

HV 2022-33
ISSN 2298-9137



HAF- OG VATNARANNSÓKNIR
MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND

Lax á landi

Leó Alexander Guðmundsson

HAFNARFJÖRÐUR - SEPTEMBER 2022

Lax á landi

Leó Alexander Guðmundsson

Upplýsingablað

Titill: Lax á landi		
Höfundur: Leó Alexander Guðmundsson		
Skýrsla nr: HV 2022-33	Verkefnisstjóri: LAG	Verknúmer: 9036
ISSN 2298-9137	Fjöldi síðna: 62	Útgáfudagur: 6. september 2022
Unnið fyrir: Hafrannsóknastofnun	Dreifing: Opin	Yfirfarið af: Guðni Guðbergsson, Theódór Kristjánsson
Ágrip <p>Á heimsvísu hefur eldi á laxi aukist mikið á undanförunum áratugum. Laxeldi er nær eingöngu stundað í sjókvíum og er það víða umdeilt vegna umhverfisáhrifa. Í sumum löndum hefur hægt á vexti í framleiðslu vegna ýmissa umhverfisþátta og er stöðugt unnið að umhverfisvænni lausnum í laxeldi. Landeldi hefur verið kynnt sem möguleg lausn við helstu umhverfisvandamálum laxeldis en skoðanir hafa verið skiptar um framtíðarmöguleika þeirrar aðferðar.</p> <p>Í þessari skýrslu verður fjallað um landeldi á laxi sem einkum fer fram í endurnýtingarkerfum (e. recirculating aquaculture systems, RAS) og geta verið af ýmsum gerðum. Eiginleikum endurnýtingarkerfa er almennt lýst, auk þess sem saga tveggja frumkvöðlafyrirtækja í landeldi á laxi er rakin. Einnig er fjallað um greiningar á kostnaði við landeldi á laxi með hliðsjón af kostnaði í sjókvíaeldi. Loks er sjónum beint bæði til Íslands og út í heim og m.a. fjallað um áætlanir fyrirtækja í uppbyggingu landeldis á laxi, kolefnisspor og stóraukinn áhuga á landeldi.</p>		
Abstract <p><i>Worldwide, salmon farming has increased substantially in the last decades. Salmon farming is almost exclusively carried out in sea cages which is controversial in many places due to environmental impacts. The increase in salmon production has slowed down in some countries due to various environmental factors. More environmentally friendly solutions and methods are constantly being developed. Land-based farming has been introduced as a solution to the main environmental problems in salmon production but there have been different opinions about the potential of the method for the future.</i></p>		

In this report, the focus is on land-based salmon farming, which mainly uses recirculating aquaculture systems (RAS) in different setups. Recirculating aquaculture systems will be described in general. The history of two pioneering companies in land-based salmon farming will be introduced. Cost analysis of land-based salmon farming will be detailed and compared to the cost of sea cage farming. Finally, company plans in development of land-based salmon farming, carbon footprint, and greatly increased interest in the farming method in Iceland and elsewhere will be discussed.

Lykilorð: fiskeldi, laxeldi, landeldi, endurnýtingarkerfi, umhverfisáhrif

Undirskrift verkefnisstjóra:

Leó Alexandar Guðmundsson

Undirskrift forstöðumanns sviðs:

Guðni Guðbergsson

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
Síaukin framleiðsla	1
Umhverfisáhrif og dýravelferð	3
Framtíðarmöguleikar	5
2. Landeldi - endurnýtingarkerfi	6
Loftun/súrefnisbæting	8
Fjarlæging koltvíoxíðs	9
Lífhreinsun	10
Tærleiki vatns (hreinsun úrgangs/úrgangsefna).....	11
Hringrás vatns	13
Önnur atriði	13
3. Markaðsframleiðsla á laxi í endurnýtingarkerfum	14
3.1 Danish Salmon	14
Læsø Laks	15
Danish Salmon komið á fót.....	18
Áskoranir: Snemmbúinn kynþroski og óbragð.....	19
3.2 Langsand Laks/Atlantic Sapphire	20
Umhverfissamþykkt og deila um umhverfismál	21
Bygging eldisstöðvar og kylvæiki	23
Framleiðslan og stækkun stöðvar.....	24
Áskoranir og áfall	25
Áformin í Bandaríkjunum	25
Frumkvöðlar	26
Staðarval og stórhuga áform	26
Framkvæmdir	28
Framleiðslan - Erfið byrjun	28
Horft til framtíðar	30
Kostnaður og fjármögnun	30
4. Efnahagslegar forsendur landeldis á laxi	31
Deloitte AS (Norway)	31
Bennich	32
Warrer-Hansen	33

Bjørndal og Tusvik.....	34
Samantekt greininga	34
5. Umræður	36
Staðarval skiptir miklu.....	36
Jarðsjór og fjárfestingar asískra stórfyrirtækja.....	38
Kolefnisspor laxeldis	39
Kostnaður	41
Lán til verkefna	44
Stóraukinn áhugi.....	45
Breytt viðhorf.....	48
Þakkarorð	50
Heimildir	50

Töfluskrá

Tafla 1. Samanburður Deloitte As (Norway) á stofnkostnaði (e. capex) þriggja gerða laxeldis, hvert með 5.000 tonna framleiðslugetu.....	32
Tafla 2. Yfirlit yfir áætlaðan stofnkostnað við byggingu eldisstöðva til framleiðslu á eldislaxi í endurnýtingarkerfum.	35
Tafla 3. Yfirlit yfir stærð og kostnað nokkurra landeldisverkefna (endurnýtingarkerfi) fyrir lax eins og þau birtast í fjölmiðlum	43

Myndaskrá

1. mynd. Meðalyfirborðshiti sjávar. Ljósbláu og grænbláu litirnir sýna hvar gætu verið skilyrði fyrir laxeldi í sjókvíum með hliðsjón af hitastigi sjávar.....	2
2. mynd. Heimsframleiðsla á eldislaxi frá 1984 til 2020 skipt eftir löndum	3
3. mynd. Línurit sem sýnir að taka þarf tillit til fleiri þátta í meðhöndlun vatns eftir því sem endurnýting er meiri.....	7
4. mynd. Einfölduð mynd af endurnýtingarkerfi og hringrás vatns innan kerfisins	8
5. mynd. Fjöldi birtra fræðigreina um endurnýtingarkerfi og eldi í slíkum kerfum hefur aukist á andanföllum árum	14
6. mynd. Staðsetning fyrirtækjanna Danish Salmon og Langsand Laks (Atlantic Sapphire Denmark) sem hafa framleitt eldislax með endurnýtingartækni. Eyjan Læsø er einnig merkt	

inn á kortið en Danish Salmon ætlaði upphaflega að vera með starfsemi sína þar og nýta hreinan sjó sem er að finna undir eyjunni.	15
7. mynd. Efri mynd til hægri sýnir loftmynd af eldisstöð Langsand Laks (Atlantic Sapphire Denmark) við Ringkøbing-fjörð. Á neðri mynd sjást eldisker inni í eldisstöð Langsand Laks. Efri myndin til hægri sýnir stærsta lax sem veiðst hefur í Danmörku en hann veiddist í Skern Å, sem rennur í Ringkøbing-fjörð, árið 1954 og vóg 26,5 kg	22
8. mynd. Einfölduð mynd af orsakatengslum eldis í endurnýtingarkerfi skv. kerfislíkani Bennich (2015)	33
9. mynd. Myndin til vinstri sýnir jarðvegsvinnu vegna byggingar landeldisstöðvar Salmon Evolution í Noregi þar sem stefnt er á 70.000 tonna framleiðslu á eldislaxi á ári. Myndin til hægri sýnir eldislax í neytendaumbúðum kóreska fyrirtækisins Dongwon.....	39
10. mynd. Grafið sýnir hvernig framtíðaráform um framleiðslumagn á laxi í landeldi hafa breyst frá 2017 til 2021. Mynd byggir á samantektum greiningaraðila og annarra	46

1. Inngangur

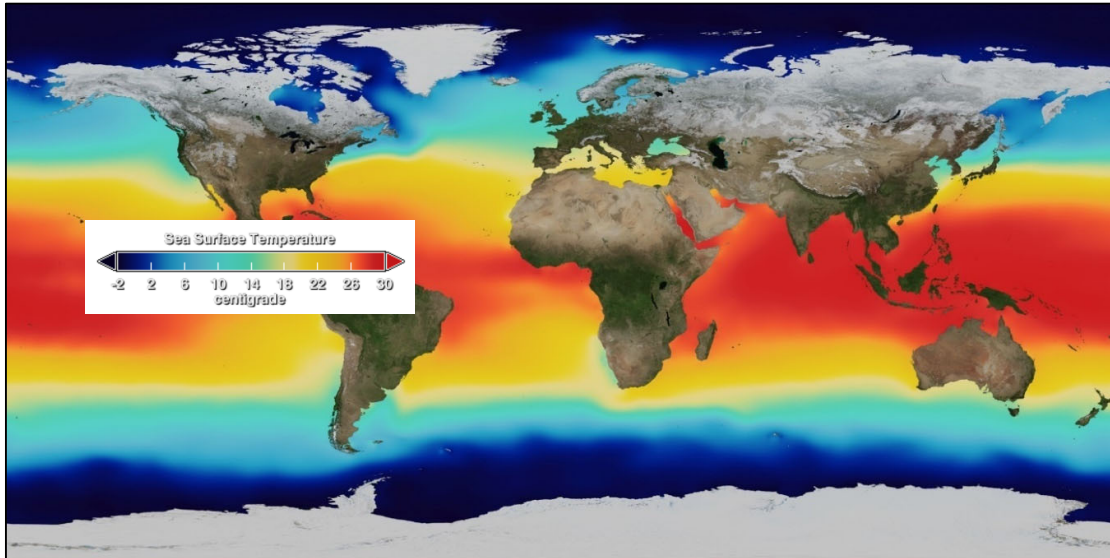
Síaukin framleiðsla

Fiskeldi er sá geiri matvælaframleiðslu sem vaxið hefur hvað hraðast í heiminum á undanförunum árum og nú er svo komið að framleiðslumagn eldisfisks er svipað því sem veitt er af villtum fiski (FAO 2020). Því er spáð að hlutfallslegt vægi fiskeldis komi enn til með að aukast, sem og mikilvægi þess við að tryggja matvælaöryggi í heiminum (Béné ofl. 2015). Þróunin í fiskeldi hefur verið kölluð *Bláa byltingin* (Sachs 2007).

Árið 2018 nam heimsframleiðslan í fiskeldi (eða þess sem alið er í eldi) um 82 milljón tonnum. Þar af voru 54 milljón tonn af fiski, 17 milljón tonn af lindýrum og 9 milljón tonn af krabbadýrum (FAO 2020). *Eldisfiskur* samanstendur af ýmsum fisktegundum og er eldislax ein þeirra. Raunar er hann frekar lítill hluti af heildinni en mesta framleiðslan á eldisfiski fer fram í ferskvatni eða um 47 milljón tonn árlega og eru tegundirnar graskarpi (*Ctenopharyngodon idellus*) og Níartilapía (*Oreochromis niloticus*) þar áberandi. Um 7 milljón tonn eru síðan framleidd í sjávar- og strandeldi og er eldislax (*Salmo salar*) stór hluti þess, með um 2,5 milljón tonna framleiðslu árið 2019 (FAO 2020; fao.org).

Eldislax er ein verðmætasta eldisafurð í heimi og hlutfallslega dýr vara miðað við aðrar eldisafurðir. Sést það m.a. af því að miðað við markaðsvirði er tegundin í öðru sæti á eftir safnhópi risarækja (e. Whiteleg shrimp) en í fimmtánda sæti þegar litið er til framleiðslumagns tegunda eða hópa (FAO 2019). Líkt og fiskeldi í heild sinni hefur framleiðsla í laxeldi aukist mikið á undanförunum áratugum en eftirspurn eftir laxi er mikil og vaxandi í efnameiri ríkjum og nýir markaðir bæst við með vaxandi velmegun, t.d. í Austur- og Suðaustur-Asíu (FAO 2018; 2020). Því er spáð að eftirspurn eftir laxi muni aukast í framtíðinni og fyrir því liggja nokkrar meginástæður; 1) mikil fólksfjölgun, 2) stækkandi millistétt nýmarkaða, 3) heilsusamlegum ávinningi af neyslu sjávarafurða er haldið á lofti af alþjóðlegum heilbrigðisyfirvöldum, 4) kolefnisfótspor fiskeldis er minna en griparæktar í landbúnaði og 5) veiðar á villtum fiski hafa takmarkaða vaxtarmöguleika (MOWI 2019).

Laxeldi er að langstærstum hluta stundað í sjókvíum. Miðað við aðra matvælaframleiðslu er sjókvíaeldi tiltölulega ung framleiðsluaðferð eða einungis um hálftrar aldar gömul. Velgengni laxeldis á sér margar ástæður, líkt og miklar framfarir í framleiðslu (sem snýr t.d. að þróun kvía, fódurs, kynbóta og bóluefna), vöruþróun, öflug markaðssetning, samþjöppun fyrirtækja og aukin stærðarhagkvæmni þeirra (Asche o.fl. 2013; FAO 2018). Sjávarhiti takmarkar möguleika þess hvar hægt er að stunda sjókvíaeldi á laxi en einnig þarf önnur ytri skilyrði eins og skjól og hentuga sjávarstrauma (1. mynd).

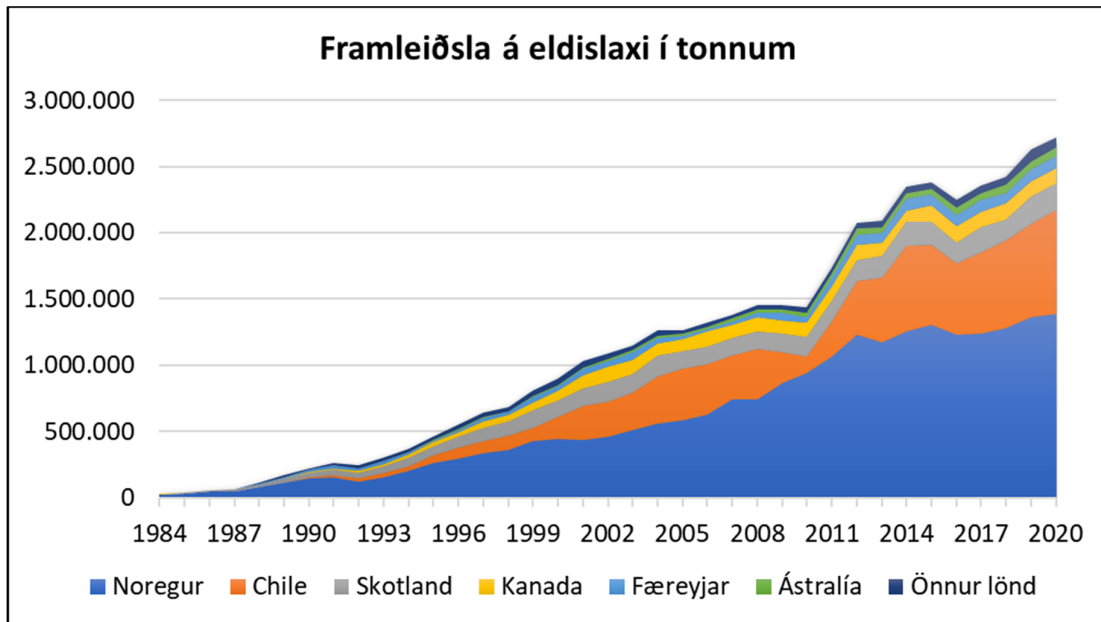


1. mynd. Meðalfyrirborðshiti sjávar. Ljósbláu og grænbláu litirnir sýna hvar gætu verið skilyrði fyrir laxeldi í sjókvíum með hliðsjón af hitastigi sjávar. Mynd tekin af <https://svs.gsfc.nasa.gov/3652>.

Mest er framleitt af eldislaxi í Noregi (~1,4 milljón tonn árlega) en þaðan kemur um helmingur alls eldislax í heiminum. Magnið er tvöfalt meira en frá Chile (~700 þúsund tonn) sem er með næstmestu framleiðsluna (2. mynd). Löndin sem eftir koma eru með framleiðslu á bilinu 50 til 200 þúsund tonn en það eru Skotland, Kanada, Færeyjar og Ástralía (Tasmanía). Nokkur önnur lönd framleiða minna. Laxeldi á Íslandi er og hefur verið í örum vexti en framleiðslan hefur aukist úr um 300 tonnum árið 2008 í um 27.000 tonn árið 2019 og rúmlega 46.000 tonn árið 2021 (www.fao.org; MAST 2022). Framleiðslan hérlandis er að stærstum hluta úr sjókvíaeldi og eru væntingar bundnar við að sú framleiðsla geti farið yfir 100.000 tonn árlega.

Umhverfisáhrif og dýravelferð

Sjókvíaeldi á laxi er víða umdeilt vegna áhrifa þess á umhverfið, sem og vegna dýravelferðar (Asche o.fl. 2009; Glover o.fl. 2017; BBC 2019; Quiñones o.fl. 2019; Oliveira o.fl. 2021). Meðal sumra framleiðenda er viðurkennt að framleiðslan reyni á þolmörk umhverfisins (Marine Harvest 2015; MOWI 2021). Umhverfisáhrif sjókvíaeldis á laxi eru misvel þekkt en þau geta verið margvísleg, t.d. vegna losunar úrgangs (næringarefna) og efna (t.d. lúsalyfja) út í umhverfið, laxalúsar og erfðablöndunar. Í Noregi eru strokulaxar úr eldi (erfðablöndun), laxalús og sjúkdómar úr eldi taldar helstu ógnir við náttúrulega laxastofna (Vitenskapelig råd for lakseforvaltning 2014; 2021).



2. mynd. Heimsframleiðsla á eldislaxi frá 1984 til 2020 skipt eftir löndum. „Önnur lönd“ eru Írland, Bandaríkin, Rússland, Ísland og Danmörk (https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/aquaculture/aquaculture_quantity).

Í nokkrum framleiðslulöndum, sem og í ríkjum ákveðinna landa, hafa umhverfisáhrif sjókvíaeldis á laxi verið talin óásættanleg og hefur það m.a. leitt til banns við framleiðslu og stöðvunar á útgáfu nýrra leyfa. Fyrirnefnda atriðið vísar í bann við sjókvíaelði á laxi í Washington-ríki í Bandaríkjunum og væntanlegt bann í Bresku-Kólumbíu í Kanada (The Seattle Times 2018; IntraFish 2019) en samtals hafa ríkin verið með yfir 90 þúsund tonna árlega framleiðslu (The Fish Site 2019; Province of British Columbia 2019). Síðara atriðið vísar einkum í stöðuna í Noregi þar sem úthlutun hefðbundinna laxeldisleyfa var svo gott sem stöðvuð árið 2012, m.a. vegna krafna um umhverfislega sjálfbærni (Riksrevisjonen 2012; Hersoug o.fl. 2019). Áhrifin af því skýrir að miklu leyti hægari framleiðsluaukningu eftir 2012 en áratugin á undan (2. mynd) (PwC 2017). Afleiðing af minni framleiðsluaukningu og aukinni eftirspurn hefur verið hækkun á heimsmarkaðsverði eldislax og auknar útflutningstekjur framleiðenda (FAO 2018; MOWI 2021). Þrátt fyrir aukinn kostnað við framleiðslu (t.d. vegna hækkandi fíðurverðs og aukins kostnaðar við aflúsun) hafa mörg fiskeldisfyrirtæki skilað miklum og jafnvel ævintýrlegum hagnaði undanfarin ár (t.d. Norway Today 2017; SalmonBusiness 2019a; Tveterås o.fl. 2019).

Noregur er eitt þeirra landa sem stefnir á að stórauka framleiðslu á eldislaxi á næstu áratugum og jafnvel fimmfalda framleiðsluna til 2050. Til þess að það sé unnt þarf hins vegar að finna leiðir til að draga úr umhverfisáhrifum og auka dýravelferð (Nærings- og fiskeridepartementet 2015; Hjeltnes o.fl. 2019). Samspil aukinna umhverfiskrafna og mikils hagnaðar hefur einmitt

hraðað nýsköpun í greininni og þróun umhverfisvænni framleiðsluaðferða (NOU 2019). Á það bæði við um þróun innan hins hefðbundna sjókvíaeldis og hvað varðar nýjar framleiðsluaðferðir en líklega verður samnýting aðferða mikil. Sama eldistækni mun t.d. verða notuð við framleiðslu unglaxa í sjókvíaeldi og til fulleldis. Sem dæmi um þróun innan hins hefðbundna sjókvíaeldis má nefna styrkingu sjókvía (Tekfisk 2020a) og ýmsar tilraunir með ófrjóa laxa (ruv.is 2019; Tekfisk 2020b) en hvort tveggja miðar að því að minnka eða koma í veg fyrir erfðablöndun. Staðan varðandi slysasleppingar í Noregi hefur almennt farið batnandi á undanförunum árum (sérstaklega sem hlutfall af framleiðslu) en er samt sem áður enn alvarleg (Glover o.fl. 2020; Vitenskapelig råd for lakseforvaltning 2021).

Önnur mikilvæg þróun í sjókvíaeldi almennt snýr að baráttunni við laxalús. Nú er fleiri aðferðum en lyfjaböðun beitt við aflúsun en fullt eða takmarkað ónæmi laxalúsa gegn lyfjum hefur orðið útbreitt (Fjørtoft o.fl. 2020). Af nýjum aðferðum má t.d. nefna hitameðhöndlun, þrýstipvott (og stundum skrubun) og notkun „hreinsifiska“, t.d. hrognkelsi, sem éta lýs í kvíum. Þótt þessar aðferðir gagnast oftast við að halda laxalús í skefjum hafa þær áhrif á dýravelferð. Hitameðhöndlun og þrýstipvottur eru sársaukafullar og geta leitt til dauða, bæði hjá laxi og hreinsifiskum en hreinsifiskar glíma í ofanálag við margs konar sjúkdóma og háa dánartíðni í kvíum (Hjeltnes o.fl. 2019). Tíðni aflúsana hefur aukist á undanförunum árum (Overton o.fl. 2019) en það kallar á aukna meðhöndlun kvía sem aftur eykur hættu á að þær verði fyrir skemmdum og laxar strjúki (Føre o.fl. 2019).

Með þróun nýrra framleiðsluaðferða er markmiðið einkum að leysa eða minnka ofangreind vandamál, þ.e. laxalús og slysasleppingar, og að nokkru vandamál sem snúa að losun úrgangs/efna. Í Noregi er einkum lögð áhersla á tækni sem getur stytta dvöl laxa í hefðbundnum sjókvíum (iLaks.no 2016a; Tveterås o.fl. 2019). Með því að setja út unglaxa (allt að 1.000 g eða jafnvel 2.000 g) má stytta framleiðslutímamann í sjókvíum um sex til átta mánuði (Kyst.no 2016; CtrlAQUA 2019). Ýmsar aðferðir eru í notkun, í prófunum eða á teikniborðinu fyrir framleiðslu unglaxa en ólíkt hefðbundnu seiðaeldi þarf vöxtur stærri seiða (~100 g-1.000 g) að fara fram í söltu vatni. Hannaðar hafa verið lokaðar eða hálflokaðar sjókvíar/mannvirki fyrir þessa framleiðslu (sjá www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Saertillatelser/Utviklingstillatelser/Kunnskap-fra-utviklingsprosjektene) en hún fer einnig fram í landeldisstöðvum (Tveterås o.fl. 2019). Hvort þessi aðferð muni leysa vandamálin varðandi lús og slysasleppingar við stórauðna framleiðslu er óþekkt (iLaks.no 2016a).

Úthafselði er sömuleiðis ein þeirra leiða sem Norðmenn binda vonir við (Ernst & Young 2019). Þessar aðferðir, auk aðferða til fulleldis í lokuðum eða hálflokuðum kerfum í fjörðum, hafa verið í örri þróun frá 2013 enda taldar mikilvægar fyrir framtíðarvöxt í greininni. Af þeim norsku fyrirtækjum, sem hafa tekið þátt í þessari þróun, eru nokkur með bein og óbein tengsl

við Ísland. Hér má nefna að fyrirtækið SalMar, stærsti eigandi laxeldis á Íslandi, hefur t.d. verið leiðandi í úthafseldi (The Fish Site 2022). Fyrirtækið Norway Royal Salmon (NRS), með stærri eigendum laxeldis á Íslandi, hefur sömuleiðis staðið fyrir tilraunum á úthafseldi (Fish Farmer 2021). Fyrirtækið AkvaFuture ehf. (AkvaDesign AS), sem elur lax í hálflokuðum kvíum í fjörðum Noregs, hefur reynt að fá leyfi til laxeldis í Eyjafirði (IntraFish 2020a).

Framtíðarmöguleikar

Þar til fyrir örfáum misserum var ekki litið á landeldi sem vænlegan kost í Noregi. Sumir álitu að alls ekki ætti að styðja við framþróun landeldis því þá gæti Noregur misst samkeppnisforskot sitt sem fælist í kjöraðstæðum fyrir sjókvíaeldi (E24 2015). Orðræðan hefur hins vegar gjörbreyst á afar skömmum tíma og nú eru stór áform uppi um landeldi í Noregi. Hér er um alþjóðlega þróun að ræða og hefur hún einnig náð til Íslands.

Umræðan um landeldi hefur oft verið tvíþóla, bæði héraðs og erlendis, þar sem framtíðarvöxtur í laxeldi á að sumra mati að fara fram á landi og jafnvel taka við af sjókvíaeldi, meðan aðrir telja það óraunhæft og benda á annmarka aðferðarinnar (Aquaculture North America 2016; ISFA 2016). Í fjölmiðlum í ýmsum löndum hafa birst fréttir um ófarir þeirra sem eru að þróa landeldi á laxi og háan kostnað slíkra verkefna en á sama tíma birtast fréttir um mikil áform í greininni. Eins og staðan er nú er nokkur óvissa um framgang aðferðarinnar en ef áform ganga eftir gæti verið um ákveðna byltingu í laxeldi að ræða og í fiskeldi almennt.

Í þessari skýrslu verður fjallað um fjölmargar hliðar landeldis á laxi. Fyrst verður farið yfir svokölluð endurnýtingarkerfi en landeldi á laxi (og áform þar um) fer einkum fram í þeim, a.m.k. erlendis. Að því búnu verður greint frá sögu fyrstu fyrirtækjanna í heiminum sem reynt hafa markaðsframleiðslu á laxi í landeldi í slíkum kerfum. Fram kemur hvernig uppbyggingin fór fram, hvernig framleiðslan hefur gengið og hverjar framtíðarhorfurnar eru. Þetta er gert til að veita innsýn inn í ólíka þætti sem tengjast eldinu. Að því loknu verður fjallað um kostnaðargreiningar á uppbyggingu landeldisstöðva og framleiðslukostnað á laxi í slíku eldi borið saman við framleiðslukostnað í sjókvíaeldi. Í umræðukafla verður m.a. fjallað um kolefnisspor landeldis og áætlanir um framleiðslumagn erlendis og héraðs og hvernig þær hafa breyst á síðustu árum með aukinni þekkingu og reynslu.

Skýrslan byggir einkum á ritrýndum greinum, sérfræðingaskýrslum og fréttum fjölmiðla sem sérhæfa sig í fréttum um fiskeldi og sjávarútveg. Kostnaðartölur í skýrslunni eru yfirleitt í þeim gjaldmiðli sem fram kom í viðkomandi heimild nema þegar umbreyting var nauðsynleg samhengisins vegna. Í þeim tilvikum er gjaldmiðill heimildar hafður með innan sviga. Umbreyting gjaldmiðla var gerð á heimasíðu Landsbankans

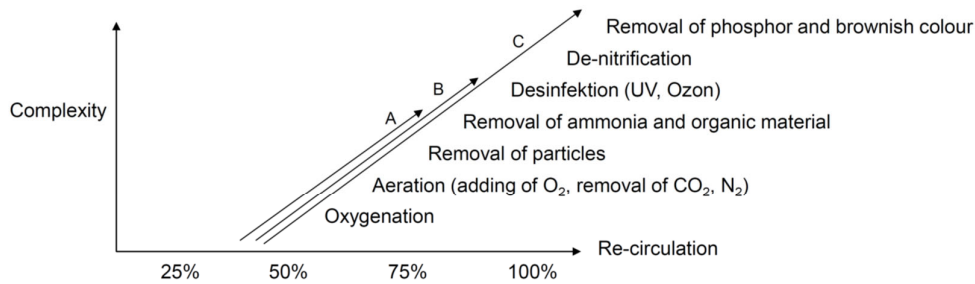
(<https://www.landsbankinn.is/markadir/gjaldmidlar>, „Almennt gengi“) þann 21.07.2022. Í skýrslunni var ekki leiðrétt fyrir verðlagsbreytingum.

2. Landeldi - endurnýtingarkerfi

Endurnýtingarkerfi í fiskeldi hafa verið í stöðugri þróun síðustu 30-40 ár og eru nú víða notuð í klakfiskeldi, seiðaframleiðslu og fullveldi á ýmsum tegundum. Fiskeldi sem fram fer í slíkum kerfum er landeldi og venjulega í kerjum innandyrá. Tæknin þaulnýtir vatn/sjó og fræðilega má stýra eldisaðstæðum á þann hátt að þær stuðli að hámarksvexti fiska og tryggi dýravelferð. Yfirleitt ganga endurnýtingarkerfi í fiskeldi undir heitinu RAS sem á ensku stendur fyrir „Recirculating Aquaculture Systems“. Endurnýtingarkerfi hafa mikið verið í umræðunni á undanförunum árum vegna þess að þau leysa eða eiga að geta leyst mörg umhverfisvandamál sem fylgja laxeldi í sjókvíum og snúa einkum að erfðablöndun, laxalús og úrgangslausun. Slíkt eldi er almennt dýrari framleiðsluaðferð (a.m.k. stofnkostnaður) en eldi í sjókvíum en í landeldi borga framleiðendur fyrir einangrun eldislaxa frá umhverfinu og hentug eldiskilyrði, þ.e. aðgang að hreinu og súrefnisríku vatni (Gardner Pinfold Consultants Inc. 2019).

Í mjög einfaldri mynd er endurnýtingarkerfi í fiskeldi framleiðslueining þar sem sama vatn er notað aftur eftir meðhöndlun. Meðhöndlunin á að tryggja vatnsgæði sem henta fiskum og felur t.d. í sér súrefnisbætingu, fjarlægingu koltvíoxíðs, ammóníaks og lífrænna leifa með þar til gerðum hreinsunarbúnaði. Hringrás vatns er nauðsynleg til að flytja vatn milli eldiskars og hreinsunarbúnaðar og annars búnaðar sem notaður er til að tryggja gæði þess. Í sérhverri hringrás er ákveðinn hluti vatns tekinn út úr kerfinu og nýtt vatn tekið inn. Endurnýtingarkerfi eru gjarnan skilgreind út frá daglegu hlutfalli vantsskipta (% vatns sem skipt er úr kerfinu á 24 tímum) eða endurnýtingarhlutfalli (% frárennslis sem er meðhöndlað og skilað aftur inn í kerfið) (Murray o.fl. 2014).

Borið saman við gegnumstreymiskerfi, þegar vatn flæðir ómeðhöndlað í gegnum eldisstöð (0% endurnýtingarhlutfall), og sömu vatnsnotkun eykst framleiðslugeta eldiskerfis með veldisvexti eftir því sem endurnýtingarhlutfall eykst. Hins vegar eykst tæknilegt flækjustig og kostnaður eftir því sem endurnýting er meiri. Þegar endurnýtingarhlutfall eykst bætast við nýir þættir sem huga þarf að til að tryggja vatnsgæði og þarf ákveðinn búnað og ferla til þess (3. Mynd; Olsen 2014). Endurnýtingarkerfum er gjarnan skipt í ákveðna flokka eftir endurnýtingarhlutfalli eða vatnsnotkun en almennt er miðað við að endurnýtingarkerfi séu með endurnýtingarhlutfall yfir 90%.



Flow through systems	40.000 - 50.000	Liter of new water/day/kg fish produced
Semi RAS (A)	2.000 - 5.000	Liter of new water/day/kg fish produced
Moderate RAS (B)	300 - 500	Liter of new water/day/kg fish produced
Intensive RAS (C)	50 - 300	Liter of new water/day/kg fish produced

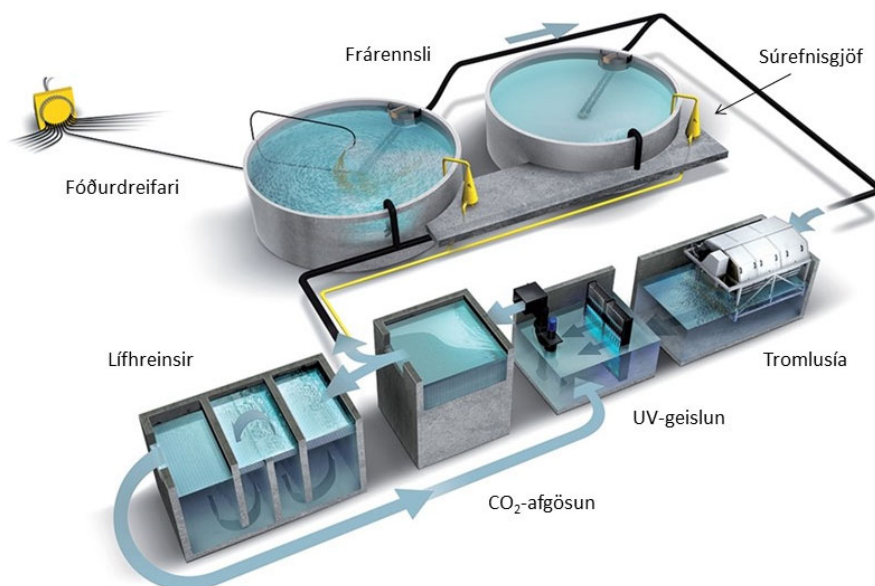
3. mynd. Línurit sem sýnir að taka þarf tillit til fleiri þátta í meðhöndlun vatns eftir því sem endurnýting er meiri. Flækjustig (e. complexity) eykst við meiri endurnýtingu (e. recirculation). Fyrir neðan línurit sést hvernig vatnspörf minnkar við meiri endurnýtingu. Mynd tekin úr Olsen (2014).

Endurnýtingarkerfi eru dýrari en gegnumstreymiskerfi en kostir slíkra kerfa eru auk minni vatnsnotkunar meiri hreinsun vatns (umhverfismál að losa minni eða engan úrgang), minni hættu á sjúkdómum (fer eftir gæðum inntaksvatns), stöðugra eldisumhverfi og betri stjórn á því (Kolarevic o.fl. 2014). Sem dæmi um betri vatnsnýtingu endurnýtingarkerfa sýndi rannsókn Kolarevic o.fl. (2014) að hægt væri að ala laxaseiði með 98% minna vatni en í gegnumstreymiskerfi. Í gegnumstreymiskerfum endurspeglar vatnshitinn í kerfinu hita inntaksvatnsins nema það sé hitað sérstaklega. Hér má nefna að vegna lágs hita inntaksvatns á Íslandi er kuldakæri fiskurinn bleikja algengasta tegundin í landeldi (5.000-6.000 tónna framleiðsla á ári; MAST 2022) enda gegnumstreymiskerfi algengust hér á landi. Í endurnýtingarkerfum má með auðveldum hætti viðhalda varma vatns sem við íslenskar aðstæður gæti skapað skilyrði fyrir verðmætar tegundir með hærra kjörhitastig, líkt og lax, en einnig bætt eldiskilyrði bleikju. Í heitari löndum getur aftur á móti þurft að kæla vatn í endurnýtingarkerfum og nota til þess orku.

Í endurnýtingarkerfum er algengt að ala við þéttleikann 15 kg/m^3 ef fiskar eru mjög verðmætir líkt og t.d. undaneldisfiskar (klakfiskar). Í hefðbundinni framleiðslu er algengt að ala við þéttleikann 60 kg/m^3 en tölur á borð við 100 kg/m^3 og jafnvel 120 kg/m^3 sjást. Slíkur þéttleiki getur þó haft vandamál í för með sér sem snúa að vatnsgæðum, vexti og velferð fiska (Malone 2013).

Í endurnýtingarkerfum verður sérstaklega að huga að fimm atriðum: 1) loftun/súrefnisbætingu, 2) fjarlægingu koltvíoxíðs, 3) lífhreinsun, 4) tærleika (hreinsun úrgangsefna) og 5) hringrás vatns. Líta má á þessa þætti sem hlekki í keðju og ef einn gefur sig

getur það leitt til hruns kerfisins og dauða fiska (Malone 2013). Þættirnir eru samverkandi þannig að breyting á einum þætti getur haft áhrif á annan þátt. Í endurnýtingarkerfum skiptir þéttleiki fiska einna mestu máli fyrir stöðugleika kerfisins og hann stýrir því einnig hversu mikið þarf að fóðra. Þéttleiki fiska í kerjum getur verið æði misjafn og stilla þarf mismunandi þætti til að tryggja góð eldisskilyrði og koma í veg fyrir sóun hráefna líkt og fóðri og súrefni. Mynd 4 sýnir dæmi um uppbyggingu endurnýtingarkerfis með myndrænum hætti og hringrás vatns innan kerfis. Hér að neðan verður fjallað um nokkra mikilvæga þætti endurnýtingarkerfa.



4. mynd. Einfölduð mynd af endurnýtingarkerfi og hringrás vatns innan kerfisins. Mynd tekin af vefsíðunni www.akvagroup.com.

Loftun/súrefnisbæting

Í endurnýtingarkerfum eru fiskar ekki þeir einu sem þurfa súrefni (O₂) við öndun heldur einnig bakteríur lífhreinsa og aðrar bakteríur. Súrefnisþörf í eldi stjórnast að mestu leyti af magni fiskafóðurs og tímalengd úrgansefna/fóðurleifa í kerfinu (Losordo 2014). Endurnýtingarkerfi verða að geta endurnýjað súrefni eldisvökvans á 20 til 30 mínútna fresti en súrefni getur klárast tiltölulega fljótt við hámarks upptöku þegar fóðrun er mest. Loftunar- og/eða súrefnisbætingarkerfi þurfa að vera því sem næst óbrigðul þar sem hnökror á súrefnisflutningi geta skjótt leitt til dauða fiska (Malone 2013). Talað er um loftun þegar súrefni úr andrúmslofti er flutt í vatn og súrefnisbætingu þegar notast er við hreint súrefni. Súrefnisbæting er öflugri aðferð til að flytja súrefni í vatn heldur en loftun en um leið orkufrekari, dýrari og tæknilega

flóknari. Með súrefnisbætingu má hins vegar minnka kostnað við eldi þar sem hægt er að ala við meiri þéttleika og fódra meira en um leið nota minna vatn. Það leiðir til þess að kostnaður vegna dælingar, eldskerja og húsnæðis minnkar (Summerfelt o.fl. 2000). Það sama gildir um loftun en áhrifin eru minni. Þegar eingöngu er notast við loftun er hámarksþéttleiki fiska í eldi venjulega bundinn við 30-40 kg/m³ en a.m.k. tvöfalt meiri ef notast er við súrefnisbætingu.

Val á tækni til flutnings súrefnis í eldisvökva fer eftir súrefnisþörfinni og hvaða sérstæðu eiginleikar mismunandi kerfa henta hverju sinni. Þá er litið til þátta eins og súrefnisgleypni (magn súrefnis sem flyst í vatn miðað við magn súrefnis sem notað er), skilvirkni súrefnisflutnings (hversu mikla orku þarf að nota til að flytja súrefni í vatn), getu til að afgasa koltvísýring, nitur og önnur gös, hversu auðvelt er að stjórna kerfum, skilvirkni við uppskölun o.fl. (Summerfelt 2000). Nánast allar stærri eldisstöðvar búa yfir varakerfi (varaafstöðvar og vara súrefnisbætingarkerfi) ef súrefnisflutningur bregst (Malone 2013).

Fjarlæging koltvíoxíðs

Koltvíoxíð (CO₂) verður til við öndun fiska og baktería og hleðst upp í endurnýtingarkerfum ef það er ekki fjarlægt. Of hár styrkur koltvíoxíðs á uppleystu gasformi getur haft neikvæð áhrif á velferð og vöxt fiska, jafnvel leitt til dauða. Mælt er með að styrkur koltvíoxíðs fari almennt ekki yfir 20 mg/L en þau viðmiðunarmörkin geta verið breytileg milli tegunda og aldurs fiska (Thorarensen og Farrell 2011).

Styrkur koltvíoxíðs á uppleystu gasformi er að miklu leyti háð sýrustigi (pH) þess. Þegar sýrustigið er innan viðmiðunarmarka er almennt tiltölulega lítill styrkur koltvíoxíðs í eldisvökvanum. Mikil aukning á koltvíoxíði lækkar sýrustigið vegna kolsýru sem myndast þegar koltvíoxíð hvarfast við vatn. Við það breytist ákveðið sýrujafnvægi, þ.e. „buffer-virkni“ minnkar, og styrkur koltvíoxíðs á gasformi eykst í eldisvökvanum (Thorarensen og Farrell 2011). Auk þess að stuðla að auknum koltvísýringi á gasformi getur lágt sýrustig lækkað sýrustig í blóði fiska, sem getur hamlað súrefnisupptöku, losað skaðlegar málmjónir og hindrað virkni lífhreinsa (Fivelstad 2013; Warrer-Hansen 2015a). Aðrir þættir sem geta haft áhrif á styrk koltvíoxíðs á gasformi eru t.d. basavirkni/lútstyrkur eldisvökvens (e. alkalinity), hitastig og uppleyst súrefni (Davidson o.fl. 2016).

Þegar alið er við lítinn þéttleika og ekki er þörf á súrefnisbætingu er uppsöfnun koltvíoxíðs ekki vandamál. Í slíkum kerfum er styrk koltvíoxíðs stýrt með vatnsskiptum og/eða afgösun (Summerfelt o.fl. 2000). Með afgösun er átt við að koltvíoxíð losnar úr eldisvökvanum samhliða loftun sem minnst var á að ofan. Hins vegar við mikinn þéttleika fiska (þegar notast þarf við súrefnisbætingu), eykst styrkur koltvíoxíðs og getur orðið takmarkandi þáttur í eldinu.

Styrkur koltvíoxíðs eykst þá vegna hlutfallslega lágra vatnsskipta og súrefnisbæting losar venjulega ekki nægjanlega mikið koltvíoxíð.

Algengt er að losun koltvíoxíðs úr eldisvökva endurnýtingarkerfa fari fram með afgösun, sérstökum aflofturum (e. gas stripping devices) og efnafræðilegum aðferðum. Þegar um afloftun er að ræða er algengt að dæla eldisvökva upp í hólk þar sem hann fellur svo á móti miklu magni súrefnis en við það losnar koltvíoxíð. Nauðsynlegt er að loftræsta eldisstöðvar vel því koltvísýringur úr eldisvökvanum getur verið skaðlegur mönnum. Notkun efnafræðilegra aðferða felur í sér notkun basa sem hækkar sýrustigið án þess þó að fjarlægja ólífræn kolefni (Summerfelt o.fl. 2000). Nota má svokallaða kalkmjólk til að hliðra jafnvægi kolsýru í átt að bíkarbónati, sem er skaðlaust, og við það minnkar styrkur koltvíoxíðs á gasformi (Summerfelt o.fl. 2000; Anon 2004).

Lífhreinsun

Ammóníak (NH_3) er helsti niturúrgangur fiska og losnar það einkum á gasfomi úr tálknum. Ammóníak verður til við niðurbrot próteina og eykst með aukinni fóðurnotkun (Thorarensen og Farrell 2011). Í vatni fyrirfinnst ammóníak ójónað (NH_3) og jónað (NH_4^+) og ræðst hlutfallsleg skipting þeirra á saltstyrk, sýrustigi og hitastigi (Ragnar Jóhannsson 2006). Ójónað ammóníak er eitrad fiskum og ætti styrkur þess við eldi laxfiska ekki að fara yfir 0,012 – 0,030 mg NH_3/L en þröskuldgildi geta verið mismunandi eftir fisktegundum (Thorarensen og Farrell 2011). Ójónað ammóníak í of miklu magni getur haft áhrif á miðtaugakerfi og ensímkerfi fiska, valdið sárum á tálknum, líffærum o.fl. (Ragnar Jóhannsson 2006; Thorarensen og Farrell 2011).

Lífhreinsun er einkum notuð til að fjarlægja ammóníak úr eldisvökva endurnýtingarkerfa með því að umbreyta því í önnur nitursambönd. Hreinsunin byggir á virkni niturbaktería sem eru efnatillífandi (e. chemolithotropic) bakteríur, þ.e. fá orku úr niðurbroti niturefna. Bakteríurnar mynda flókin bakteríusamfélög ásamt ófrumbjarga (e. heterotrophic) bakteríum (Espinal og Matulić 2019). Í lífhreinsum (e. biofilters) eru bakteríusamfélögin bundin efnum með mikið yfirborðsflatarmál. Algengt hefur verið að nota sand eða mól sem bindistaði fyrir bakteríur en í nútíma lífsíum er gjarnan notast við plastefni af ýmsum formum (Nazar o.fl. 2013). Margar tegundir niturbaktería geta tekið þátt í niðurbrotsferli á ammóníum við loftháðar aðstæður. Nefna má bakteríur af gerðinni *Nitrosomonas* sem breyta ammóníum í nítrít (NO_2^-) og *Nitrobacter* sem breyta nítrít í nítrat (NO_3^-) (Preena o.fl. 2021). Mikilvægt er að hreinsa lífrænar leifar úr vatni áður en því er veitt í lífhreinsa. Ef það er ekki gert er hættu á að lífhreinsar missi virkni vegna fjölgunar ófrumbjarga baktería á kostnað niturbaktería (Warrer-Hansen 2015a; Espinal og Matulić 2019). Virkni baktería í lífhreinsi er háð sýrustigi og er vænlegast að halda því á bilinu pH 7,0 – 7,5 (Warrer-Hansen 2015a).

Nítrat hefur venjulega verið talið skaðlaust fiskum í eldi við hefðbundin skilyrði en það getur verið breytilegt eftir tegundum og lífstigum fiska (Murray o.fl. 2014). Þegar vatnsskipti eru takmörkuð (t.d. <300 lítra per kg fóðurs) getur þurft að fjarlægja nítrat með afnitrin (e. denitrification) til að forðast eitrunaráhrif (Murray o.fl. 2014; Bregnballe 2015). Afnitrin byggir einkum á niturvirkni baktería af gerðinni *Pseudomonas*. Efnahvörfin, sem þurfa kolefnisgjafa (t.d. metanól) og fara fram við loftfirrtar aðstæður, leiða til losunar niturs (köfnunarefnis) úr eldisvökvanum í andrúmsloftið (Bregnballe 2015). Vegna mismunandi umhverfisskilyrða baktería fer sértæk afnitrin yfirleitt ekki fram í sama geymi og umbreyting á ammóníum í nítrat.

Ýmsar gerðir af lífhreinsum eru til og meta þarf hvaða gerð hentar hverju sinni (Ragnar Jóhannsson 2006). Eiginleikar lífhreinsa geta verið mismunandi m.t.t. agnahreinsunar (sem gerir vatn tærara), agnamyndunar, afgösunar, hreinsunar (bakskolunar) uppsafnaðra úrgangsefna, stærðar búnaðar ofl. (Bregnballe 2015; Aukner og Hanstad 2019).

Tærleiki vatns (hreinsun úrgangs/úrgangsefna)

Úrgang fiska, fóðurleifar, bakteríur og agnir (lífrænar/ólífrænar) þarf að hreinsa úr eldisvökva endurnýtingarkerfa. Ástæðurnar eru margþættar og snúa að vatnsgæðum, velferð fiska og umhverfismálum. Um helmingur fæðunnar sem fiskar éta endar sem úrgangur (Malone 2013). Með aukinni endurnýtingu eykst magn gruggfna í vatni þar sem allt upprót og núningur brýtur niður agnir (Valdimar Ingi Gunnarsson, Ásmundur Baldvinsson o.fl. 2012). Úrgangur brotnar fljótt niður í agnir sem flokka má í fjóra flokka eftir stærð; 1) agnir sem falla til botns (>100 μm), 2) heildarmagn svifagna (e. total suspended solids; 1 – 100 μm), 3) agnir í sviflausn (e. colloids; 0,1 – 1 μm) og 4) uppleystar agnir. Flokkur tvö er mikilvægur þar sem hann m.a. stuðlar að fjölgun baktería sem getur haft áhrif á vatnsgæði og lykt (Malone 2013). Nánar tiltekið nota bakteríur súrefni við niðurbrot lífrænna leifa og súrefnisþörf kerfisins eykst, ammóníum (ammóníak) losnar og álag á lífhreinsi eykst og rotbakteríum í lífhreinsi fjölga eins og nefnt var að ofan. Eins getur lífhreinsir, loftunarbúnaður, lagnir o.fl. stíflast vegna svifagna eða gruggs (Valdimar Ingi Gunnarsson, Guðmundur Einarsson o.fl. 2012; Nazar o.fl. 2013). Skyggni í eldisvökva minnkar einnig samhliða fjölgun svifagna en það getur haft áhrif á fæðunám fiska og erfiðara er fylgjast með fiskum, t.d. fæðunámi (hætta á offóðrun/vanfóðrun) og sjúkdómseinkennum.

Ýmsar aðferðir eru til við að fjarlægja úrgang úr eldisvökva og henta aðferðirnar misvel fyrir agnir af mismunandi stærðum. Gróflega má flokka hreinsunaraðferðir í þrjá flokka; 1) þyngdaraflsaðferðir (felling), 2) síutækni (vélrænar síur eins og t.d. tromlusíur) og 3) lífhreinsa (Valdimar Ingi Gunnarsson, Ásmundur Baldvinsson o.fl. 2012; Björgvin Vilbergsson 2016).

Fjallað var um lífhreinsa að ofan í sambandi við umbreytingu ammóníums í nítrat. Hefðbundnir lífhreinsar eða hreinsar sem byggja á svipaðri tækni eru einnig virkir við hreinsun svifagna en þeir geta hreinsað lífrænar leifar líkt og sykrur, fitur og prótein (Malone 2013).

Algennt er að fyrsta skrefið við fjarlægingu úrgangsefna eða gruggs sé oft í eldiskerjunum sjálfum. Í hringlaga eldiskerjum safnast mikið af úrgangsefnum saman í miðjuna, þar sem straumurinn er minnstur, og þar er gjarnan útfall. Megnið af úrgangsefnum (seyra og fóðurleifar) má fjarlægja með þessum skjótvirka hætti. Þá er komið í veg fyrir að úrgangsefnin brotni niður og leysist upp þannig að erfiðara verður að hreinsa þau úr eldisvökvanum. Aðeins lítill hluti af heildarrennslinu fer út um miðjufrárennslid en megnið af því fer út um hliðarúrtak. Það vatn má hreinsa frekar t.d. í setkari og/eða með tromlusíu (Valdimar Ingi Gunnarsson, Ásmundur Baldvinsson o.fl. 2012). Setkór henta best þegar ekki þarf að hreinsa mikinn úrgang eða í kerfum þar sem vantsskipti eru tiltölulega hröð (< 2 dagar). Setkór henta síður til að fjarlægja smáar agnir og geta tekið mikið gólfpláss (Malone 2013). Ef alið er í söltu vatni geta myndast óæskileg efni í setkerjum. Ástæðan er sú að saltvatn inniheldur mikið súlfat og ef myndast loftfirrðar aðstæður í botnfalli geta bakteríur oxað súlfat í sulfít sem getur verið skaðlegt fiskum (Warrer-Hansen 2015a). Tromlusíur eru mikið notaðar við hreinsun agna úr eldisvökva. Hefðbundnar tromlusíur hafa fínriðin sigti (20 – 60 μm gatastærð) og eru þær hentugar til að sía tiltölulega stórar gruggagnir og jafnvel svifagnir niður í 40 μm að stærð (Malone 2013; Valdimar Ingi Gunnarsson, Ásmundur Baldvinsson o.fl. 2012). Tromlusíur eru algengustu tækin til hreinsunar agna í stærri endurnýtingarkerfum þar sem vatnsskipti eru miðlungshröð (< 10 dagar) eða hæg (Malone 2013). Kostur við tromlusíur eru að þær eru afkastamiklar (hreinsa allt að nokkur hundrað lítrar á sekúndu), þurfa lítið gólfpláss, og hafa sjálfvirka hreinsun síu (Valdimar Ingi Gunnarsson, Ásmundur Baldvinsson o.fl. 2012). Nokkuð skolvatn (e. backwash) fylgir sjálvvirku hreinsuninni en það má vinna enn frekar með annarri tækni ef þurfa þykir (Malone 2013). Til að mynda má binda agnir saman með efnafræðilegum aðferðum og síðan afvatna seyrna á beltasíu en við það getur hlutfall fastra efna farið úr 1,0 – 2,4% í 8 – 12%. Prófanir með skilvindutækni hafa náð hlutfallinu í 32% (Warrer-Hansen 2015a). Þegar notast er við saltvatn má hreinsa eldisvökvann enn frekar með froðuhreinsun (e. foam fractionation). Er þá örsmáum loftbólum dælt í gegnum afmarkaða vantssúlu en agnir festast við loftbólurnar sem leita upp á yfirborðið og mynda froðu sem auðveldlega má fjarlægja. Lofttegundin óson (O_3) er oft notuð samhliða froðuhreinsun sem eykur skilvirkni (Martins o.fl. 2010).

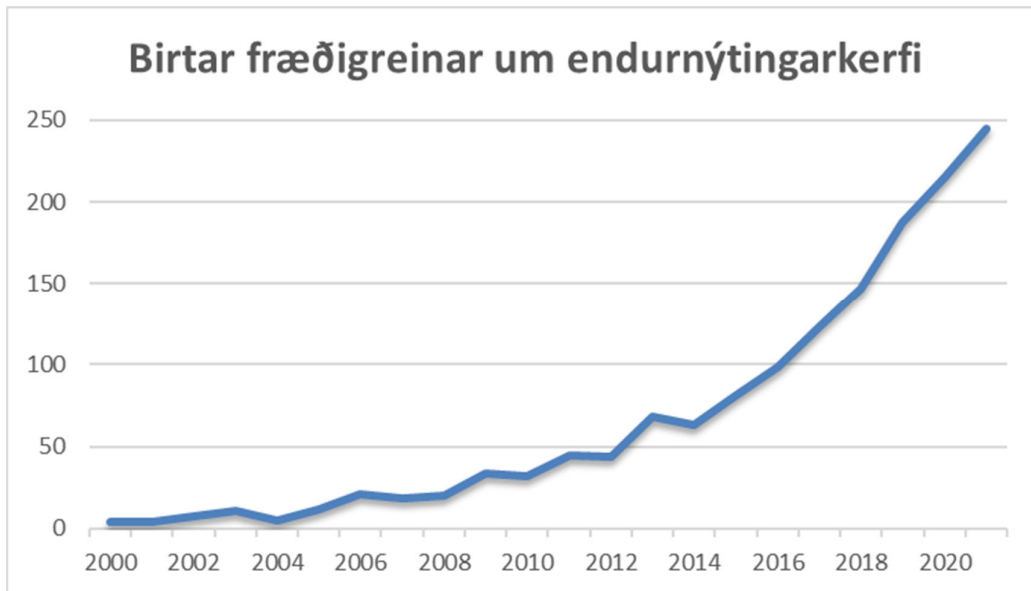
Hringrás vatns

Hringrás vatns er nauðsynleg til að flytja eldisvökva milli eldiskars og hreinsunarbúnaðar. Vatnsflæði milli eldiskerjanna og hreinsunarkerfisins er breytilegt milli endurnýtingarkerfa. Venjulega er miðað við 42 til 84 lítra/mínútu á hvert kíló af fódri á dag. Ýmsar gerðir vatnsdæla eru notaðar til að knýja áfram hringrás vatns en dælingin er yfirleitt orkufrekasti þáttur slíkra kerfa. Val á dælum og hönnun endurnýtingarkerfa m.t.t. til rennslis er því mikilvægur þáttur til að halda framleiðslukostnaði niðri sem og að tryggja öryggi kerfisins (Malone 2013).

Önnur atriði

Hér að ofan var fjallað lauslega um nokkra þætti endurnýtingarkerfa. Þótt umfjöllunin hafi verið með almennum hætti má ljóst vera að eldi í endurnýtingarkerfum krefst mikillar tækni og þekkingar. Segja má að það sé ákveðin jafnvægislist að tryggja góð eldisstillirði í endurnýtingarkerfum enda þarf að huga að mörgum samverkandi áttum. Í sambandi við laxeldi í endurnýtingarkerfum, sem nýtir bæði ferksvatn og salt eða ísalt vatn, er vert að draga fram að saltstyrkur eldisvökvans getur haft áhrif á ýmsa þætti sem gerir eldið enn flóknara. Í söltu vatni er t.d. virkni lífhreinsa minni og afgösun koltvíoxíðs erfiðari (Ytrestøyfl o.fl. 2020). Til að bregðast við því þurfa lífhreinsar að vera hlutfallslega stærri og auka þarf vatnsflæði sem krefst öflugri dæla og meiri orkunotkun. Fyrirtæki í laxeldi í endurnýtingarkerfum hafa t.d. brennt sig á þessum atriðum enda var takmörkuð reynsla á notkun saltvatns í endurnýtingarkerfum. Á undanförunum árum hefur þróun endurnýtingarkerfa verið hröð og sífellt er verið að þróa nýja tækni til að bæta eldisumhverfið og auka hagkvæmni (Murray o.fl. 2014; Warrer-Hansen 2015a; Bostock o.fl. 2018). Fjölgun fræðigreina á þessu sviði eru til vitnis um þá þróun (5. mynd) en áhugi á endurnýtingarkerfum er ekki síst tilkomin vegna vaxandi áhuga á notkun tækninnar í laxeldi, hvort sem er til seiðaframleiðslu eða fulleldis. Að sumra mati er þróunin í greininni það hröð um þessar mundir að bæði vísindamenn og framleiðendur eiga erfitt að halda í við hana (iLaks.no 2021a).

Umfjöllunin að ofan nær langt í frá utan um alla þætti fiskeldis í endurnýtingarkerfum og landeldis almennt. Mikilvæg atriði sem ekki hafa verið nefnd snúa t.d. að hönnun og rekstri eldisstöðva, uppruna inntaksvatns, dauðhreinsun vatns, hitastýringu, nýtingu úrgangs í virðisaukandi afurðir, sjúkdómum, fódri, kynbótum og aðferðum til að minnka hlutfall snemmkynþroska hænga í eldi. Farið verður yfir nokkur þessara atriða og fleiri í næsta kafla og þá í samhengi við ýmsar áskoranir sem upp hafa komið hjá fyrirtækjum sem hafa reynslu af fulleldi á laxi í endurnýtingarkerfum.



5. mynd. Fjöldi birtra fræðigreina um endurnýtingarkerfi og eldi í slíkum kerfum hefur aukist á undanförunum árum. Upplýsingar fengnar úr gagnasafni www.webofscience.com með leitarorðum 1) RAS and aquaculture OR 2) „recirculating aquaculture system“. Hakað var við articles.

3. Markaðsframleiðsla á laxi í endurnýtingarkerfum

Í þessum kafla verður greint frá sögu, framkvæmd og starfsemi þeirra tveggja fyrirtækja sem líklega hafa mesta reynslu af markaðsframleiðslu í endurnýtingarkerfum á laxi: Danish Salmon og Langsand Laks (Atlantic Sapphire) (6. mynd). Saga fyrirtækjanna er nokkuð ólík og má því ætla að svona samantekt gagnist til að sjá hvers konar viðfangsefnum megi búast við þegar farið er út í slík verkefni. Áherslur í samantektinni geta verið nokkuð mismunandi milli fyrirtækja en það markast af aðgengi á heimildum sem og viðleitni höfundar til að greina frá margvíslegum hliðum slíkrar starfsemi. Þannig nær umfjöllunin um allt frá deilum um styrki og skipulagsmál til tæknilegra atriða sem snerta rekstur endurnýtingarkerfa.

3.1 Danish Salmon

Danish Salmon er danskt fyrirtæki sem framleiðir eldislax í endurnýtingarkerfum og stefnir á nokkur þúsund tona ársframleiðslu. Fyrirtækið var um tíma það stærsta sinnar tegundar í landeldi á laxi (FødevarerWatch 2014a). Upphafsmenn fyrirtækisins voru Søren Frandsen og Steen Stubkjær sem hvorugir höfðu reynslu af fiskeldi (NORDJYSKE 2008a). Þeir virðast hafa lítil eða engin tengsl við fyrirtækið í dag.

Starfsemi fyrirtækisins er í Hirtshals, nyrst á Jótlandi, en upphaflega stóð til að byggja eldisstöðina á eyjunni Læsø í Kattegat. Áður en greint verður frá starfseminni í Hirtshals verður fjallað stuttlega um eldisstöðina sem fyrirhuguð var á Læsø og aðdraganda þess verkefnis.



6. mynd. Staðsetning fyrirtækjanna Danish Salmon og Langsand Laks (Atlantic Sapphire Denmark) sem hafa framleitt eldislax með endurnýtingartækni. Eyjan Læsø er einnig merkt inn á kortið en Danish Salmon ætlaði upphaflega að vera með starfsemi sína þar og nýta hreinan sjó sem er að finna undir eyjunni.

Læsø Laks

Þegar til stóð að byggja eldisstöð með endurnýtingarkerfi á eyjunni Læsø hét verkefnið Læsø Laks (6. mynd). Gert var ráð fyrir 4.500 tonna ársframleiðslu á regnbogasilungi (NORDJYSKE 2008b). Nýta átti hreinan jarðsjó sem er að finna undir eyjunni, líkt og á Reykjanesi, og gert var ráð fyrir að verkefnið myndi skapa 20-25 störf. Vinna að verkefninu hófst árið 2006 og fólst hún m.a. í kaupum á landi, fjármögnun, gerð skýrslu um umhverfisáhrif og öflun tilskilinna leyfa hjá sveitarfélaginu (NORDJYSKE 2008a).

Áætlað var að fjárfestingin væri upp á 150-160 milljónir danskra króna (DKK), þar af 120 milljónir DKK fyrir byggingu 10.000 m² eldisstöðvar (NORDJYSKE 2008b). Stofnendur lögðu til 10 milljónir DKK en 65 milljónir áttu að koma frá fjárfestum og 50 milljónir frá fjárhagslegum

samstarfsaðilum. Sótt var um styrk upp á 35 milljónir DKK til sjávarútvegssjóðs Evrópusambandsins (e. European Fisheries Fund, EFF) þar sem helmingur upphæðarinnar kæmi frá Evrópusambandinu og hinn helmingurinn frá danska ríkinu. Að sögn forsvarsmanna fyrirtækisins var umrædd styrkveiting úr sjávarútvegssjóði Evrópusambandsins forsenda verkefnisins í Læsø (NORDJYSKE 2008c). Atburðarásin mánuðina fyrir styrkveitinguna er ákveðin birtingarmynd togstreitu milli mismunandi framleiðsluaðferða og verður hér lauslega rakin eins og hún birtist í fjölmiðlum.

Formaður samtaka fiskeldis í Danmörku (d. Dansk Akvakultur) var mjög jákvæður í garð verkefnisins í byrjun sumars 2008 þegar honum var boðið í kynningu til Læsø ásamt þingmönnum og fréttamönnum (NORDJYSKE 2008c). Haft var eftir honum að danska ríkisstjórnin og atvinnugreinin sýndu mikinn metnað í að auka fiskeldi og Læsø Laks væri gott dæmi um hvað hægt væri að gera þegar fjárfestar og frumkvöðlar tryðu á hugvitið. Þetta væri mjög góð fjárfesting fyrir Danmörku, þar sem miklir möguleikar fyrir atvinnusköpun og útflutning væru fyrir hendi. Enn fremur að atvinnugreinin væri full tilhlökkunar og áhugasöm um þetta frumkvöðlaverkefni og fylgdist náið með. Formaðurinn dró fram kosti þessa lokaða eldiskerfis varðandi sjúkdómamál, úrgangslausun og gæði afurða (NORDJYSKE 2008a).

Mikil aðsókn var í sjávarútvegssjóðinn og var alls sótt um styrki upp á 175 milljónir DKK, þar af 102 milljónir fyrir fiskeldisverkefni. Aðeins voru hins vegar 69 milljónir DKK til ráðstöfunar (NORDJYSKE 2008d). Fyrir úthlutun þrýsti formaður samtaka fiskeldis formlega á um ákveðna forgangs röðun eða vinnubrögð við úthlutun úr sjóðnum. Meðal annars hvatti hann til þess að verkefni sem notuðu „þekkta tækni“ væru styrkt en beðið með verkefni sem byggðu á tækni sem ekki væri komin reynsla á (NORDJYSKE 2008c). Skrif formannsins komu nokkuð á óvart þar sem þau virtust beinast gegn Læsø Laks en stuttu áður hafði hann upphafið verkefnið. Forstjóri fyrirtækisins Akva Group Denmark A/S sagðist aldrei hafa upplifað það reynt væri að grafa undan verkefni með þessum hætti. Hér væri vel ígrundað verkefni sem hefði mikla möguleika og gæti opnað augu fjárfesta. Akva Group hefði unnið með endurnýtingarkerfi í meira en 10 ár og fyrirtækið hygðist efla starfsemi sína í Danmörku. Tilvonandi eldisstöð Læsø Laks væri mikilvæg fyrir starfsemi Akva Group í Danmörku þar sem með henni mætti sýna fram á þessa tæknimöguleika innanlands (NORDJYSKE 2008e).

Í kjölfar þrýstings samtaka fiskeldis sá þingmaður á danska þinginu sig knúinn til að fara á fund matvælaráðherrans til að fullvissa sig um að umsókn Læsø Laks fengi eðlilega meðferð. Hann gagnrýndi þrýsting samtaka fiskeldis og óttaðist að ekki yrði farið eftir hlutlægum viðmiðum við styrkveitingu úr sjávarútvegssjóðnum. Vildi hann fá tryggingu ráðherrans fyrir því að nákvæmlega sömu skilyrði giltu um styrkumsóknir eldisstöðva sem byggðu á nýrri tækni og þeirra sem byggðu á gamalreyntri tækni. Án nýrrar tækni kæmumst við ekkert áfram – stækkunarmöguleikar sjávarútvegarins lögju í fiskeldi og þar þyrftu Danir að vera með forskot.

Því þyrfti að veita Læsø Laks tækifæri (NORDJYSKE 2008f). Svo fór að af þeim 35 milljónum DKK sem Læsø Laks hafði sótt um fengust 17 milljónir í nóvember 2008 og var því hægt að halda áfram með verkefnið (NORDJYSKE 2008g). Styrkuppþæðin var nokkuð nærri því sem fyrirtækið hafði áður talið raunhæft að fá (NORDJYSKE 2008b).

Í byrjun sumars 2008 bundu forsvarsmenn Læsø Laks vonir við að niðurstöður umhverfismats og leyfi sveitarstjórnar lægju fyrir innan fárra mánaða. Gengi allt eftir yrði hægt að hefja framkvæmdir í október og fyrsta slátrun gæti því orðið fyrir jól 2009 (NORDJYSKE 2008a). Leyfi sveitarstjórnar fyrir framkvæmdinni fékkst en niðurstöður umhverfismats lágu hins vegar ekki fyrir. Höfundur er ekki fyllilega ljóst hvað olli töfunum, en langt umsagnarferli er líkleg ástæða. Lítið heyrðist um framvindu verkefnisins fyrr en tveimur árum síðar þegar tilkynnt var að Læsø Laks hefði aftur hlotið styrk úr sjávarútvegssjóði Evrópusambandsins, nú upp á 7 milljónir DKK. Í kjölfar styrkveitingarinnar sögðu forsvarsmenn verkefnisins að nú styttest í fyrstu skóflustunguna. Áætlað væri að hefja framkvæmdir vorið 2011 og slátra fyrsta fiskinum ári síðar (NORDJYSKE 2010). Í frétt um styrkveitinguna, sem birtist í nóvember 2010, var jafnframt greint frá því að fyrirtækið hefði þegar tryggt sölu væntanlegrar framleiðslu nokkur ár fram í tímann (IntraFish 2010).

Ári síðar, eða í nóvember 2011, var opinberlega ljóst að ekkert yrði af verkefninu í Læsø. Að sögn forsvarsmanna þess var hætt við það vegna andstöðu heimamanna (Food Supply DK 2011a). Þótt bæjarstjórnin styddi verkefnið voru ekki allir íbúar eyjarinnar á einu máli um ágæti þess. Ekki er ljóst í hverju andstaðan fólst en forsvarsmennirnir sáu fram á langt tímabil kærumála. Mögulega var afstaða heimamanna á sömu lund og dönsku náttúruverndarsamtakanna (d. Danmarks Naturfredningsforening) en þau voru mótfallin framkvæmdinni vegna einstakrar náttúru eyjarinnar sem meðal annars er skilgreint Ramsarsvæði. Samtökin töldu einnig að óvissa væri um afleiðingar þess að veita hreinsuðu affallsvatni út á nærliggjandi akra frá starfsemi af þessari stærðargráðu (TV2 2008). Samkvæmt umhverfismatsskýrslu Læsø Laks stóð til að veita árlega 200.000 m³ af söltu (allt að 15 ppm) affallsvatni á 60.000 m² svæði þar sem það síaðist í gegnum sendinn jarðveg og væri svo nýtt að hluta til aftur eftir síun. Lífrænan úrgang, 12.000 m³ á ári, átti að nýta sem áburð og dreifa á 5,11 km² landbúnaðarsvæði með sendinn jarðveg sem þyldi seltuna (Anon 2008).

Þótt ekkert yrði af verkefninu á Læsø þýddi það ekki endalok þess. Samhliða því sem tilkynnt var að hætt hefði verið við verkefnið á Læsø var sagt að verkefnið flytti til bæjarins Hirtshals á Norður-Jótlandi og hétu nú Danish Salmon (Food Supply DK 2011a). Hirtshals er m.a. kunnur fyrir að vera viðkomustaður Norrænu í Danmörku. Hætt var við að ala regnbogasilung og átti nú að ala lax. Áður hafði svipuðu verkefni verið hafnað í Hirtshals en sá mikilvægi munur var á þeim að Danish Salmon ætlaði að hreinsa affallsvatnið mun betur og ekki veita neinu affallsvatni í sjó (NORDJYSKE 2012).

Danish Salmon komið á fót

Danish Salmon fékk lóð fyrir starfsemi sína á Norðursjávar-vísindagörðunum (d. Nordsøen Forskerpark) í Hirtshals þar sem fyrir voru stofnanir og fyrirtæki sem m.a. stunda rannsóknir tengdar sjávarútvegi, auk stærsta sædýrasafns Norður-Evrópu, Nordsøen Oceanarium. Nýta átti sjávarinntak sædýrasafnsins fyrir eldisstöðina en sá möguleiki skipti máli fyrir staðarvalið (Anon 2016). Einnig hafði starfsemi bæjarins í sjávarútvegi þýðingu fyrir staðarvalið. Sem dæmi má nefna að stöðin var reist við hlið fiskvinnslu O.H. Fiskeeksport og hún nýtt fyrir starfsemina en fiskvinnslan vann mikið fyrir laxeldið í Færeyjum og Noregi (FødevarerWatch 2014a). Einnig má nefna að nokkur hundruð metra frá fiskvinnslu O.H. Fiskeeksport er önnur fiskvinnsla sem er sú stærsta í heimi fyrir eldislax.

Danish Salmon stefndi á að ala 2.000 tonn af laxi í fyrsta áfanga en síðar mætti stækka eldisstöðina og auka framleiðsluna í 6.000 tonn (NORDJYSKE 2011). Til að byrja með átti eldisstöðin því að vera minni en sú á Læsø og ráðgert að hún myndi skapa 15-20 störf. Til stóð að nota sama fyrirkomulag við vatnshreinsun og á Læsø, þ.e. auk notkunar hefðbundins hreinsunarbúnaðar endurnýtingarkerfa átti að veita affallsvatni á sendinn jarðveg til hreinsunar og loks endurnýtingar. Með þeim hætti átti losun næringarefna út í umhverfið að vera hverfandi (Danmarks Naturfredningsforening 2017).

Eldisstöðin var byggð á árunum 2012 og 2013 og í kjölfarið hófst framleiðsla á laxi. Í ágúst 2014 sagði stjórnarformaður Danish Salmon (og eigandi O.H. Fiskeeksport) í fréttaviðtali að hann gerði ráð fyrir að fyrsta slátrun hæfist þá um haustið og markmiðið væri að framleiða 2.000 tonn á ári (FødevarerWatch 2014a). Stjórnarformaðurinn var fullur bjartsýni og talaði um að ef rétt væri haldið á spilunum gæti Danmörk orðið mekka laxeldis. Um milljarða danskra króna væri að tefla. Þessi mikla bjartsýni tengdist mögulega umræðunni í kringum það að fyrr á árinu kynnti danska stjórnin stefnumótun fyrir fiskeldi sem miðaði að því að auka útflutningsverðmæti um sex milljarða danskra króna og skapa 400 störf til ársins 2020 (FødevarerWatch 2014b).

Engin vandamál voru með ferskvatnsfasann í eldinu, þ.e. klak hrognu og eldi smáseiða, sem tók um eitt ár. Vandamálin hófust þegar seiðin voru flutt í saltvatn en á því stigi taka fiskarnir út mestan vöxt. Erfiðara reyndist að hreinsa nitur (níturat) úr söltu vatni en búist var við (Anon 2016) þannig að styrkur þess jókst sem getur haft ýmis neikvæð áhrif á fiska (Davidson o.fl. 2014). Til að sporna gegn uppsöfnuninni var fóðurgjöf m.a. minnkuð sem aftur kom niður á vexti fiska (Food Supply DK 2015a). Lífhreinsir eldisstöðvarinnar reyndist of lítill til að sinna hreinsun níturats með fullnægjandi hætti. Því voru ýmsar aðferðir prófaðar til að hreinsa það úr eldisvökvanum sem leiddi til þess að skaðlegt brennisteinsvetni (H₂S) myndaðist (Anon 2015). Þótt brennisteinsvetni í lágum styrk geti verið skaðlegt fiskum drápuð þeir ekki í

eldisstöðinni en hins vegar myndaðist mikill brennisteinsfnykur. Tæknileg ástæða þess að brennisteinsvetni myndaðist í eldisstöðinni var ekki að fullu kunn en talið var að það tengdist samspili af háum súlfat-styrk í sjó (SO_4^{2-}), magni nítrats í eldisvökva og stöðugleika örverusamfélaga í lífhreinsum (Anon 2015; SalmonBusiness 2017a).

Annað alvarlegt vandamál kom upp á sama tíma. Líkt og nefnt var að ofan átti að hreinsa affallsvatn með síun í gegnum sendinn jarðveg. Sú leið reyndist ekki fær vegna leirlags á nokkru dýpi og myndaðist því stórt lón utan við eldisstöðina (Hjörning Kommune 2015). Uppsöfnun lífrænna efna í lóninu og í jarðveginum leiddi til myndunar brennisteinsvetnis og ólyktar. Haustið 2014 lagði því brennisteinsfnyk yfir Hirtshals úr eldisstöðinni og lóninu, íbúum til mikils ama. Bráðabirgðaleyfi fékkst til að tengja affallsvatnið inn á losunarkerfi vatnsveitunnar og var því þar með veitt út í sjó. Reistur var nýr lífhreinsir fyrir hreinsun á nítrati. Með þessu móti var komið í veg fyrir ólyktina og jafnvægi komið á eldisskilyrðin (Anon 2015).

Vegna ólyktarinnar og aukinnar losunar næringarefna út í umhverfið var um tíma tvísýnt hvort stöðin fengi áframhaldandi starfsleyfi frá sveitarfélaginu (FødevarerWatch 2015a). Það fékkst þó árið 2017 að undangengnu umhverfismati (Anon 2017a). Ljóst var að eldisstöðin gat ekki starfað nema með því að veita affallsvatni á haf út og fékkst leyfi til losunar á affallsvatni sem innihéldi 45 tonn af nitri, 3,9 tonn af fosfór og 58 tonn af lífrænum leifum á ári vegna 2.000 tonna eldis. Þótt losun næringarefna væri tæplega helmingur af losuninni í sjókvíeldi var heimildin gagnrýnd af náttúruverndarsamtökum (Anon 2017a; Danmarks Naturfredningsforening 2017). Ástæðan var m.a. sú að sveitarfélagið hafði ekki útlistað hvernig það ætlaði minnka losun annars staðar svo mæta mætti kröfum vatnatilskipunar Evrópusambandsins. Annars voru náttúruverndarsamtökin almennt hlynnt landeldi á sjávarfiskum vegna umhverfissjónarmiða (Danmarks Naturfredningsforening 2017).

Áskoranir: Snemmbúinn kynþroski og óbragð

Eins og gefur að skilja höfðu þau atriði sem rakin hafa verið að ofan mikil áhrif á framleiðslu Danish Salmon. Slátrunin sem átti að hefjast haustið 2014 dróst um hálf ári (FødevarerWatch 2015b) og fiskarnir voru almennt smáir eða um 2-2,5 kg að meðaltali. Framleiðslan hefur aukist jafnt og þétt; úr 700 tonnum árið 2016, í 850 tonn 2017 og 1.000-1.150 tonn á árunum 2018-2020 sem er hámarksgeta núverandi stöðvar (FødevarerWatch 2019a, 2000a; SalmonBusiness 2021a). Við hámarksgetu er þéttleiki laxa í stöðinni 80-100 kg/m³ (SalmonBusiness 2019b).

Eitt viðfangsefna stöðvarinnar eftir vandamálin 2014 og 2015 var að ná að ala stóran fisk. Eftir um 3 kg varð hluti framleiðslunnar kynþroska sem rýrir mjög verðmæti afurðarinnar (SalmonBusiness 2019c). Snemmbúinn kynþroski laxa virðist bundinn við hænga og af þeim sökum hefur eldið frá 2019 einungis byggt á eldi hrygna. Danish Salmon hefur væntanlega nýtt

þjónustu Stofnfisks á Íslandi sem selur frjógvuð laxahrogn ætluð í landeldi (Benchmark Genetics 2019). Með ákveðinni tækni eru þau öll gerð kvenkyns. Annað viðfangsefni var að losna við óbragð (moldarbragð) úr fiskinum vegna uppsöfnunar lífræna efnisins *geosmin* í holdi sem ákveðnar bakteríur framleiða (Anon 2015). Var það leyst með því að geyma fiskinn um tíma í hreinum sjó (án fóðrunar) sem leiddi til mun meiri vatnsnotkunar en að var stefnt, nánar tiltekið 120 m³/klst í stað 25 m³/klst. Eldisstöðin notar 700 l af vatni fyrir hvert kg af fóðri sem þykir mikil vatnsnotkun fyrir endurnýtingarkerfi. Hins vegar má benda á ef engin vatnshreinsun færi fram þyrfti vatnsnotkunin að vera 5.000 l per kg af fóðri (Anon 2017a).

Viðhaldskostnaður eldisstöðvarinnar, húsnæðis og tækja, hefur verið mikill vegna tæringar af völdum seltu (SalmonBusiness 2019c). Upphaflega var áætlaður kostnaður vegna byggingar eldisstöðvar og tækja um 93 milljónir DKK en sú tala virðist nær 200 milljónum DKK (Food Supply DK 2012; Danish Salmon 2018). Þrátt fyrir það stendur til að tvöfalda eldisstöðina þar sem fengin reynsla mun nýtast við að bæta hönnun, s.s. til þess að bæta seltuþol stöðvarinnar (SalmonBusiness 2019c). Búið er að fá leyfi fyrir 3.000 tonna eldi þar sem losun næringarefna á að rúmast innan eldra leyfis fyrir 2.000 tonna eldi (Anon 2019).

Eftir nokkurra ára erfiðleikatímabil og taprekstur skilaði eldisstöðin svolitlum hagnaði árið 2018 en ári síðar varð aftur taprekstur (FødevarerWatch 2020a). Forsvarsmenn Danish Salmon útskýra tapið með hækkunum á fóðurverði og nokkuð lægra afurðaverði. Enn fremur að talsverður kostnaður hafi farið í kynningar fyrir fjárfestum. Sú vinna skilaði þó því að japönsku stórfyrirtækin Nissui og Marubeni keyptu 67% í fyrirtækinu í apríl 2020 (FødevarerWatch 2020b). Talsverður áhugi er á landeldi á laxi í Japan sem flytur árlega inn tugi þúsunda tonna af eldislaxi með flugi frá Noregi og Chile (SalmonBusiness 2018a,b). Nissui ætti að þekkja vel til starfsemi Danish Salmon þar sem það hefur séð um sölu á eldislaxi þess í gegnum fyrirtækið sitt Nordic Seafood sem stendur við hlið eldisstöðvarinnar í Hirtshals (NORDJYSKE 2011). Japönsku stórfyrirtækin hyggjast styrkja rekstur Danish Salmon í Evrópu og hefja samskonar rekstur utan Evrópu (Marubeni 2020).

3.2 Langsand Laks/Atlantic Sapphire

Langsand Laks (síðar nefnt Atlantic Sapphire Denmark) er fyrsta fyrirtækið til að hefja markaðsframleiðslu á laxi í endurnýtingarkerfum. Eldisstöðin var líklega með u.þ.b. 3.000 tonna framleiðslugetu en svo virðist sem framleiðslan hafi aldrei verið svo mikil. Langsand Laks er staðsett í bænum Hvide Sande við Ringkøbing-fjörð á vesturströnd Jótlands (7. mynd) og var stofnað af Thue Holm, Preben Kristensen og nokkrum fjárfestum árið 2010 (Food Supply DK 2010; Norsk Fiskerinæring 2019a). Thue Holm er líffræðingur og hafði starfað í nokkur ár hjá Billund Aquaculture við uppsetningu endurnýtingarkerfa, m.a. í seiðaeldisstöð norska

laxeldisfyrirtækisins Villa Organic sem síðar verður minnst á (Holm 2011). Preben Kristensen hafði mikla reynslu af landeldi en eldisstöð Langsand Laks var byggð á grunni eldisstöðva hans fyrir ál og regnbogasilung. Eldisstöðin fyrir ál var notuð í klakhús og seiðaeldisstöð en stöðin fyrir regnbogasilung var tekin niður og ný áframeldisstöð byggð á grunni hennar, þ.e. stöð þar sem seiði eru alin áfram í sláturstærð (Olsen 2014).

Gert var ráð fyrir að heildarkostnaður verkefnisins vegna 1.000 tonna eldis (upphafleg stærð eldisstöðvarinnar) yrði 50 milljónir DKK. Styrkur að upphæð 11 milljóna DKK fékkst úr sjávarútvegssjóði Evrópusambandsins árið 2010 (Food Supply DK 2011b). Heildarkostnaðurinn varð á endanum meiri vegna ýmissa vandamála sem upp komu og verður m.a. greint frá þeim hér, auk þeirra aðgerða sem gripið var til vegna þeirra.

Umhverfissamþykkt og deila um umhverfismál

Í maí 2010 sótti Langsand Laks um svokallað umhverfissamþykki til sveitarfélagsins Ringkøbing-Skern og var það veitt í janúar 2011. Niðurstöður sveitarfélagsins voru að starfsemin þyrfti ekki að gangast undir mat á umhverfisáhrifum. Í umsögn sveitarfélagsins var framkvæmdinni og starfseminni lýst og hvaða skilyrði þyrfti að uppfylla. Þar kom m.a. fram að klakhúsið og seiðaeldisstöðin nýttu ferskvatn en áframeldisstöðin nýtti sjó. Í áframeldisstöðinni væru 12 eldisker og þau stærstu 17 m í þvermál og 4,7 m há (1.000 m³). Samtals rúmuðu saltvatnskerin 6.589 m³. Ísaltur sjór (8-15 ppm) yrði tekinn úr Ringkøbing-firði og var gert ráð fyrir að 570.000 lítra þyrfti á dag (~0,0066 m³/s (23,75 m³/klst)) (Anon 2011).

Í umsögninni er athyglisverður samanburður á gömlu eldisstöðinni og nýju stöðinni m.t.t. losunar affallsvatns og næringarefna í fjörðinn. Eftirfarandi gildi lækkuðu þrátt fyrir að framleiðslan færi úr 180 tonnum í 1.000 tonn á ári; hámark affallsvatns 1.200 l/s -> 25 l/s; 7.400 kg/ár nitur -> 5.000 kg/ár; 645 kg/ár fosfór -> 400 kg/ár; 26.400 kg/ár lífræn efni -> 6.000 kg. Minni losun þrátt fyrir mun meiri framleiðslu endurspeglarði kosti endurnýtingarkerfa. Samt sem áður var ekki gert ráð fyrir síun affallsvatns í gegnum sendinn jarðveg. Sveitarfélagið mat það svo að ekki væri nægilegt rými á staðnum fyrir síun í gegnum jarðveg og grunnvatnsstaðan væri einnig of há á svæðinu (Anon 2011).



7. mynd. Efri mynd til hægri sýnir loftmynd af eldisstöð Langsand Laks (Atlantic Sapphire Denmark) við Ringkøbing-fjörð. Myndin er tekin 2017 og sést að jarðvegsvinna er hafin vegna stækkunar eldisstöðvar. Á neðri mynd sjást eldisker inni í eldisstöð Langsand Laks. Efri myndin til hægri sýnir stærsta lax sem veiðst hefur í Danmörku en hann veiddist í Skern Å, sem rennur í Ringkøbing-fjörð, árið 1954 og vóg 26,5 kg. Náttúruverndarsamtök höfðu áhyggjur af því að lyktarefni (ferómón) úr eldisstöðinni myndu trufla rötnun laxa á leið sína í Skern Å (sjá nánar í texta). Myndir teknar af heimasíðunum <http://iLaks.no> (efri til vinstri), <http://www.skjern-aa.dk/> (efri til hægri) og <http://langsandlaks.dk/> (neðri mynd).

Í umsögninni kom fram að starfsemin væri nærri náttúruverndarsvæðum í Ringkøbing-firði, þar sem væri stærsta sjávarlón í Danmörku. Um 1,2 km suður af starfseminni lægju mörk Ramsarsvæðis og Natura-2000-svæðis en ekki var talið að þeim stæði ógn af afrennslinu. Afrennslið lægi út í rásina sem tengdi fjörðinn við Norðursjó svo hluti næringarefnanna skoluðust strax á haf út. Sérstök umfjöllun var um möguleg áhrif á laxastofninn í ánni Skern Å sem fellur í Ringkøbing-fjörð en hann er einn af fjórum upprunalegu laxastofnum sem eftir eru í Danmörku (7. mynd). Ekki var talin hætta á erfðablöndun þar sem engar líkur væru á að fiskur slyppi lifandi úr eldisstöðinni. Ekki var talið raunhæft að sjúkdómar eða laxalús gætu borist í stöðina, magnast þar upp og aukið smithættu hjá villtum löxum. Til stæði að flytja inn vottuð, sjúkdómalaus hrogn frá Íslandi og Tasmaníu. Einnig væri inntakssjór og affallið geislað með UV-geislum sem dræpu alla þekkta sjúkdómavalda hjá laxi.

Talsvert var rætt um losun lyktarefna eða laxa-ferómóna úr eldinu. Eins og áður segir átti að leiða affallsvatnið út í rásina sem tengir fjörðinn við Norðursjó en hún er eina leið villtra laxa um fjörðinn til og frá hafi. Dönsku náttúruverndarsamtökin og félag stangveiðimanna töldu að mögulega gætu ferómónin truflað ratvísi laxa í Skern Å og þar sem vísindaleg þekking væri af skornum skammti ætti að hafna framkvæmdinni á grundvelli varúðarreglu. Sveitarfélagið mat það hins vegar svo að skilyrði í umhverfissamþykktinni um að hægt væri að krefjast úrbóta á starfseminni í ljósi reynslunnar dygði til að vernda laxastofninn. Áðurnefnd samtök kærðu ákvörðun sveitarfélagsins og í janúar 2013 ógilti kærunefndin umhverfissamþykkt sveitarfélagsins. Mat kærunefndarinnar byggði m.a. á sérfræðiálitum DTU-aqua og skýrslu NIVA (Norsk institutt for vannforskning) um rötun laxa. Taldi nefndin að ekki væri hægt að útiloka að ferómónar úr eldisstöðinni trufluðu rötun laxa og skilyrðið sem sveitarfélagið setti í umhverfissamþykktina tryggði ekki vernd stofnsins þar sem það veitti aðeins heimild til inngripa eftir að skaðinn væri skeður (Anon 2013).

Í júní 2013 gaf sveitarstjórnin síðan út nýja umhverfissamþykkt. Líkt og áður var þess ekki krafist að framkvæmdin færi í mat á umhverfisáhrifum en gerð krafa um að affallsvatn yrði síað í gegnum jarðveg (áður talinn óraunhæfur kostur) og affallsvatnið mögulega meðhöndlað með ósoni en ekki UV-geislum eins og til stóð (Dagbladet Ringkøbing-Skjern 2013).

Bygging eldisstöðvar og kýlaveiki

Ofangreint kærufæri tók rúm tvö ár en á meðan á því stóð héldu forsvarsmenn Langsand Laks áfram með verkefnið (Dagbladet Ringkøbing-Skjern 2011a). Vinna við byggingu áframeldisstöðvarinnar hófst í maí 2011 og í júlí sama ár komu fyrstu hrognin frá Stofnfiski á Íslandi. Stefnt var að því að fá 100.000 hrogn þriðja hvern mánuð. Í október 2012 lauk byggingu eldisstöðvarinnar og var strax var hægt að hefja áframeldi þar sem þegar var búið að ala seiðin. Mánuði síðar sýktist hins vegar fiskurinn af kýlaveiki (e. furunculosis) þannig að helmingur fyrstu tveggja kynslóða drapst (Dagbladet Ringkøbing-Skjern 2011b; Holm 2015). Til þess að átta sig á alvarleika málsins má geta þess að nokkrum árum áður sagði Thue Holm að fyrirtækið yrði gjaldþrota ef sjúkdómur bærist í eldisstöðina (Dagbladet Ringkøbing-Skjern 2010). Svo fór reyndar ekki. Vorið 2013 voru fiskar bólusettir og sjúkdómnum haldið í skefjum. Vöxtur var ágætur fram á haust en um veturinn fór kýlaveikin að hafa mikil áhrif á hann (Holm 2015). Í maí 2014 jukust afföll vegna veikinnar og ónæmi gegn sýklalyfjum greindist hjá nokkrum fiskum í stöðinni (Olsen 2014). Í framhaldinu var tekin ákvörðun um að tæma og sótthreinsa áframeldisstöðina.

Líklegt ástæða þess að hreinsunarkerfið virkaði ekki er sú að í vondum veðrum gruggast mikið upp af botni fjarðarins og þegar gruggugt vatn er UV-geislað eykst hættan á að eitthvað sleppi

í gegn (iLaks.no 2015a). Til að hindra frekari smit voru keyptar öflugri síur sem bæta áttu virkni UV-geislunar og inntakið fært úr Ringkøbing-firði í Norðursjó, 2 km frá eldisstöðinni (IntraFish 2014a; Holm 2015). Breytingarnar kostuðu 6 milljónir DKK (Politiken 2015).

Í ljósi erfiðleika fyrirtækisins, sem að miklu leyti má tengja við staðsetningu þess, má velta fyrir sér hvort skynsamlegt hafi verið að reisa eldisstöðina á þeim stað sem henni var valinn. Að sögn Thue Holm var staðsetningin valin vegna nálægðar við ísalta sjóinn í Ringkøbing-firði. Hann útskýrir það þannig að lax noti orku til að seyta salti úr blóðinu og sé saltmagnið minna fari meiri orka í vöxt. Við valið á staðsetningunni skipti einnig máli að eldisstöð var þar fyrir sem þeir töldu geta flýtt ferlinu. Forstjóri fyrirtækisins á árunum 2013–2015 hefur sagt að í dag hefðu þau valið aðra staðsetningu (Dagbladet Ringkøbing-Skjern 2015).

Framleiðslan og stækkun stöðvar

Fyrsta slátrun hjá Langsand Laks hófst í nóvember 2013 og ári síðar nam framleiðslan um 400 tonnum (iLaks.no 2015b). Það er langt frá 1.000 tonna markmiði þess tíma og skýrist að mestu af afföllum vegna kýlaveikinnar. Snemmkynþroska hængar voru einnig vandamál í fyrstu en fljótlega tókst að ná hlutfallinu úr 35% í 5% (Olsen 2014). Þar sem þurfti að tæma stöðina eftir kýlaveikina var ekkert slátrað fyrr en í lok árs 2015 og virðist framleiðslan það ár hafa verið 150 tonn (Politiken 2015; iLaks.no 2016b). Framleiðslan virðist hafa náð 800 tonnum árið 2016 og 530 tonnum árið 2018 (Fyens Stiftstidende 2017; Ringkøbing-Skjern Kommune 2019). Árið 2019 var framleiðslan nærri 1.000 tonnum en eitthvað minni ári síðar (Atlantic Sapphire 2021). Laxinn var, a.m.k. fyrstu árin, aðallega seldur ferskur til veitingahúsa í Bandaríkjunum undir merkinu Atlantic Sapphire (IntraFish 2014b).

Árið 2016 sótti fyrirtækið um leyfi til stækkunar á eldisstöðinni og framleiðslu á 2.000 tonnum árlega (Anon 2017b). Um var að ræða nýja byggingu við hlið eldisstöðvarinnar sem eingöngu væri ætluð til áframeldis en þáverandi aðstaða fyrir klak, seiðaeldi og slátrun átti að geta sinnt meiri framleiðslu. Með stækkuninni átti að ná framleiðslukostnaði niður og gera framleiðsluna samkeppnishæfa. (SalmonBusiness 2017b). Gert var ráð fyrir að stækkunin kostaði 60 milljónir DKK (Fyens Stiftstidende 2017). Í byrjun árs 2017 fékkst leyfi hjá sveitarfélaginu á grundvelli þess að losun næringarefna færu ekki yfir mörk gildandi leyfis sem í raun gerði ráð fyrir þessum stækkunarmöguleika (Anon 2017b). Á meðan á byggingartímanum stóð virðast plönin hafa breyst því um mitt ár 2018 töluðu forsvarsmenn fyrirtækisins um að framleiðslugetan yrði 3.000 tonn (iLaks.no 2018a). Fyrstu seiðin voru tekin til áframeldis í nýju bygginguna árið 2018 (Food Supply DK 2018).

Eins og gefur að skilja hefur tap verið á rekstrinum, bæði vegna framkvæmda og framleiðslumarkmið náðust aldrei. Árlegt tap áranna 2013–2018 hefur verið á bilinu sex til 21

milljón DKK (IntraFish 2015a; FødevareWatch 2017b, 2019b). Hér á eftir verða nokkur atriði nefnd sem stuðluðu að því að framleiðslumarkmið náðust ekki, þ.e. annarra atriða en kylaveiki og snemmkynþroski.

Áskoranir og áfall

Um mitt ár 2017, eða nokkrum vikum eftir að greint var frá stækkun eldisstöðvarinnar í 2.000 tonn, bárust þær fréttir að fyrirtækið hefði misst fjórðung framleiðslunnar það ár (250 tonn) af skjótum og óþekktum ástæðum (iLaks.no 2017a,b). Fiskarnir dóu á einungis 15 til 20 klukkustundum og reyndist orsökina vera eitrun vegna brennisteinsvetnis (FødevareWatch 2017a). Á vissum stöðum í eldinu hafði safnast saman set sem bakteríur þrífust á við loftfirrðar aðstæður og leiddi það til myndunar brennisteinsvetnis (ING 2019). Eftir óhappið var hönnun eldisstöðvarinnar breytt til að auðvelda þrif og koma þannig í veg fyrir setmyndun. Annað óhapp varð snemma á árinu 2020 þegar um 227.000 fiskar drápust vegna of hás niturstyrks í annarri af tveimur áframeldisstöðvum. Að sögn forsvarsmanna er búið að lagfæra eldisstöðina til að koma í veg fyrir að slík óhöpp endurtaki sig (iLaks.no 2020a). Í júlí 2021 drápust 400 tonn. Talið var að ástæðan tengdist viðhaldi á síukerfi [mögulega lífhreinsi í nýja hluta eldisstöðvarinnar] og mannlegum mistökum. Fyrirtækið sagðist ætla að uppfæra verklagsreglur og skipta eldisstöðinni enn frekar upp til að minnka tjónið ef sambærilegt atvik kæmi upp síðar (IntraFish 2021a). Tveimur mánuðum síðar eyðilagðist nær öll eldisstöðin í bruna. Eldur kviknaði í nýja hluta eldisstöðvarinnar, sem þá var án fiska, og eldurinn breiddist út til eldri hlutans (SalmonBusiness 2021b). Sprengihætta stafaði af súrefniskútum í stöðinni og voru þeir fjarlægðir sem leiddi til súrefnisskorts og dauða fiska (200 tonn) í áframeldinu (Jyllands-Posten 2021; SalmonBusiness 2021b). Eldisstöðin var tryggð fyrir 33 milljónir Bandaríkjadala (USD) en óvíst hvort þeir peningar verði notaðir til að endurbyggja reksturinn í Danmörku (SalmonBusiness 2021c).

Fyrirtækið Atlantic Sapphire hefur verið helsti bakhjarl verkefnisins en það átti um 30% í Langsand Laks árið 2014 og tók það svo yfir 2017 (IntraFish 2014c; FødevareWatch 2019b). Atlantic Sapphire hefur haft mikla hagsmuni af því að Langsand Laks verkefnið gangi upp og verður nú fjallað nánar um það.

Áformin í Bandaríkjunum

Í lok árs 2017 skipti Langsand Laks um nafn og heitir nú Atlantic Sapphire Denmark (FødevareWatch 2017b). Ber það því nafn móðurfyrirtækis síns, Atlantic Sapphire, sem stefnir á mikið landeldi á laxi í Bandaríkjunum. Stofnendur og stærstu eigendur Atlantic Sapphire voru með í stofnun Langsand Laks með það að markmiði að læra á laxeldi í endurnýtingarkerfum

og nýta svo tæknina í Bandaríkjunum. Jafnframt töldu forsvarsmenn Atlantic Sapphire mikilvægt að geta kynnt starfsemi sína í Danmörku fyrir væntanlegum fjárfestum bandaríska verkefnisins þar sem aðferðin væri ný og almennt óþekkt (IntraFish 2015b). Atlantic Sapphire Denmark hefur haft þá formlegu stöðu að vera tilrauna- og þróunarmiðstöð eldisstöðvar Atlantic Sapphire í Bandaríkjunum. Atlantic Sapphire hefur verið áberandi í fréttum á undanförunum árum því ef áform fyrirtækisins ganga eftir gæti það haft margvísleg áhrif á laxeldi í heiminum og mögulega annað fiskeldi með verðmætar tegundir.

Frumkvöðlar

Stofnendur Atlantic Sapphire eru norsku frændurnir Johan E. Andreassen og Bjørn-Vegard Løvik. Segja má að þeir séu frumkvöðlar í laxeldi bæði í sjó og á landi. Snemma á tíunda áratug síðustu aldar veiddu þeir „hreinsifiska“ við Noregsstrendur og seldu laxeldisfyrirtækjum sem nýttu þá í baráttunni gegn laxalús. Þeir hófu þessa iðju aðeins 14 og 15 ára gamlir og nokkrum árum síðar, árið 1995, stofnuðu þeir fyrirtækið Villa Leppefisk utan um starfsemina (iLaks.no 2017c). Þeir voru með þeim fyrstu til að ala „hreinsifiska“ (Norsk Fiskeoppdrett 2003) en nú má segja að notkun slíkra fiska til að kljást við laxalús í laxeldi sé almenn. Árið 2018 voru t.a.m. 55 milljónir hreinsifiska notaðir í Noregi (Hjeltnes o.fl. 2019). Starfsemin varð víðtækari, náði til flestra sviða laxeldis og „Villa-fyrirtækjum“ fjölgaði, þar sem Villa Organic er líklega kunnast. Það var með fyrstu fyrirtækjum til að ala eldislax eftir forskrift lífrænnar framleiðslu. Þegar frændurnir seldu hluti sína í Villa samsteypunni árið 2009 var framleiðslugetan 30.000 tonn á ári (IntraFish 2014b). Þess má geta að Villa Organic er nú í eigu SalMar, eins stærsta framleiðanda lax í heiminum og stærsta hluthafa í Arnarlaxi.

Að sögn Johan E. Andreassen notuðu þeir frændurnir tímann eftir söluna á Villa til að kanna strauma og stefnur í laxeldi á heimsvísu. Vafalaust hafa mörg atriði ráðið því að þeir ákváðu að hefja landeldi á laxi í Bandaríkjunum. Atriði sem nefnd hafa verið eru mikil neysla á eldislaxi í Bandaríkjunum þar sem yfirgnæfandi meirihluti er innfluttur og eftirspurn er eftir vistvænum afurðum. Reynsla þeirra af því að selja eldislax frá Norður-Noregi var sú að það væri flókið, áhættusamt og óumhverfisvænt þar sem fljúga þurfti með laxinn á markað. Hugmyndin kviknaði fljótlega eftir heimsókn í klakstöð í Chile þar sem þeir sáu stóra laxa sem höfðu alið allan sinn aldur í landeldi (Norsk Fiskerinæring 2019a). Í kjölfarið eða árið 2010 stofnuðu þeir Atlantic Sapphire, sama ár og Langsand Laks var stofnað.

Staðarval og stórhuga áform

Nokkur ár tók að finna staðsetningu fyrir eldisstöð Atlantic Sapphire í Bandaríkjunum. Aðstæður voru kannaðar í 14 ríkjum en erfitt eða ómögulegt var að fá þar leyfi, einkum fyrir

losun á affallsvatni, og í sumum tilfellum var andstaða hjá heimamönnum gegn starfsemi (Nettavisen 2018). Flórída var ekki á meðal þeirra 14 ríkja sem fyrst voru skoðuð, enda gæti virst ósamrýmanlegt að ala lax í hitabeltisloftslagi. Hins vegar komust frændurnir að því að Suður-Flórída byggi yfir einstökum jarðfræðilegum eiginleikum fyrir starfsemina og Flórída varð því fyrir valinu. Í jarðlögunum má finna hreinan og kaldan jarðsjó í gríðarmiklu mæli, á öðrum stað í þeim er ferskvatn og á um 1.000 m dýpi er þykkt sandlag sem dæla má affallsvatni undir líkt og gert er með skolp á svæðinu. Því yrðu engin næringarefni losuð út í umhverfið. Hreint vatnið í jarðlögunum gerði það að verkum að ekki þyrfti að bólusetja fiska líkt og gert væri í eldisstöð þeirra í Danmörku (Norsk Fiskerinæring 2019a). Önnur atriði sem studdu við staðsetninguna voru mikið framboð af marflötu landi sem minnkar byggingarkostnað og stór heimamarkaður en um 21 milljónir manna búa í Flórída (Nettavisen 2018; UPI 2020). Árið 2014 var tilkynnt um staðsetninguna í Homestead, landbúnaðarsvæði rétt sunnan við borgina Miami (Undercurrent News 2014).

Áform fyrirtækisins um framleiðslumagn hafa breyst mikið undanfarin ár, a.m.k. eins og þau birtast í fjölmiðlum. Áður en staðsetningin í Flórída var ákveðin voru tölurnar 3.000 og 4.000 tonn nefndar (IntraFish 2011; iLaks.no 2013). Skömmu eftir að tilkynnt hafði verið um staðsetninguna var áætlunin komin í 30.000 tonn (iLaks.no 2014) og þremur árum síðar eða árið 2017 var talan komin í 90.000 tonn (iLaks.no 2017d). Árið 2019 var hún komin upp í 200.000 tonn og 2020 var áætlunin komin í 220.000-242.000 tonn sem er um helmingur Bandaríkjamarkaðar í dag (Norsk Fiskerinæring 2019a; UPI 2020) og um 10% heimsframleiðslunnar á eldislaxi.

Fyrirtækið á um 65 hektara (650.000 m^2) lands í Flórída og hefur leyfi fyrir 75 milljón lítra vatnstöku á dag ($\sim 0,87 \text{ m}^3/\text{s}$, $3.125 \text{ m}^3/\text{klst}$) þar sem um 95% er saltvatn (Miami Herald 2020; UPI 2020). Vatnsmagnið á að duga fyrir 90.000 tonna framleiðslu (Jose Prado 2018). Til samanburðar má nefna að vatnsmagnið er um 17% af meðalrennsli Elliðaáanna og 56% af meðalrennsli Úlfarsár í Reykjavík.

Forsvarsmenn fyrirtækisins gera ráð fyrir að verðið á laxinum í Bandaríkjunum verði samkeppnishæft við eldislax frá Chile og Norður-Evrópu vegna minni flutningskostnaðar. Sem dæmi kostar um 15 NOK að flytja hvert kíló af laxi frá Noregi með flugi til Bandaríkjanna (iLaks.no 2019a; Norsk Fiskerinæring 2019a). Eldislaxinn mun jafnframt verða nokkrum dögum ferskari á markað, t.d. gæti eldislax komist á markað í New York einungis degi eftir slátrun (Nettavisen 2018; USA Today 2019). Þegar framleiðslan hefur náð 20-30 þúsund tonnum er gert ráð fyrir að framleiðslukostnaður á slægðum laxi verði um 35-40 NOK per kg (Norsk Fiskerinæring 2019a).

Framkvæmdir

Áætlað var að eldisstöðin fyrir framleiðslu á 220.000 tonnum yrði reist í fjórum áföngum; fyrst var reist stöð með 10.000 tonna framleiðslugetu, hún síðan stækkuð í 25.000 tonn, 90.000 tonn og loks 220.000 tonn. Framkvæmdir hófust í janúar 2017 þegar byrjað var að bora eftir vatni og bygging fyrsta áfanga (10.000 tonn) hófst seinna sama ár (Norsk Fiskerinæring 2019a; Atlantic Sapphire 2021). Byggingu eldisstöðvar með 10.000 tonna framleiðslugetu er lokið en verkið tafðist vegna áhrifa Covid heimsfaraldurs (Atlantic Sapphire 2021). Bygging eldisstöðvarinnar er um 36.000 m² en það hýsir einnig aðstöðu til slátrunar og vinnslu þar sem lokaafurðin eru laxaflök (Miami Herald 2020). Eldisstöð fyrsta áfanga skiptist í sex aðskildar framleiðslueiningar (FishFarmingExpert 2017). Skiptingin dreifir áhættunni, þannig að ef eitt kerfi bilar veldur það ekki skaða eða tjóni í allri stöðinni. Stærstu eldiskerin eru 17,5 m í þvermál og 7,5 m há (1.700 m³) og rúma 25.000 fiska (SalmonBusiness 2019d; UPI 2020). Ólíkt kerjunum í tilraunaeldisstöðinni í Danmörku, sem eru steipt, eru eldiskerin úr stáli og hjúpuð postulíni. Postulínið á að koma í veg fyrir uppsöfnun óhreininda eða baktería sem leitt getur til myndunar brennisteinsvetnis (SalmonBusiness 2019d). Þegar fiskarnir hafa náð sláturstærð verður hleypt úr kerjunum og laxinn flyst á slátrunar- og vinnsluvæðið (UPI 2020). Framkvæmdir við annan áfanga hófst fyrri hluta 2021, þ.e. stækkun eldisstöðvar í 25.000 tonna framleiðslugetu. Áætlað er að verkið klárast í lok 2022 og byrji að skila afurðum 2023 (IntraFish 2021b; SalmonBusiness 2021d). Í áfanga tvö verður aðeins reist aðstaða til áframeldis en í fyrsta áfanga var þegar gert ráð fyrir aðstöðu til seiðaeldis, slátrunar og vinnslu fyrir 25.000 tonna framleiðslu (SalmonBusiness 2021d). Bygging annars hluta fylgir því forskrift stækkunar eldisstöðvarinnar í Danmörku. Áætlunin gerir síðan ráð fyrir að árið 2026 verði framleiðslugetan komin í 90.000 tonn og 220.000 tonn árið 2031 (Miami Herald 2020; UPI 2020).

Framleiðslan - Erfið byrjun

Árið 2019 var gert ráð fyrir að framleiðslan gæti orðið 6.000 tonn árið 2020 og 10.000 tonn 2021 (Norsk Fiskerinæring 2019a). Markmiðin áttu að nást með því að hefja framleiðslu áður en byggingu fyrsta áfanga væri að fullu lokið. Sama fyrirkomulag var haft í byrjun Langsand Laks verkefnisins og átti að flýta tekjuinnflæði. Í lok árs 2018 voru fyrstu hrognin tekin í hús en þau komu frá Stofnfiski hf. (Benchmark Genetics Iceland hf.) á Íslandi (AquaCircle 2018; Norsk Fiskerinæring 2019a; SalmonBusiness 2019d). Vinnuplanið gerði ráð fyrir að 500.000 hrogn yrðu tekin inn í eldisstöðina á sjö vikna fresti og eldistíminn samtals um 20 mánuðir (SalmonBusiness 2019d). Samkvæmt þessu átti fyrsta slátrun að fara fram haustið 2020 og það tókst í ákveðnum skilningi (Atlantic Sapphire 2021). Hins vegar gengu áætlanir um framleiðslumagn ekki eftir. Í júlí 2020, þegar stutt var í áætlaða slátrun (a.m.k. samkvæmt

upphaflegri áætlun), þurfti að framkvæma neyðarslátrun á næstum 200.000 fiskum eða 400 tonnum. Að sögn forsvarsmanna fyrirtækisins orsakaðist atvikið hvorki af eitrun né sjúkdómum heldur vegna stress. Bygging eldisstöðvar hefði tafist vegna áhrifa Covid líkt og nefnt hefur verið og því enn framkvæmdir nálægt eldiskerjum í áframeldinu. Þær hefðu framkallað stöðugan og óvæntan hávaða og titring sem orsökuðu stress hjá fiskum. Þar sem aðstæðan til slátrunar og vinnslu var ekki tilbúin var einungis hægt að koma 150 af 400 tonnum á markað (Fishfarmingexpert 2020a). Á fjórða ársfjórðungi var 166 tonnum slátrað á markað svo gera má ráð fyrir að ársframleiðslan árið 2020 hafi numið nokkur hundruð tonnum, ekki síst í ljósi þess að sameiginleg ársframleiðsla beggja eldisstöðva Atlantic Sapphire (eldisstöðin í Danmörku meðtalin) nam um 1.000 tonnum (Atlantic Sapphire 2021; SalmonBusiness 2020a).

Árið 2021 var einnig erfitt fyrirtækinu. Snemma árs kom í ljós að hluti fiska varð snemmkynþroska og kom það niður á vöxt lífmassa fyrstu árganga (ekki síðari árganga). Ekki hefur verið opinberað hversu stórt vandamálið var en fyrirtækið kenndi um bilunum í kælikerfi (IntraFish 2021b; SalmonBusiness 2021e). Hönnunargallar í endurnýtingarkerfinu leiddu síðan til dauða um 500.000 laxa (500 tonn) snemma árs. Gallarnir tengdust tromlusíum, sem hreinsuðu ekki nægjanlega, og niðurföllum í eldiskerjum. Fyrst leiddu hönnunargallarnir til lélegra vatnsgæða og síðan stöðvunar á innflæði vatns í eldisker með fyrrgreindum afleiðingum (SalmonBusiness 2021e; SeafoodSource 2021a). Vitað var um hönnunargallana og þegar búið að laga flestar framleiðslueiningar þegar óhappið varð. Atlantic Sapphire hefur slitið viðskiptum við Billund Aquaculture, aðal framleiðenda endurnýtingarkerfisins, sem það telur bera ábyrgð í málinu og fleiru sem misfarist hefur (SeafoodSource 2021a). Um mitt ár leit út fyrir að það gæti orðið uppiskroppa með súrefni en það hefði leitt til dauða allra fiska í eldisstöðinni. Ástæðan var mikil eftirspurn spítala eftir súrefni vegna Covid. Vegna yfirvofandi súrefnisskorts var 100.000 löxum slátrað á undan áætlun og dregið var úr fóðrun fiska. Fyrirtækinu tókst síðan að útvega súrefni sem ekki var nothæft á spítölunum en dugði vel fyrir eldið (Fishfarmingexpert 2021a). Hér má nefna að aðeins tveimur vikum eftir að fyrirtækið tókst að útvega sér súrefni brann eldisstöðin í Danmörku. Markaðsframleiðsla eldisstöðvarinnar í Flórída 2021 nam 2400 tonnum og áætlað fyrir fyrirtækið nú að framleiðslan verði 7.000 tonn á þessu ári (IntraFish 2022).

Gæði framleiðslunnar hefur til þessa verið misjöfn en farið batnandi eftir því sem fyrirtækið hefur tekist að ná stjórn á eldisaðstæðum. Eldislaxinn er seldur í um 2.000 verslunum í Bandaríkjunum og hefur fengist hátt verð fyrir laxinn í efsta gæðaflokki (>3 kg) árið 2021 eða um 12 USD per kg (IntraFish 2022). Á sama tíma var meðalverð til framleiðenda á markaði í Noregi á bilinu 5-8 USD per kg fyrir fisk í sama gæðaflokki/stærðarflokki (SalmonBusiness 2022a).

Horft til framtíðar

Forsvarsmenn Atlantic Sapphire hafa nefnt nokkur atriði sem mögulega geta bætt reksturinn og gert hann umhverfisvænni í framtíðinni. Í samstarfi við líftæknifyrirtækið Hofseth BioCare er stefnt að því að nýta þau 40% af fiskinum sem eru eftir flökun og framleiða t.d. Omega 3-olíu og fiskimjöl þannig að nýtingin verði 100% (Oslo Børs 2019). Einnig stendur til að nota umhverfisvænar, niðurbriótanlegar pakkningar fyrir flökin (Miami Herald 2020). Verið er að skoða leiðir til að lágmarka orkunotkun, auka notkun hreinna orkugjafa og bestunar vinnuferla m.a. með notkun gervigreindar (Miami Herald 2020; SalmonBusiness 2020b). Byggja á aðstöðu til framleiðslu á súrefni og lífgasstöð þar sem nýta má úrganginn sem hreinsaður er úr affallsvatninu áður en því er dælt niður í jörðu. Auk þess er stefnt að því að birta reglulega tölur um losun gróðurhúsalofttegunda (Miami Herald 2020; UPI 2020). Þá hefur Atlantic Sapphire gert samkomulag við stærsta fóðurframleiðanda á laxafóðri í heimi (Skretting) um að það reisi fóðurverksmiðju í Flórída gegn fóðurkaupum í 10 ár (World Grain 2021).

Kostnaður og fjármögnun

Kostnaður við fyrsta áfanga (10.000 tonn) hefur verið sagður 180 milljón USD (Miami Herald 2020) en líklega var hann meiri vegna margskonar erfiðleika. Kostnaður við annan áfanga, þ.e. stækkun í 25.000 tonna framleiðslugetu, er áætlaður 225 milljón USD (Fishfarmingexpert 2021b). Heildarkostnaður við 90.000 tonna eldisstöð verði 750 milljón USD og 220.000 tonna eldisstöð kosti 2.000 milljón USD (Finansavisen 2018; BBC 2021). Árið 2020 hafði fyrirtækið tryggt fjármagn að upphæð 300 milljónum USD frá fjárfestum og lánastofnunum (Miami Herald 2020). Bankinn DNB, sem er stærsti banki Noregs og einn sá stærsti í heimi á sviði sjávarútvegs, hefur veitt lán upp á 180 milljónir USD og 30 milljóna veltilán (Oslo Børs 2020). Þá hefur Flórída-ríki veitt fyrirtækinu styrk upp á 5 milljónir USD gegn því að a.m.k. 237 störf skapist á næstu árum, með að lágmarki 60.000 USD meðallaun (Miami Herald 2020). Annar áfangi verkefnisins virðist fullfjármagnaður (IntraFish 2021c). Hins vegar hafa greiningaraðilar bent á að mögulega þurfi 100 milljón USD til viðbótar vegna mikils taps (mögulega 85 milljón USD) fyrirtækisins árið 2021 (SalmonBusiness 2022b). DNB bankinn hefur bent á að ef fyrirtækið endurreisir ekki eldisstöðina í Danmörku gæti losnað um 33-40 milljón USD sem nýta mætti í uppbygginguna í Flórída (SalmonBusiness 2021c). Atlantic Sapphire hefur m.a. fjármagnað sig í gegnum norsku kauphöllina en fyrirtækið var skráð á hlutabréfamarkað árið 2018. Gengi hlutabréfa féll meira en 60% árið 2021 og er það nú um mitt ár 2022 umtalsvert lægra en fyrst eftir skráningu (www.oslobors.no).

4. Efnahagslegar forsendur landeldis á laxi

Þó nokkrar greiningar hafa verið gerðar á efnahagslegum forsendum landeldis á laxi í endurnýtingarkerfum og þær síðan bornar saman við sjókvíaeldi. Hér verður greint frá helstu niðurstöðum nokkurra þeirra sem út hafa komið á síðustu árum. Greiningarnar geta verið nokkuð frábrugðnar hver annarri m.t.t. upplýsingagjafar um gefnar forsendur, hvaða forsendur liggja til grundvallar og aðferðafræði. Eins og sést af umfjölluninni getur verið snúið að bera tölur saman milli greininga.

Almennt má segja að þegar fjárhagslegur grundvöllur eldisstöðvar með endurnýtingarkerfi þurfi, líkt og með önnur framleiðslufyrirtæki, að huga að stofnkostnaði, framleiðslukostnaði og mögulegum markaðsaðstæðum. Mikilvæg atriði í því sambandi snúa t.d. að því hvaða eldistækni er notuð (getur munað um 20% í verði á tækjabúnaði eftir tæknistigi endurnýtingarkerfa), stærð stöðva (stærðarhagkvæmni) og fjölda sjálfstæðra eldiseininga (því fleiri, því dýrara, en jafnframt meira öryggi) (Bjørndal og Tusvik 2019). Aðrir mikilvægir þættir eru t.d. þéttleiki fiska í eldi, kostnaður aðfanga (einkum fóðurs og rafmagns), fjarlægð frá mörkuðum og þar með flutningskostnaður, þróun markaða og gengi gjaldmiðla.

Þegar litið er til kostnaðargreininga á endurnýtingarstöðvum og samanburð við sjókvíaeldi verður að setja ákveðna varnagla þar sem óvissuþættir geta verið margir. Til að mynda er enn nokkuð takmörkuð reynsla af markaðsframleiðslu á laxi í endurnýtingarkerfum og forsendur geta breyst með aukinni þekkingu. Eins geta staðbundnar aðstæður verið misjafnar t.d. hvað varðar kostnað við aðföng og nálægð við markaði. Staðbundnar aðstæður geta á sama hátt verið misjafnar í sjókvíaeldi, t.d. vegna mismunandi umhverfisaðstæðna innan og milli landa.

Deloitte AS (Norway)

Í greiningu Deloitte AS (Norway) var stofnkostnaður (e. capex) og framleiðslukostnaður 5.000 tonna landeldis í Noregi borinn saman við sjókvíaeldi af sömu stærð þar sem seiði voru annars vegar flutt í kvíar þegar þau voru 100 g og hins vegar 1.000 g (Gjendemsjø og Henriksen 2015; Henriksen 2015; Sysla 2015). Segja má að seinni samanburðurinn sé sambland af sjókvíaeldi og landeldi.

Niðurstöðurnar voru þær að stofnkostnaðurinn gat verið lægstur í landeldi og hæstur þegar stór seiði voru sett í sjókvíar (Tafla 1). Í dæminu var gert ráð fyrir kaupum á laxeldisleyfum í Noregi sem skýrir hlutfallslegan háan stofnkostnað sjókvíaeldis en landeldið þarf ekki slík leyfi þar í landi. Ef verð leyfa var undanskilið lækkaði stofnkostnaður í sjókvíaeldi um 240-320 milljónir NOK og var um þrisvar sinnum lægri en í landeldi.

Framleiðslukostnaðurinn reyndist hæstur í landeldinu en munur á milli landeldis og sjókvíaeldis reyndist aðeins 0,25 NOK á hvert kíló af slægðum laxi (e. Head-on- Gutted, HOG). Framleiðslukostnaðurinn var metinn 26,75 NOK per kíló en 26,5 NOK í sjókvíaeldi. Gert var ráð fyrir eldi við bestu skilyrði.

Tafla 1. Samanburður Deloitte As (Norway) á stofnkostnaði (e. capex) þriggja gerða laxeldis, hvert með 5.000 tonna framleiðslugetu (Henriksen 2015). Fjárhæðir eru í norskum krónum (NOK) og framleiðslukostnaður miðast við kíló af slægðum laxi (HOG). Fjárhæðir eru án fjármagnskostnaðar og afskrifta.

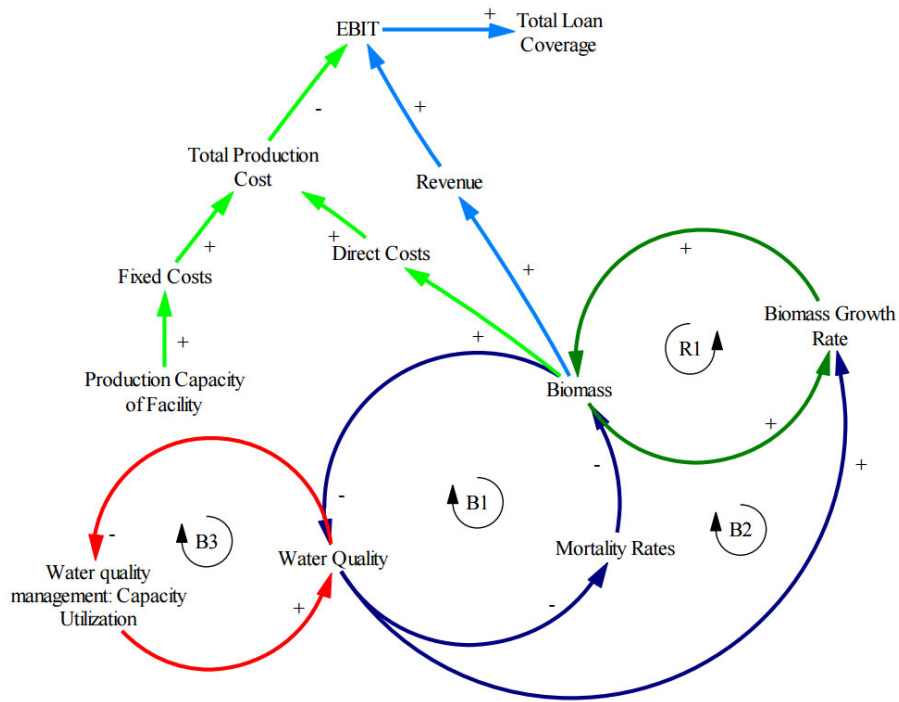
	Stofnkostnaður	Framleiðslukostnaður pr. kg
a) Sjókvíaeldi (100 g seiði)	325-470 milljónir	26,50
b) Landeldi + sjókvíaeldi (1.000 g)	405-505 milljónir	25,50
c) Landeldi	300-450 milljónir	26,75

Bennich

Í rannsókn Bennich (2015) var framleiðslukostnaður og lántökugeta 5.000 tonna landeldis í Noregi metið. Kviku kerfislíkani (e. system dynamics) var beitt til að greina hvaða þættir hefðu áhrif á lífmassa (vöxt og dánartíðni), hver áhrif lífmassa væru á vatnsgæði og loks hver áhrifin væru á efnahaginn. Mikið magn upplýsinga var notað til að smíða líkanið sem skiptist í nokkra þætti (8. mynd). Kannaður var mögulegur rekstrarhagnaður (EBIT), framleiðslukostnaður á einu kíló af laxi og var lántökugeta metin sem miðaðist við 5 ára lán á 4% vöxtum. Þrjár meginsviðsmýndir voru kannaðar; 1) eldi við kjörskilyrði, 2) ekki við kjörskilyrði og 3) kerfishrun.

Meðal helstu niðurstaðna voru að við bestu skilyrði var framleiðslukostnaður per kíló 21 NOK skv. ákveðnum forsendum og 36 NOK þegar eldis-skilyrði voru síðri. Samkvæmt Bennich gat verið hagkvæmara að ala í landeldi en í sjókvíaeldi þar sem framleiðslukostnaður var 29 NOK. Hins vegar má benda á að þessar tölur eru ekki fyllilega samanburðarhæfar. Miðað var við meðalframleiðslukostnað í sjókvíaeldi í Noregi árið 2014 en inni í þeirri tölu er gert ráð fyrir afskriftum, fjármagnskostnaði, slátrun og flutningum sem ekki var gert ráð fyrir í landeldinu. Aftur á móti var gert ráð fyrir að þéttleikinn í landeldinu væri 25 kg/m³ sem er mun lægri þéttleiki en mögulegur er og því var ekki gert ráð fyrir fullri nýtingu eldisstöðvar.

Í greiningunni kom fram að framleiðslan gæti borgað upp um 90 milljón NOK lán á fimm árum ef miðað væri við bestu skilyrði og söluverðið 30 NOK per kíló. Lánagetan hækkaði í 250 milljón NOK við söluverðið 40 NOK. Söluverð hefur verið mun hærra hin síðustu ár og hærra en í bestu sviðsmýnd rannsóknarinnar.



8. mynd. Einfölduð mynd af orsakatengslum eldis í endurnýtingarkerfi skv. kerfislíkani Bennich (2015). Myndin sýnir m.a. að aukin vatnsgæði (e. water quality) hafa neikvæð áhrif á dánartölu (e. mortality rates) en jákvæð áhrif á vöxt lífmassa (e. biomass growth rate). Aukinn vöxtur lífmassa hefur áhrif á heildarlífmassa í kerfinu sem svo aftur hefur neikvæð áhrif á vatnsgæði ásamt auknum beinum kostnaði (e. direct cost) og auknum tekjum (e. revenue). Auknar tekjur skila auknum hagnaði (EBIT) og auka lántökugetu.

Warrer-Hansen

Warrer-Hansen (2015ab) áætlaði stofnkostnað annars vegar fyrir 5.000 tonna landeldi án seiðaframleiðslu og hins vegar fyrir 6.000 tonna landeldi með seiðaframleiðslu. Jafnframt var framleiðslukostnaður metinn. Greiningin á 5.000 tonna eldisstöðinni var unnin fyrir írsku laxeldisamtökin (e. the Irish Salmon Grovers' Association) og miðaðist við írskar aðstæður, en greiningin á 6.000 tonna stöðinni var kynnt á alþjóðlegri ráðstefnu um landeldi og átti sú stöð að vera staðsett á meginlandi Evrópu.

Margar forsendur lágu til grundvallar og var gert ráð fyrir 122-132 milljón NOK (12-13 milljón evrum (EUR)) í eigið fé til að standa straum af framleiðslukostnaði fyrsta árið. Helstu niðurstöður voru þær að 5.000 tonna eldisstöð án seiðaframleiðslu kostaði 335 milljónir NOK (33 milljónir EUR) og 6.000 tonna stöð með seiðaframleiðslu kostaði 377 milljónir NOK (37 milljónir EUR). Framleiðslukostnaður var aðeins lægri í stærri stöðinni þar sem gert var ráð fyrir eigin seiðaframleiðslu eða 22,3 NOK (2,19 EUR) á móti 26,1 NOK (2,56 EUR) per kíló.

Samkvæmt Warrer-Hansen voru þessar tölur svipaðar framleiðslukostnaði í sjókvíaeldi, þ.e. fyrir fjármagnskostnað og afskriftir. Þegar við bættist fjármagnskostnaður (ekki nákvæmlega sömu forsendur milli dæma), afskriftir, slægingarhlutfall (88%), slátrun/vinnsla og flutningar hækkuðu tölurnar í 44,7 NOK (4,39 EUR) og 49,3 NOK (4,84 EUR). Bent var á að stofnkostnaðurinn væri hlutfallslega sambærilegur dönsku eldisstöðvunum Langsand Laks og Danish Salmon.

Bjørndal og Tusvik

Í rannsókn Bjørndal og Tusvik (2019) var kostnaður við 6.000 tonna landeldisstöð í Noregi metinn og gerð næmisgreining á framleiðslukostnaði. Margar forsendur lágu til grundvallar. Við mat á kostnaði eldisstöðvar var gert ráð fyrir kaupum á 5,4 hektara landi, byggingu og tækjum. Stöðin var með seiðaframleiðslu en ekki fiskvinnslu. Ein vatnshreinsun þjónustaði öll eldisker. Kostnaður slíkrar stöðvar var metinn á um 607 milljónir NOK. Sá kostnaður færi í 737 milljónir NOK ef eldisstöðinni væri skipt í fimm sjálfstæðar einingar til að auka öryggi.

Í grunndæmi framleiðslukostnaðar var m.a. gert ráð fyrir að einfaldari eldisstöðin væri fjármögnuð með láni á 4% vöxtum. Eins var gert ráð fyrir að stöðin skilaði fullum afköstum og því má ætla að talsvert eigið fé hafi farið í að byggja upp reksturinn líkt og hjá Warrer-Hansen (2015ab). Framleiðslukostnaður var metinn 49,1 NOK per kíló (HOG) án vinnslu og flutninga (hér er notaður norskur umbreytingarstuðull 1,125 til að breyta WFE (heill fiskur) í HOG). Framleiðslukostnaðurinn var síðan borinn saman við framleiðslukostnað í sjókvíaeldi árið 2016 sem var 34,4 NOK (HOG) eða 30% lægri en í landeldinu. Í dæminu var enginn nettó fjármagnskostnaður hjá sjókvíaeldinu en sú var staðan að meðaltali í Noregi árið 2016. Bent var á að ef gert væri ráð fyrir lántöku vegna kaupa á leyfum og fleiru líkt og í dæmi Deloitte að ofan myndi munur á framleiðslukostnaði minnka.

Benda má á að hlutur fjármagnskostnaðar og afskrifta í framleiðslukostnaði landeldisins var um 20% (9 NOK) og skýrist aðallega af miklum upphafskostnaði en þessi kostnaður gæti farið minnkandi gangi reksturinn vel. Bjørndal og Tusvik töldu að ein mikilvægasta niðurstaða rannsóknarinnar væri sú að mikil óvissa væri í mati á framleiðslukostnaði í landeldi en flestar sviðmyndir bentu til að hann væri hærri en í sjókvíaeldi við norskar aðstæður.

Samantekt greininga

Í töflu 2 eru kostnaðartölur greininganna hér að ofan teknar saman í eina töflu til að auðvelda samanburð. Fyrir neðan töflu er nánari útlistun á forsendum greininga en fram kemur í texta.

Tafla 2. Yfirlit yfir áætlaðan stofnkostnað við byggingu eldisstöðva til framleiðslu á eldislaxi í endurnýtingarkerfum. Stofnkostnaður miðast við uppgefna stærð eldisstöðvar eða framleiðslugetu. Að auki er gefinn upp áætlaður framleiðslukostnaður per kíló (HOG). Fyrir neðan töflu eru helstu forsendur tilgreindar. Allar tölur í töflu eru í norskum krónum (NOK).

Framleiðslugeta	Stofnkostnaður	Framl.k. pr. kg	Heimild
5.000	300-450 millj.	26,75	Henriksen (2015), Gjendemsjø og Henriksen (2015)
2.000-5.000	-	21	Bennich (2015)
5.000	336-356 millj.	49,3	Warrer-Hansen (2015a)
6.000	377 millj.	44,7	Warrer-Hansen (2015b)
2.000	-	48,5	Warrer-Hansen (2015b)
6.000	607 millj.	49,1	Bjørndal og Tusvik (2019)
6.000	737 millj.	51,9	Bjørndal og Tusvik (2019)

Henriksen (2015), Gjendemsjø og Henriksen (2015): Hlutfallsleg skipting mismunandi liða stofnkostnaðar við byggingu eldisstöðvar gróflega uppgefinn. Ekki ljóst hvort gert sé ráð fyrir landakaupum. Forsendur framleiðslukostnaðar ekki gefnar nema ekki var gert ráð fyrir afskriftum og fjármagnskostnaði.

Bennich (2015): Gerir ráð fyrir rafmagni, launum, salti, tryggingum, fóðri, súrefni og seiðakaupum. Gerir ekki ráð fyrir slátrun, flutningi, afskriftum og fjármagnskostnaði. Gert var ráð fyrir að tekjur af nýtingu úrgangs myndu veða upp á móti kostnaði við úrgangsmeðhöndlun.

Warrer-Hansen (2015a): Áætlaður stofnkostnaður fyrir 5.000 tonna eldisstöð á Írlandi án seiðaframleiðslu er 33-35 milljónir EUR og framleiðslukostnaður per kíló 4,84 EUR (HOG). Stofnkostnaður miðaðist við undirbúning, leyfismál, eldisstöð með tilheyrandi dælum, hreinsunarbúnaði og búnaði til úrgangsmeðhöndlunar, farartækjum, girðingum og starfmannaaðstöðu. Framleiðslukostnaður gerði ráð fyrir kaupum á seiðum, fóðri, súrefni, rafmagni, efnum, dýralæknaþjónustu, tryggingum, launum, viðhaldi, úrgangsmeðhöndlun, skrifstofu, fjármagnskostnaði, afskriftum, vinnslu afurða og flutningum frá Írlandi til meginlands Evrópu. Fjármagnskostnaður miðaðist við afborganir af 33 milljóna EUR láni á 5,5% vöxtum til 15 ára. Ekki ljóst hvort gert sé ráð fyrir landakaupum.

Warrer-Hansen (2015b): Áætlaður stofnkostnaður fyrir 6.000 tonna eldisstöð á meginlandi Evrópu með seiðaframleiðslu er 37 milljón EUR. Stofnkostnaður er ekki sundurliðaður en eldisbúnaði lýst. Framleiðslukostnaður per kíló (HOG) var metinn 4,39 EUR miðað við 6.000 tonna framleiðslu og 4,77 EUR fyrir 2.000 tonna eldi. Framleiðslukostnaður gerði ráð fyrir kaupum á hrognum, fóðri, súrefni, rafmagni, efnum, bólusetningu, tryggingum, launum, viðhaldi, kostnaði vegna frárennslis, fjármagnskostnaði, afskriftum, vinnslu afurða og flutningum innan meginlands Evrópu. Fjármagnskostnaður miðaðist við afborganir af 38 milljóna EUR láni á 5% vöxtum til 10 ára. Ekki ljóst hvort gert sé ráð fyrir landakaupum.

Bjørndal og Tusvik (2019): Áætlaður stofnkostnaður fyrir 6.000 tonna eldisstöð í Noregi með seiðaframleiðslu en ekki fiskvinnslu er 607 millj. NOK (ein eldiseining) og 737 millj. NOK (fimm eldiseiningar). Framleiðslukostnaður í greininni miðaðist við heilan fisk (WFE) en er hér umbreytt í slægðan fisk (HOG) með stuðlinum 1,125. Stofnkostnaður miðaðist við landakaup (27 millj. NOK), eldisstöð og tæki. Framleiðslukostnaður gerði ráð fyrir launakostnaði (27-28 starfsmanna; 702.770 NOK meðallaun á ári), kaupum á hrognum, fóðri, bólusetningum, rafmagni, súrefni, meðhöndlun úrgangs, tryggingum, efnum, lyfjum og þjónustu dýralækna, viðhaldi, afskriftum og fjármagnskostnaði. Gert var ráð fyrir að lán væru tekin fyrir stofnkostnaði og rekstrarkostnaði á 4% vöxtum.

5. Umræður

Markmiðið með þessari samantekt var að veita nokkra innsýn í landeldi á laxi. Slíkt eldi fer helst fram í endurnýtingarkerfum sem geta verið af ýmsum gerðum og með mismikilli endurnýtingu vatns. Nokkur umræða hefur verið á Íslandi og víðar um það hvort landeldi á laxi geti komið í stað sjókvíaeldis sem getur eins og fyrr greinir haft neikvæð umhverfisáhrif af ýmsum toga. Sumir telja að svo geti orðið meðan aðrir telja það óraunhæft. Meðal annars í ljósi þeirrar umræðu hefur verið þörf á samantekt svipaðri þessari.

Margir fletir eru á málefnum og því var valin sú leið að fjalla fyrst í þessari skýrslu um endurnýtingartækni með almennum hætti og rekja síðan sögu tveggja fyrirtækja í landeldi (eða þriggja, eftir því hvernig er talið). Með þeim hætti var vonast til að geta snert á mörgum flötum með raunverulegum dæmum og greina frá mikilvægum atriðum sem mögulega gætu síðar komið upp á Íslandi ef þau hafa ekki komið upp nú þegar. Fyrirtækin tvö voru þau fyrstu til að hefja markaðsframleiðslu á laxi á landi í endurnýtingarkerfum. Af þeim sökum hafa fjölmiðlar fylgst grannt með þeim undanfarin ár og fjallað mikið um þau en ekki með sama heildstæða hættinum og skýrslan gerir mögulegt. Loks var greint frá nokkrum erlendum kostnaðaráætlunum fyrir byggingu og rekstur landeldisstöðva og samanburði við kostnað í sjókvíaeldi.

Hér á eftir verða ákveðnir þættir úr umfjölluninni dregnir fram og eftir atvikum settir í samhengi við umræðuna eða stöðuna á Íslandi sem og erlendis.

Staðarval skiptir miklu

Landeldi á laxi er jafnan haldið á lofti sem umhverfisvænni framleiðsluaðferð en sjókvíaeldi. Það getur eða á að geta m.a. leyst vandamál sem tengjast laxalús, erfðablöndun, mögnun sjúkdóma (allt þættir sem geta haft skaðleg áhrif á stofna laxa og laxfiska) og losun næringarefna út í umhverfið. Því kann að hljóma þversagnarkennt að í upphafi var barist gegn bæði Danish Salmon og Langsand Laks á grunni náttúruverndarsjónarmiða. Í tilviki Danish Salmon var það vegna þess að upphaflega stóð til að reisa verksmiðju á náttúruverndarsvæði og í tilviki Langsand Laks var það nálægð við náttúruverndarsvæði og viðkvæman laxastofn sem talið var að lyktarhormón úr eldisstöð gætu truflað.

Í báðum tilvikum virðist staðarvalið að miklu leyti hafa ráðist af væntingum um aðgengi að hentugu vatni, nánar tiltekið að hreinum jarðsjó á eyinni Læsø og ísöltu vatni úr Ringkøbing-firði. Líkt og fram kom í umfjölluninni fóru þessi áform út um þúfur eða höfðu slæmar afleiðingar en af ólíkum ástæðum. Danish Salmon valdi á endanum annan stað, sem að sumu leyti var mögulega heppilegri, en Langsand Laks varð fyrir fjárhagslegu tjóni sem rekja má til

staðarvalsins. Þar var einkum um að ræða að kýlaveiki barst inn í eldisstöðina og að breyta þurfti hönnun hennar vegna þess.

Atriðin að ofan voru ekki þau einu sem tengdust staðsetningu hjá fyrirtækjunum tveimur. Í tilfalli Langsand Laks brugðust áætlanir um að nýta gamla eldisstöð undir hluta starfseminnar og Danish Salmon lenti í svo miklum vandræðum í Hirtshals, sem kom í stað Læsø, að um tíma var útlit fyrir að fyrirtækið yrði gjaldþrota. Áætlanir um hreinsun úrgangs brugðust vegna leirlags í jarðvegi sem kom í veg fyrir síun affallsvatns og til að bæta gráu ofan á svart myndaðist illa lyktandi lón fyrir utan eldisstöðina. Fyrirtækið fékk því nærliggjandi íbúa upp á móti sér. Rétt er að undirstrika að í frumkvöðlastarfi sem þessu hlýtur eitthvað út af bregða og ekki er hægt að sjá við öllu. Dæmin eru hins vegar til að læra af þeim.

Val á hentugum stað fyrir landeldisstöð getur verið flókið, krefst mikils undirbúnings og er tímafrekt ferli, t.a.m. tók nokkur ár tók að finna hentugan stað fyrir eldisstöð Atlantic Sapphire og sex ár tók að finna stað fyrir væntanlegt 20.000 tonna laxeldi í Maine ríki (iLaks.no 2018b). Almennt má segja að mikilvægt sé að líta til umhverfisaðstæðna (t.d. getur eldisstöð valdið umhverfistjóni eða getur umhverfið valdið tjóni á eldisstöð), aðgengi að auðlindum, möguleika á úrganglosun, fjarlægð frá mörkuðum (meira fjallað um það síðar) eða aðgengi að þeim. Eins hvort lækka megi stofnkostnað með nýtingu hvers kyns innviða og mögulega eldri bygginga.

Af þeim verkefnum sem eru hafin eða fyrirhuguð og greint hefur verið frá í fjölmiðlum, er ekki óalgennt að sjá merki þess að lækka stofnkostnað með ýmsum hætti. Hér má t.d. nefna að 30.000 tonna laxeldisstöð í Maine í Bandaríkjunum hyggst nýta gamla humarverksmiðju undir hluta starfseminnar (iLaks.no 2020b) og 40.000 tonna eldisstöð í Noregi er fyrirhuguð í gamalli grjótnámu (iLaks.no 2020c). Í síðarnefnda dæminu gæti sparnaðurinn falist í minni jarðvegsvinnu en sá kostnaður getur verið hár á klettaströndum Noregs (Nettavisen 2018). Þessu tengt má nefna að árið 2017 lét sveitarfélagið Hurum í Noregi framkvæma mat á fýsileika landeldis í sveitarfélaginu, m.a. með SVÓT-greiningu. Af þeim kostum sem skoðaðir voru kom sá best út sem var líkt og hinir staðsettur á skipulögðu iðnaðarsvæði en hafði að auki framtíðarmöguleika á nýtingu á heitu affallsvatni úr lífdísilverksmiðju sem fyrirhuguð var þar við hlið (Multiconsult 2017). Heitt affallsvatn sparar orku í fiskeldi og er aðferðin nýtt m.a. í Noregi og á Íslandi. Stolt SeaFarm á Reykjanesi nýtir heitt affallsvatn úr Reykjanesvirkjun við eldi á Senegalflúru. Matorka, einnig á Reykjanesi, nýtir heitt affallsvatn úr orkuveri í Svartsengi við eldi laxfiska ásamt því að nýta eldri eldisstöð undir hluta starfseminnar.

Líkt og fram kom í fyrri kafla er staðsetning Atlantic Sapphire í Flórída að mörgu leyti einstök vegna jarðfræðilegra eiginleika svæðisins. Þar virðist fyrirtækið hafa aðgang að miklu magni af jarðsjó með hentugt hitastig og auðvelda og ódýra leið til að losna við affallsvatn og úrgang.

Fyrirtækið hefur væntanlega einokunarstöðu á þessum stað vegna einkaleyfis sem það fékk á eldisaðferðinni. Hugmyndin um niðurdælingu affallsvatns og úrgangsefna í eldi er hins vegar ekki ný og var t.a.m. viðruð af norski sendinefnd sem kom hingað til lands á níunda áratug síðustu aldar í tengslum við mögulegt landeldi. Þá var hugmyndin að affallsvatni yrði dælt niður í kviku eða í svokölluð „neðanjarðareldfjöll“ þar sem úrgangsefnin brynnu upp (Þórir Dan 1986).

Hin hliðin á jarðhitaauðlindinni (raforka/heitt affallsvatns) getur verið hættan af eldgosum. Talið er að eldgosatímabil gæti mögulega verið hafið á Reykjanesi og orkuverið í Svartsengi jafnvel í hættu. Vegna þessa telur sérstakt viðbragðsteymi ráðuneytisstjóra „*mikilvægt að greina orkuþörf á Suðurnesjum, bæði heitavatns og rafmagns, og undirbúa áreiðanlegar varaleiðir*“ (ruv.is 2022). Hvort og hvernig eldsumbrot á Reykjanesi í nútíð og framtíð hafi áhrif á landeldið sem þar er staðsett eða fyrirhugað er erfitt að segja til um en væntanlega verður sú áhætta metin á næstu misserum. Annars eru aðstæður til landeldis einstakar á Reykjaneskaga (Reykjanes/Ölfus) vegna jarðsjávar sem þar má finna.

Jarðsjór og fjárfestingar asískra stórfyrirtækja

Einn af kostum þess að nota jarðsjó í eldi er sá að hann getur verið laus við alla sjúkdómsvalda. Notkun jarðsjávar gefur því möguleika á að sleppa dýrum hreinsibúnaði og bólusetningum sem geta valdið álagi á fiska og eru kostnaðarsamar. Af ýmsum ástæðum er salt- eða ísalt vatn hentugra en ferskvatn í laxeldi á landi. Mögulegt er að nota ferskvatn í slíkt eldi en þá hefur í sumum tilfellum verið farin sú leið að bæta salti í vatnið eða aðlaga eldisstofna með kynbótum. Hvort tveggja getur verið kostnaðarsamt. Enn fremur er ferskvatn víðast takmörkuð auðlind og verður það enn frekar í framtíðinni. Svo virðist sem jarðsjór sé einnig takmörkuð auðlind en í heimildaleit höfundar fundust aðeins tvö dæmi erlendis um notkun eða mögulega notkun þess í laxeldi, þ.e. í Flórída og á eyinni Læsø.

Á Íslandi er notkun jarðsjávar í laxeldi og eldi annarra tegunda vel þekkt. Hér er um að ræða eldi á Reykjaneskaga og í Öxarfirði. Í Noregi, þar sem mörg landeldisverkefni eru hafin eða á teikniborðinu virðist eingöngu um dælingu á sjó að ræða enda jarðlög þar ekki gljúp og hafa því ekki jarðsjó að geyma.

Noregur hefur ekki sömu einstöku skilyrðin fyrir laxeldi á landi og það hefur fyrir sjókvíaelði, sem helgast af skjólríkum fjörðum og hentugu hitastigi sjávar. Þrátt fyrir það er mikill áhugi á landeldi þar í landi vegna umhverfis- og markaðsaðstæðna. Önnur atriði sem styðja við þessa þróun í Noregi eru sú mikla þekking á laxeldi sem er þar í landi, nálægð við framleiðendur eldisbúnaðar í fremstu röð og traustir innviðir (Solhelm og Trovatn 2019).

Fjárfestar í norsku verkefnum eru ekki aðeins innlendir. Til að mynda hefur suður-kóreska fyrirtækið Dongwon Industries (sjötta stærsta sjávarútvegsfyrirtæki heims; SalmonBusiness 2019e) fjárfest í fyrirtækinu Salmon Evolution en það hefur hafið byggingu og stefnir á 70.000 tonna landeldi (iLaks.no 2020d; SalmonBusiness 2020c). Fjárfesting Dongwon Industries í hinu norska fyrirtæki er liður í áætlunum þess að hefja landeldi á laxi í Suður-Kóreu en skömmu eftir að tilkynnt var um fjárfestinguna var greint frá áformum þess um að byggja þar 20.000 tonna landeldisstöð (9. mynd) (Korea IT Times 2020).



9. mynd. Myndin til vinstri sýnir jarðvegsvinnu vegna byggingar landeldisstöðvar Salmon Evolution í Noregi þar sem stefnt er á 70.000 tonna framleiðslu á eldislaxi á ári. Myndin til hægri sýnir eldislax í neytendaumbúðum kóreska fyrirtækisins Dongwon. Fyrirtækið flytur inn mikið magn af eldislaxi með flugfrakt frá Noregi. Nú hefur Dongwon fjárfest í Salmon Evolution og hyggst sjálft reisa stóra landeldisstöð í Kóreu sem ætti að minnka þörfina á flugfrakt. Myndir teknar af heimasíðum www.salmonevolution.no og www.dongwon.com.

Hér er því annað dæmi um asískt stórfyrirtæki í sjávarútvegi sem fjárfest hefur í evrópsku landeldisfyrirtæki með það fyrir augum að fá aðgang að tækniþekkingu og reynslu svo hefja megi laxeldi nær mörkuðum í Asíu og jafnvel víðar. Hitt dæmið var fjárfesting stórfyrirtækjanna Nissui og Marubeni í Danish Salmon, líkt og farið var yfir í umfjöllun um það fyrirtæki.

Kolefnisspor laxeldis

Að mati sumra fræðimanna er talið líklegt að ef reynslan af landeldi á laxi í Noregi verði góð muni framleiðslan síðar færast nær mörkuðum og því gæti verið um ákveðið millibilsástand að ræða (Solhelm og Trovatn 2019). Það er í ágætu samræmi við þróunina í Danmörku varðandi Langsand Laks og Atlantic Sapphire. Almennt viðhorf virðist vera að landeldisstöðvar verði í

framtíðinni frekar reistar nálægt mörkuðum, m.a. til að selja ferskari vöru og lækka flutningskostnað (t.d. Solhelm og Trovatn 2019). Það getur aftur haft veruleg jákvæð umhverfisáhrif vegna minni losunar gróðurhúsalofttegunda og hugsanlega minni matarsóunar. Fiskurinn skemmist þá seinna en ella þegar hann er kominn á markað og er síður hent.

Í umræðu um umhverfisáhrif sjókvíaeldis er lágt kolefnisspor framleiðslunnar þáttur sem oft er haldið á lofti, enda getur það verið lægra en í kjötframleiðslu per framleitt kíló og jafnvel margfalt lægra (MOWI 2021). Bent hefur verið á að landeldi losi meira af gróðurhúsalofttegundum og sé því verri framleiðsluaðferð út frá loftslagssjónarmiðum. Af þeim sökum hefur uppbygging landeldisstöðva í Noregi, öðrum löndum Evrópu og í Kanada verið gagnrýnd (SalmonBusiness 2020d). Hér má benda á nokkur atriði.

Helsta losun koldíoxíðs (CO₂) úr framleiðslu í landeldi tengist fóðurframleiðslu og flutningum á fóðri en jafnan má ætla að sá þáttur sé eins eða mjög svipaður og í sjókvíaeldi per framleitt kíló. Næstmesta losunin í landeldi er vegna raforkunotkunar, ef raforkan er framleidd með jarðefnaeldsneyti að hluta eða öllu leyti. Ef raforkan sem þarf til landeldis er framleidd með endurnýjanlegum orkugjöfum minnkar kolefnissporið hins vegar og getur orðið svipað því sem sést í sjókvíaeldinu. Í greiningu Liu o.fl. (2016) var losun koldíoxíðs per framleitt kíló (heill lax; e. live weight) metið 3,39 kg CO₂/kg í landeldi ef notast var við endurnýjanlega orkugjafa og 3,73 kg CO₂/kg í sjókvíaeldi. Losun úr landeldi hækkaði í 7,01 kg CO₂/kg ef notast var við raforku úr hefðbundinni orkuframleiðslu í Bandaríkjunum sem á uppruna sinn að mestu úr jarðefnaeldsneyti.

Í annarri greiningu, frá SINTEF-rannsóknastofnuninni í Noregi, var losun frá framleiðslu í landeldi metin 4-6 kg CO₂/kg (heill lax) miðað við ákveðnar reynslutölur úr seiðaeldi og álitni sérfræðinga (Hilmarsen o.fl. 2018). Í sömu greiningu var losunin borin saman við losun frá sjókvíaeldi sem í ákveðinni sviðsmynd var með 28% minni losun; landeldi með 5,1 kg CO₂/kg og sjókvíaeldi með 4,0 kg CO₂/kg. Bent var á að meðaltalstölurnar fyrir fóðurnýtingu í sjókvíaeldi voru frá 2012 en þær höfðu hækkað eilítið 2016 sem aftur þýðir að rauntölurnar eru eitthvað hærri. Jafnframt var undirstrikað að mikill breytileiki væri í fóðurnýtingu í norsku sjókvíaeldi þannig að losunartölur gátu numið 5,3 kg CO₂/kg við verstu nýtingu og minna en 4,0 kg CO₂/kg við bestu nýtingu (Hilmarsen o.fl. 2018). Mun hærri losunartölur hafa verið nefndar fyrir landeldi en þær sem finna má hér að ofan (Fishfarmingexpert 2020b). Til að átta sig á þeim þarf að líta til þeirra forsenda sem eru gefnar, t.d. varðandi fóðurnýtingu, uppruna raforku og flutninga. Sérfræðingar SINTEF hafa einnig bent á að samanburður losunartalna geti verið erfiður þar sem forsendur séu ekki alltaf þær sömu, þær séu ekki kynntar eða reikningar byggja á veikum grunni (Hilmarsen o.fl. 2018). Þar að auki sé mikilvægum þætti – flutningum

vörunnar á markað – yfirleitt sleppt, t.d. í Noregi þar sem sjötti hluti framleiðslunnar í laxeldi er fluttur með flugi á markað í Bandaríkjunum og Asíu (Alsos 2018).

SINTEF hefur í nýrri skýrslu uppfært tölur fyrir losun frá norsku sjókvíaeldi á laxi og er þar m.a. tekið mið af losun vegna flutninga, umbreytingu lands vegna sojabaunaframleiðslu til fóðurs, vinnslu afskurðar og hliðarafurða á markaði en það var ekki gert í fyrri greiningu (Winther o.fl. 2020). Önnur nýlunda er að notast er við evrópsk viðmið um uppruna raforku. Noregur selur, líkt og Ísland (Fríður Birna Stefánsdóttir 2019), stærstan hluta upprunavottorða af endurnýjanlegri orku. Í einföldustu sviðsmyndinni nam kolefnisfótspor blóðgaðs lax úr sjókvíaeldi 5,8 kg CO₂/kg (3,3-6,8 kg CO₂/kg). Þegar gert var ráð fyrir flutningum á sjó og landi og mismikilli nýtingu afurða nam losunin 7-9 kg CO₂ fyrir hvert kíló af ætum laxi en 20 kg CO₂/kg þegar laxinn var fluttur með flugi til Shanghai í Kína (Winther o.fl. 2020).

Af þessum tölum sést hversu stór þáttur flug getur verið fyrir heildarlosun. Lagt hefur verið til að flugfrakt sjávarfangs verði hætt, t.d. í skýrslu leiðtogaráðs fyrir sjálfbæra hagnýtingu hafsins (e. High Level Panel for a Sustainable Ocean Economy) sem stýrt var af þáverandi forsætisráðherra Noregs (Hoegh-Guldberg o.fl. 2019). Vonir eru bundnar við sjóflutninga og bætta kælitækni sem gætu lækkað kolefnisfótspor flutninga ferskra sjávarafurða til muna (Ásgeir Jónsson o.fl. 2016; ViðskiptaMogginn 2019). Þess má geta að norska fyrirtækið MOWI, heimsins stærsti framleiðandi á eldislaxi, hefur breytt framsetningu losunartalna og tilgreinir nú töluna 7,9 kg CO₂/kg fyrir þann hluta lax sem fer til manneldis í stað 2,9 kg CO₂/kg (MOWI 2019; 2021).

Ljóst er að uppfæra þarf losunartölur fyrir framleiðslu í landeldi og byggja þær á rauntölum og ólíkum sviðsmyndum, svo bera meg saman kolefnisspor mismunandi framleiðsluáferða.

Kostnaður

Framleiðsla nálægt mörkuðum dregur ekki einungis úr kolefnisspori vörunnar heldur minnkar flutningskostnað sem í sumum tilfellum getur verið hátt hlutfall af endanlegu verði vörunnar. Fjárhæðir líkt og 8-15 NOK/kg fyrir flutning á ferskum laxi með flugi frá Noregi til Bandaríkjanna hafa verið nefndar og gefa ákveðna vísbendingu, sem og 30 NOK/kg (3 USD) frá Noregi til markaða í Asíu og 10 NOK/kg (1 EUR) frá Íslandi til Evrópu (iLaks.no 2015c; Norsk Fiskerinæring 2019a; Sysla 2015; Unnar Jónsson 2016).

Lægri flutningskostnaður getur vegið upp á móti hlutfallslega háum stofnkostnaði landeldisstöðva og mögulega hærra framleiðslukostnaði að jafnaði nú um stundir; sjá fyrri kafla um efnahagslegar forsendur landeldis á laxi. Í umræddri umfjöllun voru nokkrar greiningar kynntar. Þær eru misgamlar og forsendur ekki alltaf þær sömu eða liggja ekki fyrir. Samkvæmt

nýjstu greiningunni, sem er frá 2019 en styðst að miklu leyti við tölur frá 2017, getur 6.000 tonna landeldisstöð í Noregi kostað um 8-10 milljarða ISK (Bjørndal og Tusvik 2019). Sú upphæð er allt að fimm milljörðum hærri en í eldri greiningum. Greiningarnar eiga það sammerkt að fjalla um landeldisstöðvar sem eru 6.000 tonn eða minni. Mörg þau verkefni sem ratað hafa í fjölmiðla á síðustu misserum eru margfalt stærra en það svo búast má við stærðarhagkvæmni, auk þess sem vænta má þróunar í búnaði sem aftur gæti endurspeglast í verði og/eða gæðum.

Ef litið er til fréttu um hin ýmsu verkefni sem eru á teikniborðum hér og þar sést að kostnaður er oft áætlaður hærri en fram kom í greiningu Bjørndal og Tusvik og munar allt að 5-6 milljörðum ISK miðað við sömu framleiðslugetu. Til hægðarauka hafa nokkur þeirra verkefna sem eru í bígerð verið tekin hér saman í eina töflu (Tafla 3). Taka ber fram að upplýsingar skortir til að hægt sé skýra hinn mikla mun á kostnaði þeirra en í töflunni sést að Atlantic Sapphire sker sig nokkuð frá öðrum verkefnum og er næst áætlun Bjørndal og Tusvik. Ekki er óhugsandi að lægri kostnaður Atlantic Sapphire en annarra verkefna tengist að einhverju leyti því fyrirkomulagi að dæla affallsvatni niður í jörð og þá mögulega ekki eins vel hreinsuðu og í hinum verkefnum. Með þeim hætti væri hægt að lækka kostnað sem fælist í dýrum hreinsunarbúnaði. Þetta eru þó getgátur. Í það minnsta er næst ódýrasta verkefnið í töflunni (m.v. framleiðslumagn) landeldi sem byggir á gegnumstreymi og krefst því ekki eins flókins og dýrs hreinsunarbúnaðar. Munur á kostnaðartölum getur líka mögulega orsakast af ólíkum forsendum útreikninga, t.d. hvort rekstrarkostnaður (uppbygging lífmassa) sé tekinn með eða ekki. Svo var ekki í tölum Bjørndal og Tusvik sem nefndar voru að ofan. Í þeim tölum var heldur ekki gert ráð fyrir uppbyggingu aðstöðu til slátrunar og pökkunar en vera má að slíkt sé gert einhverjum tilvikum. Jafnframt getur ýmis kostnaður verið breytilegur milli landa.

Sömu fyrirvara þarf að hafa í huga þegar stofnkostnaður landeldis og sjókvíaeldis er borinn saman. Í greiningu Deloitte, sem sagt var frá í skýrslunni, gæti virst tiltölulega lítill munur á stofnkostnaði í landeldi og sjókvíaeldi. Tölurnar áttu hins vegar við norskar aðstæður þar sem leyfi til laxeldis í hefðbundnum sjókvíum kosta háar fjárhæðir ef í boði eru og gert var ráð fyrir kaupum á þeim í dæminu. Ef leyfin eru undanskilin og bara gert ráð fyrir þeim byggingum, tækjum og búnaði sem til þarf er stofnkostnaður í landeldi um þrisvar sinnum hærri en í sjókvíaeldi skv. mati Deloitte frá 2015. Ekki var gerður sérstakur samanburður á stofnkostnað mismunandi eldisaðferða í rannsókn Bjørndal og Tusvik (2019). Hins vegar var minnst á eldri rannsóknir sem áætluðu að stofnkostnaður í landeldi væri um tvisvar til fjórum sinnum hærri en í sjókvíaeldi.

Tafla 3. Yfirlit yfir stærð og kostnað nokkurra landeldisverkefna (endurnýtingarkerfi) fyrir lax eins og þau birtast í fjölmiðlum. Kostnaður er gefinn upp í mynt heimildar fyrir heildarstærð verkefnis en í íslenskum krónum þegar kostnaður er reiknaður fyrir 6.000 tonna framleiðslugetu.

Fyrirtæki /verkefni	Land	Framleiðsla (tonn)	Kostnaður	Kostnaður m.v. 6.000 t. (ISK)	Heimild
Atlantic Sapphire	Bandaríkin	10.000 (gömul áætlun)	100 milljónir USD	8 milljarðar	SeafoodSource (2017).
Atlantic Sapphire	Bandaríkin	90.000 (gömul áætlun)	750 milljónir USD	7 milljarðar	Finansavisen (2018).
Nordic Aquafarms	Bandaríkin	33.000	500 milljónir USD	12 milljarðar	iLaks.no (2020e).
Pure Salmon	Frakkland	10.000	175 milljónir EUR	15 milljarðar	Fish Farmer (2020).
Sande Aqua	Noregur	33.000	460-550 milljónir EUR	12-14 milljarðar	SalmonBusiness (2020e).
Salmon Evolution*	Noregur	30.000 (gömul áætlun, stefna nú á 70.000)	3 milljarðar NOK	10 milljarðar	rbnett.no (2018), SalmonBusiness (2020c).
Quality Salmon	Svíþjóð	100.000	17-20 milljarðar SEK	14-16 milljarðar	iLaks.no (2020f), iLaks.no (2020g)
Nordic Nigbo	Aqua Kína	4.000	533 milljónir NOK	11 milljarðar	iLaks.no (2020h).
Vikings Label	UAE	5.000	90 milljónir USD	15 milljarðar	SalmonBusiness (2019f).
Pure Salmon/Soul of Japan	Japan	10.000	162 milljónir USD	13 milljarðar	SalmonBusiness (2018b).

*gegnumstreymiskerfi

Í kaflanum um efnahagslegar forsendur kom fram að mikill munur er á áætluðum framleiðslukostnaði í landeldi en hann var á bilinu 21-52 NOK per kg. Mat Bennich (2015) upp á 21 NOK/kg er ekki í samræmi við aðrar greiningar eða áætlanir forsvarsmanna landeldisfyrirtækja eins og þær birtast í fjölmiðlum. Greiningar Warrer-Hansen (2015ab) og Bjørndal og Tusvik (2019) fyrir írskar og norskar aðstæður voru svipaðar en miðað við bestu skilyrði og ýmsar sviðsmyndir var kostnaðurinn á bilinu 44,7-51,9 NOK/kg á slægðum laxi en gat orðið talsvert hærra við síðri skilyrði. Við bestu skilyrði er m.a. átt við að eldið gangi vandræðalaust fyrir sig. Eins má geta þess að í Bjørndal og Tusvik (2019) var raforkukostnaður metinn um 5 NOK/kg en dæmi er um kostnað undir 2 NOK/kg í Noregi vegna hagstæðs raforkusamnings (Aftenposten 2018). Í því dæmi var raforkukostnaðurinn sagður 5% af framleiðslukostnaði og hann því lægri en 40 NOK/kg.

Atlantic Sapphire áætla að kostnaðurinn verði um 35-40 NOK per kg af slægðum laxi miðað við 20-30 þúsund tonna framleiðslu (Norsk Fiskerinæring 2019a). Salmon Evolution stefnir á

að framleiða lax fyrir 36 NOK/kg í gegnumstreymiskerfi (iLaks.no 2020i). Samherji Fiskeldi ehf., sem framleiðir um 1.600 tonn af laxi á ári í gegnumstreymiskerfi á landi í Öxarfirði, er með framleiðslukostnað upp á 35 NOK/kg að meðaltali (Norsk Fiskerinæring 2019b; Jón Kjartan Jónsson 2021). Fyrirtækið Aquamaof gerir ráð fyrir að framleiðslukostnaðurinn gæti orðið um 30 NOK (3 USD) per kg í framleiðslu á stórum skala en tilraunir fyrirtækisins með endurnýtingarkerfi gefa nú sambærilegar niðurstöður og í sjókvíaeldi (Undercurrent News 2020a).

Framtíðin mun leiða í ljós hver framleiðslukostnaður í landeldi verður og hvort hann verður almennt lægri en í sjókvíaeldi en a.m.k. í Noregi mun baráttan við laxalús í sjókvíaeldi hafa mikið um það að segja. Takist að leysa það vandamál mun framleiðslukostnaður í sjókvíaeldi lækka umtalsvert, í öllu falli þar í landi. Framleiðslukostnaður í norsku sjókvíaeldi hefur að meðaltali verið á bilinu 37,6 til 44,6 NOK/kg af slægðum laxi á árunum 2016 til 2020 (www.fiskeridir.no). Í sjókvíaeldi á Íslandi hefur hann verið metinn 53,9 til 86,5 NOK (5,3-8,5 EUR) per kg af slægðum laxi á sama tímabili (Vormedal 2021). Ólíkt Noregi var framleiðslukostnaður í sjókvíaeldi lægstur á Íslandi árið 2020 en búast má við að hann geti lækkað enn frekar í framtíðinni þar sem greinin er enn ung hér á landi (Vormedal 2021). Erfitt er að bera saman ofangreindar tölur um framleiðslukostnað eða væntan kostnað milli framleiðsluaðferða vegna skorts á upplýsingum. Til að mynda er óljóst í tölum landeldis hvort um sé að ræða slægðan eða óslægðan fisk og hvort gert sé ráð fyrir kostnaði vegna slátrunar, þökkunar og flutninga á markað. Hins vegar má benda á að framleiðslukostnaðurinn sem Samherji Fiskeldi gefur upp árið 2019 (35 NOK/kg) er svipaður og meðalframleiðslukostnaður óslægðs lax úr sjókvíaeldi í Noregi árið 2019 (34,5 NOK/kg) án fyrrnefndra kostnaðarliða (www.fiskeridir.no).

Lán til verkefna

Væntingar um þróun framleiðslukostnaðar í landeldi hafa breyst nokkuð á umliðnum árum. Kostnaður er nú almennt talinn lægri en áður. Hins vegar er reynsla af landeldi á laxi takmörkuð, a.m.k. á stórum skala, og því eru lánastofnanir tregar til að veita slíkum verkefnum lán. Þó má sjá örla á stefnubreytingu á síðustu árum sem endurspeglar nokkuð þær væntingar sem margir hafa til greinarinnar.

Í þessu samhengi hefur möguleg stefnubreyting norska bankans DNB vakið athygli, en DNB er stærsti banki Noregs og einn sá stærsti í heimi á sviði sjávarútvegs eins og áður hefur verið nefnt. Árið 2015 hafði hann ekki veitt eitt einasta lán vegna landeldis en forsvarsmaður þeirra á sviði sjávarútvegs útilokaði þó ekki lánveitingar til verkefna sem hefðu sannað sig og væru nálægt mörkuðum, líkt og í Asíu, til að komast hjá flutningskostnaði (iLaks.no 2015c; iLaks.no

2019b). Árið 2017 var fyrsta lánið veitt til landeldisverkefnis, upp á 60 milljónir USD, og fór það til Atlantic Sapphire í Flórída. Á árunum 2018 og 2019 voru engin lán veitt til nýrra verkefna (iLaks.no 2018c; iLaks.no 2019c) og bankinn ítrekaði að landeldi á laxi væri skynsamlegast nálægt mörkuðum, þ.e. mörkuðum sem sjókvíaeldi hefði fram til þessa sinnt með flugfrakt (iLaks.no 2019b). Árið 2020 var hins vegar tilkynnt að bankinn myndi líklega veita landeldisverkefni í Noregi lán (iLaks.no 2020j).

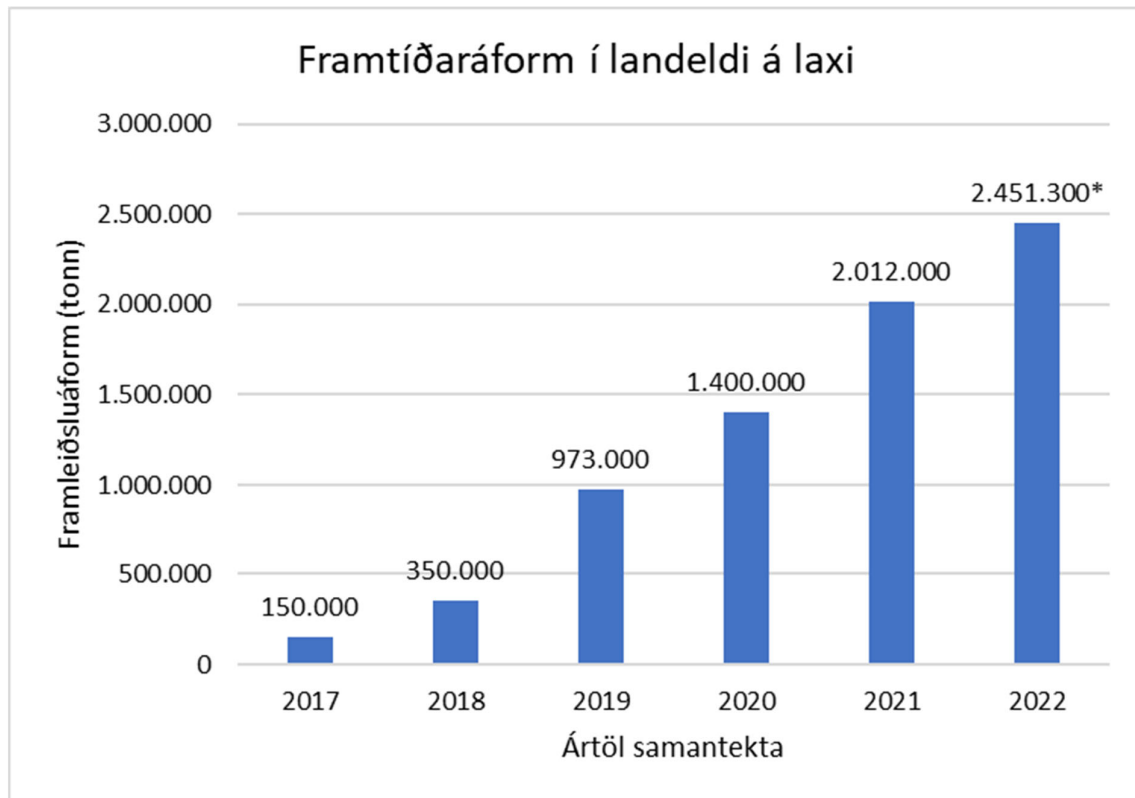
Ef litið er til málflutnings forsvarsmanna DNB síðustu ár er skýrt að bankinn telur landeldi á laxi almennt áhættusama fjárfestingu og að slík starfsemi ætti helst að vera nálægt mörkuðum vegna títtnefnds flutningskostnaðar. Þegar bankinn metur verkefni er horft til margra þátta þar sem mikilvægast er að kostnaður við framleiðslu standist samanburð við sjókvíaeldi til lengri tíma (iLaks.no 2019b). Af þeim sökum vakti tilkynningin árið 2020 athygli. Möguleg stefnubreyting þarf þó ekki að koma á óvart en frá árinu 2019 hafa talsmenn bankans minnst á kosti gegnumstreymiskerfa í landeldi fyrir norskar aðstæður, þ.e. vegna nálægðar við hreinan sjó (iLaks.no 2019b; Undercurrent News 2020b).

Þessi orðræða ein og sér felur í sér ákveðna stefnubreytingu, en til þessa hafa hentug umhverfisskilyrði í Noregi til sjókvíaeldis verið nýtt sem rök gegn landeldi þar í landi.

Stóraukinn áhugi

Á nokkrum árum hefur áhugi á landeldi á laxi stóraukist. Hér er einkum um að ræða landeldi í endurnýtingarkerfum (með mismikilli endurnýtingu vatns) og að einhverju leyti í gegnumstreymiskerfum.

Áhuginn er ekki einungis í orði heldur einnig á borði sem sést best af fjölgun verkefna í byggingu og á teikniborðinu. Þar til fyrir skömmu hefur landeldi í Noregi t.a.m. almennt virst fráleit hugmynd en nú eru tugir verkefna þar á hinum ýmsu stigum og áætlanir uppi um 1.131.500 tonna framleiðslu (Undercurrent News 2020c; iLaks.no 2021b; SalmonBusiness 2021f). Á heimsvísu sýna samantektir greiningaraðilla og annarra að framtíðaráform fyrirtækja í landeldi á laxi námu 150.000 tonnum árið 2017 en sú tala hefur hækkað ár frá ári og var komin í 2.000.000 tonn árið 2021 (10. mynd). Hér er um að ræða samantektir á mögulegum framleiðslutölum þeirra fyrirtækja sem opinberað hafa sínar áætlanir. Athygli vekur að framleiðsluáformin 2021, um tvær milljónir tonna, eru álíka mikið og framleitt var af eldislaxi í sjókvíum árið 2012 sbr. 2. mynd. Í samantekt frá því fyrr á þessu ári var greint frá áformum um 2.400.000 tonna landeldi sem er svipað og nú er framleitt er af laxi í sjókvíum í heiminum öllum (Norsk Fiskerinæring 2022). Í þeirri samantekt var hins vegar ekki gerður greinarmunur á landeldi á laxi og eldi annarra laxfiska.



10. mynd. Grafið sýnir hvernig framtíðaráform um framleiðslumagn á laxi/laxfiskum í landeldi hafa breyst frá 2017 til 2022. Mynd byggir á samantektum greiningaraðila og annarra; 2017: Aukner og Hanstad (2017), 2018 og 2019: Ernst & Young (2019), 2020: iLaks.no (2020k), 2021: SalmonBusiness (2021f) og 2022: Norsk Fiskerinæring (2022). *á við um lax og laxfiska.

Enginn getur sagt til um hversu stór hluti áformanna raungerist en bent hefur verið á að mögulega þurfi aðeins tvö verkefni að ganga upp til að framkalla veldisvöxt í greininni þar sem fjármögnun annarra verkefna yrði þá hugsanlega auðveldari (Norsk Fiskerinæring 2019c; Solhelm og Trovatn 2019; Undercurrent News 2020d). Til þessa hafa framtíðarspár um framleiðslumagn úr landeldi ekki gengið eftir en í því sambandi hafa sumir greiningaraðilar vitnað til orða Bill Gates: *We overestimate the change that will occur in the next two years and underestimate what will change in the next ten* (Aukner og Hanstad 2019).

Varðandi það hvort landeldi geti komið í stað sjókvíaeldis á heimsvísu virðast flestir fræðimenn, sérfræðingar og álitsgjafar sammála um að framleiðsla úr landeldi verði viðbót við sístækkandi markað með lax. Helsti sérfræðingur DNB í sjávarútvegi telur að framleiðsla úr landeldi komi ekki til með að hafa áhrif á verðmyndun á markaði næstu 10 árin en til lengra tíma litið gæti landeldið umbylt markaðnum (Undercurrent News 2020b; DNB Nyheter 2020). Að mati forsvarsmanna Atlantic Sapphire mun landeldi ekki hafa teljandi áhrif á markaði í bráð,

einkum vegna þess hversu erfið slík framleiðsla er (IntraFish 2020b; The Fish Site 2021). Helstu atriðin sem nefnd hafa verið að aftri framgöngu landeldis er fjármögnun verkefna, samkeppni við seiðaeldisstöðvar sjókvíaeldis um eldisbúnað og skortur á starfsfólki með nauðsynlega menntun og þekkingu (Olsen 2017; Ernst & Young 2019; Solhelm og Trovatn 2019). Möguleg áhrif orkukreppunnar á meginlandi Evrópu nú um stundir eru enn sem komið er óljós.

Gangi framtíðaráætlanir um stórfellda framleiðslu á laxi á landi eftir getur það haft áhrif á markaði með lax og framleiðslu í sjókvíaeldi, a.m.k. í sumum löndum. Eins og að ofan greinir er ekki talið líklegt að framleiðsla úr landeldi hafi áhrif á markaði næstu 10 árin – sú sviðsmynd felur hins vegar í sér að mun skemmra gæti verið í vitneskju um hvert stefni. Þannig gæti árangursríkt landeldi t.a.m. leitt til minni stuðnings almennings við vaxtaráform í skosku sjókvíaeldi áður en bein áhrif á markaði kæmu fram (Bostock o.fl. 2018). Í Noregi gæti svipað gerst en minni samfélagsstuðningur við sjókvíaeldi gæti t.d. leitt til aukinna krafna í tengslum við dýravelferð og umhverfismál og þannig hækkað framleiðslukostnað þess (Solhelm og Trovatn 2019).

Til lengra tíma litið gæti framleiðsla úr landeldi haft áhrif á markaðssvæði eldislax frá Noregi, þ.e. ef landeldi myndi að miklu leyti sinna mörkuðum í Norður-Ameríku og Asíu. Framleiðsla úr norsku sjókvíaeldi myndi eftir sem áður aðallega fara á markað í Evrópu, sem er stærsti markaður með lax í heimi. Evrópa er einnig mikilvægasti markaðurinn fyrir lax úr íslensku sjókvíaeldi. Gangi framtíðaráætlanir í landeldi á heimsvísu eftir gæti samkeppni eldislax úr sjókvíum á Evrópumarkaði harðnað, sér í lagi ef Noregur yki framleiðslu í sjókvíaeldi líkt og stefnt er að. Enn fremur ef væntingar Norðmanna til úthafseldis og landeldis ganga eftir. Mun eftirspurn halda í við mögulega aukið framboð eða mun verð á laxi lækka? Tíminn mun leiða það í ljós en lagt hefur verið til að samkeppnishæfni sjókvíaeldis í Noregi verði rannsökuð með hliðsjón af þeim möguleika að landeldi verði árangursríkt (Solhelm og Trovatn 2019).

Líkt og víða annars staðar hefur áhugi á landeldi á laxi aukist á Íslandi síðustu árin. Áform eru uppi um stórar landeldisstöðvar fyrir laxeldi í Ölfusi, Vestmannaeyjum og á Reykjanesi. Í Ölfusi hefur fyrirtækið Landeldi ehf. þegar hafið framkvæmdir við 20.000 tonna eldisstöð og þrjú önnur fyrirtæki, Fiskeldi Ölfus, Kaupfélag Skagfirðinga og Geo Salmo, eru með í undirbúningi eða áforma álíka stórar eldisstöðvar (Fiskifréttir 2021; 2022). Í Vestmannaeyjum er 10.000 tonna eldi í undirbúningi á vegum félagsins Sjálfbært fiskeldi í Eyjum ehf. (Morgunblaðið 2021). Samherji Fiskeldi stefnir á byggingu landeldisstöðvar á Reykjanesi fyrir 40.000 tonna ársframleiðslu (SeafoodSource 2021b). Ef öll áformin ganga eftir er hér því um að ræða 134.000 tonna framleiðslu á eldislaxi á landi sem er meira magn en vænta má úr sjókvíaeldi á frjóum laxi hér við land á komandi árum miðað við núverandi stöðu (Stjórnarráð Íslands 2020).

Laxeldi Samherja Fiskeldis kemur til með að standa í Auðlindagarði HS Orku á Suðurnesjum en í honum eru þegar fyrirtæki líkt og Stolt Sea Farm, Matorka, ORF Líftækni, Bláa Lónið og Carbon Recycling. Samherji hefur um 20 ára reynslu af landeldi og er t.a.m. með fullveldi á laxi á Núpsmýri í Öxarfirði, líkt og nefnt hefur verið, og 1.600 tonna framleiðslu á eldislaxi á ársgrundvelli. Á þeim grunni ætlar fyrirtækið að hefja stórsókn í laxeldi á landi og má því sjá ákveðna samsvörun milli Samherja og Atlantic Sapphire sem nýtti gamla Langsand Laks sem stökkpall. Líkt og hjá Atlantic Sapphire stendur til að byggja eldisstöð Samherja í áföngum en í áætlunum er gert ráð fyrir að 40.000 tonna framleiðslutakmarkið gæti mögulega náðst árið 2032. Samherji hefur þegar náð samningum við landeigendur um lóð og HS Orku um raforku, ferskvatn og heitt affallsvatn úr Reykjanesvirkjun ásamt því að hafa aðgang að jarðsjó. Eldisstöðin verður með endurnýtingarkerfi fyrir seiðaeldið og endurnýtingu að hluta (án lífhreinsibúnaðar) fyrir áframeldið en stefnt er að hreinsun úrgangsefna og nýtingu þeirra t.d. sem áburður í ylrækt, lífgas eða annarra virðisaukandi afurða (Jón Kjartan Jónsson 2021).

Heildarkostnaður við eldisstöð Samherja fyrir 40.000 tonna ársframleiðslu er áætlaður 45,2 milljarðar króna (Jón Kjartan Jónsson 2021). Það er nánast sami kostnaður m.v. framleiðslumagn og Atlantic Sapphire gerði ráð fyrir í sínum áætlunum. Mannaflapörf slíkrar stöðvar er hátt í 1.000 manns ef tekin eru með bein og afleidd störf (Jón Kjartan Jónsson 2021). Ef öll ofangreind verkefni á Íslandi verða að veruleika má lauslega gera ráð fyrir 150 milljarða króna fjárfestingu og þúsundum starfa. Hér eru um margs konar störf að ræða sem krefjast séfræðipækkingar á ýmsum sviðum, t.d. fiskeldisfræðingar, rafvirkjar, vélfræðingar, líffræðingar, fiskverkaþólk o.fl. Búast má við samkeppni um mannafla til að sinna þessum störfum þótt ekki kæmi til ört stækkandi sjókvíaeldis.

Raforkuþörf eldisstöðvar Samherja fyrir 1. áfanga (10.000 tonn) er 33 GWh (Jón Kjartan Jónsson 2021). Orkuþörf ofangreindra verkefna gæti því nálgast 450 GWh eða í kringum 15% af raforkuþörf álversins í Straumsvík (Rio Tinto á Íslandi 2021). Þótt orkuþörf eldisfyrirtækjanna gæti virst lítil í þeim samanburði hafa heyrst gagnrýnisraddir um stöðu raforkumarkaðarins á Íslandi í tengslum við þessi áform. Þannig hefur sveitarfélagið Ölfus til skoðunar að reisa raforkuver til að geta veitt eldisfyrirtækjum og mögulega öðrum matvælafyrirtækjum ódýrari orku (Fiskifréttir 2021).

Breytt viðhorf

Á tiltölulega fáum árum hefur sýn manna á möguleika laxeldis á landi breyst. Fyrir um 10 árum var algengt viðhorf að um væri að ræða vonlausa iðju ævintýramanna. Með aukinni þekkingu og reynslu, ásamt sögulega háum framleiðslukostnaði í sjókvíaeldi, hefur það viðhorf almennt breyst. Fyrirtækin tvö sem sagt var frá fyrr í þessari skýrslu framleiða bæði lax á markaði í dag

en til þess þurfti að finna lausnir á fjölmörgum viðfangsefnum, t.d. hvað varðar skipulagsmál, umhverfismál, byggingu eldisstöðva, fjármögnun, eldistækni og rekstur eldisstöðva. Frumkvöðlastarf fyrirtækjanna á væntanlega þátt í þeim áhuga sem er á landeldi í dag. Nú eru mörg stórfyrirtæki komin inn í greinina ásamt öflugum fjárfestum og víða er til staðar pólitískur og efnahagslegur stuðningur ríkja. Samanlagt eykur þetta líkur á að a.m.k. hluti fyrirhugaðra verkefna verði að veruleika.

Á næstu árum verður áhugavert að fylgjast með þróuninni í greininni, einkum hvernig ganga muni að fjármagna verkefni, manna eldisstöðvar, framleiða á markað og þróa tæknina enn frekar. Til skemmri tíma verður áhugavert að sjá hver þróunin í áætluðu framleiðslumagni úr landeldi verður en tölurnar hafa rokið upp á skömmum tíma. Að sama skapi verður áhugavert að fylgjast með þróun í sjókvíaeldi varðandi umhverfismál, dýravelferð og framleiðslukostnað.

Ef áætlanir um framleiðslu í landeldi ganga eftir, hvernig mun markaðurinn þá bregðast við? Verður eldislaxinn auglýstur sem landeldislax (hérlandis er allur gangur á því) og reynt að aðgreina hann frá laxi úr sjókvíaeldi á grundvelli náttúruverndarsjónarmiða og seinna meir á grundvelli dýravelferðarsjónarmiða? Ef svo er mætti eins búast við samkeppni milli landeldislax frá ólíkum framleiðendum, þar sem þættir eins og hlutfall endurnýtingar vatns og losun næringarefna og gróðurhúsalofttegunda út í umhverfið gætu skipt máli.

Á Íslandi er stefnt að umfangsmiklu landeldi á laxi. Verkefni eru sum hver hafin (jafnvel framleitt á markað um árabil) meðan önnur eru mögulega enn á hugmyndastigi. Sumum gæti þótt umræðan um þessa þróun hafa farið nokkuð hljótt en mögulega er það skiljanlegt vegna heimsfaraldurs og mögulega vegna þess að matvælaframleiðslan er lítt til þess fallin að valda umhverfisskaða og því síður í kastljósinu. Árið 2017 skilaði starfshópur sjávarútvegs- og landbúnaðarráðherra tillögum um stefnumótun í fiskeldi en sú stefnumótun snéri nær eingöngu að sjókvíaeldi á laxi (Anon 2017c). Í skýrslu starfshóps kom fram að „...fiskeldi á landi þarfnast sérstakrar skoðunar þar sem áskoranir og tækifæri eru greind. Slík greining kallar á úttekt á rekstri landeldisstöðva, landnotkun, vatnsbúskap og þeim tæknilausnum sem í boði eru í slíku eldi“. Menntunarmál ætti að skoða sérstaklega en í skýrslu starfshóps var bent á að hérlandis væri takmarkað framboð af sérmenntuðum starfsmönnum (Anon 2017d) en sá þáttur, ásamt fjármögnun verkefna, er oftast nefndur standa landeldi fyrir þrifum.

Í þessari skýrslu hefur verið farið um víðan völl og reynt að draga fram ólíkar hliðar landeldis á laxi. Það er von höfundar að slík samantekt geti verið upplýsandi og mögulega nytsamleg.

Þakkarorð

Sigurður Guðjónsson var hvatamaður að verkefninu og kom að fyrstu stigum þess. Eydís Salóme Eiríksdóttir aðstoðaði með efnafræðihluta kaflans um endurnýtingarkerfi. Guðni Guðbergsson og Theódór Kristjánsson lásu yfir handrit og komu með góðar ábendingar. Verkefnið var styrkt af Umhverfissjóði sjókvíaeldis.

Heimildir

Aftenposten. (2018). Fisk på land, <http://www.aftenposteninnisikt.no/klimamilj/fisk-p-land> (sótt 08.01.2020).

Alsos, S. (2018). *Den rosa klimabløffen – Kan en bærekraftig laks fly til Kina? Framtiden i våre hender, rapport 3/2018*. 28 bls.

Anon. (2004). *Eldisbóndinn – Eldi á bleikju*. Hólaskóli og Iðntæknistofnun.

Anon. (2008). *Vurðing af Virkninger på Miljøet (VVM) for et område til recirkuleret ørredopdræt ved Sithjemsvej 1*, i Vesterø på Læsø. 45 bls.

Anon. (2011). *Miljøgodkendelse af Langsand Laks*. Ringkøping-Skern Kommune. 31 bls.

Anon. (2013). *Afgørelse i sagerne om Ringkøping-Skern Kommunes afgørelser om ikke VVM-pligt samt meddelelse af miljøgodkendelse til Langsand Laks*. Natur- og miljøklagenævnet, 9. janúar 2013.

Anon. (2015). *Kortsigtede og langsigtede muligheder for håndtering af produktionsvandedledning fra Danish Salmon A/S*. Danish Salmon, teknisk notat udarbejdet for Hjørring Kommune. 17 bls.

Anon. (2016). *VVM redegørelse for ændringer i drift, Danish Salmon*. Danish Salmon A/S. 113 bls.

Anon. (2017a). *Miljøgodkendelse. Danish Salmon A/S. Med tilhørende udledningstilladelse og indvindingstilladelse*. Hjørring Kommune. 43 bls.

Anon. (2017b). *VVM-afgørelse og tillæg til miljøgodkendelse af Langsand Laks A/S*. Ringkøbing-Skjern Kommune. 37 bls.

Anon. (2017c). *Skýrsla starfshóps sjávarútvegs- og landbúnaðarráðherra um stefnumótun í fiskeldi. I. hluti – tillögur*. Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytið. 35 bls.

Anon. (2017d). *Skýrsla starfshóps sjávarútvegs- og landbúnaðarráðherra um stefnumótun í fiskeldi. II. hluti – viðaukar*. Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytið. 24 bls.

Anon. (2019). *Tillæg til miljøgodkendelse - Danish Salmon A/S*. Hjørring Kommune. 12 bls.

AquaCircle. (2018). Atlantic Sapphire in Homestead ready for business, <https://www.aquacircle.org/modules/default.aspx?pageid=8&newsid=1100> (sótt 27.04.2020).

Aquaculture North America. (2016). Land-based salmon still not investor-ready, http://aquaculturenorthamerica.com/Finfish/land-based-salmon-still-not-investor-ready_1 (sótt 15.07.2022).

Asche, F., Hansen, H., Tveterås, R. og Tveterås, S. (2009). The salmon disease crisis in Chile. *Marine Resource Economics*, 24: 405 – 411.

Asche, F., Roll, K.H., Sandvold, H.N., Sørvig, A. og Zhang, D. (2013). Salmon aquaculture: larger companies and increased production. *Aquaculture Economics & Management*, 17:322 – 339.

Atlantic Sapphire. (2021). *Annual report 2020*. 164 bls.

Aukner, A. og Hanstad, T.B. (2017). *SEAFOOD – SPECIAL REPORT. Deep dive into land-based farming*. DNB Markets. 61 bls.

Aukner, A. og Hanstad, T.B. (2019). *SEAFOOD – SPECIAL REPORT. A deeper-dive into land-based farms*. DNB Markets. 41 bls.

Ásgeir Jónsson, Björn Margeirsson, Sigurjón Arason, Ögmundur Knútsson og Magnea G. Karlsdóttir. (2016). *Hagræn greining á ferskfiskflutningum*. Skýrsla Matís nr. 10 – 16. 36 bls.

- BBC. (2019). Is there a problem with salmon farming?, <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-48266480> (sótt 10.06.2022).
- BBC. (2021). The salmon you buy in the future may be farmed on land, <https://www.bbc.com/news/business-56829129> (sótt 11.01.2022).
- Benchmark Genetics. (2019). *Genetics and ova production of Atlantic salmon for land-based farming. Land-based Farming Brochure*. 31 bls.
- Bennich, T. (2015). *The economic sustainability of land-based aquaculture systems: An integrated analysis*. Master thesis, University of Bergen. 95 bls.
- Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Pinstруп-Andersen, P., Merino, G., Hemre, G-I. og Williams, M. (2015). Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu. *Food Security*, 7: 261 – 274.
- Björgvin Vilbergsson. (2016). *Taxonomy and cross functions of technical solutions in aquaculture: Resolving intensive aquaculture system treatment functions*. Meistararitgerð, Verkfræði- og náttúruvísindasvið Háskóla Íslands. 62 bls.
- Bjørndal, T. og Tusvik, A. (2019). Economic analysis of land based farming of salmon. *Aquaculture Economics & Management*, 23: 449 – 475.
- Bostock, J., Fletcher, D., Badiola, M. og Murray, F. (2018). *An update on the 2014 report: "Review of Recirculation Aquaculture System Technologies and their Commercial Application"*. Highlands & Islands Enterprise. 76 bls.
- Bregnballe, J. (2015). *A guide to recirculation aquaculture - An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation. 95 bls.
- CtrlAQUA. (2019). CtrlAQUA annual report 2018. CtrlAQUA - Centre for Closed-Containment Aquaculture. 51 bls.
- Dagbladet Ringkøbing-Skjern. (2010). Nyt laksedambrug bekymrer lystfiskere, <http://dagbladetringskjern.dk/ringkoebing/nyt-laksedambrug-bekymrer-lystfiskere> (sótt 10.02.2016).
- Dagbladet Ringkøbing-Skjern. (2011a). Langsand Laks bliver en realitet, <https://dbrs.dk/artikel/langsand-laks-bliver-en-realtet> (sótt 12.02.2016).
- Dagbladet Ringkøbing-Skjern. (2011b). De små laks vokser fint - men hallen er forsinket, <https://dbrs.dk/artikel/de-sm%C3%A5-laks-vokser-fint-men-hallen-er-forsinket> (sótt 18.07.2022).
- Dagbladet Ringkøbing-Skjern. (2013). Miljø-ja til Langsand Laks trods protester, <https://dbrs.dk/artikel/milj%C3%B8-ja-til-langsand-laks-trods-protester> (sótt 10.02.2016).
- Dagbladet Ringkøbing-Skjern. (2015). Dambrug vil lægge rørledning hele vejen under byen, <http://dagbladetringskjern.dk/hvide-sande/dambrug-vil-laegge-roerledning-hele-vejen-under-byen> (sótt 16.02.2016).
- Danish Salmon. (2018). Invitation – Fremvisning. I forbindelse med Naturmødet d. 24. til 26. maj 2018 i Hirtshals 2018, inviterer Danish Salmon A/S, Miljøudvalgets medlemmer og sekretariat til en fremvisning på vort landbaserede, recirkulerede lakseopdræt, beliggende i Hirtshals. <https://www.ft.dk/samling/20171/almdelel/MOF/bilag/440/1890306.pdf> (sótt 24.03.2020).
- Danmarks Naturfredningsforening. (2017). Danmarks Naturfredningsforenings og Danmarks Sportsfiskerforbunds klage vedr. Miljøgodkendelse til DANISH SALMON A/S, Niels Juelsvej 46, 9850 Hirtshals. Med tilhørende udledningstilladelse og indvindingstilladelse (Hjørring Kommunes sagsnr. SBSys: 09.02.15-P19-1-17). Sótt af <https://hjoerring.dn.dk/departments-media/17090/klage-til-mfkn-vedr-danish-salmon-2017.pdf>
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C. og Summerfelt, S.T. (2014). Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 59: 30 – 40.
- Davidson, J., May, T., Good, C., Waldrop, T., Kenney, B., Terjesen, B.F. og Summerfelt, S. (2016). Production of market-size North American strain Atlantic salmon *Salmo Salar* in a land-based recirculating aquaculture system using freshwater. *Aquaculture Engineering*. 74: 1 – 16.
- DNB Nyheter. (2020). - Norske aktører kan bli veldig gode på landbaserte anlegg, <https://www.dnb.no/dnbnyheter/no/bors-og-marked/norske-aktorer-kan-bli-veldig-gode-pa-landbaserte-anlegg> (sótt 08.12.2020).

- E24. (2015). Marine Harvest advarer mot å fremme landbasert oppdrett, <https://e24.no/naeringsliv/i/oRob6a/marine-harvest-advarer-mot-aa-fremme-landbasert-oppdrett> (søtt 17.05.2016).
- Ernst & Young. (2019). *The Norwegian aquaculture analysis 2019*. Ernst & Young AS. 63 bls.
- Espinal, C.A. og Matulić, D. (2019). *Recirculating Aquaculture Technologies*. Í Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. og Burnell, G.M. (ritstj.), *Aquaponics Food Production Systems* (bls. 35 – 76). Springer, Cham.
- FAO. (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Meeting the Sustainable Development Goals*. Rome. 224 bls.
- FAO. (2019). *Top 10 species groups in global aquaculture 2017. WAPI factsheet*. Rome. 11 bls.
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome. 206 bls.
- Finansavisen. (2018). Romsdaling spiller høyt i laks, <https://finansavisen.no/nyheter/boers-finans/2018/04/romsdaling-spiller-hoeyt-i-laks> (søtt 28.04.2020).
- Fish Farmer. (2020). Boulogne site for new land based salmon farm, <https://www.fishfarmermagazine.com/news/boulogne-site-for-new-land-based-salmon-farm/> (søtt 15.07.2022).
- Fish Farmer. (2021). NRS offshore project moves up a gear, <https://www.fishfarmermagazine.com/news/nrs-offshore-project-moves-up-a-gear/> (søtt 19.07.2022).
- Fishfarmingexpert. (2017). Land farm's entire grow-out stock wiped out, <https://www.fishfarmingexpert.com/article/land-farm-8217-s-entire-grow-out-stock-wiped-out/> (søtt 27.04.2020).
- Fishfarmingexpert. (2020a). Construction stress confirmed as cause of Atlantic Sapphire emergency, <https://www.fishfarmingexpert.com/article/construction-caused-emergency-harvest-in-miami-confirms-atlantic-sapphire/> (søtt 11.01.2022).
- Fishfarmingexpert. (2020b). We won't have large carbon footprint, insists RAS farmer, <https://www.fishfarmingexpert.com/article/we-wont-have-large-carbon-footprint-insists-ras-developer/> (søtt 15.07.2022).
- Fishfarmingexpert. (2021a). Financial pain of oxygen shortage 'limited' says Atlantic Sapphire, <https://www.fishfarmingexpert.com/article/financial-pain-of-oxygen-shortage-limited-says-atlantic-sapphire/> (søtt 13.01.2022).
- Fishfarmingexpert. (2021b). Atlantic Sapphire harvested 700 gwt of fish in Q3, <https://www.fishfarmingexpert.com/article/atlantic-sapphire-harvested-700-gwt-of-fish-in-q3/> (søtt 13.01.2022).
- Fiskifréttir. (2021). Fjögur eldisverkefni á teikniborðinu, <https://www.fiskifrettir.is/frettir/fjogur-eldisverkefni-teiknibordinu/167905/> (søtt 17.12.2021).
- Fiskifréttir. (2022). Reisa landeldisstöð fyrir 50 milljarða. <https://fiskifrettir.vb.is/reisa-landeldisstod-fyrir-50-milljarða/> (søtt 05.09.2022).
- Fivelstad, S. (2013). Long-term carbon dioxide experiments with salmonids. *Aquaculture Engineering*, 53: 40 – 48.
- Fjørtoft, H.B., Nilsen, F., Besnier, F., Espedal, P.G., Stene, A., Tveten, A.-K., Bjørn, P.B., Aspehaug, V.T. og Glover, K.A. (2020). Aquaculture-driven evolution: distribution of pyrethroid resistance in the salmon louse throughout the North Atlantic in the years 2000–2017. *ICES Journal of Marine Science*, 77: 1806 – 1815.
- Food Supply DK. (2010). Finansiering snart på plads til verdens mest moderne laksedambrug, http://www.food-supply.dk/article/view/55612/finansiering_snart_pa_plads_til_verdens_mest_moderne_laksedambrug#.VsNB9vmLSUk (søtt 14.01.2016).
- Food Supply DK. (2011a). Læsø Laks dropper Læsø, http://www.food-supply.dk/article/view/71417/laeso_laks_dropper_laeso#.VqDfk_mLSUm (søtt 13.01.2016).
- Food Supply DK. (2011b). Etablering af Langsand Laks i gang trods klager, http://www.food-supply.dk/article/view/62872/etablering_af_langsand_laks_i_gang_trods_klager#.VryNpPmLSUk (søtt 14.01.2016).

- Food Supply DK. (2012). Danish Salmon bygger verdensnyhed, https://www.food-supply.dk/article/view/92568/danish_salmon_bygger_verdensnyhed (søtt 13.01.2016).
- Food Supply DK. (2015a). Dundrende underskud i Danish Salmon, <https://www.food-supply.dk/article/view/214500> (søtt 14.01.2016).
- Food Supply DK. (2018). Laksefolk næsten klar med ny kæmpeproduktion, https://www.food-supply.dk/article/view/600431/laksefolk_naesten_klar_med_ny_kaempeproduktion (søtt 27.04.2020).
- Fríður Birna Stefánsdóttir. (2019). *Skiptir upprunaábyrgð raforku á Íslandi máli?* Lokaritgerð til BS gráðu við Háskólann á Bifröst. 38 bls.
- Fyens Stiftstidende. (2017). Danmark er verdensmester i miljøvenlige landlaks, [https://fyens.dk/artikel/danmark-er-verdensmester-i-milj%C3%B8venlige-landlaks-2017-6-11\(8\)](https://fyens.dk/artikel/danmark-er-verdensmester-i-milj%C3%B8venlige-landlaks-2017-6-11(8)) (søtt 27.04.2020).
- FødevarerWatch. (2014a). Fiskeproducent vil slagte 2000 tons velfærds laks om året, https://fodevarewatch.dk/Landbrug_Fiskeri/article6949384.ece (søtt 06.01.2016).
- FødevarerWatch. (2014b). Lakse-iværksættere strutter af optimisme, <https://fodevarewatch.dk/Fodevarer/article6958578.ece> (søtt 06.01.2016).
- FødevarerWatch. (2015a). Danish Salmon får ultimatum: Fiks problemerne eller luk, https://fodevarewatch.dk/Landbrug_Fiskeri/article7969093.ece (søtt 06.01.2016).
- FødevarerWatch. (2015b). Startvanskeligheder giver stort underskud i Danish Salmon, <https://fodevarewatch.dk/Fodevarer/article7914570.ece> (søtt 06.01.2016).
- FødevarerWatch. (2017a). Langsand Laks har fundet årsag til mystisk massedød, https://fodevarewatch.dk/Landbrug_Fiskeri/article9720262.ece (søtt 27.04.2020).
- FødevarerWatch. (2017b). Langsand Laks rykker rundt i bestyrelsen og skifter navn, <https://m.fodevarewatch.dk/article/10153403> (søtt 05.05.2020).
- FødevarerWatch. (2019a). 75 millioner investeret i lakseselskab fra Hirtshals — nu bærer det frugt, https://fodevarewatch.dk/Landbrug_Fiskeri/article11429241.ece (søtt 12.03.2020).
- FødevarerWatch. (2019b). Lakseproducent lander endnu et millionunderskud: Næste år vender vi, https://fodevarewatch.dk/Landbrug_Fiskeri/article11347987.ece (søtt 05.05.2020).
- FødevarerWatch. (2020a). Lakseselskab presset tilbage i minus efter første plus, https://fodevarewatch.dk/Landbrug_Fiskeri/article12082504.ece (søtt 05.05.2020).
- FødevarerWatch. (2020b). Japanske giganter køber lakseselskab fra Hirtshals, https://fodevarewatch.dk/Landbrug_Fiskeri/article12080864.ece (søtt 05.05.2020).
- Føre, H.M., Thorvaldsen, T., Tinmannsvik, R.K. og Okstad, E.H. (2019). Kunnskap og metoder for å forebygge rømming. SINTEF, 2019:00669. 38 bls.
- Gardner Pinfold Consultants Inc. (2019). *State of Salmon Aquaculture Technologies*. Skýrsla unnin fyrir Fisheries and Oceans Canada (DFO). 57 bls.
- Gjendemsjø, A.M. og Henriksen, K. (2015). *Deloitte. Landbasert oppdrett. Et nytt industrieventyr for Norge?* Hardangerfjordseminar, 8.05.2015, Norheimsund, Norge.
- Glover, K.A., Solberg, M.F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M.W., Hansen, M.M., Araki, H., Skaala, Ø. og Svåsand, T. (2017). Half a century of genetic interaction between farmed and wild Atlantic salmon: Status of knowledge and unanswered questions. *Fish and Fisheries*, 18: 890 – 927.
- Glover, K.A., Wennevik, V., Hindar, K., Skaala, Ø., Fiske, P., Solberg, M.F., Diserud, O.H., Svåsand, T., Karlsson, S., Andersen, L.B. og Grefsrud, E.S. (2020). The future looks like the past: introgression of domesticated Atlantic salmon escapees in a risk assessment framework. *Fish and Fisheries*, 21: 1077 – 1091.
- Henriksen, K. (2015). *Deloitte. Lakseoppdrett på land – break even med lakseoppdrett i merd?* TEKMAR 2015, 02.12.2015, Trondheim, Norge.
- Hersoug, B., Mikkelsen, E. og Karlsen, K.M. (2019). “Great expectations” – Allocating licenses with special requirements in Norwegian salmon farming. *Marine Policy*, 100: 152 – 162.
- Hilmarsen, Ø., Holte, E.A., Brendeløkken, H., Høyli, R. og Hognes, E.S. (2018). *Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks – matfisk og post-smolt*. SINTEF Ocean AS, rapport OC2018 A-033. 83 bls.

Hjeltnes, B., Bang-Jensen, B., Bornø, G., Haukaas, A. og Walde, C.S. (ritstj.). (2019). *The Health Situation in Norwegian Aquaculture 2018*. Norwegian Veterinary Institute. 131 bls.

Hjørring Kommune. (2015). Niels Juelsvej 46, Hirtshals - Orientering om virksomheden Danish Salmon. Referat af Åben dagsorden 26. marts 2015, Økonomiudvalget 2014-2017, <https://docplayer.dk/32016519-Referat-af-aaben-dagsorden-oekonomiudvalget-borgmesterkontoret.html> (søtt 14.04.2020).

Hoegh-Guldberg, O., Caldeira, K., Chopin, T., Gaines, S., Haugan, P., Hemer, M., Howard, J., Konar, M., Krause-Jensen, D., Lindstad, E., Lovelock, C.E., Michelin, M., Nielsen, F.G., Northrop, E., Parker, R., Roy, J., Smith, T., Some, S. og Tyedmers, P. (2019). *The Ocean as a Solution to Climate Change: Five Opportunities for Action*. World Resources Institute, Washington, DC. 111 bls.

Holm, T. (2011). *Atlantic Sapphire – 1000 ton Salmon production in Denmark – Langsand Laks*. Fyrirlestur á Aquaculture Innovation Workshop nr. 2. 26-27 Sep. 2011, Campbell River, BC, Canada.

Holm, T. (2015). *Præsentation af Langsand Laks*. Fyrirlestur á 'Farmers Day' - et seminar for den danske dambrugssektor. 7. okt. 2015, Ålborg, Denmark.
<https://www.aquacircle.org/images/pdfdokumenter/efterret15/farmersday/Thue%20Holm%20-%20Langsand%20Laks%20AS%20dan%20aqua%20okt%202015.pdf> (søtt 18.07.2022).

ilaks.no. (2013). Tar laksen på land, <http://ilaks.no/tar-laksen-pa-land/> (søtt 17.02.2016).

ilaks.no. (2014). Vil bygge lukket anlegg for 30.000 tonn i Florida, <https://ilaks.no/vil-bygge-lukket-anlegg-for-30-000-tonn-i-florida/> (søtt 17.02.2016).

ilaks.no. (2015a). Sikrer rent vann til Langsand Laks, <http://ilaks.no/sikrer-rent-vann-til-langsand-laks/> (søtt 16.02.2016).

ilaks.no. (2015b). Tung start for Langsand Laks, <http://ilaks.no/tung-start-for-langsand-laks/> (søtt 16.02.2016).

ilaks.no. (2015c). – Vi har så langt sagt nei takk, <https://ilaks.no/vi-har-sa-langt-sagt-nei-takk/> (søtt 15.07.2022).

ilaks.no. (2016a). En enorm kapasitetsøkning på lukkede anlegg må til for å dekke etterspørselen, <https://ilaks.no/en-enorm-kapasitetsokning-pa-lukkede-anlegg-ma-til-for-a-dekke-ettersporselen/> (søtt 15.01.2016).

ilaks.no. (2016b). Her slaktes landbasert oppdrettslaks, <http://ilaks.no/her-slaktes-landbasert-oppdrettslaks/> (søtt 16.02.2016).

ilaks.no. (2017a). Langsand Laks bygger nytt og nær tredobler produksjonen, <https://ilaks.no/langsand-laks-bygger-nytt-og-naer-tredobler-produksjonen/> (søtt 24.11.2021).

ilaks.no. (2017b). Tapte en fjerdedel av årets produksjon på én dag: – Det skjedde brått og uventet, <https://ilaks.no/tapte-en-fjerdedel-av-arets-produksjon-pa-en-dag-det-skjedde-bratt-og-uventet/> (søtt 24.11.2021).

ilaks.no. (2017c). Fra Villa Leppefisk til Atlantic Sapphire, <https://ilaks.no/fra-villa-leppefisk-til-atlantic-sapphire/> (søtt 08.05.2020).

ilaks.no. (2017d). Slik blir gigantanlegget til Atlantic Sapphire, <https://ilaks.no/slik-blir-gigantanlegget-til-atlantic-sapphire/> (søtt 18.05.2020).

ilaks.no. (2018a). Nærmer seg fullføring av Langsand Laks-utvidelse, <https://ilaks.no/naermer-seg-fullforing-av-langsand-laks-utvidelse/> (søtt 07.01.2022).

ilaks.no. (2018b). Nytt gigantisk landbasert anlegg i Maine: – Vi har forhåndssolgt laks for ti år fremover, <https://ilaks.no/nytt-gigantisk-landbasert-anlegg-i-maine-vi-har-forhandssolgt-laks-for-ti-ar-fremover/> (søtt 19.03.2018).

ilaks.no. (2018c). I 2015 sa DNB kategorisk nei til laks på land. – No er synet nyansert litt, seier banktoppen i dag, <https://ilaks.no/i-2015-sa-dnb-kategorisk-nei-til-laks-pa-land-no-er-synet-nyansert-litt-seier-banktoppen-i-dag/> (søtt 08.12.2020).

ilaks.no. (2019a). De tjener ikke fem øre, men nå prises Atlantic Sapphire til 8,5 milliarder kroner, <https://ilaks.no/de-tjener-ikke-fem-ore-men-na-prises-atlantic-sapphire-til-85-milliarder-kroner/> (søtt 05.05.2020).

iLaks.no. (2019b). DNB: – Vi har nyansert tenkningen vår med tanke på det vi sa om landbasert i Norge, <https://ilaks.no/dnb-vi-har-nyansert-tenkningen-var-med-tanke-pa-det-vi-sa-om-landbasert-i-norge/> (søtt 15.07.2022).

iLaks.no. (2019c). DNBS sjømatstjef skeptisk til matfiskanlegg med RAS-teknologi i Norge, <https://ilaks.no/dnbs-sjomatsjef-skeptisk-til-matfiskanlegg-med-ras-teknologi-i-norge/> (søtt 08.12.2020).

iLaks.no. (2020a). 227.000 laks døde ved Atlantic Sapphires anlegg i Danmark, <https://ilaks.no/227-000-laks-dode-ved-atlantic-sapphires-anlegg-i-danmark/> (søtt 05.05.2020).

iLaks.no. (2020b). Norske investorer vil produsere 30.000 tonn laks i lukket anlegg i sjøen ved tidligere hummeranlegg i Maine, <https://ilaks.no/norske-investorer-vil-produsere-30-000-tonn-laks-pa-land-i-tidligere-hummeranlegg-i-maine/> (søtt 15.07.2022).

iLaks.no. (2020c). Konesjon på plass: Ecofisk vil bygge Norges største landbaserte matfiskanlegg for laks i et gammelt steinbrudd, <https://ilaks.no/konesjon-pa-plass-ecofisk-vil-bygge-norges-storste-landbaserte-matfiskanlegg-for-laks-i-et-gammelt-steinbrudd/> (søtt 05.07.2022).

iLaks.no. (2020d). Koreansk fiskerigigant investerer i Salmon Evolution, <https://ilaks.no/koreansk-fiskerigigant-investerer-i-salmon-evolution/> (søtt 04.11.2020).

iLaks.no. (2020e). Nordic Aquafarms: – Vi ser for oss å bygge flere anlegg nært de store markedene, <https://ilaks.no/nordic-aquafarms-vi-ser-for-oss-a-bygge-flere-anlegg-naert-de-store-markedene/> (søtt 15.07.2022).

iLaks.no. (2020f). Vil bygge Europas største landbaserte matfiskanlegg i Sverige – skal produsere 100.000 tonn årlig, <https://ilaks.no/vil-bygge-europas-storste-landbaserte-matfiskanlegg-i-sverige-skal-produsere-100-000-tonn-arlig/> (søtt 15.07.2022).

iLaks.no. (2020g). Landbasert oppdretter vil bygge et 220.000 kvadratmeter stort logistikkcenter rett ved E6, <https://ilaks.no/landbasert-oppdretter-vil-bygge-et-220-000-kvadratmeter-stort-logistikkcenter-rett-ved-e6/> (søtt 15.07.2022).

iLaks.no. (2020h). Idet kunden Nordic Aqua Partners har landet finansiering, sikres AKVA group Kina-kontrakt for 533 millioner kroner, <https://ilaks.no/idet-kunden-nordic-aqua-partners-har-landet-finansiering-sikres-akva-group-kina-kontrakt-for-533-millioner-kroner/> (søtt 15.07.2022).

iLaks.no. (2020i). Investment bank Pareto is chasing €48 million for Salmon Evolution, <https://ilaks.no/pareto-jakter-500-millioner-kroner-til-salmon-evolution/> (søtt 07.12.2020).

iLaks.no. (2020j). – Vi kommer sannsynligvis til å si ja til å finansiere et landbasert matfiskprosjekt i Norge i år, <https://ilaks.no/vi-kommer-sannsynligvis-til-a-si-ja-til-a-finansiere-et-landbasert-matfiskprosjekt-i-norge-i-ar/> (søtt 08.12.2020).

iLaks.no. (2020k). Landbaserte oppdrettsanlegg for 1,4 millioner tonn laks jakter penger, <https://ilaks.no/landbaserte-oppdrettsanlegg-for-14-millioner-tonn-laks-jakter-penger/> (søtt 09.12.2020).

iLaks.no. (2021a). Får 28 mill. i støtte til forskningsprosjekt på RAS, <https://ilaks.no/far-28-mill-i-stotte-til-forskningsprosjekt-pa-ras/> (søtt 16.12.2021).

iLaks.no. (2021b). Det foreligger planer om bygging av landbaserte anlegg for 1,1 millioner tonn laks i Norge. De vil trenge mye strøm, <https://ilaks.no/det-foreligger-planer-om-bygging-av-landbaserte-anlegg-for-11-millioner-tonn-laks-i-norge-de-vil-trenge-mye-strom/> (søtt 05.09.2022).

ING. (2019). Kan fisk på land løbe rundt? <https://ing.dk/artikel/kan-fisk-pa-land-lobe-rundt-228563> (søtt 04.05.2020).

IntraFish. (2010). EU invest in Danish salmon farming, <https://www.intrafish.com/news/eu-invests-in-danish-salmon-farming/1-1-622878> (søtt 01.08.2016).

IntraFish. (2011). Salmon farming with a twist, <https://www.intrafish.com/news/salmon-farming-with-a-twist/1-1-631439> (søtt 07.01.2016).

IntraFish. (2014a). Danish on-land salmon farmer: New tech will result in healthier fish, <https://www.intrafish.com/news/danish-on-land-salmon-farmer-new-tech-will-result-in-healthier-fish/1-1-642748> (søtt 07.01.2016).

IntraFish. (2014b). Eco-friendly, land-based Danish farmed salmon hits US market, <https://www.intrafish.com/news/eco-friendly-land-based-danish-farmed-salmon-hits-us-market/1-1-641448> (søtt 07.01.2016).

IntraFish. (2014c). World's first commercial on-land salmon farm shut, faces reconstruction, <https://www.intrafish.com/news/worlds-first-commercial-on-land-salmon-farm-shut-faces-reconstruction/1-1-642754> (sótt 07.01.2016).

IntraFish. (2015a). World's first land-based salmon farm slips deeper into red, <https://www.intrafish.com/news/worlds-first-land-based-salmon-farm-slips-deeper-into-the-red/1-1-651665> (sótt 07.01.2016).

IntraFish. (2015b). Atlantic Sapphire still plans huge US land-based salmon farm, <https://www.intrafish.com/news/atlantic-sapphire-still-plans-huge-us-land-based-salmon-farm/1-1-648400> (sótt 07.01.2016).

IntraFish. (2019). Trudeau issues mandate to close BC netpen salmon farms by 2025, <https://www.intrafish.com/aquaculture/trudeau-issues-mandate-to-close-bc-netpen-salmon-farms-by-2025/2-1-724312> (sótt 17.12.2019).

IntraFish. (2020a). AkvaFuture chief steps down as company's Icelandic salmon farming project is put on hold, <https://www.intrafish.com/people/akvafuture-chief-steps-down-as-companys-icelandic-salmon-farming-project-is-put-on-hold/2-1-865830> (sótt 19.07.2022).

IntraFish. (2020b). Farmed salmon's greatest disruptors? Find out what the experts think, <https://www.intrafish.com/events/farmed-salmons-greatest-disruptors-find-out-what-the-experts-think/2-1-879816> (sótt 15.07.2022).

IntraFish. (2021a). Ny massedød-hendelse hos Atlantic Sapphire, <https://www.intrafish.no/okonomi/ny-massedod-hendelse-hos-atlantic-sapphire/2-1-1038577> (sótt 17.01.2022).

IntraFish. (2021b). Early sexual maturation the latest setback for land-based salmon farmer Atlantic Sapphire, <https://www.intrafish.com/salmon/early-sexual-maturation-the-latest-setback-for-land-based-salmon-farmer-atlantic-sapphire/2-1-1116223> (sótt 17.01.2022).

IntraFish. (2021c). UPDATE: Land-based salmon farmer Atlantic Sapphire raises \$121 million to finance expansion, <https://www.intrafish.com/finance/update-land-based-salmon-farmer-atlantic-sapphire-raises-121-million-to-finance-expansion/2-1-1020324> (sótt 17.01.2022).

IntraFish. (2022). Atlantic Sapphire targets near threefold increase in land-based salmon production in 2022, <https://www.intrafish.com/salmon/atlantic-sapphire-targets-near-threefold-increase-in-land-based-salmon-production-in-2022/2-1-1140703> (sótt 13.01.2022).

ISFA. (2016). The evolution of land based Atlantic salmon farms. International Salmon Farmers Association, http://www.salmonfarming.org/cms/wp-content/uploads/2015/02/ISFA_LandFarmingreport_web.pdf (sótt 09.12.2019).

Jose Prado. (2018). *Atlantic Sapphire. IntraFish Seafood Investor Forum*. 23th of May 2018, New York, USA.

Jón Kjartan Jónsson. (2021). Eldisgarður á Reykjanesi. Fyrirlestur á opnum kynningarfundum Samherja og HS Orku 16. júní 2021. https://www.youtube.com/watch?v=cnEi2HmS2yU&ab_channel=Hlj%C3%B3mah%C3%B6ll (sótt 19.12.2021).

Jyllands-Posten. (2021). Direktør for nedbrændt laksefabrik: Alle er chokerede, <https://jyllands-posten.dk/indland/politiretsvaesen/ECE13286901/direktoer-for-nedbraendt-laksefabrik-alle-er-chokerede/> (sótt 14.01.2022).

Kolarevic, J., Baevefjord, G., Takle, H., Ytterborg, E., Reiten, B.K.M., Nergård, S. og Terjesen, B.F. (2014). Performance and welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. *Aquaculture*, 432: 15 – 25.

Korea IT Times. (2020). Dongwon Industries to create 'land salmon farming complex' in Yangyang County, http://www.koreaitimes.com/news/articleView.html?idxno=100054&fbclid=IwAR0-S_RYIJTG0ZMZjGORFI0UsCbyHDD3jnfRSFYzJVLojOIMiLE_yR9IARY (sótt 04.11.2020).

Kyst.no. (2016). Vil gjøre lukkede anlegg til hyllevarer, <https://www.kyst.no/article/vil-gjoere-lukkede-anlegg-til-hyllevarer/> (sótt 03.03.2020).

Liu, Y., Rosten, T.W., Henriksen, K., Hognes, E.S., Summerfelt, S. og Vinci, B. (2016). Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater and open net pen in seawater. *Aquacultural Engineering*, 71: 1 – 12.

- Losordo, T.M. (2014). Unit processes in RAS systems- Aeration, oxygenation. *Global Aquaculture Advocate*, March/April: 72 – 75.
- Malone, R. (2013). *Recirculating aquaculture tank production systems – A review of current design practice*. SRAC Publication No. 453. 11 bls.
- Marine Harvest. (2015). *Salmon Farming Industry Handbook 2015*. 89 bls.
- Martins, C.I.M, Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Schneider, O., Blancheton, J.P., d'Orbcastel, E.R. og Verreth, J.A.J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquaculture Engineering*, 43: 83-93.
- Marubeni. (2020). Participation in Salmon Farming Business via Recirculating Aquaculture System Acquisition of Danish Salmon A/S, <https://www.marubeni.com/en/news/2020/release/20200416E.pdf> (sótt 06.05.2020).
- MAST. (2022). *Ársskýrsla dýralæknis fisksjúkdóma 2021*. Matvælastofnun. 61 bls.
- Miami Herald. (2020). Salmon fishing in Miami-Dade's Homestead - and no rod required, <https://www.miamiherald.com/news/business/biz-monday/article241659471.html> (sótt 28.05.2020).
- Morgunblaðið. (2021). Fá lóð til landeldis í Viðlagafjöru, https://www.mbl.is/frettir/burdargrein/2021/06/25/fa_lod_til_landeldis_i_vidlagafjoru/ (sótt 17.12.2021).
- MOWI. (2019). *Salmon Farming Industry Handbook 2019*. 113 bls.
- MOWI. (2021). *Salmon Farming Industry Handbook 2021*. 117 bls.
- Multiconsult. (2017). *Mulighetsstudie akvakultur – landbasert oppdrett*. Skýrsla unnin fyrir sveitarfélagið Hurum, Noregi. 37 bls.
- Murray, F., Bostock, J. og Fletcher, D. (2014). *Review of recirculation aquaculture system technologies and their commercial application*. Highlands and Islands Enterprise. 75 bls.
- Nazar, A.K.A, Jayakumar, R. og Tamilmani, G. (2013). *Recirculating aquaculture systems*. Í Joseph, I. og Joseph E. (ritstj.), Customized Training in Mariculture for Maldivian Officials (bls. 79 - 82). Central Marine Fisheries Research Institute (CMFRI) og The Commonwealth Secretariat, Marlborough House.
- Nettavisen. (2018). Hobbyfisker ble laksemillionær, <https://www.nettavisen.no/na24/finans/hobbyfisker-ble-laksemillionaer/3423426640.html> (sótt 08.05.2020).
- NORDJYSKE. (2008a). Læsø Laks sikrer 25 job, <https://nordjyske.dk/nyheder/laesoe-laks-sikrer-25-job/adfeaccf-b006-4fda-888b-129c5d3ee1f3> (sótt 14.01.2016).
- NORDJYSKE. (2008b). Grønt lys for Læsø Laks, <https://nordjyske.dk/nyheder/groent-lys-for-laesoe-laks/b7b83b91-67ce-4893-9ffb-414eebe95fd> (sótt 14.01.2016).
- NORDJYSKE. (2008c). Benspænd mod Læsø Laks, <https://nordjyske.dk/nyheder/benspaend-mod-laesoe-laks/47e52fbf-c4f4-4bdf-a45c-9ed5e02fdcf> (sótt 14.01.2016).
- NORDJYSKE. (2008d). Run på tilskudskroner fra fond, <https://nordjyske.dk/nyheder/run-paa-tilskudskroner-fra-fond/a3e6db8b-738e-4d8a-a32b-4c78bf77284b> (sótt 14.01.2016).
- NORDJYSKE. (2008e). Forbavset leverandør, <https://nordjyske.dk/nyheder/forbavset-leverandoer/89187429-dd72-45d2-949b-d5a85809565b> (sótt 14.01.2016).
- NORDJYSKE. (2008f). Politisk kamp for Læsø Laks, <https://nordjyske.dk/nyheder/politisk-kamp-for-laesoe-laks/822c9156-d48c-44f0-a6a3-91552854ca5e> (sótt 14.01.2016).
- NORDJYSKE. (2008g). Læsø Laks et stort skridt nærmere, <https://nordjyske.dk/nyheder/laesoe-laks-et-stort-skridt-naermere/7dd8582a-fea1-48bd-a4e0-39bba10cd04c> (sótt 13.01.2016).
- NORDJYSKE. (2010). Syv millioner kroner extra til Læsø Laks, <https://nordjyske.dk/nyheder/syv-millioner-kroner-ekstra-til-laesoe-laks/be618cb7-2a18-4814-8a10-61751840a8e3> (sótt 20.01.2016).
- NORDJYSKE. (2011). Læsø Laks i ny udgave i Hirtshals, <https://nordjyske.dk/nyheder/laesoe-laks-i-ny-udgave-i-hirtshals/b33bf145-db4b-4fbb-b5a3-104e2b90967c> (sótt 13.01.2016).
- NORDJYSKE. (2012). Akvakultur uden affald til natur, <https://nordjyske.dk/nyheder/akvakultur-uden-affald-til-natur/bc7ddc82-19ab-4df7-8e9a-f766310a86d0> (sótt 21.01.2016).
- Norsk Fiskeoppdrett. (2003). *Rensefisk*. Norsk Fiskeoppdrett, nr. 12A. 53 bls.
- Norsk Fiskerinæring. (2019a). Atlantic Sapphire: Fra 0 til 200.000 tonn på ti år. Norsk Fiskerinæring (Magasin 4 – 2019), <https://norskfisk.no/2019/06/03/atlantic-sapphira-0-til-200-000-tonn-pa-ti-ar/> (sótt 08.05.2020).

Norsk Fiskerinæring. (2019b). Slik har vi gjort det! v/ Adm. direktør fiskeoppdrett, Jón Kjartan Jónsson, Samherji. Norsk Fiskerinæring (Magasin 6/7 – 2019). <https://norskfisk.no/2019/08/22/slik-har-vi-gjort-det-2/> (sótt 12.05.2020).

Norsk Fiskerinæring. (2019c). Status og veien videre! v/ redaktør Thorvald Tande jr. Norsk Fiskerinæring (Magasin 6/7 - 2019). <https://norskfisk.no/2019/07/03/status-og-veien-videre/> (sótt 12.05.2020).

Norsk Fiskerinæring. (2022). Land i sikte. Norsk Fiskerinæring (Magasin 4 - 2022). https://norskfisk.no/wp-content/uploads/2022/06/Land-i-sikte_SeafoodTalks2022.pdf (sótt 05.09.2022).

NorwayToday. (2017). Norwegian fish farming companies experience best financial year so far, <https://norwaytoday.info/finance/norwegian-fish-farming-companies-experience-best-financial-year-far/> (sótt 23.10.2019).

NOU. (2019). Norges offentlige utredninger 2019:18. Skattelegging av havbruksvirksomhet. Sótt af <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2019-18/id2676239/>

Nærings- og fiskeridepartementet. (2015). Meld. St. 16 (2014-2015). Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett. Regjeringen. Sótt af <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-16-2014-2015/id2401865/>

Oliveira, V.H.S., Dean, K.R., Qviller, L., Kirkeby, C. og Jensen, B.B. (2021). Factors associated with baseline mortality in Norwegian Atlantic salmon farming. *Scientific Reports*, 11: 14702.

Olsen, B.H. (2014). *Developments in Recirculating Aquaculture Systems for Salmon Grow-out in Europe and Asia*. Fyrirlestur á Aquaculture Innovation Workshop nr. 6. 27 Oct. 2014, Vancouver, Canada.

Olsen, B.H. (2017). Billund Aquaculture: Global Trends in Commercial Salmonid RAS. Fyrirlestur á TEKSET. 15 Feb. 2017, Trondheim, Norway. <http://tekset.no/wp-content/uploads/2017/02/25-Olsen.pdf> (sótt 15.07.2022).

Oslo Børs. (2019). Atlantic Sapphire AS and Hofseth BioCare ASA Sign LOI to Establish a Joint Venture in Miami, FL, <https://newsweb.oslobors.no/message/488462> (sótt 05.06.2020).

Oslo Børs. (2020). ATLANTIC SAPPHIRE AS – Committed term sheet signed with DNB for US\$210m debt financing, <https://newsweb.oslobors.no/message/498336> (sótt 05.06.2020).

Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T.S., Gismervik, K. og Stien, L.H. (2019). Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11: 1398 – 1417.

Politiken. (2015). Bæredygtig dansk laks flyves til USA, <http://politiken.dk/mad/madnyt/ECE2938918/baeredygtig-dansk-laks-flyves-til-usa/> (sótt 08.02.2016).

Preena, P.G., Rejish Kumar, V.J. og Singh, I.S.B. (2021). Nitrification and denitrification in recirculating aquaculture systems: the processes and players. *Reviews in Aquaculture*, 13: 2053 – 2075.

Province of British Columbia. (2019). *British Columbia Seafood Industry Year in Review 2017*. 17 bls.

PwC. (2017). *Sustainable growth towards 2050*. PwC Seafood Barometer 2017. 99 bls.

Quiñones, R.A., Fuentes, M., Montes, R.M., Soto, D. og León-Muñoz, J. (2019). Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11: 375 – 402.

Ragnar Jóhannsson. (2006). *Kennslufni í vatnsfræði*. Hólaskóli – Háskólinn á Hólum. 61 bls.

rbnett.no. (2018). Salmon Evolution AS satser i Fræna: Skal lage 100 millioner laksemåltid i året, <https://www.rbnett.no/nyheter/2018/01/19/Skal-lage-100-millioner-laksem%C3%A5ltid-i-%C3%A5ret-16012791.ece> (sótt 07.12.2020).

Riksrevisjonen. (2012). Riksrevisjonens undersøkelse av havbruksforvaltningen. *Dokument 3:9* (2011–2012). 131 bls.

Ringkøbing-Skjern Kommune. (2019). *Akvakultur i Ringkøbing-Skjern Kommune*. Oplæg til TMU-møde 26-11-2019. Ringkøbing-Skjern Kommune. 17 bls.

Rio Tinto á Íslandi. (2021). *Samfélagsskýrsla og Grænt bókhald ISAL 2020*. 50 bls.

ruv.is. (2019). Reyna að framleiða kynhlutlausu eldisfiska, <https://www.ruv.is/frett/reyna-ad-framleida-kynhlutlausu-eldisfiska> (sótt 13.01.2021).

ruv.is. (2022). Hættan á skakkaföllum í Svartsengi kallar á viðbrögð, <https://www.ruv.is/frett/2022/08/16/haettan-a-skakkafollum-i-svartsengi-kallar-a-vidbrogd> (19.08.2022).

Sachs, J.D. (2007). The promise of the blue revolution: aquaculture can maintain living standards while averting the ruin of the oceans. *Scientific American*, 297: 37 – 38.

SalmonBusiness. (2017a). Mass mortality in RAS – Solved?, <https://salmonbusiness.com/mass-mortality-in-ras-solved/> (sótt 01.04.2020).

SalmonBusiness. (2017b). Pioneering land producer ramps up investment in own test lab, <https://salmonbusiness.com/pioneering-land-producer-ramps-up-investment-in-own-test-lab/> (sótt 27.04.2020).

SalmonBusiness. (2018a). Japan dreams of cost-effective inland salmon farming, <https://salmonbusiness.com/japan-dreams-of-cost-effective-inland-salmon-farming/> (sótt 06.05.2020).

SalmonBusiness. (2018b). “Soul of Japan” fully integrated indoor salmon farm and processing plant planned for 2019, <https://salmonbusiness.com/soul-of-japan-fully-integrated-salmon-farm-and-processing-plant-planned-for-2019/> (sótt 06.05.2020).

SalmonBusiness. (2019a). Salmon farmer pays out EUR 23 thousand bonus to every member of staff, <https://salmonbusiness.com/salmon-farmer-pays-out-eur-23-thousand-bonus-to-250-staff/>, (sótt 23.10.2019).

SalmonBusiness. (2019b). Danish Salmon to build new facility and double production, <https://salmonbusiness.com/danish-salmon-to-build-new-facility-and-double-production/> (sótt 19.03.2020).

SalmonBusiness. (2019c). 2018 was the first year with profits for land-based farmer Danish Salmon, <https://salmonbusiness.com/2018-was-the-first-year-with-profits-for-land-based-danish-salmon/> (sótt 19.03.2020).

SalmonBusiness. (2019d). Fish are swimming in Florida’s first salmon farm, <https://salmonbusiness.com/fish-are-swimming-in-floridas-first-salmon-farm/> (sótt 27.05.2020).

SalmonBusiness. (2019e). These are the world’s 30 largest seafood companies, <https://salmonbusiness.com/these-are-the-worlds-30-largest-seafood-companies/> (sótt 04.11.2020).

SalmonBusiness. (2019f). The Vikings bringing land-based salmon to the desert: “We are on schedule and aim to start construction at the end of this summer”, <https://salmonbusiness.com/the-vikings-bringing-land-based-salmon-to-the-desert-we-are-on-schedule-and-aim-to-start-construction-at-the-end-of-this-summer/> (sótt 15.07.2022).

SalmonBusiness. (2020a). Atlantic Sapphire will upsize its Florida facility to 25,000 tonnes of annual harvest, <https://salmonbusiness.com/atlantic-sapphire-will-upsize-its-florida-facility-to-25000-tonnes-annual-harvest/> (sótt 11.01.2022).

SalmonBusiness. (2020b). Artificial intelligence is the next step for Atlantic Sapphire, <https://salmonbusiness.com/artificial-intelligence-is-the-next-step-for-atlantic-sapphire/> (sótt 05.05.2020).

SalmonBusiness. (2020c). Investment bank Pareto is chasing €48 million for Salmon Evolution, <https://salmonbusiness.com/investment-bank-pareto-is-chasing-e48-million-for-salmon-evolution/> (sótt 07.12.2020).

SalmonBusiness. (2020d). Climate comes second as land-based salmon farms attract capital, <https://salmonbusiness.com/climate-comes-second-as-land-based-salmon-farms-attract-capital/> (sótt 19.05.2020).

SalmonBusiness. (2020e). 66,000 tonnes land-based salmon farm project announced, <https://salmonbusiness.com/66000-tonnes-land-based-salmon-farm-project-announced/> (sótt 15.07.2022).

SalmonBusiness. (2021a). New losses for land-based salmon farmer. Danish Salmon has only been in the black once since its inception in 2009, <https://salmonbusiness.com/new-losses-for-land-based-salmon-farmer-danish-salmon-has-only-been-in-the-black-once-since-its-inception-in-2009/> (sótt 17.01.2022).

SalmonBusiness. (2021b). Atlantic Sapphire founder Johan Andreassen on the ‘heartbreaking’ fire in Denmark, <https://salmonbusiness.com/andreassen-on-the-heartbreaking-fire-in-denmark/> (sótt 14.01.2022).

SalmonBusiness. (2021c). Atlantic Sapphire may decide not to rebuild Danish facility destroyed by fire, <https://salmonbusiness.com/atlantic-sapphire-decides-not-to-rebuild-danish-fish-farm-destroyed-by-fire/> (sótt 14.01.2022).

SalmonBusiness. (2021d). First steps of Atlantic Sapphire’s Phase 2 construction is underway, <https://salmonbusiness.com/first-steps-of-atlantic-sapphires-phase-2-construction-is-underway/> (sótt 12.01.2022).

SalmonBusiness. (2021e). More production trouble for Atlantic Sapphire: 500 tonnes of salmon lost, <https://salmonbusiness.com/more-production-trouble-for-atlantic-sapphire-500-tonnes-of-salmon-lost/> (sótt 12.01.2022).

SalmonBusiness. (2021f). Two million tonnes of land-based salmon production is planned in total, <https://salmonbusiness.com/two-million-tonnes-of-land-based-salmon-production-is-planned-in-total/> (sótt 14.12.2021).

SalmonBusiness. (2022a). Christmas salmon sold on the cheap, <https://salmonbusiness.com/christmas-salmon-sold-on-the-cheap/> (sótt 13.01.2022).

SalmonBusiness. (2022b). Does Atlantic Sapphire need to raise more equity?, <https://salmonbusiness.com/does-atlantic-sapphire-need-to-raise-more-equity/> (sótt 13.01.2022).

SeafoodSource. (2017). Atlantic Sapphire building USD 350 million land-based salmon farm in Miami, <https://www.seafoodsource.com/news/aquaculture/atlantic-sapphire-building-usd-350-million-land-based-salmon-farm-in-miami> (sótt 15.07.2022).

SeafoodSource. (2021a). Atlantic Sapphire stock price plunges after release of financial report, <https://www.seafoodsource.com/news/business-finance/atlantic-sapphire-stock-price-plunges-after-release-of-financial-report> (sótt 11.01.2022).

SeafoodSource. (2021b). Samherji, HS Orka to build 40,000-MT land-based salmon farm, <https://www.seafoodsource.com/news/aquaculture/samherji-hs-orka-to-build-40-000-metric-ton-land-based-salmon-farm> (sótt 14.12.2021).

Solhelm, M. og Trovatn, O. (2019). *The Economic Attractiveness of Land-based Salmon Farming in Norway*. Master thesis, Economics and Business Administration, Norwegian School of Economics. 108 bls.

Stjórnarráð Íslands. (2020). Kristján Þór staðfestir nýtt áhættumat erfðablöndunar, 5. júní 2020. Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytið, <https://www.stjornarradid.is/efst-a-baugi/frettir/stok-frett/2020/06/05/Kristjan-Thor-stadfestir-nytt-ahaettumat-erfdablondunar/> (sótt 17.12.2021).

Summerfelt, S.T., Vinci, B.J. og Piedrahita, R.H. (2000). Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquaculture Engineering*, 22: 87 – 108.

Sysla. (2015). – Oppdrett på land kan bli ny industrisuksess, <https://e24.no/naeringsliv/i/pljMjG/oppdrett-paa-land-kan-bli-ny-industrisuksess> (sótt 17.05.2016).

Tekfisk. (2020a). Flere selskaper velger denne nye notteknologien, <https://www.tekfisk.no/havbruk/flere-selskaper-velger-denne-nye-notteknologien/2-1-761047> (sótt 03.03.2020).

Tekfisk. (2020b). Ny metode gjør at sterile laks får sterile barn, <https://www.tekfisk.no/havbruk/ny-metode-gjor-at-sterile-laks-far-sterile-barn/2-1-931750> (sótt 13.01.2021).

The Fish Site. (2019). Washington salmon farm moratorium established, <https://thefishsite.com/articles/washington-salmon-farm-moratorium-established> (sótt 19.12.2019).

The Fish Site. (2021). Atlantic Sapphire ready to "show the true potential of land-based salmon farming", <https://thefishsite.com/articles/atlantic-sapphire-ready-to-show-the-true-potential-of-land-based-salmon-farming> (sótt 30.12.2021).

The Fish Site. (2022). Offshore salmon farming pioneer names new CEO, <https://thefishsite.com/articles/offshore-salmon-farming-pioneer-names-new-ceo> (sótt 19.07.2022).

The Seattle Times. (2018). State kills Atlantic salmon farming in Washington, <https://www.seattletimes.com/seattle-news/politics/bill-to-phase-out-atlantic-salmon-farming-in-washington-state-nears-deadline/> (sótt 19.12.2019).

Thorarensen, H. og Farrell, A.P. (2011). The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture*, 312: 1 – 14.

TV2. (2008). Skepsis over kæmpedambrug på Læsø, <https://nyheder.tv2.dk/2008-03-27-skepsis-over-kaempedambrug-paa-laesoe> (sótt 13.01.2016).

Tveterås, R., Reve, T., Haus-Reve, S., Misund, B., og Blomgren, A. (2019). *En konkurransedyktig og kunnskapsbasert havbruksnæring*. Handelshøgskolen BI, Oslo. Rapport. 140 bls.

Undercurrent News. (2014). US Seafood Entrepreneur Betting on US Inland Farmed Salmon, <https://www.undercurrentnews.com/2014/09/24/for-us-seafood-entrepreneur-betting-on-us-inland-farmed-salmon/> (sótt 17.02.2016).

Undercurrent News. (2020a). Aquamaof says large-scale salmon RAS projects will produce at costs of around \$3/kg, <https://www.undercurrentnews.com/2020/03/06/aquamaof-says-large-scale-salmon-ras-projects-will-produce-at-costs-of-around-3-kg/> (sótt 15.07.2022).

Undercurrent News. (2020b). DNB's Sletmo: COVID-19 is positive for salmon market long-term, <https://www.undercurrentnews.com/2020/11/24/dnbs-sletmo-covid-19-is-positive-for-salmon-market-long-term/> (sótt 07.12.2020).

Undercurrent News. (2020c). Norway the clear leader in developing land-based salmon farms, <https://www.undercurrentnews.com/2020/09/01/norway-emerges-as-surprise-leader-in-developing-land-based-salmon-farms/> (sótt 15.07.2022).

Undercurrent News. (2020d). AKVA: 'One million tons from land-based farming in the next 10 – 15 years', <https://www.undercurrentnews.com/2020/03/18/akva-one-million-tons-from-land-based-farming-in-the-next-10-15-years/> (sótt 09.12.2020).

Unnar Jónsson. (2016). Alþjóðleg dreifing frá Akureyri. Erindi flutt á ráðstefnu Íslenska sjávarklasans „Flutningalandið Ísland“. Reykjavík, 30. sept. 2016. Sótt af <http://www.sjavarklasinn.is/wp-content/uploads/2015/10/3-Flutningalandi%C3%B0-%C3%8Dsland-2015-Unnar-J%C3%B3nsson-Samherji.pdf>

UPI. (2020). New fish farm near Miami aims to grow major portion of U.S. salmon supply, https://www.upi.com/Top_News/US/2020/01/13/New-fish-farm-near-Miami-aims-to-grow-major-portion-of-US-salmon-supply/4791577475993/ (sótt 27.04.2020).

USA Today. (2019). The future of salmon in the U.S. is ... Florida?, <https://eu.usatoday.com/story/news/2018/04/11/south-florida-salmon-farm/460570002/> (sótt 27.05.2020).

Valdimar Ingi Gunnarsson, Ásmundur Baldvinsson, Guðbergur Rúnarsson og Jóhann Geirsson. (2012). *Kaflí 5. Hreinsun eldisvatns*. Í, Valdimar Ingi Gunnarsson og Guðbergur Rúnarsson (ritstj.), Hönnun og skipulag strand- og landeldisstöðva fyrir bleikjueldi. Sjávarútvegurinn – vefrit um sjávarútvegsmál, 12(1): 63 – 78.

Valdimar Ingi Gunnarsson, Guðmundur Einarsson, Guðbergur Rúnarsson, Hjalti Bogason og Sigurgeir Bjarnason. (2012). *Kaflí 4. Vatnslagnir, vatnsstjórnun og dæling*. Í, Valdimar Ingi Gunnarsson og Guðbergur Rúnarsson (ritstj.), Hönnun og skipulag strand- og landeldisstöðva fyrir bleikjueldi. Sjávarútvegurinn – vefrit um sjávarútvegsmál, 12(1): 43 – 62.

ViðskiptaMogginn. (2019). Flytja ferskan fisk til Bandaríkjanna, https://www.mbl.is/200milur/frettir/2019/12/04/flytja_ferskan_fisk_til_bandarikjanna/ (sótt 19.11.2020).

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning. (2014). *Status for norske laksebestander i 2014*. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 6. 225 bls.

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning. (2021). *Status for norske laksebestander i 2021*. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 16. 227 bls.

Vormedal, S. (2021). *Current and future competitiveness of the Icelandic and Norwegian salmon farming industries: A comparison of economic performance, productivity, and characteristics of the national environments in which the salmon farming companies operate*. Master's thesis in International Fisheries Management, UiT Norges arktiske universitet, Tromsø. 86 bls.

Warrer-Hansen, I. (2015a). *Potential for land based salmon grow-out in recirculating aquaculture systems (RAS) in Ireland*. Skýrsla unnin fyrir The Irish Salmon Growers' Association. IFA Aquaculture.

Warrer-Hansen, I. (2015b). *Land based salmon grow-out. Building it large*. Fyrirlestur á Land-Based Aquaculture and best available technologies (BAT) seminar, 11-12th of November 2015, Stockholm, Sweden.

Winther, U., Hognes, E.S., Skontorp, E., Jafarzadeh, S. og Ziegler, F. (2020). *Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017*. SINTEF Ocean AS, report 2019:01505. 114 bls.

World Grain. (2021). Skretting to build feed mill for Atlantic Sapphire, <https://www.world-grain.com/articles/16119-skretting-to-build-feed-mill-for-atlantic-sapphire> (sótt 11.01.2022).

Ytrestøl, T., Takle, H., Kolarevic, J., Calabrese, S., Timmerhaus, G., Rosseland, B.O., Teien, H.C., Nilsen, T.O., Handeland, S.O., Stefansson, S.O., Ebbesson, L.O.E. og Terjesen, B.F. (2020). Performance and welfare of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. post-smolts in recirculating aquaculture systems: Importance of salinity and water velocity. *Journal of the World Aquaculture Society*. 51: 373 – 392.

Pórir Dan. (1986). *Silungseldi*. Ráðunautafundur 10. – 14. febrúar 1986, Búnaðarfélag Íslands. Rannsóknastofnun landbúnaðarinnar, bls. 34 – 37.



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna