	53,10

Við myndina hefur einnig verði bætt inn upplýsingum annars vegar um mælda losun metans úr Gilsárlóni við 10°C og hins vegar mati á losun úr Gilsárlóni út frá losun metans úr kjörnum af svæðinu.

Áberandi er á mynd 9.7 hversu margfalt minni áætluð losun metans úr lónum Þjórsársvæðisins er saman-borið við mælda losun metans úr Gilsárlóni við 10°C hita (rauð súla). Niðurstöðurnar koma ekki svo mjög á óvart því eins og fyrr segir er mikil munur á því magni lífræns kolefnis sem fór undir vatn annars vegar við gerð Gilsárlóns og hins vegar við gerð lóna Þjórsársvæðisins. Sem dæmi má nefna að meir en hundraðfaldur munur var á magni þess lífræna kolefnis sem fór undir vatn við gerð Hrauneyjalóns (0,9 kg C m<sup>2</sup>) og fór undir Gilsárlón (108,5 kg C m<sup>2</sup>, sjá einnig kafla 4.3). Kjarnatilraunin tók einungis til losunar CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O, og skortir því mat á losun CO<sub>2</sub>. Ólíklegt verður samt að teljast að annað gildi fyrir CO<sub>2</sub>, þ.e. losunin er væntanlega mjög lág úr lónum á Þjórsár-Tungnársvæðinu, einkum og sér í lagi sökum þess hversu lítið lífrænt efni fór undir vatn.

Munurinn á mældri losun metans úr Gilsárlóni (rauð súla) og áætlaðri losun út frá kjörnum (græn súla) er athyglisverður. Kjarnamatið (græn súla) er fengið á þann hátt að niðurstöður mælinga á losun metans úr mýrakjörnum af Gilsárlónssvæðinu eru umreiknaðar fyrir heildarmagn lífræns efnis á fermetra. Segja má að græna súlan sé mat á hversu mikið metan losnaði á upphafsdögum Gilsárlóns, rétt í kjölfar þess að land fór undir lón. Muninn milli mældrar losunar (rauð súla) og áætlaðrar



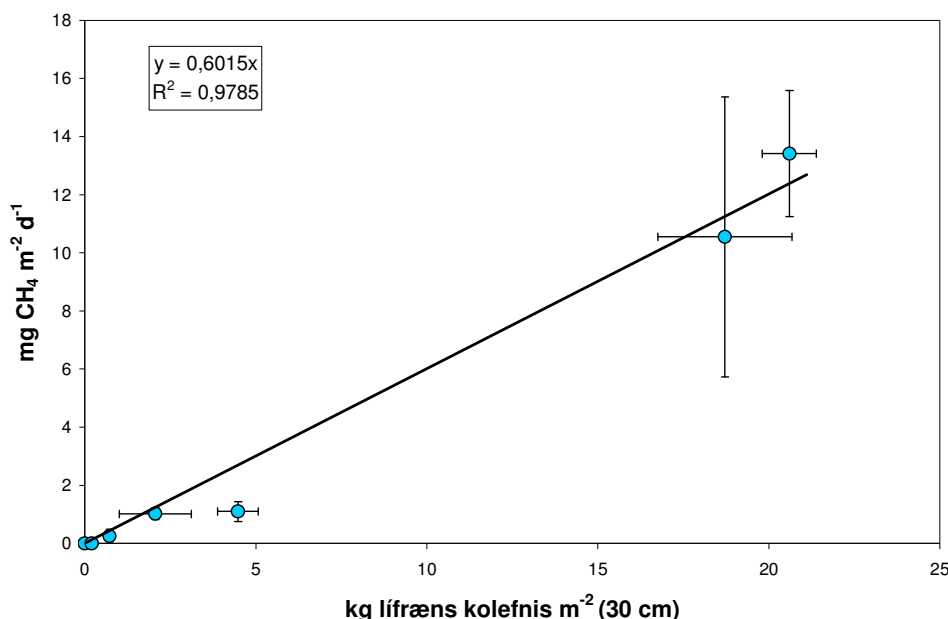
Mynd 9.7 Samanburður á áætlaðri losun metans úr lónum Þjórsár-Tungnársvæðisins við mælda losun úr Gilsárlóni (rauð súla) annars vegar og losun úr kjörnum af Gilsárlónssvæðinu hins vegar (græn súla).

(græn súla) má því túlka sem mun á losun metans úr lóninu í dag og losun á upphafsdögum lónsins fyrir rúmlega 15 árum síðan. Það er vel þekkt staðreynd að það dregur úr losun gróðurhúsalofttegunda eftir því sem lengra líður frá myndun lóna (Rosa og dos Santos 1999; St-Louis ofl. 2000). Munurinn á milli mældrar losunar metans og áætlaðrar gefur til kynna að losunin hafi dregist saman um tæplega 25% á 15 árum.

### 9.3 Líkan til að áætla losun metans úr lónum

Niðurstöður kjarnatilraunarinnar gefa til kynna að gott samband sé á milli losunar metans og magns lífræns kolefnis. Líkan, sem lýsir þessu sambandi, ætti að nýtast við að áætla losun úr öðrum lónum. Mynd 9.8 sýnir fylgni metanlosunar við magn lífræns kolefnis samkvæmt niðurstöðum tilraunarinnar. Á myndinni er aðhvarfslína dregin að gögnunum og verður fylgnin að teljast ágæt ( $R^2 = 0,9785$ ) enda lífrænt kolefni forsenda metanmyndunar. Misjöfn gæði lífræns kolefnis skýra væntanlega þann breytileik sem óútskýrður er með líkaninu (aðhvarfslínunni).

Helst má finna að þessu líkani að það skortir gögn fyrir losun úr jarðvegi sem hefur að geyma lífrænt kolefni á bilinu 5-15 kg á fermetra. Auðvelt væri að bæta úr þessu með frekari kjarnatöku.



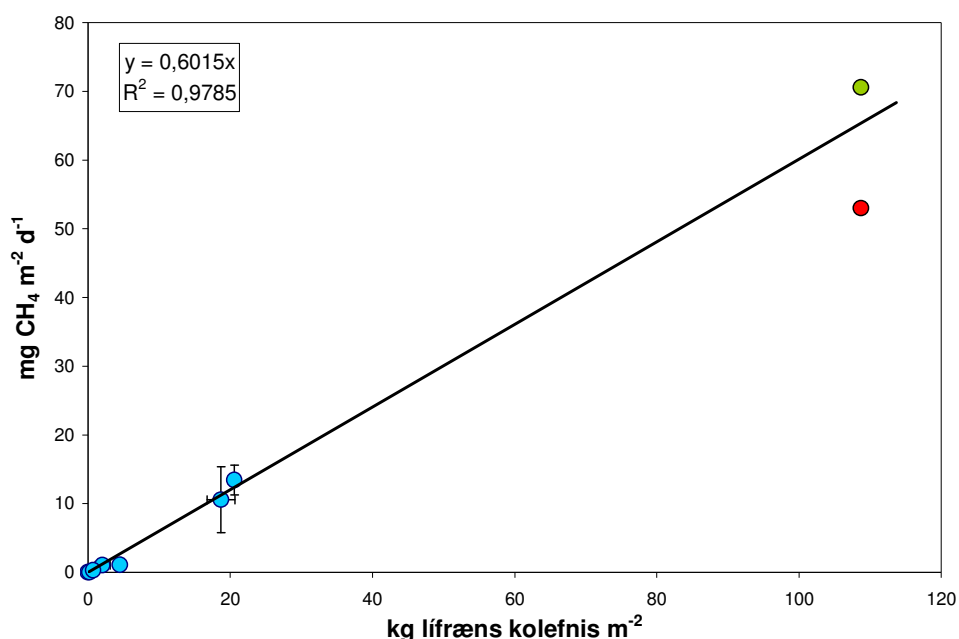
Mynd 9.8 Samband losunar metans úr kjörnunum og magns lífræns kolefnis í þeim

Fylgni þessa líkans við gögnin er það góð að hægt er að nota það við að spá fyrir um losun úr væntanlegum lónum eða lónum sem ekki hafa verið metinn í þessari úttekt. Einu gögnin sem líkanið krefst er mat á heildarmagni lífræns kolefnis sem sökkt er í hverju tilfalli. Tekið skal þó fram að notagildi líkansins er takmarkað að tvennu leiti. Í fyrsta lagi segir líkanið einungis til um losun metans en ekki annarra gróðurhúsalofttegunda. Í öðru lagi ber að hafa í huga að líkanið nýtist ekki til að



áætla árslosun lóna heldur einungis til samanburðar á losun lóna við mælda losun metans úr Gilsárlóni við 10°C ( $53 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ).

Þær tölur sem birtar eru í köflum 5-7 um losun gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni eru niðurstaða ítarlegra mælinga yfir þriggja ára skeið. Það er því ákveðið próf á líkanið að framreikna það fyrir magn lífræns efnis í Gilsárlóni ( $108,7 \text{ kg m}^{-2}$ ) og bera niðurstöðuna saman við losun metans úr Gilsárlóni við 10°C. Losun úr Gilsárlóni við 10°C er áætluð út frá þeim líkönum sem lýsa fylgni mældrar losunar með flæði og loftbólum við hitastig lónsins og milli uppleysts  $\text{CH}_4$  og hitastigs. Mynd 9.9 sýnir framreiknað líkanið og samanburð við mælda losun metans (rauður punktur) annars vegar og hins vegar við losun metans við 10°C úr kjörnum úr mýrinni við Gilsárlón (grænn punktur) yfirfært á heildarmagn lífræns kolefnis á fermetra. Græni punkturinn og rauði punkturinn eru sama og græna og rauða súlan á mynd 9.7 og túlka má þá sem annars vegar núverandi losun metans (rauður punktur) á fermetra á dag við 10°C og hins vegar losun metans við 10°C á upphafsdögum lónsins (grænn punktur). Merkilega gott samræmi er á milli líkansins og mældrar losunar metans (ath. líkanið spáir fyrir um upphafslosun metans; ekki losun eftir 15 ár og því eðlilegt að mælda gildið sé nokkru lægra en líkanið spáir fyrir).



Mynd 9.9 Líkanið framreiknað fyrir jafnaðarmagn lífræns kolefnis í Gilsárlóni ( $108,7 \text{ kg m}^{-2}$ ). Rauður punktur gefur til kynna núverandi losun metans við 10°C samkvæmt líkönum byggð á mælingum (sama og rauð súla á mynd 9.7) og grænn punktur er losun metans úr kjörnum af Gilsárlónssvæðinu við 10°C yfirfærð á heildarmagn lífræns kolefnis á fermetra (sama og græn súla á mynd 9.7)

Gott samræmi milli líkansins og mældrar losunar metans undirstrikar gildi magns lífræns kolefnis sem ráðandi þáttar hvað varðar losun metans úr lónum. Ef gengið er út frá því að losun  $\text{CO}_2$  breytist einnig í samræmi við magn lífræns kolefnis, sem sökk er, líkt og metan, er mögulegt að áætla losunarstuðla fyrir önnur lón fyrir bæði metan og koltvísýring. Engar mælingar voru gerðar í þessu verkefni, sem styðja þá forsendu fyrir  $\text{CO}_2$  en ekki er ólíklegt að svipað gildi um losun þess. Hvoru tveggja ferlin byggja

á niðurbroti örvera á lífrænu efni. Varðandi CO<sub>2</sub> eru þó fleiri ferli sem geta haft áhrif, einkum ljóstíllifun og leysni CO<sub>2</sub> í vatni og efnahvörf þess við vatn.

Áætla má losun CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> úr öðrum lónum ef við gefum okkur eftirfarandi:

- að losun CO<sub>2</sub> sé háð magn lífræns kolefnis á svipaðan hátt og CH<sub>4</sub>
- að það hlutfall sem er milli magns lífræns kolefnis og losunar CH<sub>4</sub> við 10°C gildi almennt fyrir losun metans og því megi nota niðurstöður mælinga á Gilsárlóni til að finna hlutfall heildarlosunar og magns lífræns kolefnis

Magn kolefnis, sem sökkt var í lónsstæði Gilsárlóns var 0,47 \*10<sup>6</sup> t C (sjá kafla 4.3) eða að jafnaði 108,7 kg C m<sup>-2</sup>. Miðað við mælda losun CO<sub>2</sub> (flæði + afgösun) losna 0,012 g CO<sub>2</sub> á dag á hvert kíló af lífrænu kolefni úr Gilsárlóni. Sambærileg tala fyrir metan er 0,00048 g CH<sub>4</sub> á dag á hvert kíló lífræns kolefnis. Tafla 9. sýnir áætlaða losunarstuðla fyrir lón á Þjósár-Tungnársvæðinu og Blöndulón miðað við þessar forsendur (magn lífræns kolefnis í Blöndulóni var áætlað í kafla 4.3). Til samanburðar eru einnig í töflunni mæld losun úr Gilsárlóni og losunarstuðlar IPCC (IPCC 2006).

Tafla 9.3 Áætluð losun CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> úr lónum miðað við magn lífræns kolefnis í lónstæði. Mæld losun úr Gilsárlóni og stuðlar IPCC 2006 eru sýnd til samanburðar.

Lón	kg C m <sup>-2</sup> lónstæðis	mg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	mg CH <sub>4</sub> m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
Krókslón	1,92	23,0	0,92
Hrauneyjalón	0,88	10,6	0,42
Bjarnalón	0,63	7,6	0,30
Sultartangalón	0,68	8,2	0,33
Vatnsfellslón	0,0	0,0	0,000
Blöndulón	38,9	467	18,7
Gilsárlón	108,7	1290	52,4
IPCC 2006 íslaus tími		1180	8,6

Þessi áætlun á losun CO<sub>2</sub> bendir til þess að úr stórum hluta virkjanalóna hér á landi sé losunin hverfandi miðað við það sem hingað til hefur verið metið á grundvelli losunarstuðla IPCC. Verkefnið gerir því mögulegt að meta losun gróðurhúsalofttegunda með nákvæmari hætti en hingað til. Bættar aðferðir munu í heild lækka mat fyrir losun gróðurhúsalofttegunda hér á landi. Mest munar þar um að úr stórum hluta lóna er losunin aðeins lítill hluti þess sem hingað til hefur verið metið.



## 10. Samantekt og umræður

### 10.1. Heildarniðurstöður verkefnis

#### 10.1.1. Inngangur

Markmið verkefnisins var að meta losun gróðurhúsalofttegunda úr uppistöðulónum hér á landi. Verkefnið skiptist niður í allmarga verkþætti sem gerð hefur verið grein fyrir hér að framan. Hér vera dregnar saman meginniðurstöður hvers verkþáttar fyrir sig og gefið yfirlit yfir heildarlosun þeirra þriggja gróðurhúsalofttegunda, sem taldar eru losna úr virkjanalónum, þ.e. koltvísýring ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) og hláturgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Dregnar verða saman niðurstöður mælinga fyrir losun úr Gilsárlóni sérstaklega en einnig gerð grein fyrir mati á losun úr öðrum lónum. Í þessari samantekt eru allar niðurstöður reiknaðar yfir á *losun á hektara lóns á dag* til samræmis við þá hefð sem er gegnum gangandi í öllum greinagerðum og skýrslum IPCC.

#### 10.1.2. Losun koltvísýrings

Losun koltvísýrings úr lónum getur verið eftir nokkrum leiðum. Í fyrsta lagi getur hún verið með flæði um yfirborð lónsins. Í öðru lagi getur hún verið með afgösun á vatni sem rennur í gegnum virkjun eða um yfirfall. Í þriðja lagi getur átt sér stað óbein losun koltvísýrings vegna lífræns efnis sem berst úr lóninu og brotnar niður annars staðar. Flæði koltvísýrings um yfirborð lóns getur einnig verið á formi upptöku, þ.e. binding úr andrúmsloftinu vegna ljóstíllífunar í lóninu. Þá geta einnig með vatni og vindum borist lífræn efni í lónið, sem brotna þar síðan niður. Í þessu verkefni var ekki lagt mat á flutning lífrænna efna til eða frá lóninu.

Flæði koltvísýrings um yfirborð lónsins var metið með tvennum hætti. Annars vegar með mæliklefum, sem hafðir voru í stuttan tíma á yfirborði lónsins (kafli 5.2). Hins vegar var flæðið metið með iðuflæðisturni, sem staðsettur var við SV enda lónsins (kafli 5.1).

Samkvæmt iðuflæðismælingum losna að meðaltali  $9,8 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  af megin hluta lónsins yfir íslausan tíma ársins. Af strandsvæði lónsins þar sem aldan hrærir upp í sundurtættum mýrarjarðvegi er umtalsvert meiri losun eða um  $27,5 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ . Mælingar með mæliklefum gefa mun minni losun eða  $1,5 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ .

Mat á því hve mikið losnar af  $\text{CO}_2$  við afgösun afrennslisvatns virkjunarinnar er byggt á mælingum á yfirmettun koltvísýrings í vatni lónsins. Samkvæmt matinu er heildarlosun vegna afgösunar  $1,31 \pm 0,37 \text{ tonn CO}_2 \text{ dag}^{-1}$  á því tímabili, sem lónið er autt (kafli 7). Reiknað yfir á flatarmál lónsins er afgösunin  $3,06 \pm 0,86 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  á íslesa tímanum.

Heildarmat á losun  $\text{CO}_2$  úr Gilsárlóni er því losun mæld með iðuflæðisturni  $9,8 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  að viðbætti losun vegna afgösunar í virkjun  $3,1 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  alls  $12,9 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  fyrir íslausan tíma ársins. Til samanburðar er mat IPCC (IPCC 2006) á losun úr uppistöðulónum á okkar loftslagssvæði  $11,8 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  fyrir íslausan tíma. Gert er ráð fyrir að engin losun  $\text{CO}_2$  eigi sér stað þann tíma sem ís er

á lóninu, hvorki með flæði um yfirborð né með afgösun. Ekki voru í verkefninu gerðar neinar mælingar á losun CO<sub>2</sub> úr öðrum uppistöðulónum en Gilsárlóni.

Losun CO<sub>2</sub> úr eðjusvæði þar sem lónið gengur inn á mýrina við suðurenda þess er mun meiri en af megin hluta lónsins. Þessi losun kemur fram í iðuflæðismælingum þegar vindur stendur af því svæði. Miðað við þær mælingar er losunin af þessu svæði að meðaltali 27,5 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Ekki var lagt sérstakt mat á stærð þessa svæðis en út frá loftmyndum virðist umfang þess vera fremur lítið (< 5 ha eða um 1% af flatarmáli lónsins) og áhrif þeirrar losunar á heildarlosunina úr lóninu því óveruleg. Hins vegar geta verið óbein áhrif af þessu svæði á heildarlosun lónsins. Í fyrsta lagi er mýrarjarðvegurinn að tæstast niður á þessu svæði og það auðveldar aðgang örvera að því efni. Súrefni á einnig greiðari aðgang og niðurbrotið verður því við loftaðar aðstæður að stærri hluta og þar með hraðara. Hluti þessa sundurtætta efnis getur einnig borist til annarra svæða í lóninu og brotnað þar niður eða borist burt með afrennslisvatni og brotnað niður annarsstaðar. Í öðru lagi mun strandlínan færast lengra og lengra inn í mýrina því í raun er ekkert, sem stöðvar ölduna í því að grafa sig inn í mýrina. Við það stækkar lónið og aukið magn lífræns efnis fer á kaf. Þetta getur stuðlað að því að viðhalda þeirri losun, sem nú er í lóninu um langan tíma í stað þess að smá saman dragi niður í henni eins og almennt er talið að gerist eftir því sem lón eldast (IPCC 2006).

Þegar kjarnar voru teknir af botni lónsins við suðurenda þess kom í ljós að botn lónsins var ekki fastur fyrir. Efst í honum var 20-40 cm þykk motta, sem væntanlega er rótarlagið úr mýrinni en þar undir einskonar jarðvegseðja sem mottan flaut á. Það er verulegt áhyggjuefni hvað gerist þegar þessi motta fer að rofna. Hætt er við að lónið geti við það dýpkað við suðurströndina og aldan í framhaldinu brotnað af meiri krafti á mýrinni og brotið hana hraðar niður.

### 10.1.3. Losun metans

Metan myndast í botnseti lóna við niðurbrot lífræns efnis. Úr botnsetinu skilar metan sér til yfirborðsins með tvennum hætti, annars vegar með flæði sem uppleyst efni og hins vegar með loftbólum. Þessu til viðbótar getur metan einnig skilað sér út í andrúmsloftið við afgösun afrennslisvatns virkjana. Í þessu verkefni var lagt mat á þessa þrjá þætti metanlosunar. Hér að neðan er gerð grein fyrir meginniðurstöðum þess mats.

Losun metans með flæði um yfirborð Gilsárlóns var mæld yfir íslausan hluta árána 2003-2005 og fór sýnataka fram á pramma staðsettum á miðju sunnanverðu lóninu (sjá nánar kafla 6.1). Niðurstöður mælinga sýndu að losunin er verulega háð hitastigi og var sú breyta notuð við smíði líkans til að yfirfæra mælingarnar yfir á ársgrundvöll. Samkvæmt niðurstöðum líkansins var losun metans með flæði árin 2003-2005 að jafnaði 2,12 tonn CH<sub>4</sub>, sem gerir 0,024 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>.

Losun metans með loftbólum var metin yfir sumarið 2003 og síðan samfelld frá vorinu 2004 og fram á haust 2005 (sjá nánar kafla 5.2). Gögnin sýndu sterka árstíðabundna sveiflu þar sem losunin var ákaflega lág yfir veturinn (ísilagt tímabil), jókst hratt að vori til, var há yfir sumarið en rénaði síðan hratt er hausta tók. Árstíðabundni munurinn gaf til kynna sterka fylgni við hitastig og svo reyndist vera. Losun metans með loftbólum á ársgrundvelli var því metin með aðstoð líkans sem byggði á fylgni

losunar og hitastigs. Samkvæmt niðurstöðum líkansins var losun metans með loftbólum árin 2003-2005 að jafnaði 40,6 tonn CH<sub>4</sub>, sem gerir 0,48 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>.

Losun metans við afgösun afrennslisvatns virkjunarinnar var metið yfir íslausan hluta ársins 2005. Matið byggðist á mælingum á styrk metans í vatnssýnum úr Gilsárlóni (sjá nánar kafla 8.2). Styrkur metans var breytilegur yfir tímabilið en almennt hærri fyrri part þess. Meðaltal allra mælinga var notað til að áætla losun metans með afgösun yfir íslausan hluta ársins 2005 og gaf það 1,7 tonn CH<sub>4</sub>. Ekki var reiknað með losun þegar lónið er íslagt.

Heildarlosun metans úr Gilsárlóni á ársgrundvelli er fengin með því að leggja saman þá losun sem áætluð er fyrir hvern þessara þriggja þátta sem fjallað er um hér að ofan. Heildar árslosun metans úr Gilsárlóni er samkvæmt því 44,4 tonn CH<sub>4</sub>. Reiknuð yfir á hvern hektara lónsins er losunin 0,52 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>.

#### **10.1.4. Losun hláturgass**

Styrkur hláturgass (N<sub>2</sub>O) var greindur í öllum sýnum þessa verkefnis en skemmst er frá því að segja að engin losun hláturgass mældist á rannsóknartímabilinu.

#### **10.1.5. Losun úr öðrum lónum**

Lokaþáttur verkefnisins var könnun á þeim möguleika að nota magn lífræns kolefnis í þeim gróðri og jarðvegi sem fer undir vatn í hverju tilviki, til að spá fyrir um losun gróðurhúsalofttegunda úr viðkomandi lóni. Rökin fyrir þessari nálgun eru þau að tilvist lífræns efnis er ein helsta forsenda myndunar gróðurhúsalofttegunda og ætla má að gott samband sé milli losunar lofttegundanna og magns lífræns efnis í lónstæðum. Ef sýnt væri fram á að um gott samband væri að ræða þarna á milli mætti spá fyrir um losun úr öðrum lónum með tilvísun í hlutfall heildarlosunar gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni og þess magns lífræns kolefnis sem þar fór undir vatn.

Til að kanna þennan möguleika voru teknir jarðvegskjarnar úr helstu gerðum gróðurlendis sem farið hafa undir vatn við gerð lóna Þjórsár-Tungnársvæðisins, en gróðurlendin eru breytileg með tilliti til magns lífræns efnis. Þessu til viðbótar voru teknir jarðvegskjarnar úr mýrinni við Gilsárlón. Kjörnunum var komið fyrir í tilraunastofu, þeim sökkt undir vatn og losun metans úr þeim könnuð við staðlaðar aðstæður (kafla 9.1).

Niðurstöður þessa verkþáttar sýndu sterkt samband losunar og magns lífræns kolefnis og var einföld líking gefin sem lýsti sambandinu. Í framhaldi var losun gróðurhúsalofttegunda úr þeim lónum þar sem upplýsingar lágu fyrir um magn lífræns kolefnis í lónstæði (Blöndulón og flest lón Þjórsár-Tungnársvæðisins) áætluð útfrá hlutfalli heildarlosunar gróðurhúsalofttegunda úr Gilsárlóni og þess magns lífræns kolefnis sem þar fór undir vatn. Samkvæmt þessari nálgun er losun gróðurhúsalofttegunda úr lónum Þjórsár-Tungnársvæðisins hverfandi lág og losun úr Blöndulóni á flatareiningu um þriðjungur losunar Gilsárlóns (kafla 9.3).



### 10.1.6. Áhrif gróðurlenda

Mæld var losun og upptaka gróðurhúsalofttegunda í gróðurlendum við Gilsárlón (kafli 8). Niðurstöður þeirra mælinga eru nýttar til að reikna heildarupptöku eða / losun gróðurlendanna annars vegar fyrir íslausan tíma og hinsvegar fyrir heilt ár.

Mólendið við Gilsárlón reyndist samkvæmt niðurstöðum vera að tapa kolefni, bæði á ársgrundvelli og yfir sumartímann. Þetta tap mólendisins samsvarar losun úr lónstæði Gilsárlóns upp á  $1,8 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ , yfir íslausu tíma ársins og  $3,2 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  á ársgrundvelli. Eingöngu losun mólendisins hefur áhrif gagnvart bókhaldi til Rammasamningsins.

Áhrif mýrlendisins eru með sambærilegum hætti metin sem binding um  $16,1 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  og losun metans um  $0,326 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  yfir íslausu tímann og losun um  $4,2 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  og  $0,222 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  á ársgrundvelli.

Samanlögð áhrif gróðurlenda í lónstæði eru, miðað við þær forsendur sem liggja að baki mati á losun gróðurlenda og lónsins, að yfir íslausu tímann hafi gerð lónsins aukið losun gróðurhúsalofttegunda um  $32,2 \text{ kg CO}_2 \text{ ígildi ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ . Miðað við heilt ár eru áhrifin af gerð lónsins metin sem aukning um  $1,0 \text{ kg CO}_2 \text{ ígildi á ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ .

## 10.2. Niðurstöður verkefnisins og rammasamningur Sameinuðu þjóðanna um loftlagsbreytingar

Ein megin skuldbinding aðildarþjóða Rammasamnings Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar felst í því að taka saman og skila til samningsins upplýsingum um alla losun gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum. Kyoto-bókunin við þann samning skuldbindur aðildarríki þeirrar bókunar til að takmarka losun gróðurhúsalofttegunda miðað við losun árið 1990. Ekki eru allir þættir þeirrar losunar, sem gefin er upp til Rammasamningsins teknir með við útreikning skuldbindinga vegna Kyoto-bókunarinnar. Losun vegna landnýtingar er þannig aðeins að hluta til talin með gagnvart bókuninni. Losun gróðurhúsalofttegunda úr uppistöðulónum er einn þeirra þátta, sem ber að gefa upp gagnvart Rammasamningnum en hefur ekki áhrif gagnvart Kyotoskuldbindingum. Áhrif losunar lóna á hlýnun andrúmsloftsins eru hins vegar óháð hinum lagalega ramma eins og hann kemur fram í Rammasamningnum og Kyoto-bókuninni. Hér eru niðurstöður verkefnisins því skoðaðar annars vegar m.t.t. hvaða áhrif þær geta haft á mat á losun úr virkjanalónum hér á landi gagnvart Rammasamningnum og hinsvegar hver nettó áhrif þess voru að breytta landnotkun í lónstæði Gilsárlóns eru.

Samkvæmt skýrslu Íslands fyrir árið 2005 til Rammasamningsins, er losun gróðurhúsalofttegunda vegna virkjanalóna hér á landi metin  $141,4 \text{ Gg CO}_2$ ,  $2,34 \text{ Gg CH}_4$  og  $0,07 \text{ Gg N}_2\text{O}$  eða alls  $212,2 \text{ Gg CO}_2$  ígildi (Umhverfisstofnun 2007). Þetta mat er byggt á þeim losunarstuðlum sem IPCC mælir með að notaðir séu til að meta losun úr landi sem sökk hefur verið (IPCC 2003). Notkun losunarstuðla er sú leið sem IPCC mælir með að farin sé liggja ekki fyrir betri upplýsingar fyrir viðkomandi land. IPCC hefur nýlega endurskoðað þau viðmiðunargildi sem mat fyrir árið 2005 byggjast á (IPCC 2006). Fyrir  $\text{CO}_2$  lækkar viðmiðunargildið úr  $15,5 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  í  $11,8 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  fyrir íslausu tímabilið en gert er ráð fyrir að losun  $\text{CO}_2$  þegar

lón eru undir ís sé núll. Fyrir CH<sub>4</sub> lækkar viðmiðunargildi fyrir losun með flæði úr 0,11 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> í 0,086 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> fyrir íslausa tímabilið og yfir ístímabilið úr 0,05 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> fyrir flæði+loftbólur í 0. Ekki er lengur gert ráð fyrir viðmiðunargildi fyrir losun CH<sub>4</sub> með loftbólum, eldra viðmiðunargildi var 0,29 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Þá er ekki lengur gert ráð fyrir losun N<sub>2</sub>O. Af þessum sökum lækkar matið á losuninni frá því sem það var fyrir árið 2005. Miðað við að áfram verði notaðir losunarstuðlar IPCC breytist matið fyrir CO<sub>2</sub> í 107,6 Gg, fyrir CH<sub>4</sub> í 0,6 Gg og N<sub>2</sub>O í 0. Heildarlosun vegna uppistöðulóna lækkar því úr 212,2 í 120,2 Gg CO<sub>2</sub> ígildi.

Í leiðbeiningum IPCC gagnvart bókhaldi til Rammasamningsins er mælt til að greindir séu svo nefndir lykilþættir í losun. Losun vegna virkjanalóna var einn þessara lykilþátta í losun vegna landnýtingar. Mælt er með því að ríki noti nákvæmari aðferðir en losunarstuðla IPCC við mat á þessum lykilþáttum. Ein aðferð til að bæta matið er að nota sértæka stuðla fyrir hvert land byggða á rannsóknum. Önnur aðferð er að meta sérstaklega losun úr hverju lóni eða lónagerðum.

Niðurstöður þessa verkefnis er hægt að yfirfæra á losunarstuðla sambærilega við þá stuðla, sem Rammasamningurinn gengur út frá að séu notaðir við mat á losuninni. Tafla 10.1 sýnir mat á þessum stuðlum fyrir Gilsárlón byggð á niðurstöðum verkefnisins. Gengið er út frá því að bæði flæði um yfirborð og afgösun sé 0 þegar lónið er lagt.

Tafla 10.1 Flæðistuðlar fyrir losun CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> úr Gilsárlóni ásamt losunarstuðlum IPCC.

Loftegund	Tímabil árs	Losunarferli	Losun úr Gilsárlóni	IPCC 2006
CO <sub>2</sub> [kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]	Íslaut tímabil	flæði	9,8	11,8
		afgösun	3,1	
	Lónið lagt ís	flæði	0	0
		afgösun	0	
CH <sub>4</sub> [kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]	Íslaut tímabil	flæði	0,024	0,086
		loftbólur	0,48	0,29*
		afgösun	0,02	
	Lónið lagt ís	flæði	0	0
		loftbólur	0,012	0
		afgösun	0	

\* (IPCC-2003)

Verkefnið gefur því forsendu til að meta losun gróðurhúsalofttegunda úr uppistöðulónum hér á landi með öðrum og nákvæmari hætti en hingað til hefur verið gert .



## Heimildir

- Åberg, J., A. K. Bergstrom, G. Algesten, K. Söderback, M. Jansson (2004). A comparison of the carbon balances of a natural lake (L. Ortrasket) and a hydroelectric reservoir (L. Skinmuddselet) in northern Sweden. *Water Research* 38(3): 531-538.
- Aðalsteinsson, H. (1998). Gróðurhúsaáhrif virkjanalóna, Heimildakönnun, OS: 24.
- Aubinet, M., A. Grelle, A. Ibrom, U. Rannik, J. Moncrieff, T. Foken, A. S. Kowalski, P. H. Martin, P. Berbigier, C. Bernhofer, R. Clement, J. Elbers, A. Granier. 2000. Estimates of the Annual Net Carbon and Water Exchange of Forests: The EUROFLUX Methodology. *Advances in Ecological Research* 30:114-175.
- Delmas, R., S. Richard, F. Guérin, G. Abril, C. Galy-Lacaux, A. Grégoire (2005). Long Term Greenhouse Gas Emissions from the Hydroelectric Reservoir of Petit Saut (French Guiana) and Potential Impacts. Kafli 12 í: *Greenhouse Gas Emissions – Fluxes and Processes* (ritstjórar: A. Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm, M. Garneau). Springer, Berlin.
- dos Santos, M.A., B. Matvienko, L.P. Rosa, E. Sikar, E.O. dos Santos (2005). Gross Greenhouse Gas Emissions from Brazilian Hydro Reservoirs. Kafli 11 í: *Greenhouse Gas Emissions – Fluxes and Processes* (ritstjórar: A. Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm, M. Garneau). Springer, Berlin.
- Duchemin, É., M. Lucotte, R. Canuel and A. Chamberland, (1995). Production of the greenhouse gases CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> by hydroelectric reservoirs of the boreal region. *Global Biogeochemical Cycles*, 9, 4, 529-540.
- Duchemin, É., M. Lucotte, R. Canuel (1999). Comparison of static chamber and thin boundary layer equation methods for measuring greenhouse gas emissions from large water bodies. *Environmental Science & Technology* 33(2): 350-357.
- Dunfield, P., R. Knowles, R. Dumont og T.R. Moore, 1993. Methane production and consumption in temperate and sub-arctic peat soils – response to temperature and pH. *Soil Biology & Biochemistry* 25:321-326.
- Fearnside, P.M. (2002). Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications. *Water, Air, and Soil Pollution* 133:69-96.
- Flanagan, P.W. og A.K. Veum (1974). Relationship between respiration, weight loss, temperature and moisture in organic residues on tundra. *Soil Organisms and Decomposition in Tundra*. Tundra Biome Steering Committee, Stockholm, Sweden.
- Hellsten, S. og T. Väisänen (1998). Studies of the physio-chemical conditions of the sediment-water interface in Lokka and Porttipahta reservoirs. *Internat. Rev. Hydrobiology* 83:215-218.
- Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson (2001). Mat á gróðurhúsaáhrifum fyrirhugaðs Háslóns. Skýrsla á vegum Rannsóknastofnunar landbúnaðarins og Landsvirkjunar (LV-2001/019). 31 bls.

- Huttunen, J.T., K. M. Lappalainen, E. Saarijärvi, T. Väisänen og P.J. Martikainen, (2001). A novel sediment gas sampler and a subsurface gas collector used for measurement of the ebullition of methane and carbon dioxide from a eutrophied lake. *The Science of the Total Environment* 266 (1-3):153-158.
- Huttunen, J. T., T. S. Vaisanen, S. K. Hellsten, M. Heikkinen, H. Nykanen, H. Jungner, A. Niskanen, M. O.Virtanen, O.V. Lindqvist, O. S. Nenonen, P.J. Martikainen (2002). Fluxes of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O in hydroelectric reservoirs Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland. *Global Biogeochemical Cycles* 16(1).
- Huttunen, J. T., H. Nykänen, J. Turunen, P. J. Martikainen (2003). Methane emissions from natural peatlands in the northern boreal zone in Finland, Fennoscandia. *Atmospheric Environment* 37:147–151
- IPCC (2001). *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, New York.
- IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Changes and Forestry.* Kanagawa, Japan, Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*,. B. L. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- Jón Guðmundsson og Hlynur Óskarsson (2005). Landbúnaður og losun gróðurhúsalofttegunda. Fræðing Landbúnaðarins 2005 bls. 32-37.
- Kelly, C.A., J.W.M. Rudd, V. St. Louis og T. Moore, 1994. Turning attention to reservoir surfaces, a neglected area in greenhouse gas studies. *Eos Trans. AGU* 75:332-333.
- Kelly, C.A., J.W.M. Rudd, R.A. Bodaly ofl. (1994). Increases in fluxes of greenhouse gases and methyl mercury following flooding of an experimental reservoir. *Environ. Sci. Tech.* 31:1334-1344.
- Landsvirkjun 1996. Blöndustöð. Bæklingur með upplýsingum um Blönduvirkjun og Blöndustöð.
- Pacca, S., A. Horvath (2002). Greenhouse gas emissions from building and operating electric power plants in the upper Colorado River Basin. *Environmental Science & Technology* 36(14): 3194-3200.
- Raich, J.W. og W.H. Schlesinger (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* 44B:81-99.
- Rosa, L.P. og M.A. dos Santos (1999). Hydroelectric dams and greenhouse gas emission: an introduction to the problem. Í: *Dams and Climate Change, proceedings of international workshop on hydro dams, lakes and greenhouse gas emissions, December 4-5, 1998.* L.P. Rosa og M.A. dos Santos ritstjórar. COPPE, Rio de Janeiro, Brasilíu. Blaðsíður 7-10.
- Scott, K. J., C. A. Kelly, J.W.M. Rudd (1999). The importance of floating peat to methane fluxes from flooded peatlands. *Biogeochemistry* 47(2): 187-202.
- St-Louis, V. L., C. A. Kelly, É. Duchemin, J. W. M. Rudd, D.M. Rosenberg (2000). Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: A global estimate. *Bioscience* 50(9): 766-775.

- Tchernov, D., J. Silverman, B. Luz, L. Reinhold, and A. Kaplan. 2003. Massive light-dependent cycling of inorganic carbon between oxygenic photosynthetic microorganisms and their surroundings. *Photosynthesis Research* 77:95-103.
- Tramblay, A., J. Therrien, W. Hamlin, E. Whicmann, L.J. LeDrew (2005). GHG Emissions from Boreal Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. Kafli 8 í: *Greenhouse Gas Emissions – Fluxes and Processes* (ritstjórar: A. Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm, M. Garneau). Springer, Berlin.
- Tramblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm, M. Garneau (2005). Synthesis. Kafli 26 í: *Greenhouse Gas Emissions – Fluxes and Processes* (ritstjórar: A. Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm, M. Garneau). Springer, Berlin
- Umhverfisstofnun (2007). National Inventory Report Iceland 2007; Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change: Birna S. Hallsdóttir, Rob Kamsma and Jón Guðmundsson UST: 185.
- Veðurstofa-Íslands (2004). Meðalárshiti á Íslandi 1961-1990, Veðurstofan (NORDKLIMA). 2004.
- Webb, E. K., G. I. Pearman, R. Leuning. 1980. Correction of Flux Measurements for Density Effects Due to Heat and Water-Vapor Transfer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 106:85-100.



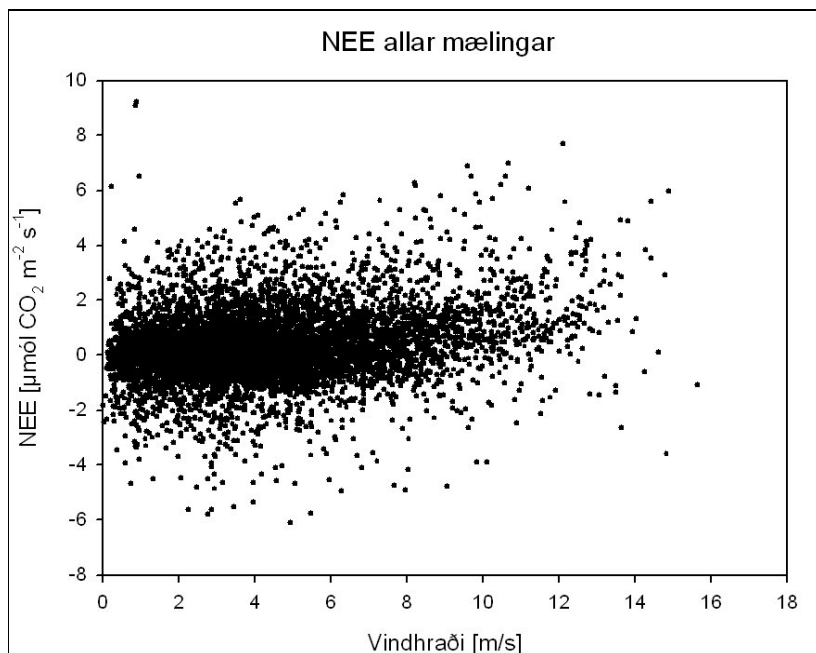


## I. Viðauki

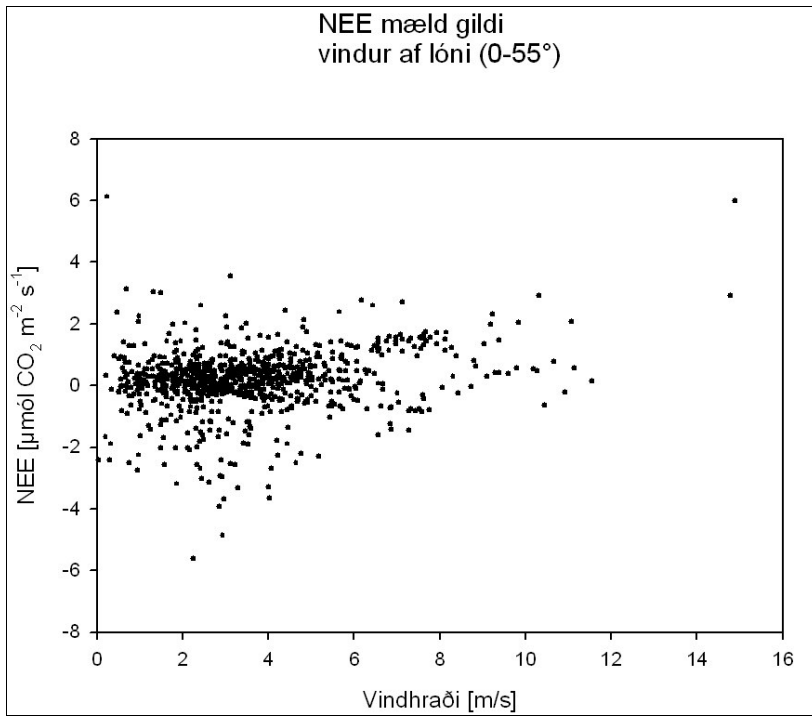
### I.A. *Síritandi mælingar með iðuflæðisturni -Tengsl NEE við aðra mældu þætti*

Hér að neðan eru birt gröf, sem sýna tengsl mælds flæðis CO<sub>2</sub> (NEE) með iðuflæðisturni, við nokkra aðra mældu þætti. Þau gröf sem hér eru sýna tengsl NEE við vindhraða, lofthita, heildarvarmaflæði (H+LE), tiltæks ljóss (PAR) og núningshraða (U\*). Hér er sýnt samband NEE við ofangreinda þætti fyrir allar vindáttir svo og sundurgreint m.t.t. vindáttar þ.e. skiptingu baklands. Einnig eru sýnd gröf fyrir sömu þætti aðgreinda á sama máta fyrir þær mælingar sem gerðar voru þegar PAR<1 þ.e. þegar var myrkur. Margvísleg önnur skipting gagna en hér er sýnd var skoðuð, svo sem uppskipting m.t.t. tímabila (mánaða), vindhraða og núningshraða. Sú uppskipting náði ekki að draga fram neina þá þætti sem skýrt gætu umtalsverðan hluta af breytileika í mældu flæði.

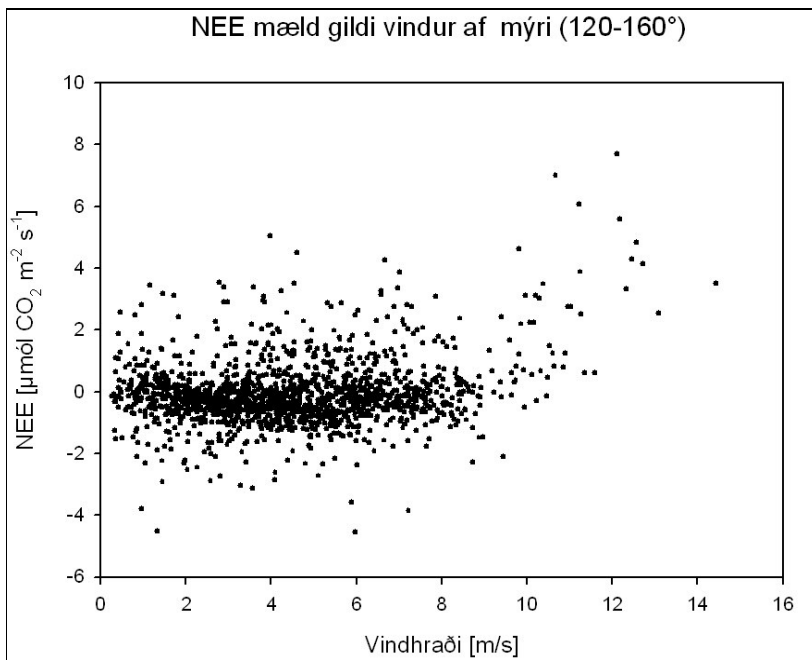
Myndir I.1-I.5 sýna tengsl NEE og vindhraða [m s<sup>-1</sup>]. Vindhraði hefur í meginatriðum tvenns konar áhrif á NEE. Í fyrsta lagi stækka (lengist) bakland mælinganna þegar vindhraði eykst. Turninn mælir m.ö.o. flæði af stærra svæði í meiri vindi. Í öðru lagi þá eykst uppblöndun í vatni með auknum vindi. Þetta á einkum og sér í lagi við lónið en einnig mýrina þar sem vatn er í yfirborði. Aukin uppblöndun í lóninu getur aukið á flæði CO<sub>2</sub> um yfirborðið og í miklum vindi getur hreinlega orðið afgangur á vatninu í lóninu. Vindur getur líka hrært upp í lausu efni á botninum og aukið súrefnisstyrkinn í því efni og þar með örvað loftháð niðurbrot á kostnað loftfirrts niðurbrots.



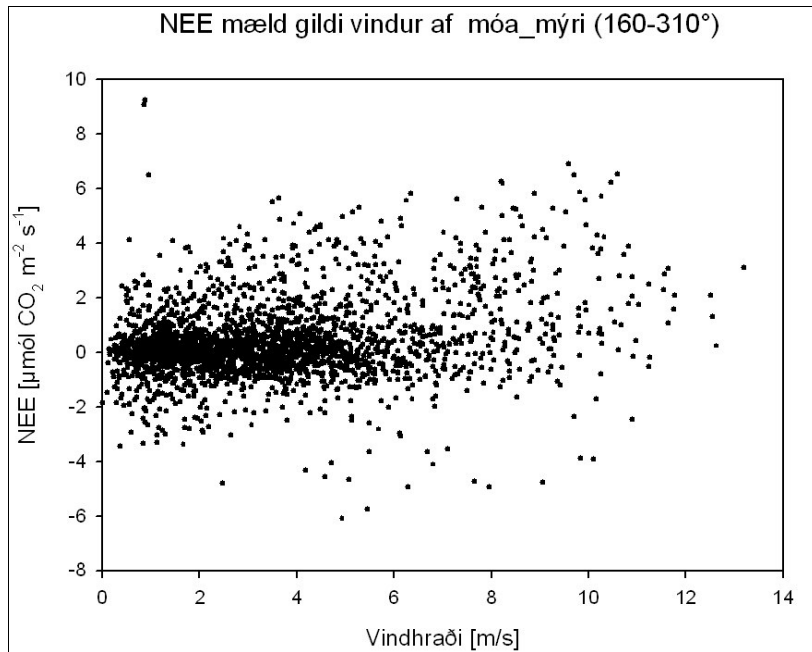
Mynd I.1



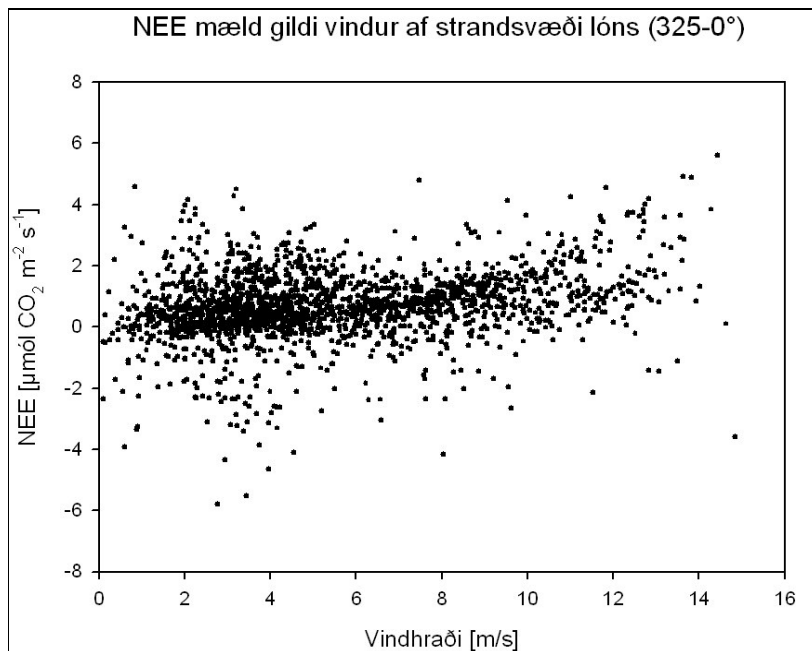
Mynd I.2



Mynd I.3

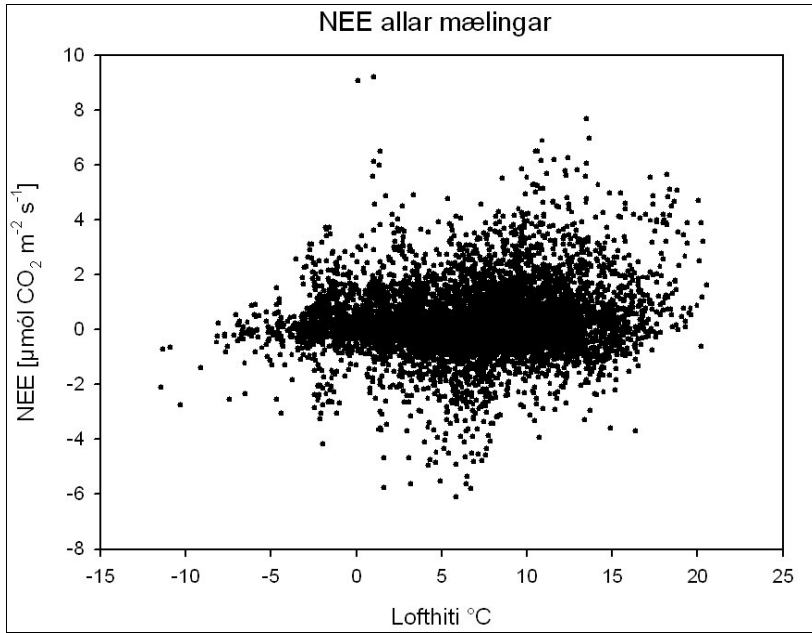


Mynd I.4

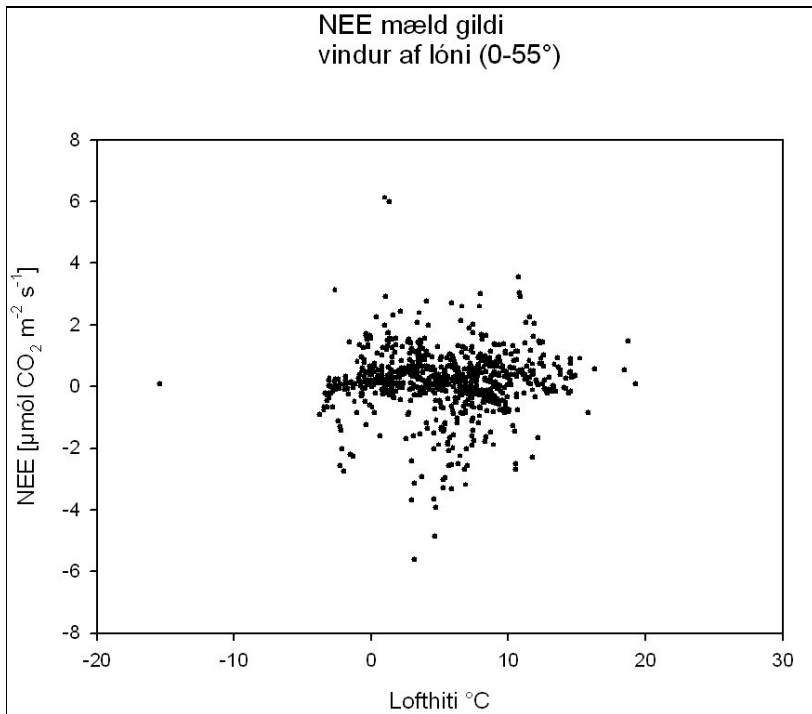


Mynd I.5

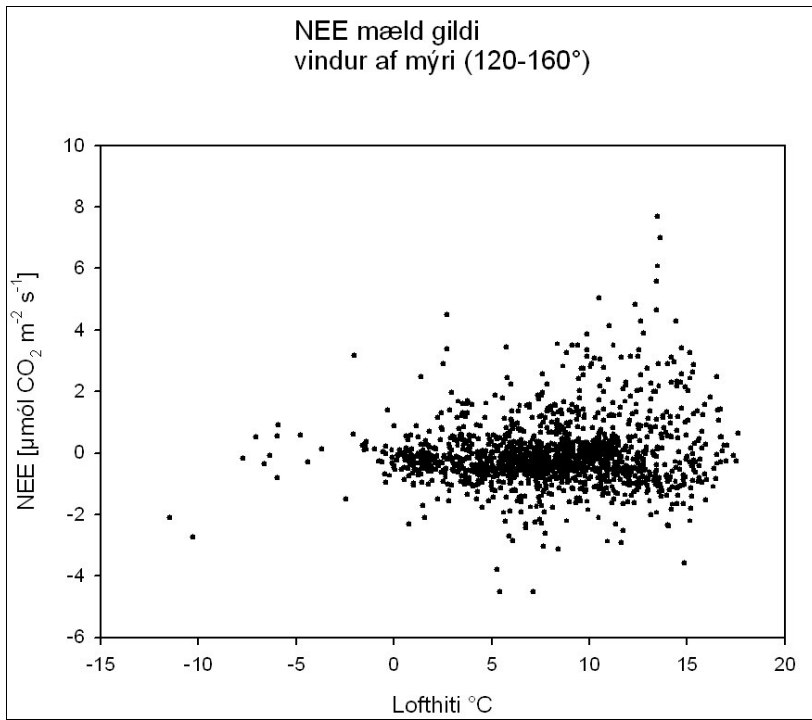
Á myndum I.6-I.10 eru tengsl NEE og lofthita sýnd. Lofthiti er mælikvarði á hitastig í efstu lögum jarðvegs og lóns. Þau efnahvörf sem liggja að baki losun eða upptöku CO<sub>2</sub> eru almennt mjög háð hitastigi. Virkni niðurbrotsörvera er mjög háð hitastigi og er samband öndunar og hitastigs almennt mjög gott. Hitastig hefur einnig áhrif á leysni bæði CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub> í vatni en hvorutveggja getur haft áhrif á myndun og flæði CO<sub>2</sub> milli vatns og lofts.



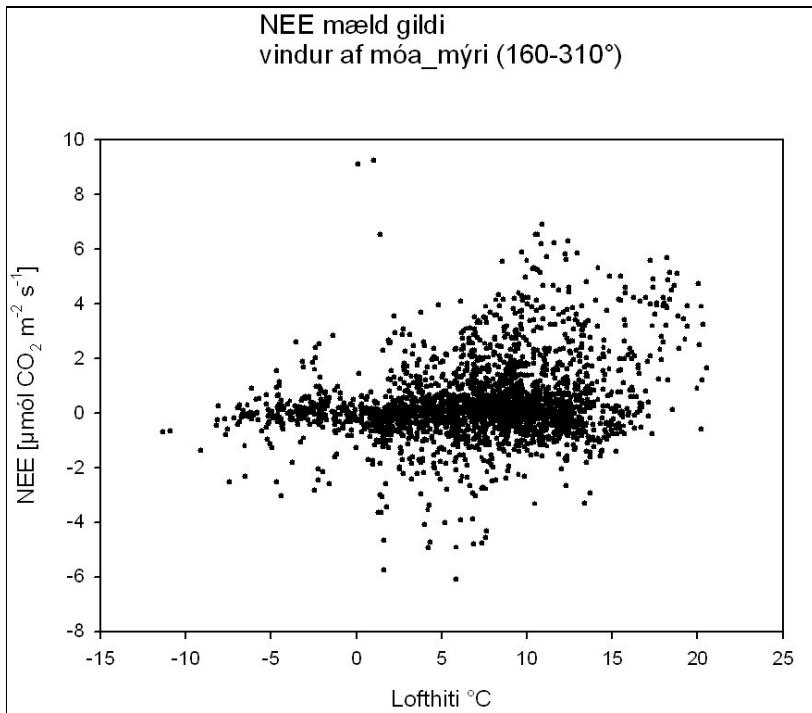
Mynd I.6



Mynd I.7

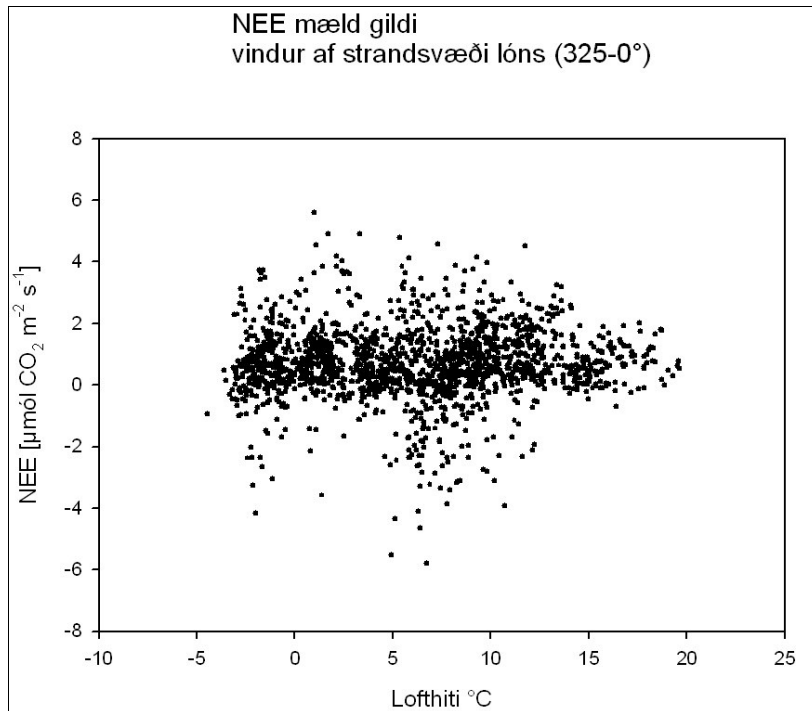


Mynd I.8



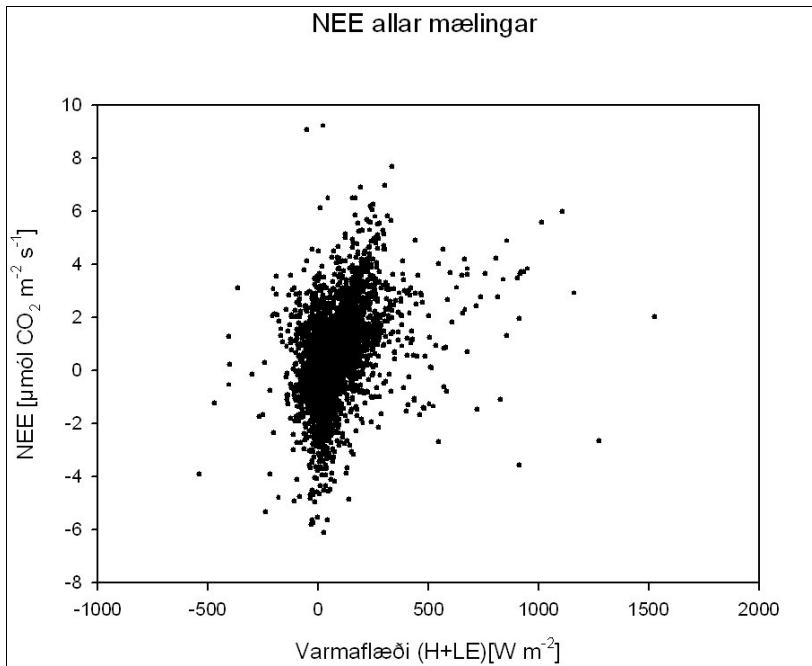
Mynd I.9



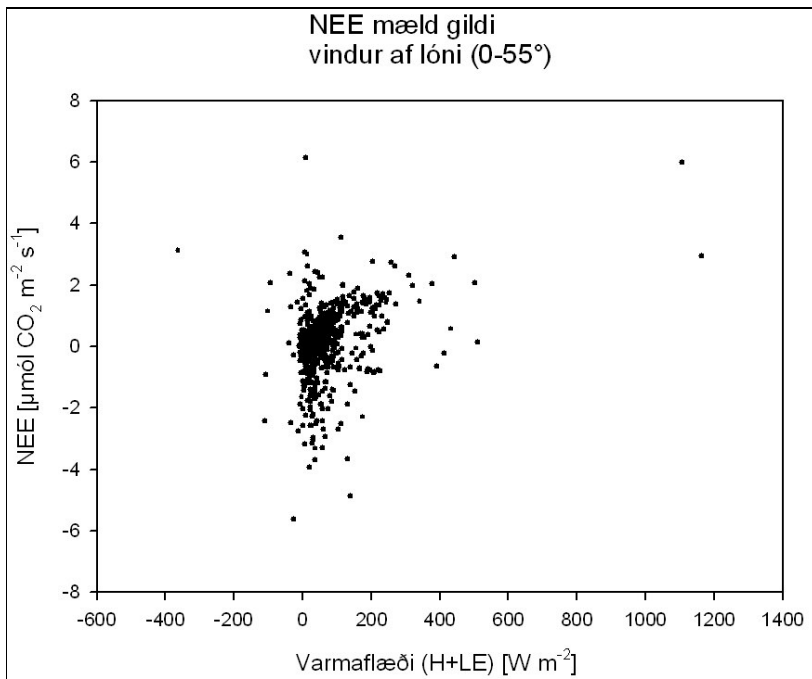


**Mynd I.10**

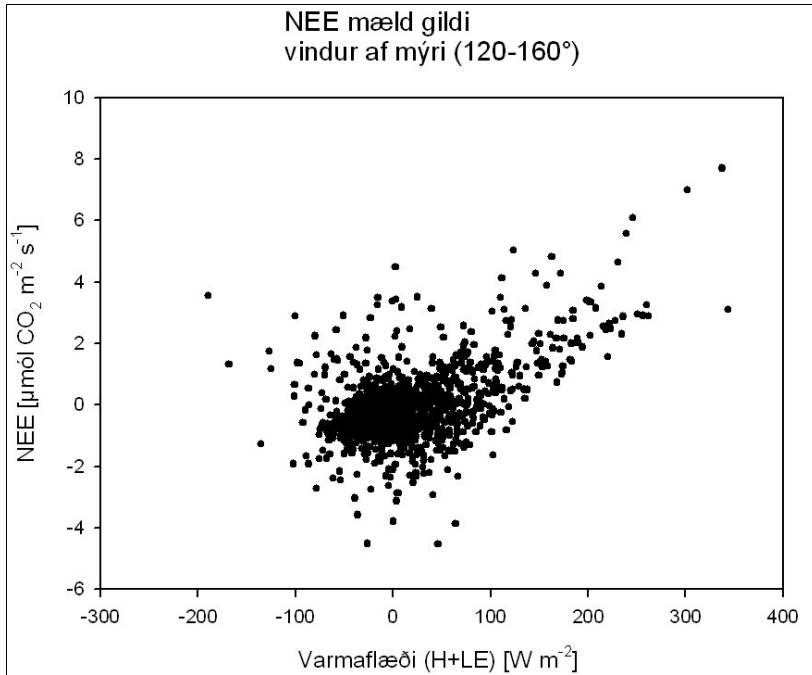
Myndir I.11-I.15 sýna tengsl NEE við heildar varmaflæði þ.e. samanlagt flæði með beinum varmaflutningi (sensible heat, H) og sem uppgufunarvarmi (latent heat, LE) Varmaflutningur hefur m.a. áhrif á uppblöndun í yfirborðslögum vatnsins. Ef varmaflutningur er út úr kerfinu ( $>0$ ) kólna efstu lögin og sökkva (ef hiti er yfir  $4^{\circ}\text{C}$ ). Flutningur inní kerfið getur valdið lagskiptingu í efstu lögum. Varmaflutningur er einnig mælikvarði á hitastigsmun milli yfirborðsins og andrúmsloftsins. Þó þau gröf séu ekki sýnd hér þá var einnig kannað hvort marktæk tengsl væru milli NEE og hvors þáttar heildarvarmaflæðisins þ.e. H og LE.



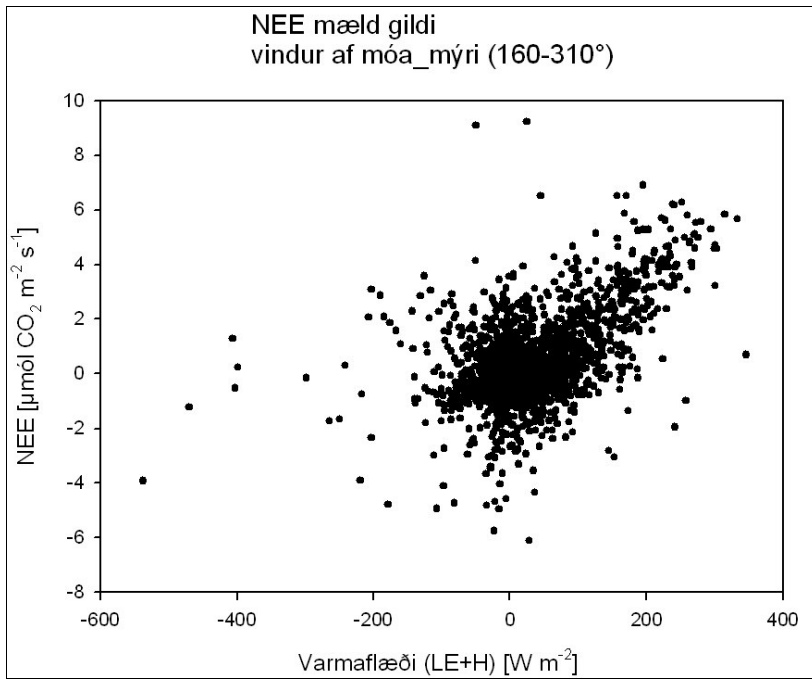
Mynd I.11



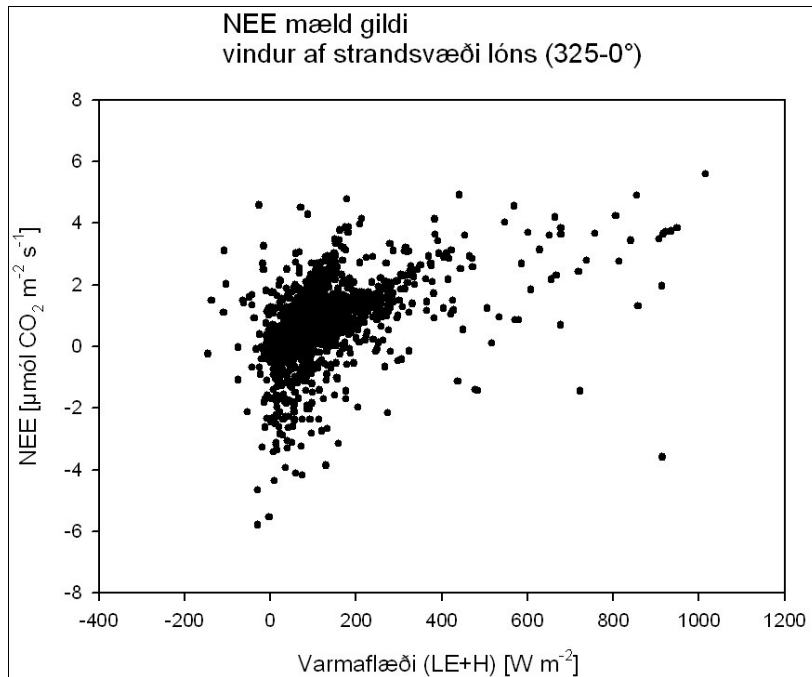
Mynd I.12



Mynd I.13

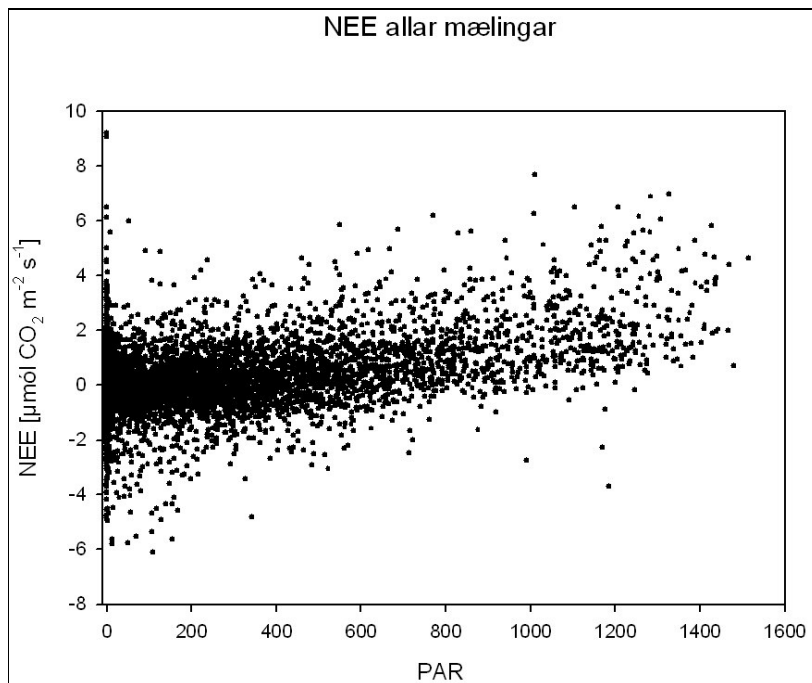


Mynd I.14

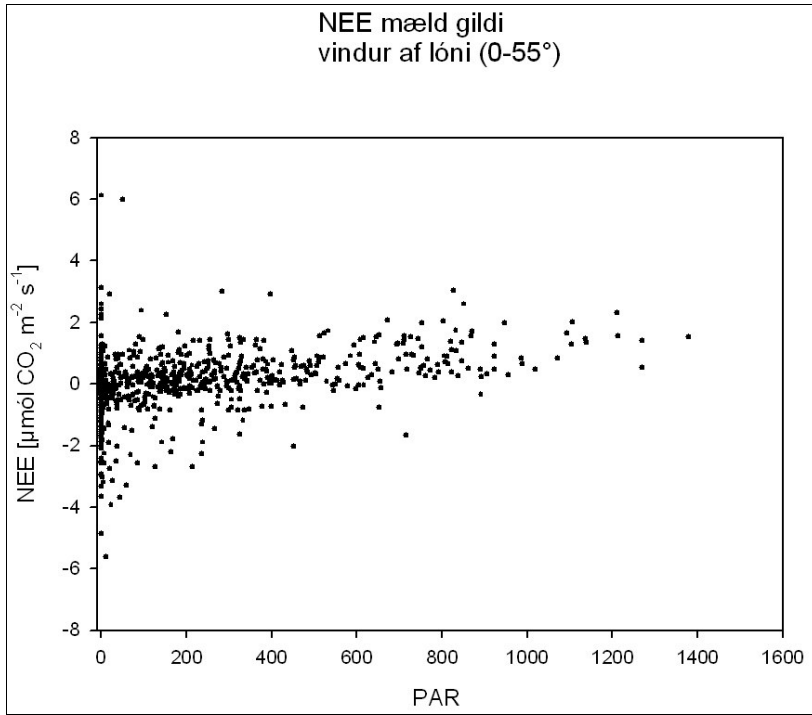


Mynd I.15

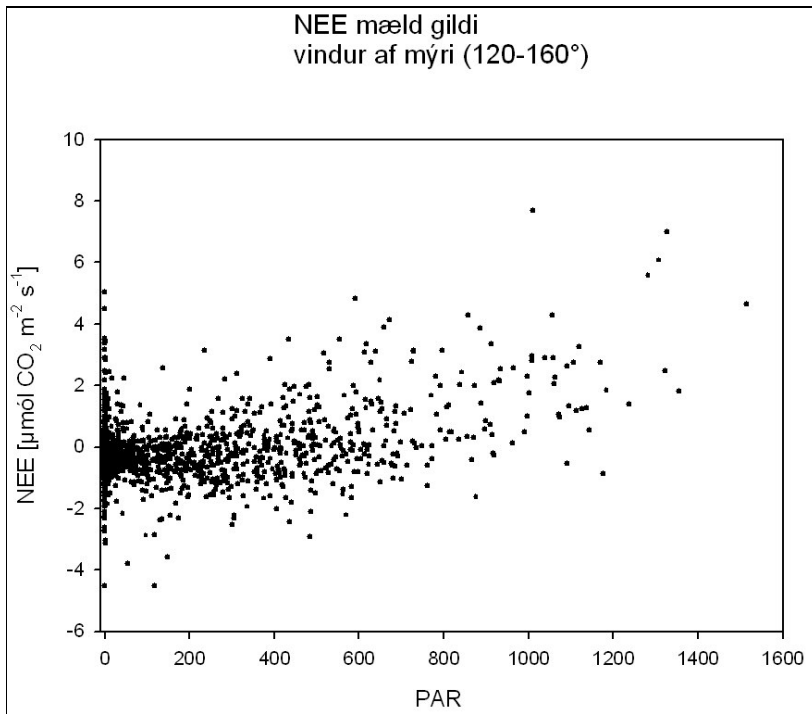
Á myndum I.16-I.20 eru sýnd tengsl NEE og tiltæks ljóss (PAR). Tiltækt ljós er sá hluti sólarljóssins sem nýtist plöntum til ljóstillífunar. Án þeirra orku verður engin ljóstillífun. Ljóstillífun og þar af leiðandi upptaka CO<sub>2</sub> í þurrlandisvistkerfum sýnir yfirleitt mjög góða fylgni við tiltækt ljós. Í vatni rofna þessi beinu tengsl ljóstillífunar og CO<sub>2</sub> upptöku þar sem upptakan getur veið á formi HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.



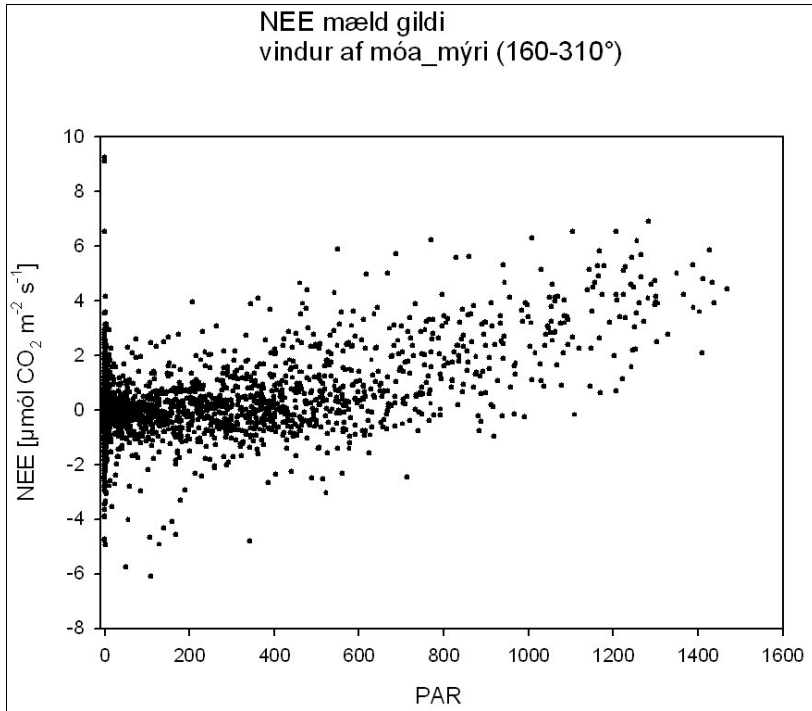
Mynd I.16



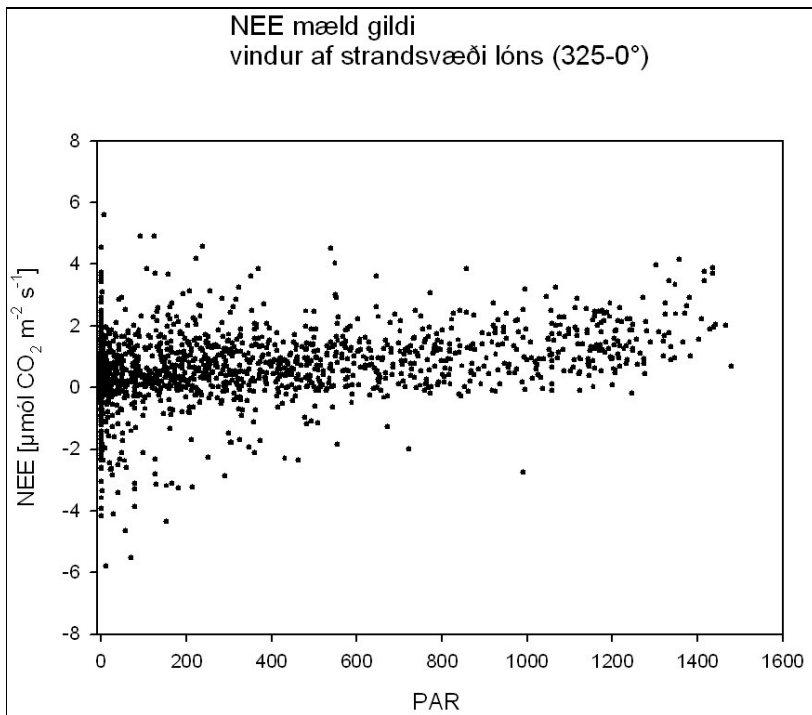
Mynd I.17



Mynd I.18



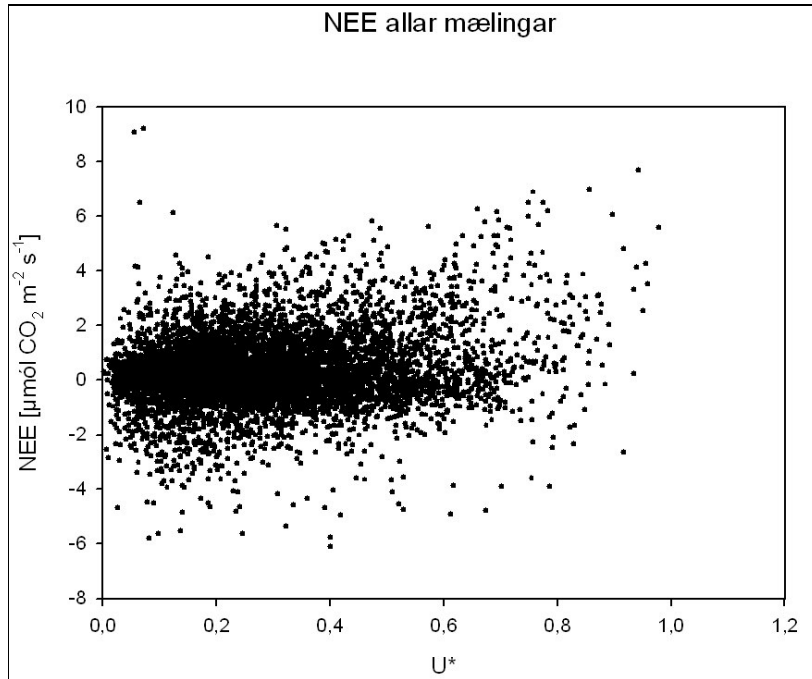
Mynd I.19



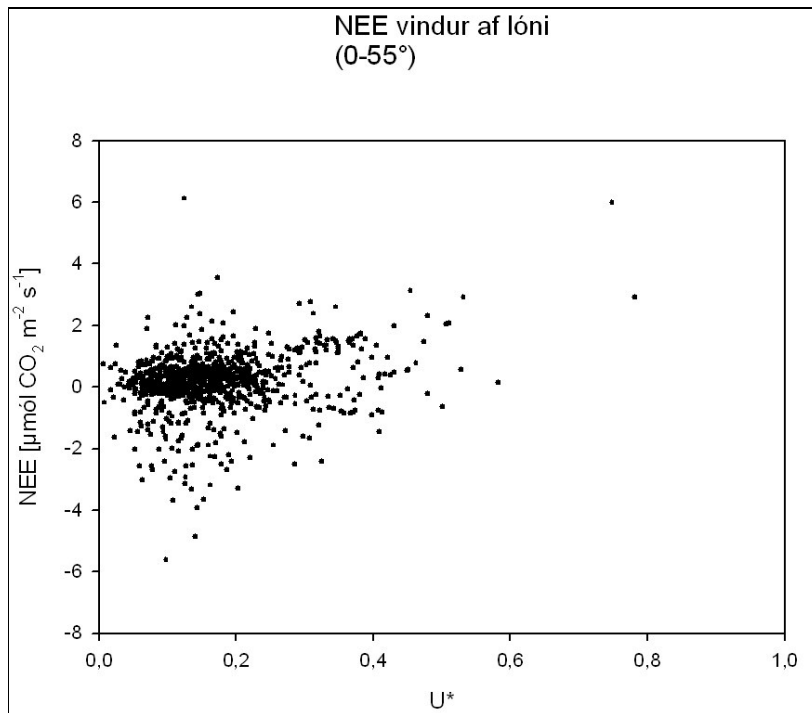
Mynd I.20



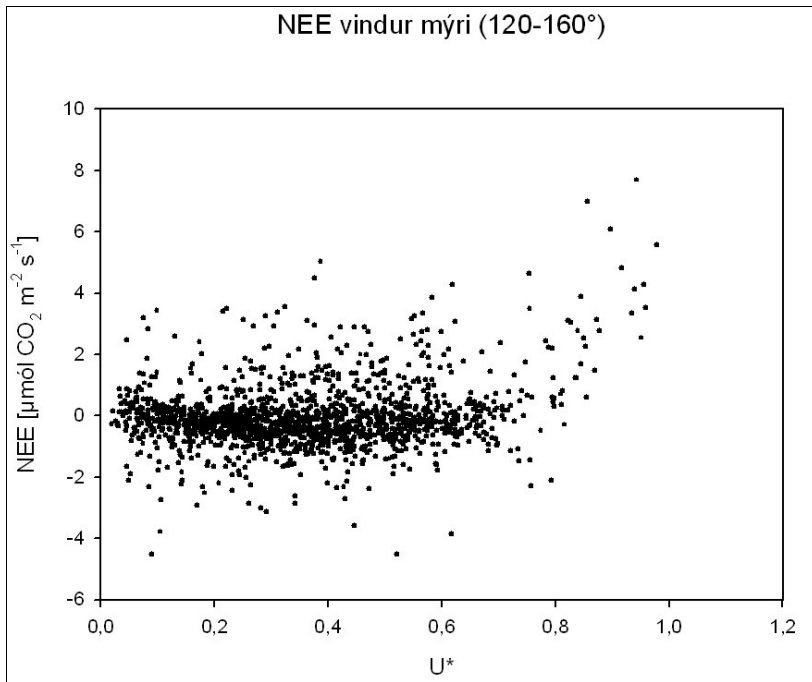
Á myndum I.21-I.25 eru sýnd tengsl NEE og núningshraða ( $U^*$ ). Núningshraði er mælikvarði á uppblöndun loftsins. Yfir mjög ójöfnu yfirborði eða hávöxnum gróðri (skógi) verður oft lagskipting í neðstu lögum loftsins ef uppblöndun (þ.m.  $U^*$ ) er ekki næg. Við þau skilyrði getur  $\text{CO}_2$  verið að safnast fyrir eða dragast út úr þeim lögum sem næst eru yfirborðinu án þess að slík breyting mælist með iðuflæðisturninum. Hvert þetta gildi er á  $U^*$  er háð yfirborðsgerð og hæð mæliturnsins.



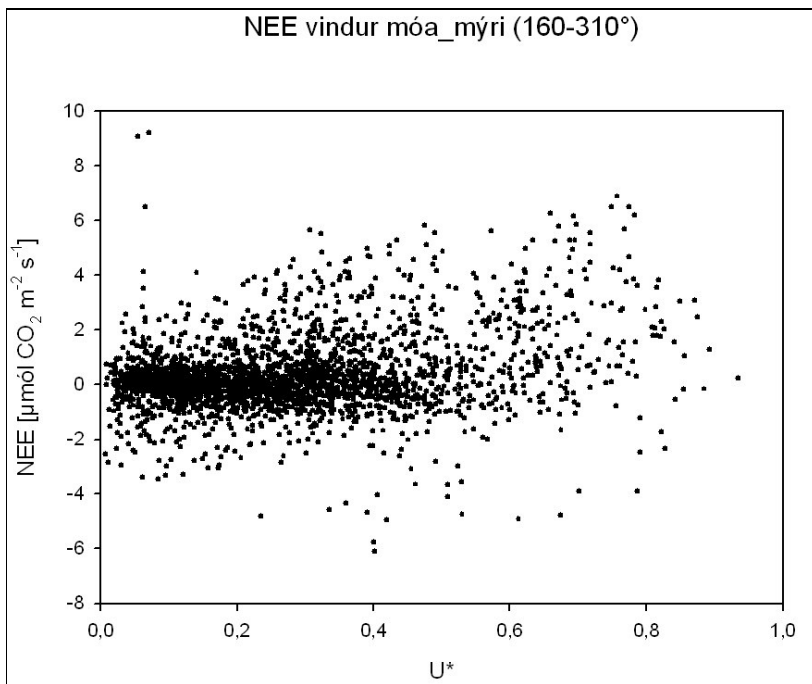
Mynd I.21



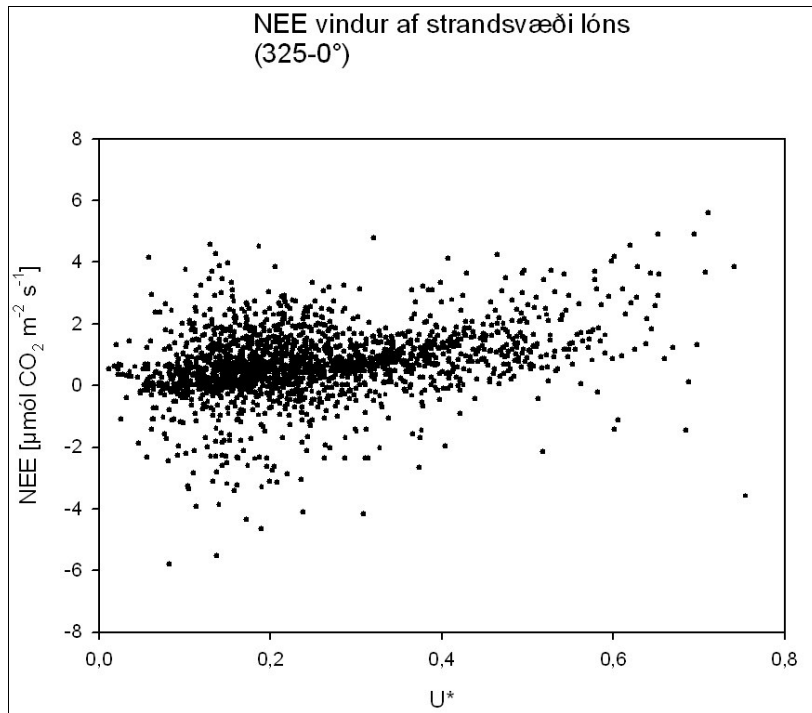
Mynd I.22



Mynd I.23

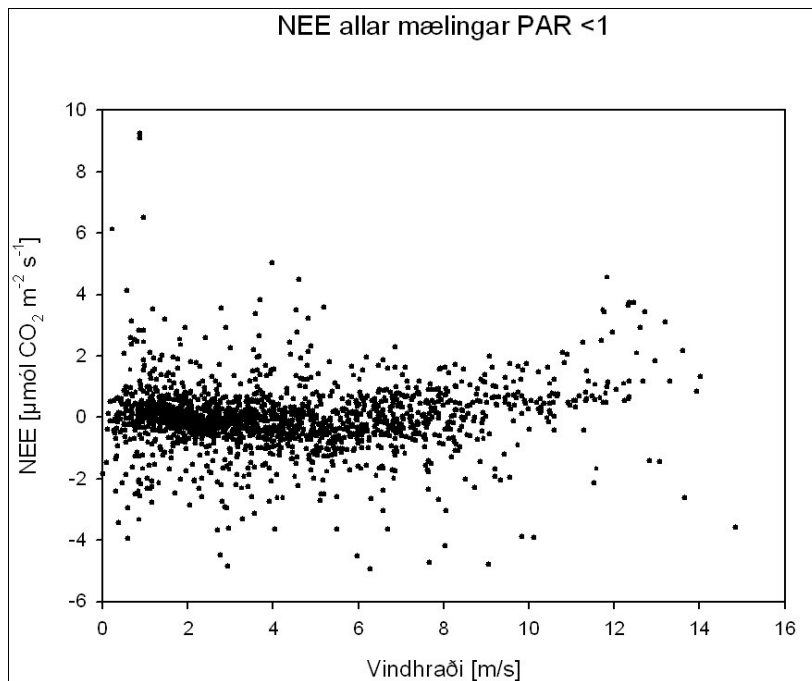


Mynd I.24

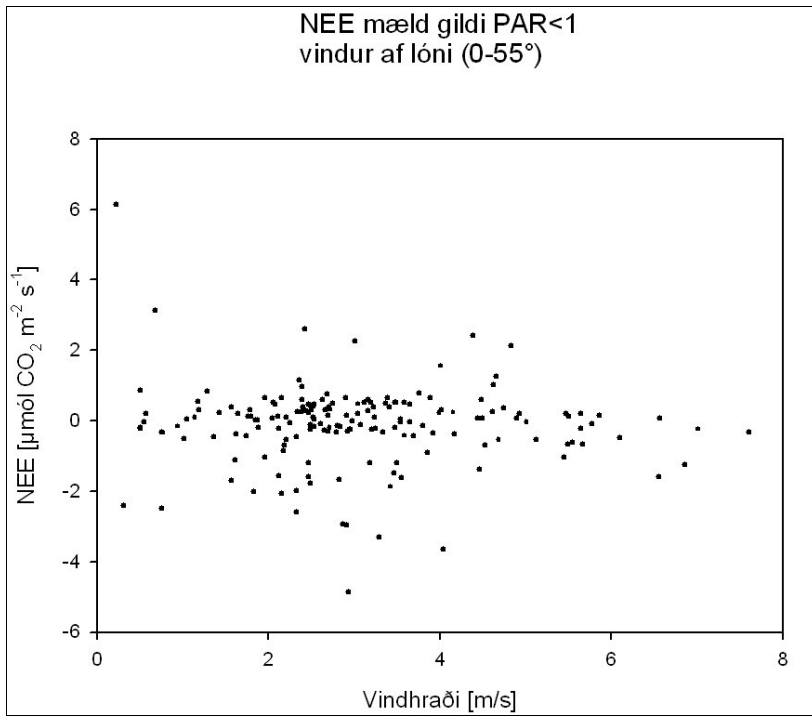


Mynd I.25

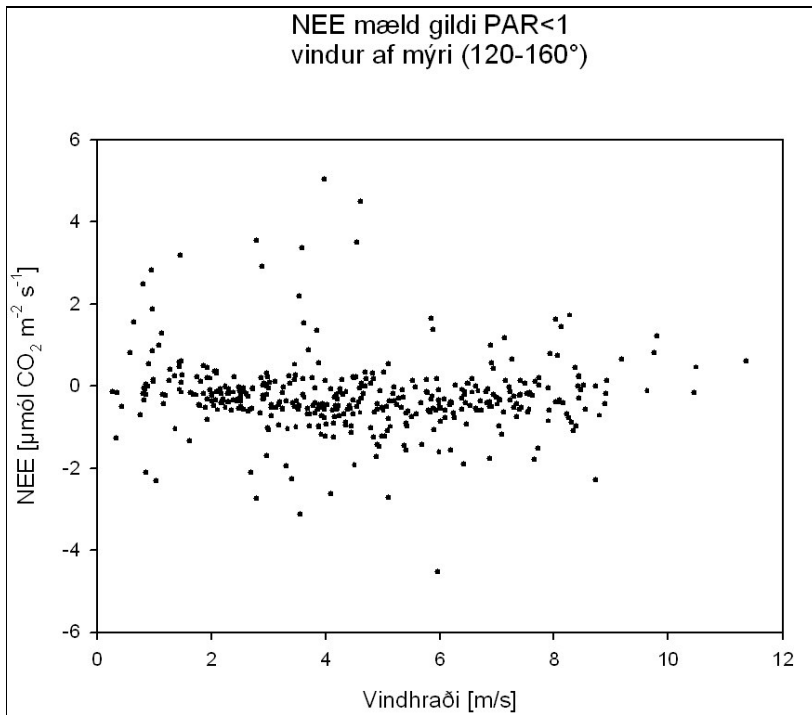
Á myndum I.26-I.45 eru sýnd tengsl NEE við sömu þætti og hér að framan (nema PAR) við  $\text{PAR} < 1$  (myrkur). Tengsl NEE við ofangreinda þætti geta verið háð því hvort ljóstillífun er í gangi eða ekki. Við  $\text{PAR} < 1$  er engin tiltæk orka til að knýja ljóstillífunar ferlin.



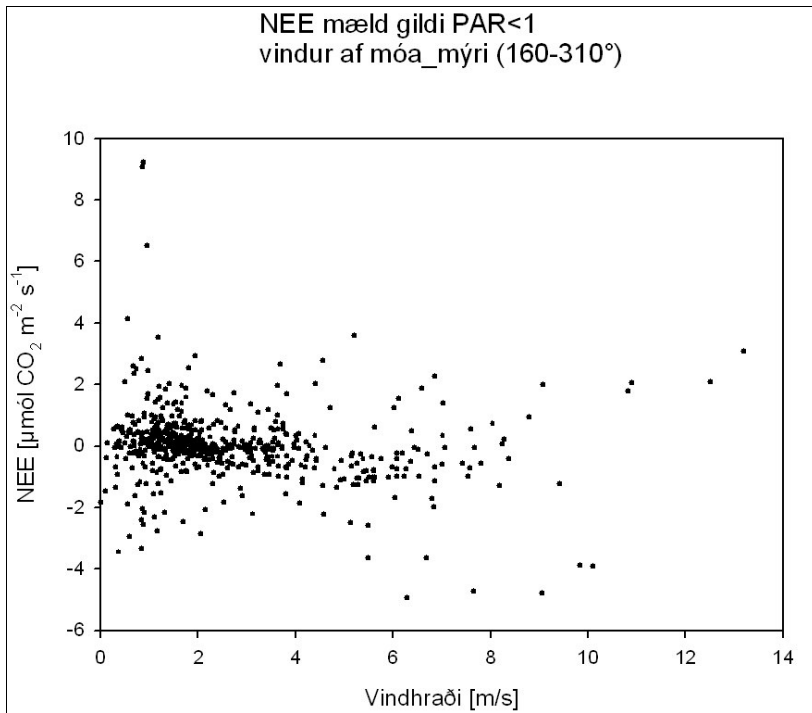
Mynd I.26



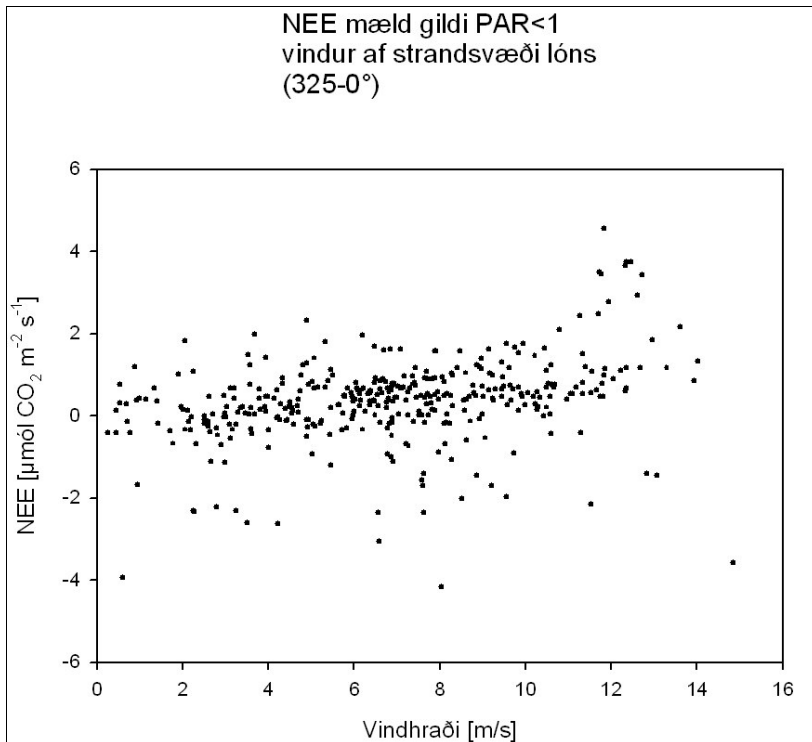
Mynd I.27



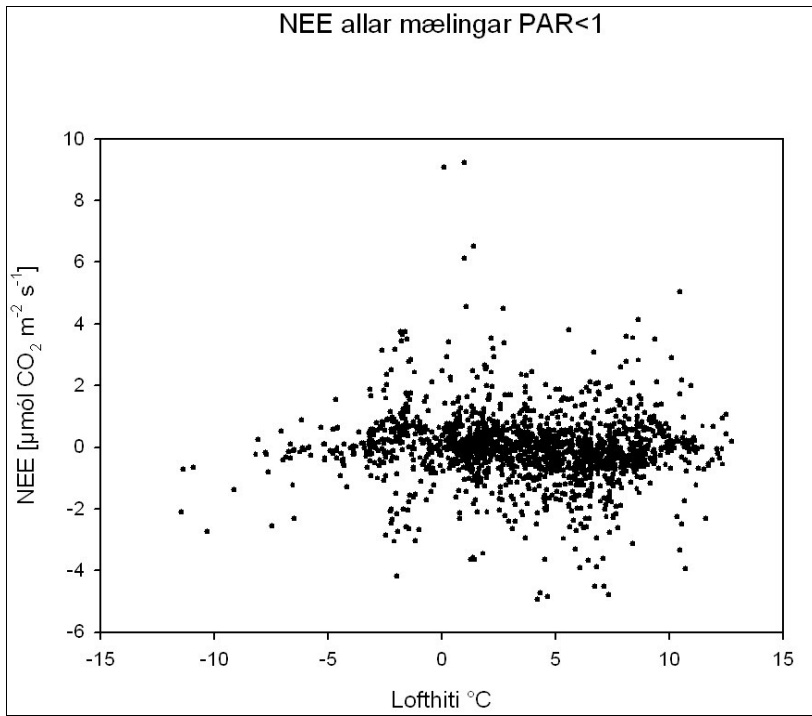
Mynd I.28



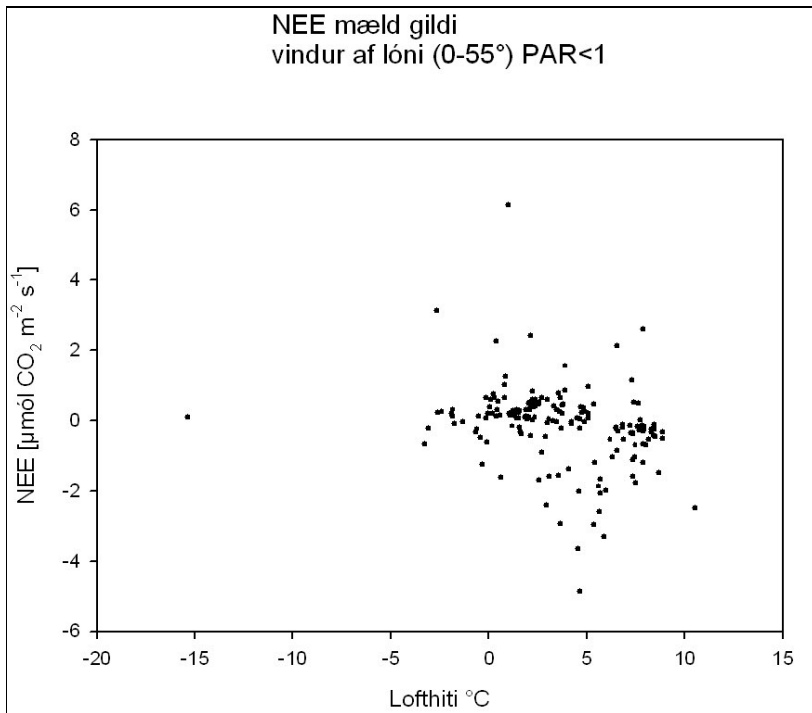
Mynd I.29



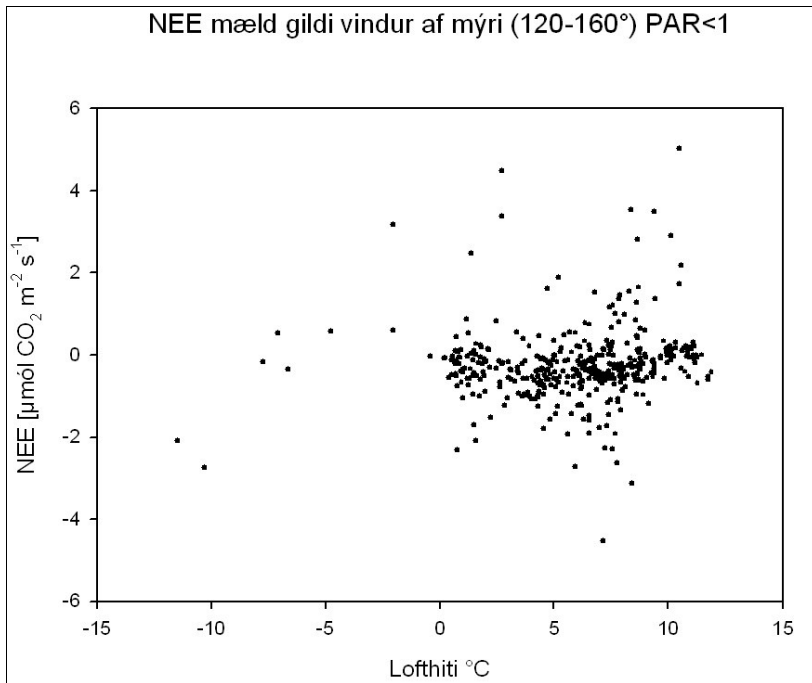
Mynd I.30



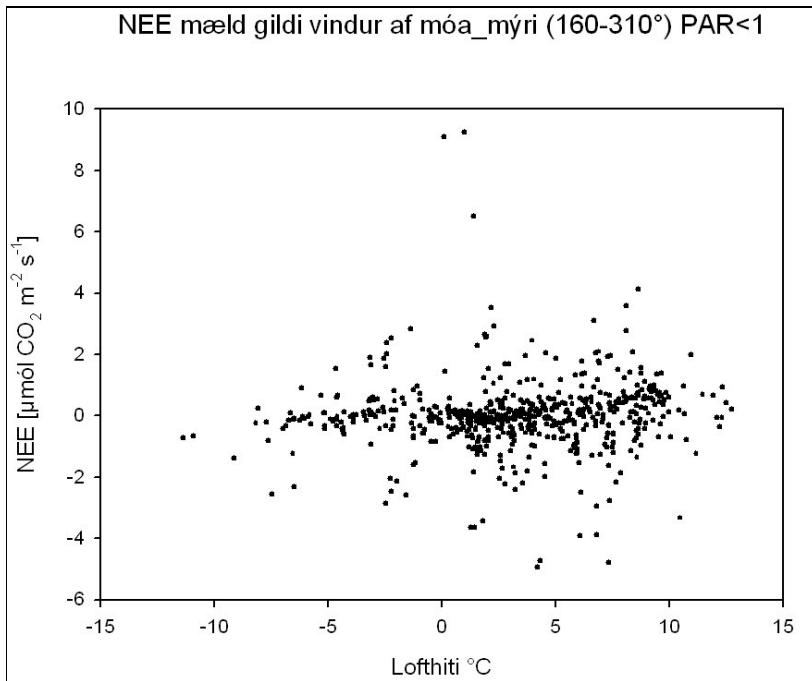
Mynd I.31



Mynd I.32

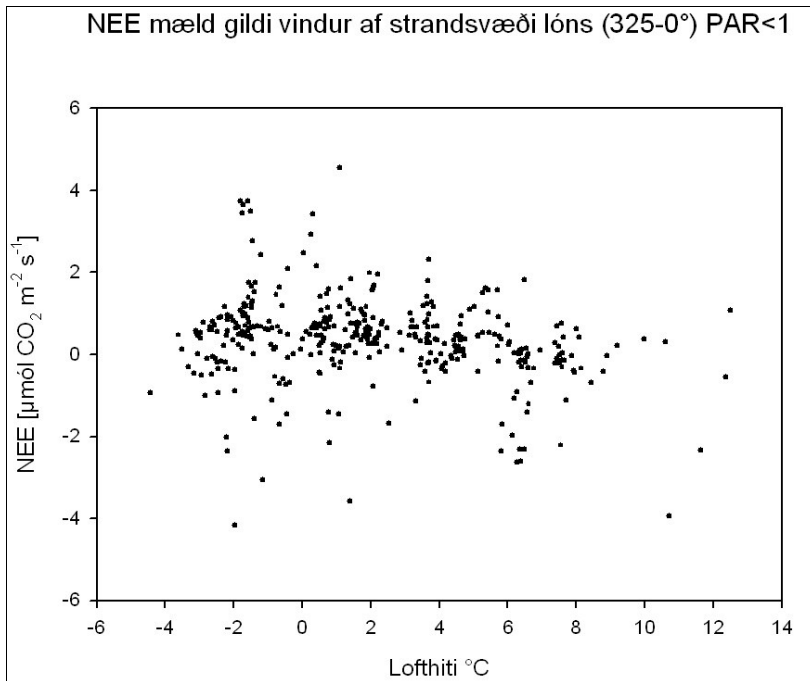


Mynd I.33

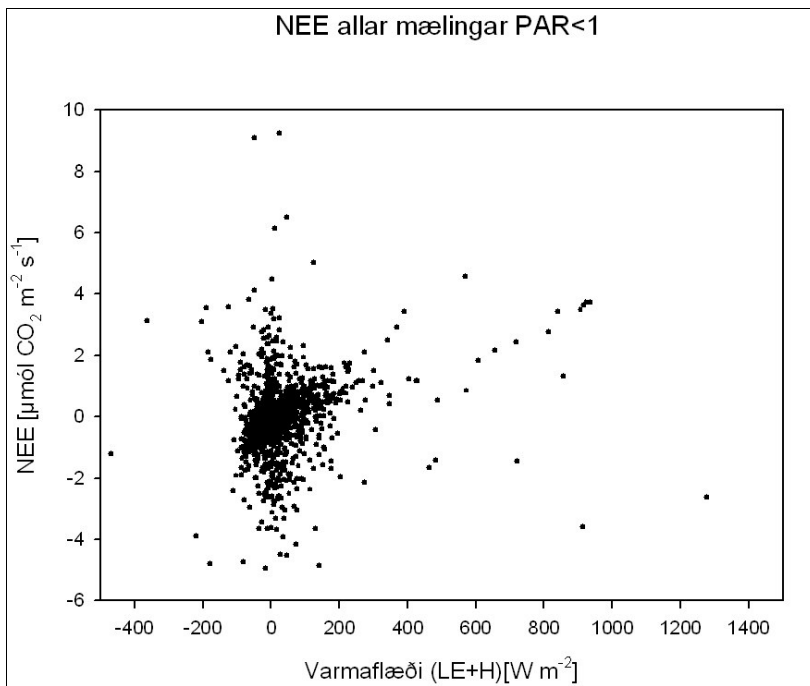


Mynd I.34

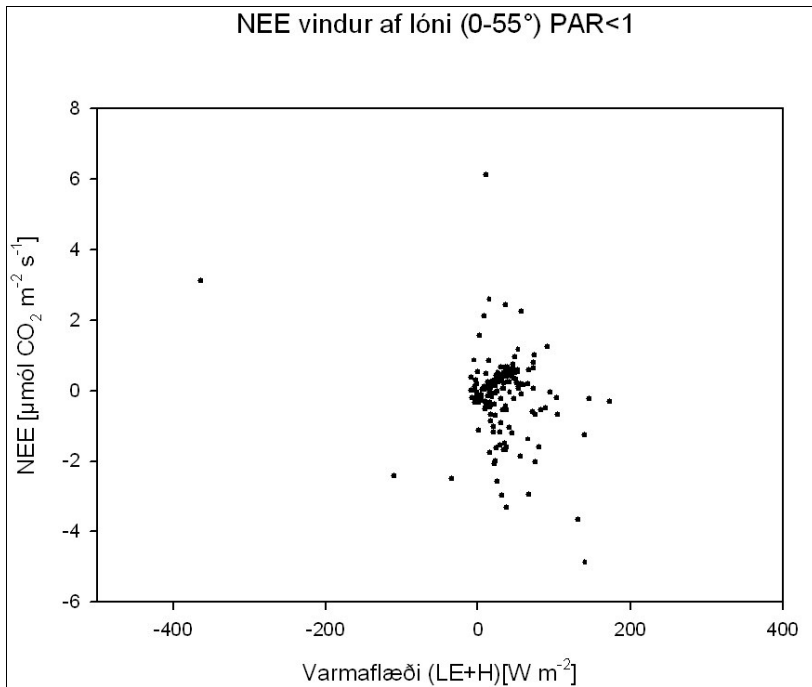




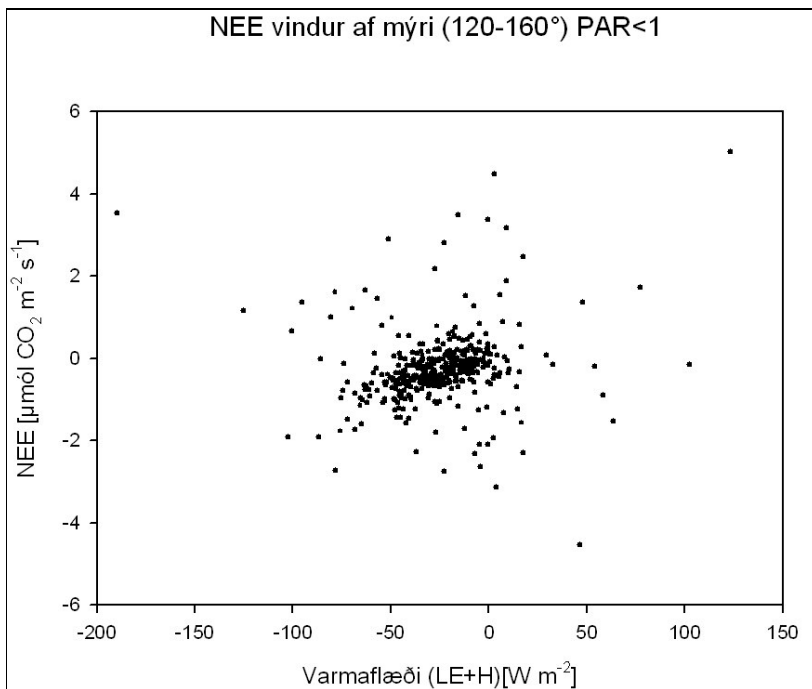
Mynd I.35



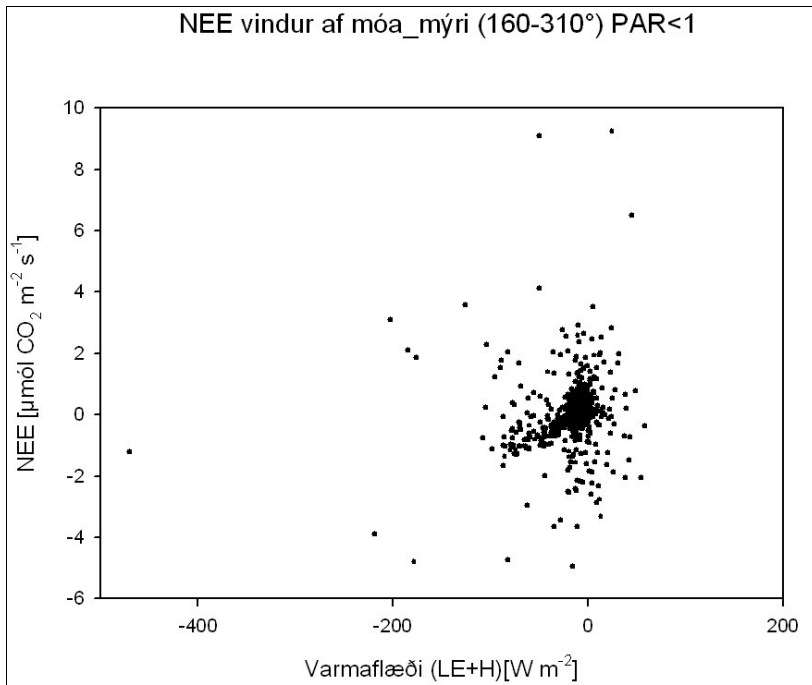
Mynd I.36



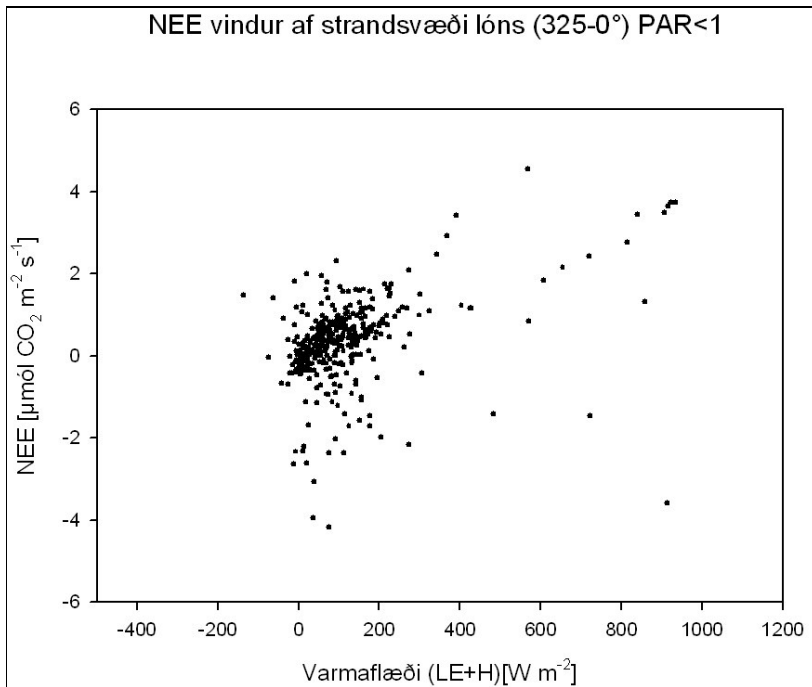
Mynd I.37



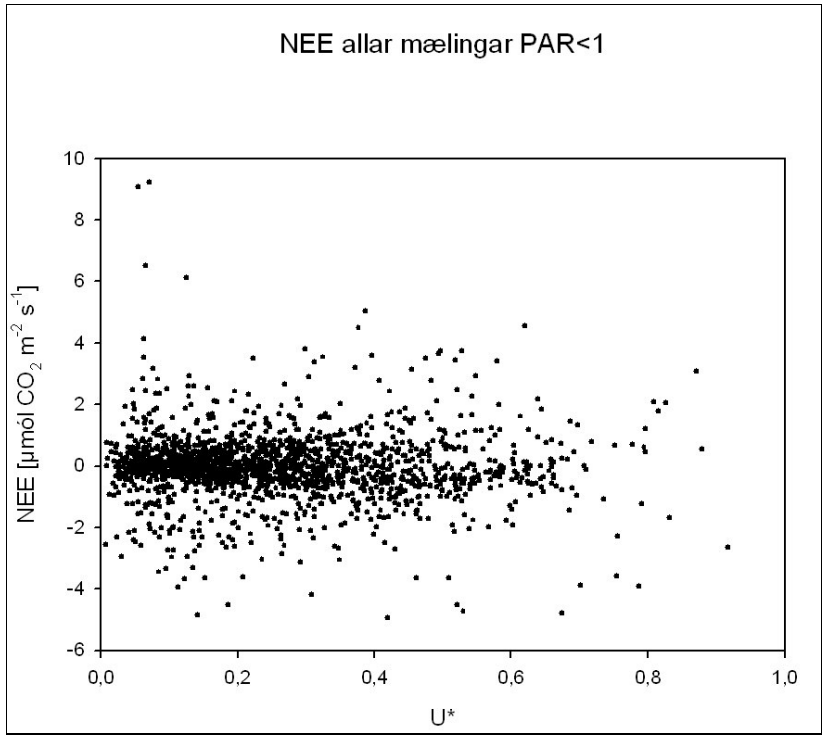
Mynd I.38



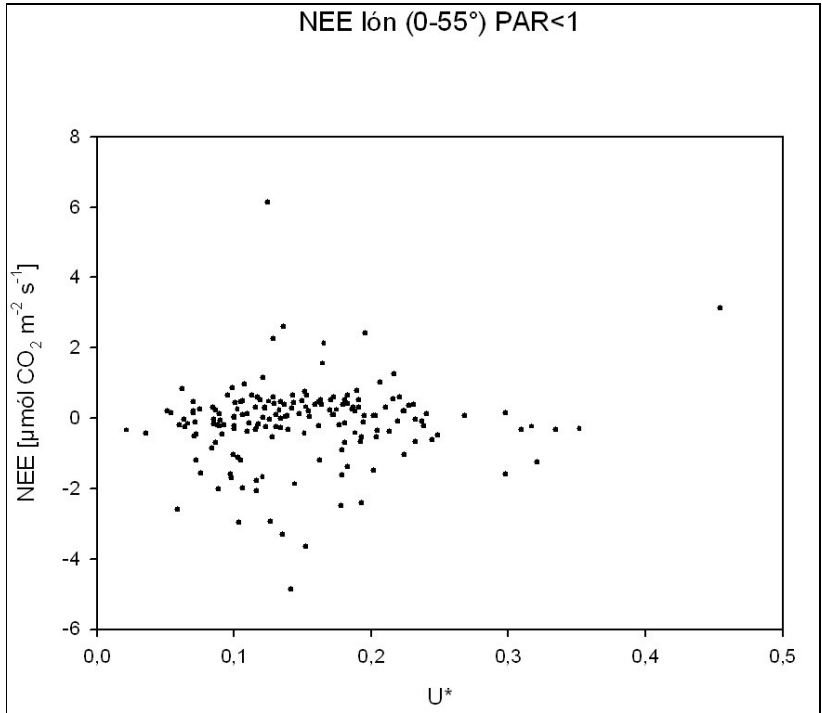
Mynd I.39



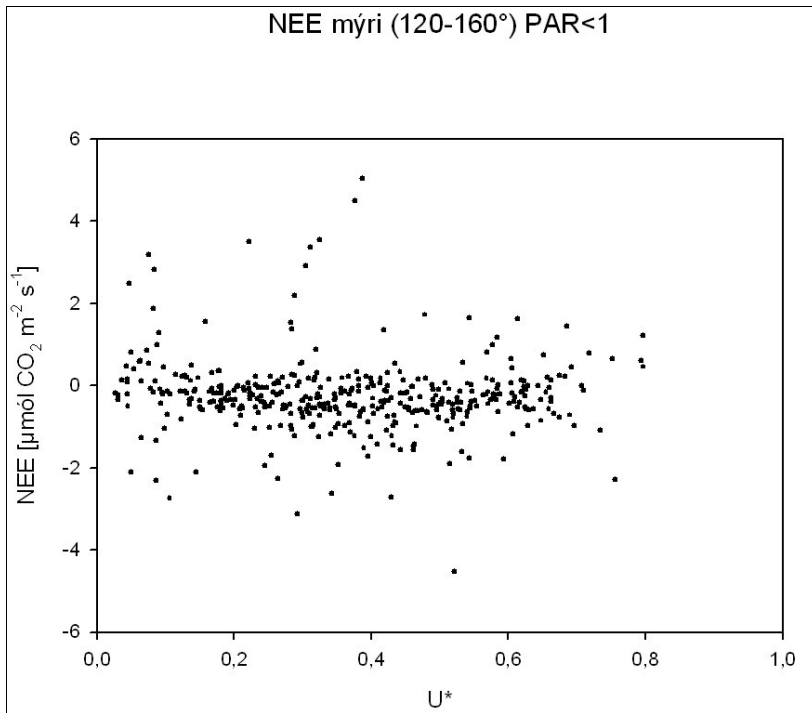
Mynd I.40



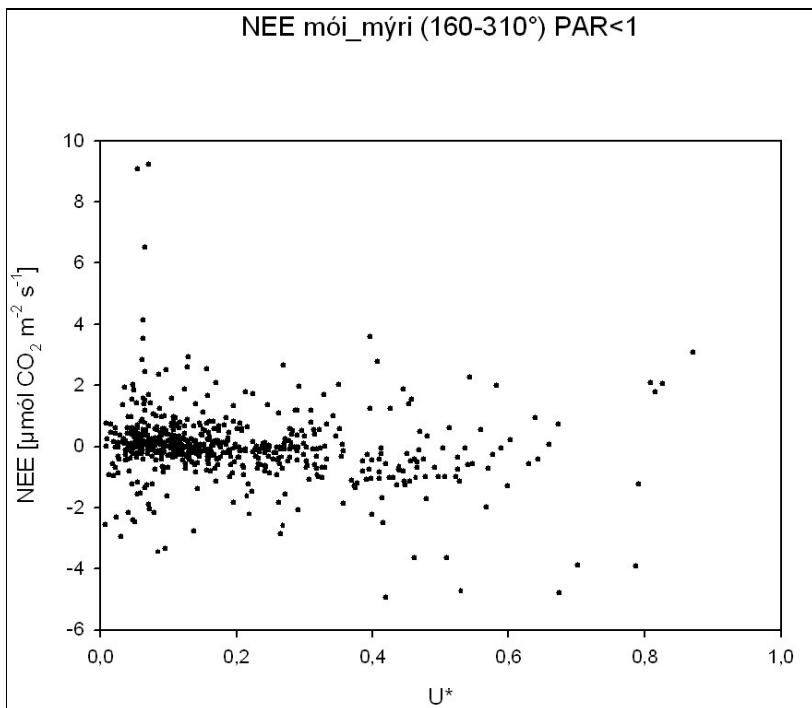
Mynd I.41



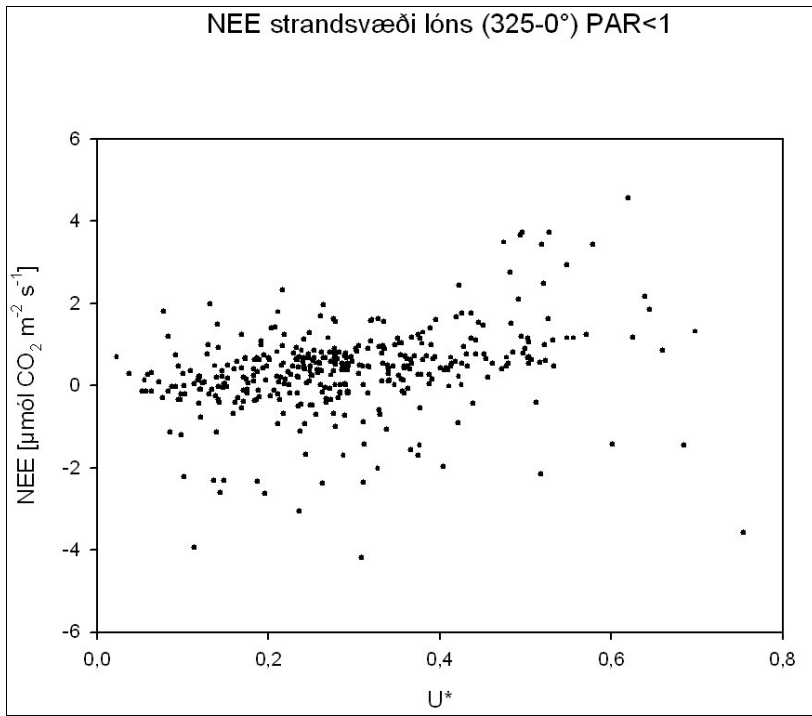
Mynd I.42



Mynd I.43



Mynd I.44



Mynd I.45

