

Kolefnisspor íslensks laxeldis og aðgerðir til að minnka það



Unnið fyrir Landssamband fiskeldisstöðva

2018

Tekið saman í nóvember 2018

Stefán Gíslason og
Birna Sigrún Hallsdóttir

Umhverfisráðgjöf Íslands ehf. (Environice)

Mynd á forsíðu:
Einar K. Guðfinnsson

Efnisyfirlit

1	Inngangur.....	5
2	Samantekt.....	6
3	Skuldbindingar Íslands í loftslagsmálum	7
4	Losun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi	9
5	Kolefnisspor.....	10
6	Aðferðir.....	11
7	Kerfismörk.....	12
7.1	Aðföng (Umfang 3).....	13
7.1.1	Kvíar og önnur aðstaða.....	13
7.1.2	Seiði.....	13
7.1.3	Eldsneyti.....	14
7.1.4	Fóður.....	14
7.1.5	Lyf.....	15
7.1.6	Kælimiðlar.....	15
7.1.7	Umbúðir og þökkunarefni	15
7.2	Orka (Umfang 2).....	15
7.2.1	Raforka.....	16
7.2.2	Hiti.....	16
7.3	Eigin starfsemi (Umfang 1)	16
7.3.1	Eldsneyti.....	16
7.3.2	Kælimiðlar	17
7.3.3	Afföll.....	17
7.4	Frálag (Umfang 3).....	18
7.4.1	Úrgangur og flutningur hans	18
7.4.2	Framleiðsluvörur	18
7.4.3	Annað.....	19
8	Aðgerðareining.....	20
9	Losun gróðurhúsalofttegunda frá laxeldi á Íslandi.....	21
10	Kolefnisreiknivél fyrir laxeldi á Íslandi	24
11	Leiðir til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda	26
11.1	Bætt nýting.....	26
11.2	Breyttir kælimiðlar.....	26
11.3	Orkuskipti og orkusparnaður	26

11.4	Bætt meðhöndlun úrgangs	27
11.5	Fóðurframleiðsla	27
11.6	Aðgerðir á sviði landnotkunar	28
11.6.1	Landgræðsla	28
11.6.2	Skógrækt.....	28
11.6.3	Endurheimt votlendis	28
11.6.4	Vottun og alþjóðlegir samningar	29
11.7	Byggðatenging mótvægisaðgerða.....	29
12	Kostnaður við mótvægisaðgerðir.....	30
13	Lokaorð.....	33
14	Heimildaskrá	34
Viðauki 1:	Skammstafanir og skýringar	37

1 Inngangur

Þessi skýrsla er unnin af Umhverfissráðgjöf Íslands ehf. (Environice) fyrir Landssamband fiskeldisstöðva í samræmi við samkomulag aðila þar um frá því í febrúar 2018. Tilgangur skýrslunnar er að leggja mat á kolefnislosun íslensks laxeldis og benda á raunhæfar leiðir til kolefnisjöfnunar. Liður í gerð skýrslunnar var að þróa reiknilíkan á Excel-formi sem gerir einstökum laxeldisfyrirtækjum kleift að reikna kolefnisspor framleiðslu sinnar. Líkanið reiknar heildarlosun í viðkomandi framleiðslu og losun á hvert kíló framleiddrar matvöru út frá upplýsingum um aðföng o.fl. sem viðkomandi framleiðandi slær inn í líkanið. Líkanið sýnir einnig nokkra möguleika sem framleiðendur geta nýtt til að draga úr losun og auka bindingu og reiknar ætluð áhrif einstakra aðgerða á kolefnissporið. Þessi skýrsla inniheldur helstu niðurstöður greiningarinnar, ásamt kynningu á reiknilíkaninu.

Skýrslan sem hér lítur dagsins ljós tekur að hluta til mið af sambærilegri skýrslu sem Environice vann fyrir Landssamtök sauðfjárbænda haustið 2017. Þetta á m.a. við um skilgreiningu hugtaka, forsendur vegna útreikninga á losun frá sambærilegum þáttum í rekstri þessara annars ólíku greina, mótvægisáðgerðir o.fl. Ekki er vísað sérstaklega í umrædda sauðfjárskýrslu í textanum nema þar sem slíkt var talið nauðsynlegt til að auka gagnsæi og læsileika.

Loftslagsbreytingar eru hnattrænt viðfangsefni og um leið brýnt úrlausnarefni fyrir íslenska þjóð. Ljóst er að Landssamband fiskeldisstöðva eða einstakir framleiðendur geta ekki leyst vandann á eigin spýtur, enda á laxeldið óverulegan þátt í heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi. Engu að síður ber þessi grein sinn hluta af sameiginlegri ábyrgð jarðarbúa á lausn vandans, rétt eins og öll önnur samtök, stjórnvöld, stofnanir, fyrirtæki og einstaklingar, hvar sem er í heiminum. Með viðleitni sinni til að minnka kolefnisspor einstakra starfsstöðva og greinarinnar í heild vill laxeldið leggja sitt af mörkum til að uppfylla Heimsmarkmið Sameinuðu þjóðanna nr. 13 um aðgerðir gegn loftslagsbreytingum, stuðla að því að Ísland nái markmiði sínu um 40% samdrátt í losun fyrir árið 2030 og styðja við yfirlýsingu ríkisstjórnar Íslands um kolefnishlutlaust Ísland árið 2040. Hér gildir það sama og annars staðar að „enginn getur gert allt, en allir geta gert eitthvað“.

Þessi skýrsla og vinnan sem að baki liggur var unnin með stuðningi Umhverfissjóðs sjókvíaeldis sem veitti myndarlegan styrk til verksins vorið 2018.

2 Samantekt

Í þessu verkefni var kolefnisspor laxeldis á Íslandi reiknað og bent á raunhæfar leiðir til kolefnisjöfnunar. Jafnframt var þróað reiknilíkan á Excel-formi sem gerir einstökum laxeldisfyrirtækjum kleift að reikna kolefnisspor framleiðslu sinnar, þ.e.a.s. magn gróðurhúsalofttegunda sem losnar við framleiðslu á hverju kíló af laxi til manneldis. Inn í þessa reikninga var tekin framleiðsla og flutningur fóðurs og annarra aðfanga, eldið sjálft, orkunotkun, notkun kælimiðla og meðhöndlun úrgangs, svo og þökkun og flutningur afurða frá laxeldisstöð til dreifingarstöðvar á höfuðborgarsvæðinu.

Meginniðurstaða verkefnisins er að heildarlosun gróðurhúsalofttegunda frá laxeldi í sjó á Íslandi hafi verið um 31.000 tonn CO₂-ígilda árið 2017, eða sem nemur 3,21 kg CO₂-ígilda á hvert kíló af tilbúinni afurð. Þessi niðurstaða er í góðu samræmi við erlenda útreikninga, sem flestir hafa gefið niðurstöðu á bilinu 2,88-4,13 kg/kg (meðaltal 3,76 kg/kg).¹ Kolefnisspor laxeldis er samkvæmt þessu svipað og við veiðar á villtum fiski og lægra en í flestri annarri framleiðslu á dýraafurðum til manneldis.

Langstærsti hlutinn af kolefnisspori laxeldis á Íslandi (um 93%) liggur í framleiðslu og flutningum á fóðri. Um 3% stafa af framleiðslu og flutningi umbúða og um 2% af flutningi afurða til dreifingarstöðvar. Aðrir þætti hafa minna vægi. Af þessu er ljóst að áhrif greinarinnar á loftslagið liggja fyrst og fremst í starfsemi sem fram fer utan laxeldisstöðvanna sjálfra. Þetta þýðir að rekstraraðilar stöðvanna hafa takmarkaða möguleika á að draga úr neikvæðum áhrifum greinarinnar á loftslag jarðar. Vissulega myndi bætt nýting fóðurs minnka kolefnissporið, en úrbótum á þessu sviði eru takmörk sett þar sem greinin er þegar nálægt þekktu lágmarki hvað varðar fóðurnotkun á hvert kg af fiski (fæðuhlutfall (feed conversion ratio (FCR))).

Hægt væri að kolefnisjafna alla losun gróðurhúsalofttegunda frá laxeldi á Íslandi með landbótaaðgerðum, þ.e.a.s. landgræðslu, skógrækt og endurheimt votlendis. Sem dæmi má nefna að til að kolefnisjafna alla losun greinarinnar eins og hún var árið 2017 þyrfti að endurheimta um 1.590 ha af votlendi. Sú ráðstöfun væri í raun varanleg, þar sem hún myndi draga úr losun samsvarandi magns gróðurhúsalofttegunda frá votlendi árlega í áratugi eða aldir. Ekkert er því til fyrirstöðu að byggðatengja landbótaaðgerðir af þessu tagi, þannig að fjármagn sem lagt er til verkefnanna nýtist í heimabyggð.

¹ Stephen Clune o.fl., 2016.

3 Skuldbindingar Íslands í loftslagsmálum

Alþjóðlegt samstarf í loftslagsmálum byggir á loftslagssamningnum, sem var lagður fram til undirritunar á heimsráðstefnu Sameinuðu þjóðanna um umhverfi og þróun í Rio de Janeiro árið 1992 og tók gildi árið 1994. Markmið samningsins er að koma í veg fyrir hættulega röskun á loftslagskerfinu af mannavöldum, og tryggja þannig að matvælaframleiðslu í heiminum verði ekki stefnt í hættu og að efnahagsþróun geti haldið áfram á sjálfbæran hátt. Í samningnum er hvergi með afdráttarlausum hætti kveðið á um skyldu ríkja til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda að tilteknu marki. Þó kemur fram að iðnríkin skuli grípa til ráðstafana í þeim tilgangi að hverfa aftur, hvert fyrir sig eða sameiginlega, að því útstrey mismagni sem var 1990.

Kyoto-bókunin við loftslagssamninginn var gerð árið 1997 og gekk í gildi árið 2005. Bókunin inniheldur tölulegar magntakmarkanir á losun tiltekinna gróðurhúsalofttegunda frá iðnríkjum. Fyrra skuldbindingatímabil Kyoto-bókunarinnar var frá 2008 til 2012 og var heildarmarkmiðið að draga úr losun um að minnsta kosti 5% á tímabilinu miðað við árið 1990. Ísland fékk hins vegar heimild til að auka losun sína um 10% á þessu tímabili miðað við árið 1990, auk þess að fá að undanskilja ákveðna losun vegna iðnaðarstarfsemi í uppgjöri sínu. Ísland náði að uppfylla skuldbindingar sínar á þessu tímabili þrátt fyrir að hafa aukið losun um 26% frá 1990 til 2012. Seinna skuldbindingatímabil bókunarinnar er frá 2013 til 2020. Ísland tók á sig sameiginlega skuldbindingu með ríkjum ESB á tímabilinu um að draga úr losun um 20% fyrir árið 2020 miðað við 1990. Nú er útlit fyrir að Ísland þurfi að kaupa heimildir til að standa við sinn hluta skuldbindingarinnar.

Árið 2015 var Parísarsamningurinn um loftslagsmál samþykktur og gekk hann í gildi 4. nóvember 2016. Samningurinn felur í sér nýja nálgun, enda er ljóst að ákvæði loftslagssamningsins og Kyoto-bókunarinnar hafa ekki dugað til að draga úr losun í heiminum. Samkvæmt Parísarsamningnum skulu aðildarríkin setja sér markmið um að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda, svonefnd landsákvörðuð framlög (Nationally Determined Contributions (NDCs)). Ísland hefur undirritað og fullgilt Parísarsamninginn og sent inn landsákvörðuð framlag sitt, þar sem fram kemur að Ísland hyggist taka þátt í sameiginlegu markmiði ESB um að draga úr losun um 40% fram til 2030, miðað við 1990.² Ekki liggur fyrir hver verður hlutdeild Íslands í þessu markmiði, en skiptingin á milli ríkja er ákveðin með hliðsjón af efnahagsstöðu hvers ríkis um sig, sem og möguleikum og kostnaði við að draga úr losun. Þess er að vænta að skyldur Íslands í þessu sambandi verði orðnar ljósar á næstu tveim misserum.

Hafa ber í huga að Parísarsamningurinn felur enn sem komið er eingöngu í sér lagalegan og pólitískan ramma um samstarf þjóða á sviði loftslagsmála. Samningurinn verður útfærður nánar með ákvörðunum aðildarríkjaþingsins á komandi misserum.

Til viðbótar við það sem hér hefur komið fram hefur núverandi ríkisstjórn sett sér það markmið að Ísland verði kolefnishlutlaust árið 2040. Ætlunin er að ná kolefnishlutleysinu „með varanlegum samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda en einnig með breyttri landnotkun í samræmi við alþjóðlega viðurkennda staðla og með hliðsjón af vistkerfisnálgun

² Loftslagssamningur Sameinuðu þjóðanna, 2016.

og skipulagssjónarmiðum. Stutt verður við atvinnugreinar, fyrirtæki, stofnanir og sveitarfélög í þeirri viðleitni að setja sér loftslagsmarkmið“.³

³ Ríkisstjórn Íslands, 2017.

4 Losun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi

Í samræmi við skuldbindingar Íslands í loftslagsmálum skilar Umhverfisstofnun árlega skýrslu um losun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi (National Inventory Report (NIR)) til skrifstofu loftslagssamnings Sameinuðu þjóðanna. Í skýrslunni er einnig að finna tölur um bindingu kolefnis úr andrúmslofti. Losuninni er skipt niður í eftirtalda flokka eftir uppsprettum: orka, iðnaðarferlar og efnanotkun, landbúnaður, úrgangur og landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt (land use, land-use change and forestry (LULUCF)). Þegar losun gróðurhúsalofttegunda er gefin upp og borin saman milli landa er hins vegar yfirleitt miðað við losun án LULUCF (sjá nánar í Viðauka 1).

Nýjasta landsskýrsla Íslands er frá því í apríl 2018 og tekur til losunar Íslands á tímabilinu 1990-2016. Samkvæmt skýrslunni nam heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi 4.669 kílótonnum af koldíoxíðsígildum (CO₂íg) árið 2016 að frátalinni losun vegna LULUCF. Þetta er 1,7% samdráttur frá árinu 2015 en 28,5% aukning frá árinu 1990. Mest var losunin árið 2008 eða 5.269 kílótonn CO₂íg. Stærstur hluti heildarlosunarinnar 2016 (án LULUCF) kom frá iðnaðarferlum (42%), næstmest frá orku (40%), svo frá landbúnaði (13%) og loks frá úrgangi (5%).⁴

Langstærstur hluti losunar frá iðnaðarferlum á Íslandi liggur í framleiðsluferlum álvera og málmbræðslna, en þar er kolefni notað til að fjarlægja súrefnisfrumeindir úr hráefninu og framleiða hreinan málm. Annars vegar eru kol, koks og viðarkurl notuð í kísilverum og járnblendiverksmiðjum til að afoxa kvars og hins vegar eru kolefnisrík rafskaut notuð í álverum til að afoxa súrál. Langstærstur hluti losunar frá orku stafar af brennslu jarðefnaeldsneytis (bensíns og dísil) í samgöngum og fiskveiðum. Losun frá landbúnaði stafar að mestu frá metanmyndun í meltingarvegi jórturdýra, frá geymslu og meðhöndlun húsdýraáburðar og frá áburðarnotkun. Losun frá úrgangi má loks rekja til þess þegar úrgangur er meðhöndlaður með urðun, brennslu eða jarðgerð.

Í september 2018 kynntu sjö ráðherrar ríkisstjórnarinnar nýja aðgerðaáætlun Íslands í loftslagsmálum fyrir tímabilið 2018-2030, en áætlunin er hugsuð sem helsta tæki stjórnvalda til að tryggja að Ísland nái markmiðum Parísarsamningsins og markmiðum stjórnvalda um kolefnishlutleysi.⁵ Áætlunin var þó ekki sett fram í endanlegri mynd, heldur kynnt sem „fyrsti áfangi“ og hefur verið sett í opið umsagnarferli. Stefnt er að því að endurskoðuð útgáfa aðgerðaáætlunarinnar komi út á árinu 2019.

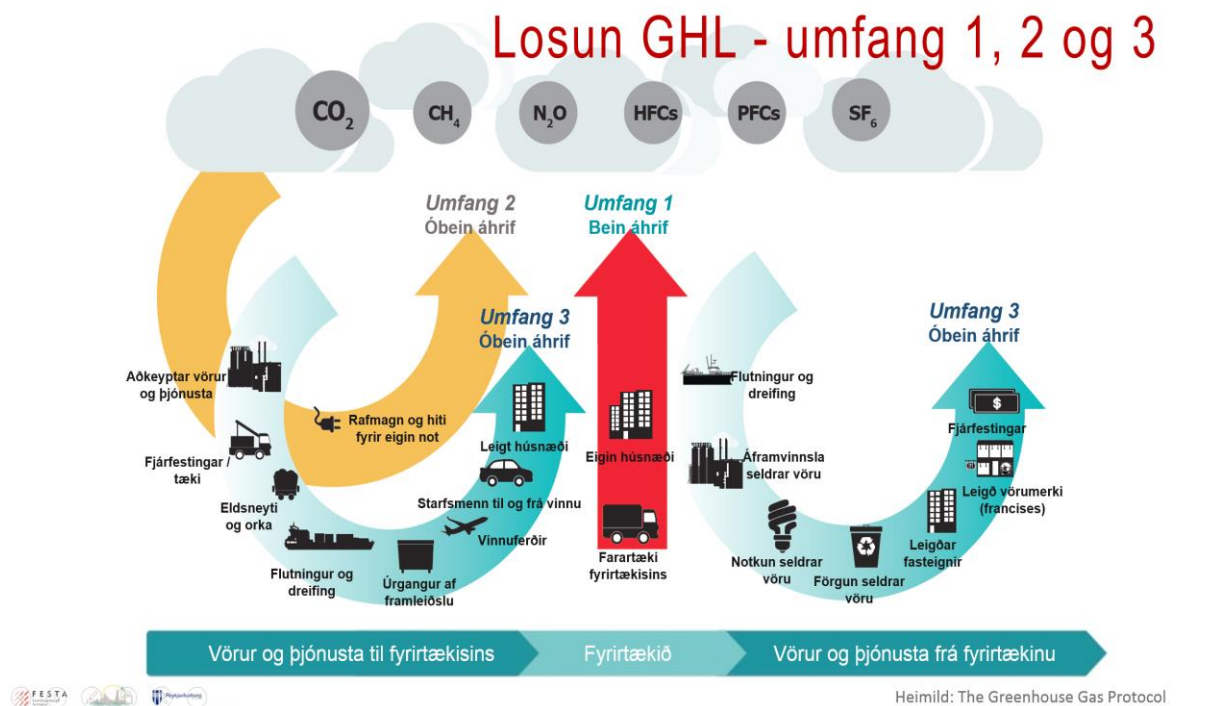
Laxeldi á óverulegan þátt í heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi. Losun greinarinnar liggur að langmestu leyti í framleiðslu og flutningum á fóðri og fóðrið er allt framleitt erlendis eins og staðan er í dag. Losun vegna framleiðslu fóðursins reiknast í framleiðslulandinu og er því ekki formlega hluti af reiknaðri losun Íslands, þó að hún reiknist með í kolefnisspori greinarinnar. Sú losun sem verður vegna brennslu jarðefnaeldsneytis, notkunar raforku og meðhöndlunar úrgangs reiknast á hinn bóginn sem hluti af losun Íslands, en sem fyrr segir er sú losun lítil í þessu samhengi.

⁴ Umhverfisstofnun, 2018b.

⁵ Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2018.

5 Kolefnisspor

Kolefnisspor tiltekinnar vöru, fyrirtækis eða annarrar rekstrareiningar er sú losun gróðurhúsalofttegunda sem á sér stað á tilteknu ári í viðkomandi starfsemi. Svonefndur GHG-leiðarvísir (GHG-Protocol)⁶ er leiðarvísir fyrir fyrirtæki sem vilja halda bókhald yfir losun sína á gróðurhúsalofttegundum (GHL), þ.e.a.s. reikna kolefnisspor sitt. Þessi leiðarvísir er notaður af fyrirtækjum víða um heim, en samkvæmt honum er losun metin fyrir þrjá mismunandi flokka eftir því hvar losunin á sér stað í virðiskeðju starfseminnar. Þessir flokkar hafa verið nefndir „umfang 1-3“ (scope 1-3). Í fyrsta lagi (flokkur eða umfang 1) er um að ræða beina losun vegna starfsemi sem er í eigu fyrirtækisins eða er stýrt af því. Í öðru lagi (flokkur eða umfang 2) er um að ræða óbeina losun vegna kaupa fyrirtækisins á rafmagn, gufu, hita eða kælingu. Í þriðja lagi (flokkur eða umfang 3) er svo um að ræða óbeina losun í virðiskeðju fyrirtækisins, bæði aðfangamegin (up-stream) og frálagsmegin (down-stream).



Mynd 1. Yfirlit yfir flokka (umfang) og losun gróðurhúsalofttegunda í virðiskeðju fyrirtækja skv. GHG-leiðarvísi (GHG Protocol).⁷

Þar sem það er mögulegt eru forsendur útreikninga í því verkefni sem hér um ræðir sóttar í GHG-leiðarvísinn og í losunarbókhald Íslands (CRF og NIR, sjá nánar í Viðauka 1).⁸ Einnig var tekið mið af opinberum breskum losunarstuðlum.⁹

⁶ World Resource Institute, 2004.

⁷ Festa og Reykjavíkurborg, 2016.

⁸ Umhverfisstofnun, 2018b.

⁹ UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2018.

6 Aðferðir

Aðferðirnar sem beitt var í þessu verkefni við útreikning á kolefnisspori laxeldis byggjast á lífsferilsnálgun og eru í öllum aðalatriðum sambærilegar við þær aðferðir sem almennt eru notaðar í útreikningum á kolefnisspori matvæla. Þannig voru aðferðirnar að mestu þær sömu og beitt var í útreikningum Environice á kolefnisspori sauðfjárræktar haustið 2017¹⁰ og sambærilegar því sem tíðkast erlendis.

Kerfismörk voru ákveðin með það að markmiði að láta greininguna ná til allra þeirra þátta sem skipta máli fyrir kolefnisspor framleiðslunnar en undanskilja þætti þar sem saman fara óveruleg áhrif og erfitt aðgengi að upplýsingum. Í stuttu máli miðast kerfismörkin við allt ferlið frá vöggum að dreifingarstöð. Nánar er fjallað um kerfismörk í kafla 7.

Ákveðið var að aðgerðareiningin í þessu verkefni skyldi vera 1 kg af framleiðsluvöru, þ.e. 1 kg af heilum slægðum laxi (head on gutted (HOG)). Nánar er fjallað um aðgerðareiningar í kafla 0.

Tölur um tegundir og magn aðfanga, um framleiðsluferlið og um magn framleiðsluvöru, aukaafurða og úrgangs voru að mestu leyti fengnar hjá starfsfólki Arnarlax hf. á Bíldudal, en Arnarlax er langstærsti framleiðandi eldislax á Íslandi. Þóra Dögg Jörundsdóttir gæðastjóri fyrirtækisins veitti öðrum fremur ómetanlega aðstoð í þessu ferli og Guðmundur Valgeir Magnússon tæknistjóri og Þorsteinn Mátsson útibússtjóri í Bolungarvík lögðu einnig sitt af mörkum. Öll eiga þau miklar þakkir skildar fyrir greið svör og skýrar upplýsingar. Þá var einnig leitað fanga í ýmsum innlendum og erlendum heimildum (sjá heimildaskrá aftast í skýrslunni).

Þar sem það var mögulegt voru forsendur útreikninga, þ.m.t. losunarstuðlar og reikniaðferðir, sóttar í fyrrnefndan GHL-leiðarvísi og í losunarbókhalda Íslands til loftslagssamnings Sameinuðu þjóðanna og ESB. Einnig var stuðst við forsendur annarra greininga af svipuðu tagi.

Vert er að taka fram að sú vinna sem liggur að baki þessari greiningu byggði á einkar góðu samstarfi við Landssamband fiskeldisstöðva og þá sérstaklega Einar K. Guðfinnsson, stjórnarformann. Loks gerði myndarlegur styrkur Umhverfissjóðs sjókvíaeldis til verksins mögulegt að hrinda því í framkvæmd.

¹⁰ Birna Sigrún Hallsdóttir og Stefán Gíslason, 2017.

7 Kerfismörk

Áður en hafist er handa við útreikning á kolefnisspori tiltekinnar vöru þarf að taka ákvörðun um hvar kerfismörkin (system boundaries) skuli dregin, þ.e. hvaða þættir í lífsferli vörunnar skuli teknir með í reikninginn. Þegar um búrekstur er að ræða er iðulega miðað við alla losun „frá vöggum að hliði“. Þar er átt við losun vegna framleiðslu og flutnings aðfanga að búinu (umfang 3, aðfangamegin í virðiskeðjunni), óbeina losun vegna orkunotkunar (umfang 2) og beina losun vegna notkunar áburðar, eldsneytis o.fl. á búinu sjálfu (umfang 1). Stundum er einnig reiknuð heildarlosun „frá vöggum til grafar“, en þá er einnig horft til þeirrar losunar sem verður eftir að viðkomandi vara yfirgefur búíð, þ.e. losunar vegna meðhöndlunar, kælingar, flutnings, rýrnunar í verslun, eldunar, úrgangsförgunar o.s.frv. (umfang 3, frálagsmegin í virðiskeðjunni).

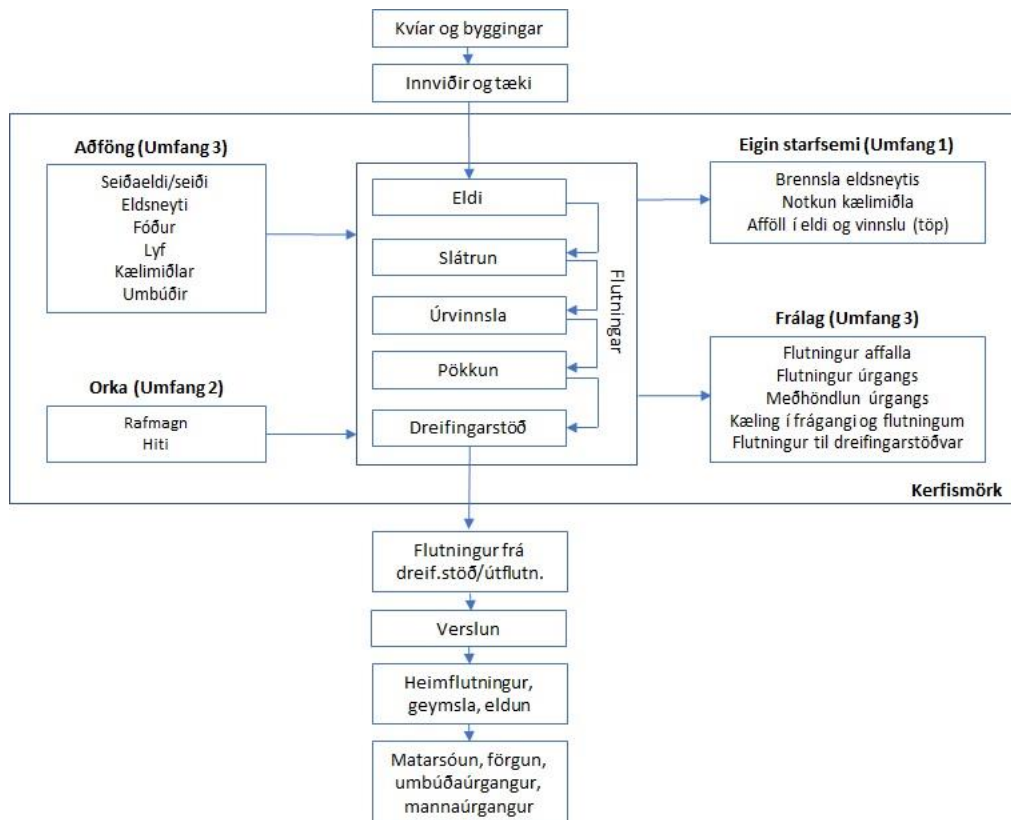
Í því verkefni sem hér um ræðir er leitast við að leggja mat á alla losun „frá vöggum að dreifingarstöð“, en þetta er gert m.a. til að auðvelda samanburð við erlendar greiningar af svipuðu tagi.¹¹ Hér er farin sú leið að skilgreina Reykjavík sem „dreifingarstöð“ (Regional Distribution Centre (RDC)), þar sem ætla má að stór hluti framleiðslunnar fari til útflutnings frá suðvesturhorni landsins (frá Reykjavík eða Keflavíkflugvelli). Hér er því leitast við að taka flutning innanlands með í reikninginn, þ.e. frá framleiðslustað til höfuðborgarsvæðisins. Öll losun sem verður á þeirri leið, t.d. vegna eldsneytis sem notað er við flutninginn, kælingar vörunnar o.s.frv., er reiknuð inn í kolefnissporið. Hins vegar er ekki lagt mat á losun sem verður eftir að varan kemur til suðvesturhornsins, svo sem losun vegna frekari flutninga innanlands eða milli landa, losun í vöruhúsum og verslunum, losun vegna flutninga til neytenda, geymslu hjá neytendum, eldunar og afdrifa vörunnar í og eftir neyslu.

Þrátt fyrir að útreikningar í þessu verkefni taki eftir föngum til losunar vegna framleiðslu og flutnings aðfanga er horft fram hjá losun vegna bygginga, innviða og tækjabúnaðar sem notaður er í framleiðslunni, enda eru þessir þættir sjaldnast teknir með í lífsferilsgreiningum á matvælum.¹² Rétt þótti að fylgja þeirri línu í þessu verkefni til að auðvelda hugsanlegan samanburð.

Mynd 2 sýnir í grófum dráttum kerfismörkin sem miðað er við í því verkefni sem hér um ræðir.

¹¹ Stephen Clune o.fl., 2016.

¹² Sama heimild.



Mynd 2. Kerfismörk laxeldis í þessu verkefni.

Í eftirfarandi köflum er fjallað nánar um þá þætti í lífsferli laxeldis sem liggja innan kerfismarka þessa verkefnis, sbr. Mynd 2.

7.1 Aðföng (Umfang 3)

Hér verður fjallað stuttlega um helstu aðföng til laxeldis og að hve miklu leyti þau eru tekin með í útreikningi á kolefnisspori í því verkefni sem hér um ræðir.

7.1.1 Kvía og önnur aðstaða

Kvía, byggingar, innviðir og tækjabúnaðar liggur sem fyrr segir utan skilgreindra kerfismarka og er því ekki tekið með í reikninginn.

7.1.2 Seiði

Eldi seiða upp í þá stærð sem seld er til laxeldisstöðva (um 100 g) er eðli málsins samkvæmt grundvöllur eldisins í stöðvunum og því er losun vegna seiðaeldis og flutnings seiða tekin með í útreikning kolefnissporsins. Tveir þættir ráða mestu um þessa losun, annars vegar framleiðsla og flutningur fóðurs fyrir seiðin og hins vegar flutningur seiðanna frá seiðaeldisstöð til laxeldisstöðvar. Í því verkefni sem hér um ræðir er farin sú leið að nota kanadískan losunarstuðul vegna seiða fyrir hvert tonn af framleiddum laxi¹³ og bæta þar við áætlaðri losun í flutningi sem er reiknuð sem margfeldi af losun lítilla

¹³ Nathan W. Ayer og Peter H. Tyedmers, 2008.

flutningaskipa/(brunnskipa) pr. tonnkilómetra samkvæmt leiðbeiningum Samtaka evrópskra iðnrekenda í efnaiðnaði (Cefic),¹⁴ vegalengd sjóflutnings í km, fjölda ferða og ætlaðri þyngd tankanna sem seiðin eru flutt í (hér miðað við 500 tonn). Þyngd seiðanna sjálfra skiptir minnstu máli í þessu samhengi enda þarf allt niður í 25 kg af seiðum til að framleiða 1 tonn af laxi. Lauslega áætlað eru að meðaltali 25 tonn af seiðum flutt í hverjum 500 tonnum af vatni í flutningstanki.

7.1.3 Eldsneyti

Framleiðsla og flutningur eldsneytis er tekinn með í reikninginn, þ.e.a.s. sú losun sem verður á leið eldsneytisins frá lind að tanki (well to tank (WTT)), þ.e. áður en viðkomandi laxeldisstöð kaupir eldsneytið. Brennsla eldsneytisins telst hins vegar vera hluti af eigin starfsemi laxeldisstöðvanna og er reiknuð með í losun undir „umfangi 1“, sjá kafla 7.3.1.

7.1.4 Fóður

Fóðurkostnaður er alla jafna stærsti einstaki kostnaðarliðurinn í laxeldi og jafnframt sá hluti aðfanganna sem vegur þyngst í kolefnisspori greinarinnar.

Í laxeldi í sjó eru notuð um 1,0-1,5 kg af fóðri á hvert kg af laxi. Stuðullinn FCR (feed conversion ratio) er almennt notaður sem mælikvarði á fóðurþörfina, en með FCR er átt við kg af þurrfóðri fyrir hvert kg af votvigt laxaafurða. Sem dæmi má nefna að samkvæmt niðurstöðum vísindamanna í Tromsø er FCR í norsku laxeldi að meðaltali $1,16 \pm 0,08$.¹⁵

Við framleiðslu á fóðri til laxeldis losnar koldíoxíð vegna brennslu dísilolíu á dráttarvélar og önnur tæki sem notuð eru við uppskeru og aðra öflun hráefnis, auk þess sem olíu er brennt við þurrkun og flutninga hráefnis til fóðurverksmiðju. Einnig losnar hláturgas við framleiðslu og notkun tilbúins áburðar við ræktun hráefnisins.¹⁶

Nánast allt fóður sem notað var í sjókvíaelði á Íslandi 2017 kom frá fóðurframleiðandanum Biomar í Noregi. Í því verkefni sem hér um ræðir var uppgæfið kolefnisspor fóðurs frá Biomar (1,95 kg CO₂íg á hvert kg af fóðri) því lagt til grundvallar útreikningum á þætti fóðurs í kolefnissporinu að viðbætti áætlaðri losun vegna flutninga frá Noregi til framleiðslustöðvar.

Þegar kolefnisspor laxeldis er reiknað er nauðsynlegt að hafa í huga að æviskeið eldislaxa er u.þ.b. 2 ár frá því að seiði eru sett í kvíar þar til laxinum er slátrað. Fóður sem keypt er á tilteknu ári er því ekki aðeins notað til að fóðra laxana sem slátrað er á árinu, heldur einnig laxa sem slátrað verður árið eftir. Á sama hátt var hluti af fóðrinu fyrir sláturlaxa ársins keypt og notað árið á undan. Af þessu leiðir að hæpið er að miða kolefnisspor laxeldis á tilteknu ári við fóðurkaup þess árs, sérstaklega þar sem framleiðslumagnnið sveiflast mikið frá ári til árs. Þess í stað þarf að áætla það magn fóðurs sem sláturlöxum ársins var gefið frá því að þeir komu í kvíarnar sem seiði og fram að slátrun. Í því verkefni

¹⁴ CEFIC og EFTA, 2011.

¹⁵ Xinxin Wang o.fl., 2012.

¹⁶ Ulf Sonesson o.fl., 2009.

sem hér um ræðir var farin sú leið að nota niðurstöðutölur úr forritinu *Fishtalk* sem heldur utan um upplýsingar um fóður og aðra þætti sem varða hverja kynslóð eldislaxa um sig. Fóðurmagnið var áætlað með því að margfalda heildarlífsmassa sláturfiska að viðbættum afföllum (svo sem dauðum fiskum) („Gross harvested biomass inc. discards“) en að frádregnum þunga seiða („Input biomass“) með fóðurnýtingarstuðli (FCR E) viðkomandi kynslóðar skv. forritinu, þ.e.a.s.:

$$\text{Reiknað fóðurmagn (kg)} = (\text{Gross harvested 2017} - \text{Input biomass}) \times \text{FCR E}$$

þar sem

$$\text{FCR E} = \frac{\text{Feed used since input (kg)}}{\text{Gross harvested 2017 (kg)} - \text{Input biomass (kg)} + \text{Closing stock status 31.12.2017 (kg)}}$$

7.1.5 Lyf

Árið 2017 voru engin lyf notuð í sjókvíaeldi á laxi á Íslandi, en víða eru lyf notuð gegn laxalús og/eða öðrum sjúkdómum. Æskilegt er að taka kolefnisspor vegna framleiðslu og flutnings á lyfjum með í útreikninga á kolefnisspori laxeldis, en í því verkefni sem hér um ræðir hafði það ekki áhrif á niðurstöðuna.

7.1.6 Kælimiðlar

Íslenskar laxeldisstöðvar nota kælimiðla að einhverju marki á kælikerfi við slátrun og vinnslu. Sumir kælimiðlar eru öflugar gróðurhúsalofttegundir og því mikilvægt að taka þá með í reikninginn. Aðfangamegin (umfang 3) reiknast eingöngu sú losun sem á sér stað áður en viðkomandi kælimiðlar koma í viðkomandi stöð, þ.e.a.s. vegna framleiðslu og flutninga.¹⁷ Losun vegna notkunar miðlanna á staðnum telst hins vegar vera hluti af eigin starfsemi laxeldisstöðvanna og er reiknuð með í losun undir „umfangi 1“, sjá kafla 7.3.2.

7.1.7 Umbúðir og pökkunarefni

Pökkun á eldislaxi fer að mestu eða öllu leyti fram þar sem laxinn er alinn og honum slátrað. Við pökkun eru notaðar umbúðir af ýmsu tagi, einkum úr pappa og plasti, þ.m.t. frauðplastkassar og vörubretti. Kolefnisspor vegna framleiðslu og flutnings umbúða er tekið með í útreikninga á kolefnisspori laxeldis í þessu verkefni, með hliðsjón af opinberum breskum losunarstuðlum.¹⁸

7.2 Orka (Umfang 2)

Orka sem framleidd er annars staðar og keypt af neti fellur undir „umfang 2“ í útreikningum á kolefnisspori samkvæmt GHG-leiðarvísinum, enda á losun vegna framleiðslu orkunnar sér stað fjarri viðkomandi starfsemi. Í íslenskum veruleika er um tvenns konar orku að ræða í þessu tilliti, þ.e. annars vegar raforku sem keypt er úr dreifikerfi landsins og hins vegar varmaorku frá hitaveitu eða fjarvarmaveitu.

¹⁷ Sbr. IPPC, 2006.

¹⁸ UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2018.

7.2.1 Raforka

Losun vegna framleiðslu á raforku sem notuð er í laxeldi er hér reiknuð út frá sömu forsendum og í losunarbókhalda Íslands sem skilað er til loftslagssamnings Sameinuðu þjóðanna (NIR).¹⁹ Í þessu sambandi er miðað við framleiðslutengda losun, þ.e. raunlosun vegna raforkuframleiðslunnar (location based method). Þessi losun er óveruleg við íslenskar aðstæður, einkum þar sem rafmagn er framleitt með vatnsafla. Jarðvarmavirkjanir losa meira, en sú losun er þó lítil í samanburði við orkuver þar sem rafmagn er framleitt með brennslu á jarðefnaeldsneyti.

Samkvæmt GHL-leiðarvísinum skal meta bæði raunlosun vegna raforkunotkunar og losun sem reiknuð er út frá markaðstengdum forsendum (market-based method), þ.e.a.s. losun sem verður við framleiðslu þeirrar raforku sem keypt er að teknu tilliti til upplýsinga um sölu upprunaábyrgða. Hér er farin sú leið að byggja útreikninga á kolefnisspori á framleiðslutengdri losun, en markaðstengd losun er einnig gefin upp til upplýsingar. Væri markaðstengd losun lögð til grundvallar útreikningum á kolefnissporinu yrði hlutur raforku í því mun stærri en ella, þar sem þá væri miðað við að verulegur hluti raforkunnar væri framleiddur með kolum og gasi. Þannig var hlutur jarðefnaeldsneytis 58% árið 2017 samkvæmt útreikningum Orkustofnunar á uppruna raforku að teknu tilliti til sölu upprunaábyrgða.²⁰

7.2.2 Hiti

Engar forsendur eru tiltækar fyrir útreikninga á kolefnisspori vatns til upphitunar og því er sá þáttur ekki tekinn með í þessu verkefni. Vitað er að kolefnisspor hitaveitu er mjög lágt þar sem losun gróðurhúsalofttegunda frá lághitasvæðum er hverfandi.

7.3 Eigin starfsemi (Umfang 1)

Beinni losun gróðurhúsalofttegunda (umfang 1) í laxeldi má í aðalatriðum skipta í þrjá þætti, þ.e. losun vegna eldsneytisnotkunar, losun vegna notkunar kælimiðla og losun vegna affalla.

7.3.1 Eldsneyti

Nokkurt magn eldsneytis er notað í laxeldi, einkum dísilólía á báta sem þjónusta eldiskvíarnar en einnig dísilólía og bensín á bíla vegna athafna á landi. Brennsla jarðefnaeldsneytis er ein helsta uppspretta gróðurhúsalofttegunda og þar með ein helsta orsök loftslagsbreytinga. Allt eldsneyti sem keypt er til eldisins er tekið með í útreikningi kolefnissporsins. Framleiðsla og flutningur eldsneytisins er tekinn með í aðfangahlutanum (umfang 3, sjá kafla 7.1.3), en brennsla eldsneytisins telst hluti af eigin starfsemi og fellur því undir „umfang 1“.

Eldsneyti vegna flutninga á aðföngum er innifalið í kolefnisspori aðfanganna og eldsneyti vegna flutninga á afurðum til dreifistöðvar er innifalið í útreikningum vegna frálags (umfang 3).

¹⁹ Umhverfisstofnun, 2018b.

²⁰ Orkustofnun, 2018.

7.3.2 Kælimiðlar

Sem fyrr segir nota íslenskar laxeldisstöðvar kælimiðla að einhverju marki á kælikerfi við slátrun og vinnslu. Losun vegna notkunar miðlanna á staðnum telst hluti af eigin starfsemi og er reiknuð með undir „umfangi 1“. Losun sem á sér stað við framleiðslu og flutning kælimiðlanna, þ.e. áður en þeir koma í viðkomandi stöð, reiknast hins vegar aðfangamegin (umfang 3), sjá kafla 7.1.6.

7.3.3 Afföll

Með afföllum er hér annars vegar átt við fóður sem laxarnir éta ekki og hins vegar dauða fiska, afskurð og annað fiskhold sem kemst af einhverjum ástæðum ekki á markað sem matvara, en endar þess í stað í mjölvinnslu til skepnufóðurs eða áburðar, eða fer í úrgangsméðhöndlun. Losun vegna affalla verður einkum þegar afföllin rotna eða eru méðhöndluð sem úrgangur (í urðun eða jarðgerð). Hér er losun vegna fiskholds sem ekki nýtist tekin með í reikninginn, en hins vegar er horft fram hjá losun vegna fóðurs sem fer til spillis, af ástæðum sem hér verða nánar raktar.

Í BAT-skýrslu Norrænu ráðherranefndarinnar um fiskeldi frá árinu 2013 er gengið út frá því að í laxeldi fari um 7% af fóðrinu til spillis.²¹ Oft er reyndar miðað við mun lægri tölur, enda skiptir fátt meira máli í laxeldi en að breyta sem stærstum hluta þess fóðurs sem keypt er í ætan fisk. Í nýlegri frummatsskýrslu Rorum ehf. vegna fyrirhugaðs laxeldis í Reyðarfirði en þannig gert ráð fyrir að aðeins um 2% af fóðrinu fari til spillis.²² Í íslensku sjókvíaeldi er beitt myndavélataekni til að hámarka skilvirkni fóðurgjafar og með slíkum búnaði og öflugri vöktun verður fóðurtapið hverfandi.

Fóður sem laxarnir éta ekki flýtur eðli málsins samkvæmt annaðhvort burt með straumum eða sekkur til botns. Eitthvað af því nýtist öðrum dýrum en fellur annars til botns og rotnar þar. Sama á við um úrgang frá löxunum sjálfum. Í rotnunarferlinu myndast koldíoxíð og/eða metan, eftir því að hve miklu leyti súrefni kemst að efninu, en það ræðst væntanlega bæði af dýpi og straumum sem og af magni lífrænna úrgangsefna og súrefnisaðstæðum við botninn. Koldíoxíð sem myndast á þennan hátt telst hlutlaust í kolefnisbókhaldi og ef metan myndast í einhverjum mæli myndi jafnframt verða til nokkuð af brennisteinsvetni (H₂S) og ammoníaki (NH₃). Þessi efni eru eitruð fyrir laxa og því myndi uppstreymi þeirra undir sjókvíum leiða til verulegra vanhalda í kvíunum. Ekki hefur orðið vart við slík eitrunaráhrif svo vitað sé og því má álykta að lítið uppstreymi sé af þessum efnum. Einnig er hugsanlegt að glaðloft geti myndast sem hliðarafurð í nítrun og afnítun af völdum baktería. Glaðloft sem losnar við niðurbrot glataðs fóðurs er tekið með í sumum lífsferilsgreiningum á laxeldi,²³ en hér var ákveðið að undanskilja þessa losun vegna þess hversu mikil óvissa ríkir um stærð hennar. Glaðloftsmýndun er reyndar ólíkleg í sjókvíaeldi þar sem aðstæður á botninum henta ekki fyrir þau efnahvörf sem þá þyrftu að verða. Meiri líkur eru á að glaðloft myndist í grunnum tjörnum. Áhrif glaðloftsmýndunar á kolefnisspor laxeldis í sjó á Íslandi eru því líklega hverfandi.

²¹ Jesper Heldbo, 2013.

²² Þorleifur Eiríksson o.fl., 2017.

²³ David H.F. Robb o.fl., 2017.

Úrgangur sem fellur til botns frá eldiskvíum er ríkur af næringarefnum á borð við köfnunarefni og fosfór, en það hefur ekki bein áhrif á útreikninga á kolefnisspori.

Losun vegna annarrar úrgangsmeðhöndlunar en hér um ræðir fellur undir frálág (umfang 3), sjá kafla 7.4.1.

7.4 Frálág (Umfang 3)

Í sinni einföldustu mynd er frálág frá atvinnustarfsemi af tvennum toga, annars vegar úrgangur og flutningur hans og hins vegar framleiðsluvörur og flutningur þeirra. Hægt er að taka fleiri þætti (annað) inn í útreikning á kolefnisspori en vægi þeirra er í flestum tilvikum óverulegt í samanburði við heildarniðurstöðuna.

7.4.1 Úrgangur og flutningur hans

Úrgangur sem fellur til í laxeldi er í aðalatriðum af tvennum toga. Annars vegar er um að ræða úrgang sem tengist fiskunum sjálfum, þ.e. fiskhold sem ekki fer á markað, lífrænan úrgang frá fiskunum og leifar af fóðri sem ekki nýtist. Hins vegar er um að ræða úrgang sem fellur til við vinnslu afurðanna og aðra starfsemi í landi. Úrgangur sem tengist fiskunum sjálfum er hér reiknaður sem hluti af eigin starfsemi viðkomandi laxeldisstöðvar (umfang 1), sjá kafla 7.3.3, en að öðru leyti fellur úrgangur undir „umfang 3“.

Annar úrgangur sem fellur til við vinnslu afurðanna er einkum grófur úrgangur af ýmsu tagi, sem fer í flestum tilvikum í urðun, og umbúðaúrgangur (einkum pappír og plast) sem er í flestum tilvikum endurvinnanlegur en fer þó að einhverju leyti í urðun. Þá fellur væntanlega til eitthvað af úrgangsolíu og öðrum spilliefnum, en slíkur úrgangur er hverfandi hluti af heildarmagninu og hefur lítil sem engin áhrif á kolefnissporið.

Í þessu verkefni er útreikningur kolefnisspors vegna meðhöndlunar úrgangs byggður á sömu stuðlum og notaðir eru í skýrslugjöf Íslands til skrifstofu loftslagssamnings Sameinuðu þjóðanna (NIR).²⁴ Losun vegna flutninga er reiknuð út frá uppgefinni vegalengd frá framleiðslustað að móttökustað úrgangs. Sami háttur er hafður á við útreikning á losun vegna flutnings affalla til mjölvinnslu eða förgunar. Sá flutningur fellur undir „umfang 3“ þó að meðhöndlunin sem slík sé sem fyrr segir reiknuð með í eigin starfsemi (umfang 1).

7.4.2 Framleiðsluvörur

Það hversu langt framleiðsluvörum er fylgt eftir þegar kolefnisspor tiltekinnar framleiðslu er reiknað ræðst af kerfismörkunum sem skilgreind eru í upphafi verkefnis. Í því verkefni sem hér um ræðir er leitast við að fylgja vörunum eftir að dreifingarstöð, þ.e. til Reykjavíkur. Undir „umfang 3“, frálagsmegin, fellur því sú losun sem á sér stað á leiðinni þangað, svo sem vegna kælingar vörunnar og eldsneytis sem notað er við flutninginn. Útreikningar á þessu byggja á uppgefni vegalengd frá framleiðslustað til Reykjavíkur og taka mið af breskum stuðlum fyrir flutningabíla með og án kælibúnaðar eftir því sem við

²⁴ Umhverfisstofnun, 2018b.

á.²⁵ Sem fyrr segir er hins vegar ekki lagt mat á losun sem verður eftir að varan kemur til suðvesturhornsins, svo sem losun vegna frekari flutninga innanlands eða milli landa, losun í vöruhúsum og verslunum, losun vegna flutninga til neytenda, geymslu hjá neytendum, eldunar og afdrifa vörunnar í og eftir neyslu.

7.4.3 Annað

Fleiri þættir valda losun utan sjálfrar starfseminnar, svo sem vinnuferðir starfsmanna innanlands og utan, ferðir starfsmanna til og frá vinnu o.s.frv. Hægt væri að bæta þessum þáttum við útreikninga kolefnisspors á síðari stigum, en að sinni eru þeir látnir liggja á milli hluta.

²⁵ UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2018.

8 Aðgerðareining

Í lífsferilsgreiningum kallast sú eining sem greiningin miðast við *aðgerðareining* (functional unit). Aðgerðareining felur í sér lýsingu á þeirri grunnþjónustu sem er til skoðunar og er sú eining sem umhverfisáhrif aðfanga og frálags miðast við.

Áður en hafist er handa við útreikning á kolefnisspori tiltekinnar vöru þarf að ákveða aðgerðareininguna, þ.e.a.s. hvort kolefnissporið skuli gefið upp fyrir t.d. hvert stykki af vörunni, hvert kíló, hvern lítra, ársframleiðslu, ráðlagðan dagskammt tiltekins næringarefnis eða eitthvað enn annað. Algengt er að kolefnissporið sé gefið upp fyrir hvert kg vörunnar, en þegar um matvæli er að ræða skiptir máli hvar í ferlinu varan er vegin. Kolefnisspor hvers kíló af nýveiddum laxi er t.d. lægra en kolefnisspor hvers kíló af roðlausu og beinlausu flaki. Til að auðvelda samanburð á milli matvælategunda er gjarnan farin sú leið að miða útreikninga við „ætun mat“, þ.e. eingöngu þann hluta vörunnar sem ætlaður er til átu.

Í því verkefni sem hér um ræðir var ákveðið að aðgerðareiningin skyldi vera 1 kg af framleiðsluvöru, þ.e. 1 kg af heilum slægðum laxi (head on gutted (HOG)). Þessi leið var valin með tilliti til þess að íslenskar laxeldisstöðvar selja afurðir sínar á þessu formi. Til eru reiknistuðlar til að umreikna þessa niðurstöðu fyrir hvert kg af „ætun mat“ en þeim var ekki beitt í þessu verkefni.

Í samræmi við framanskráð er kolefnissporið í þessu verkefni gefið upp sem kg koldíoxíðsígilda á hvert kg af heilum slægðum laxi (kg CO₂-íg/kg lax).

9 Losun gróðurhúsalofttegunda frá laxeldi á Íslandi

Tafla 1 sýnir niðurstöður útreikninga reiknilíkans fyrir losun gróðurhúsalofttegunda frá laxeldi á Íslandi árið 2017 sundurliðaðar eftir þáttum og greindar niður á mismunandi flokka (flokkur/umfang 1, rautt; flokkur/umfang 2, gult; flokkur/umfang 3, blágrænt).

Tafla 1. Greining losunar gróðurhúsalofttegunda 2017 eftir uppsprettum.

Greining losunar	Losun 2017 [tonn CO ₂ -íg]
Afföll við framleiðslu	216,8
Notkun kælimiðla	62,2
Notkun eldsneytis	2,2
Losun í eigin starfsemi samtals	281,2
Raforkukaup	13,6
(Markaðstengd losun 697,1 tonn CO ₂ -íg)	
Losun vegna orkukaupa samtals	13,6
Framleiðsla og flutningur seiða	50,6
Framleiðsla og flutningur fóðurs	28.855,8
Framleiðsla og flutningur ýmissa aðfanga	0,0
Framleiðsla og flutningur kælimiðla	0,3
Framleiðsla og flutningur umbúða	1.038,4
Framleiðsla og flutningur eldsneytis (WTT)	0,5
Losun vegna aðfanga samtals	29.945,7
Flutningur og meðhöndlun úrgangs	66,9
Flutningur affalla	77,2
Flutningur afurða að dreifistöð	631,5
Losun vegna frálags samtals	775,6
Losun samtals	31.016,0

Eins og Tafla 1 gefur til kynna nam heildarlosun gróðurhúsalofttegunda frá laxeldi á Íslandi 31.016 tonnum CO₂-ígilda árið 2017 miðað við þær forsendur sem hér er miðað við. Þetta ár nam heildarframleiðslan 9.668 tonnum sem þýðir að kolefnisspor greinarinnar frá vöggum að dreifingarstöð var 3,21 kg CO₂-ígilda á hvert framleitt kg af laxi, tilbúnum til neyslu.

Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi var um 4.669.000 tonn árið 2016 (að frátalinni losun vegna LULUCF),²⁶ þannig að losun laxeldisins samkvæmt framanskráðu er óverulegur hluti af heildinni. Langstærsti hlutinn af losun gróðurhúsalofttegunda vegna

²⁶ Umhverfisstofnun, 2018a.

laxeldis á Íslandi á sér auk heldur stað utan landsteinanna og telst því ekki með í losunarbókhaldi Íslands.

Langstærsti hlutinn af kolefnisspori laxeldis á Íslandi (um 93%) liggur í framleiðslu og flutningum á fóðri. Um 3% stafa af framleiðslu og flutningi umbúða og um 2% af flutningi afurða til dreifingarstöðvar. Aðrir þætti hafa minna vægi. Af þessu er ljóst að áhrif greinarinnar á loftslagið liggja fyrst og fremst í starfsemi sem fram fer utan laxeldisstöðvanna sjálfra og reyndar erlendis eins og málum er nú háttað. Þetta þýðir að rekstraraðilar stöðvanna hafa takmarkaða möguleika á að draga úr neikvæðum áhrifum greinarinnar á loftslag jarðar. Vissulega myndi bætt nýting fóðurs minnka kolefnissporið, en úrbótum á þessu sviði eru takmörk sett þar sem greinin er þegar nálægt þekktu lágmarki hvað varðar fóðurnotkun á hvert kg af fiski (fæðuhlutfall (feed conversion ratio (FCR))).

Í vistferilsgreiningu á íslensku fiskeldi sem Verkfræðistofan Efla vann árið 2015 kom fram að kolefnisspor virðisæðju eldislax væri 2,6 kg CO₂íg/kg lax og að 65% af kolefnissporinu stafaði af framleiðslu fóðurs.²⁷ Athygli vekur að heildarniðurstaðan er talsvert lægri í greiningu Eflu en í því verkefni sem hér um ræðir og hlutur fóðurs er jafnframt mun lægri. Ekki hefur verið gerð tilraun til að bera saman forsendur þessara greininga, en báðar liggja þær á svipuðu bili og þær erlendu greiningar sem teknar eru með í samantekt Stephen Clune og féлага frá 2017. Þar liggur kolefnisspor fyrir lax á bilinu 2,04-8,33 kg/kg og flest eru gildin á bilinu 2,88-4,13 kg/kg. Meðaltal þeirra greininga sem um ræðir er 3,76 kg/kg.²⁸ Rétt er þó að taka fram að þar er búið að umreikna kolefnissporið fyrir æta matvöru en hér er það reiknað fyrir slægðan lax með haus og er því nokkru lægra en ella.

Eftirfarandi tafla sýnir kolefnisspor nokkurra valinna tegunda matvæla samkvæmt fyrrnefndri samantekt Stephen Clune og féлага frá 2017.²⁹ Í öllum tilvikum er þar um að ræða meðaltal nokkurra greininga, en breytileiki milli greininga er verulegur í sumum tilvikum.

²⁷ Eva Ingvadóttir o.fl., 2015.

²⁸ Stephen Clune o.fl., 2016.

²⁹ Sama heimild.

Tafla 2. Kolefnisspor nokkurra valinna tegunda af matvælum (meðaltöl erlendra greininga).³⁰

Tegund matvæla	Kolefnisspor (CO ₂ íg/kg af ætum mat, (meðaltal))	Fjöldi rannsókna
Kartöflur	0,20	16
Epli	0,36	21
Hveiti	0,51	20
Tómatar (óhituð gróðurhús)	0,67	5
Síld	1,17	3
Mjólk	1,39	77
Hrísgrjón	2,66	12
Egg	3,29	19
Þorskur	3,49	10
Lax	3,76	9
Kjúklingur	4,12	29
Svínakjöt	5,85	38
Humar	21,74	3
Lambakjöt	27,91	22
Nautakjöt	28,73	49

Frekar fáar greiningar hafa verið gerðar á kolefnisspori íslenskra matvæla. Þó má nefna útreikninga sem gerðir voru árið 2009 á kolefnisspori þorsklaka, þar sem kolefnissporið reyndist vera 5,14 kg CO₂íg/kg af þorski sem veiddur var með botnvörpu en 1,58 kg CO₂íg/kg af þorski sem veiddur var á línu.³¹ Í þeirri greiningu voru kerfismörkin víðari en í því verkefni sem hér um ræðir, þar sem afurðinni var fylgt eftir með flutningaskipi til Rotterdam og þaðan landleiðina til Sevilla á Spáni. Þá má nefna að skv. útreikningum Environice frá 2017 er kolefnisspor íslensks lambakjöts um 28,6 kg CO₂-ígilda á hvert framleitt kg lambakjöts.³²

Út frá því sem hér hefur verið sagt má ætla að kolefnisspor hvers kg af laxi sé hærra en fyrir flestar tegundir grænmetis, svipað og eggja og þorsks, nokkru lægra en kjúklings og svínakjöts og margfalt lægra en lambakjöts og nautakjöts. Til að setja niðurstöðuna í annað samhengi má nefna að kolefnisspor hvers lítra af dísilólíu telst vera um 3,37 kg á hvern lítra, miðað við þær forsendur sem notaðar eru í reiknilíkani Environice fyrir laxeldi, að teknu tilliti til framleiðslu og flutnings olíunnar til notanda. Því má slá því fram að hvert kg af laxi hafi svipað kolefnisspor og 1 l af dísilólíu og samsvari þannig um 20 km akstri dísilbíls sem eyðir 5 l á 100 km. Önnur viðmiðun er kolefnisspor utanlandsferða, en samkvæmt reiknivél Alþjóðaflugmálastofnunarinnar (ICAO) hefur flug eins farþega báðar leiðir milli Keflavíkur og Kaupmannahafnar í för með sér losun á 361 kg CO₂ígilda.³³ Því má slá því fram að ein Kaupmannahafnarferð samsvari neyslu á u.þ.b. 112,5 kg af laxi.

³⁰ Sama heimild.

³¹ Aðalbjörg Birna Guttormsdóttir, 2009.

³² Birna Sigrún Hallsdóttir og Stefán Gíslason, 2017.

³³ Alþjóðaflugmálastofnunin (ICAO), 2016.

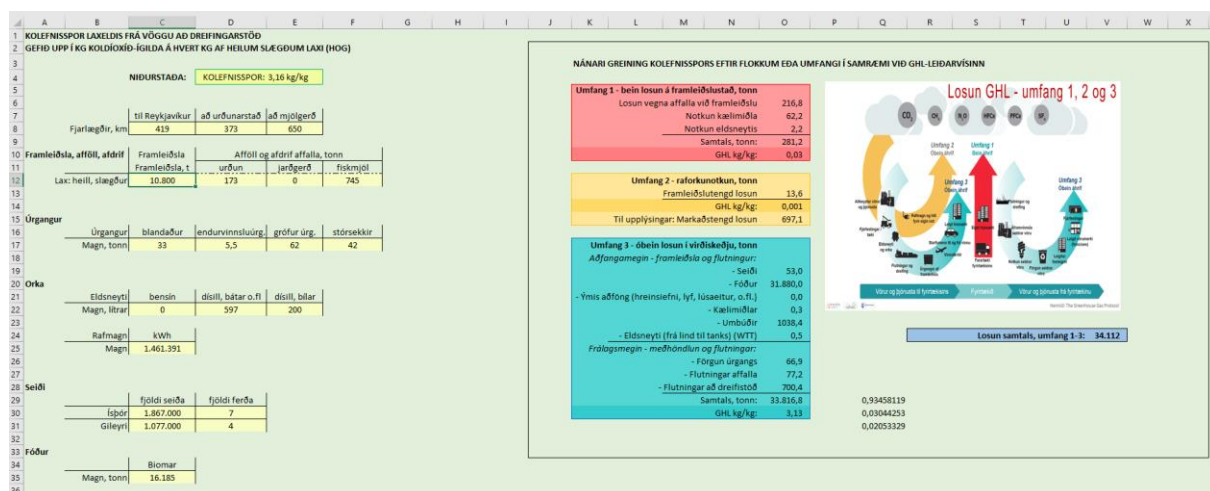
10 Kolefnisreiknivél fyrir laxeldi á Íslandi

Environice hefur hannað einfalt líkan sem gerir laxeldisstöðvum kleift að reikna kolefnisspor eigin framleiðslu. Líkanið er Excel-skjal sem samanstendur af þremur blöðum sem merkt eru sem *Leiðbeiningar*, *Kolefnisspor* og *Aðgerðir*.

Á blaðinu *Leiðbeiningar* er að finna örstuttar leiðbeiningar um notkun líkansins.

Á blaðinu *Kolefnisspor* eru reitir þar sem framleiðandinn getur slegið inn upplýsingar um aðföng sem notuð eru í framleiðslunni og aðra þá þætti sem máli skipta í útreikningunum. Líkanið reiknar kolefnisspor framleiðslunnar jafnóðum út frá upplýsingunum sem slegnar eru inn. Niðurstaðan er birt sem losun gróðurhúsalofttegunda, mæld í kg CO₂-ígilda á hvert kíló af framleiddri matvöru. Hægra megin á blaðinu er losunin sundurliðuð miðað við eftirfarandi skiptingu:

1. Flokkur eða umfang 1 (Scope 1)
 - Losun vegna affalla við framleiðslu
 - Losun vegna notkunar kælimiðla
 - Losun vegna notkunar eldsneytis
2. Flokkur eða umfang 2 (Scope 2)
 - Losun vegna rafmagnsnotkunar
3. Flokkur eða umfang 3 (Scope 3)
 - Losun vegna framleiðslu og flutnings seiða
 - Losun vegna framleiðslu og flutnings fódurs
 - Losun vegna framleiðslu og flutnings ýmissa aðfanga
 - Losun vegna framleiðslu og flutnings kælimiðla
 - Losun vegna framleiðslu og flutnings umbúða
 - Losun vegna framleiðslu og flutnings eldsneytis (WTT)
 - Losun vegna flutnings og meðhöndlunar úrgangs
 - Losun vegna flutnings affalla
 - Losun vegna flutnings afurða frá framleiðslustað að dreifingarstöð



Mynd 3. Skjaskot af blaðinu „Kolefnisspor“ með tölum fyrir landið í heild.

Á blaðinu *Aðgerðir* getur framleiðandinn skoðað hvaða áhrif mismunandi aðgerðir gætu haft á kolefnissporið, t.d. samdráttur í notkun fóðurs, jarðefnaeldsneytis eða kælimiðla, svo og aðgerðir á sviði landnotkunar (landgræðsla, skógrækt eða endurheimt votlendis).

NIDURSTAÐA: KOLEFNISSPOR: 3,16 kg/kg með bindingu

Umfang 1 - bein losun á framleiðslustað, tonn

Losun vegna affalla við framleiðslu	216,8
Notkun kælimiðla	62,2
Notkun eldsneytis	2,2
Samtals, tonn:	281,2
GHL kg/kg:	0,03

Umfang 2 - raforkunotkun, tonn

Framleiðslutengd losun	13,6
GHL kg/kg:	0,001
Til upplýsingar: Markaðstengd losun	697,1

Umfang 3 - óbein losun í virðiskeðju, tonn

Aðfangamegin - framleiðsla og flutningar:

- Sviði	53,0
- Fóður	31.880,0
- Ýmis aðfang (hreinsiefni, lyf, lúsaætur, o.fl.)	0,0
- Kælimiðlar	0,3
- Umboðir	1038,4
- Eldsneyti (frá lind til tanks) (WTT)	0,5

Frálagsmegin - meðhöndlun og flutningar:

- Förgun úrgangs	66,9
- Flutningar affalla	77,2
- Flutningar að dreifstöð	700,4
Samtals, tonn:	33.816,8
GHL kg/kg:	3,13

Losun GHG - umfang 1, 2 og 3

Losun samtals, umfang 1-3: **34.112** tonn CO₂-ígildi

Binding samtals (landgræðsla, skógrækt, endurheimt*): **0** tonn CO₂-ígildi

Nettólosun (losun að frádráginni bindingu*): 34.112 tonn CO₂-ígildi

*hér er endurheimt votlendis talin með bindingu þó tæknilega sé um að ræða samdrátt í losun frá framreustu landi

Mynd 4. Skjáskot af blaðinu „Aðgerðir“ (óútfylltu).

Sundurliðun kolefnissporsins er enn að finna hægra megin á síðunni. Tölurnar í þeirri töflu breytast jafnóðum og áformaðar aðgerðir eru slegnar inn og sýna þannig á einfaldan hátt hvaða árangurs má vænta af hverri aðgerð um sig.

11 Leiðir til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda

Hér á eftir verður fjallað lauslega um nokkra möguleika til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda frá laxeldi, með áherslu á eftirfarandi:

- Bætt nýting
- Breyttir kælimiðlar
- Orkuskipti og orkusparnaður
- Bætt meðhöndlun úrgangs
- Fóðurframleiðsla

Þá verður einnig fjallað um leiðir til að nýta aðgerðir á sviði landnotkunar til að draga úr losun og/eða auka bindingu, nánar tiltekið landgræðslu, skógrækt og endurheimt votlendis.

Í staðli Aquaculture Stewardship Council (ASC) fyrir laxeldi, sem m.a. er unnið eftir hjá Arnarlaxi hf., er að finna fjöldann allan af ábendingum um leiðir til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda og öðrum neikvæðum umhverfisáhrifum laxeldis.³⁴ Umfjöllunin hér á eftir tekur að vissu marki mið af þessum staðli.

11.1 Bætt nýting

Bætt nýting fódurs og lágmarkun affalla í framleiðslunni eru þeir þættir í eigin starfsemi laxeldisstöðva sem hafa mest áhrif á kolefnissporið og fela því í sér helstu tækifærin til úrbóta hvað þetta varðar. Framfarir á þessum sviðum eru þó háðar bæði líffræðilegum og eðlisfræðilegum takmörkunum. Þannig er greinin nú þegar nálægt þekktu lágmarki hvað varðar fóðurnotkun á hvert kg af fiski (fæðuhlutfall (feed conversion ratio (FCR))). Þetta hefur m.a. náðst með því að beita myndavélataekni til að hámarka skilvirkni fóðurgjafar. Sömuleiðis hefur náðst mikill árangur í að lágmarka vanhöld í laxeldinu, enda augljóst að í þessum efnunum fara hagsmunir rekstrarins og loftslagsins saman. Þegar á heildina er litið má því ætla að möguleikar íslensks laxeldis til að minnka kolefnisspor með bættri nýtingu hafi þegar verið nýttir að verulegu leyti.

11.2 Breyttir kælimiðlar

Notkun vetnisflúorkolefna á kælikerfi í vinnslustöðvum laxeldis á einhvern þátt í kolefnisspori greinarinnar og þar sem svo hagar til er hægt að minnka sporið nokkuð með því að skipta þessum kælimiðlum út og taka aðra loftslagsvænni miðla í notkun, svo sem ammoníak.

11.3 Orkuskipti og orkusparnaður

Brennsla olíu í báta- og bílvélum á sinn þátt í kolefnisspori laxeldis, þó að þessi þáttur sé vissulega óverulegur í heildarsamhenginu. Allar aðgerðir sem miða að því að lágmarka notkun jarðefnaeldsneytis eru þó til þess fallnar að hægja á loftslagsbreytingum, hvort sem það er gert með markvissara viðhaldi og rekstri báta og bíla eða með því að knýja þá

³⁴ ASC, 2017.

með hreinni orkugjöfum. Síðari valkosturinn er flóknari í framkvæmd en skilar líka meiri árangri.

Flutningur afurða vegur tiltölulega þungt í kolefnisspori laxeldisins og þar mætti eflaust ná einhverjum árangri í því að minnka kolefnissporið. Það viðfangsefni snýst líka um orkuskipti og orkusparnað, sem m.a. getur falist í bættri nýtingu flutningatækja, svo ekki sé minnst á þann möguleika að knýja tækin með hreinni orkugjöfum. Ekki er þó sjálfgefið að auðvelt sé að ná fram úrbótum á þessum sviðum. Þannig má ætla að flutningatæki séu nú þegar allvel nýtt og enn sem komið er bjóðast fáir valkostir hvað varðar orkuskipti í flutningum. Laxeldisfyrirtækin hafa auk heldur ekki stjórn á þessum þáttum nema að óverulegu leyti.

11.4 Bætt meðhöndlun úrgangs

Meðhöndlun úrgangs á ekki stóran þátt í kolefnisspori laxeldis á Íslandi, en þar sem annars staðar geta þó leynst tækifæri til úrbóta. Í þessu sambandi skiptir mestu máli að koma í veg fyrir að úrgangur myndist (úrgangsforvarnir). Næsta atriði í forgangs röðinni er að stuðla að sem mestri endurnotkun, þ.e. að stuðla að því að hlutir sem til falla í rekstrinum séu notaðir aftur, annaðhvort í eigin rekstri eða annars staðar. Þetta gæti t.d. átt við um vörubretti og aðrar flutningsumbúðir. Að þessu frátöldu skiptir mestu máli að koma öllum endurvinnanlegum úrgangi í endurvinnslu, þ.m.t. að nýta allan lífrænan úrgang til jarðgerðar og eftir atvikum gasvinnslu. Hér er þá átt við allt það lífræna efni sem ekki tekst að nýta til manneldis eða til mjölvinnslu. Sé framangreindum þáttum sinnt af kostgæfni ætti mjög lítið af efni að lenda í urðun, en með urðun eru þær auðlindir sem liggja í efninu teknar endanlega út úr hagkerfinu með tilheyrandi fjárhagslegu og umhverfislegu tjóni fyrir samfélagið. Losun metans frá urðunarstöðum á talsverðan þátt í losun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi (4,6%).³⁵

11.5 Fóðurframleiðsla

Eins og fram hefur komið liggur yfirgnæfandi hluti kolefnisspors laxeldis á Íslandi í framleiðslu og flutningum á fóðri og þar af leiðandi eru stærstu tækifærin til að draga úr losun greinarinnar í höndum annarra en rekstraraðila laxeldisstöðvanna. Fóðurframleiðendur hafa þegar tekið stór skref í átt að minnkandi kolefnisspori afurða sinna,³⁶ bæði vegna þrýstings frá kaupendum og neytendum almennt. Liður í þessu hefur m.a. verið að auka hlut hráefna úr plönturíkinu í fóðrinu á kostnað hráefna úr dýraríkinu. Hráefnisverð er þó eðlilega takmarkandi þáttur hvað þetta varðar, auk þess sem breytingar á samsetningu fóðurs geta leitt til svo mikillar röskunar á næringarinnihaldi að það bitni á magni og gæðum afurða laxeldisins.³⁷ Greining á tækifærum fóðurframleiðenda til að minnka kolefnisspor laxafóðurs var ekki hluti af viðfangsefnum þess verkefnis sem hér um ræðir.

³⁵ Umhverfisstofnun, 2018a.

³⁶ ASC, 2017.

³⁷ Patrik Henriksson o.fl., 2013.

11.6 Aðgerðir á sviði landnotkunar

11.6.1 Landgræðsla

Landgræðsla getur minnkað kolefnisspor verulega, annars vegar með því að stöðva losun frá landi í hnignun og hins vegar með því að byggja upp jarðveg og gróðurþekju sem hvort tveggja bindur kolefni. Mestum árangri á þessu sviði er hægt að ná á landi í hnignun, þar sem samtímis er hægt að ná fram samdrætti í losun og aukinni bindingu. Árangurinn ræðst mjög af ástandi landsins og þeim aðferðum sem beitt er. Því er erfitt að tiltaka fasta tölu á hektara. Í líkani Environice er fyrst um sinn gert ráð fyrir að landgræðsla bæti kolefnisbúskapinn að meðaltali um 2,1 tonn CO₂-ígilda á hektara á ári. Sú nálgun er byggð á skýrslu Jóns Guðmundssonar frá árinu 2016 um losun frá landbúnaði.³⁸

11.6.2 Skógrækt

Skógrækt er vel þekkt leið til að binda kolefni. Árangurinn ræðst þó mjög af því hvernig staðið er að skógræktinni, bæði hvað varðar ástand viðkomandi lands í upphafi verkefnis og af vali á trjátegundum og ræktunaraðferðum. Eins skiptir máli hvernig bindingin er reiknuð, þ.e. hvort gert er ráð fyrir línulegum vexti frá fyrsta degi eða hvort reiknað er með að trén nái ekki fullum afköstum í bindingu fyrr en að einhverjum árum liðnum. Loks skiptir máli hvort bindingunni er dreift á fleiri eða færri ár, þ.e. hvenær trén hafa náð fullum vexti þar sem binding og losun vegast á. Í líkani Environice er fyrst um sinn gert ráð fyrir að skógrækt bæti kolefnisbúskapinn að meðaltali um 6,2 tonn CO₂-ígilda á hektara á ári. Sú nálgun er byggð á skýrslu Jóns Guðmundssonar frá árinu 2016 um losun frá landbúnaði.³⁹

11.6.3 Endurheimt votlendis

Endurheimt votlendis er líklega sú aðgerð á sviði landnotkunar sem getur haft mest áhrif til minnkunar á kolefnisspori. Í óröskuðu votlendi kemur há vatnsstaða í veg fyrir að súrefni berist niður í svörðinn, sem þýðir að þar getur loftháð niðurbrot lífrænna efna ekki átt sér stað nema að mjög óverulegu leyti. Við náttúrulegar aðstæður í votlendi á sér hins vegar stað eitthvert loftfirrt niðurbrot sem leiðir til losunar metans út í andrúmsloftið. Þar er þó ekki um stórar tölur að ræða, auk þess sem sú losun telst náttúruleg. Þegar votlendi er ræst fram kemst súrefni niður í svörðinn, niður að hinu nýja vatnsyfirborði. Þá hefst oxun lífrænna efna sem leiðir til losunar á CO₂ út í andrúmsloftið. Þessi losun er veruleg og stendur yfir áratugum eða jafnvel öldum saman. Það hversu mikil losunin er ræðst af mörgum þáttum. Í því sambandi skiptir til að mynda máli hversu þykkur og þéttur jarðvegurinn er, hvernig hann er samsettur, hvaða gróður var til staðar fyrir framræslu, hvaða gróður er til staðar núna og hvort þessi gróður sé í vexti eða á undanhaldi.

Til eru ýmsar mismunandi mælingar á koldíoxíðsmagninu sem losnar við oxun kolefnis í framræstu votlendi. Þannig miðar Vísindanefnd Sameinuðu þjóðanna við um það bil 27,5 tonn á hektara á ári en íslenskar rannsóknir benda til að talan sé nokkru lægri eða nálægt 22,5 tonnum. Áætlað er að náttúruleg losun úr votlendi (einkum metans) samsvari u.þ.b. 3 tonnum af koldíoxíði á ári, sem þýðir að við framræslu eykst losunin um 27,5-3,0=24,5

³⁸ Jón Guðmundsson, 2016.

³⁹ Sama heimild.

tonn á hektara á ári skv. viðmiðum Vísindanefndar SP en $22,5 - 3,0 = 19,5$ tonn á hektara á ári sé miðað við íslenskar rannsóknir.⁴⁰

Sé votlendi endurheimt með því að stífla eða fylla upp í framræsluskurði stöðvast oxun kolefnis í jarðveginum þegar í stað og þar með stöðvast losun CO₂. Í líkani Environice er fyrst um sinn miðað við íslenskar rannsóknir og gert ráð fyrir að endurheimt votlendis komi að meðaltali í veg fyrir losun á um 19,5 tonnum CO₂-ígilda á hektara á ári.

11.6.4 Vottun og alþjóðlegir samningar

Þær aðgerðir á sviði landnotkunar sem hér hafa verið nefndar eru allar til þess fallnar að draga úr loftslagsbreytingum af mannavöldum. Hins vegar nýtast þær lítið sem ekkert í viðleitninni til að uppfylla alþjóðlegar skuldbindingar Íslands í loftslagsmálum (sjá kafla 2). Þeir aðilar hérlendis sem taka að sér að bæta kolefnisbúskapinn með landgræðslu, skógrækt eða endurheimt votlendis byggja aðgerðir sínar og útreikninga á bestu fínanlegu þekkingu á hverjum tíma og eru í samstarfi við óháða aðila sem fylgjast með því að verkin séu rétt framkvæmd og skili tilætluðum árangri. Verkefni sem um ræðir njóta hins vegar enn sem komið er ekki alþjóðlegrar viðurkenningar loftslagssamnings Sameinuðu þjóðanna eða skyldra stofnana. Fyrirtæki, stofnanir eða einstaklingar sem vilja fjárfesta í kolefnisjöfnunarverkefnum með alþjóðlega vottun þurfa að leita fyrir sér utan landssteinanna.

11.7 Byggðatenging mótvægisáðgerða

Við gerð þessarar skýrslu var gerð lausleg könnun á möguleikum laxeldisfyrirtækja á að byggðatengja þær mótvægisáðgerðir sem fyrirtækin kjósa að ráðast í til minnkunar á kolefnisspori sínu, eða með öðrum orðum hvort mögulegt sé að tengja mótvægisáðgerðir við heimahérað viðkomandi framleiðenda þannig að áðgerðirnar styðji við landbætur og atvinnuuppbyggingu á svæðinu. Í þessu tilviki var einkum horft til Vestfjarða, þar sem þeir eru eini landshlutinn þar sem laxeldi í sjó var stundað að einhverju marki 2017. Niðurstaða þessarar könnunar var að fljótt á lítið væri ekkert því til fyrirstöðu að byggðatengja áðgerðirnar með þessum hætti, í það minnsta á Vestfjörðum. Í þessu sambandi má nefna að hliðstæð verkefni eru þegar komin af stað á Austfjörðum með aðkomu Alcoa Fjarðaáls.⁴¹

Á Vestfjörðum er talsverður fjöldi af eyðijörðum þar sem land var framræst í allmiklum mæli á meðan jarðirnar voru enn í byggð. Nokkrir jarðeigendur á svæðinu hafa lýst yfir vilja til samstarfs við Votlendissjóð um endurheimt votlendis á jörðunum og ekkert virðist því til fyrirstöðu að laxeldisfyrirtæki geti samið við Votlendissjóð um verkefni af því tagi. Sama gildir um hugsanlegt samstarf við Skjólaskóga Vestfjarða varðandi skógrækt til kolefnisbindingar, þar sem einnig er til staðar nægt land til skógræktar og vilji til samstarfs. Forsvarsmenn Votlendissjóðs og Skjólaskóga hafa jafnframt lýst yfir vilja til samstarfs á milli þessara tveggja verkefna, en útfærsla samstarfsins er á byrjunarstigi þegar þetta er ritað (október 2018).⁴²

⁴⁰ Sama heimild.

⁴¹ Eyþór Eðvarðsson, Votlendissjóði, 2018 (munnlegar upplýsingar).

⁴² Sama heimild.

12 Kostnaður við mótvægisáðgerðir

Í kafla 11.6 eru tilteknaðar þrenns konar áðgerðir á sviði landnotkunar sem eru til þess fallnar að minnka kolefnisspor. Þar eru einnig settar fram meðaltalstölur um ætlaðan árangur af hverri áðgerð um sig, talið í tonnum CO₂-ígilda á hektara á ári. Hér á eftir verður fjallað lauslega um kostnað við þessar áðgerðir, hverja um sig. Rétt er að undirstrika að hér er eingöngu um meðaltöl að ræða, en raunkostnaður getur verið mjög breytilegur eftir aðstæðum á hverjum stað.

Í skýrslu Hagfræðistofnunar HÍ (HHÍ) um loftslagsmál, sem út kom í febrúar 2017, var lagt lauslegt mat á kostnað vegna landgræðslu út frá tölum frá Landgræðslu ríkisins.⁴³ Samkvæmt tölum Landgræðslunnar kostaði hver hektari í landgræðslu að meðaltali um 166.665 kr., byggt á áætlunum fyrir árið 2014.⁴⁴ Sé gert ráð fyrir að þessi tala hafi miðast við meðaltal vísitölu neysluverðs 2014 (421,1), jafngildir þetta 180.795 kr. á hektara á verðlagi í september 2018 (456,8). Inni í þessari tölu voru allir liðir sem tengjast efniskostnaði, svo sem innkaup og dreifing á fræi og áburði, svo og kostnaður vegna eftirfylgni og umsýslu, allt miðað við tiltekna blöndu tegunda og aðferða. Kostnaður vegna girðinga er hins vegar ekki meðtalinn, en gera má ráð fyrir að hver km í girðingu kosti um 750 þús. kr. Sú áætlun byggir á útreikningum sem gerðir voru fyrir Vegagerðina miðað við verðlag haustið 2012, en þá var netgirðing með tréstaurom talin kosta 666.380 kr./km.⁴⁵ Það samsvarar 761.767 kr. miðað við hækkun vísitölu neysluverðs frá september 2012 til september 2018 (úr 399,6 í 456,8). Þörf fyrir girðingar er mjög breytileg eftir staðháttum og ræðst m.a. af þeim girðingum sem fyrir eru, aðliggjandi girðingum vegna vegagerðar þar sem um slíkt er að ræða, því hvort girt er á landamörkum o.s.frv. Auk þess ræðst lengd girðingar ekki aðeins af flatarmáli viðkomandi spildu, heldur einnig af lögun hennar.

Eins og fram kemur í kafla 11.6.1 má gera ráð fyrir að landgræðsla bæti kolefnisbúskapinn að meðaltali um 2,1 tonn CO₂-ígilda á hektara á ári. Sé gert ráð fyrir að kostnaður á hvern hektara sé um 200 þús. kr. með girðingum jafngildir það stofnkostnaði upp á u.þ.b. 95 þús. kr./tonn CO₂-ígilda. Þetta væri í raun einskíptiskostnaður, þar sem ætla má að land sem grætt er upp með þessum hætti haldi áfram að binda umrætt magn kolefnis árlega í 60 ár (sjá neðar). Eðlilegt er að reikna með einhverjum árlegum kostnaði vegna umsýslu, viðhalds girðinga o.s.frv., en þær tölur ættu að vera óverulegar í hlutfalli við stofnkostnaðinn.

Samkvæmt tölum sem fengust frá Skógræktinni haustið 2017 kostaði hver hektari í skógrækt þá 355.065 kr.⁴⁶ Sé gert ráð fyrir að þessi tala hafi miðast við meðaltal vísitölu neysluverðs 2017 (443,0), jafngildir þetta 366.126 kr. á hektara á verðlagi í september 2018 (456,8). Inni í þessari tölu er allur beinn kostnaður, þ.e. kaup á plöntum, gróðursetning, áburður og áburðargjöf, jarðvinnsla og umsýsla. Kostnaður vegna girðinga er hins vegar ekki meðtalinn (sjá umfjöllun hér að framan).

⁴³ Hagfræðistofnun Háskóla Íslands, 2017 (bls. 136).

⁴⁴ Jóhann Þórisson o.fl., 2015 (óbirt skýrsla).

⁴⁵ Grétar Einarsson, 2013.

⁴⁶ Sigríður Júlía Brynleifsdóttir, 2017 (óbirt minnisblað).

Eins og fram kemur í kafla 11.6.2 má gera ráð fyrir að skógrækt bæti kolefnisbúskapinn að meðaltali um 6,2 tonn CO₂-ígilda á hektara á ári. Sé gert ráð fyrir að kostnaður á hvern hektara sé um 380 þús. kr. með girðingum jafngildir það stofnkostnaði upp á rúmlega 60 þús. kr./tonn CO₂-ígilda. Þessi fjárfesting ætti að duga í það minnsta í nokkra áratugi (sjá neðar), en á sama hátt og í tilfalli landgræðslunnar er eðlilegt að reikna með einhverjum árlegum kostnaði vegna umsýslu, viðhalds girðinga o.s.frv., auk kostnaðar við umhirðu skógarins.

Mat á kostnaði við endurheimt votlendis er byggt á tölum úr aðgerðaáætlun umhverfis- og auðlindaráðuneytisins um endurheimt votlendis frá mars 2016. Þar er gert ráð fyrir að „*beinn framkvæmdakostnaður við að fylla í framræsluskurði geti verið um 500 kr./lengdarmetra*“ og að hver km af skurðum ræsi fram um 25 ha votlendis að jafnaði.⁴⁷ Samkvæmt því þarf um 40 m af skurðum til að ræsa fram einn hektara af votlendi og er kostnaður á hvern hektara því um 20 þús. kr. Þessar tölur fela ekki í sér kostnað vegna umsýslu, undirbúnings eða eftirfylgni. Sé reiknað með 25% álagi vegna þessara kostnaðarliða verður heildarkostnaðurinn 25 þús. kr./ha. Sé gert ráð fyrir að þessi tala hafi miðast við meðaltal vísitölu neysluverðs 2015 (428,0), jafngildir þetta 26.682 kr. á hektara á verðlagi í september 2018 (456,8). Ætla má að þessi tala sé í lægri mörkunum, en til samanburðar má nefna að á heimasíðu Votlendissjóðs er gert ráð fyrir að kostnaðurinn sé um 100 þús. kr. á hektara.⁴⁸

Eins og fram kemur í kafla 11.6.3 má gera ráð fyrir að endurheimt votlendis bæti kolefnisbúskapinn að meðaltali um 19,5 tonn CO₂-ígilda á hektara á ári. Sé gert ráð fyrir að kostnaður á hvern hektara sé um 27 þús. kr. með girðingum jafngildir það stofnkostnaði upp á tæplega 1.500 kr./tonn CO₂-ígilda, en um 5.000 kr./tonn sé miðað við 100 þús. kr./ha. Þessi fjárfesting ætti að duga í áratugi eða jafnvel aldir, en á sama hátt og í öðrum landbótum er eðlilegt að reikna með einhverjum árlegum rekstrarkostnaði.

Kostnaðartölurnar sem settar eru fram í þessum kafla gefa vísbendingu um líklegan kostnað laxeldisfyrirtækja við kolefnisjöfnun á hverju tonni koldíoxíðs sem frá þeim kemur. Endanlegur kostnaður ræðst hins vegar af samningum við þá aðila sem annast kolefnisjöfnunina.

Rétt er að undirstrika að þeir útreikningar sem beitt er þegar lagt er mat á árangur landbótaverkefna og kostnað við þær fela jafnan í sér ýmsar einfaldanir. Í umfjölluninni hér að framan er til að mynda gert ráð fyrir að loftslagslegur ávinningur aðgerðanna skili sér strax á fyrsta ári og haldist stöðugur eftir það, þannig að kolefnisbindingin verði 2,1 tonn/ha/ári á landgræðslusvæðunum og 6,2 tonn/ha/ári í skóginum. Í reynd eiga þær aðgerðir sem snúa að landgræðslu og skógrækt það sameiginlegt að fullur árangur næst ekki fyrr en eftir nokkur misseri. Á móti kemur að þegar fram í sækir má búast við meiri árlegum árangri en hér er gengið út frá. Tölurnar eru með öðrum orðum meðaltöl yfir lengri tíma, þ.e. allan endingartíma aðgerðarinnar.

⁴⁷ Samráðshópur, 2016 (bls. 6-8).

⁴⁸ Votlendissjóður, 2018.

Landgræðsla og skógrækt hafa tiltekinn endingartíma hvað bindingu kolefnis varðar, þ.e. þangað til jarðvegur og gróður á svæðinu hefur bundið allt það kolefni sem hægt er að geyma á viðkomandi spildu. Í skýrslu HHÍ er gert ráð fyrir að binding í landgræðslu eigi sér stað í 60 ár.⁴⁹ Þar kemur hins vegar ekki skýrt fram hvaða bindingartíma sé reiknað með í skógrækt. Til að viðhalda árlegum árangri þyrfti að græða upp samsvarandi landspildu og planta jafnmörgum trjám á nýjan leik þegar þegar fullum vexti er náð.

Endurheimt votlendis kemur sem fyrr segir í veg fyrir losun 19,5 tonna/ha/ári miðað við þær forsendur sem hér er gengið út frá. Búast má við varanlegum árangri þessarar aðgerðar nánast frá upphafi. Endingartíminn er talinn í áratugum eða jafnvel öldum.

Við val á landi til landgræðslu er eðlilegt að fyrst sé horft til lands sem er að tapa kolefni, þ.e.a.s. lands þar sem enn á sér stað eyðing jarðvegs eða gróðurs. Landgræðsluaðgerðir á slíkum svæðum myndu skila mestum árangri, þar sem þar fara saman kolefnisbinding og stöðvun losunar. Enn vantar þó upplýsingar til að unnt sé að reikna þann árangur inn í dæmi eins og það sem hér er sett fram.

⁴⁹ Hagfræðistofnun Háskóla Íslands, 2017 (bls. 136).

13 Lokaorð

Útreikningar á kolefnisspori geta aldrei orðið 100% réttir eða óvæfengjanlegir, enda skortir enn töluvert á vísindalega þekkingu á veigamiklum þáttum í kolefnisbúskapnum. Þetta á þó enn frekar við um árangur af mótvægisaðgerðum til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda og til að auka bindingu kolefnis í jarðvegi og gróðri. Hvað sem þessu líður er ljóst að tafarlaust þarf að grípa til róttækra aðgerða til að sporna gegn loftslagsbreytingum, hvort sem horft er til hagsmuna laxeldisins, þjóðarbúsins eða mannkynsins alls. Til að geta hafist handa við þetta brýna viðfangsefni þarf að byggja aðgerðir á bestu fánlegu þekkingu á hverjum tíma og endurreikna og uppfæra síðan þær áætlanir sem liggja til grundvallar, eftir því sem þekkingunni vindur fram.

Til að hægt verði að ná sem mestum og skjótustum árangri í loftslagsmálum er afar brýnt að safna upplýsingum og skrá þær – og þar geta allir lagt nokkuð af mörkum. Því hraðar sem þekkingin byggist upp, þeim mun hraðar mun ganga að bæta aðferðafræðina og þeim mun fyrr verður hægt að byggja áætlunargerð og mat á árangri á traustum forsendum. Það verkefni sem hér um ræðir er mikilvægur liður í að skapa nauðsynlegan þekkingarlegan grundvöll fyrir aðgerðir til að draga úr loftslagsáhrifum fiskeldis.

Hvernig sem á allt er litið er ljóst að markvissar aðgerðir laxeldisstöðva til kolefnisjöfnunar greinarinnar með því að binda kolefni og draga úr losun gróðurhúsalofttegunda geta skilað miklum árangri, bæði fyrir lofthjúp jarðar og þær kynslóðir sem byggja jörðina, nú og til framtíðar. Þessi viðleitni mun stuðla að því að þjóðir heims nái sameiginlegum heimsmarkmiðum sínum 2030 og er til þess fallin að bæta ímynd greinarinnar og auðvelda sölu afurða til langs tíma litið.

14 Heimildaskrá

1. Aðalbjörg Birna Guttormsdóttir (2009): *Life Cycle Assessment on Icelandic cod product based on two different fishing methods. Environmental impacts from fisheries*. Meistararitgerð, Umhverfis- og auðlindafræði, Verkfræðideild Háskóla Íslands. <http://www.matis.is/media/utgafa/krokur/Adalbjorg-Birna-Vistferilgreining-LCA.pdf>.
2. Alþjóðaflugmálastofnunin (ICAO), (2016): *Carbon Emissions Calculator*. <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>.
3. ASC, Aquaculture Stewardship Council (2017): *ASC Salmon Standard v1.1 - April 2017*. https://www.asc-aqua.org/wp-content/uploads/2017/07/ASC-Salmon-Standard_v1.1.pdf.
4. Birna Sigrún Hallsdóttir og Stefán Gíslason (2017): *Losun gróðurhúsalofttegunda frá sauðfjárbúum á Íslandi og aðgerðir til að draga úr losun*. Landssamtök sauðfjárbænda. <https://www.environice.is/wp-content/uploads/2018/01/GHL-saudfe-Environice-LOKA.pdf>.
5. Cefic og ECTA (2011). *Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations*. <http://www.cefic.org/Industry-support/Responsible-Care-tools-SMEs/5-Environment/Guidelines-for-managing-CO2-emissions-from-transport-operations>.
6. David H.F. Robb, Michael MacLeod, Mohammad R. Hasan and Doris Soto (2017): *Greenhouse gas emissions from aquaculture. A life cycle assessment of three Asian systems*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 609. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Róm. <http://www.fao.org/3/a-i7558e.pdf>.
7. Eva Yngvadóttir o.fl. (2015): *Fiskeldi á Íslandi – frammistaða í umhverfismálum*. Fiskeldisfréttir, 5. tölublað 4. árgangur, október 2015, bls. 15-17. <https://lagareldi.is/wp-content/uploads/2016/04/Fiskeldisfrettir-5.4.2015.pdf>.
8. Evrópusambandið (2018): *Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework, and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2018.156.01.0001.01.ENG>.
9. Festa og Reykjavíkurborg (2016): *Loftslagsmarkmið fyrirtækja. Tillögur að sniðmáti til að mæla og setja markmið*. Glærुकyning vinnuhóps Festu 24. febrúar 2016.
10. Grétar Einarsson (2013). *Veggirðingar. Girðingar. Verk- og kröfulýsingar*. III. útgáfa. Unnið fyrir Vegagerðina. Hvanneyri, maí. <https://www.slideshare.net/festacs/loftslagsmarkmi-festa-og-reykjavkurborg-vimi>.
11. Hagfræðistofnun Háskóla Íslands (2017): *Skýrsla nr. C17:01. Ísland og loftslagsmál, febrúar 2017*. https://www.stjornarradid.is/media/umhverfisraduneyti-media/media/pdf skrar/island_og_loftslagsmal_hhi_feb_2017.pdf.
12. IPCC (2006): *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
13. Jesper Heldbo (ritstj.) (2013): *Bat for fiskeopdræt i Norden. Bedste tilgængelige teknologier for Akvakultur i Norden*. TemaNord 2013:529. Norræna Ráðherranefndin, Kaupmannahöfn. <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:701735/FULLTEXT01.pdf>.
14. Jón Guðmundsson (2016): *Greining á losun gróðurhúsalofttegunda frá íslenskum landbúnaði*. Landbúnaðarháskóli Íslands, október 2016. https://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF skrar/Greining-a-losun-grodurhusa-vegna-landbunadar_161012JG_okt.pdf.
15. Loftslagssamningur Sameinuðu þjóðanna (2016): *Submission by Iceland to the ADP. Iceland's Intended Nationally Determined Contribution*. (Landsákvarðað framlag Íslands gagnvart Parísarsamningnum), sent skrifstofu loftslagssamningsins 21. september 2016.

- <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Iceland%20First/INDC-ICELAND.pdf>.
16. Nathan W. Ayer og Peter H. Tyedmers (2008): *Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada*. Journal of Cleaner Production, 2008 (1-12).
https://www.fcrn.org.uk/sites/default/files/Assessing_aquaculture_technologies_In_Canada.pdf.
 17. Orkustofnun (2018): *Uppruni raforku 2017*.
<https://orkustofnun.is/yfirflokkur/raforkunotandinn/uppruni-raforku/uppruni-raforku-2017/>.
 18. Patrik Henriksson, Nathan Pelletier, Max Troell and Peter Tyedmers, (2013). *Life Cycle Assessments and Their Applications to Aquaculture Production Systems life cycle assessment (LCA) aquaculture production systems*. Marine Fisheries Enhancement: Coming of Age in the New Millennium (bls. 1050-1066).
https://www.researchgate.net/publication/301991855_Life_Cycle_Assessments_and_Their_Applications_to_Aquaculture_Production_Systems_life_cycle_assessment_LCA_aquaculture_production_systems.
 19. Ríkisstjórn Íslands (2017): *Sáttmáli Framsóknarflokks, Sjálfstæðisflokks og Vinstrihreyfingarinnar – græns framboðs um ríkisstjórnarsamstarf og eflingu Alþingis*.
<https://www.stjornarradid.is/rikisstjorn/stefnuyfirlysing>.
 20. Samráðshópur um endurheimt votlendis (2016): *Endurheimt votlendis. Aðgerðaáætlun. Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 7. mars 2016*.
https://www.stjornarradid.is/media/umhverfisraduneyti-media/media/PDF_skrar/sk160307_endurheimt_votlendis.pdf.
 21. Stephen Clune, Enda Crossin and Karli Verghese (2016): *Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories*. Journal of Cleaner Production 140(2017) 766-783. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616303584>.
 22. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2018): *Conversion factors 2018 - Full set (for advanced users)*. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2018>.
 23. Ulf Sonesson, Christel Cederberg og Maria Berglund (2009): *Greenhouse gas emissions in animal feed production. Decision support for climate certification*. Klimatmärkning för mat. Report 2009:2. <http://www.klimatmarkningen.se/wp-content/uploads/2009/12/2009-2-feed.pdf>.
 24. Umhverfis- og auðlindaráðuneytið (2018): *Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum 2018 – 2030*. Fyrsta útgáfa, september 2018.
[https://samradsgatt.island.is/oll-mal/\\$Cases/Details/?id=124](https://samradsgatt.island.is/oll-mal/$Cases/Details/?id=124).
 25. Umhverfisstofnun (2018(a)): *Losun Íslands*.
<https://ust.is/einstaklingar/loftslagsbreytingar/losun-islands>.
 26. Umhverfisstofnun (2018(b)): *National Inventory Report. Emissions of Greenhouse Gases in Iceland from 1990 to 2016. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol*.
<https://www.ust.is/library/Skrar/Atvinnulif/Loftslagsbreytingar/NIR%202018%2015%20April%20submission.pdf>.
 27. Votlendissjóður (2018): *Kolefnisjöfnuður*. <http://votlendi.is/kolefnisjofnudur>.
 28. World Resources Institute (2004): *The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Revised edition.
<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>.
 29. Xinxin Wang et al. (2012): *Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture*. Aquaculture environmental interactions 2:287-283. <https://www.int-res.com/articles/aei2012/2/q002p267.pdf>.

30. Þorleifur Eiríksson, Guðmundur Víðir Helgason, Sigmundur Einarsson, Anna Guðrún Edvardsdóttir, Kristján Lilliendahl, Adam Hoffritz, Gunnar Steinn Gunnarsson og Einar Örn Gunnarsson (2017): *Viðbótarframleiðsla Laxa fiskeldis ehf. á 10.000 tonnum aflaxi í sjókvíum í Reyðarfirði. Mat á umhverfisáhrifum. Frummatsskýrsla. Laxar fiskeldi ehf.*
http://www.skipulag.is/media/attachments/Umhverfismat/1258/reydarfjordur_laxar_fiske_ldi_frummatsskyrsla.pdf.

Viðauki 1: Skammstafanir og skýringar

- **GHL:** Gróðurhúsalofttegundir; nánar tiltekið koldíoxíð (CO_2), metan (CH_4), glaðloft (N_2O), vetnisflúorkolefni (HFC), perflúorkolefni (PFC), brennisteinshexaflúoríð (SF_6) og köfnunarefnistríflúoríð (NF_3).
- **UNFCCC:** Rammasamningur Sameinuðu þjóðanna (SP) um loftslagsbreytingar, oftast nefndur *Loftslagssamningurinn* (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)). Ísland skilar árlega upplýsingum um losun gróðurhúsalofttegunda til skrifstofu samningsins. Í skilunum er losun skipt í 5 flokka: orku, efnanotkun og efnaferla í iðnaði, landbúnað, úrgang og LULUCF.
- **NIR og CRF:** Skil Íslands til loftslagssamningsins samanstanda annars vegar af fjölmörgum töflum sem skilað er á excel-formi og nefnast CRF (common reporting format) og hins vegar af skriflegri skýrslu – NIR (national inventory report) – þar sem aðferðafræði útreikninga og helstu niðurstöðum er lýst. Í þessari skýrslu er stuðst við upplýsingar sem Ísland skilaði til UNFCCC vorið 2018.⁵⁰
- **LULUCF:** Landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt (land use, land-use change and forestry). Þegar losun gróðurhúsalofttegunda er gefin upp er yfirleitt miðað við losun án LULUCF. Þetta er annars vegar vegna mikillar vísindalegrar óvissu sem tengist mati á losun og bindingu vegna breyttrar landnotkunar og hins vegar þar sem erfitt er að greina á milli manngerðrar og náttúrulegrar losunar. Því miðast skuldbindingar ríkja að mestu leyti við losun GHL án LULUCF. Hins vegar er ljóst að LULUCF er mikilvægur þáttur í losun og bindingu gróðurhúsalofttegunda. Á heimsvísu er talið að rekja megi um fjórðung allrar losunar til LULUCF. Þessi þáttur er jafnvel enn mikilvægari á Íslandi. Með markvissum aðgerðum á sviði LULUCF er í mörgum tilvikum hægt að draga verulega úr losun frá landi og auka bindingu.
- **Losun GHL:** Losun framangreindra 7 gróðurhúsalofttegunda gefin upp í Gg (gígagrömmum = þúsundum tonna) CO_2 -ígilda, að teknu tilliti til mismunandi hlýnunarmáttar lofttegundanna. Losun GHL án LULUCF er losun gróðurhúsalofttegunda án þess að reikna inn landnotkunarþáttinn, en slík framsetning er algengust þegar verið að bera saman losun gróðurhúsalofttegunda milli landa og ákvarða skuldbindingar ríkja. Losun vegna millilandaflugs og millilandasiglinga er ekki heldur inni í skuldbindingum ríkja. Slík losun er reiknuð út og gefin upp en ekki reiknuð inn í heildarlosun hvers ríkis.
- **Hlýnunarmáttur (global warming potential (GWP)):** Tala sem tekur mið af mismunandi áhrifum gróðurhúsalofttegundanna á geislunarjafnvægi í lofthjúpinum og þar með áhrifum þeirra til hækkunar hitastigs á jörðinni. Til eru mismunandi tölur yfir hlýnunarmátt, annars vegar vegna þess að hægt er að miða samanburð lofttegundanna við mismunandi tímabil og hins vegar vegna þess að aukin vísindabekking hefur leitt til betri skilnings á áhrifunum. Því eru tölur um hlýnunarmátt iðulega uppfærðar í vísindaskýrslum IPCC, en þær skýrslur koma út á nokkurra ára fresti. Í þessari skýrslu er miðað við að hlýnunarmáttur koldíoxíðs sé 1, hlýnunarmáttur metans sé 25 og hlýnunarmáttur glaðlofts 298, í samræmi við NIR.⁵¹

⁵⁰ Umhverfisstofnun, 2018b.

⁵¹ Umhverfisstofnun, 2018b.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Vísindanefnd SP um loftslagsbreytingar. Vísindanefndin gefur bæði út leiðbeiningar um útreikninga á losun gróðurhúsalofttegunda og stöðuskýrslur um stöðu loftslagsvísinda.