



Bestun á blæðingu laxfiska og áhrif þess á afurðagæði og umhverfi

Gunnar Þórðarson

Hildur Inga Sveinsdóttir

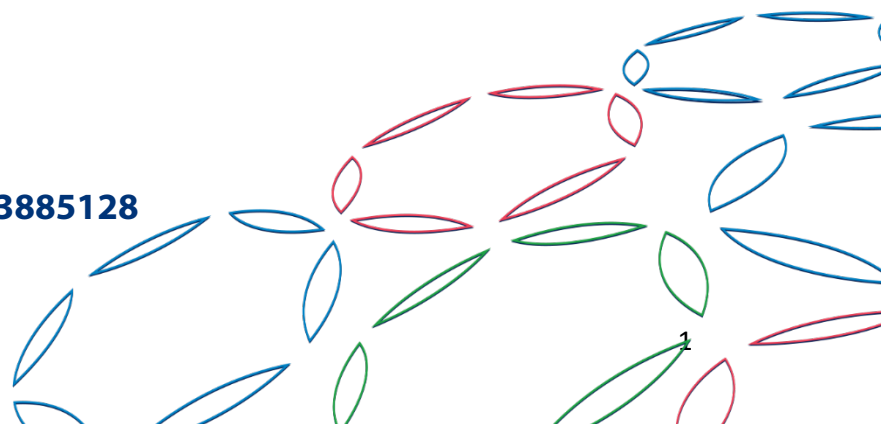
Sigurjón Arason

Skýrsla Matís 11-20

Júní 2020

ISSN 1670-7192

DOI 10.5281/zenodo.3885128



<i>Titill:</i>	Bestun á blæðingu laxfiska og áhrif þess á afurðagæði og umhverfi		
<i>Höfundar:</i>	<i>Gunnar Þórðarson, Hildur Inga Sveinsdóttir og Sigurjón Arason</i>		
<i>Skýrsla:</i>	11-20	<i>Útgáfudagur:</i>	10. júní 2020
<i>Verknr.:</i>	62488		
<i>Styrktaraðilar:</i>	Umhverfissjóður sjókvíaeldis (ANR18011143) og Rannís		
<i>Ágríp á íslensku:</i>	<p>Mikil reynsla og þekking er í bestun á blæðingu á þorski, en blóðleifar í flökum eru álitin gæðavandamál; bæði hvað varðar útlit og eins valda blóðleifar þránun við geymslu. Eitt af markmiðum verkefnisins var að besta blæðingu laxfiska en ekki tókst að ljúka því þar sem framhaldsstyrkur fékkst ekki.</p> <p>Laxeldi er umhverfisvæn próteinframleiðsla og mikilvægt að lágmarka umhverfisáhrif framleiðslunnar. Eitt af markmiðum verkefnisins var að þróa búnað til að hreinsa vinnsluvatn áður en því er skilað út í náttúruna. Nýr búnaður hefur verið settur upp hjá Arnarlaxi, en fyrirtækið er samstarfsaðili verkefnisins.</p> <p>Unnið var að frumathugunum til að þróa verðmæti til framtíðar úr efnum í vinnsluvatni og verður það verkefni framtíðar að klára þá vinnu.</p>		
<i>Lykilorð á íslensku:</i>	<i>Blóðgun, blóðtæming, gæðavandamál, umhverfisþáttur, blóðroði, blóðblettir.</i>		
<i>Summary in English:</i>	<p>Much experience and knowledge are in optimizing bleeding of wild cod, but the blood clots in the fillets are considered quality problems; but proper bleeding is important for the overall quality in product. One of the objectives of the project was to achieve the best bleeding of salmonids but measuring haemoglobin in salmon is difficult because of natural pink colour of the flesh.</p> <p>Salmon farming is an environmentally friendly protein production and it is important to minimize the environmental impact of the production. One of the objectives of the project was to develop equipment to clean the processing water before it is released into nature. New equipment has been installed at Arnarlax, but the company is a partner in the project.</p> <p>Preliminary investigations were underway to develop value for the future from materials in processing water, and the task of the future will be to complete that work.</p>		
<i>English keywords:</i>	<i>Bleeding, haemoglobin, residual blood, blood spots, blood drainage.</i>		

Efnisyfirlit

1	Inngangur	4
2	Blæðing laxfiska	5
2.1	Hjarta og æðakerfið	5
2.2	Blæðing fiska	6
2.2.1	Gæðavandamál vegna blóðs	9
2.2.2	Umhverfispáttur blæðingar	11
2.3	Nýting á blóði	12
3	Rannsóknir	13
3.1	Rannsókn	13
3.2	Niðurstöður	14
3.2.1	Aðferðir til mats á virkni blæðingaraðferða	14
3.2.2	Blæðingarvatn	15
4	Umræða	16
5	Viðauki	16
	Viðauki 1 - Salmon bleeding trial: Visual evaluation results	16
6	Heimildaskrá	25

1 INNGANGUR

Markmið verkefnisins var að bæta blæðingu laxfiska með endurbótum á núverandi aðferðum og þróa hagkvæma leið til að hreinsa vinnsluvatn sem verður til við slátrun, blóðgun og slægingu. Aðferð sem varðveitir lífvirk efni úr vinnsluvatni sem hægt verður að nýta í verðmætar afurðir. Aðferð sem tryggir gæði afurða og umhverfisvæna framleiðslu.

Rétt blæðing við slátrun er mikilvæg til að tryggja rétt gæði afurða en ófullkomin blóðtæming í flökum geta dregið úr gæðum afurða. Hreinsun á blóðvatninu er einnig mjög mikilvæg vegna smithættu í fiskeldi. Þetta er að hluta til vegna þess að ekki er leyft að henda blæðingarvatninu eins og gert er við blæðingu á villtum fiski um borð í veiðiskipum. Í stað þess að safna blóðvatni saman í tank og sótthreinsa það áður en það er losað í sjóinn með ærnum tilkostnaði hefur verið hætt í slátruhúsi Arnarlax á Bíldudal og hreinsunabúnaði komið upp í staðin sem uppfyllir umhverfiskröfur eða því er eytt á annan hátt.

Blóð í fiskvöðva er eitt stærsta gæðavandamál í eldisfiski, sérstaklega ef hann er ætlaður til reykingar. Í blóðinu eru ensími sem brjóta vöðvann niður, járn í hemóglóbíni (blóðrauða) hvetur þránun á fitu, gefur rauðan lit og er næringarefni fyrir örverur. Um 19% af gæðavandamálum í laxi frá Skotlandi er tengd ófullnægjandi blæðingu (Roth, Torrissen, & Slinde, 2005). Þess vegna er mikið hagsmunamál fyrir vaxandi fiskeldi á Íslandi að hafa réttu aðferðina til að fá fiskinum til að blæða rétt. Ef samtímis er hægt að finna leið til að hreinsa óæskileg efni úr blóðvatni þá er um stórt fjárhagslegt mál að ræða. Ef hreinsunin tekst vel þá verður jafnvel hægt að nýta blæðingarvatnið í hringrás í blæðingarkerfinu. Það liggja mikil tækifæri í vinnslu úr blóði laxfiska sem er algjörlega óplægður akur en blóð er ríkt af fjölmöttuðum fitusýrum, steinefnum o.fl.

Spurningunni um efnasamsetningu í blóði laxfiska hefur verið svarað sem gæti verið grunnur fyrir frekari tilraunir framtíðar til að framleiða verðmætar afurðir. Hjá Arnarlaxi eru lífvirku efnin úr blóðvatninu sett saman við aðrar hliðarafurðir, s.s. innefli og úr því er búin til melta sem notuð er til fóðurgerðar fyrir dýr.

Ekki tókst að ljúka tilraunum með þurrblæðingu, né fékkst niðurtaða í bestun blæðingar aðferðar, þar sem aðeins var lokið við fyrsta ár verkefnisins af þremur. Ástæðan fyrir því að verkefnið var endasleppt var að ekki fékkst styrkur fyrir öðru og þriðja ári verkefnisins.

2 BLÆÐING LAXFISKA

Blæðing og blóðtæming laxfiska eftir slátrun er mikilvæg fyrir gæði afurða, þar sem blóðleifar í holdi geta valdið vandamálum, t.d. þránun. Hold laxfiska hefur rauðleitan (bleika) áferð sem gerir sjónrænt mat á blóðtæmingu erfiðari miðað við hvítfisk. Miklar rannsóknir hafa verið gerðar á blæðingu þorsks í gegnum tíðina og mikil þróun átt sér stað til að bæta hana. Blóðlitur á þorskflökum hefur verið alvarlegt gæðavandamál, bæði er það sjónrænt vandamál þar sem neytandinn vill ekki rauðan blæ á flakinu, og eins hafa blóðleifar mikil áhrif á gæði afurða, sérstaklega á frystum afurðum sem geymdar eru mánuðum saman. Mikil þekking á blæðingu þorskfiska liggur fyrir og hægt að yfirfæra hana á blæðingu laxfiska. Mikilvægt er að finna og þróa bestu aðferðina við blæðingu laxfiska sem skilar bestu gæðum afurða og eru jafnframt umhverfisvænar.

Önnur hlið er á mikilvægi blæðinga laxfiska sem venjulega er slátrað í sláturhúsum við sjávarsíðuna, ólíkt hvítfiski sem er blóðgaður úti á sjó. Ólíku er saman að jafna þar sem blóð og önnur lífræn efni frá slægingu á villtum fiski er ekki talin ógnun við umhverfi eða valda sjúkdómahættu líkt og í eldisfiski. Blóð úr hvítfiski dreifist yfir mikið hafsvæði en laxaslátrun á sér stað á fáum stöðum (tvö sláturhús á Íslandi í dag) þar sem miklu magni er slátrað, í dag eru þetta á fjórða tug þúsunda tonna. Laxfiskur er eldisfiskur sem lifir í þróngu umhverfi þar sem mikil hætta getur stafað af sjúkdómum og mikilvægt að lágmarka smithættu. Þorskurinn lifir í náttúrulegu umhverfi og dreifður um stórt svæði og því eru líkur á smiti hverfandi miðað við t.d. lax.

Blóð sem er rennur til sjávar eftir slátrun og blæðingu í sláturhúsi gæti því borið sýkingu í fisk sem er í kvíum í næsta nágrenni. Undir öllum kringumstæðum er neikvætt að losa lífræn efni út í náttúruna, sem getur valdið mengun ásamt því að sjónræn mengun við sláturhús er alltaf neikvæð.

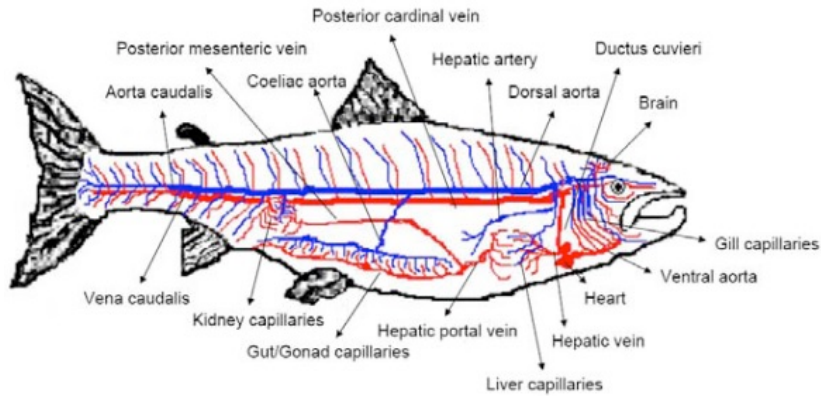
Vatnsmagn og magn lífrænna- og ólífrænna efna í fráveituvatni fyrirtækja er grunnur til að meta losun og miðað verður við að lífrænn úrgangur valdi ekki umhverfisskaða. Hátt hlutfall af lífrænum efnum í frárennsli gerir þá kröfu um súrefnisupptöku, BOD (Biochemical oxygen demand) sökum blóðs, vefja og leysanlegra próteina. Sú aðferð er notuð til að mæla hlutfall lífefna í vatninu, þar sem loftháðar örverur þurfa ákveðið mikið súrefni til að brjóta niður lífefnin við ákveðnar aðstæður og tiltekin tíma. Slík mæling er frekar tímafrek og því er notuð aðferð til að meta efnafræðilega súrefnisþörf, COD (Chemical oxygen demand), en sambandið milli þessara eininga er $COD = 2,25 \times BOD$. Algengustu mælikvarðar við mat á samsetningu frárennslis eru: lífrænt efni COD, heildarköfnunarefni TN (total nitrogen) sem gefur m.a. innihald próteins, heildarfösför (total phosphorus) og svifagnir (Stefán Freyr Björnsson, 2012).

2.1 Hjarta og æðakerfið

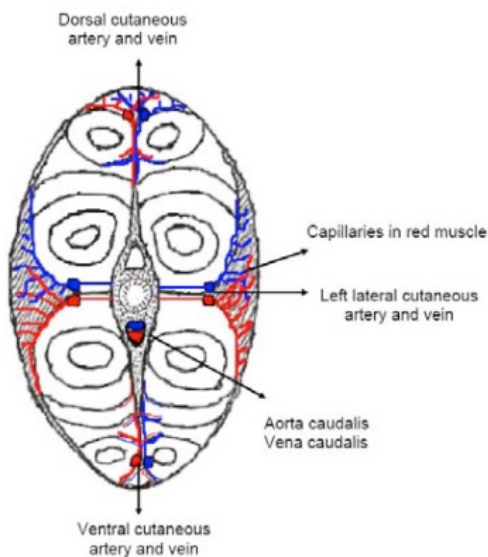
Hjarta og æðakerfi í fiskum er nokkuð frábrugðið því sem þekkest í spendýrum. Í fiskum er kerfið útbúið fyrir einfalda hringrás með tveimur hólfum, en spendýr hafa tvöfalda hringrás á blóðflæði með lungna- og blóðkerfi með fjórum hólfum. Þar flæðir súrefnissnautt blóð til lungna þar sem upptaka á súrefni á sér stað. Súrefnisríku blóði er þá dælt í gegnum blóðrásina frá hjarta í gegnum slag- og háráðar kerfi (Randall, 1970) (Farrell & Jones, 1992) (Huss, 1995) (Moorman, 2003). Í fiskum flæðir blóð með undirþrýstingi til hjartans þar sem því er þrýst í gegnum bláæðar til tálkna til súrefnisblöndunar. Eftir súrefnisupptöku í tálknum er blóðinu dælt til líkamsparta, ólíkt spendýrum þar sem blóðið streymir til hjartans eftir súrefnisupptöku í lungum. Í fiskum er súrefnisríku blóði þrýst í gegnum bláæðakerfið sem liggur rétt undir hryggjasúlunni til vefja og líffæra. Fiskar hafa svo annað

hringrásarkerfi með slagæðum og háræðum sem kemur frá megin kerfi bláæðanna. Hjartað dælir blóði í gegnum slagæðakerfið til tálkna þar sem það fer súerfnisríkt til bláæðakerfisins.

Blóðið flæðir síðan í gegnum háræðakerfið að hausnum. Allt blóðstreymi endar síðan í æðakerfinu sem flæðir síðan til hjartans í aðra hringrás.



Mynd 1 Æðakerfi í fiski



Mynd 2 Háræðakerfi í fiski, þverskurður

(Satchell, 1992)

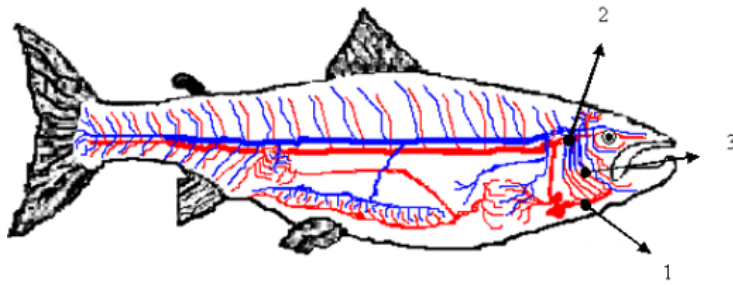
Það eru rauðu blóðkornin sem flytja lífsnauðsynlegt súrefni með memoglóbíni í frumur líkamans. Hemoglóbín er prótein í rauðu blóðkornunum, en járn sem er málmur (snefilefni) er nauðsynlegt til að framleiða það.

2.2 Blæðing fiska

Blóðgun er venjulega fyrsta aðgerð á fiski eftir veiði og gengur út á að tæma sem mest af blóði úr vöðvanum, sem er ein mikilvægasta aðgerðin til að tryggja afurðagæði og verðmæti framleiðslu.

Blóðgun og slæging er bundin við botnfiska og stærri uppsjávarfiska. Minni uppsjávarfiskar eins og loðna og síld eru ekki blóðgaðir. Blóðgun er framkvæmd til að bæta gæði afurða og á sér langa hefð í norrænum löndum, og var þekkt í norrænu máli sem „blóðgun“ (Olsen, Quantification and

characterisation of residual blood in fish muscle - Impact of slaughtering methods., 2011) þar sem skorið var á slagæði til að blóðtæma fiskinn.



Mynd 3 Þrjár algengar aðferðir við blæðingu á fiskum; (1) skorið á háls og slagæð, (2) skorið slagæð við hálsin og (3) skorið á tálknin

Á mynd 1 má sjá þrjár algengar aðferðir við blóðgun á fiski, (1) skorið á háls og slagæð, (2) skorið slagæð við hálsin og (3) skorið á tálknin. Blóðmagn í fiskum er um 1,5 – 7% af heildarþyngd, en er mismunandi eftir tegundum (Huss, 1995). Mest af blóðmagninu er í innnyflum fisksins en aðeins um 20% er í fiskholdinu sjálfu, en það er breytilegt eftir tegundum og hvort fiskurinn er stressaður við slátrun.

Ýmsar aðferðir eru notaðar við blóðgun til að flýta fyrir dauða og blóðtæma fiskinn; skera á lífodda, skera í tálknin eða stinga á slagæð. Til að hámarka blóðtæmingu skiptir tími frá dauða mestu máli, en streita fyrir slátrun og hitastig geta líka skipt máli. Hitastig hefur áhrif á blóðstorknun en þyngdarafli getur líka skipt máli við að draga blóð úr vöðvanum (Olsen, Quantification and characterisation of residual blood in fish muscle - Impact of slaughtering methods., 2011). (Warriss and Wilkins, 1987; Skjervold et al., 1999; Richards and Hultin, 2002; Robb and Kestin, 2002; Robb et al., 2003; Lambooi et al., 2004; Roth et al., 2005a; Olsen et al., 2006; Olsen et al., 2008; Roth et al., 2009a; Roth et al., 2009b). Vöðvasamdráttur beinagrindavöðva er talin hafa mikil áhrif á blóðtæmingu og því þurfi ekki dælingu hjarta til að blóðtæma fisk eftir blóðgun (Robb, Phillips, & Kestin, 2003) (Roth, Torrissen, & Slinde, 2005). (Olsen, Sorensen, Stormo, & Elvovoll, 2006) (Roth, Slinde, & Robb, Field evaluation of live chilling with CO₂ on stunning Atlantic salmon (*Salmo salar*) and the subsequent effect on quality, 2006) (Roth, Birkeland, & Oyarzun, Stunning, pre slaughter and filleting conditions of Atlantic salmon and subsequent effect on flesh quality on fresh and smoked fillets, 2009) (Roth, Obach, Hunter, Nortvedt, & Oyarzun, 2009b) (Eriksson & Johnson, 1979) (Huss, 1995).

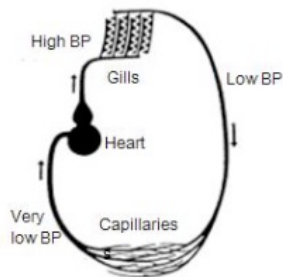
Tvær megin gerðir holds eru í fiskvöðva; ljós (white muscle) og dökkur vöðvi (dark muscle). Uppsjávarfiskar flokkast undir feitan fisk sem safna fitu sem orkuforða í vöðvanum, t.d. síld, makrill og loðna, en magrir fiskar safna orku í lifur og flokkast flestir botnfiskar þar undir, t.d. þorskur, ufsi og ýsa. Vöðvinn er byggður upp á trefjum, eins konar strokkklaga sellum sem ganga saman og sundur og mynda þannig hreyfingu vöðvans, sem aftur mynda hreyfiorku fisksins. Hreyfiorka vöðvans myndast með því að umbreyta efnaorku í hreyfiorku. Vöðvinn þarf þannig samdráttarvirkni til að mynda hreyfiorku og koma fiskinum áfram í sjónum.

Í hvítfiski er ljós vöðvi yfirleitt um 90% og samanstendur úr loftfirtum hvítum trefjum sem gefur honum ljóst yfirlit, en dökki vöðvinn liggur skammt undir skinni eftir endurlöngum fiskinum (Johnston, 1980) (Saguer, Fort, & Regenstien, 2006). Laxafiskar hafa getu til að skila fæðu (karótenóíðum) í vöðvavef sem gefur einkennandi rauðkorna litun (Shahidi, Metusalach, & Brown, 1998). Blóðroði er ríkjandi litarefni sem er til staðar í hjartastarfsemi og loftháðum beinagrindarvöðvum hjá öllum hryggdýrum. Þetta er prótein sem inniheldur járn og helsta hlutverk þess að geyma

súrefni frá háræðum til loftháðra rauðra vöðva. (Marcined, Bonaventura, Wittenberg, & Block, 2001) (Hankeln, et al., 2005).

Aðrar líffræðilegar ástæður sem gætu haft áhrif á blæðingu og valdið blóðblettum í laxi er blóðmagnnið í vöðva á dauðastund. Við súrefnisskort, koltvísýringshækkun eða bara aukin vöðvaviðbrögð, getur fiskurinn minnkað blóðstreymi í garnir og innyfli og aukið flæði til vöðva (Farrell, et al., 2001). Þetta getur valdið því að fiskinum blæði síður eftir slátrun.

Einnig hefur verið sýnt fram á að slátrunin hefur mikil áhrif á gæði blæðingar, ekki bara að draga úr stressi, heldur að notast sé við rotun eða raflost en ekki kolsýru (CO₂) sem getur valdið mikilli streitu sem kemur til af köfnunartilfinningu hjá laxi. Rannsóknir sýna að kæling fyrir blæðingu tefur storknun úr u.þ.b. 30 mínútum í allt að 60 mínútur, og tvöfaldar þannig blæðingartímann. Þetta á sérstaklega við um sumarmánuði þegar lax kemur til slátrunar allt að 14°C í Noregi og um 12°C á Íslandi. Forkæling á lifandi fiski gæti þannig bætt blæðingu verulega en gæti jafnframt haft áhrif á streitu fyrir slátrun.



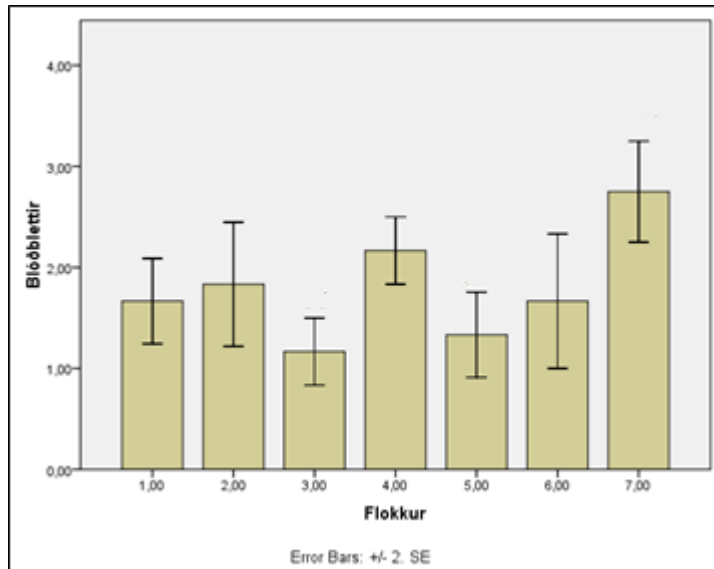
Mynd 4 Skýringamynd á blóðflæði í þorski (Gunnarsson, 2001)

Þrýstingur í blóðrás í þorski er mismunandi eftir staðsetningu; með háum þrýstingi milli hjarta og tálkna, en lækkar umtalsvert eftir það (Gunnarsson, 2001). Þess vegna er mikilvægt að skera á æðarnar sem liggja frá hjarta í tálkin til bæta blóðtæmingu. Það er því mikilvægt við blóðgun að skorið sé á blóðrásina þarna á milli til að tryggja fullnægjandi blóðtæmingu. En vöðvasamdráttur hefur einnig mikið að segja til að þrýsta blóði úr vöðvum við blæðingu. Enda skiptir mestu máli að fiskur sé blóðgaður lifandi en ekki dauðblóðgaður. Venjulega er fiskur blæddur í sjó eða vatni með stöðugu innstreymi vökva til að losna við blóðleifar úr blæðingavatninu. Reyndar er þurrblæðing þekkt fyrirbæri sem er talið að gefi ekki sömu gæði og votblæðing (Gunnarsson, 2001). En mestu máli skiptir þó að blóðga fiskinn sem fyrst eftir slátrun (Valdimarsson 1981; Valdimarsson & Gunnarsdóttir 1982; Karlsdóttir et al, 2014(a)). Ekki hefur tekist að sýna fram á besta hitastig við blæðingu á þorski, og niðurstöður rannsókna verið mótsagnakendar. Sumar niðurstöður sýna að meira verði eftir af blóði þegar blætt er við lágt hitastig, en aðrar sýna mikilvægi þess að kæla fiskinn niður fyrir blæðingu til að hægja á storknun blóðsins (Skjervold et al, 2001; Karlsdóttir et al, 2014(a)).

Blóðgun og slæging er oftast en ekki framkvæmt samtímis en þó eru breytingar á því í farvatninu um borð í togurum landsins. Nokkrar útgerðir hafa breytt vinnslu um borð á þann hátt að allur aflinn er blóðgaður fyrst og síðan slægður. Þetta er gert til að stytta tíma frá veiði þar til fiskur er blæddur til að auka gæði blóðtæmingar. Reyndar kostar þetta einhverjan tvíverknað en gæði blæðingar er álitnið mikilvægara, en alltaf er hættu á dauðblóðgun ef of langur tími líður á milli veiða og blóðgunar. Reynt er að miða við að allur fiskur hafi verið blæddur innan hálf tíma frá veiði. Hér þarf þó að hafa í huga að mikill hluti blóðsins er einmitt í innyflum fisksins en rannsóknir hafa sýnt að tíminn sem líður að blæðingu er mikilvægari en aðferðin sem notuð er til blóðgunar og slægingar (Karlsdóttir, o.fl., 2014).

Í samvinnu Matís, Skaginn3X og Arnarlax var gerð blæðingatilraun í Arnarfirði í nóvember 2015. Prófað var mismunandi hitastig og tími blæðingar, ásamt því að prófa kælingu niður í 0 °C fyrir

slátrun. Kæling á lifandi laxi virtist lofa góðu þar sem fiskurinn var mjög slakur fyrir slátrun og blæðingarannsókn kom vel út fyrir þann hóp. Mikill óvissuþáttur var í rannsókninni þar sem fiskurinn var háfaður upp úr kví og því streituáhrif mikil. Niðurstaðan var samt sú að náttúrulegt hitastig við blæðingu kom vel út (8 °C) og eins kom vel út að kæla fiskinn fyrir slátrun. Á mynd 5 hér að neðan má sjá niðurstöðu úr rannsókninni; lág tala er betri. Kældi fiskurinn er númer 5 og 6 en 7 er dauðblóðgaður lax (óbirtar niðurstöður).



Mynd 5. Blóðgunartilraun á laxi í mismunandi tíma og við mismunandi hitastig (óbirtar niðurstöður).

2.2.1 Gæðavandamál vegna blóðs

Miklar rannsóknur hafa verið gerðar á blóðgun á þorski og áhrif hitastigs, vatnsskipta og tíma við blæðingu á gæði afurða. Árið 2009 var þróaður búnaður (Rótex) til að nota við blæðingu og kælingu um borð í ísfisktogurum (Thordarson, Högnason, & Gestsson, 2012) og í framhaldi var þróaður vinnsluferill línuskipa þar sem Rótex búnaðurinn var aðlagður línuveiðum (Hafsteinsson, Högnason, & Arason, 2009). Árið 2013 var þróað nýtt blóðgunarkerfi fyrir smábáta (Arason, Thordarson, Karlsdóttir, Högnason, & Flosason, 2013) í samvinnu Skaginn 3X, Mátis og Fiskvinnslu Jakobs Valgeirs. Þessi verkefni ásamt öðrum, hafa aukið þekkingu á blæðingu þorskfiska og óhætt að segja að mikil vitundaraukning hafi orðið við blæðingafæri um borð í veiðiskipum undanfarin ár. Sýnt var fram á að vatnsskipti við blæðingu, hitastig blæðingarvatns og tími ferilsins hafa úrslitaáhrif á gæði blæðingar. Um mikilvægt mál er að ræða þar sem blóðleifar í afurð valda miklum gæðavandamálum, ekki aðeins útlitslegum heldur valda blóðleifar vandamálum með bragð og ensímvírkni sem skemmir afurð, m.a. í frosnu ástandi yfir tíma. Útgerðir togskipa hafa tekið upp breyttan feril við blóðgun þannig að afli er fyrst blóðgaður og síðan slægður, til að stytta tímann frá veiði til blóðgunar og bæta þannig blóðtæmingu.

Aðrar rannsóknir sýna að magn afgangsbloðs í afurð ræðst af meðhöndlun fyrir slátrun, slátruninni sjálfri, kælingu og geymslu (Olsen, 2011). Niðurstaða Michie (2001) var að hjá áframvinnslu á laxi í Skotlandi voru allt að 19% gæðavandamála tengd lélegri blæðingu, en það var reyndar háð árstíðum (sjávarhita). Einnig komst hann að þeirri niðurstöðu að meira var um blóðbletti í laxi sem slátrað var að hausti eða um vetur, frekar en vor og sumar. Taldi hann ástæður vera streita eða umhverfis- aðstæður fyrir þessum árstíðamun í blæðingu. Í rannsókn Roth, Torrissen, & Slinde (2005) er bent á að tíminn frá dauða til blæðingar er mikilvægari en blæðingafærið sjálft. Enginn munur var sjáanlegur

milli fiska þar sem skorið var á slagæð eða tálkn, eða fisk sem var eingöngu slægður strax eftir slátrun. Versta niðurstaða í rannsókn Roth et.al var dauðblóðgaður fiskur sem fékk slæma meðhöndlun eftir dauðastirðnun (Huss, 1995).

Blóðleifar í eldislaxi, sérstaklega eftir reykingu, geta valdið gæðavandamálum með miklum kostnaði fyrir greinina (Sorensen, Stormo, & Elvovoll, 2006). Sýnt hefur verið fram á að hitastig laxsins við slátrun hafði mikið að segja um storknunartíma blóðsins og hversu lengi það nær að flæða úr holdinu, og hefur því mikil áhrif á blóðtæmingu úr fiskinum, en lægra hitastig getur tvöfaldað storknunartíma þess. Stress fyrir slátrun hefur einnig mikil áhrif á gæði blæðingar, en stressið veldur því að fiskurinn bregst við með því að dæla blóði til vöðva, sem síðan skilar sér verr út við blóðgun, sem aftur veldur blóðblettum í afurð (Sorensen, Stormo, & Elvovoll, 2006).

Ein aðferð til að meta blóðleifar í laxaafurðum er að mæla blóðroða í flökum eða einfaldlega að telja blóðbletti í reyktum flökum. Blóðroða er erfitt að mæla með lit, vegna litar á holdi, sem er bleikur, til skoða hverjir eru helstu áhrifaþættir og fullnægjandi blóðtæmingu. Ólíkt villtum fiski er lax blóðgaður nánast strax eftir aflifun og því er sá tími ekki áhrifaþáttur. Mikilvægt er að skoða áhrif hitastigs við blæðingu og hvort þurrblæðing eða votblæðing hefur áhrif á gæði blæðingar. Vitað er að hitastig hefur áhrif á blóðstorknun, þar sem lægra hitastig við slátrun framlengdi storknun um eina klukkustund (Olsen, Sorensen, Stormo, & Elvovoll, 2006) og bætti þannig blóðtæmingu. Einnig er talið að streita fyrir slátrun sé mikilvægur þáttur fyrir góða blóðtæmingu (Roth & Slinde, 2001) (Robb, Phillips, & Kestin, 2003). Við flutning úr kvíum með brunnbát er þrengt að fiskinum sem getur valið miklu stressi og eins öll meðhöndlun fyrir slátrun. Í Noregi var kynnt aðferð við kælingu á lifandi laxi til að draga úr streitu fyrir slátrun ásamt því að draga úr áhrifum dauðstirðnunar og hægja á því ferli (Skjervold, Fjæra, & Östby, 1999).

Meðhöndlun á laxi fyrir slátrun getur valdið ýmiskonar lífræðilegum viðbrögðum sem hefur áhrif á afurðagæði (Lavéty, 1984) (Sorensen, Tobiassen, & Carlehög, 2004) (Robb & Kestin, 2002). Lækkun á pH gildi í fiski fyrir slátrun bendir til stress af völdum meðhöndlunar, vegna aukinnar H^+ mjólkursýru í vöðva við átök, en Atlantshafs lax er um $7,4 \pm 0,1$ (Erikson, Sigholt, & Seland, 1997). Stressið veldur því að aukið blóðfæði er til vöðvans og hægir á flæði blóðs milli hluta af æðakerfi fisksins. Þannig að meira af blóði er þá í vöðvum, helst í stirtlu, og aðeins blóði úr tálknnum eða í æðum nálægt tæmist við blóðgun. (Hoar & Randall, 1970). Einnig getur streita valdið því að storknun á blóði verður fyrir en við venjulegar aðstæður (Ruis & Bayne, 1997). Samkvæmt niðurstöðu (Erikson, Sigholt, & Seland, 1997) var blóðtæming betri ef fiskurinn var drepinn óstessaður, líklega vegna þess að vöðvi hans þrýstir blóði úr vöðvanum eftir blóðgun. (Skjervold, Fjæra, Östby, & Einen, Live chilling and crowding stress before slaughter af Atlantic salmon (*salmo salar*), 2001).

Blóð í fiskvöðva er eitt stærsta gæðavandamál í eldisfiski, sérstaklega ef hann er ætlaður til reykingar. Í blóðinu eru ensími sem brjóta vöðvann niður, járn í hemóglóbíni (blóðrauða) hvetur þránun á fitu, gefur rauðan lit og er næringarefni fyrir örverur. Um 19% af gæðavandamálum í laxi frá Skotlandi er tengd ófullnægjandi blæðingu (Roth, Torrissen, & Slinde, 2005). Þess vegna er mikið hagsmunamál fyrir vaxandi fiskeldi á Íslandi að hafa réttu aðferðina til að fá fiskinum til að blæða rétt. Ef samtímis er hægt að finna leið til að hreinsa óæskileg efni úr blóðvatni þá er um stórt fjárhagslegt mál að ræða. Ef hreinsunin tekst vel þá verður jafnvel hægt að nýta blæðingarvatnið í hringrás í blæðingarkerfinu. Það liggja mikil tækifæri í vinnslu úr blóði laxfiska sem er algjörlega óplægður akur en blóð er ríkt af fjölmörgum fitusýrum, steinefnum o.fl.

Blóðleifar í fiskholdi getur valdið miklum gæðavandamálum af nokkrum ástæðum; þær geta valdið útlitslegum vandamálum, þær geta haft áhrif á bragð, og þær hafa mikil áhrif á geymsluþol afurða. Blóðleifar flýta fyrir skemmdaferlum í fiskafurðum með ensímvirkni. Mikilvægt er að blóðgun sé

framkvæmd sem fyrst eftir slátrun til að tryggja fullnægjandi blóðtæmingu, og ekki skiptir máli þó fiskurinn sé slægður seinna. (Karlsdóttir, et al., 2014). Blóðið virkar sem næring fyrir skemmdar örverur og geta því hraðað efnafræðilegum viðbrögðum (Gunnarsson, 2001), með myndun FFA sem eykur ensímvirkni. Blóðið inniheldur einnig meira TMAO-ase virkni sem ýtir undir niðurbroti á TMAO niður í formalínhyð og dímetýlamín við geymslu í frosti eða í TMA í ferskum flökum (Karlsdóttir, et al., 2014). TMAO er talið geta hjálpað til við að tryggja stöðugleika próteina gegn denaturation og öðrum breytingum. Hinsvegar hefur niðurbrot á TMAO, DMA og FA verði tengd við áferðar vandamála við geymslu í frosti og aukið vökvatap. FA getur myndað kross tengingu milli vöðva próteins sem veldur þessum breytingum (Jeremiah, 1996).

2.2.2 Umhverfisþáttur blæðingar

Í drögum að reglugerð frá 7. febrúar 2014 segir orðrétt: "Í vinnslustöð og hvers kyns aðstöðu til aflífunar og blóðgunar á eldisfiski með frárennsli í sjó þar sem kvíaeldi er stundað skal sóttþreinsa allt blóðvatn með þeim hætti sem Matvælastofnun viðurkennir og samþykkir. Búnaður til sóttþreinsunar skal vera kominn í fulla notkun eigi síðar en 1. september 2015".

Á Íslandi er gert ráð fyrir að fiskeldi skili 15 þúsund tonna framleiðslu árið 2017 og verði komin í rúmlega 25 þúsund tonn 2020. Áætlanir fiskeldisfyrirtækja gera þó ráð fyrir rúmlega 60 þúsund tonna framleiðslu 2020, en miðað við óvissu um leyfisveitingar og framboð af seiðum verður að gera ráð fyrir að lægri talan sé raunhæfari. Ef miðað er við útreikninga á þolmörkum frá Hafrannsóknarstofnun gæti framleiðsla framtíðar orðið allt að 130 þúsund tonn á ári.

Rétt blæðing við slátrun er mikilvæg til að tryggja rétt gæði afurða. Nauðsynlegt er að finna bestu aðferð hvað varðar meðhöndlun eftir slátrun, t.d. að finna hæfileg vatnsskipti, réttan tíma og hitastig í blæðingarbúnaði til að hámarka árangur blæðingar. Í dag er umtalsverður kostnaður við sóttþreinsun og eyðingu á blæðingavatni eftir slátrun og blóðgun á eldisfiski. Helsta vandamálið er þó gæðavandamál afurða vegna ónógrar blæðingar. Hreinsun á blóðvatninu er einnig mjög mikilvæg. Þetta er að hluta til vegna þess að ekki er leyft að henda blæðingarvatninu eins og gert er við blæðingu á villtum fiski um borð í veiðiskipum. Safna þarf því blóðvatni saman í tank og sóttþreinsa það áður en það er losað í sjóinn eða því er eytt á annan hátt með ærnum tilkostnaði. Þetta er gert vegna smithættu í fiskeldi.

Til að tryggja blóðtæmingu við slátrun á laxfiskum er þörf á miklum vatnsskiptum í blæðingartanki. Vegna kostnaðar við förgun á blæðingarvatni er reynt að lágmarka endurnýjun á fersku vatni, sem getur valdið töluverðri mettun á blóði í blæðingartanki (mynd 6). Það getur valdið því að fiskur blóðtæmist illa.



Mynd 6. Blæðingarvatn eldisfisks. Eins og sést er vatnið mettað af blóði sem hefur neikvæð áhrif á gæði afurða.

Blóð telur allt að 5% af þyngd fisksins og töluverður kostnaður fer í förgun á því. Í gangi eru rannsóknir til að þróa afurðir úr blóðvatni úr eldifiski sem gæti skapað möguleika að breyta vandamáli í verðmætasköpun. Blóð er um 3-7% af þyngd fiskar og því til mikils að vinna miðað við tuga þúsunda tonna framleiðslu. Mikilvægt er því að þróa aðferðir og finna búnað til að safna þessum efnum úr blóðvatni.

2.3 Nýting á blóði

Nýting á blóði gæti einnig verið áhugaverður og verðmætur kostur. Í NORDREGIO verkefninu er verið að þróa kraftfóður/markfóður fyrir eldisfisk, byggt m.a. á blóði eldisfisks. Ástæðan er að slíkt hráefni byggir á næringarsamsetningu (fitusýrur, prótein og ýmis micro-nutrients svo og steinefni) sem henta vel í fóður fyrir seiði áður en þeim er sleppt í sjó. Slíkt fóður nýtist til að „boosta“ fiskinn áður en hann verður fyrir álagi í eldisferlinu; t.d. fyrir útsetningu laxaseiða í sjó, auðgun lifandi fæðudýra áður en sjávarfiskar eru vandir á þurrfóður o.s.frv. Kraftfóður/markfóður er ætlað að efla almenna ónæmissvörun og heilbrigði fiskjarins, og þar með einnig vöxt. Takist þetta vel myndi það efni sem hreinsað verður frá við blæðingu henta vel sem hráefni og þar af leiðandi væri hægt að vinna verðmæti úr því, og lækka þannig kostnað við hreinsun, einskonar win-win aðstæður.

Nauðsynlegt er að svara spurningum um hvaða efni og hversu mikið þarf að fjarlægja úr blæðingarvatni til að hægt verði að endurnýta það, og hvaða búnaður henti best til að leysa þetta verkefni. Skoðaðar verða ýmsar leiðir til að hreinsa/safna blóði úr blæðingarvatni; t.d. felling, þétting, síun, fín og gróf, skiljun, þurrkun o.s.frv.

Ein hugmyndin er að nota svokallaða þurrblæðingu (Stranda/Sunnmøre in Norway) sem byrjað er að þróa í Noregi. Aðferðin byggir á tveggja þrepa blæðingu þar sem fiskurinn er hengdur upp á sporðinum eftir blóðgun og þegar megnið af blóðinu hefur tæmst úr fiskinum er hann látin í þrepaskipt blæðingaker. Í fyrra þrepi er nánast ekkert vatn, hreint blóð, og síðan fer hann í ker með miklum vatnskiptum til að ljúka blæðingaferlinu. Votblæðing er hinsvegar hefðbundin blæðing þar sem fiskurinn er settur í ker með vatnskiptum og látin blæða þar út. Fyrri aðferðin gefur tækifæri til að safna blóðinu til frekari vinnslu áður en það blandast saman við vinnsluvatnið.

Ef notast er við þurrblæðingu í upphafi til að fanga blóð án þess að blanda því í blæðingarvatnið, þarf að svara spurningum um hvort það hafi áhrif á gæði afurða í samanburði við votblæðingu. Umsækjendur hafa unnið mikið rannsóknarstarf varðandi blæðingu á villtum fiski og hefur upp á síðkastið einnig verið

unnið að rannsóknum á blæðingu laxfiska í samstarfi við norræn og íslensk eldisfyrirtæki. Skortur á þekkingu blæðingar og tæknilegri lausn á hreinsun blóðvatnsins er talið eitt mikilvægasta málið í slátrun á eldisfiski í dag. Aukin þekking á mikilvægi blæðingar og áhrifum hennar á afurðargæði skilar af sér í **bættri framleiðslu, hærra afurðarverði og dregur úr neikvæðum umhverfisáhrifum eldisframleiðslu**. Skimun á blóði ásamt efnagreiningu og einangrun lífvirkra efna er lykilþáttur til að þróa aðferðir og afurðir sem geta skilað meiri verðmætum í framtíðinni.

(Olsen, Quantification and characterisation of residual blood in fish muscle - Impact of slaughtering methods., 2011)

3 RANNSÓKNIR

Sýni voru tekin hjá Arnarlaxi á Bíldudal í viku 6 2019.

3.1 Rannsókn

Markmið rannsóknar var að bera saman áhrif þurr- og votblæðingar. Fjórir hópar voru teknir með sjö fiskum hver, og hugmyndin að mæla hversu mikil blæðing var að meðaltali. Sýnin voru tekin á mismunandi stöðum við þrjú mismunandi hitastig og á mismunandi blæðingartíma; líkt eftir þurrblæðingu, við dælu, í blæðingatank og í kælitank.



Mynd 7 Sýnataka við blæðingu

Til að mæla kæliferylinn var iButton hitasírita komið fyrir í kjarna fisksins, strax eftir slátrun.

1. 20 voru vigtaðir og slátrað, þeir blóðgaðir og blóðið fangað í frauð-kassa í 1 mínútu, því pakkað og vigtað.
2. 100 lítrar af vatni sett í 660 ltr ker (-2,5 °C), laxinn settur í kerid í 7 mínútur
3. 200 lítrar af vatni sett í 660 ltr ker (-2,5 °C), laxinn skolaður með vatnsúða og settur í kerid í 60 mínútur.
4. 200 lítrar af vatni sett í 660 ltr ker (-2,5 °C), laxinn skolaður með vatnsúða og settur í kerid í 120 mínútur.
5. Sýni tekin af vatni úr báðum kerum til rannsóknar. Vatnið úr tanki 2 var síað með 100 micron sigti til að fanga blóðleifar.

Jafnframt var tekið sýni af blóði og úr vinnslunni hjá Arnarlaxi, úr blæðingatank og kælitanki.



Mynd 8 Samanburður á dauðblóðguðum fiski, ofan, og hefðbundinni blæðingu, neðan.

3.2 Niðurstöður

3.2.1 Aðferðir til mats á virkni blæðingaraðferða

Bestu á blæðingu er hægt að meta með því að áætla hve vel hefur tekist að fjarlægja blóð úr vöðva fisks. Það er hægt að gera með efnamælingum eða sjónrænu mati (skynmati). Í verkefninu var virkni þriggja mismunandi aðferða til að meta hve vel tókst að fjarlægja blóð. Þær voru:

1. Mæling á hemóglóbíni í vöðva

Miklir erfiðleikar reyndust við að meta blóðmagn í holdi sýna, að stórum hluta til vegna þess hve litsterkt hold laxins var.

Hemóglóbín mælingar voru framkvæmdar samkvæmt leiðbeiningum en náttúrulegt litarefni í holdi laxins gleypu ljós á sömu bylgjulengd og notast var við í aðferðinni og því ekki hægt að meta blóðið í holdinu án þess að fjarlægja litarefnið úr sýninu fyrst, ekki gafst tækifæri til að framkvæma slíka mælingu í verkefninu þar sem það styttist miðað við fyrri áætlanir.

1. Sjónrænt mat á ferskum flökum

Sjónrænt mat á hve vel tekist hafði að blótæma flök var ekki heppileg aðferð, ekki var hægt að greina að meira væri um blóðbletti t.d. í óblóðguðum eða dauðblóðguðum fisk samaborið við blóðgaðann fisk. Flök voru skoðuð strax eftir vinnslu ásamt því að vera endurmetin eftir viku geymslu í kæli. Þá voru einnig metin áhrif þess að fiskur væri geymdur heill og það flak sem snéri roði upp í loft fjarlæggt til að meta hvort blettir væru sýnilegir og mögulegt væri að meta áhrif blæðingarinnar á holdið. Ekki reyndist vera hægt að meta blóðmagn í vöðva með þessum hætti þar sem blóðblettir sjást almennt ekki á holdi lax vegna þess hve litsterkt það er. Myndir af flökum má sjá í viðhengi 5.5.

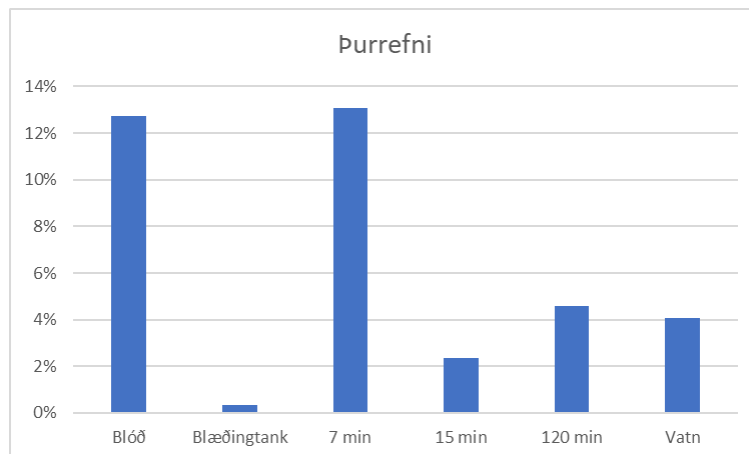
2. Söltun flaka og mat á blóðblettum eftir söltun með þverskurði

Dæmi um framhaldsvinnslu lax er reyking. Fyrir reykingu eru flök almennt söltuð en það ferli getur orðið til þess að blóðblettir sem áður voru ekki sýnilegir dökkni og sjáist vel. Því voru flök söltuð og í framhaldi skorin niður í 1 – 1,5 cm ræmur svo hægt væri að meta áhrif saltsins bæði á útlit á yfirborði og sýnileika blóðs inni í vöðvanum. Myndir af flökum má sjá í viðhengi 5.5. Söltun varð til þess að það blóð sem var í flakinu dökknaði svo við mat á fiski sem ætlaður er í reyk getur þessi aðferð verið heppileg og veitir a.m.k. meiri upplýsingar en mat beint á ferskum fiski. Aftur á móti er ekki hægt að

sjá bletti inni í stórum flökum án þess að skera í þau eins og gefur að skilja og því veitir þetta einungis upplýsingar um blóðbletti á yfirborði.

3.2.2 Blæðingarvatn

Sýnum var safnað á mismunandi stöðum í blæðingu lax. Mynd 9 sýnir dæmi um þau sýni sem safnað var. Í þeim var mælt þurrefni og fita. Blóð safnað beint úr laxi við þurrblóðgun reyndist hafa rúmlega 12% þurrefni. Þar er um að ræða m.a. fitu, prótein og steinefni. Sýni sem safnað var úr dælu eftir blæðingu í 7 mín hafði einnig hátt hlutfall þurrefnis. Þar er vatn nýtt í hringrás og lítil endurnýjun ásamt því að saltþækill er í tankinum og bæði töluvert salt í vatninu ásamt því að líklegt er að þurrefni safnist á þennan stað í ferlinu vegna lítillar endurnýjunar. Minna þurrefni var að finna á öðrum stöðum í ferlinum. Ekki reyndist mögulegt vegna styttingar á verkefni að gera ítarlegar efnamælingar á blóðinu og blæðingarvatninu og því ekki hægt að draga ályktanir út frá þeim niðurstöðum sem komnar eru um möguleika á hreinsun og í framhaldinu nýtingu þeirra efna sem safnast við það ferli. Arnarlax hefur unnið að því að setja upp hreinsibúnað og áætlað var að meta virkni hans og safna því efni sem hann hreinsar úr blæðingarvatninu. Ljóst er að tækifæri liggja í því að greina ítarlega blóðið og það efni sem safnast við hreinsun á blóðvatni en t.a.m. er blóð talið vera um 2-5 % af heildarþyngd lax og því um töluvert magn hráefnis að ræða.



Mynd 9 Þurrefnismæling í blæðingavatni á mismunandi stöðum og mismunandi tíma



Mynd 10 Sex mismunandi sýni; talið frá vinstri: blóð, blæðingatakur, vatn, 7 mín blæðing, 15 mín blæðing, og 120 mín blæðing.

4 UMRÆÐA

Verkefnið var sett upp sem þriggja ára verkefni og sótt var um framhaldsstyrk frá Umhverfissjóði sjókvíaldis eftir lok fyrsta árs, og eftir lok annars árs. Niðurstaða var neikvæð og ekki fékkst fjármagn til að ljúka við rannsóknir og niðurstöður bera keim af því. Eitt af markmiðum verkefnisins var að þróa bestun blæðinga á laxfiskum en ekki tókst að ljúka þeim. Erfiðleikar og mikið flækjustig var í mælingum á blóð- leifum í laxaflökum en sjónrænt mat er ómögulegt, eins og gert er í þorski, vegna náttúrulegum roða í holdinu. Vinna við að þróa verðmæti úr föstum efnum úr vinnsluvatni var hafin en ekki tókst að ljúka henni. Sú vinna sem gerð var mun þó nýtast við frekari rannsóknir framtíðar.

5 VIÐAUKI

Viðauki 1 - Salmon bleeding trial: Visual evaluation results

1. Blood spots on fresh fillets

Three different bleeding methods were used on different individual fish to evaluate effectivity of methods for determination of amount of blood in the muscle following bleeding. This to determine a way to evaluate and measure effectivity of bleeding methods moving forward in the project. Samples were treated in the following way:

- Dry bleeding
- Bleeding in water
- No bleeding

For each individual treatment 3 different fish were evaluated:

1 was filleted directly, following transportation to Reykjavík

2 filleted after one week of storage at 0-2 °C.

Results are presented in observations and accompanied with photographs taken of the samples.

Photos were taken after one week of storage:

Dry bled salmon, first image filleted after transport and second and third after 1 week of storage:





Salmon bled in water, traditional bleeding, first image filleted after transport and second and third after 1 week of storage:





Salmon not bled, first image filleted after transport and second and third after 1 week of storage:





Evaluating effectivity of bleeding protocol on fresh fillets was not effective. In general no difference or very small difference was noted between bled and not bled fish through visual evaluation of the

fillet surface. This method is therefore not considered effective. It is concluded that due to the colour of the fish muscle other methods should be used.

2. Salted fillets

Fillets were dry salted in hopes of making blood spots more visible and therefore making a visual evaluation a possible method for determining the effectivity of the bleeding procedure. The dry salting process used prior do cold smoking was emulated.

Fish was treated as described in the earlier trial – dry bled, not bled and traditionally bled in water prior to salting.

Following salting samples were photographed and evaluated and then sliced perpendicular to the skin into 1 – 1.5 cm slices to determine blood spots in side the flesh.

Dry bled, top fillet not salted bottom fillet salted



Dry bled salted samples sliced perpendicular to the skin into slices. On top unsalted and bottom salted fillet.



<- Left salted - Right not salted ->





Quite a lot of blood spots on it but mainly positioned superficially or next to the dark muscle

Blood spots were better visible following salting as suspected and the flesh over all darker. Blood spots were more visible following salting.

All groups were treated with salt and different slightly with regards to how many blood spots were noted. This shows the importance of bleeding properly especially when the raw material is processed further, e.g. smoked.

Salting could therefore be used to determine amount of blood spots in the fillet. It is a fairly time consuming method and requires a large number of samples to be analysed to limit effect of individual variation on the outcome of the study.

6 HEIMILDASKRÁ

- Arason, S., Thordarson, G., Karlsdóttir, M., Högnason, A., & Flosason, G. (2013). *Blóðgunarkerfi fyrir smábáta*. Reykjavík: Matís.
- Erikson, U., Sigholt, T., & Seland, A. (1997). Handling stress and water quality during live transportation and slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 149, 243-252.
- Eriksson, N. E., & Johnson, G. (1979). *Fisken*. Landbruksforlaget, Oslo, Norway.
- Farrell, A. P., Thorarensen, H., Axelsson, M., Crocker, C., Gamperl, A. K., & Cech Jr, J. J. (2001). Review gut blood flow in fish during exercise and severe hypercapnia. *Comp. Biochem. Physiol.* 128A, 551-563.
- Farrell, A. P., & Jones, D. R. (1992). The heart. in: Hoar, W.W., Randall, D.J., A. P. Farrell (Eds.) *The Cardiovascular System. Fish Physiology. Vol. 12a. Academic Press San Diego, California, USA*, 1-73.
- Gunnarsson, V. I. (2001). *pdf/kafli1.pdf*. Sótt frá Sjavarutvegur.is: <http://www.sjavarutvegur.is>
- Hankeln, T., Ebner, B., Fuchs, C., Gerlach, F., Haberkamp, M., Laufs, T. L., . . . Burmester, T. (2005). Neuroglobin and cytoglobin in search of their role in the vertebrate globin family. *J. Inorg. Biochem.* 99, 110-119.
- Hoar, W. S., & Randall, D. J. (1970). *Fish Physiology. Academic Press, vol. 4.*, 133-168.
- Huss, H. H. (1995). Biological aspects. in: Huss, H.H. (Ed.) *Quality and quality changes in fresh fish. FAO Fisheries Technical Paper No. 348, Food and Agriculture Organization, Roma, Italy*, 9-19.
- Johnston, I. A. (1980). Specialisations of fish muscle. in: Goldspink, D.F. (Ed.), *Development and specialization of skeletal muscle. Seminar series (Society for Experimental Biology), Vol. 7, Cambridge University Press, Cambridge, UK*, 123-148.
- Karlsdóttir, M. G., Sveinsdóttir, K., Kristinsson, H. G., Villot, D., Craft, B. D., & Arason, S. (2014). Effects of temperature during frozen storage on lipid deterioration of saithe (*Pollachius virens*) and hoki (*Macruronus novaezelandiae*) muscles. *Food Chemistry* 156, 234-242.
- Karlsdóttir, M. G., Minh, N. V., Arason, S., Olafsdóttir, A., Romotowstka, P. E., Bersson, A. B., & Björnsson, S. (2014). *Áhrif blóðgunar á gæði og stöðugleika þorsks of ufsaafuraða*. Reykjavík: Matís.
- Lavéty, J. (1984). *Gaping in Farmed Salmon and Trout. Torry Advisory Note, vol. 90*. Aberdeen: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Torry Research Station.
- Marcined, D. J., Bonaventura, J., Wittenberg, J. B., & Block, B. A. (2001). Oxygen affinity and amino acid sequence of myoglobins from endothermic and ectothermic fish. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 280, R1123-R1133.
- Moorman, A. F. (2003). Cardiac chamber formation: Development, genes, and evolution. *Physiol. Rev.* 83, 1223-1267.
- Olsen, S. H. (2011). *Quantification and characterisation of residual blood in fish muscle - Impact of slaughtering methods*. Tromsø: UIT.

- Olsen, S. H., Sorensen, N. K., Stormo, S. K., & Elvovoll, E. O. (2006). Effect of slaughter methods on blood spotting and residual blood in fillets of atlantic salmon (*Salmo salar*). *Elsevier, ScienceDirect.com*, 462-469.
- Randall, D. J. (1970). The circulatory system. in: Hoar, W.S., Randall, D.J. (Eds.), *Fish Physiology, Vol. 4 Academic Press New Yourk, USA*, 133-168.
- Robb, D. F., & Kestin, S. C. (2002). Methods used to kill fish: field observations and literature reviewed. *Anim. Welf.*, 269-282.
- Robb, D. H., Phillips, A. J., & Kestin, S. C. (2003). Evaluation of methods for determining the prevalence of blood spots in smoked Atlantic salmon and the effect of exsanguination method on prevalence of blood spots. *Aquaculture* 217, 125-138.
- Roth, B., Birkeland, S., & Oyarzun, F. (2009). Stunning, pre slaughter and filleting conditions of Atlantic salmon and subsequent effect on flesh quality on fresh and smoked fillets. *Aquaculture*. 289, 350-356.
- Roth, B., Obach, A., Hunter, D., Nortvedt, R., & Oyarzun, F. (2009b). Factors affecting residual blood and subsequent effect on bloodspotting in smoked Atlantic salmon fillets. *Aquaculture* 297, 163-168.
- Roth, B., Slinde, E., & Robb, D. H. (2006). Field evaluation of live chilling with CO₂ on stunning Atlantic salmon (*Salmo salar*) and the subsequent effect on quality. *Aquac. Res.* 37, 799-804.
- Roth, B., Torrissen, O. J., & Slinde, E. (2005). The effect of slaughteing procedures on blood spotting in ranbow terout (ONCORHYNCHUS MYKISS) AND aTLaTLANTIC SALMON (sALMO SALAR). *aQUACULTURE*. 250, 796-803.
- Roth, T. B., & Slinde, O. J. (2001). The effect of slaughtering procedures on bleeding in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and reinbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Farmed Fish Quality. Blackwell, Oxford*, 405-406.
- Ruis, M. A., & Bayne, J. C. (1997). Effects of acute stress on blood clotting and yeast killing by phagocytes of rainbow trout. *Anim. Helth* 9, 190-195.
- Saguer, E., Fort, N., & Regenstein, J. M. (2006). Fish (rainbow trout) blood and Its fractions as food ingredients. *J.Aquat. Food Prod. Technol.* 15, 19-51.
- Satchell, G. H. (1992). The venous system. in: Hoar, W.W., Randall, D.J., Farrell, A.P. (Eds.), *The cardiovascular system, Fish Physiology. Vol. 12A. Academic Press, San Diego, Calif, USA*, 141-179.
- Shahidi, F., Metusalach, & Brown, J. A. (1998). Carotenoid pigments in seafoods and aquaculture. *Crit. Rev. .Food Sci. Nutr.* 38, 1-67.
- Skjervold, P. O., Fjæra, S. O., & Östby, P. B. (1999). Rigor in Atlandtic Salmon as affected by crowding stress prior to chilling before slaughter. *Aquaculture* 175, 93-101.
- Skjervold, P. O., Fjæra, S. O., Östby, P. B., & Einen, O. (2001). Live chilling and crowding stress before slaughter af Atlantic salmon (*salmo salar*). *Aquaculture* 19, 265-280.
- Sorensen, N. K., Tobiassen, T., & Carlehög, M. (2004). How do handling and killing methods affect ethical and sensory quality of farmed Atlantic salmon? In: Sakaguchi, M. (ED.) *More Efficient Utilization of Fish and Fisheries Products. Elsevier, Amsterdam.*, 301-307.

Stefán Freyr Björnsson. (2012). *Bætt vatnsnotkun í fiskvinnslu*. Reykjavík: Matís.

Thorarensen, H., Gallagher, P. E., Kiessling, A. K., & Farrel, A. P. (1993). Intestinal blood flow in swimming chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and the effects of haematocrit on blood flow distribution. *J. Exp. Biol*, 115-129.

Thordarson, G., Hognason, A., & Gestsson, O. (2012). *Vinnsluferlar smábáta*. Reykjavík: Matís.

Toth, B. T., & Slinde, O. J. (2005). The effect of slaughtering procedures on blood spotting in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 250, 796-803.