

Losun frá lónum

Samantekt á niðurstöðum rannsókna og
stöðu þekkingar





Losun frá lónum

Samantekt á niðurstöðum rannsókna og stöðu þekkingar

EFLA verkfræðistofa
Alexandra Kjeld; Helga J. Bjarnadóttir

Júlí 2021

Lykilsíða

Skýrsla LV nr	LV-2021-032	Dagsetning	Júlí 2021
Fjöldi Síðna	29	Upplag	rafrænt
Dreifing	[X] Birt á vef LV	[X] Opin	
Titill	Losun frá lónum. Samantekt á niðurstöðum rannsókna og stöðu þekkingar.		
Höfundar/fyrirtæki	EFLA verkfræðistofa; Alexandra Kjeld, Helga J. Bjarnadóttir		
Verkefnisstjóri	Ragnheiður Ólafsdóttir		
Unnið fyrir	Landsvirkjun		
Samvinnuaðilar			
Útdráttur	<p>Landsvirkjun hefur um árabíl lagt áherslu á að þekkja umhverfisáhrif af starfsemi sinni og hefur því staðið fyrir rannsóknum á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum fyrirtækisins í hartnær tvo áratugi, eða frá seinustu aldamótum.</p> <p>Markmið þessarar skýrslu er að taka saman yfirlit um hvernig staðið er að mati á losun frá lónum Landsvirkjunar á ólíkum vettvangi, veita yfirlit yfir stöðu rannsókna á losuninni og yfir stærðargráðu þessa þáttar í bæði loftslagsbókhaldi og í vistferilsgreiningum (e. Life Cycle Assessment, LCA) sem unnar hafa verið fyrir Landsvirkjun á undanförunum árum.</p>		
Lykilorð	Losun frá lónum, losun gróðurhúsalofttegunda, kolefnisspor, metan, koldíoxíð, koltvísýringur, vistferilsgreining, loftslagsbókhald		

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

EFNISYFIRLIT

EFNISYFIRLIT	3
1 INNGANGUR	4
1.1 Bakgrunnur	4
1.2 Hvernig losna gróðurhúsalofttegundir frá lónum?	4
2 RANNSÓKNIR Á LOSUN FRÁ LÓNUM LANDSVIRKJUNAR	7
2.1 Blöndustöð - rannsókn Lbhí á Gilsárlóni	8
2.2 Blöndustöð – framhaldsrannsóknir Lbhí	9
2.3 Fljótsdalsstöð - Rannsókn RALA og Lbhí	10
2.4 Búðarhálsstöð - rannsókn HÍ og Landgræðslunnar á borkjörnum úr Sporðöldulóni	10
2.5 Hvammsvirkjun - rannsókn Lbhí á fyrirhuguðu Hagalóni	11
2.6 Blöndustöð - rannsókn HÍ á botnseti Blöndulóns	12
2.7 Rannsókn HÍ á jafnvægi CO ₂ milli vatns og loftis í íslenskum vötnum	12
3 MAT Á LOSUN FRÁ LÓNUM	13
3.1 Loftslagsbókhald Íslands - IPCC	13
3.1.1 Núverandi aðferðafræði	13
3.1.2 Uppfærsla á aðferðafræði IPCC frá 2019	15
3.2 Loftslagsbókhald Landsvirkjunar – GHG Protocol	17
3.3 Reiknivélin G-Res	18
4 MAT Á HEILDARLOSUN FRÁ LÓNUM Í VISTFERILSGREININGUM	20
4.1 Búðarhálsstöð	21
4.2 Fljótsdalsstöð	21
4.3 Blöndustöð	23
4.4 Samanburður við erlend lón	24
5 SAMANTEKT	26

1 INNGANGUR

1.1 Bakgrunnur

Landsvirkjun hefur um árabil lagt áherslu á að þekkja umhverfisáhrif af starfsemi sinni og hefur samhliða leitast við að draga úr þeim. Nýverið setti fyrirtækið sér markmið um kolefnishlutleysi árið 2025 með því að draga úr losun GHG og binda kolefni í gróðri og í jarðvegi. Er því nauðsynleg að hafa góða þekkingu á helstu uppsprettum losunar. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflstöðva fyrirtækisins hefur verið auðkennt sem einn af meginumhverfisþáttum starfseminnar, og var 28% af heildarlosun frá rekstri árið 2020 (vegna losunar CH₄, umfang 1, og CO₂, utan umfanga). Fyrirtækið hefur staðið fyrir rannsóknum á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum fyrirtækisins í tvo áratugi eða frá seinustu aldamótum.

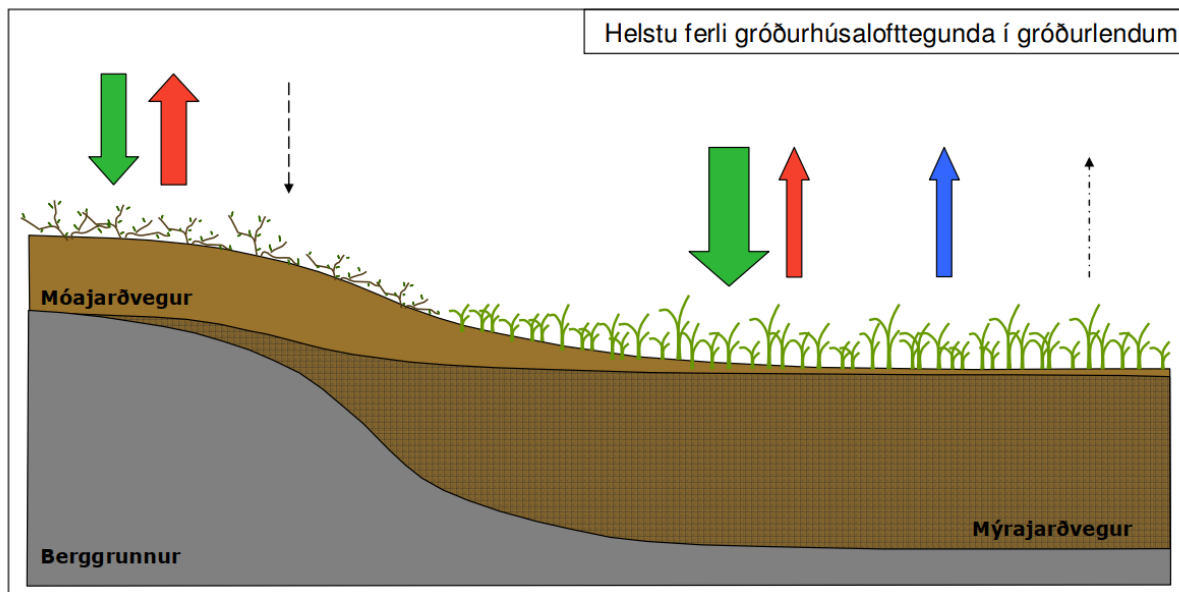
Markmið þessarar skýrslu er að fara yfir hvernig staðið er að mati á losun frá lónum Landsvirkjunar á ólíkum vettvangi, veita yfirlit yfir stöðu rannsókna á losuninni og yfir stærðargráðu þessa þáttar í bæði loftslagsbókhaldi og í vistferilsgreiningum (e. Life Cycle Assessment, LCA) sem unnar hafa verið fyrir Landsvirkjun á undanförunum árum.

1.2 Hvernig losna gróðurhúsalofttegundir frá lónum?

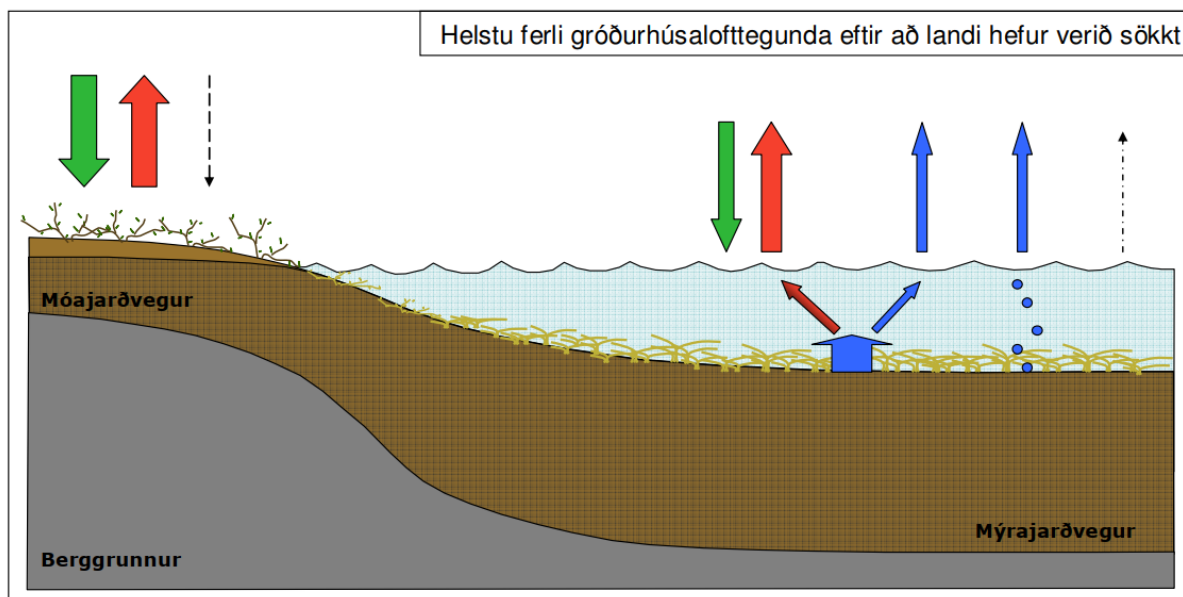
Þegar land fer undir vatn verða breytingar á þeim ferlum sem tengjast losun og upptöku gróðurs og jarðvegs svæðisins á gróðurhúsalofttegundum, aðallega CO₂, CH₄ og N₂O. Breytingarnar leiða meðal annars af sér minni upptöku koltvísýrings (CO₂) og þess að stærstur hluti niðurbrots lífræns efnis verður við loftfirrtar aðstæður, sem leiðir af sér aukna myndun metans (CH₄) og losun þess út í vatnsbolinn. Vegna þess hve CH₄ er illeysanlegt í vatni leitar það yfirleitt í loftfasa. Þar sem aðstæður eru til myndunar loftbóla leitar metan úr vatninu inn í loftbólurnar. Slíkar aðstæður eru t.d. undir gróðurþekju, torflagi eða ís. Það fer svo eftir hve öflug fyrirstaðan er hve stórar þessar bólar verða áður en þær losna og fljóta upp að yfirborði þar sem innihaldið losnar út í andrúmsloftið. Umtalsverður hluti metanlosunar getur verið á þessu formi, en hluti þess metans sem er uppleystur í vatni getur einnig hvarfast við súrefni og vatn í loftaða hluta vatnsbolsins, þ.e. í efsta lagi hans, og getur þannig annað hvort oxast yfir í CO₂ áður en það nær upp að yfirborði lónsins þar sem það losnar í andrúmsloftið, eða orðið eftir í vatninu sem karbónat eða bundið málmjónum⁴.

Erlendar rannsóknir gefa til kynna að losun gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum sé ákaflega breytileg. Magn gróðurhúsalofttegundanna sem losnar er háð ýmsum þáttum, en þeir helstu eru eftirfarandi:

- heildarmagn lífræns efnis í jarðvegi og gróðri sem fer undir vatn
- styrkur súrefnis í vatnsbolnum
- lögun lóna og þá einkum dýpi
- hitastig
- veðurfar
- kolefnisbúskapur og næringarefnastaða þeirra vistkerfa sem fara undir vatn



- = CO₂ fjarlægt úr andrúmslofti með ljóstillífum (nýmyndun lífræns efnis)
- = CO₂ myndað með jarðvegsöndun (niðurbrot lífræns efnis) og skilað til andrúmsloftsins
- = Metanlosun úr mýri (CH₄) = Möguleg metanupptaka í móa
- = Möguleg N₂O losun úr mýri



- = CO₂ fjarlægt úr andrúmslofti með ljóstillífum (nýmyndun lífræns efnis) = Möguleg N₂O losun úr lóni
- = CO₂ myndað með öndun (niðurbrot lífræns efnis) og oxun CH₄ og skilað til andrúmsloftsins
- = Oxun CH₄ í vatnsbolnum yfir í CO₂ = Möguleg metanupptaka í móa
- = Metanlosun úr lóni og seti (CH₄) = Metanlosun úr seti með loftbólum

MYND 1 Helstu ferli gróðurhúsalofttegunda í gróðurlendum, fyrir (efri mynd) og eftir (neðri mynd) það hefur verið sett undir vatn¹. Myndir fengnar úr skýrslu Lbhí frá 2008⁴ (Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson, 2008).

Sá þáttur sem vegur þyngst í losun gróðurhúsalofttegunda er heildarmagn gróðurs og lífræns jarðvegs sem fer undir vatn í hverju tilviki. Á Íslandi fer almennt minna af grónu landi undir lón en erlendis. Hins vegar inniheldur íslenskur jarðvegur meira af lífrænu efni en flestar erlendar jarðvegsgerðir þar sem íslenskur jarðvegur er að stærstum hluta eldfjallajörð (andosol)². Þessi mikli forði af lífrænu efni í jarðvegi getur haft áhrif á hversu lengi gróðurhúsaáhrif lónamyndunarinnar vara. Þá getur lágt hitastig í vatni lóna einnig lengt niðurbrotstíma þess efnis sem sökk er, en hitastig er ráðandi þáttur fyrir starfsemi niðurbrotsörvera.

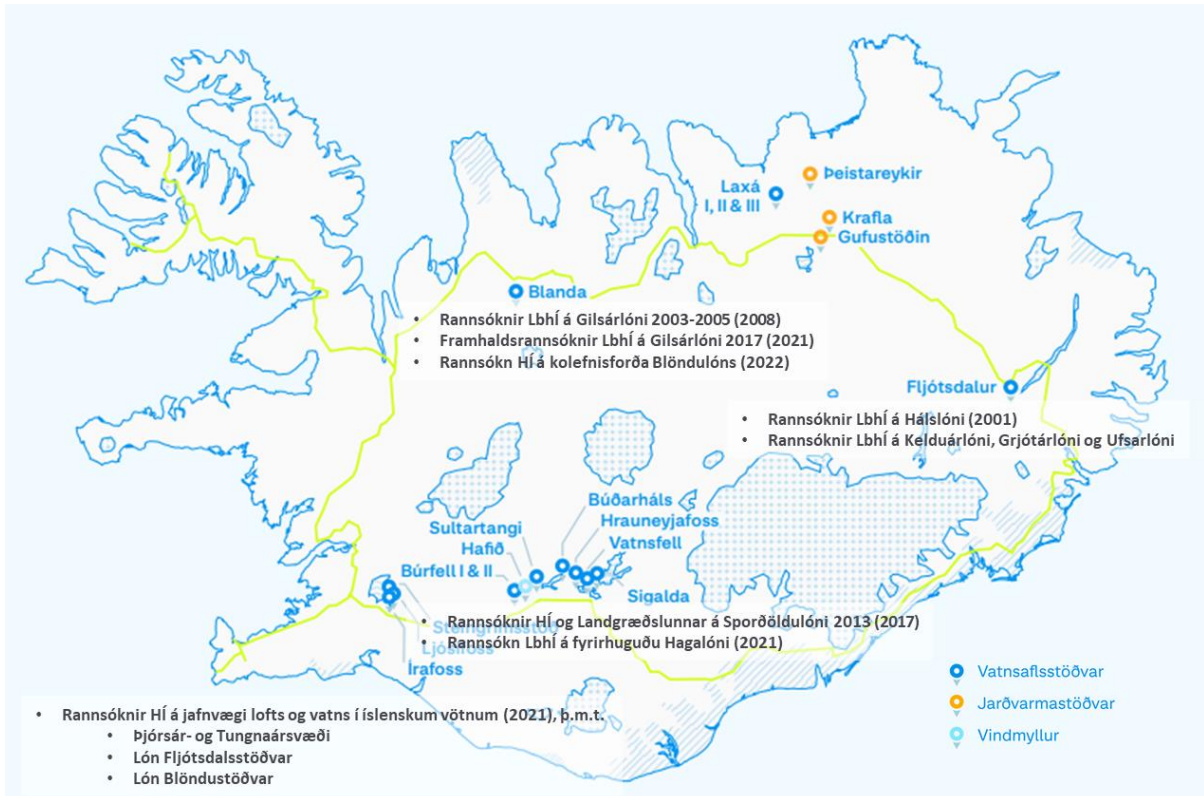
Lífrænn setburður inn í lóni og nýmyndun lífræns efnis í lónum getur viðhaldið losun að einhverju leyti⁴. Þá vegur binding koltvísýrings í nýmyndaða lífræna efninu að einhverju leyti upp á móti heildarlosun metans og koltvísýrings sem kemur til vegna niðurbrots lífræna efnisins. Á sama tíma getur innrennsli steinefnis í setburði, t.d. innrennsli jökulsets sem inniheldur bæði leir og silt, hindrað eða tafið þessa gaslosun með því að mynda þétt og ógegndræpt yfirborðslag á vatnsbolnum. Þetta getur gert það að verkum að gasið finnur sér annan farveg eða brýst jafnvel fram á yfirborðið við jaðra vatnsbolsins.

¹ Landsvirkjun (2008) Loftslagsbókhald 2007 (LV-2008/193)

² RALA (2002). ÝMIR. Rannsóknaverkefni tileinkað íslenskum jarðvegi. Rannsóknastofnun landbúnaðarins

2 RANNSÓKNIR Á LOSUN FRÁ LÓNUM LANDSVIRKJUNAR

Landsvirkjun hefur staðið að rannsóknum um losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum fyrirtækisins frá aldamótum, eða í um tuttugu ár, og hefur notið til þess sérfræðipækkingar Landbúnaðarháskóla Íslands (Lbhí), Landgræðslunnar (LR) og Háskóla Íslands (HÍ). Hér á eftir verður fjallað um helstu rannsóknir sem gerðar hafa verið um þetta málefni auk þess sem getið er þeirra rannsókna sem enn standa yfir.



MYND 2 Yfirlitsmynd af þeim rannsóknum sem gerðar hafa verið varðandi losun frá lónum Landsvirkjunar.

Vert er að nefna að ekki hafa verið gerðar rannsóknir á öðrum en lónum Landsvirkjunar, svo vitað sé, að undanskilinni Skeiðsfossvirkjun í Skagafirði, sem er í eigu Orkusölnunnar og var gangsett 1947. Landbúnaðarháskólinn gerði þar frumathugun á losun metans úr lónstæði aflstöðvarinnar, sem gaf til kynna að losunin væri lítil eða engin, a.m.k. á þeim hluta lónstæðisins sem væri á þurru hluta á ári³.

³ Landbúnaðarháskóli Íslands (2019) Minnisblað. Frumathugun á losun úr lónstæði Skeiðsfossvirkjunar.

2.1 Blöndustöð - rannsókn Lbhí á Gilsárlóni

Landbúnaðarháskóli Íslands stóð að mælingum á Gilsárlóni, lóni Blöndustöðvar, á árabílinu 2003 – 2005⁴, eða um 15 árum eftir að land fór undir vatn við gangsetningu stöðvarinnar árið 1991. Birt var ítarleg niðurstöðuskýrsla árið 2008 sem fjallað er nánar um hér á eftir, en um fyrstu rannsókn sinnar tegundar var að ræða hér á landi. Rannsóknin skiptist í megindráttum í fjóra þætti;

1. mælingar á grunnbreytum (veðurfarsþættir, eðlisþættir og efnþættir),
2. mat á losun gróðurhúsalofttegunda (CO_2 , CH_4 og C_2O) úr Gilsárlóni (flæði um yfirborð, losun með loftbólum og afgösun frárennslisvatns),
3. mat á flæði gróðurhúsalofttegunda (CO_2 , CH_4 og C_2O) í vistkerfum svipuðum og þeim sem fóru undir vatn við gerð lónsins og
4. samanburður við önnur lónstæði (losun metans úr kjörnum af Gilsárlónssvæði borin saman við losun metans úr kjörnum af Þjórsár-Tungnaárvæðinu)

Niðurstöður rannsóknanna eru teknar saman í töflu 1 og settar í samhengi við þá losunarstuðla sem þær leystu af hólmi. Losun koltvísýrings á sér stað með flæði um yfirborð lónsins, að meðaltali um $9,8 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$, en einnig er losun vegna afgösunar á vatni sem rennur í gegnum virkjun eða yfirfall $3,1 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$. Ekki er gert ráð fyrir losun koltvísýrings þann tíma ársins sem ís er á lóninu, hvorki með flæði um yfirborð né með afgösun, en gert er ráð fyrir að þegar ís liggja á lóninu er hitastig það lágt að starfsemi örvera er með minnsta móti og gasmyndun hverfandi, eins og mælingar hafa sýnt fram á³. Eins og sjá má í töflu 1 var og er gert ráð fyrir að u.þ.b. 90% af heildarkolefnismagninu sem losnar í andrúmsloftið sé í formi CO_2 , og 10% í formi CH_4 .

Losun metans var hinsvegar metin meiri með loftbólum heldur en með flæði eða afgösun. Engin losun hláturgass (N_2O) mældist á rannsóknartímabilinu og hefur í kjölfar þess N_2O losun verið metin engin, hvorki í losunarbókhalda Íslands né Landsvirkjunar (kaflar 3.1 - 3.2).

Í rannsókninni var einnig kannað hvort að hægt væri að áætla losun metans og hláturgass úr lónum út frá magni lífræns efnis sem færi undir vatn, og þar með meta losun gróðurhúsalofttegunda úr viðkomandi lóni. Gerðar voru því tilraunir með jarðvegskjarna frá Þjórsár-Tungnaárvæðinu, þar sem magn lífræns kolefnis og losun metans frá jarðvegskjörnum var mæld og borin saman við jarðvegskjarna frá svæðinu við Gilsárlón. Sýni voru tekin úr sex mismunandi vistgerðum á Þjórsár-Tungnaárvæðinu svo að hægt væri að áætla kolefnisinnihald í lónstæðum Bjarnarlóns, Sultartangalóns, Hrauneyjalóns, Krókslóns og Vatnsfellslóns. Niðurstöðurnar gáfu til kynna að gott samband væri á milli losunar metans og magns lífræns kolefnis, og var áætluð dagslosun metans áætluð margfalt eða hundrafalt minni frá lónum Þjórsár-Tungnaárvæðisins en frá Gilsárlóni.

⁴ Hlynur Óskarsson og Jón Guðmundsson (2008). Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna. Rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006. Skýrsla Landsvirkjunar nr. LV-2008/028.

TAFLA 1 Flæðistuðlar fyrir losun CO₂ og CH₄ úr Gilsárlóni, ásamt losunarstuðlum IPCC, aðlagð úr skýrslu Lbhí um rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006 (Óskarsson & Guðmundsson, 2008). Losun CO₂ og CH₄ er umreiknuð yfir í losun C út frá mólmassa. Losunarstuðlar frá Gilsárlóni voru notaðir til grundvallar uppfærslu á losunarstuðlum í loftslagsbókhaldi Íslands, og leystu af hólmi stuðla sem fram koma til hægri (gráletrað). Sjá nánari umfjöllun um stuðla landsbókhaldsins í kafla 3.1.

LOFTTEGUND	TÍMABIL	FERLI	LOSUN ÚR GILSÁRLÓNI ¹			LOSUN SKV. IPCC 2006 ²		
			[kg ha ⁻¹ d ⁻¹]	kg C [kg ha ⁻¹ d ⁻¹]	% af C	[kg ha ⁻¹ d ⁻¹]	kg C [kg ha ⁻¹ d ⁻¹]	% af C
CO ₂	Íslaust tímabil	flæði	9,8			11,8		
		afgösun	3,1					
	Lónið lagt ís	flæði	0			0		
		afgösun	0					
		Samtals	12,9	3,5	89,7%	11,8	3,218 ⁵	91,9%
CH ₄	Íslaust tímabil	flæði	0,024			0,086		
		loftbólur	0,48			0,29 ³		
		afgösun	0,02					
	Lónið lagt ís	flæði	0			0		
		loftbólur	0,012			0		
		afgösun	0					
	Samtals	0,536	0,402	10,3%	0,376	0,282 ⁴	8,1%	
				100%			100%	

¹Tier 2-3 nákvæmni með innlendum losunarstuðlum. Í landsbókhaldinu eru þessir stuðlar margfaldaðir með stærð lóna og kolefnisforða í jarðvegskjarna, þar sem þær upplýsingar liggja fyrir. ²Tier 1 nákvæmni með alþjóðlegum stuðlum [IPCC, 2006](#).

³Stuðull úr leiðbeiningum [IPCC, 2003](#), fallið var frá því að nota hann fyrir CH₄-loftbólur í 2006 leiðbeiningunum.

⁴Í [2019 uppfærslu IPCC](#) leiðbeininganna fyrir losun metans frá lónum er vitnað í niðurstöður sex mælinga (Íslenskar ekki meðtaldar) í kaldtempruðu þurru og röku loftslagi (e. boreal dry and moist) á bilinu 0,004 – 0,13 kg C-CH₄ ha⁻¹ d⁻¹, og í niðurstöður sextán mælinga á bilinu 0 – 3,6 kg C-CH₄ ha⁻¹ d⁻¹ í köldu tempruðu, þurru og röku (e. cool temperate moist and dry).

⁵Í 2019 uppfærslu IPCC leiðbeininganna eru Tier 1 stuðlar fyrir CO₂ losun frá lónum sem eru ≤20 ára gömul uppfærðir í 0,84-1,05 tonn CO₂-C ha⁻¹ ári⁻¹ sem samsvarar 2,3 – 2,9 eða meðaltal 2,58 kg CO₂-C ha⁻¹ d⁻¹ fyrir boreal loftslag (reiknað með G-Res tólinu, sjá nánari umfjöllun í kafla 3.3).

Í kjölfar þessarar rannsóknar var líkan sem lýsir þessu sambandi þróað af Landbúnaðarháskólanum og notað til þess að spá fyrir um losun úr öðrum lónum Landsvirkjunar. Þetta líkan hefur verið notað til að meta árlega losun frá lónum Landsvirkjunar í loftslagsbókhaldi Íslands (kafla 3.1) og í loftslagsbókhaldi Landsvirkjunar (kafla 3.2). Þetta mat var svo betrubætt fyrir fáeinar aflstöðvar í kjölfar rannsókna Háskóla Íslands og Landgræðslunnar á jarðvegskjörnum úr Sporðöldulóni 2013, sjá nánar í kafla 2.3, í þeim tilgangi að meta heildarlosun kolefnis yfir skilgreindan líftíma, sjá kafla 4.

2.2 Blöndustöð – framhaldsrannsóknir Lbhí

Rannsóknir **Landbúnaðarháskóla Íslands** á Gilsárlóni standa enn yfir. Þær mælingar sem stóðu yfir á árabílinu 2003-2005 öfluðu mikilvægra upplýsinga um uppsprettur losunar og í hvaða formi losunin á sér stað en gaf ekki fullnægjandi upplýsingar um heildarmagn eða þróun losunar með tíma.

Mælingar Lbhí á Gilsárlóni voru endurteknar sumarið 2017 og stóðu mælingar yfir út haustið sama ár. Um er að ræða mælingar sem fram fara rúmum 10 árum eftir að upphaflegu mælingarnar fóru fram 2003-2006 (kafla 2.1) og um 25 árum eftir að landið var sett undir vatn 1991. Vonast er til þess að niðurstöðurnar varpi frekara ljósi á þróun losunar með tímanum við íslenskar veðurfarsaðstæður, en fyrri rannsóknir í öðrum heimshlutum hafa bent til þess að losunin eigi sér stað fyrst og fremst á fyrstu

tíu árunum eftir að landi er sökkt¹. Þetta á ekki endilega við um norðlægari slóðir og verður þetta einnig fyrsta rannsókn sinnar tegundar, þar sem fylgst er með losun yfir lengri tíma.

Unnið er úr niðurstöðum mælinga og er gert ráð fyrir að þær liggi fyrir á árinu 2021.

2.3 Fljótsdalsstöð - Rannsókn RALA og Lbhí

Lagt var mat á fyrirhugaðri losun gróðurhúsalofttegunda frá Fljótsdalsstöð á hönnunarstigum stöðvarinnar. **Rannsóknarstofnun Landbúnaðarins (nú Lbhí)** lagði mat á þessa losun annars vegar með því að taka borkjarnasýni á nokkrum stöðum úr botnstæði Háslóns, og hins vegar með gasflæðimælingum af yfirborði Blöndulóns⁵. Tekin voru sýni í ólíkum vistgerðum og var langstærstur hluti kolefnisins bundinn í giljamóavist, sem var bæði grösugasta og útbreiddasta vist svæðisins. Metin var „manngerð losun“, þ.e. dregin var upptaka gróðurhúsalofttegunda frá svæðinu áður en landinu var sökkt frá áætlaðri losun eftir því var sökkt. Á þessum tímamarki var heildarlosun metin vera af stærðargráðunni 500-5.000 tonn CO₂-ígildi/ári, en þetta samræmist uppfærðu heildarmati í kjölfar fleiri rannsókna (kafla 4.2), eða 1.500 tonn CO₂-ígildi/ári.

Jarðvegssýni og jarðvegskjarnar voru teknir frá Kelduárlóni, Grjótárlóni og Ufsarlóni í tengslum við Ufsar- og Hraunaveitur. Kolefnisforðinn í lónunum var reiknaður út frá lífrænu innihaldi jarðvegssýnanna (sjá kafla 4.2) og gerð var tilraun til að meta magn losunar frá sökktum jarðvegskjörnum. Niðurstöður þessara mælinga, þ.e. kolefnisforði lónanna, hefur verið nýttur í bæði losunarbókhald Íslands og í vistferilsgreiningu fyrir Fljótsdalsstöð⁶.

2.4 Búðarhálsstöð - rannsókn HÍ og Landgræðslunnar á borkjörnum úr Sporðöldulóni

Líf- og umhverfisvísindastofnun Háskóla Íslands og Landgræðslan rannsökuðu borkjarna úr botnstæði Sporðöldulóns, lóni Búðarhálsstöðvar⁷, og fóru mælingar fram í september árið 2013. Skýrslan var fyrst gefin út 2014, en var uppfærð í febrúar 2017 eftir endurútreikninga. Niðurstöðurnar bentu til þess að losun koltvísýrings frá jarðvegi sem fór undir vatn var í beinu hlutfalli við magn lífræns efnis í honum.

Rannsóknin fór þannig fram að jarðvegssýnum var safnað á 12 mismunandi stöðum innan lónstæðis Sporðöldulóns áður en land fór undir vatn. Á rannsóknarstofu voru sýni úr jarðvegskjörnum bleytt að „field capacity“ og losun koltvísýrings frá jarðvegi var mæld við staðlaðar aðstæður (25°C) í 365 daga og við 5°C og 15°C í 30 daga og endurspegla mælingarnar því hraðaða losun miðað við núverandi umhverfisaðstæður. Niðurstöður rannsóknarinnar leiddu í ljós að **samanlögð losun kolefnis var um 10% af heildarkolefni jarðvegsins í efstu 30 cm jarðvegslagsins**, en losun var mest í efstu 5 cm jarðvegs og nam allt að 16% af heildarkolefni. Fram kemur í rannsóknarskýrslu að hraði CO₂ losunar tengist magni lífræns efnis í jarðvegi og var hún mest í jarðvegi í graslendi, svo í sandbleytuvotlendi og loks á mel. Á grundvelli niðurstaða þessarar rannsóknar er í vistferilsgreiningum fyrir Búðarhálsstöð,

⁵ Óskarsson, H. og Guðmundsson, J. (2001). Mat á gróðurhúsaáhrifum fyrirhugaðs Háslóns. Rannsóknarstofnun landbúnaðarins, LV-2001/019

⁶ Óskarsson, H. og Guðmundsson, J. (óúttefni gögn). Mat á kolefnisforða í Kelduár-, Grjótár- og Ufsarlónum, mælt á tímabilinu 2006 – 2008.

⁷ Guðrún Gísladóttir, Utra Mankasingh, Jóhann Þórssón (2017). Physical and chemical soil properties of different land cover types, related to soil carbon at Sporðöldulón, RH-06-2014. Háskóli Íslands og Landgræðslan.

Blöndustöð, Fljótsdalsstöð og Búrfellsstöð II sjá kafla 4) reiknað með að 10% þess kolefnis sem fyrir finnst í lónstæðum losni úr efstu 30 cm jarðvegslags í andrúmsloftið á 100 ára líftímanum.

Gerð var tilraun til þess að grípa losun gróðurhúsalofttegunda frá Sporðöldulóni líkt og gert var í rannsókn Lbhí á Gilsárlóni (kafla 2.1), en fyrstu mælingar bentu til þess að engin losun væri mælanleg. Þetta leiddi til þess að farið var að huga að uppleystu CO₂ í vatni og hvaða þættir hefðu áhrif á leysni þess, t.d. hitastig og sýrustig, sjá nánar í kafla 2.4.

Gefin var út tímaritsgrein árið 2019 um þróun jarðvegs út frá ofangreindum rannsóknum⁸, en ekki þann þátt er varðar losunina, hvorki fyrir né eftir að land fór undir vatn. Unnið er frekar úr losunargögnum frá Sporðöldulóni og stefnt er að ritrýndri grein á árinu 2021.

2.5 Hvammsvirkjun - rannsókn Lbhí á fyrirhuguðu Hagalóni

Landbúnaðarháskóli Íslands er búinn að meta kolefnisforða sem fer undir fyrirhugað Hagalón, inntakslón Hvammsvirkjunar⁹. Tekin voru jarðvegs- og rúmþyngdarsýni úr 7 helstu gróðurlendum, þ.e. svarðsýni og gróðursýni. Greint var kolefnismagn í sýnunum og niðurstöður um heildarmagn kolefnis sem færi undir vatn birtar í skýrslu sem kom út í lok árs 2020.

TAFLA 2 Heildarmagn lífræns kolefnis í lónsstæði fyrirhugaðs Hagalóns og áætluð dagleg losun metans úr lóninu yfir sumarmánuðina⁵, en losunin er áætluð út frá áður birtu líkani (k. 2.1).

STÆRÐ LÓNSSTÆÐIS	MAGN KOLEFNIS Í LÓNSSTÆÐI	MAGN KOLEFNIS Á M ²	ÁÆTLUÐ LOSUN CH ₄ Á M ² Á DAG
4,02 km ²	14.102 t C	3,5 kg C/m ²	2,1 mg CH ₄ /m ² dag

Ef beitt yrði sömu nálgun og gert var í kjölfar rannsókna við Sporðöldulón, til að meta heildarlosun á líftímanum – sjá kafla 4 - væri losunin 9.354 tonn CO₂-ígildi, sjá útreikninga hér að neðan. Þetta er sambærilegt áætlaðri heildarlosun fyrir Sporðöldulón (9.422 tonn CO₂-ígildi)¹⁰. Þrátt fyrir að magn kolefnis sé umtalsvert í gróðurlendum fyrirhugaðs Hagalóns er jafnaðarmagn kolefnis á hvern fermetra lónsstæðisins frekar lágt (3,5 kg/m²) sökum þess að tveir þriðju hlutar stæðisins er árfarvegurinn sjálfur⁵.

TAFLA 3 Dæmi um útreikninga á losun gróðurhúsalofttegunda frá lóni fyrirhugaðrar Hvammsvirkjunar, sjá einnig fyrirmynd útreikninga í kafla 4 (töflu 7).

BREYTA	ÚTREIKNINGAR	MAGN
Heildarmagn kolefnis í lónstæði Hagalóns	14.102.000 kg C	14.102.000 kg C
Heildarmagn kolefnis sem losnar í andrúmsloft sem CO ₂ eða CH ₄ frá Hagalóns á líftímanum (10%)	0,1 x 14.102.000 kg C	1.410.200 kg C
Heildarlosun í formi CO ₂ (90%)	0,9 x 1.410.200 kg C x 44/12	4.653.660 kg CO ₂
Heildarlosun í formi CH ₄ (10%)	0,1 x 1.410.200 kg C x 16/12	188.027 kg CH ₄
Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á 100 árum	4.653.660 kg CO ₂ + 188.027 kg CH ₄ x 25	9.354.335 kg CO ₂ -ígilda

⁸ Mankasingh, U. & Gísladóttir, G. (2019) Early indicators of soil formation in the Icelandic sub-arctic highlands. Geoderma 337; pp. 152-163.

⁹ Hlynur Óskarsson, Gunnhildur E. Gunnarsdóttir og Fanney Ó. Gísladóttir (2020) Kolefnisforði í jarðvegi og gróðri fyrirhugaðs Hagalóns. Rit Lbhí nr. 132

¹⁰ Ef stuðst væri við ofangreinda áætlaða árlega losun metans mætti ætla að losun ætti sér stað á fyrstu 61 árum lónsins; 188.027 kg CH₄ / (2,1 mg CH₄/m² dag⁻¹ x 4,02 km²).

2.6 Blöndustöð - rannsókn HÍ á botnseti Blöndulóns

Land- og ferðamálafræðistofa við Líf- og umhverfisvísindastofnun Háskóla Íslands rannsakar losun kolefnis úr miðlunarlónum Landsvirkjunar. Árið 2015 voru tekin sýni úr botnseti Blöndulóns og árið 2018 sambærileg sýni úr jarðvegi í kringum Blöndulón. Tilgangur þessa verkefnis er að meta losun kolefnis og koldíoxíðs úr jarðveginum í eftirfarandi dýptum: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm og 20-30 cm og við 5°C, 15°C og 25°C. Rannsókninni er stýrt af Guðrúnu Gísladóttur og unnin ásamt Utru Mankasingh. Áætlað er að verkefninu ljúki 2022.

Upphaflega stóð til að mæla losun metans frá Blöndulóni með sambærilegri aðferð og gert var á Gilsárlóni (k. 2.1). Engin losun mældist hins vegar sumarið 2016 þegar mælt var, e.t.v. vegna mikillar setmyndunar ofan á lóninu, en þekkt er að aukin mótstaða við yfirborð getur leitt til stærri loftbólumyndunar og til losunar við lónsbakka. Voru mælingar því færðar yfir á Gilsárlón sumarið 2017 (sjá kafla 2.1). Setmyndun á lónbotni getur að sama skapi orðið til þess að gas leitar í annan farveg þar sem mótstaðan er minni. Við mælingar á strandrofi við Blöndulón um síðustu aldamót sáust ummerki um sprungna jörð í mólendi stutt frá lónsbakka, sem getur hugsanlega bent til losunar metans. Telja má líklegt að Blöndulón taki við langmesta setinu sem berst inn í kerfið, og að lítið sé eftir nema svif þegar vatnið rennur svo inn í Gilsárlón.

2.7 Rannsókn HÍ á jafnvægi CO₂ milli vatns og lofts í íslenskum vötnum

Mælingar á íslenskum árvötnum og stöðuvötnum hafa sýnt að í mörgum tilfellum eru vötnin undirmettuð af uppleystu ólífrænu kolefni og hafa þau því þann möguleika til að taka upp kolefni úr andrúmsloftinu¹¹. Í einhverjum tilfellum er upptaka eða losun árstíðabundin og í öðrum er nánast um jafnvægisástand að ræða árið um kring.

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands vinnur nú að samantekt á jafnvægisástandi kolefnis milli lofts og íslenskra vatna, þ.e. flæði koltvísýrings milli vatns og lofts í íslenskum stöðuvötnum, árvötnum og lónum. Rannsókninni er ætlað að varpa betur ljósi á stærðargráðu flæðis koltvísýrings milli vatnanna og andrúmslofts, og bera jafnframt saman náttúruleg vötn við vatnsboli sem hafa myndast eða breyst af mannanna völdum. Rannsókninni er hluti af doktorsverkefni Tobias Linke og stýrð af Sigurði Reyni Gíslasyni. Stefnt er að birtingu niðurstaða í ritrýndri grein á árinu 2021.

Rannsóknin byggir á umfangsmiklum gagnabanka sem nær yfir mælingar á íslenskum vötnum; stöðuvötn, árvötn og lón sem ná aftur til ársins 1998. Valin eru vötn með hliðsjón af gæði gagna og til þess að endurspegla ólíkar niðurstöður. Af lónum Landsvirkjunar er áhersla lögð á lón Þjórsár- og Tungnaársvæðisins, Fljótsdalsstöðvar og Blöndustöðvar. Einnig eru skoðuð reglubundnar mælingar frá öðrum lónum og náttúrulegum vötnum á borð við Mývatn, Elliðavatn, Langasjó og Skorradalsvatn til að athuga hvornig árstíðir hafa áhrif á flæði CO₂, og hvort að innrennsli grunnvatns eða yfirborðsárvatna hafi áhrif á flæðið.

¹¹ Gíslason, S.R., Arnórsson, S., og Ármannsson, H. (1996) Chemical weathering of basalt in SW Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. *American Journal of Science*, 296, pp. 837-907.

3 MAT Á LOSUN FRÁ LÓNUM

3.1 Loftslagsbókhald Íslands - IPCC

Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum hér á landi er skráð í útstreymisbókhalði Íslands (e. National Inventory Report, NIR) undir þættinum landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt (e. LULUCF). Þetta er einn þeirra þátta sem aðildarþjóðir Rammasamnings Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (e. United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) hafa skuldbundið sig til að gefa upp í losunarbókhalði. Losun frá LULUCF er þó ekki að öllu leyti hluti af skuldbindingum Íslands á yfirstandandi skuldbindingartímabili Kyotobókunarinnar (2013 – 2020, CP2), þar sem Ísland hefur skuldbundið sig til að draga úr losun um 20% fyrir árið 2020 miðað við 1990. Á þessu tímabili sem lýkur 2020 ná skuldbindingarnar ekki til losunar frá alþjóðaflugi né losunar frá landnotkun og skógrækt (LULUCF), þó svo að gera þurfi grein fyrir þeirri losun í losunarbókhalðinu.

Parísarsáttmálinn var samþykktur árið 2015 og undirritaður af Íslandi árið 2016. Samningurinn tók gildi árið 2016 en, en hann setur lagalegan ramma utan um skuldbindingar þátttökuríkja og nær til aðgerða eftir árið 2020. Í landsákvörðun Íslands er stefnt að 40% samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda árið 2030 miðað við árið 1990, í samstarfi við aðildaríki ESB og Noreg. Ákvörðunin tekur meðal annars mið af LULUCF reglugerð nr. 2018/84. Þetta hefur í för með sér að skuldbindingar Íslands munu að þessu sinni ná yfir losun frá þessum flokki, en úthlutaðar verða ákveðnar heimildir til aðildaríkja til þess að hvetja til aðgerða í þessum flokki.

Mat á losun gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum landsins var til ársins 2008 byggt á losunarstuðlum (nákvæmniflokkur Tier 1) sem ráðgjafarstofnun Rammasamnings Sameinuðu þjóðanna (IPCC) hefur gefið út. Ráðgjafarstofnunin mælir með notkun nákvæmari aðferða en þessa losunarstuðla (Tier 2 eða 3), en til þess þarf að framkvæma rannsóknir í hverju landi fyrir sig. Í kjölfar rannsóknarinnar sem Landbúnaðarháskólinn vann á Gilsárlóni 2003 – 2006 (kafla 2.1) voru stuðlarnir uppfærðir.

3.1.1 Núverandi aðferðafræði

Í landsbókhalðinu er losun reiknuð skv. Tier 2 og Tier 3 nákvæmniflokkum. Lón allra vatnsaflsstöðva á landinu falla undir fjóra landgerðarflokka í losunarbókhalðinu:

WETLAND REMAINING WETLAND (CRF 4D1)

- Mires converted to reservoirs
- Lakes and rivers converted to reservoirs

LAND CONVERTED TO WETLANDS (CRF 4D2)

- Grassland converted to flooded land – Medium SOC to reservoirs
- Other land converted to flooded land – Low SOC to reservoirs

Losunin er reiknuð fyrir ofangreinda flokka jarðvegs eftir kolefnisinnihaldi þeirra, þ.e. flokkað er í þrennt „High SOC“, „Medium SOC“ og „Low SOC“ (e. soil organic content, SOC). Land með hátt kolefnisinnihald jarðvegs eða >50 kg C/m² er m.a. votlendi og kolefnisríkan eldfjallajarðveg (andosol).

Í bókhaldinu er stærð landgerða sem fór undir vatn metin út frá kortagögnum og er þá annarsvegar um að ræða sértæka losunarstuðla fyrir tíu lón Landsvirkjunar (eitt High SOC, þrjú Medium SOC og sex Low SOC) og hins vegar meðaltal þessara stuðla innan hvers flokks þegar kolefnisinnihald jarðvegsins er ekki þekkt, sjá töflu 4. Í leiðbeiningum IPCC frá 2006 var mælt til þess að gera ráð fyrir þessari losun í tíu ár eftir að landi er sökkt, ekki nema innlendar rannsóknir bendi til annars, en líkt og greint hefur verið frá í kafla 2 benda innlendar rannsóknir til þess að losun eigi sér stað yfir lengri tíma hér á landi. Haldið hefur verið utan um þetta mat á losun frá lónum af Lbhí, en frá árinu 2019 var LULUCF flokkurinn færður undir umsjón Landgræðslunnar.

TAFLA 4 Losunarstuðlar fyrir lón vatnsaflsstöðva á Íslandi, eins og þau eru reiknuð í loftslagsbókhaldi Íslands. Í landsbókhaldinu er gert ráð fyrir meðalgildi íslausra daga á hverju ári skv. meðmælum IPCC, þ.e. 215 íslausir dagar.

LOSUNARSTUÐULL [KG GHG/HA/DAG]						
Vatnsaflsstöð	Flokkun lóna	CO2 íslausir dagar	CO2 ísilagðir	CH4 íslausir dagar	CH4 ísilagðir	
"Low SOC"						
Sigöldustöð	Krókslón	0,23	0	0,0092	0	
Hrauneyjafossstöð	Hrauneyjalón	0,106	0	0,0042	0	
Búrfellsstöð	Bjarnalón	0,076	0	0,003	0	
Vatnsfellsstöð	Vatnsfellslón	0	0	0	0	
Sultartangastöð	Sultartangalón	0,083	0	0,0033	0	
Fljótsdalsstöð	Háslón	0,392	0	0,0157	0	
Fljótsdalsstöð	Grjótárlón	0,2472	0	0,0099	0	
<i>Meðaltal (öll önnur „Low SOC“ lón)</i>		0,162	0	0,0065	0	
"Medium SOC"						
Blöndustöð	Blöndulón	4,67	0	0,187	0,004	
Fljótsdalsstöð	Ufsárlón	0,902	0	0,036	0,0008	
Fljótsdalsstöð	Kelduárlón	0,77	0	0,031	0,0007	
<i>Meðaltal (öll önnur „Medium SOC“ lón)</i>		2,114	0	0,085	0,0018	
"High SOC"						
Blöndustöð	Gilsárlón	12,9	0	0,524	0,012	

Stuðst hefur verið við margfeldistuðulinn 25 fyrir metan í samræmi við fjórðu matskýrslu IPCC frá 2007 (AR4), en þetta er sá stuðull sem notaður er í dag og notast hefur verið við undanfarin ár í loftslagsbókhaldi Íslands¹². Þessi stuðull var hækkaður í 28 í fimmtu matskýrslu IPCC frá 2014 (AR5), en margir aðilar UNFCCC hafa samþykkt að nota áfram AR4 stuðla til að samræma tölur í ólíkum bókhaldskerfum fyrir losun, t.d. loftslagsbókhald landa annars vegar og fyrirtækja og stofnana hins vegar. Þetta er þó ekki einhlítt í öllum kerfum.

Í landsbókhaldinu er reiknuð heildarlosun bæði CO₂ og CH₄ frá lónum skv. **Managed Land Proxy (MLP)**, en þar er litið svo á að um leið og landi eða landnotkun er „stýrt“ á nokkurn hátt, hvort sem er til landbúnaðar eða raforkuvinnslu, þá teljist öll losun „manngerð“ og skal talin fram. Vert er að geta þess að í sérstakri skýrslu IPCC um endurnýjanlega orkugjafa frá 2012¹³ er málefni þessarar losunar

¹² UST (2021) National Inventory Report. Emissions of greenhouse gases in Iceland from 1990 to 2019. [NIR 2021_15 april UNFCCC submission FINAL.pdf \(ust.is\)](#)

¹³ IPCC (2012) Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

vatnsaflsstöðva reifuð. Á þeim tímapunkti var vísindasamfélagið ekki búið að mynda sér skoðun um bestu aðferð til að meta þessa losun, enda var þekkt að í einhverjum tilvikum gætu vatnsbolir eins og lón tekið upp meira kolefni en þau losuðu. Nauðsynlegt var talið að reyna að meta „nettó“ losun, þ.e. að draga frá heildarlosuninni þá losun (eða bindingu) sem hefði ella átt sér stað frá landinu ósökkttu. Vísað var í vinnu IHA og UNESCO, í samstarfi við IEA, um það að þróa leiðbeiningar til útreikninga á losun GHG frá lónum. Nánar er fjallað um þá vinnu í kafla 3.3, og hefur sú vinna leitt af sér uppfærslu á aðferðafræði IPCC, sjá kafla 3.1.2.

Heildarlosun frá landgerðum sem teljast til **votlendis** (4D Wetlands: náttúruleg votlendi sem nýtt eru til beitara, rennislón og uppistöðulón, auk losunar frá stöðu- og straumvötnum) er talinn 1.802 kt CO₂-ígildi í losunarbókhaldi Íslands fyrir árið 2019 (um 0,9% vegna lóna Landsvirkjunar). Þetta er minna en losun frá landgerðum sem teljast til **graslendis** (4C Grasslands: mestmegnis losun frá framræstum mýrum) sem alls losaði 5.809 kt CO₂-ígildi árið 2019. Árið 2019 nam losun frá lónum Landsvirkjunar um 0,1% af heildarlosun Íslands.

Tekið er fram í losunarbókhaldi Íslands að helsta óvissan í þessum stærðum felist annars vegar í breytingu losunar með tíma og eftir aldri lóna, og hins vegar í formi losunar (flæði, afgösun eða loftbólur) og gæðum lífræns efnis sem sökkt er, þ.e. t.d. hvort um sé að ræða mjög torleyst kolefnissambönd (t.d. lignín) eða auðleyst. Sami fjöldi íslausra (215) og ísilagða daga (150) er notaður fyrir öll lón landsins (þ.m.t. lón Landsvirkjunar) og fyrir öll ár, sem veldur einnig ákveðinni skekkju, en betri upplýsingar um þessa daga drægi upp að vissu marki úr óvissu varðandi árlega losun. Óvissan í tengslum við breytingu á kolefnisforða fyrir land sem hefur farið undir lón er metin 121% í landsbókhaldinu¹². Í losunarbókhaldi Landsvirkjunar (kafla 5.2) er fjöldi íslausra og ísilagðra daga talinn í nokkrum lónum og notaður til útreikninga, sem dregur að einhverju leyti úr þeirri tilteknu óvissu.)

Árið 2013 gaf IPCC út svokallaðan Votlendisviðauka við IPCC leiðbeiningarnar frá árinu 2006, rúmlega 350 bls. skýrslu sem unnin var af, á annað hundrað fremstu vísindamanna í faginu um allan heim. Var þar fyllt inn í þær þekkingareyður sem voru að finna í leiðbeiningunum frá árinu 2006 með ítarlegri leiðbeiningum til útreikningar á losun frá náttúrulegu og framræstu votlendi, en þar var ekki bætt við þekkingu umfram leiðbeiningarnar frá 2006 hvað losun frá lónum varðaði. Viðaukinn gegnir þó mikilvægu hlutverki í þessu sambandi að veita leiðbeiningar um mat á losun frá votlendi áður en landi er sökkt, sjá kafla 3.1.2.

3.1.2 Uppfærsla á aðferðafræði IPCC frá 2019

Vorið 2019 gaf IPCC út uppfærslu á samræmdri aðferðafræði frá 2006 til útreikningar loftslagsbókhalds aðildarríkja¹⁴. Uppfærslan byggir á nýjustu þekkingu og er ætlað að bæta nákvæmni bókhalds og fylla inn í þekkingareyður frá því að seinustu leiðbeiningar voru gefnar út. Samkvæmt upplýsingum frá Umhverfisstofnun, sem leiðir samantekt loftslagsbókhaldsins, er Ísland ekki enn búið að skuldbinda sig til að taka mið af uppfærslunni og mun slík ákvarðanatáka ekki eiga sér stað fyrr en á COP26 loftslagsráðstefnunni sem hefur verið frestað til nóvember 2021 vegna heimsfaraldurs. Einnig mun þurfa að taka tillit til þess hvort að uppfærsla muni hafa mikil áhrif á bókhaldið í heild sinni, en eins og

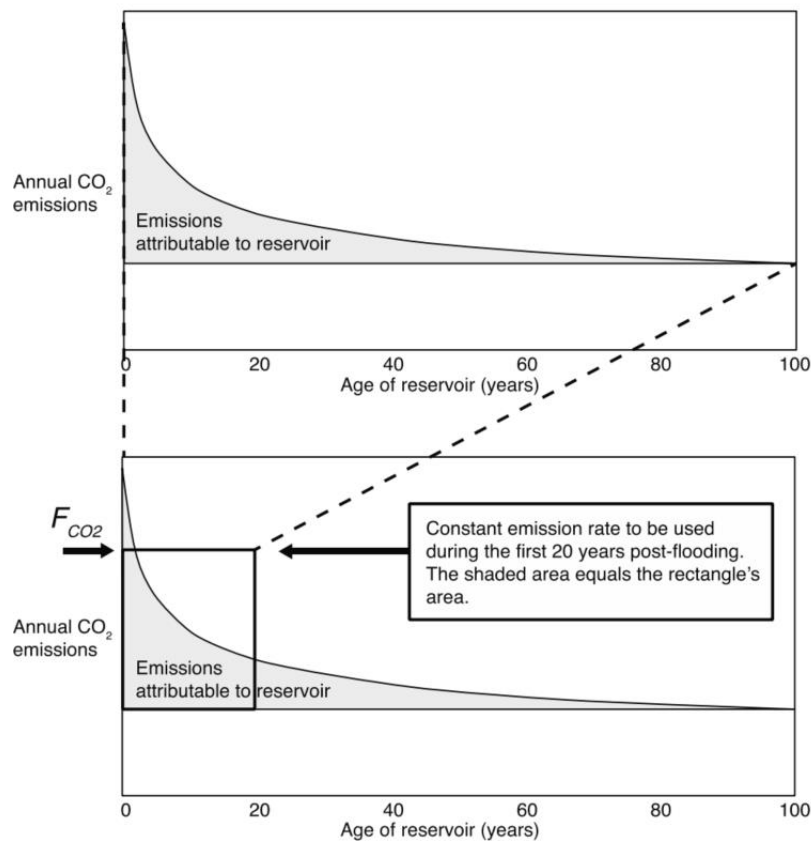
¹⁴ IPCC (2019) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines on National Greenhouse Gas Inventories (2019 Refinement).

fram hefur komið í kaflanum á undan er hlutfallslegt vægi þessa þáttar lítið í landsbókhaldinu, eða 0,1% af heildarlosun Íslands.

Í uppfærslunni eru lón vatnsaflsstöðva flokkuð eftir aldri:

- Flooded Land Remaining Flooded Land – á við um lón sem voru mynduð fyrir meira en 20 árum
- Land Converted to Flooded Land – á við um lón sem voru mynduð fyrir innan við 20 árum.

Veittar eru ítarlegar leiðbeiningar í uppfærslunni um hvernig reikna skuli þessa losun, bæði fyrir metan og koltvísýring. Í uppfærslunni þykir áfram „good practice“ að styðjast við MLP (e. Managed Land Proxy), þ.e. að líta svo á að telja beri fram alla losun frá landi sem er nýtt á einhvern hátt (losun bæði CO₂ og CH₄), líkt og gert hefur verið til þessa. Í aðferðafræðinni bætist við einn kafli (7.3.3) þar sem löndum er einnig gefinn kostur á að telja fram það sem reiknast megi sem „manngerð“ losun, þ.e. að draga frá heildinni þá losun sem hefði annars orðið ef landi hefði ekki verið sökkt, og ber þá að gera ítarlega grein fyrir öllum forsendum í bókhaldinu.



MYND 3 Reiknuð er heildarlosun á 100 ára tímabili og því deilt niður á fyrstu 20 árum eftir að landi er sökkt. Mynd tekin úr uppfærslu frá 2019 á aðferðafræði IPCC til útreikningar á loftslagsbókhaldi aðildaríkja (viðauki 7A.1 við kafla 4)

Í bókhaldinu skal reikna heildarlosun sem vænta megi frá lóni á 100 árum eftir að lónið er myndað, og deila þeirri losun niður á fyrstu 20 árin (mynd 3). Þetta hefði áhrif á núverandi útreikninga sem og útreikninga aftur í tímann fyrir lón landsins. Samkvæmt uppfærslunni eru stuðlar í Tier 1 nákvæmniflokki byggðir á útreikningum í G-Res tólinu (kafli 3.3), en mælst er til þess að lönd sem þróa eigin stuðla styðjist engu að síður við aðferðafræði G-Res líkansins.

Bent er á að í þeim löndum þar sem nægileg gögn liggja fyrir megi einnig taka mið af setmyndun eða aurburði inn í lón og losun inn í útreikninga. Gæta þyrfti þó þess að tekið væri mið af náttúrulegri setmyndun fyrir lónmyndun, frumframleiðslu vatnalífvera, og reglubundinnar sethrensunar.

3.2 Loftslagsbókhald Landsvirkjunar – GHG Protocol

Landsvirkjun hefur gefið út grænt bókhald frá árinu 2007 og hefur birt niðurstöður í umhverfisskýrslum, ársskýrslum og nú síðast í loftslagsbókhaldi. Fyrirtækið hefur þannig fylgst náið með helstu losunarþáttum starfseminnar um árabíl.

Í loftslagsbókhaldinu styðst Landsvirkjun við þá aðferðafræði sem tilgreind er í loftslagsbókhaldi Íslands til að meta losunina (kafla 3.1), en **að auki skráir Landsvirkjun fjölda daga sem ís er yfir lónum Blöndustöðvar og Fljótaldalsstöðvar** til þess að bæta þetta mat. Þannig eru taldir fjöldi íslausra daga (þegar losun er talin eiga sér stað) á Blöndulóni, Gilsárlóni, Háslóni, Ufsárlóni og Kelduárlóni, sem eru öllu jöfnu færri en viðmiðunarfjöldi í landsbókhaldinu, sjá töflu 5. Á öðrum lónum er fjöldi íslausra daga ekki skráður og er miðað við 215 íslausa daga í þeim tilvikum, líkt og í landsbókhaldinu.

TAFLA 5 Fjöldi íslausra daga í helstu lónum Landsvirkjunar á árunum 2016 – 2020. Úr Loftslagsbókhaldi Landsvirkjunar 2020 og 2019.

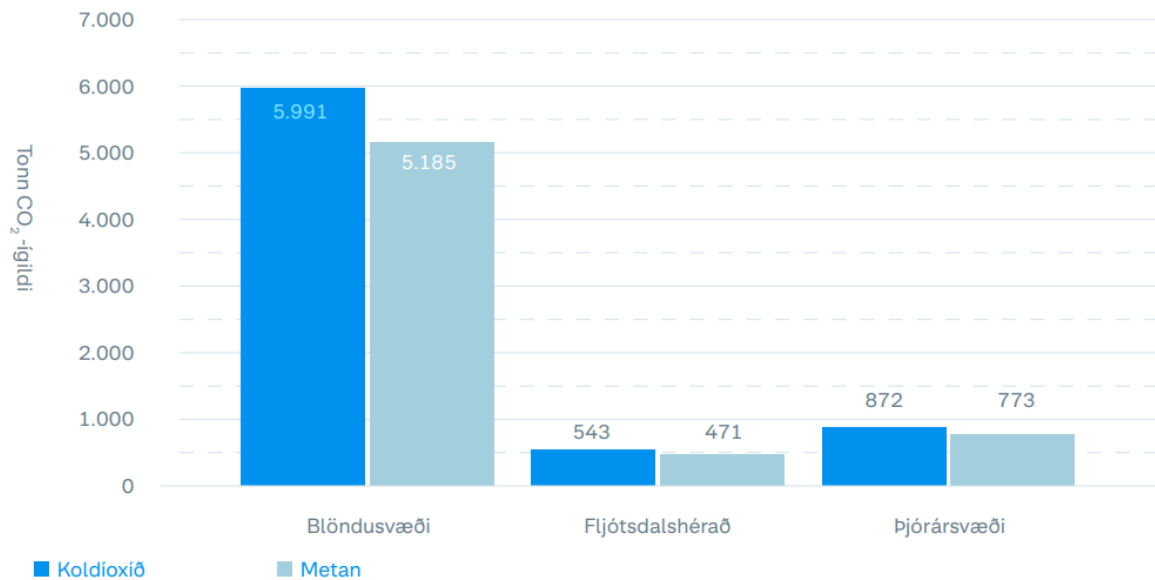
SVÆÐI	LÓN	2016	2017	2018	2019	2020
Blöndusvæði	Blöndulón	183	179	151	189	156
	Gilsárlón	170	181	171	189	160
Fljótaldalssvæði	Háslón	190	186	178	191	171
	Kelduárlón	170	161	146	158	141
	Ufsarlón	190	164	151	158	135

Í loftslagsbókhaldi Landsvirkjunar hefur frá og með árinu 2018 verið stuðst við aðferðafræði **GHG Protocol** og **telst losun CH₄ frá lónum innan umfangs 1, á meðan losun CO₂ frá lónum er skilgreind utan umfanga**. Ástæðan að lífrænt kolefni er talin utan umfanga í GHG Protocol er sú að litið er svo á að gróður sem lendir undir vatn hefur á ævi sinni bundið jafnmikið magn koltvísýrings og hann losar við niðurbrot. Þessi nálgun GHG Protocol er frábrugðin þeirri nálgun sem tiltekin er í loftslagsbókhaldi Íslands, sjá kafla 3.1, sem og í G-Res reiknivélinni (kafla 3.3.), en þar er stuðst við Managed Land Proxy þar sem gefin er upp losun allra gróðurhúsalofttegunda frá tilteknu svæði um leið og það er nýtt af mannavöldum. Þar sem enn er ekki fyllilega þekkt er hvort og að hversu miklu leyti losunin binst í vatnsbol, umbreytist eða losnar í andrúmsloftið hefur Landsvirkjun ákveðið að telja alla ofangreinda losun (CH₄ og CO₂) inn í kolefnisspor fyrirtækisins.

Losun CH₄ frá lónum Landsvirkjunar (umfang 1) hefur verið metin á bilinu 7,4 – 8,7 þúsund tonn CO₂-ígildi á árunum 2018 – 2020 og losun CO₂ frá lónum Landsvirkjunar (utan umfanga) hefur verið metin 6,4 - 7,7 þúsund tonn á sama tímabili, sjá töflu 6. Heildarlosunin hefur verið metin liggja á bilinu um 14 – 16 þúsund tonn CO₂ ígildi í grænu bókhaldi Landsvirkjunar 2007 – 2020. Fyrir árið 2020 jafngildir þessi losun um 0,1% af heildarlosun Íslands. Stærstan hluta losunarinnar, eða um 81% árið 2020, má rekja til lóna Blöndustöðvar (Gilsár- og Blöndulón), sjá mynd 4.

TAFLA 6 Losun frá lónum Landsvirkjunar skv. loftslagsbókhaldi fyrirtækisins 2018-2020^{15,16,17}.

ÁR	LOSUN CH4 þús. tonn CO ₂ -ígildi <i>Umfang 1</i>	LOSUN CO2 þús. tonn CO ₂ -ígildi <i>Után umfanga</i>	ALLS LOSUN GHG þús. tonn CO ₂ -ígildi
2020	7,4	6,4	13,8
2019	8,7	7,7	16,4
2018	7,4	6,5	13,9



MYND 4 Skipting losunar frá lónum milli svæða árið 2020 ásamt skiptingu losunar, annarsvegar á metani (Umfang 1) og hinsvegar á koltvísýringi (utan umfanga). Úr Loftslagsbókhaldi Landsvirkjunar 2020.

3.3 Reiknivélin G-Res

Losun gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum vatnsaflsvirkjana hefur verið rannsökuð á alþjóðavettvangi í nokkra áratugi og varð snemma ljóst að ekki var hægt að heimfæra niðurstöður milli heimshluta vegna samspils allra þeirra þátta sem eiga í hlut. IHA (International Hydropower Association) hefur á undanförunum árum þróað GHG Reservoir (G-res) veftól¹⁸ í samstarfi við UNESCO frá árinu 2010, með stuðningi Landsvirkjunar, Hydro Québec, CTG, Sarawak Energy, Statkraft og Alþjóðabankans. Veftólið er opið öllum og býður öllum hagsmunaaðilum upp á að meta losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum út frá fjölda breyta sem valin eru í tólinu.

¹⁵ [Landsvirkjun \(2019\). Ársskýrsla 2018 – Grænt bókhald 2018 – útgáfa 2.](#)

¹⁶ [Landsvirkjun \(2020\). Ársskýrsla 2019 – Loftslagsbókhald 2019.](#)

¹⁷ [Landsvirkjun \(2021\). Ársskýrsla 2020 – Loftslagsbókhald 2020.](#)

¹⁸ <https://g-res.hydropower.org/>

Í tólinu sjálfu er reiknuð „nettó“ losun eða það sem kalla mætti „manngerða losun“. Vísað er til meðmæla IPCC í skýrslu frá 2011 um endurnýjanlega orkugjafa þar sem mælst er til þess að metin sé þessi „nettó“ losun frá landi sem fer undir vatn, þ.e.

$$\text{Net GHG emissions} = [\text{Post-impoundment GHG balance of the reservoir}] - [\text{Pre-impoundment GHG balance of the reservoir area before its introduction}] - [\text{Emissions from the reservoir due to unrelated anthropogenic sources (UAS)}]$$

Þetta þýðir að dregin er frá heildarlosuninni sú losun sem að hefði átt sér stað náttúrulega á sama tímabili, ef að lón hefði ekki verið myndað. Einnig er tekið mið af því ef að lónið gegnir margvíslegum öðrum tilgangi á borð við áveitu, fiskveiðar, flóðavarnir, útivist eða annað. Inni í tólinu er tekið mið af fjölda umhverfisþátta á borð við hitastig, kolefnainnihald jarðvegs, stærð vatnasviðs o.fl. Þá er tekið mið af æviskeiði lónsins yfir 100 ára tímabil og er þannig frábrugðið stökum punktmælingum á losun frá lónum, sem gefur takmarkaða mynd af þróun losunar með tímanum.

Í nýjustu útgáfu samræmdra leiðbeininga um gerð umhverfisýfirlýsinga fyrir vinnslu og flutning rafmagns¹⁹ er núna mælst til þess að notuð sé G-res reiknivélin til þess að meta losun frá lónum vatnsaflsvirkjana. Ef staðbundnar mælingar á raunlosun liggja fyrir má nota þær, en styðjast skal þá við sömu hugmyndafræði og hér að ofan, þ.e. metin skal nettó losun frá landi sem fer undir vatn. Einnig er G-Res aðferðafræðin höfð til grundvallar í uppfærslu IPCC aðferðafræðinnar frá 2019 til útreikningar á losunarbókhalda aðildaríkja, sjá kafla 3.1.2.

Sé G-Res reiknivélin notuð til að reikna heildarlosun frá Sporðöldulóni í samhengi við vistferilsgreiningu fyrir Búðarhálssstöð (kafla 4.1) er horft framhjá mikilvægri niðurstöðu rannsókna (kafla 2.4) þess efnis að eingöngu 10% jarðvegskolefnisins taldist óstöðugt (e. labile) og gat brotnað niður til að mynda gróðurhúsalofttegundir. Bráðabirgðaútreikningar inni í G-Res líkaninu bentu til þess, að án þess að tekið hefði verið tillit til þessa, væri heildarlosunin frá Sporðöldulóni rúmlega fjórföld þeirri sem metin var í vistferilsgreiningu fyrir Búðarhálssstöð.

¹⁹ The International EPD System (2020). Product Category Rules (PCR). Electricity, steam and hot water generation and distribution. Product Category Classification: UN CPC 171, 173. 2007:08, version 4.0.

4 MAT Á HEILDARLOSUN FRÁ LÓNUM Í VISTFERILSGREININGUM

Fyrir liggja fjórar vistferilsgreiningar sem Landsvirkjun hefur látið vinna fyrir vatnsaflsstöðvar sínar; Fljótisdalsstöð, Blöndustöð og Búðarhálsstöð og fyrir aflaukningu Búrfellsstöðvar, Búrfellsstöð II. Í öllum greiningunum var unnið með bestu fáanlegu þekkingu til að meta stærð losunar frá lónum stöðvanna, og rannsóknir yfirfærðar yfir upplýsingar um stærð lóna og gróðurlenda sem fóru undir vatn.

Í öllum greiningum er stuðst við mælingar á kolefnisinnihaldi borkjarnasýna, kortagögn með vistgerðir lands sem fór undir vatn og niðurstöður rannsókna úr Sporðöldulóni (kafla 2.4) til að meta magn óbundins kolefnis sem losnar í formi CO₂ eða CH₄. Reiknað er þannig með að 10% þess kolefnis sem fyrirfinnst í lónstæðum losni úr efstu 30 cm jarðvegslags í andrúmsloftið á 100 ára líftímanum. Í öllum greiningunum er jafnframt gert ráð fyrir að um 10% af þessu kolefni sem losnað geti úr jarðveginum í andrúmsloftið, losni í formi metans (CH₄) og um 90% í formi koltvísýrings (CO₂)²⁰, í samræmi við niðurstöður rannsókna á Gilsárlóni frá 2008 (kafla 2.1). Til að umreikna magn C yfir í CO₂ annars vegar og CH₄ hins vegar er notaður hlutfallareikningur með mólmassa. Í töflu 7 má sjá dæmi um útreikninga á þessari losun fyrir Búðarhálsstöð, út frá rannsóknum á borkjörnum.

TAFLA 7 Dæmi um útreikninga á losun gróðurhúsalofttegunda frá lóni Búðarhálsstöðvar, á grundvelli rannsókna Lbhí á Gilsárlóni (kafla 2.1) og rannsókna HÍ og Landgræðslunnar á Sporðöldulóni (kafla 2.4).

BREYTA	ÚTREIKNINGAR	MAGN
Heildarmagn kolefnis í lónstæði Sporðöldulóns	14.203.958 kg C	14.203.958 kg C
Heildarmagn kolefnis sem losnar í andrúmsloft sem CO ₂ eða CH ₄ frá Sporðöldulóni á líftímanum (10%)	0,1 x 14.203.958 kg C	1.420.396 kg C
Heildarlosun í formi CO ₂ (90%)	0,9 x 1.420.396 kg C x 44/12	4.687.306 kg CO ₂
Heildarlosun í formi CH ₄ (10%)	0,1 x 1.420.396 kg C x 16/12	189.386 kg CH ₄
Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á 100 árum	4.687.306 kg CO ₂ + 189.386 kg CH ₄ x 25	9.421.956 kg CO ₂ -ígilda

²⁰ Jón Guðmundsson, Lbhí. Tölvupóstsamskipti 5. febrúar 2018

4.1 Búðarhálstöð

Heildarmagn kolefnis í lónsstæði Sporðöldulóns var áætlað út frá mælingum á kolefnisbirgðum í efstu 30 cm hvers borkjarna. Mælingar á kolefnisbirgðum voru gerðar í rannsókn Háskóla Íslands og Landgræðslunnar (kafli 2.4), en EFLA mat magn kolefnis í efstu 30 cm fyrir allt lónsstæði²¹. Tekið var vegið meðaltal sem byggði á mismunandi gróðurþekju lónsstæðisins og var notuð sama skilgreining á þekju og Landbúnaðarháskóli Íslands notar við skil til Loftslagssamnings Sameinuðu þjóðanna. Skiptist lónsstæðið í gróið land og land sem var að mestu ógróið. Þá var hluti lónsstæðisins, 11% af heildarflatarmálinu, þakið vatni fyrir framkvæmdir og þeim hluta lónsstæðis fylgir því ekki losun þar sem er ekki um að ræða breytta landnotkun.

TAFLA 8 Skipting gróðurþekju og magn kolefnis í lónsstæði Sporðöldulóns.

TEGUND ÞEKJU Í LÓNSTÆÐI	MAGN KOLEFNIS Í EFSTU 30 CM (KG C/M ²)	STÆRÐ (KM ²)	ÁÆTLAÐ MAGN KOLEFNIS SEM LOSNAR Í ANDRÚMSLOFT Á 100 ÁRUM (KG C)
Að mestu ógróið land	1,03	4,3	444.333
Gróið land	4,24	2,3	976.063
Land þakið vatni	-	0,8	-
Samtals:	1,92*	7,4	1.420.396

* Vegið meðaltal

TAFLA 9 Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá Sporðöldulóni á 100 árum.

LÓN	LOSUN CO ₂ (TONN)	LOSUN CH ₄ (TONN)	HEILDARLOSUN CO ₂ -ÍGILDI (TONN)	ÁRLEG LOSUN CO ₂ -ÍGILDI (TONN)
Sporðöldulón	4.687	189	9.412	94

4.2 Fljótsdalsstöð

Vistferilsgreining var unnin fyrir Fljótsdalsstöð árið 2011²², og voru niðurstöður uppfærðar árið 2018²³ með tilliti til losunar frá lónum stöðvarinnar.

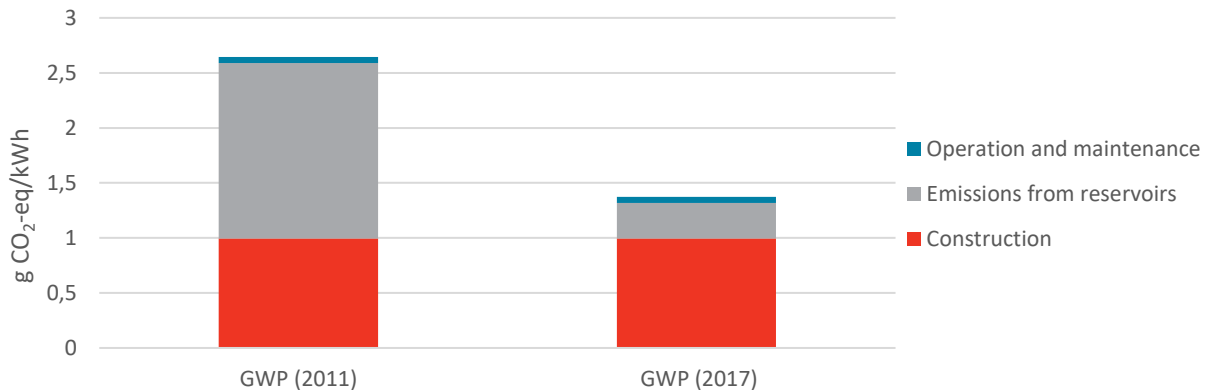
Í skýrslunni frá 2011 var notast við rannsóknarniðurstöður Landbúnaðarháskólans (Lbhí) varðandi magn kolefnis í jarðvegi uppistöðulóna Fljótsdalsstöðvar; Háslón, Kelduárlón, Ufsárlón og Grjótárlón. Upphaflega voru útreikningar samræmdir við viðmið Vattenfall (sænskt raforkufyrirtæki) til útreikninga gróðurhúsalofttegunda frá lónum og var gert ráð fyrir að á 100 árum hefði 50% kolefnis í jarðvegi lónsstæðis verið losað í andrúmsloft. Þessar forsendur voru uppfærðar árið 2018 þegar fyrir lágu niðurstöður Lbhí um mögulega losun kolefnis úr jarðvegi í lóni hér á landi. Þá var reiknað með að 10%

²¹ EFLA verkfræðistofa (2018). Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafla. Búðarhálstöð. LV-2018-048

²² EFLA verkfræðistofa (2011). Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafla. Fljótsdalsstöð. LV-2011-086.

²³ EFLA verkfræðistofa (2018). Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafla. Fljótsdalsstöð. LV-2018-064.

Þessi kolefnis sem fyrirfinnst í lónstæðum losni úr efstu 30 cm jarðvegslags í andrúmsloftið á 100 ára líftímanum. Jafnframt var gert ráð fyrir að um 10% af þessu kolefni sem losnað geti úr jarðveginum í andrúmsloftið losni í formi metans (CH₄) og um 90% í formi koltvísýrings (CO₂)²⁰, í samræmi við niðurstöður rannsókna á Gilsárlóni frá 2008 (kafla 2.1).



MYND 5 Mat á kolefnisspori Fljótsdalsstöðvar skv. fyrstu útreikningum í skýrslu frá 2011 og skv. uppfærðri greiningu frá 2017 (EFLA verkfræðistofa hf, 2018).

Magn kolefnis í jarðvegi lónstæða Fljótsdalsstöðvar var fengið frá Landbúnaðarháskóli Íslands (tafla 10), sjá einnig kafla 2.3. Upplýsingarnar byggja á mælingum á magni kolefnis í borkjörnum sem teknir voru í lónstæðunum. Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæðanna var svo metið byggt á vegnu meðaltali fyrir mismunandi gróðurþekju lónstæða. Skiptust lónstæðin í algróið, hálfgróið og ógróið land. Þá var hluti lónstæðis Háslóns þakið vatni og þeim hluta lónstæðis fylgir ekki losun en þar er ekki um að ræða breytta landnotkun.

TAFLA 10 Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæða Fljótsdalsstöðvar (efstu 30 cm), stærð lóna þar sem ekki var vatn fyrir og áætlað magn kolefnis sem losnar í andrúmsloft á 100 árum.

	KOLEFNI Í LÓNSTÆÐI (KG C/M ²)	STÆRÐ LÓNS (KM ²)	ÁÆTLAÐ MAGN KOLEFNIS SEM LOSNAR Í ANDRÚMSLOFT Á 100 ÁRUM (KG C)
Háslón	3,3	55,8	18.246.600
Kelduárlón	6,4	6,4	4.108.800
Ufsárlón	7,5	0,96	720.960
Grjótárlón	2,1	0,08	16.480
Samtals:	3,7*	63,2	23.092.840

* Vegið meðaltal

TAFLA 11 Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda (CO₂ og CH₄) frá lónum Fljótsdalsstöðvar á 100 árum.

LÓN	LOSUN CO ₂ (TONN)	LOSUN CH ₄ (TONN)	HEILDARLOSUN CO ₂ -ÍGILDI (TONN)	ÁRLEG LOSUN CO ₂ - ÍGILDI (TONN)
Öll lón Fljótsdalsstöðvar	76.206	3.079	153.181	1.532

4.3 Blöndustöð

Magn kolefnis í lónsstæðum Blöndustöðvar, Blöndulóns og Gilsárlóns, var metið með mælingum Landbúnaðarháskóla Íslands á magni kolefnis í borkjörnum sem teknir voru í lónstæðunum (k. 2.1). Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæðanna var svo metið byggt á vegnu meðaltali fyrir mismunandi gróðurþekju lónstæðanna. Lónstæði Gilsárlóns var að mestu þakið mýrlendi og var þar einnig nokkuð mólendi en í Blöndulóni var stærsti hluti lónstæðis þakinn mólendi auk þess sem hluti þess var mýrlendi og ógróið land.

Í samræmi við niðurstöður rannsókna við Sporðöldulón (kafla 2.4) var reiknað með að 10% þess kolefnis sem fyrirfinnst í lónstæðunum losni úr efstu 30 cm jarðvegslags í andrúmsloftið á 100 ára líftímanum. Jafnframt var gert ráð fyrir að um 10% af þessu kolefni sem losnað geti úr jarðveginum í andrúmsloftið losni í formi metans (CH₄) og um 90% í formi koltvísýrings (CO₂)²⁰, í samræmi við niðurstöður rannsókna á Gilsárlóni frá 2008 (kafla 2.1).

Samkvæmt ofangreindu er árleg losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar metin 18.313 tonn CO₂ ígildi og því er heildarlosun metin um 1.831 þúsund tonn CO₂ ígildi á 100 árum (tafla 13)²⁴.

Þegar unnið var að vistferilsgreiningu fyrir Blöndustöð, með hléum, á árabílinu 2013 – 2017 voru ýmsar aðferðir til útreikningar á losun frá lónum til umræðu. Úrvinnsla mælinga á Sporðöldulóni stóðu enn yfir, IHA var enn að samræma aðferðafræði til að áætla losunina og heimildum bar ekki saman um eðli eða magn losunar. Haustið 2018 var á fundi með Landsvirkjun og EFLU ákveðið að nýta niðurstöður rannsókna HÍ og Landgræðslunnar (kafla 2.4) til að meta losun frá lónum Blöndustöðvar, þar sem enn lágu ekki fyrir niðurstöður endurtekinna mælinga Landbúnaðarháskólans frá Gilsárlóni (kafla 2.2). Lagt var til að þegar niðurstöður mælinga frá Lbhí lægju fyrir þá yrðu útreikningar fyrir losun frá lónum uppfærðir í vistferilsgreiningunni til samræmis.

TAFLA 12 Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæða Blöndustöðvar (efstu 30 cm), stærð lóna þar sem ekki var vatn fyrir og áætlað magn kolefnis sem losnar í andrúmsloft á 100 árum.

	KOLEFNI Í LÓNSTÆÐI (KG C/M ²)	STÆRÐ LÓNS (KM ²)	ÁÆTLAÐ MAGN KOLEFNIS SEM LOSNAR Í ANDRÚMSLOFT Á 100 ÁRUM (KG C)
Blöndulón	38,9	57	221.730.000
Gilsárlón	108,7	5	54.350.000
Samtals:	44,5*	62	276.080.000

* Vegið meðaltal

TAFLA 13 Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda (CO₂ og CH₄) frá lónum Blöndustöðvar á 100 árum.

	LOSUN CO ₂ (TONN)	LOSUN CH ₄ (TONN)	HEILDARLOSUN CO ₂ -ÍGILDI (TONN)	ÁRLEG LOSUN CO ₂ -ÍGILDI (TONN)
Lón Blöndustöðvar	911.064	36.811	1.831.339	18.313

* Samsvarar 9,3 gCO₂ ígildum m.v. hnatthýnunarmátt metans = 25.

²⁴ [EFLA verkfræðistofa \(2019\). Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafla. Blöndustöð. LV-2019-030.](#)

4.4 Samanburður við erlend lón

Í töflu 14 má sjá reiknaða losun frá lónum Blöndustöðvar, Fljótisdalsstöðvar, lóni Búðarhálsstöðvar²¹ og útgefna losun frá lónum vatnsaflsvirkjana í Svíþjóð²⁵ og Noregi^{26,27}. Losun frá lónum Blöndustöðvar á hverja unna kWst er mun hærra en losun frá lónum annarra aflstöðva í töflu 14. Taka skal fram að losun frá lónum Vattenfall²⁵ er ekki byggð á niðurstöðum rannsókna eða beinna mælinga heldur á reiknivél IHA, G-res, sem mælt er með að nota skv. leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga, þ.e. ef ekki liggja fyrir betri rannsóknir¹⁹. Losun frá norsku lónum^{26,27} byggir á bráðabirgðaniðurstöðum rannsókna sem gerðar hafa verið í Noregi og eru ekki sértækar upplýsingar fyrir þau lón sem verið er að skoða í greiningunum.

TAFLA 14 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum á hverja unna kWst, auk miðgildis losunar skv. rannsókn IHA frá 2018..

	Kolefnisspor gCO ₂ /kWst	Losun GHJ frá lónum gCO ₂ /kWst	Árleg losun GHJ frá lónum alls á 100 árum gCO ₂
Blöndustöð ²⁴	20,4	19,6	18.313
Búðarhálsstöð ²¹	1,5	0,2	94
Fljótisdalsstöð ²³	1,2	0,3**	1.532
Vattenfall, Svíþjóð ^{*25}	8,6	7,1	
Statkraft, Noregi ²⁷	2,7	1,2	
Agder Energy AS, Noregi ²⁶	2,8	1,9	
IHA, 2018 ²⁸		18,5	

* Meðaltal 14 vatnsaflsvirkjana í eigu Vattenfall ** Var 1,5 í eldri greiningu, eða alls kolefnisspor 2,4 gCO₂-íð/kWst

TAFLA 15 Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Landsvirkjunar, mæld losun frá lónum í norður Svíþjóð^{29,30} og svissnesku Ölpunum³¹ og áætluð losun frá lónum sem staðsett eru á norðlægum slóðum³².

	Losun CO ₂	Losun CH ₄	Breiddargráða	Meðal hitastig	Meðal úrcoma
	mg CO ₂ /m ² /d	mg CH ₄ /m ² /d	°N	°C	mm
Lón Blöndustöðvar	403	13	65	2	700
Lón Búðarhálsstöðvar	19	1	64	1,5	726
Lón Fljótisdalsstöðvar	33	1,3	64	-1	800
Svíþjóð, meðaltal*	128		62 - 66	1,2 - 3,5	490 - 674
Skinnumdselet (N- Svíþjóð)**	1.095		64	1,2	603
Sviss, meðaltal***	1.030	0,2	46 - 50	-1,3 - 7,9	739 - 1870
Meðallosun, norðlægur slóðir	753	9,1	~ 50 - 70	-	-

* Meðaltal frá 7 lónum í norður Svíþjóð þar sem losunin liggur á bilinu 45 – 250 mg CO₂/m²/d²⁹, ** Liggur ekki inni í meðaltalinu frá Svíþjóð³⁰, *** Meðaltal frá 11 lónum³¹.

²⁵ Vattenfall (2018) EPD of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower. The International EPD System.

²⁶ Agder Energi AS (2016) EPD. Hydroelectricity from Skjerka power station. EPD Norge

²⁷ Statkraft (2013) Hydroelectricity from Trollheim Power Station. EPD Norge.

²⁸ IHA (2018) Hydropower Status Report. Sector trends and insights. International Hydropower Association.

Í töflu 15 má sjá áætlaða losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar, Fljótsdalsstöðvar og Búðarhálsstöðvar, og til viðmiðunar framsetta losun frá lónum í norðurhluta Svíþjóðar^{29,30}, mælda losun frá lónum í svissnesku Ölpunum³¹ sem og áætlaða meðallosun frá lónum sem staðsett eru á norðlægum slóðum³². Losun koltvísýrings og metans er gefin upp á hvern m² lónstæðis á sólarhring. Lónin í Svíþjóð eru öll staðsett á svipaðri breiddargráðu og lón Blöndustöðvar og meðal árshitastig og úrkoma eru sambærileg. Lónin í Sviss eru staðsett í svissnesku Ölpunum.

Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar er hærri en áætluð losun frá lónum Búðarhálsstöðvar, Fljótsdalsstöðvar og meðaltali frá Svíþjóð, en er lægri en útgefin losun frá öðrum lónum í töflu 15. Ástæða þess að losun frá lónum Blöndustöðvar er hærri en losun frá lónum Búðarhálsstöðvar og Fljótsdalsstöðvar er vegna þess að það er mun hærra kolefnisinnihald í jarðvegi lónstæða Blöndu. Vegið meðaltal kolefnisinnihalds í jarðvegi í lónstæðum Blöndulóns og Gilsárlóns er 44,5 kg C/m², en vegið meðaltal fyrir kolefni í jarðvegi lóna Búðarhálsstöðvar er 1,92 kg C/m² og Fljótsdalsstöðvar er 3,65 kg C/m².

Þessar niðurstöður sýna að til að mikilvægt er að meta kolefnisinnihald lands sem fer undir vatn sem og magn auðleysanlegs kolefnis sem getur losnað í andrúmsloftið.

²⁹ Bergström o.fl. (2004). Emission of CO₂ from hydroelectric reservoirs in northern Sweden. *Archiv für hydrobiologie*.

³⁰ Åberg o.fl. (2003) A comparison of the carbon balances of a natural lake (L. Öträsket) and a hydroelectric reservoir (L.Skinnmuddselet) in northern Sweden. *Water Research* (38) 531-538

³¹ Diem o.fl. (2008) Greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄ and N₂O) from perialpine and alpine hydropower reservoirs. *Biogeoscience Discuss*, 5, 3699-3736

³² Li & Zhang (2014) Carbon emission from global hydroelectric reservoirs revisited. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 13636-13641

5 SAMANTEKT

Landsvirkjun hefur um árabil lagt áherslu á að þekkja umhverfisáhrif af starfsemi sinni og nýverið setti fyrirtækið sér markmið um kolefnishlutleysi árið 2025 með því að draga úr losun GHG og binda kolefni í gróðri og í jarðvegi. Við myndun lóna fer gróður og jarðvegur undir vatn og þá fer fram niðurbrot lífrænna efna sem mynda gróðurhúsalofttegundirnar koltvísýringur, metan og glaðloft. Losun gróðurhúsalofttegunda er breytilegt eftir meðal annars magni lífræns efnis í landi sem fer undir vatn, styrk súrefnis í vatnsbolnum, lögun lóna, hitastigi og veðurfari.

Fyrirtækið hefur staðið fyrir rannsóknum á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum fyrirtækisins í tvo áratugi eða frá seinustu aldamótum í samvinnu við Landbúnaðarháskóla Íslands, Landgræðsluna og Háskóla Íslands. Þessar rannsóknir hafa m.a. skilað sér m.a. í eftirfarandi þekkingu:

- Í kjölfar rannsókna við Gilsárlón 2003-2006 þróaði **Landbúnaðarháskólinn** líkan til að spá fyrir um losun frá lónum sem nýtt hefur verið til að meta árlega losun frá lónum Landsvirkjunar
- Rannsóknir við Gilsárlón voru notaðir til grundvallar uppfærslu á losunarstuðlum í loftslagsbókhaldi Íslands og hafa verið notaðir æ síðan til að meta árlega losun í loftslagsbókhaldinu sem skilað er inn til Sameinuðu þjóðanna.
- Árleg losun frá lónum Blöndustöðvar, Fljótsdalsstöðvar og Þjórsársvæðis er metin út frá ofangreindum mælingum Landbúnaðarháskólans, auk mælinga á kolefnisforða jarðvegskjarna úr völdumlónum þessara stöðva og svæða.
- Rannsóknir **Líf- og umhverfisvísindastofnunar Háskóla Íslands og Landgræðslunnar** á jarðvegssýnum úr Sporðöldulóni 2013 sýndu fram á að heildarlosun kolefnis var um 10% af heildarkolefni jarðvegsins undir vatni í efstu 30 cm. Niðurstöður þessara rannsókna leiddu til endurskoðunar vistferilsgreiningar fyrir Fljótsdalsstöð, lækkuðu metna heildarlosun frá lónum um 87% og lækkaði þannig kolefnisspor stöðvarinnar um 54%, eða úr 2,6 niður í 1,2 g CO₂-ígildi/kWst.
- Niðurstöður ofangreindra rannsókna (Lbhí, Hí og Landgræðslan) voru í kjölfarið nýttar í vistferilsgreiningum fyrir Blöndustöð, Búðarhálsstöð og Búrfellsstöð II. Nyti þessara rannsókna ekki við þá væri t.d. losun frá Sporðöldulóni metin um fjórfalt hærra með bráðabirgðaútreikningum í G-Res reiknilíkaninu sem þróað var af alþjóðavatnsaflssamtökunum IHA. Þetta hefði mikil áhrif á kolefnisspor ofangreindra stöðva.
- Framhaldsrannsóknir **Landbúnaðarháskólans** á Gilsárlóni 2017, rúmlega 10 árum eftir að upphaflegu mælingarnar fóru fram 2003-2006 og um 25 árum eftir að landið fór fyrst undir vatn 1991, munu koma til með að veita verðmætar upplýsingar um heildarmagn losunar við íslenskar veðurfarsaðstæður og þróun losunar með tíma.
- Búið er að meta kolefnisforða sem fer undir fyrirhugað Hagalón, inntakslón Hvammsvirkjunar, og er þannig hægt að meta heildarlosun á líftímanum áður en af framkvæmd verður.
- **Líf- og umhverfisvísindastofnun Háskóla Íslands** rannsakar nú sýni úr botnseti Blöndulóns og sýni úr jarðvegi í kringum Blöndulón, í þeim tilgangi að meta heildarlosun kolefnis og koldíoxíðs úr jarðveginum. Um sambærilegar rannsóknir og í Sporðöldulóni 2013 er að ræða.
- **Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands** vinnur nú að samantekt á jafnvægisástandi kolefnis milli lofts og íslenskra vatna, en rannsókninni er ætlað að varpa betur ljósi á stærðargráðu flæðis

koltvísýrings milli vatns og andrúmslofts í íslenskum stöðuvötnum, árvötnum og lónum og hvernig manngerðar breytingar á þessum vatnsbolum hafa áhrif á þetta flæði.

Losun frá lónum vatnsaflsstöðva fyrirtækisins er metin:

- 28% af heildarlosun frá rekstri skv. loftslagsbókhaldi Landsvirkjunar 2020
- 0,1% af losun frá landinu skv. losunarbókhaldi Íslands fyrir 2019

Smávægilegur munur er á því hvernig árleg losun frá lónum er gefin upp og skilgreind í annars vegar losunarbókhaldi Íslands og hins vegar loftslagsbókhaldi Landsvirkjunar. Munurinn getur skipt máli fyrir loftslagsbókhald Landsvirkjunar en er hverfandi fyrir losunarbókhald Íslands. Stuðst er við sömu aðferðafræði og Landbúnaðarháskólinn þróaði eftir rannsóknir sínar við Gilsárlón í hvoru tveggja bókhaldi, en á meðan stuðst er við áætlaðan fjölda daga íslausra (215) og ísilagðra daga í losunarbókhaldi Íslands fyrir öll lón eru þessir dagar taldir fyrir nokkur lón Landsvirkjunar, sem dregur að einhverju leyti úr heildaróvissu. Eftir stendur þó óvissa í hvorutveggja tilfella varðandi þróun losunar með aldri lóns, á hvaða formi losunin á sér stað (CO₂ eða CH₄ - með flæði, afgösum eða loftbólum), leysanleika lífrænna kolefnissambanda og hvort og að hversu miklu leyti losunin leysist í vatnsbolnum. Núverandi framhaldsrannsóknir Landbúnaðarháskólans við Gilsárlón (byggð á mælingum 10 árum eftir fyrri mælingar og um 25 árum eftir að land fór undir vatn), auk rannsókna Háskóla Íslands við Blöndulón og mat á jafnvægisástandi kolefnis við ýmis lón og stöðuvötn koma til með að veita mikilvægar upplýsingar hvað þetta varðar og standa vonir til að draga megi enn frekar úr ofangreindri óvissu.

Í losunarbókhaldi Íslands er stuðst við *Managed Land Proxy*, þar sem losun allra gróðurhúsalofttegunda er talin fram um leið og maðurinn nýtir landið að einhverju leyti. Í loftslagsbókhaldi Landsvirkjunar sem byggir á aðferðafræði GHG Protocol er þessi losun annars vegar skilgreind innan umfangs 1 (losun CH₄) og utan umfanga (losun CO₂) þar sem aðferðafræði GHG Protocol lítur svo á að gróður hafi bundið jafnmikið magn koltvísýrings og hann losar við niðurbrot. Hvorutveggja gastegundir eru gefnar upp í heildarlosun Landsvirkjunar sem og útreiknuðu kolefnisspori á hverja kWst í loftslagsbókhaldi fyrirtækisins.

Ef samþykkt verður að innleiða uppfærslu á aðferðafræði IPCC frá 2019 í losunarbókhald Íslands verður sú breyting gerð á framtali losunar frá lónum að reikna þarf heildarlosun frá lóni og deila yfir fyrstu 20 ár eftir myndun þess. Gera má ráð fyrir að loftslagsbókhald Landsvirkjunar yrði þá aðlagð með sambærilegum hætti. Þetta hefði í för með sér að ekki yrði lengur gerð ráð fyrir losun frá lónum Landsvirkjunar sem mynduðust fyrir seinustu aldamót, þ.m.t. lón Blöndusvæðis og flest lón Þjórsársvæðis.

Á þessu stigi er enn ekki hægt að fullyrða um hvort að öll losun gróðurhúsalofttegunda eigi sér stað á fyrstu 20 árum lónsins, en ljóst má vera að áhrifaþættir eins og hitastig og veðurfar hafa mikil áhrif hér á landi. Aftur má gera ráð fyrir að fyrrgreindar framhaldsrannsóknir Lbhí við Gilsárlón muni varpa frekara ljósi á þessa þróun losunar. Mælingar á íslenskum árvötnum og stöðuvötnum hafa einnig sýnt að í mörgum tilfellum eru vötnin undirmettuð af uppleystu ólífrænu kolefni og geta því bundið kolefni úr andrúmsloftinu. Munu rannsóknir HÍ á þetta jafnvægisástand kolefnis varpa ljósi á það hvort að losun kolefnis frá lónstæði leysist að einhverju leyti líka upp í vatnsbolnum og þá að hversu miklu leyti.

VIÐAUKI A FUNDARGERÐIR

Yfirlit yfir umræðu og ákvarðanatöku varðandi losun frá lónum í tengslum við vistferilsgreiningar unnar fyrir Landsvirkjun, 2010 - 2018. Ekki er um tæmandi yfirlit að ræða. Nánari upplýsingar er að finna í þar að lútandi fundargerðum.

DAGS. FG.	UMRÆÐUR OG ÁKVARÐANIR VARÐANDI LOSUN FRÁ LÓNUM OG LCA GREININGAR	VERKEFNI
Nóvember 2010	Vinna hefst við að athuga losun frá lónum nánar, í tengslum við vistferilsgreiningu fyrir Fljótisdalsstöð. Haft samband við sérfræðinga Landbúnaðarháskólans til að athuga hvort að skoðað hafi verið hvernig losun frá lónum breytist/minnkar til lengri tíma.	FLJ
Janúar 2011	Samkvæmt upplýsingum frá sérfræðingi Lbhí er reiknað með að allt það kolefni (C) sem er til staðar í lóninu verði losað á 100 ára líftímanum – þá er tekið tillit til efri marka mögulegra losunar. Gerð verður næmnigreining á þessari áætluðu losun.	FLJ
September 2013	Hafin er vinna við vistferilsgreiningu Blöndustöðvar. Notaðar verða upplýsingar sem aflað var vegna fyrri vistferilsgreiningar á Blöndustöð, sem og rekstrargögn 2008-2012. Nýttar verða niðurstöður rannsókna Lbhí til að meta losun frá lónum. Metið er að 50% kolefnisinnihalds jarðvegs losni í andrúmsloftið á 100 ára líftíma.	BLA
Ágúst 2015	Nýjar mælingar hafa verið framkvæmdar á nokkrum lónum (Lbhí og HÍ) og munu niðurstöður liggja fyrir innan fáeinna mánaða. Stefnt að því að klára LCA skýrslur um Blöndu, Blönduveitu og Búðarhálsvirkjun að öllu öðru leyti þangað til. Þegar niðurstöður um losun frá lónum liggja fyrir verður staðan tekin á framsetningu niðurstaðna.	Losun
	Sporðöldulón Úrvinnsla mælinga við Sporðöldulón frá fyrsta árinu liggja fyrir og ákveðið er að meta losun úr lóninu m.v. að 1% og 10%, jafnvel 30%, af kolefni í lónstæðinu losni á líftímanum. Fyrstu niðurstöður benda til að um 1% af kolefni úr lónstæði Sporðöldulóns losni þegar jarðvegi er sökk (Guðrún Gíslad. o.fl. 2014). [innsk. þetta er leiðrétt síðar] Gerð var COD mæling á jarðvegskjörnunum (kalíum permanganat mæling) til að meta hversu mikið af lífrænu kolefni getur mögulega losnað. Niðurstöður mælinganna sýna að, að hámarki 30% af lífrænu kolefni í kjörnunum getur mögulega losnað. Í skýrslunni þarf að færa mjög góð rök fyrir vali á hlutfalli kolefnis sem losnar.	
Nóvember 2015	Miða skal við magn kolefnis sem liggur í efstu 20 cm jarðvegs í lónstæðinu og út frá skiptingu gróðurlenda í lónstæði Sporðöldulóns. Kolefni í jarðvegskjörnum úr Sporðöldulóni sem liggur á meira en 20 cm dýpi er gamalt og bundið og því talið ólíklegt að það losni auðveldlega. Blöndu- og Gilsarlón Ákveðið að unnið verði út frá þeim mælingum sem gerðar voru árin 2003-2006 (Lbhí). Skoðað þarf hvort ekki sé hægt að nota mælingar úr kjörnum sem upphafsástand, þ.e. það ástand þegar jarðvegi er sökk. Ath. þó að gerðar voru eingöngu CH4 mælingar úr kjörnum, meta þarf einnig CO2 losun. Lagt var til að miða við að mælingar úr kjörnum endurspegluðu upphafsástand, og að losun til lengri tíma myndi styðjast við línurit og gögn IHA.	BUD

Fundur með sérfræðingum LV, LBHÍ, HÍ, Landgræðslu og EFLU		
28. október 2016	<p>Kynntar voru niðurstöður rannsókna úr Sporðöldulóni. Niðurstöður mælinga HÍ á magni kolefnis sem losnar úr kjörnum er mjög mismunandi eftir því hvaða aðferð er notuð. Þegar notast var við hvata losnaði allt að 30% af auðleystu kolefni úr kjörnunum. Þegar kjörnum var hins vegar sökkt og ekki notaður neinn hvati losnaði innan við 1% af kolefninu á 50 dögum [<i>innsk. þetta er leiðrétt síðar</i>]. Stefnt er að því að niðurstöðum verði skilað í skýrslu til EFLU fyrir áramóti 2016/2017.</p> <p>Sagt var einnig frá yfirborðsmælingum á losun metans frá Blöndulóni sumarið 2016. Ekkert mældist og er erfitt að segja til um af hverju. E.t.v. er losun ekki lengur fyrir hendi, en einnig er u.þ.b. 5 cm lag af jökulsilti sem gæti hindrað uppgang.</p>	
Nóvember 2016	<p>Rætt var um framsetningu niðurstæða varðandi losun frá lónum, þ.e. hvaða aðferðafræði yrði stuðst við í skýrslu. Ákveðið var að notast skyldi við niðurstöður íslenskra rannsókna þar sem það eru nákvæmstu gögn sem liggja fyrir. Ekki skyldi notast við líkan IHA sem áætla niðurstöður. Sömuleiðis skal ekki lengur notast við eldri niðurstöður LV um magn losunar frá Gilsárlóni (rannsókn 2003-6), heldur eingöngu um eðli losunar (losun kolefnis í formi koltvísýrings og metans)</p>	Öll verkefni
17. ágúst 2017	<p>Farið var yfir framvindu rannsókna á jarðvegi úr Sporðöldulóni. Fyrir u.þ.b. ári var metið að um 0,5%-1% af heildarkolefni jarðvegs losnaði að ári liðnu, en eftir að stuðull var leiðréttur um sl. áramót breyttist þetta í um 10% losun. Úr efstu jarðlögum nam losun um 16% af heildarkolefni þess jarðvegslags. Önnur aðferðafræði virðist geta staðfest losun á bilinu 10 – 15%. Ekki hefur gefist tími til að gera frekari rannsóknir niðurstöðunni til staðfestingar vegna veikindaleyfa. Gerð er grein fyrir niðurstöðum í skýrslu RH-06-2014 „Physical and chemical soil properties of different land cover types, related to soil carbon, at Sporðöldulón“ uppfærsla dags. febrúar 2017.</p> <p>Lbhí mælir losun úr Gilsárlóni í sumar og á næsta ári skv. samningi (mælt á þriggja vikna fresti eins lengi og veður leyfir), og verða þá komnar tvær mæliseríur með tólf ára millibili; 2003-2005 og 2017-2018.</p> <p>Vistferilsgreining Fljótsdalsstöðvar verður endurskoðuð með tilliti til losunar frá lóni. Til eru jarðvegssýni frá því áður en virkjun var gangsett. Færa mætti rök fyrir því að 10% ættu einnig við í Háslóni þar sem um eldfjallajarðveg er að ræða.</p> <p>Ákveðið var að EFLA myndi hefjast handa við að klára LCA skýrslu um Búðarháls miðað við 10% losun af heildarkolefni í jarðvegi losnaði á 100 árum, sbr. framangreindar niðurstöður. Reiknuð verða einnig umhverfisáhrif fyrir Blöndu og Fljótsdalsstöð, til bráðabirgða, með 10% losunarhlutfalli.</p>	Losun
24. ágúst 2018	<p>Niðurstöður rannsókna á losun frá lónum frá Blöndustöð liggja enn ekki fyrir. Staða úrvinnslu verður könnuð. Einnig þarf að athuga meðal sérfræðinga HÍ, Lbhí og Landgræðslunnar hvort að nýta megi niðurstöður rannsókna við Sporðöldulón, og áætla að 10% af kolefni í jarðvegi lóna Blöndu losni.</p>	Öll verkefni
16. október 2018	<p>Búið er að setja upp líkan fyrir byggingu og rekstur Blöndustöðvar. Í upphafi var reiknuð losun frá lónum skv. 4 mismunandi aðferðum sem allar gáfu nokkuð ólíkar niðurstöður, eða á bilinu 13 – 107 g CO₂ ígildi/kWst. Skýrsla var send frá EFLU til Landsvirkjunar árið 2014. Frá þeim tíma hefur verið unnið að því að fá betri upplýsingar um losun gróðurhúsalofttegunda frá Blöndulóni og Gilsárlóni. Landbúnaðarháskólinn hefur unnið að mælingum. Nú er ljóst að ekki er von á niðurstöðum mælinga með haustinu eins og ráð hafði verið gert fyrir, sbr. tölvupóst frá Lbhí til EFLU þann 24. september 2018. Gert er ráð fyrir að mælingar munu standa yfir fram á haust 2019 og þá á eftir að vinna úr mæliniðurstöðum. Lbhí telur ekki ráðlegt að nýta mælingar frá einu ári til að leggja fram og nota í vistferilsgreininguna, heldur að beðið verði þar til mælingum er lokið og fyrir liggja mælingar fyrir tvö ár. Ástæða þess er að verulegur munur getur verið á milli ára í losun metans.</p> <p>Vegna þessa er lagt til að losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar (Gilsárlón og Blöndulón) verði um sinn reiknuð með sama hætti og gert hefur verið fyrir lón Fljótsdalsstöðvar og Búðarhálsstöðvar og byggir á rannsóknum HÍ á Sporðöldulóni og út frá magni kolefnis í lónstæðum lóna Blöndustöðvar. Þegar niðurstöður mælinga frá LBHÍ liggja fyrir er þá lagt til að útreikningar fyrir losun frá lónunum verði uppfærðir í vistferilsgreiningunni til samræmis.</p>	BLA