

matís

Lífkol úr landeldi /

Biochar from land-based aquaculture farming

Anna Berg Samúelsdóttir, Matís
Birgir Örn Smáráson, Matís
Jónas Baldursson, Matís
Jónas Viðarsson, Matís
Sylvía Rakel Guðjónsdóttir, First Water
Stefán Jessen, First Water
Helgi Þór Logason, First Water

Skýrsla/Report Matís nr. 14-24

Apríl 2023
ISSN 1670-7192
DOI nr. 10.5281/zenodo.11085293

First 
Water



Title / Titill	Lífkol úr landeldi / Biochar from land-based aquaculture farming		
Authors / Höfundar	Anna Berg Samúelsdóttir ^a , Birgir Örn Smáráson ^a , Jónas Baldursson ^a , Jónas Viðarsson ^a , Sýlvía RakeL Guðjónsdóttir ^b , Stefán Jessen ^b , Helgi Þór Logason ^b . Matís ^a , First Water ^b .		
Report no. / Skýrsla	14-24	Date / Útgáfudagur:	26.04.2024
Project no. / Verknr.	62783		
Funding / Styrktaraðilar	Hringrásarsjóður (málsnúmer UMH22050088)		
Ágríp á íslensku:	<p>Landeldi er örstækkandi atvinnugrein á Íslandi og er áætlað að á næstu fimm árum verði framleiðsla þess komin í um 100-150 þ. tonn. Fiskeldisseyra er órjúfanleg aukaafurð frá landeldi og magn þess áætlað miðað við fyrrgreindar framleiðslutölur um 215-353 þ. tonn. Með slíkt magn hráefnis sem ætla má að falli til við framleiðsluna er mikilvægt að leita allra leiða til þess að fanga það með bestu fánlegri tækni hverju sinni í stað þess að dæla því út í nærliggjandi vistkerfi með tilheyrandi óafturkræfum umhverfisáhrifum. Auk þess felast mikil tækifæri í því að breyta þessum „úrgangi“ í verðmætan og sjálfbæran áburð eða jarðvegsbæti, í anda hringrásarhagkerfis, sem gæti gjörbylt íslensku fiskeldi jafnt sem landbúnaði. Sérstaklega þegar haft er í huga að Ísland flytur inn árlega um 50 þúsund tonn af tilbúnum áburði.</p> <p>Í þessari skýrslu er gefið yfirlit yfir framvindu og helstu niðurstöður rannsóknar- og nýsköpunarverkefnisins „Lífkol úr landeldi“. Markmið verkefnisins var að efla hringrásarhagkerfið með því að greina fiskeldisseyru sem safnað var frá laxeldisstöðvum á landi, þróa leiðir til söfnunar og afvötnunar seyrunnar og skoða möguleika á að framleiða lífkol úr henni.</p> <p>Í skýrslunni er farið yfir núverandi stöðu landeldis á Íslandi og þær áskoranir sem tengjast förgun fiskseyru, skýrslan veitir einnig yfirlit yfir stöðu mála varðandi framleiðslu á lífkolum, sem og þau lög og reglugerðir sem hafa þarf í huga varðandi notkun á fiskseyru og lífkolum til áburðar og jarðvegsbóta. Skýrslan veitir einnig upplýsingar um framvindu verkefnisins „lífkol úr landeldi“ og dregur fram helstu niðurstöður mælinga, tilrauna og þróunar á búnaði.</p> <p>Til þess að fiskeldisseyra úr landeldi verði örugg og hagkvæm uppspretta áburðar og jarðvesbætis hér á landi þarf að efla rannsóknir á hráefninu og framleiðsluferlum. Þessi rannsókn er aðeins ein af tveimur sem gerðar hafa verið hér á landi á möguleikum fiskeldisseyru til áburðar- og lífkolagerðar á Íslandi. Gefur það vel til kynna að skilningur okkar og þekking á á umfangsefninu er enn á frumstigi. En eitt af því sem stendur rannsóknum sem þessum fyrir þrifum er aðgengi að sjóðum sem styrkja rannsóknir sem þessa.</p>		

Lykilorð á íslensku:	Landeldi, fiskeldisseyra, áburðarefni, lífkol, rannsóknir.
Summary in English:	<p>Land-based salmon aquaculture is a new and fast growing industry in Iceland, with projections suggesting its production will reach 100-150 thousand tons/year in the next five years. An integral side-stream of land-based aquaculture is so called fish sludge, which consists mostly of faeces and uneaten feed. The volume of such fish sludge coming from a 100-150-thousand-ton salmon production is expected to be 215-323 thousand tons. Given the significant volume of this raw material, it is crucial to employ the best available technology to capture it rather than allowing it to enter in the surrounding ecosystem, and thereby avoiding associated irreversible environmental impacts. The opportunities in then turning this “waste” into valuable and sustainable fertilizer or soil enhancer, in the spirit of circular economy, is an option that could revolutionise Icelandic aquaculture and agriculture alike. Especially when considering that Iceland imports approximately 50 thousand tonnes of synthetic fertiliser every year.</p> <p>This report provides an overview of the progress and main results of the research & innovation project “Biochar from land-based aquaculture farming”. The aim of the project was to promote the circular economy by analysing fish sludge collected from land-based salmon aquaculture farms in Iceland, develop means of collecting and dewatering the sludge, and examine the possibility of producing biochar from the sludge.</p> <p>The report reviews the current status of land-based aquaculture in Iceland and the challenges associated with disposal of fish sludge, it also provides an overview on the state-of-art regarding biochar production, and regulatory constraints for the use of fish sludge and biochar. The report then provides information on the progress within the project and highlights main results.</p> <p>For fish sludge from land-based aquaculture to be viable as a potential fertilizer in the future, research on the raw material needs to be intensified. This study represents only one of two conducted in Iceland, indicating that our understanding and definition of fish sludge applications for biochar or as a fertilizer are still in their infancy.</p>
English keywords:	Land-based aquaculture, fish sludge, fertiliser, biochar, research.

© Copyright Matís ohf / Matis - Food Research, Innovation & Safety

Innihald

1. Inngangur	5
1.1. Umhverfisáhrif.....	6
1.2. Staða þekkingar	7
1.3. Lagaleg tenging.....	8
1.3.1. Starfs- og rekstrarleyfi	9
1.4. Verkbættir	10
1.5. Verkstjórnun.....	10
1.6. Yfirlit skýrslu	11
2. Framkvæmd og niðurstöður.....	11
2.1. Efnagreiningar hráefnis	11
2.2. Framleiðsla lífkola.....	13
2.2.1. Lífkoluð fiskeldisseyra.....	14
2.3. Hönnun Búnaðar	15
2.3.1. Söfnun seyru.....	15
2.3.2. Síun fastefna úr frárennslisvatni.....	15
2.3.3. Afvötnunarbúnaður til meðhöndlunar seyru	16
2.3.4. Hönnun lífkolabúnaðar.....	17
3. Umræður	20
4. Lokaorð.....	23
5. Heimildarskrá	24
Viðaukar	26

1. Inngangur

Í þessari skýrslu er farið yfir framgang og niðurstöður verkefnisins „Lífkol úr landeldi“ sem styrkt var af umhverfis- orku- og loftslagsráðuneytinu. Matís og First Water (áður Landeldi) tóku höndum saman og lögðu upp með að fá rannsakað fyrstu skref nýtingu fiskeldisseyru til gerðar lífkola.

Kolefni úr lífrænu efni, eða lífkol (e. biochar), þá sérstaklega úr plöntum og viðarkol úr trjám, hefur verið notað á ýmsan hátt til jarðyrkju í þúsundir ára. Tiltölulega einfalt er að búa til lífkol, einu skilyrðin eru hiti og umhverfi þar sem súrefni er útilokað. Þetta var lengst af gert með því að kveikja í viðarbing og tyrfa svo yfir. Við það sundrast (e. pyrolysis) efnið, upp stíga gufur, eða viðargas, og eftir verða viðarkol. Þar sem hægt er að gera þetta við nánast hvaða lífræna efni sem er, er talað um lífkol. Sögulega séð hefur seyra úr fiskeldi (hér eftir kölluð fiskeldisseyra¹) verið borin beint á landbúnaðarland til að endurvinna næringarefni og kolefni. Á vegum Matís hefur undanfarin ár verið könnuð efnasamsetning fiskeldisseyru frá eldistöðum. Þær benda til þess að fiskeldisseyran úr eldinu sé tiltölulega rík af fosfór, sem er verðmætt efni. Bæði eru náttúrulegar birgðir þess í heiminum þverrandi, en að auki eru fosfórsmáurnar að miklu leyti í Rússlandi. Verð á fosfór og þar með áburði hefur rokið upp. Köfnunarefnið er hins vegar hvað mikilvægast fyrir gróðurvöxt, það er um 70% innihalds tilbúins áburðar en 40-60% seyrunnar, sem er í sjálfu sér ágætt hlutfall miðað við annan húsdýraáburð, svo sem kúamykju og hrossatað. Fiskeldisseyran, sem inniheldur bæði úrgang frá fiskunum og fóðurleifar, er með sambærilegt eða meira köfnunarefni en dýraúrgangurinn, sem og meiri fosfór, en vantar kalíum og einnig magnesíum til að uppfylla að fullu næringarþarfir plantna. Hjá Matís standa yfir rannsóknir á því hvort hægt sé að hækka hlutfall köfnunarefnisins með örverum. Í verkefninu var fyrst og fremst horft á eldi á landi, enda er það unnið með First Water sem byggir nú upp slíkt eldi. Mikill áhugi er á að nýta seyruna til jarðræktar, því það er öllum til gagns að missa sem minnst frá sér af lífrænum úrgangi í út í umhverfið. Á sama tíma er á þennan hátt unnt að innleiða hugmyndafræði hringrásarhagkerfisins með því að framleiða umhverfisvænan lífrænan áburð eða jarðvegsbætur úr því sem áður hefði talist úrgangur.

Að finna leiðir til söfnunar og fullrar nýtingar á fiskeldisseyru er umfangsmikið mál sem vart er hægt að skilja eftir hjá frumframleiðunum einum að leysa. Í raun er þetta viðfangsefni, föngun og fullnýting fiskeldisseyru, samfélagslegt mál sem og alþjóðlegt út frá heimsmarkmiðum sameinuðupjóðanna (Heimsmarkmiðin um sjálfbæra þróun, á.á.). Að fanga og nýta seyru stuðlar að eflingu sjálfbærni og viðnámsþrótti okkar sem samfélags út frá hugmyndum hringrásarhagkerfisins; að halda öllum næringarefnum innan hringrásar ásamt því að stuðla að fæðuöryggi okkar sem þjóðar. Efling sjálfbærnis og innleiðing heimsmarkmiða sameinuðu þjóðanna er eitt af stefnumálum ríkisstjórnar Íslands (Stjórnarráð Íslands, á.á.). Með fyrrgreindar áskoranir í huga, hófst samtali Landeldis [nú First Water] og Matís um samstarf að verkefni þar sem megin markmiðið væri að fá fangaða fiskeldisseyru án þess að skerða nýtingarmöguleika hráefnisins. Þessar áskoranir eru umfangsmiklar og krefjandi en jafnframt hluti af; daglegu starfi sérfræðinga Matís og raunstöðu fyrirtækja í frumframleiðslu líkt og First Water.

Fiskeldisseyra er vannýtt auðlind sem vert er að líta til sem aukaafurð frá landeldi. Ástæður þess að fiskeldisseyra er og hefur ekki verið nýtt sem skyldi í dag er einna helst tilkomin vegna þess hve hratt landeldi hefur þróast á síðustu árum, og vegna lítillar þekkingar á söfnun og vinnslu hráefnisins. Því er

¹ Í skýrslunni er seyra úr fiskeldi ávallt nefnd fiskeldisseyra til öruggrar aðgreiningar lesandans á t.d. mannaseyru. En mannaseyra, líka nefnt svartvatn, er kölluð seyra og við yfirlestur skýrslunnar þótti mikilvægt að aðgreining á þessum tveim hráefnum væri skýr.

þekking og reynsla á nytjum fiskeldisseyru því miður fremur lítil hér á landi, sem og erlendis, og það sama má segja um stöðu rannsókna. Á síðustu árum hefur þó færst aukinn áhugi á að kanna innihald og nýtingarmöguleika hráefnisins og hafa þær rannsóknir sýnt að Fiskeldisseyra hefur til að bera öll þau næringarefni sem eftirsótt eru m.a. í landbúnaði, (NPK) (Jónas Baldursson o.fl., 2022; Anna Berg Samúelsdóttir o.fl., 2023).

1.1. Umhverfisáhrif

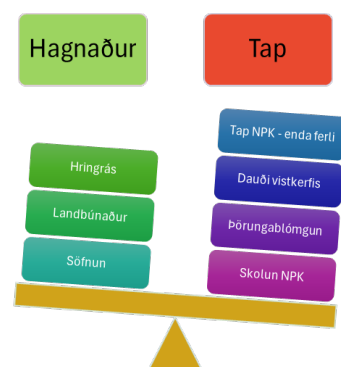
Umhverfisáhrif af lífkolum úr fiskeldisseyru eru flókin og geta verið mismunandi eftir því hvernig lífkolin eru framleidd og hvernig þau eru notuð. Helstu áhrifin sem ber að vega eru vegna áhrifa framleiðsluferlisins sjálfs. Ef lífkolin eru framleidd með umhverfisvænni aðferð, eins og t.d. með notkun á endurnýtanlegum orkugjöfum, gæti það stuðlað að minni áhrifum á umhverfið almennt. Þegar lífkol úr fiskeldisseyru er notað í landbúnaði eða við jarðvegsbætur gæti það haft áhrif á jarðveg, plöntur og lífríki í umhverfinu. Lífkolin gætu stuðlað að jarðvegsbindingu og auknum vexti plantna, sem getur haft jákvæð áhrif á jarðveginn og lífríkið. Hins vegar, ef lífkolin innihalda mengandi efni eða ef það er notað of mikið, gætu áhrifin orðið neikvæð á jarðveg, vatnsgæði og lífríki. Til að meta umhverfisáhrif lífkols úr fiskeldisseyru er nauðsynlegt að taka tillit til allra þátta í framleiðsluferlinu og notkun þeirra. Þetta gæti innifalið viðhaldslausnir, meðferð efna, notkun, endurvinnslu, auk umhverfisáhrifa framleiðsluferlisins. Í ljósi þessara þátta er mikilvægt að framleiðendur og notendur lífkols úr fiskeldisseyru taki tillit til umhverfisáhrifa og reyni að minnka neikvæð áhrif með hagkvæmum og umhverfisvænum framleiðsluaðferðum.

Umhverfisáhrif þess að fiskeldisseyru er ekki safnað úr skolvatni frá fiskeldiskerjum í landeldi, leiðir til þess að næringarríkt skolvatnið er leitt út í fráveitukerfið og í næsta vistkerfi nær svæða starfsstöðvanna sem oftast eru ár eða strendur. Næringarríkt, óhreinsað fiskeldisskolvatn sem ríkt er af NPK, sem leitt er út í næsta vistkerfi eykur hættu á að ofauðgun eigi sér stað. Áhrif ofauðgunar á sér margar birtingarmyndir fyrir vistkerfi, en taka þarf tillit til þess að íslensk vatnavistkerfi eru fremur næringarsnauð og þar með búsvæði lífvera sem velja slíkt umhverfi. Ef ofauðgun af völdum N og P verður í vatnakerfum getur hafist ferli er veldur dauða vistkerfisins, sökum súrefnisþurrðar. Ferlið í sinni einföldustu mynd er; vöxtur þörunga eykst vegna tilkomu N og P út í vistkerfið, þörungablómgun hefst, sólarljós kemst styttra niður undir yfirborð, niðurbrot vegna rotnunar hefst, vegna niðurbrots ganga örverur á súrefni, niðurbrot þróast yfir í loftfirrt niðurbrot, eitraðar gastegundir myndast (H₂S og NH₃) og að lokum leiðir þetta ferli til dauða lífvera vistkerfisins (Abid A. Ansari og Sarvajeet Singh Gill 2014).

Hætta á að þörungablómgun hefjist í vistkerfum sem hafa orðið fyrir eða eru nú þegar orðin fyrir ofauðgun hér á landi er umtalsverð í ljósi breyttra veðurskilyrða af völdum hamfarahlýnunar (Alþingi, 2022). Út frá ofangreindum neikvæðum áhrifum þess að losa fiskeldisseyru út í umhverfið er ljóst að til mikils er að vinna að ná seyrinni úr skolvatninu svo það hráefni nýtist landbúnaði, og stuðli þar með að eflingu hringrásar.

En eins og máltækið segir „það er hægara sagt en gert“ að vinna nýtanlegt hráefni s.s. jarðvegsbæti úr skolvatni

frá landeldi enda megin áskorun verkefnisins Lífkol úr landeldi - Allt frá umsókn til gerðar þessarar lokaskýrslu. En það að ná seyrinni og þeim næringarefnum sem hún inniheldur gefur gríðarleg



Mynd 1, Nýting fiskeldisseyru - Hagnaður vs. Tap

tækifæri til frekari vinnslu á jarðvegsbætandi hráefnum s.s. lífkolum. En stuðlar jafnframt að heilbrigðara vatnavistkerfi í kerjunum sem er mikilvægt fyrir endurnýtingu vatns og nýtir þar með betur vatnsauðlindir fyrirtækisins; umhverfisvænt og hagkvæmt.

Íslenskur landbúnaður stendur nú sem aldrei fyrr frammi fyrir miklum áskorunum varðandi mikilvægi þess að efla sjálfbærni búskapar vegna hækkandi verða aðfanga m.a. tengt átökum í heiminum (Bjarni Rúnarsson, 2022). Einnig er ljóst að aðgengi að innfluttum tilbúnum áburði á viðráðanlegum verðum er ekki sjálfgefið, enda eru ýmis efni í tilbúnum áburði takmarkaðar auðlindir. Á undanförunum árum hefur innflutningur á tilbúnum áburði verið í kringum 50 þúsund tonn á ári, en mögulegt takmarkað aðgengi að slíkum áburði hefur verið skilgreint sem ein af helstu áskorunum landsins á sviði fæðuöryggis (Erla Sturludóttir ofl., 2021). Sú mynd sem dregin er hér fram er alvarleg í ljósi þess að ef bændur geta ekki framleitt matvæli er fæðuöryggi okkar sem þjóð ógnað. Því er það mikill fengur fyrir íslenskan landbúnað að fá inn á markaðinn hliðarafurð frá landeldi sem nýtist sem jarðvegsbætir. En áætlað magn fiskeldisseyru frá First Water miðað við full afköst árið 2030 er skv. útreikningum fyrirtækisins um 116.000 tonn á ári.

1.2. Staða þekkingar

Undanfarin ár hafa rannsóknir og þróun í lífkolunartækni aukist með áherslu á framleiðsluáðferðir, fjölbreytta notkun lífkola og dýpri skilning á eiginleikum þess. Sundrun (Pyrolysis) er áfram hin eiginlega aðferð við framleiðslu lífkola, sem felur í sér varma niðurbrot lífmassa við loftfirrtar aðstæður (Lehmann, J. & Joseph, S., 2015). Samhliða þessu hafa gösunarferli rutt sér til rúms, sem býður upp á aðrar leiðir til að búa til lífkol ásamt verðmætu gasi (Shackley, S., o.fl., 2009). Nýlega hefur hydrothermal carbonization (HTC) komið fram sem vænleg leið, þar sem heitt vatn er notað undir þrýstingi til að breyta lífmassa í kolvetni, forvera lífkols (Lehmann & Joseph, 2015). Háþróuð greiningartækni, þar á meðal rafeindasmásjár (SEM), röntgengeislun (XRD) og Fourier-transform innrauð litrófsgreining (FTIR), gegna lykilhlutverki við að einkenna eðlis- og efnafræðilega eiginleika lífkolunar, skýra uppbyggingu þess, yfirborð og frumefnasamsetningu. Þegar horft er fram á veginn virðist lífkolon lofa góðu, þar sem áframhaldandi rannsóknir munu opna nýjar leiðir til nýsköpunar. Samstarf á milli fræðimanna, iðnaðar og stefnumótandi aðila er nauðsynleg til að knýja fram innleiðingu lífkols sem öflugt tæki til að takast á við alþjóðlegar umhverfisáskoranir.

Sé litið til þess hve mikil auðlind fiskeldisseyran er fyrir íslenskt hagkerfi og þá sérstaklega fæðuöryggi okkar er staða þekkingar á málaflokknum ekki eins mikil og óskandi væri. Ástæða þessa má einna helst rekja til þess að hingað til hefur þörf eftir hráefninu ásamt kröfum í umhverfismálum ekki þrýst á að fiskeldisseyran sé skilin frá skolvatni eldisstöðva. Það hefur því ekki verið tilefni til þess að líta í þessa átt fyrr en nú vegna ytri þrýstings út frá kröfum um sjálfbærni.

Íslenskar rannsóknir er varða málaflokkinn eru fáar, en afar mikilvægar fyrir framtíð og möguleika á nýtingu hráefnisins. Evrópuverkefnið *AcceWater*, leitt af AGENSO² í Grikklandi, snýst um hröðun hringrásar vatns í matvæla- og drykkjariðnaði víðsvegar um Evrópu, en helsta markmið verkefnisins er að nýta verðmæti úr vatni og minnka ferskvatnsnotkun við matvælavinnslu. Fjölmargir matvælaframleiðendur og rannsóknaraðilar koma að verkefninu, en Matís leiðir þann verkþátt sem snýr að Íslandi og hér er áhersla lögð á landvinnslu hvítfisks og landeldi laxa. Í landeldi eru tilraunir í gangi með nýtingu á fiskeldisseyru til áburðarframleiðslu. Þar er komið kerfi sem síar seyrana og skilar sér í þurrefnismassa sem hægt er að nýta m.a. í lífgas eða áburð. Annað verkefni sem vert er að nefna

² AGENSO – Agricultural and Environmental Solutions

og hefur beina tengingu við fiskeldisseyru og var einnig styrkt af Hringrásarsjóði er verkefnið *Örverur til auðgunar fiskeldisseyru*, verklok voru í desember 2023. Niðurstöður þess verkefnis sýndu m.a. að næringarinnihald seyru er afar hentugt til notkunar í landbúnaði þar sem hlutfall NPK var ekki síðra en í kúamykju. Einnig kom fram í vinnustofu þess verkefnis að sérfræðingar innan geirans telja mikla þörf á frekari rannsóknum til að tryggja það að fiskeldisseyra verði að þeirri gæðavöru sem hún á kosti til (Anna Berg Samúelsdóttir o.fl., 2023). Önnur verkefni sem hafa mikilvæga þýðingu fyrir þróun og möguleika á nýtingu lífrænna hráefna til áburðargerðar er m.a. verkefnið *Greining á magni lífrænna áburðarefna á Íslandi og tækifæri til aukinnar nýtingar*. Verkefnið tók saman rauntölur um það magn hráefnis sem nú þegar fellur til af lífbrjótanlegum úrgangi og hefur þau næringarefni sem til þarf fyrir íslenskan landbúnað. Niðurstöður sýndu að tækifærin til aukinnar nýtingar lífbrjótanlegs úrgangs lægu einna helst í fiskeldisseyru, sláturúrgangi og alifuglaskít (Jónas Baldursson o.fl., 2022). Þá er rétt að geta þess að nýlega hófst verkefnið Terraforming LIFE, þar sem stefnt er að því að koma á fót verksmiðju þar sem framleiddur verður lífrænn áburður úr hliðarstraumum fiskeldis og landbúnaðar (<https://terraforming.is/>).

1.3. Lagaleg tenging

Samkvæmt lögum um meðhöndlun úrgangs nr. 55/2003 þurfa fyrirtæki að sjá um allt er varðar aukaafurðir vinnslunnar s.s. söfnun og vinnslu alls hráefnis sem fellur til við framleiðsluna (Alþingi, 2021; Alþingi, 2003). Kröfur eru jafnframt gerðar til fyrirtækja í frumframleiðslu að koma endurnýtanlegum úrgangi, líkt og fiskeldisseyru, til viðeigandi meðhöndlunar og nýtingar. Taka þarf þó tillit til meðhöndlunar og nýtingar slíks hráefnis s.s. út frá forvörnum og verndun náttúru og umhverfis og eflingu hringrásarhagkerfisins (Alþingi, 2021). Því er það mikilvægt að finna slíku hráefni, líkt og fiskeldisseyru, góða úrvinnslu sem stendur ekki einungis undir kostnaði vegna vinnslunnar heldur er til hags fyrir náttúru og umhverfi. Lagalega hliðin getur þó verið snúin því það er ekki einsýnt hvort og þá hvernig megi nýta fiskeldisseyru s.s. sem áburð.

Aukaafurð er sbr. 20. gr. laga nr. 55/2003 um meðhöndlun úrgangs efni eða hlutur sem verður til við framleiðsluferli þar sem megintilgangurinn er ekki framleiðsla þess efnis sem telst vera aukaafurð. Fiskeldisseyra er því skv. lögum þessum aukaafurð sem lífbrjótanlegur úrgangur úr frumframleiðslu og skal meðhöndlun og endurnotkun taka mið af áhættuþáttum slíks hráefnis.

Hvað varðar áhættuflokkun og þar með notkunarmöguleika fiskeldisseyru sem áburð þá er fiskeldisseyra samkvæmt Evrópureglugerð nr. 1069/2009 í áhættuflokki 2 yfir hliðarafurðir dýra (animal by-products). Áhættuflokkunin er á bilinu 1-3; og inniheldur eftirfarandi flokka (EU, 2009):

- Flokkur 1: Hliðarstraumar sem teljast mjög hættulegir, á borð við afurðir sem taldar eru smitaðar af riðuveiki og creutzfeldt-jakob sjúkdómnum, sem og þá hlutar dýra sem gætu helst borið slíka sjúkdóma þ.e. heila og mænu. Undir þennan flokk falla einnig hræ gæludýra, dýra úr dýragörðum, og dýra sem framkvæmdar hafa verið tilraunir á.
- Flokkur 2: Hliðarstraumar sem teljast hættulegir og eru ekki ætlaðir til manneldis s.s. sjálfdauð dýr, saur, innihald úr meltingarvegi ofl. Í ákveðjum tilfellum má hins vegar nýta þessa strauma sem lífbrjótanlegan úrgang sem hægt er að endurnýta að teknu tilliti til meðhöndlunar og áhættuþátta s.s. smitvarna og niðurbrots óæskilegra baktería.
- Flokkur 3: Hliðarstraumar frá slátrun og vinnslu dýra til manneldis, en eru ekki endilega ætlaðir til manneldis. Í þessum flokki eru einnig afurðir úr dýraríkinu gða matvæli sem innihalda afurðir úr dýraríkinu, sem eru ekki lengur ætlaðar til manneldis, en hafa ekki í för

með sér hættu fyrir heilbrigði manna eða dýra. Í þennan flokk falla til dæmis hefðbundnar hliðarafurðir á borð við fiskhousa, lifur, hrogn o.s.frv.

Í ljósi þess að fiskeldisseyra er flokkuð í áhættuflokk 2 sem úrgangur (EU, 2009) þarf að uppfylla ákveðnar kröfur til að hægt sé að nýta hana sem áburð. Samkvæmt reglugerð nr. 674/017 um heilbrigðisreglur að því er varðar aukaafurðir úr dýrum og afleiddar afurðir sem ekki eru ætlaðar til mannelis eru ákveðnar kvaðir við notkun seyrunnar, sem dæmi sé fiskeldisseyra borin á beitolönd eða tún ætluð til sláttu skal bera fiskeldisseyru á fyrir 1. nóvember ári áður en ábornu svæðin eru ætluð til nýtingar. Jafnframt er fiskeldisseyra óheimil sem áburður í grænmetisrækt ætluðu til mannelis en á ökrum fyrir korn og aðra fóðurrækt er leyfilegt að bera fiskeldisseyru á að vori að því tilskyldu að hún sé plægð niður í jarðveginn skv. lögum nr. 7/1998 um hollustuhætti og mengunarvarnir og nr. 55/2003 um meðhöndlun úrgangs.

Hvað varðar svo notkun hráefnis á borð við fiskeldisseyru, þetta varðar jafnframt moltu o.fl. sambærileg hráefni, sem áburð þá er vert að benda á skv. fyrrgreindum áhættuþáttum þá þarf að huga að öllum kröfum út frá heilbrigði og hollustu manna og dýra ásamt náttúru og umhverfis. Af þeim ástæðum er núgildandi lög eða stjórnýsla í kringum nýtingu úrgangs fremur flókin fyrir þann sem slíkt vill nytja sbr. niðurstöður verkefnisins Örverur til auðgunar fiskeldisseyru (Anna Berg Samúelsdóttir o.fl., 2023). Eftirfarandi lög, og þar að lútandi reglugerðir, er hafa áhrif á nýtingu fiskeldisseyru sem áburð eru:

- EB 1009/2019 Fertilizing products
- EB 1069/2009 Laying down 1774/2002 animal by-products
- IS 22/1994 lög um eftirlit með fóðri, áburði og sáðvöru
- IS 7/1998 lög um hollustuhætti og mengunarvarnir
- IS 55/2003 Lög um meðhöndlun úrgangs ásamt breytingum af alþingi 13. júní 2021
- IS 674/2017 Reglugerð um heilbrigðisreglur að því er varðar aukaafurðir úr dýrum og afleiddar afurðir sem ekki eru ætlaðar til mannelis.

Umsjón með lögum er varða nýtingu á fiskeldisseyru er á hendi tveggja stjórnýslustofnanna þ.e. Umhverfisstofnunar og Matvælastofnunar. Undir Umhverfisstofnun er svo þriðja umfangsmikla stjórnýsluvaldið sem líta þarf til þ.e. Heilbrigðiseftirlitið sem er á forræði sveitarfélaganna. Fiskeldisseyra heyrir undir lög nr. 55/2003 um meðhöndlun úrgangs enda er hráefnið flokkað sem aukaafurð úr dýrum og skv. því heyrir það undir gildissviði Umhverfisstofnunar. Hvað varðar svo nýtingu á fiskeldisseyru sem áburðarefni þá er það hjá Matvælastofnun, sem ber ábyrgð á áburðarlöggjöfni, og því er skörun á milli þessara tveggja stofnanna þegar kemur að heimildum til nýtingar á hráefni líkt og fiskeldisseyru sem áburðarefni.

1.3.1. Starfs- og rekstrarleyfi

Starfsleyfi landeildisstöðva, útgefið af Umhverfisstofnun (UST), byggir á lögum um nr. 7/1998 um hollustuhætti og mengunarvarnir og þar að lútandi reglugerð nr. 785/1999 um starfsleyfi fyrir atvinnurekstur sem getur haft í för með sér mengun. Hvað varðar mengunarvarnir ber fyrirtækjum í rekstri sem getur haft í för með sér mengun að nýta sér „Bestu fáanlegu tækni hverju sinni (BAT, e. Best Available Techniques)“ sem skilgreind er fyrir mengunarvarnir. Og þar sem mengun getur færst á milli s.s. vatns og jarðvegs skal séð til þess með BAT að lágmarka neikvæð áhrif á umhverfið.

Í fiskeldi hefur BAT verið skilgreint í skýrslu Norræna ráðherraráðsins er ber heitið *BAT for fiskeopdræt i Norden. Bedste tilgængelige teknologier for Akvakultur i Norden* (Jesper Heldbo (ritstj.), 2013).

Framkvæmdaraðili rekstrarleyfis skal skv. til að mynda í lið 1.7 í rekstrarleyfi First Water fylgjast með þróun á BAT og nýjum reglum um mengunarvarnir. Einnig er það á ábyrgð framkvæmdaraðila að hafa tímasetta áætlun til að draga úr mengun eins og kostur er og þá í samráði við UST. En starfsleyfi fyrirtækisins nær yfir allt er varðar áhrif rekstursins á náttúru og umhverfi, allt er rýnt og metið, sýni tekin reglulega og fyrirtækinu gert skylt að hafa strangt innra eftirlit er tekur á nær öllu er varðar umhverfispætti rekstursins.

1.4. Verkbættir

Í verkefninu *Lífkol úr landeldi* var framkvæmdinni skipt upp í sex verkþætti (VP) og ábyrgð á þeim útdelt út frá sérfræðiþekkingu og reynslu framkvæmdaraðila. Við þróun og úrvinnslu verkefna er nær óumflýjanlegt að einhverjar breytingar verði á framkvæmd VP, eins að tilflutningur verði á ábyrgð þeirra, og er þetta verkefni engin undantekning frá því og verður frekar útskýrt í kafla 1.6. *Yfirlit skýrslu*.

Eftirfarandi eru þeir verkþættir sem lagt var upp með í verkefnalýsingu, ábyrgð og úrvinnsla:

VP1: Föngun og söfnun seyru – ábyrgð Matís

- Föngun seyru úr skolvatni hjá Samherja fiskeldi í Axarfirði – handvirkt
- Söfnun framkvæmd með 50 µm filter sambærilegt og í Blue Ocean Technology búnaði – handvirkt.

VP2: Efnagreining – ábyrgð Matís

- Rannsóknir og ferlagreining fyrir hráefnið.
- Meðferð hráefna til lífkolagerðar.

VP3: Framleiðsla lífkola – ábyrgð Matís

- Gagnasöfnun, bestun ferla og samsetning.
- Kolun seyru, búfjárúrgangs og blöndu af seyru og búfjárúrgangi.

VP4: Hönnun búnaðar – ábyrgð First Water

- Hönnun og uppsetning búnaðar til föngunar fiskeldisseyru → Tækjabúnaður frá Blue Ocean Technology.
- Hönnun og innbygging sérútbúnaðar í miðjukeilu í eldiskeri annarsvegar.

VP5: Varðveisla næringarefna/tromlusía - ábyrgð Matís

- Varðveisla næringarefna í mismunandi möskvastærð og flæðishraða í tromlusía
- Mat á varðveislunæringarefna → Matís vann mat út frá söfnun seyrunnar með 50 µm filteri

VP6: Verkstjórn og miðlun – ábyrgð Matís

- Fundir, samskipti og framvinda verkefnis
- Skýrslugerð, verkefnasíða og kynningarefni/fréttir

1.5. Verkstjórnun

Verkefninu var stýrt af Matís, sem annaðist allt starf er varðaði efnagreiningar, sýnatöku, söfnun seyru, lífkolun, greiningu á varðveislunæringarefna við síun og verkstjórn. First Water sá um vinnuþátt er varðaði hönnun búnaðar og var í samstarfi við Matís við skýrslugerð. Samherji Fiskeldi lagði verkefninu lið við að veita aðgengi að búnaði sínum við söfnun á fiskeldisseyru til efnagreiningar og lífkolunar.

Úrvinnsla gagna og skýrsluskrif var á ábyrgð Matís. en First Water tók virkan þátt í verkefnafundum og lokafrágangi á skýrslu.

1.6. Yfirlit skýrslu

Skýrslan veitir upplýsingar um aðferðir og niðurstöður á rannsóknarvinnu verkefnisins. Í inngangi, kafla 1., er gerð grein fyrir tilurð verkefnisins ásamt umhverfisáhrifum, stöðu þekkingar, lagalegri tengingu og vinnuþáttum þess. Kafla 2., Framkvæmd og niðurstöður, nær því yfir vinnuþætti 2. - 4. en þar er m.a. gerð grein fyrir rannsóknarniðurstöðum efnagreiningar á hráefninu, sagt frá söfnun og svo lífkolun hráefnisins og að lokum er fjallað um yfirstandandi hönnun búnaðar til söfnunar á fiskeldisseyru hjá First Water. Í kafla 3., Umræður, er fjallað um niðurstöður rannsóknarinnar út frá umhverfisáhrifum og möguleikum framleiðslunnar ásamt stöðu þekkingar og lagaumhverfis. Í kafla 4. Lokaorð, eru niðurstöður dregnar saman og komið með tillögur um næstu skref fyrir framtíð lífkolunar á fiskeldisseyru.

2. Framkvæmd og niðurstöður

Áburður er undirstaða allrar akuryrkju í heiminum og lang stærstur hluti akuryrkju er keyrður áfram með notkun tilbúins áburðar. Helstu næringarefni í tilbúnum áburði eru nitur (N), fosfór (P), kalí (K), kalk (Ca), og brennisteinn (S) auk fjölmargra snefilefna. Þó að tilbúinn áburður sé uppistaðan í nútíma akuryrkju og hafi verið talsvert notaður til uppgræðslu þá er töluvert notað af lífrænum efnum bæði í akuryrkju og uppgræðslu. Á Íslandi er t.d. öll kúamykja nýtt til túnræktar og að öllum líkindum allt sauðatað líka. Laxeldi á landi fer ört vaxandi hér á landi og er áætlað að framleiðslan verði komin upp í 100 – 150 þús. tonn eftir 5 ár. Það mun skila sér í u.þ.b. 215 – 323 þús. tonnum af fiskeldisseyru með u.þ.b. 8-10% þurrefni (Jónas Baldursson o.fl., 2022). Fiskeldisseyra eins og önnur lífræn efni innihalda mikilvæg næringarefni sem geta nýst sem áburður fyrir akuryrkju eða til uppgræðslu lands. Með þetta magn þá er til mikils að vinna svo þessi hliðarafurð renni ekki til sjávar þar sem næringarefni tapast. Fiskeldisseyra inniheldur mikið af fosfór, en fosfór hefur verið skilgreint sem „critical raw material“ og eru mjög fáar fosfórnamur að finna í Evrópu. Því reiðir Evrópa sig nær alfarið á innflutning og er þ.a.l. viðkvæm fyrir markaðssveiflum, efnahags- og stjórnmálakreppum (European Commission, 2020; Krüger og Adam, 2017).

Í verkefninu voru kannaðir þeir möguleikar sem eru til staðar við að framleiða lífkol úr fiskeldisseyru. Verkefnið fólst einnig í því að fá yfirlit yfir þau næringarefni sem til staðar eru í fiskeldisseyru, hvernig safna má þeim sem best úr starfsstöð First Water og svo þeim búnaði sem þarf til að framleiða lífkol. Fortilraunir á lífkolaframleiðslu úr fiskeldisseyru voru framkvæmdar með búnaði frá Herði Guðmundssyni á Víðivöllum ytri á Fljótsdal, en vegna mikils vatnsinnihalds í fiskeldisseyru má áætla að einungis hafi náðst að þurrka hana, en ekki lífkola.

2.1. Efnagreiningar hráefnis

Efnagreiningar fóru fram á fiskeldisseyru frá Samherja fiskeldi í nóvember 2023, og var hún einnig nýtt til lífkolagerðar hjá Skógræktinni. First Water skilaði inn fiskeldisseyru til efnagreiningar í janúar 2024. Helstu næringarefni sem finna má í áburði voru mæld ásamt stein- og snefilefnum og þungmálum. Til samanburðar er svo fiskeldisseyra sem mæld var í verkefninu *Sjálfbær áburðarframleiðsla* (Jónas Baldursson o.fl., 2022).

Mikill breytileiki getur verið á fiskeldisseyru á milli fiskeldisstöðva og einnig eftir því hvenær og hvar í ferlinu sýni eru tekin. Fiskeldisseyra hefur vanalega á milli 1-12 % þurrefni og inniheldur mikilvæg næringarefni fyrir plöntur og jarðveg (Jónas Baldursson o.fl., 2022). Fiskeldisseyra frá First Water innihélt 2,1 g/kg af fosfór. Ef miðað er við framleiðslu þeirra þegar stöðin verður fullkláruð (um 55.000

tonn af eldislax árið 2030) skilar það sér í u.þ.b. 118.250 tonnum af fiskeldisseyru með 8% þurrefni eða 9.460 tonn af þurrefni á ári.

Samkvæmt upplýsingum frá Ráðgjafamiðstöð Landbúnaðarins (RML) er áætlað nýtanlegt innihald af NPK í kúamykju með 6% þurrefnisinnihaldi um 1,8 N, 0,5 P og 1,6 K. Miðað við þessar tölur er NPK hlutfall fiskeldisseyrunnar (sjá tafla 1., og nánar í viðauka I) í samanburði við búfjáraburð afar áhugavert og gefur í raun tilefni til frekari rannsókna .

Tafla 1 - Efnagreiningar á hráefni (blautvigt) notað í tilraunir ásamt efnamælingum úr verkefninu Sjálfbær áburðarframleiðsla.

	Eining	Fiskeldisseyra First Water	Fiskeldisseyra Samherji	Fiskeldisseyra SÁ
Þurrefni	%	8,2	11,9	6,2
Fita	g/kg	8,0	4,0	-
Nitur (N)	g/kg	1,8	3,4	3,9
Ammoníak (NH ₃)	g/kg	0,5	0,7	0,9
Fosfór (P)	g/kg	2,09	2,98	2,6
Kalíum (K)	g/kg	0,16	0,8	0,04
Brennisteinn (S)	g/kg	-	8,93	0,31
Natríum (Na)	g/kg	3,6	12,04	0,41
Kalsíum (Ca)	g/kg	4,4	7,9	4,97
Magnesíum (Mg)	g/kg	0,79	2,09	0,21

Í þessum 9.460 tonnum af þurrefni sem má finna í fiskeldisseyru frá fullkláraðri stöð First Water má áætla að séu um 241 tonn af fosfór, 208 tonn af nitri og 18 tonn af kalíum. Á hverju ári er innflutt u.þ.b. 50 þús tonn af tilbúnum áburði með u.þ.b. 11.000 tonn af nitri, 1.500 tonn af fosfór og 2.500 tonn af kalíum. Eins og áður hefur komið fram er þörfin brýn fyrir að ná að nýta þann fosfór sem fellur til á Íslandi og því um umtalsvert magn af fosfór sem hægt er að koma aftur inn í hringrásina frá fiskeldisstöð First Water.

Efnagreiningar á snefilefnum og þungmálum sýndu að fiskeldisseyra frá First Water og Samherja fiskeldi voru innan marka fyrir kröfur Matvælastofnunar (MAST) fyrir lífbrjótanleg áburðarefni. Króm (Cr) magn var töluvert í fiskeldisseyru frá First Water en undir viðmiðum MAST sem setur kröfur um undir 2 mg/kg þurrefnis af 6-gildu krómi, en króm er til staðar á nokkrum formum. Sex gilt króm kemur yfirleitt frá iðnaðarferlum t.d. við þunga framleiðslu á leðri eða raftækjum.

Tafla 2 - Þungmálmur og snefilefni til að uppfylla kröfur um lífrænan áburð.

		Kröfur lífræns áburðar	Fiskeldisseyra First Water	Fiskeldisseyra Samherji	Fiskeldisseyra SÁ
Cd	mg/kg þ.e.	<1,5	0,22	0,44	0,12
Pb	mg/kg þ.e.	<120	0,32	0,33	0,23
Ni	mg/kg þ.e.	<50	12,32	3,03	0,31
As	mg/kg þ.e.	<40	0,96	5,45	0,15
Zn	mg/kg þ.e.	<800	345,73	495,13	75,67
Cu	mg/kg þ.e.	<300	23,78	15,71	2,24
Hg	mg/kg þ.e.	<1	<0,006	0,05	0,01

Örverumælingar sýndu að salmonella var ekki til staðar í neinum sýnum og magn e.coli í fiskeldisseyrunni var undir mælinæmi. Hins vegar mældist magn e.coli í hrossataði um 1.100 gerlar

miðað við 1 g sýni, en magn í lífkoluðu hrossataði var undir mælinæmi og því hafa e.coli bakteríurnar drepist við lífkolonina. Efna- og örverumælingar gerðar á hráefnum í verkefninu sýna að það er engin fyrirstaða fyrir því að vinna áfram með fiskeldisseyru og koma henni í nýtingu annaðhvort á tún eða til uppgræðslu lands. Í raun er brýn þörf á því bæði umhverfislega séð og kostnaðarlega þar sem kostnaður við að farga þessum lífmassa er gríðarlegur.

2.2. Framleiðsla lífkola

Söfnun seyru frá First Water var reynd á tímabilinu ágúst – september 2023, því miður án árangurs sökum bilunar í tækjabúnaði þeirra. Þar sem fáir eru nú þegar komnir af stað með landvinnslu laxeldis á Íslandi var brugðið á það ráð að hafa samband við Samherja fiskeldi, sem tók vel í beiðni þess efnis að safna fiskeldisseyru úr fráveituvatni fiskeldisskerja í Axarfirði. Samherji hefur stundað landeldi á lax og bleikju í yfir 20 ár í Axarfirði og hafði á þeim tíma sem haft var samband, október 2023, fest kaup á seyru söfnunarbúnaði frá Blue Ocean Technology³, BOT. Þegar söfnunin fór fram, miðvikudaginn 1. nóvember 2023, var unnið að því að tengja þennan búnað við fráveitu kerjanna. Þó svo að þær framkvæmdir hafi staðið yfir þá þurfti á þessum tímapunkti að skilja seyruna handvirkt úr fráveituvatninu.

Hugmynd að búnaði til notkunar á skiljun seyrunnar var fenginn úr mjólkurvinnslu og er notuð við ostaskiljun. Þanþol síunnar er gott og þéttleiki þ.e. möskvastærð síunnar nær sá sami og lagt er upp með að nota í síunabúnaði BOT, eða 50 µm (mynd 1. í viðauka I). Þéttleiki síunar gerir það að verkum að vatnið sem síast frá er samkvæmt sjónmælingu mjög tært. Það skal þó á það bent að ekki var tekið sýni úr því vatni sem síað var frá í þessari rannsókn, enda megin áhersla á fiskeldisseyruna; efnisgerð og möguleikar til frekari vinnslu. Það er því óljóst hversu mikið tapast af næringarefnum með því vatni sem skolað er frá við síun fiskeldisseyrunar í fráveituvatninu. Það sem er vitað er hvað eftir verður af næringarefnum í fiskeldisseyrunni eftir útskolun hennar og síun (sjá töflu 3).

Framkvæmd söfnunar: Filterspoki var staðsettur undir fráveituröri fráveituvatns frá fiskeldiskerjum. Pokinn var fylltur af fráveituvatni, vatninu svo þrýst út með handafli – fyrst þrýst út og svo undið upp á pokann til að ná sem mestu vatni úr fiskeldisseyrunni. Fiskeldisseyrurstar voru svo teknar úr filterspokanum og færðar í settank, mynd 2.



Mynd 2. Mynd af söfnun á fiskeldisseyru hjá Samherja Landeldi í Axarfirði. Á þessum tíma þurfti að safna seyrunni með handafli. Nú hefur verið settur upp söfnunarbúnaður frá Blue Ocean Technology sem safnar seyrunni á sambærilegan hátt með sama þéttleika filters, 50 µm.

³ Haft var samband við Heiðdís Smáradóttur, verkefna- og gæðastjóra hjá Samherja landeldi, og tók hún vel í beiðni Mátís um söfnun seyru á landeldisstöð þeirra í Axarfirði svo hægt væri að klára vinnuþætti 1, 2 og 3 fyrir áramótin 2023/24.

2.2.1. Lífkoluð fiskeldisseyra

Gerð var tilraun til að lífkola þrjú hráefni; fiskeldisseyru, hrossatað og blöndu af hrossataði og fiskeldisseyru (blanda 30/70 hrossatað/fiskeldisseyra). Lífkolunarbúnaðurinn sem stóð til ráðstöfunar fyrir verkefnið er færánlegur búnaður sem samanstendur af loftþéttum tanki inni í öðrum tanki. Eldiviður er settur í holrúm á milli tankana og kveikt upp í og kynnt þar til hiti nær 320°C, þá er gasinu sem myndast í innri tanknum hleypt í millirými og viðheldur eldinum þar til ekki kemur meira gas og efnið er orðið að kolum. Sýni voru sett í potta og inn í loftþétta tankinn. Viðurinn kolaðist vel og hrossataðið einnig, en fiskeldisseyran var of blaut og líklegt er að hún hafi einungis þurrkast. Reynt var að kola fiskeldisseyruna aftur en ólíklegt er að það hafi tekist þar sem kolefnismagn var lágt. Efnamælingar á hráefni og afurðum lífkolunar má sjá í töflu 3 hér fyrir neðan. Helstu niðurstöður lífkolunarferilsins var að fosfórinn helst í afurðinni en einnig salt, en saltmagn var 28% og því eru lífkolin ekki nothæf sem jarðvegsbætur þar sem þetta hátt hlutfall af salti hefur mjög líklega neikvæð áhrif á plöntur og jarðveg með því að draga til sín rakan úr plöntum.

Tafla 3 - Efnamælingar fyrir lífkolatilraun framkvæmd í búnaði frá Herði Guðmundssyni á Víðivöllum ytri í Fljótsdal⁴. Hráefni notað var fiskeldisseyra (FS), hrossatað (HT) og blanda af fiskeldisseyru og hrossataði (FM+HT)

	FS	HT	FM+HT	Lífkol FS	Lífkol HT	Lífkol FS+HT
C (%)	32,0	35,4	38,0	26,4	27,6	21,7
N (%)	0,3	1,5	0,6	1,9	1,4	1,0
P (%)	0,3	0,3	0,2	2,5	0,7	0,8
K (%)	0,1	2,6	0,5	0,6	5,9	1,3
S (%)	0,9	0,3	0,5	1,0	0,4	0,5
Salt (%)	3,0	0,5	1,9	28,1	1,6	4,8

Um fyrstu tilraun á að lífkola fiskeldisseyru og hrossatað var að ræða sem gefur góðar niðurstöður fyrir áframhaldandi rannsóknir á lífkolun. Nokkuð hefur verið um að lífkola timbur með góðum árangri en timbur er lágt í vatnsinnihaldi. Í kaflanum hér á eftir er rætt um mikilvægi vatnsinnihalds við lífkolun en þörf er á að lækka vatnsinnihald í hráefninu niður fyrir 40% áður en það er sett inn í lífkolaofninn. Fyrir fiskeldisseyru sem inniheldur gríðarlegt magn af vatni þarf að afvatna eða þurrka seyruna umtalsvert áður en lífkolun getur átt sér stað. Einnig inniheldur fiskeldisseyra frá landeldi á lax mikið salt sem þarf að skola út, því salt getur haft neikvæð áhrif á plöntur og jarðveg.

Eins og staðan er í dag þá er Blue Ocean Technologies að hanna sýna ferla til að hámarka möguleika á lífkolun á fiskeldisseyru með því að þurrka hana upp í 80% þurrrefni og fjarlægja saltið með útskolun. Fyrsta stóra keyrslan á fiskeldisseyru (u.þ.b. 3 tonn) verður framkvæmd í apríl 2024 en niðurstöður eru ekki aðgengilegar eins og er.

⁴ Lífkolunarvélín er ein sinnar tegundar hér á landi og í einkaeigu Harðar Guðmundssonar ábúanda að Víðivöllum Ytri í Fljótsdal og samstarfsfélaga hans Magnúsar Þorsteinssonar. Þeir nefna vélina Viðarkol og vinna með henni lífkol úr timbri í samvinnu við og fyrir Skógræktina.

2.3. Hönnun Búnaðar

2.3.1. Söfnun seyru

Við hönnun og útfærslu á eldiskerjum First Water hefur verið lögð mikil áhersla á að fanga sem mest af fiskeldisseyru sem verður til í framleiðslunni. First Water hefur m.a. hannað sérstakt botnstykki í eldiskerin sem er hluti af miðjusúlum kerjanna þar sem um 85-90% af fastefnum sem kemur frá eldisfisknum safnast saman og er leitt út með útrennslisvatni. Útrennslisrörin eru leidd út í útrásarskurð sem er sameiginlegur með fleiri kerjum. Lögum og lega útrásarskurðsins hefur verið hönnuð og útfærð þannig að vatnshraðinn í skurðinum er hafður eins hægur og mögulegt er til að fastefnin brotni ekki upp á leið sinni út í síustöðina. Við hönnun á útrennslisrörum, útrásarskurðinum og síustöðinni var stuðst við ítarlega CFD (Computational Fluid Dynamics Software) flæðihermun. First Water hefur nú þegar byggt litla síustöð sem byggir á sömu hönnun og tækni og fyrirhugað er að nota í endanlegri síustöð félagsins. Stöðin hefur nú verið rekin í meira en ár til tilrauna og þekkingaröflunnar, sem hefur reynst ómetanleg fyrir endanlega hönnun síustöðvarinnar sem fyrirhugað er að byggja á mikið stærri skala. Frá stöðinni kemur alla jafna um 50 rúmmetrar af seyru á mánuði og er hún notuð í dag beint sem áburður til tilrauna í uppgræðsluverkefni í Ölfusi. Því miður brást afhending á fiskeldisseyru frá þessum búnaði þegar það þurfti seyru til lífkolunar sl. haust.

2.3.2. Síun fastefna úr frárennslisvatni

Síustöðin sem First Water er að hanna annar um 15.000 l/s af frárennslisvatni og hefur verið ítarlega útreiknuð til þess að hámarka hreinsigetu og nýtni búnaðarins. Það er gert meðal annars með því draga úr rennslisraða í stöðinni sem dregur úr aflu iðustrauða, þetta gerir það að verkum að mun minni líkur eru á að fastefnin brotni niður og leysist upp í vatninu. Ákveðið hefur verið að nota tromlusíu frá CM Aqua í Danmörku með 50 μm möskvastærð. Samkvæmt ráðlegginum frá framleiðandanum er æskilegast fyrir hámarkssíun að sía í gegnum 50 μm síur, en þá ætti að vera hægt að fanga allt að 92% af fastefnum úr skolvatninu. Fyrrgreint er háð því að hægt sé að lágmarka niðurbrot á fastefninu á leið sinni inn í frásíunarstöðina. Mikill hamagangur, s.s. hraði vatns, veldur uppbroti á fastefnum sem getur minnkað síun fastefnis niður í 70% eða jafnvel neðar. Eftirfarandi graf sýnir t.d. hvaða áhrif það gæti haft ef vatnið í útrásinni myndi detta niður 0,7 m á fastefni skv. rannsókn sem framkvæmd var af Bríkar & Rösch (2005).

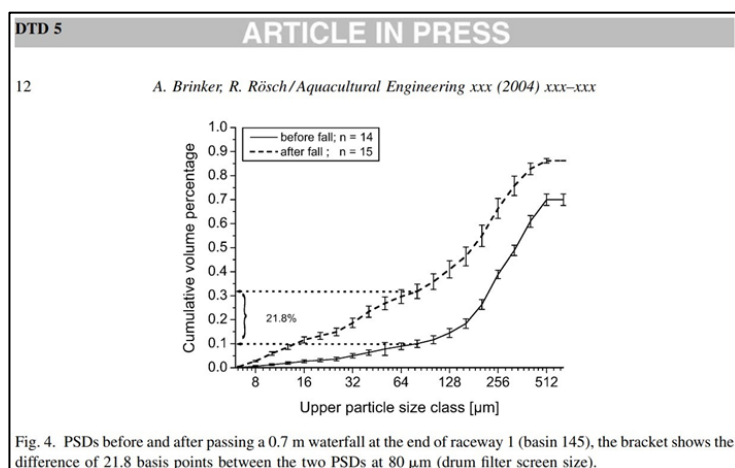
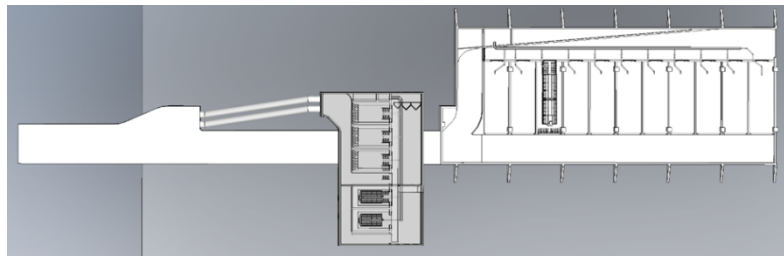


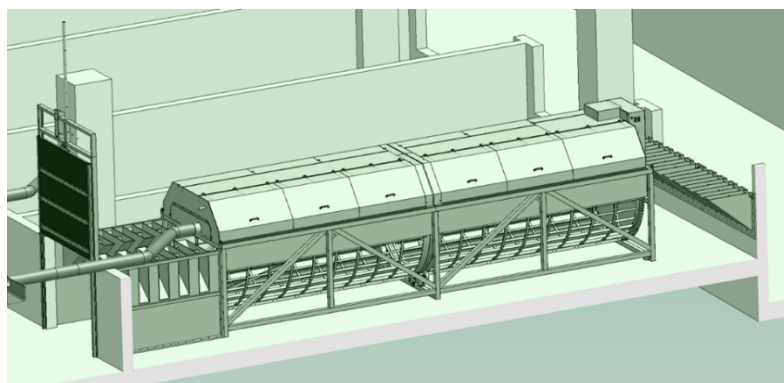
Fig. 4. PSDs before and after passing a 0.7 m waterfall at the end of raceway 1 (basin 145), the bracket shows the difference of 21.8 basis points between the two PSDs at 80 μm (drum filter screen size).

Mynd 3. Áhrif á fastaefni í frárennslisvatni við 0,7 fall, skv. Rannsókn Brinker og Rösch (2005).

Möskvastærð 50 µm er almennt talin lítil möskvastærð til síunar á frárennsli áður en vatnið fer út í sjó og er mögulegt að notast við allt að 120 µm ef markmiðið væri eingöngu að uppfylla lagalegar lagmarkskröfur yfirvalda um frásíun. En eins og áður hefur komið fram er markmiðið hjá First Water að fanga eins mikið af seyru og mögulegt er og hefur möskvastærðin 50 µm verið valin og er skv. ráðleggingum CM Aqua. Áætlað er að samkvæmt hönnun kerfisins verði mögulegt að sía allt að 80% af fastefnum úr útrenslisvatninu, sem er vel umfram þau markmið sem eldisstöðvar í Noregi eru með (Yfirleitt 40%). Stöðvarnar eru búnar fiskgildrum sem staðsettar eru fyrir framan og eftir síur, þessar gildrur eru lokaskrefið til að koma í veg fyrir að lifandi fiskur geti sloppið úr stöðinni. Minni stöðin er að hluta til í rekstri og eru framkvæmdir við uppsteypu þeirra stærri hafin og áætlað að taka hana í notkun næstkomandi sumar. Minni stöðin er notuð fyrir 15-20 m ker og afkastar um 9.200 m³/h, en sú stærri fyrir 25-28 m ker og afkastar rúmlega 50.000 m³/h. Í síunum eru hæggengar tromlur sem snúast á um 2-4 snúningum á mínútu. Þessi hægi snúningur minnkar enn frekar líkur á að fastefnin leysist upp og þannig er hreinsigeta síunnar stóraukin og sían þarf litla raforku fyrir virkni sína. Síur sem þessar nota hreinsaða vatnið til að skola möskvana. En þar sem útrenslisvatnið í þessu tilfalli er saltvatn, hefur skolonin þau áhrif að salt í fiskeldisseyrunni sem kemur úr síunum eykst.



Mynd 4. Yfirlitsmynd yfir síustöðvarnar tvær sem fyrirhugað er að setja upp hjá First Water



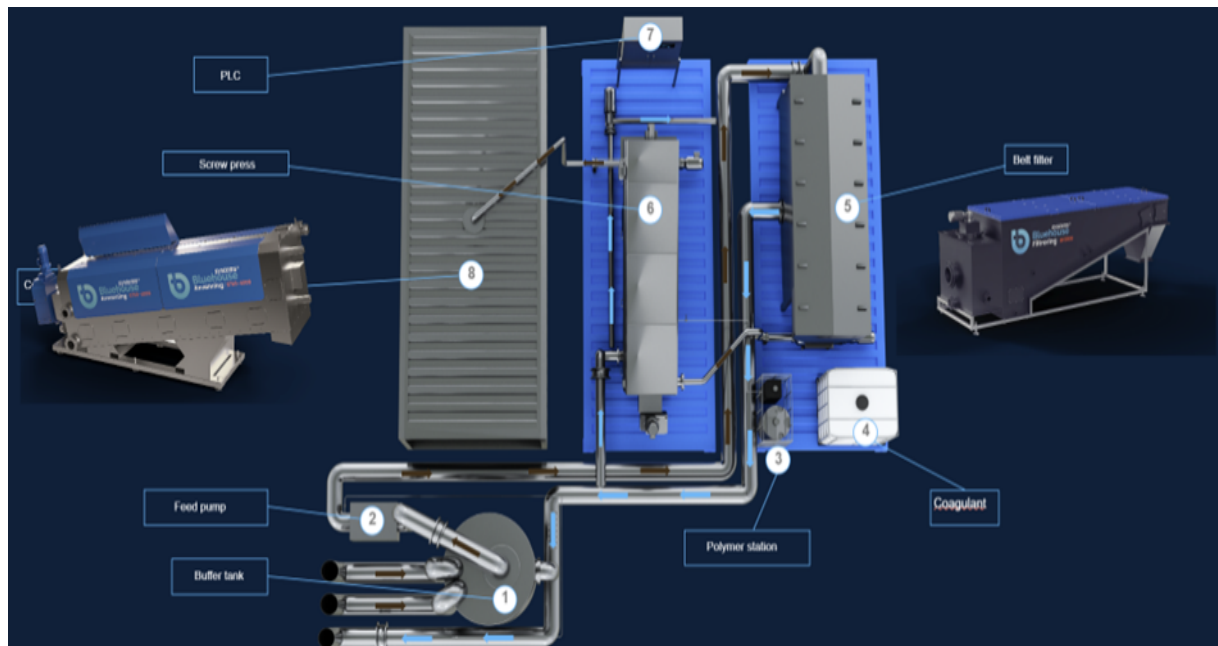
Mynd 5. Þrívíddarmódel af einni af 11 tromlusímum í stærri frásíunarstöðinni með tilheyrandi yfirfallsristum, einangrunarloka og frárenslisröri fyrir fiskeldisseyru.

Áhrif saltstyrks í fiskeldisseyru á efnasamsetningu lífkola er ekki að fullu rannsökuð, þannig að First Water hefur ákveðið að bæta við þeim möguleika að skola allar síur með ferskvatni. Einnig er gert ráð fyrir því í hönnun áframeldisins að nýta frákastsvatn (ferskvatn) frá seiðaeldi í uppblöndun. Með þessu er nýting á vatni í kerfi stöðvanna hámarkað.

2.3.3. Afvötnunarbúnaður til meðhöndlunar seyru

Fiskeldisseyra sem nú er safnað frá tromlusíun hefur hátt vatnshlutfall, allt að 99.8%, fastefnið er því einungis um 0,02%. Til að auðvelda geymslu, flutning og nýtingu fiskeldisseyrunnar verður settur upp afvötnunarbúnaður sem lækkar vatnsinnihaldið niður í um 75-85%. En æskilegt vatnsinnihald ákvarðast af því hvernig flytja á seyruna. Það sem þarf þó að athuga er að ef fastefnið fer um og yfir

20% er erfiðara að dæla hráefninu. Afvötnunarbúnaðurinn sem First Water fyrirhugar að notakemur frá norska framleiðandanum Blue Ocean Technology.



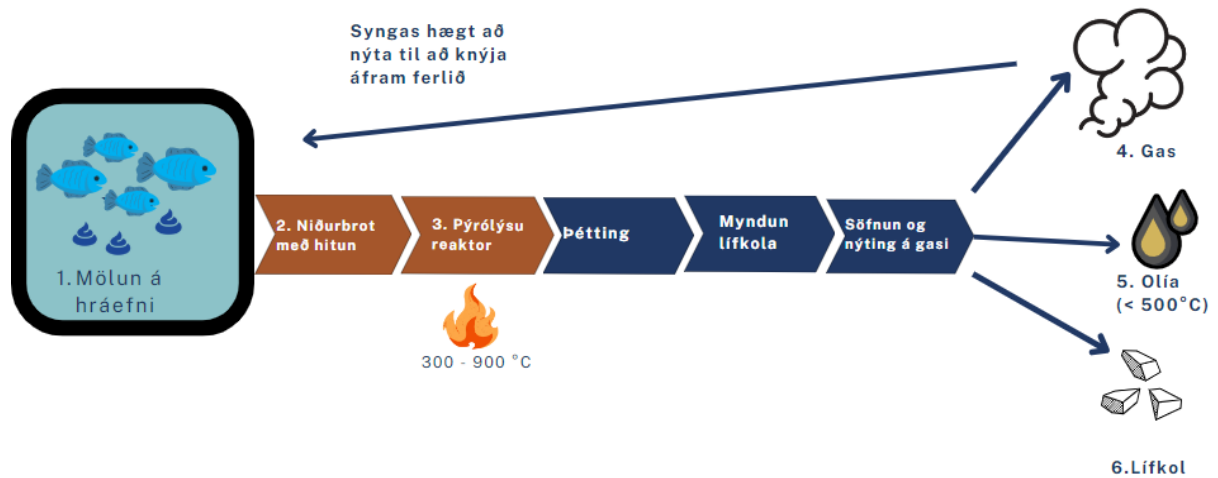
Mynd 6. Afvötnunarbúnaður sem meðhöndlar fiskeldisseyru. Með þessum búnaði frá BOT má ætla að þurrefnisinnihald fiskeldisseyrunnar fari úr um 0,2% í um 25%. Búnaðurinn er hannaður fyrir krefjandi framleiðsluáðstæður.

Fyrsta þrepið í meðhöndluninni, eftir að affallsvatnið frá eldinu er búið að fara í gegnum tromlusíurnar er fiskeldisseyrunni dælt í gegnum fyrsta þrepið til eftirvinnslu. Í þessu þrepi er 40 μm tromlusía til að ná frekara vatni úr fiskeldisseyrunni, þetta ferli minnkar rúmmál seyrunnar um 4/5. Vatnið sem kemur frá þessu ferli er hreinsað með sérstökum próteinsíum áður en það er sent í affallsrás stöðvarinnar. Eftir þetta ferli er seyrunni dælt upp í safntank (e. buffer tank) þar sem stöðugt er hrært upp í hráefninu til að koma í veg fyrir að það setjist í botn tanksins. Úr safntankinum er fiskeldisseyrunni dælt inn á færibandssíu (hlutur 5 á mynd 6) þar sem vatnsinnihaldið minnkar um 10% til viðbótar og er þurrefnið þá komið niður í um 35%. Eftir þetta ferli er fiskeldisseyran sett í gegnum skrúfupressu (hlutur 6 á mynd 6) sem minnkar vatnsinnihaldið enn meira eða um 25% til viðbótar. Eftir skrúfupressuna er vatnsinnihald fiskeldisseyrunnar áætlað að vera komið niður í um 60% og samkvæmt því ætti að vera auðveldara að vinna hana áfram í t.a.m. lífkol.

2.3.4. Hönnun lífkolabúnaðar

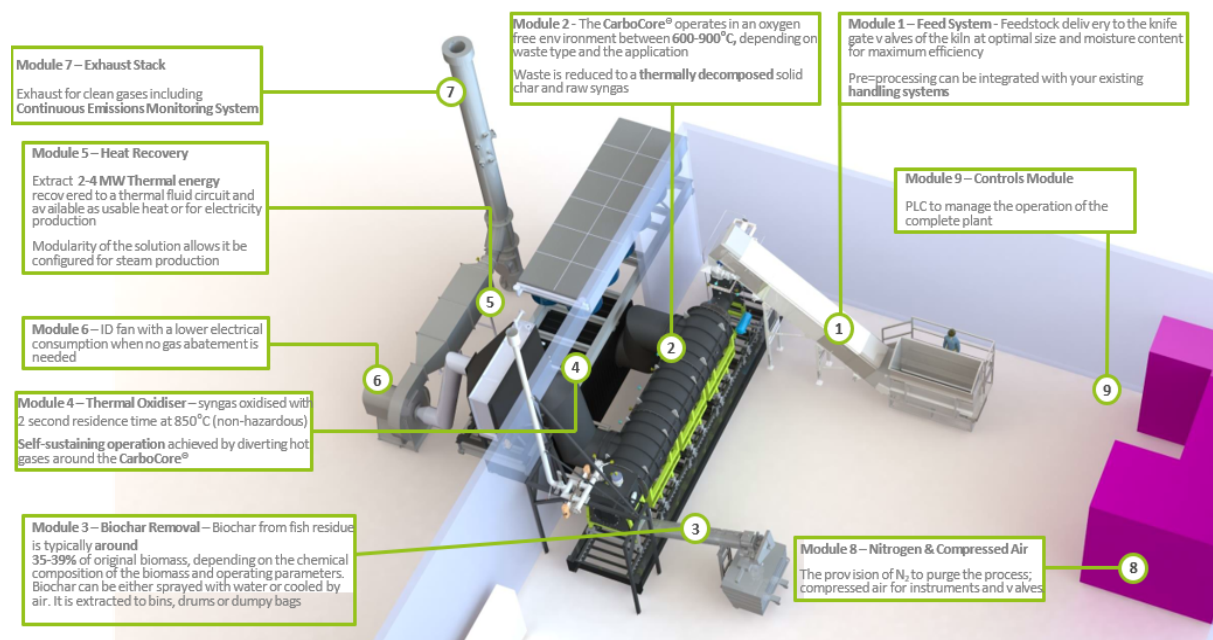
Lífkol eru framleidd eins og mynd 7 gefur til kynna með því að nota sundrunar ofn. Sundrun (Pýrólýsun) felur í sér hitun á lífrænu efni án súrefnis, yfirleitt við hitastig yfir 500°C til að brjóta niður sterkar fjölliður. Vegna þess að súrefni er ekki til staðar þá verður ekki bruni heldur bakast í raun efnið og losar gufur og lífkol myndast. Lífkolunarferli má skipta upp í sex hluta 1.) hráefnið er hakkað eða malað niður til að fá einsleita lausn með u.þ.b. rúmsentimetra stóra bita áður en það er 2.) forhitað til að brjóta niður lífræna efnið í lokaðri skrúfupressu. Svo er 3.) lífræna efnið hitað upp í nokkur undruð gráður áður en það er 4.) matað inn í sundrunar reaktorinn þar sem syngas myndast þegar efnið er hitað við 300-900°C. Við lægri hita (<500°C) er 5.) hægt að safna olíu úr efninu en 6.) með því að hækka hitann meira þá brotnar fitan niður í lífkol. Gasið sem myndast er aðallega syngas (H_2 , CO eða metan), CO_2 , H_2O eða rokgjörn lífræn efnasambönd sem hægt er að nýta sem orku til að knýja ferlið áfram, en einnig

er hægt að safna efnasamböndum sem innihalda nitur og bæta því við lífkolin til að auka næringarinnihald lífkolanna.



Mynd 7. Framleiðsluferli á lífkolum.

Til eru ýmsar gerðir af sundrunar búnaði, hannaður fyrir mismunandi hlutverk. Búnaðurinn getur framleitt lífkol samfelld eða í skömmtum og fer það eftir magni og aðstæðum. Einnig getur búnaðurinn verið hannaður út frá vatnsinnihaldi en yfirleitt þarf þurrefnisinnihald að vera hátt (>60%) áður en því er matað inn í sundrunar ofn. Á mynd 8 má sjá framleiðslulínu sem Blue Ocean Technologies hefur hannað og þróað fyrir lífkolun á fiskeldisseyru.



Mynd 8: Framleiðslulína á lífkolum úr fiskeldisseyru hönnuð af Blue Ocean Technologies

Um er að ræða hefðbundna framleiðslu á lífkolum með möguleika á að bæta við forvinnslu á hráefni, svo sem forhitun eða skrúfupressu til að hafa hráefnið einsleitt. Ferlið er hannað til að nýta sem best þá orku sem losnar frá kerfinu, og safna umframorku sem myndast og halda sem flestum næringarefnum í kerfinu. Einnig er til staðar stjórnstöð þar sem hægt er að stýra hraða hráefnis, hitastigi og losun gastegunda.

Framleiðslulínan hjá Blue Ocean Technology er hönnuð til að framleiða um 1.750 tonn af lífkolum á ári úr u.þ.b. 5.000 tonnum af fiskeldisseyru með 80% þurrefni sem samsvarar u.þ.b. 48.000 tonnum af fiskeldisseyru frá First Water. Stöðin er hönnuð til að framleiða lífkol úr þurrkaðri fiskeldisseyru samfleytt með flæðishraða á bilinu 590-600 kg/klst.

Fiskeldisseyran þarf að vera með u.þ.b. 80% þurrefni og þvermál minnkað í 10-35 mm. First Water er með afvötnunarbúnað til staðar sem skilar sér í fiskeldisseyru með u.þ.b. 30% þurrefni og því þarf að bæta við þurrkun eða forhitun áður en henni er matað inn í sundrunar ofninn (Pyrolysis reactor/CarboCore). Orkan í fiskeldisseyrunni til að ferlið sé sjálfvirkt þarf að vera 14 MJ/kg. Fortilraunir hjá Blue Ocean Technologies hafa sýnt að orka í fiskeldisseyru er 15 MJ/kg en með viðbót af dauðum fisk getur orkuinnihaldið hækkað í 25 MJ/kg.

3. Umræður

Að vinna lífkol og/eða áburð úr fiskeldisseyru er ný hugmyndafræði hér á landi byggð á aldagömlum hefðum. Tilurð þess að litið sé til þess að nýta fiskeldisseyru er einna helst tilkomin vegna þess vaxtar sem atvinnugreinin, fiskeldi á landi, stendur frammi fyrir og þeirra krafna sem gerðar eru til allrar framleiðslu sem áhrif hafa á náttúru og umhverfi. Einnig er vaxandi áhugi á hráefninu, fiskeldisseyru, úr röðum landbúnaðar þar sem líklegt þykir að það nýtist sem áburðarefni í landbúnaði. En samkvæmt áætlunum á framleiðslu landeldis, 100 – 150 þús. tonn eftir 5 ár er skv. útreikningum talið að það skili um 215 – 323 þús. tonnum af fiskeldisseyru með u.þ.b. 8-10% þurrefni. Og úr slíku magni hráefnis er eðlilegt að gera ráð fyrir því að til ráðstöfunar verði umtalsvert magn næringarefna nýtanleg sem áburður í landbúnaði.

Ef litið er til þeirra áskorana í umhverfismálum sem mannkynið stendur frammi fyrir í dag, ásamt mikilvægi fæðuöryggis, er augljós sú áskorun sem fyrirtæki í frumframleiðslu standa frammi fyrir tengt umhverfismálum. En sem dæmi þá eru áhrif þess að næringarríkt skolvatn frá frumframleiðslu líkt og fiskeldi er ekki einungis hættulegt fyrir nærliggjandi vistkerfi, vegna t.d. mögulegrar þörungablómgunar, heldur er hér líka um að ræða tap á mikilvægum næringarefnum fyrir aðra matvælaframleiðslu. Því er afar mikilvægt að leita allra leiða til að ná fiskeldisseyru úr skolvatninu og vinna hráefnið svo það sé öruggt og notkun sem m.a. áburður eða jarðvegsbætur í formi lífkols.

Áburður er ein aðal undirstaða matvælaframleiðslu á landi eins og staðan er í dag og er óhætt að fullyrða að lang stærstur hluti akuryrkju sé knúin áfram með notkun tilbúins áburðar. Þrátt fyrir að svo sé þá nýta bændur allan þann lífbrjótanlega úrgang sem til fellur á búum þeirra á tún sín og akra. Sem dæmi þá er hér á landi t.d. öll kúamykja nýtt til túnræktar og að öllum líkindum allt sauðatað líka. Að þessu sögðu þá er tilbúinn áburður ekki eingöngu fjárhagslega og umhverfislega óhagkvæmur heldur líka vegna þess að með nýtingu slíks áburðar eru bændur algjörlega háðir innflutningi með tilheyrandi kostnaði og óöryggi tengt afhendingaröryggi. Má nefna að á hverju ári er innflutt u.þ.b. 50 þús tonn af tilbúnum áburði með u.þ.b. 11.000 tonn af nitri, 1.500 tonn af fosfór og 2.500 tonn af kalíum.

En það er hvorki einfalt eða einsýnt að nota fiskeldisseyru sem áburð, þrátt fyrir meðhöndlun líkt og lífkolon, sökum lagaumhverfis um málaflokkinn. Eitt af því sem stendur í vegi fyrir notkun seyru úr fiskeldi sem áburð, óháð meðhöndlun, er regluverkið. Umsjón með lögum er varða nýtingu á fiskeldisseyru er hjá þremur stjórnarsýslustofnunum, þ.e. Umhverfisstofnun er fer með lög um nr. 55/2003 um meðhöndlun úrgangs, Matvælastofnun er fer með lög nr. 22/1994 um eftirlit með fóðri, áburði og sáðvörum og svo er það þriðja stofnunin Heilbrigðiseftirlitið er fer með lög nr. 7/1999 um hollustuhætti og mengunarvarnir að hluta með Umhverfisstofnun.

En af hverju er þetta svona flókið? Fiskeldisseyra er nýtt lífbrjótanlegt afgangsgang og/eða fremur úrgangshráefni og flokkast sem aukaafurð úr dýrum. Ávallt þegar um nýtt hráefni er að ræða sem nýta á til framleiðslu matvæla þá er eðlilegt að gæta fyllstu varúðar þar til þekking á hráefninu liggur fyrir. Því er það afar mikilvægt er að fá úr því skorið með fullvissandi hætti hvort og þá með hvernig aðferðum fiskeldisseyra telst örugg til nýtingar sem áburður. Það er engum hagur í því að stofna heilbrigði manna, dýra og náttúru í hættu með því að nýta mengandi hráefni sem áburðargjafa. Þess vegna eru rannsóknir sem þessar mikilvægar sem undirstöðuatriði við slíka ákvörðunartöku.

Örverumælingar á sýnum frá bæði First Water og Samherja fiskeldi sýndu að salmonella var ekki til staðar í neinum sýnum og magn e.coli í fiskeldisseyrunni var undir mælinæmi. Það sem vakti hins vegar athygli er að í hrossataðinu mældist magn e.coli um 1.100 gerlar miðað við 1 g sýni en magn í lífkoluðu

hrossataði var undir mælinæmi og því hafa e.coli bakteríurnar drepist við lífkolunina. En þessi niðurstaða rennir enn frekari stoðum undir það hve mikilvægar rannsóknir sem þessi er fyrir framtíð nýtingar á nýju lífbrjótanlegu hráefni líkt og fiskeldisseyru. En efna- og örverumælingar sem gerðar voru á fiskeldisseyru beggja starfsstöðvanna sýna að það er skv. þessum niðurstöðum engin fyrirstaða fyrir því að vinna áfram með hráefnið og koma því til nýtingar sem áburður á tún. Í raun er óhætt að segja að brýn þörf sé á að koma hráefninu til nýtingar bæði umhverfislega séð og kostnaðarlega.

Efnagreining á fiskeldisseyrunni sýnir að köfnunarefnisinnihald (N) er sambærilegt í fiskeldisseyru og í kúamykju. Nægur fosfór (P) er í fiskeldisseyrunni fyrir áburðarnotkun, í raun heldur meiri heldur en í kúamykju. Innihald er jafnframt umtalsvert meira í fiskeldisseyru en í kúamykju sbr. sambanburðartölur RML og niðurstöður efnagreiningar verkefnisins. Niðurstöðurnar sýna jafnframt að hlutfall annarra efna s.s. kalsíum, magnesíum og brennisteins og því vel hægt að segja að fiskeldisseyra hefur alla burði til að verða hér á landi framtíðar áburðarefni. Það sem þarf þó að líta til er eins og kom fram í rannsókninni er magn seltu, samsetning næringarefna og þurrefnisinnihald.

Hvað varðar búnað til þess að fanga fiskeldisseyruna í skolvatninu þá sýndi það sig í rannsókninni að hér er hvorki um einfalda aðgerð að ræða né ódýra. First Water hefur síðasta árið unnið að hönnun og útfærslu á eldiskerjunum þar sem lögð er áhersla á að fanga sem mestu af fiskeldisseyrunni sem verður til í framleiðslunni. Fyrirtækið var lagt upp með að fanga sem allra mest af fastaefnunum í skolvatni frá kerjunum ásamt því að vatnið sem eldisfiskurinn er alin í sé ávallt af bestu gæðum. Við slíka hönnun er að mörgu að hyggja og t.d. í útfærslu fyrir söfnun fiskeldisseyrunar þarf að huga að flæðishraða vatns svo ekki verði sundrun á fastaefnunum og föngun þess þar með mun lakari. Sústöðin sem First Water vinnur að hönnun á er ætlað að vinna um 15.000 l/s af frárennslisvatni, og hefur nú þegar farið fram ítarlegir útreikningar á því að hámarka hreinsigetun og nýtni búnaðarins til hreinsunar á frárennslisvatninu. Notast verður við tromlusíu með mun þéttari möskvastærð, 50 µm, en æskilegt er skv. ráðlegginum frá framleiðanda síubúnaðar eða kröfum yfirvalda um frásíun. En First Water áætla að með slíkri möskvastærð ásamt ígrundaðri hönnun á síubúnaði verði hægt að sía allt að 80% af fastaefnunum, fiskeldisseyra, úr fráveituvatninu og er það vel yfir sett markmið m.a. í Noregi sem er um 40% síun.

Rannsóknin sýndi hátt hlutfall saltstyrks í fiskeldisseyrunni og er það einn af þeim þáttum sem hagaðilar hafa velt upp sem mögulegri hindrun á nýtingu hráefnisins sem áburð á tún og akra. En hátt hlutfall saltstyrks í fiskeldisseyru getur haft neikvæð áhrif á plöntur og jarðveg. First Water stefnir að því að leysa þessa áskorun með því að hafa á nýja búnaði sínum skolvatnbúnað sem skolar allar síur með ferskvatni. Lagt verður upp með að slíkur búnaður, skolvatnbúnaður fyrir tromlusíu, nýti ferskt frákastvatn frá seiðaeldi fyrirtækisins. Með því verði hægt að hámarka nýtni vatns í kerfum stöðvanna.

Þegar lífkol eru framleidd er notast við sundrunarofn (Pýrólysun) þar sem lífbrjótanleg efni eru meðhöndluð í miklum hita, um og yfir 500°C til að brjóta niður sterkar fjölliður hráefnisins. Súrefni er ekki með í þessu ferli og því má segja að hráefnið bakast í stað þess að brenna ef súrefni væri til staðar. Í þessu ferli losna gufur, syngas (H₂, Co eða CH₄ sem er metan), og lífkol myndast. Varðandi orkuþörf þá er áætlað að lífkolunarferlið verði sjálfbært, orkulega séð, en það þarf hið minnsta 14 MJ/kg. fyrir sundrunarferlið. En skv. tilraunum BOT virðist framleidd orka við sundrun á fiskeldisseyru vera um 15 MJ/kg og skv. því gæti sundrunarferlið verið sjálfbært. Fyrirtækið Blue Ocean Technologies sem hefur hannað síunarbúnað til að fanga fiskeldisseyru og First Water á í viðskiptum við hefur jafnframt hannað lífkolunararbúnað fyrir fiskeldisseyru. Búnaður BOT er sérhannaður til þess að nýta sem best orku sem kemur í lífkolunarferlinu en jafnframt að varðveita sem best næringarefni hráefnanna. Hver staðan

verður á saltinnihaldi hráefnisins, sem eins og áður hefur komið fram er nokkuð hátt, er óljóst þar sem hvergi er að finna efnagreiningar á lífkolum unnum úr saltaðri fiskeldisseyru. En þetta sýnir í raun hversu stutt á veg við erum komin í rannsóknum á hráefninu, og gefur tilefni til þess að halda þeim áfram.

Hvað varðar lífkolun á fiskeldisseyru þessarar rannsóknar, Lífkol úr Landeldi, þá sýndu niðurstöðurnar að mikilvægt er að hráefnið sé hið minnsta með 60% þurrefni. En fiskeldisseyran sem var lífkoluð í lífkolatæki Harðar Guðmundssonar á Víðivöllum Ytri II tókst ekki sem skyldi, þar sem þurrefnisinnihald hennar var umtalsvert lægra eða 11,9%. Vegna þessa háa hlutfalls raka í fiskeldisseyrunni mistókst lífkolunin á henni. Í stað þess að fiskeldisseyran lífkolaðist hafði hráefnið verið þurrkað, þrátt fyrir að fara í tvígang í gegnum sundrunarferlið. Þetta sýnir að það er ekki gott að hafa hráefnið of blautt við upphaf lífkolunar. Ef til vill hefði lífkolunin tekist ef kveikt hefði verið upp í einum til tveim uppkveikjum til viðbótar. Það þýðir þó ekki að lífkolunartilraunin hafi verið til einskis, heldur mun fremur sýndi þessi rannsókn fram á mikilvægi þess að halda áfram að rannsaka möguleika þess að lífkola fiskeldisseyru.

4. Lokaorð

Landeldi er ört vaxandi atvinnugrein á Íslandi og er áætlað að framleiðsla landeldis verði eftir 5 ár um 100-150 þ. tonn. Út frá þessum áætlunum er reiknað með að framleiðslan skili um 215-323 þ. tonnum af fiskeldisseyru með um 8-10% þurrefni. Með slíkt umfang hráefnis má áætla að það falli til umtalsvert magn næringarefna NPK sem væri nýtanlegt sem áburðarefni fyrir íslenskan landbúnað og til uppgræðslu.

Umhverfisáhrif af völdum uppsöfnunar næringarefna frá landeldi væri sannarlega áhyggjuefni ef ekki kæmi til mikils áhuga og vilja á sjálfbærni og eflingu hringrásarhagkerfisins hjá þeim fyrirtækjum sem stunda landeldi. Fyrirtækin tvö sem nú eru ráðandi í landeldi hér á landi, First Water og Samherji fiskeldi, hafa lagt metnað sinn í að hanna og setja upp síunarbúnað sem fangar fiskeldisseyru úr fráveituvatni kerjanna. Á þessum áhuga og vilja til að bæta um betur í umhverfismálum sóttu Matís og First Water (þá Landeldi) um styrk til Hringrásarsjóðs, veturinn 2022, til að rannsaka möguleika þess að lífkola fiskeldisseyru.

Þó svo fyrirtækin geri sitt allra besta til þess að vinna hráefnið og gera það aðgengilegt til frekari vinnslu þá er lagaumhverfið enn nokkuð strangt enda um að ræða fyrstu stig rannsóknar á hráefninu. Í rannsókninni lofuðu örverumælingar afar góðu fyrir framhaldið á fiskeldisseyrunni en skv. þeim var salmonella eða magn e.coli í fiskeldisseyrunni undir mælinæmi. Þetta eru áhugaverðar niðurstöður í ljósi þess að í samanburðarhráefninu, hrossatað, mældist magn e.coli um 1.100 gerlar miðað við 1 g sýni, athygli skal þó vakin á því að magn örvera í lífkoluðu hrossataði var undir mælinæmi. Þessi samanburður á örverumælingum sýnir mikilvægi þess að rannsaka vel ný hráefni sem koma á markað og bera þau saman við það sem fyrir eru. Þetta er mikilvægt fyrir sanngjarna og rétta meðhöndlun hráefna hjá yfirvöldum sem stýra lagaumgjörðinni út frá m.a. heilbrigði og heilnæmi hráefnanna.

Efnagreining á fiskeldisseyrunni er einnig einn af afar spennandi þáttum rannsóknarinnar. En greining á sýnum rannsóknarinnar sýndi m.a. að í fiskeldisseyru er magn köfnunarefnis (N) álíka og í kúamykju en hlutfall fosfórs (P) heldur hærra. Fiskeldisseyra hefur því alla burði til að verða hér á landi eitt af helstu áburðarefnum framtíðar. En til að svo megi verða þarf þó að gera frekari rannsóknir á hráefninu út frá öðrum þáttum á borð við m.a. magni seltu, samsetningu annarra næringarefna en NPK og þurrefnisinnihalds.

Að ofangreindu er vert að benda á að þessi rannsókn er einungis önnur slík sem gerð hefur verið hér á landi sérstaklega með íslenskum fyrirtækjum og aðstæðum. Það má því segja að við séum rétt á byrjunarreit þegar kemur að þekkingu og skilgreiningu á notkun seyru og lífkolunar. Það eru fjölmargir angar sem þarfnast frekari skoðunar og ýtarlegri þekkingu svo hægt sé að halda áfram með þetta mjög svo mikilvæga málefni. Einnig eru angar sem ekki hafa verið skoðaðir eins og geymsla á seyrunni sjálfri, flutningur og aðrir innviðir. Eitt af því sem stendur slíkum rannsóknum fyrir þrífum er aðgengi að sjóðum sem styrkja slíka vinnu. Mætti nefna Umhverfissjóð sjókvíaeldis sem eingöngu tekur á málefnum sjókvíaeldis. Þessu þyrfti að breyta því umhverfismál landeldis eru ekki síður mikilvæg.

5. Heimildarskrá

- Abid A. Ansari og Sarvajeet Singh Gill. (Ritstj.). (2014). *Eutrophication: Causes, Consequences and Control* (B. 2). London, New York: Springer Dordrech Heidelberg London New Yourk. Sótt 20. mars 2024 á vef https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-7814-6_9
- Alþingi. (2003). 55/2003. *Lög um 55/2003*. Reykjavík: Alþingi.
- Alþingi. (13. júní 2021). Lög um breyting á lögum um hollustuhætti og mengunarvarnir, lögum um meðhöndlun úrgangs og lögum um úrvinnslugjald (EES-reglur, hringrásarhagkerfið). *Lög um breyting á lögum um hollustuhætti og mengunarvarnir, lögum um meðhöndlun úrgangs og lögum um úrvinnslugjald (EES-reglur, hringrásarhagkerfið)*. Reykjavík: Alþingi.
- Alþingi. (2022). *Alþingi*. Sótt frá Þingtíðindi: <https://www.althingi.is/alttext/pdf/152/s/1479.pdf>
- Anna Berg Samúelsdóttir, Alexandra Leeper, Clara Jégousse, Ólafur H. Friðjónsson, Elísabet Eik Guðmundsdóttir, Hörður Guðmundsson og Birgir Örn Smárason. (2023). *Örverur til auðgunar fiskeldisseyru*. Mátís, Sjávarklasinn. Reykjavík: Mátís. doi:10.5281/zenodo.10418882
- Bjarni Rúnarsson (3. nóvember 2022). *Aðföng hækka - óttast að bændur bregði búi*. Sótt 15. mars 2024 á vef: <https://www.ruv.is/frettir/innlent/2022-11-03-adfong-haekka-ottast-ad-baendur-bregdi-bui>
- Brinker, A., & Rösch, R. (2005). Factors determining the size of suspended solids in a flow-through fish farm. *Aquacultural Engineering*, vol. 33, issue 1.
- Erla Sturludóttir, Guðni Þorvaldsson, Guðríður Helgadóttir, Ingólfur Guðnason, Jóhannes Sveinbjörnsson, Ólafur Ingi Sigurgeirsson og Þóroddur Sveinsson. (2021). Fæðuöryggi á Íslandi. Landbúnaðarháskóli Íslands, Rit Lbhi nr. 139. <https://www.stjornarradid.is/library/01--Frettatengt---myndir-og-skrar/ANR/KThJ/F%3a6%3b0u%3b6ryggi%20%3a1%20%38dlandi%20lokask%3bdrsla.pdf>
- European Commission, Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report. (2020).
- EU. (21. október 2009). REGULATION (EC) No 1069/2009 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. European Parliament.
- Heimsmarkmiðin um sjálfbæra þróun. (á.á.). Heimsmarkmiðin. Sótt 20. mars 2024 á vef <https://www.heimsmarkmidin.is/forsida/heimsmarkmidin/>
- Jesper Heldbo (ristj.), Richard Skøtt Rasmussen og Susan Holdt Løvstad. (2013). *Bat for fiskeopdræt i Norden. Bedste tilgængelige teknologier for Akvakultur i Norden*. 2013:529 TemaNord. Nordisk Ministerråd. <http://dx.doi.org/10.6027/TN2013-529>
- Jónas Baldursson, Eva Margrét Jónudóttir og Magnús H. Jóhannsson. (2022). *Greining á magni lífrænna áburðarefna á Íslandi og tækifæri til aukinnar nýtingar*. Mátís o.h.f., Reykjavík.
- Krüger, Oliver & Adam, Christian. (2017). Phosphorus in recycling fertilizers - analytical challenges. *Environmental research*. 155. 353-358. 10.1016/j.envres.2017.02.034. Lehmann, J. & Joseph, S. (2015). *Biochar for Environmental Management*. Science, Technology, and Implementation. Routledge.

Shackley, S., Shohi, S., & Prendergast Miller, M. (2009). *Sustainable gasification-biochar systems? A case-study of rice-hus gasification in Cambodia. Part I: Context, chemical properties, environmental and health and safety issues.*

Stjórnarráð Íslands. (á.á.). Sjálfbært Ísland. Sótt 14. mars 2024 á vef
<https://www.stjornarradid.is/verkefni/sjalfbaert-island>

Van Dijk, K.C., Lesschen, J. P. og Oenema, O. (2016). *Phosphorus flows and balances of the European Union Member States.* Science of the Total Environment 542:1078–1093.

Viðaukar

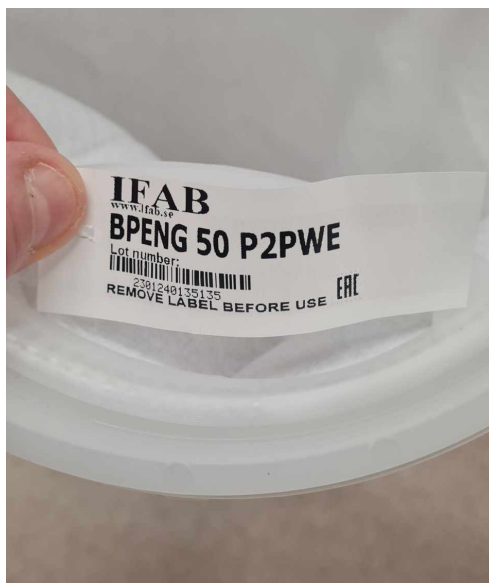
Viðauki I. Efnamælingar á Fiskeldisseyru, First Water og Fiskeldi Samherja.

		Fiskeldisseyra First Water	Fiskeldisseyra Samherja
Vatn	%	91,8	88,1
Þurrefni	%	8,2	11,9
Fita	%	0,8	0,4
N	%	0,180	0,34
NH ₃	%	0,05	0,07
Fita	g/kg	8	4
N	g/kg	1,8	3,4
NH ₃	g/kg	0,5	0,7
P	g/kg	2,09	2,98
K	g/kg	0,16	0,8
S	g/kg		8,93
Na	g/kg	3,6	12,04
Ca	g/kg	4,4	7,9
Mg	g/kg	0,79	2,09
Cd	mg/kg	0,018	0,052
Cr	mg/kg	1,59	0,5
Pb	mg/kg	0,026	0,039
Ni	mg/kg	1,01	0,36
As	mg/kg	0,079	0,652
Mn	mg/kg	11,81	10,95
Zn	mg/kg	28,35	58,92
Cu	mg/kg	1,95	1,87
Hg	mg/kg	<0,005	0,006
Se	mg/kg		0,15
Fe	mg/kg		171,7

Framhald: Viðauki I. Efnamælingar á Fiskeldisseyru, First Water og Fiskeldi Samherja.

		FS	HT	FS+HT	Lífkol FS	Lífkol HT	Lífkol FS+HT
Ammoníak (NH ₃ -N)	%	0,07	0,01	0,11	0,04	0,01	0,06
Arsen (As)	mg/kg	0,652	2.023	0,654	2.038	4.040	2.220
Blý (Pb)	mg/kg	0,039	3.737	0,588	0,491	10.395	1.958
Fita (Soxhlet) (AE 1)	%	0,4	0,3	0,7	1,3	<0,1	0,9
Fosfór (P)	g/kg	2,98	2,69	2,22	24,93	6,92	7,60
Járn (Fe)	mg/kg	171,7					
Kadmín (Cd)	mg/kg	0,052	0,149	0,069	0,448	0,425	0,173
Kalíum (K)	g/kg	0,80	26,08	5,10	6,43	58,86	12,72
Kalsíum (Ca)	g/kg	7,9	8,9	6,5	65,9	21,0	17,3
Kopar (Cu)	mg/kg	1,87	34,82	6,84	15,74	77,49	19,38
Króm (Cr)	mg/kg	0,50	11,57	1,51	5,88	23,62	9,14
Kvikasilfur (Hg)	mg/kg	0,006	<0,03	<0,01	<0,03	<0,03	<0,03
Köfnunarefni (N)	%	0,34	1,47	0,55	1,94	1,35	1,01
Magnesíum (Mg)	g/kg	2,09	4,22	1,97	18,30	9,95	4,93
Mangan (Mn)	mg/kg	10,95			103,37		
Natríum (Na)	g/kg	12,04	2,11	7,77	112,21	6,53	19,10
Nikkel (Ni)	mg/kg	0,36	6,71	1,21	3,37	16,33	5,02
Selen (Se)	mg/kg	0,15	0,35	0,16	0,63	0,60	0,46
Sink (Zn)	mg/kg		112,48				
Vatn (AE 4)	%	88,1	19,6	75,1	10,2	33,7	51,3
Kolefni	%	32	35,4	38	26,4	27,6	21,7
Súlfur (S)	g/kg	8,93	2,96	5,23	10,07	4,08	5,32
Salmonella		Neikv.	Neikv.	Neikv.	Neikv.	Neikv.	Neikv.
E.coli		<3	1.100	23	<3	<3	<3

Viðauki 2



Mynd 1 Filter notað við síun fiskeldisseyru, 50 µm.