



Streita laxfiska við dælingu

Gunnar Þórðarson

Agnar Steinarsson

Ásgeir Bjarnason

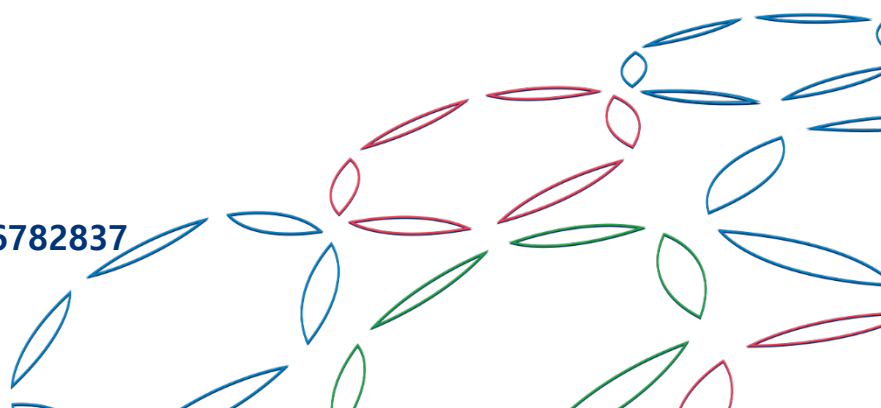
Ína B. Össurardóttir

Skýrsla Matis 19-22

Júní 2022

ISSN 1670-7192

DOI [10.5281/zenodo.6782837](https://doi.org/10.5281/zenodo.6782837)



Titill / Title	Streita laxfiska við dælingu - Stress of salmonid fishes during pumping		
Höfundar / Authors	Gunnar Þórðarson ¹ , Agnar Steinarsson ² , Ásgeir Bjarnason ³ og Ína B. Össurardóttir ⁴		
Skýrsla / Report no.	19-22	Útgáfudagur / Date:	20.6.2022
Verknr. / Project no.	62661		
Styrktaraðilar /Funding:	Matvælasjóður (ANR 20090620/1210)		
Ágríp á íslensku:	<p>Lágmörkun á streitu laxfiska við meðhöndlun í eldi getur skipt sköpum í að tryggja velferð, vöxt og viðgang fiskanna, sem og gæði og geymsluþol loka afurða. Streita við meðhöndlun, t.d. gegn lús, getur dregið úr viðnámsþrótti fiska gegn sýkingum og kulda ásamt því að draga úr vexti; því það getur tekið laxinn nokkurn tíma að jafna sig og byrja að taka fóður aftur. Ef dæling á fiski til slátrunar veldur mikilli streitu sem getur haft áhrif á gæði afurða. Einnig er mikilvægt að mæta kröfum um dýravelferð við fiskeldi samhliða auknum þrýstingi frá neytendum.</p> <p>Vitað er að vakúmdælur, sem eru mest notaðar í fiskeldi í dag, valda töluverðri streitu, afföllum og lakari gæðum, enda gengur mikið á við dælingu þar sem loftrými með fiski er lofttæmt og síðan skotið áfram til að dæla fiskinum. Því hafa framleiðendur dælubúnaða verið að leita nýrra leiða við dælingu laxfiska og hefur íslenska fyrirtækið Skaginn 3X verið að þróa svokallaða spiraldælu (Archimedesar dælu) sem lausn á þessu vandamáli. Dælan hefur hlotið nafnið ValuePump.</p> <p>Í þessu verkefni var smíðuð frumgerð af dælunni og svo voru gerðar samanburðartilraunir á henni og hefðbundinni vakúmdælu, þar sem streita í fiski við dælingu var mæld með hjartsláttarnemum, ásamt mælingum á myndun streituhormóna í blóði.</p> <p>Tilraunir fóru fram í aðstöðu Hafrannsóknastofnunar á Reykjanesi undir stjórn sérfræðinga í fiskeldi og í notkun á hjartsláttarnemum. Á fjögurra vikna tímabili var 100 löxum (um 1 kg meðalþyngd) dælt einu sinni í viku með sitthvorri dælunni og þar af voru 20 laxar með innvortis hjartsláttarnema frá Stjörnu-Odda.</p> <p>Niðurstöðurnar sýndu marktækan mun á milli hópa í kjölfar dælingar. Hjartsláttur hækkaði mikið við dælingu en ValuePump hópurinn var fljótari að jafna sig og ná aftur grunnildi. Dæling með vakúmdælu hafði mun meiri langvarandi streituáhrif en tilraun með hámarksáreiti þar sem fiskurinn spriklaði á þurru. Mikill sjónrænn munur var einnig á hópunum eftir dælutegundum, þar sem fiskar sem dælt var með vakúmdælu komu oft slasaðir eða jafnvel dauðir úr dælunni, syntu á hlið eða á hvolfi klukkutímum eftir dælingu. Fiskur sem dælt var með ValuePump varð hins vegar ekki fyrir neinu sjáanlegu hjaski við dælinguna og virtist vel á sig komin að henni lokinni.</p> <p>Niðurstöður samanburðartilraunanna verða að teljast mjög jákvæðar, en þó er þörf á frekari rannsóknum til að skera endanlega úr um kosti ValuePump umfram hefðbundnar vakúmdælur. Ljóst virðist á niðurstöðum verkefnisins að lax sem dælt er með ValuePump sé fljótari að ná sér eftir dæling og þá byrja aftur að taka fóður. Niðurstöður hvað varðar dælingu til slátrunar eru ekki eins augljósar og þarfnast frekari rannsókna, þá sér í lagi þar sem rannsaka þarf fisk sem kominn er í sláturstærð við raunaðstæður.</p>		
Lykilorð á íslensku:	Streita, dæling, vakúmdæla, Arkímedes dæla		

Report summary

<p><i>Summary in English:</i></p>	<p>Minimizing the stress of salmonids during handling and before slaughtering can be extremely important for welfare, survival and growth, as well as to ensure overall quality and shelf-life of the final products. Stress during treatment, e.g., against lice, can reduce the resistance of fish to infections and cold seawater as well as reduce growth which may take the salmon some time to recover from stress and start feeding again. If the pumping of fish for slaughter causes a lot of stress, it can affect the quality of the products. Animal welfare is also becoming more important in aquaculture with increased welfare demands from the consumers.</p> <p>It is known that vacuum pumps, that are most commonly used in the aquaculture industry today, cause considerable stress, loss and poor quality, as pumping causes a lot of discomfort for the fish. Companies have therefore been searching for an alternative to vacuum pumping for some time. The Icelandic company Skaginn 3X has for some time been developing a so-called Archimedes pump to replace vacuum pumps.</p> <p>In this project, a prototype of the Archimedes pump (called ValuePump) was made, and then compared to a conventional vacuum pump. The pumping stress of fish was measured by cardiac sensors along with the measurement of a stress hormone. Over a 4-week period, 100 salmon (1 kg average weight) were pumped once weekly with either pump, including 20 salmon implanted with heart rate loggers from Star-Oddi.</p> <p>Experiments were carried out in the facilities of the Marine and Freshwater Research Institute in Reykjanes under supervision of specialists in aquaculture and the use of cardiac sensors.</p> <p>The results showed a significant difference in heart rate recovery between the two groups. There was a large increase in heart rate immediately after pumping but the ValuePump group recovered more quickly to pre-pumping levels. Pumping with the vacuum pump caused a larger and longer stress effect than an applied max stress chase protocol. There was also a considerable visible difference between the two groups, where the vacuum pump fish were injured or even dead after pumping, swimming on the side or upside down for hours after pumping. The ValuePump fish, however, received no visible physical damage from the pumping and seemed fit.</p> <p>The results of the comparative studies indicate very positive results, but further studies are however needed to validate the results. It is apparent that salmon pumped with ValuePump is faster to recover than when pumped with vacuum pumps and is as results faster to start feeding again after handling. Results regarding pumping of fish for slaughtering are not as comprehensive and need to be studied further, particularly by analysing fish that has reached slaughter size and preferably in real industry setting.</p>
<p><i>English keywords:</i></p>	<p><i>Stress, pumping, vacuum pump, Archimedes pump</i></p>

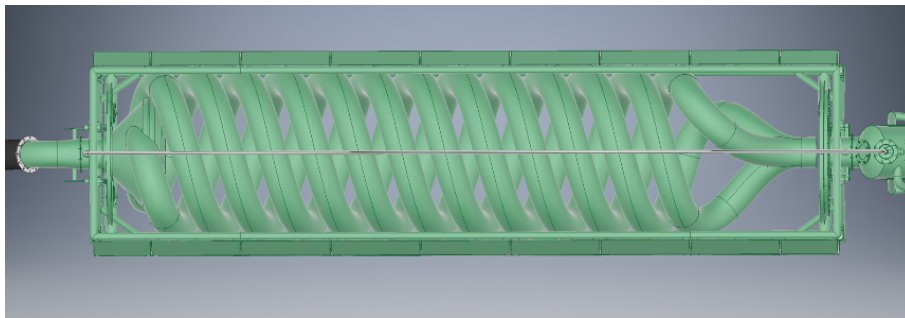
EFNISYFIRLIT

1	Inngangur.....	1
2	Streita laxfiska við dælingu	3
3	Aðferðafræði	5
3.1	Dælurnar	5
3.2	Hjartsláttarmælar og þrýstinemar.....	7
3.3	Blóðsýnataka	7
3.4	Lifandi laxfiskur.....	8
3.5	Skipulag tilrauna	8
3.6	Lýsandi tölfraði.....	9
4	Tilraunir	10
5	Niðurstöður	12
5.1	Samánburður á niðurstöðum	12
5.2	Hjartsláttarniðurstöður	14
5.3	Niðurstöður þrýstimæla	15
5.4	Niðurstöður Kortisól mælinga	15
5.5	Tölfraði niðurstöður	16
5.6	Ávinningur laxaiðnaðar.....	18
6	Ályktun og umræður	19
7	Þakkarorð	20
8	Heimildaskrá	21
	Viðaukar.....	22

1 INNGANGUR

Fiskeldi í heiminum hefur aukist gríðarlega á síðustu áratugum. Árið 1980 var eldisfiskur 9% af heildar framboði af fiski í heiminum sem ætlaður er til manneldis, miðað við 91% af villtum fiski. 2014 var þetta hlutfall eldisfisks orðið 50% og spáin fyrir 2025 gerir ráð fyrir að eldisfiskur verði 56% af framboði fisks í heiminum (FAO, 2020). Fiskeldi á Íslandi skilaði um 54 þús. tonnnum á árinu 2021, að verðmæti rúmlega 36 milljörðum króna (Radarinn, 2022). Í núverandi burðarþolsmati er gert ráð fyrir 130 þús. tonna framleiðslu, en áhættumat Hafró gerir ráð fyrir 71 þús. tonnnum. Að mati sérfræðinga má búast við endurskoðun á áhættumati með töluverðri aukningu á framleiðslu umfram þessar tölur. Gangi þessar spár eftir er mikil fjárfesting í slátrun og vinnslu framundan í íslensku fiskeldi, bæði á bleikju og sérstaklega laxi. Framleiðslan í Noregi er um 1,3 milljónir tonna á ári, en áætlað að hún verði um fimm milljónir tonna árið 2050 (PWC, 2019). Gert er ráð fyrir 90 þúsund tonna eldi í Færeyjum og aukningu í Skotlandi og Síle. Þessi mikla framleiðsluaukning krefst þess að hagræðing, sjálfvirkni og dýravelferð séu í hávegum höfð.

Við hefðbundið ferli í laxeldisstöðvum í dag er laxi dælt með vakúmdælum úr og í kvíar, til dæmis til slátrunar eða lúsameðhöndlunar. Í slíkum dælum er dregið loft úr tanki með einstefnuloka á báðum endum, og við það sogast laxinn upp í tankinn upp að tilteknu magni miðað við rúmmál dællunar; Þá er lokað fyrir innstreymi í dæluna og þrýstilofti skotið á tankinn og laxinum þannig „skotið“ í gegnum rör á áfangastað. Þetta veldur fiskinum verulegri streitu sem hefur neikvæð áhrif á vöxt, sem og á gæði og geymsluþol lokaafurða. Því hafa framleiðendur dælubúnaða verið að leita nýrra leiða við dælingu laxfiska og hefur íslenska fyrirtækið Skaginn 3X verið að þróa svokallaða spíraldælu (Archimedesar dælu) sem lausn á þessu vandamáli. Dælan hefur hlotið nafnið ValuePump. Dælan nýtir aðskilnað loft og vökva í spíral til að mynda þrýsting til dælingar á vökva. Lifandi fiskur getur þannig ferðast í „kyrru“ vatni á leið í gegnum dæluna, með lágmarksáreiti sem er talið valda fiskinum minni streitu en hefðbundnar dælur. Á mynd 1 má sjá hvernig ValuePump virkar.



Mynd 1: ValuePump er spíraldæla sem nýtir snúning á spíral til að mynda þrýsting til dælingar á vökva. Fiskurinn ferðast þannig í "kyrru" vatni í miðju dællunar

Á haustmánuðum 2020 veitti Matvælasjóður fyrirtækinu Skaginn 3X, ásamt samstarfsaðilum, styrk til að þróa, smíða og prófa frumgerð af ValuePump. Frumgerðin var tilbúin til prófana snemma árs 2022 og voru þá gerðar samanburðarmælingar á virkni ValuePump og hefðbundinnar vakúmdælu, sem í dag er notuð við dælingu á lifandi laxi til slátrunar og við meðhöndlun við og í kvíum.

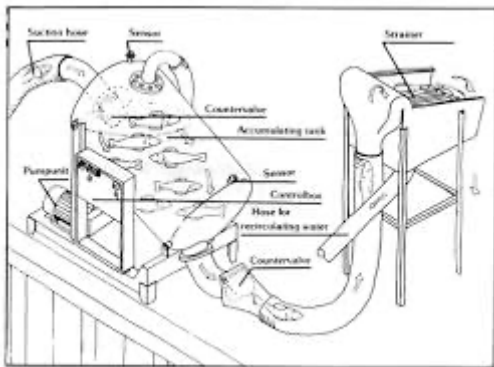
Við samanburðarmælingarnar var notast við DST nema frá Stjörnu-Odda sem skrá hitastig og hjartslátt í fiski, auk þess sem streituhormónið Kortisól var mælt í blóði. Samanburðartilraunirnar fóru fram í aðstöðu Hafrannsóknarstofnunnar á Reykjanesi undir stjórn sérfræðinga stofnunarinnar, Stjörnu-Odda og Matís.

Í þessari skýrslu er greint frá framkvæmd og niðurstöðum verkefnisins, en megin markmiðið var að afla þekkingar og svara þeirri spurningu hvort ValuePump geti bætt meðhöndlun á lifandi fiski, valdið minni streitu miðað við hefðbundnar vakúmdælur, sem og dregið úr kostnaði, aukið lífslíkur og dregið úr gæðarýrnun hjá fiskeldisfyrirtækjum.

2 STREITA LAXFISKA VIÐ DÆLINGU

Öll meðhöndlun lifandi fiska í eldi hefur áhrif á líðan og vöxt fiskanna, sem og á gæði lokaafurðanna. Í laxeldi hefur það sérstaklega sýnt sig að fiskarnir stressast upp við dælingu s.s. þegar dælt er á milli kvía, upp í sláturhús, í brunnbát eða til meðhöndlunar við laxalús og öðrum slíkum óværum. Streitan hefur þau áhrif að fiskurinn hættir að taka fóður í allt upp í eina viku, með tilheyrandi áhrifum á vöxt og viðgang dýranna. Þegar fiski er dælt til slátrunar hefur streitan þau áhrif að fiskurinn fer hraðar og með meiri ákefð í gegnum dauðastirðunarferlið, sem hefur mikil áhrif á gæði og geymsluþol afurðanna. Það er því mikilvægt fyrir laxeldisiðnaðinn að finna leiðir til að lágmarka streitu við meðhöndlun, og þar er dælingin megin streituvaldurinn. Skaginn 3X telur að ValuePump sé lausnin sem beðið hefur verið eftir til að lágmarka streitu laxfiska við dælingu.

Við streitu verður fiskurinn fyrir áfallaviðbragði sem einkennist af losun hormóna (s.s. kortisóls) og í kjölfarið verða breytingar eins og hraðari hjartsláttur og meira blóðflæði, ásamt aukinni súrefnisnotkun (Gunnarsson, Björnsson, & Hreinsson, 2009). Ef streituvaldur verður viðvarandi geta áhrifin komið fram við eldi og orsakað minni vöxt, minni fóðurtöku, minna sjúkdómaviðnám og aukin afföll.



Vakúmdælar eru notaðar til dælingar á lifandi fiski, við meðhöndlun og til dælingar í slátrun. Loft er dælt úr safngeymi og þar með dregst sjór (og fiskur) upp í hann. Þegar fyllingu hefur verið náð er myndaður yfirþrýstingur með því að dæla lofti inn í safngeyminn og þannig er sjór (og fiski) þrýst inn í leiðslu til flutnings við meðhöndlun eða í slátrun. Afköstin geta verið mörg hundruð tonn á klukkutíma og sögið allt að níu metra hæð og allt að 15 metra upp á við (Gorrie, 2001).

Mynd 2: Vakúmdælar eru afkastamiklar en eru jafnframt umtalsverðir streituvaldar í laxeldi

Margir ókostir eru hins vegar við vakúmdælar:

- Þær valda streitu hjá fiski við mikinn þéttleika í safngeymi
- Einstefnulokar í safngeymi geta klemmt fisk þegar þeir lokast
- Einnig kemur fiskur og sjór í púlsum út úr dælunni, en hægt er að jafna rennslið með því að hafa tvo safngeyma
- Í safngeyminum verður mjög snögg þrýstihækkun, sem fiskurinn þarf að aðlagast
- Þegar þær soga fisk upp myndast undirþrýstingur sem getur haft neikvæða áhrif á fiskinn, en hægt er að draga úr honum með því að halda dælingarhæð í lagmarki (Gorrie, 2001) (Midling, o.fl., 2008).
- Hávaði og „höggbylgjur“ berast í gegnum vatnið sem verða til vegna skiptingar á loftlokum og þá sérstaklega í tvöföldum vakúmdælum (með tvo safngeyma)

ValuePump frá Skaginn 3X gefur tækifæri til að lágmarka streitu við meðhöndlun á lifandi fiski, t.d. fyrir lúsameðhöndlun. En sem dæmi þá kosta sníkjudýr norskt laxeldi um 120 milljarða ISK á ári og er lúsin

helsta ástæða þess að lítil framleiðsluaukning hefur verið í Noregi um árabil (PWC, 2019). Ljóst er að ekki verður aukið verulega við eldi þar í landi fyrr en lausn finnst á vandamálinu. Með vaxandi laxeldi hérlandis eykst þörfin á meðhöndlun gegn laxa- og fiskilús. Nýjar lausnir við meðhöndlun á lifandi fiski eru ein af grunnforsendum fyrir framtíð laxeldis og verðmætasköpun framleiðslunnar. Nauðsynlegt er að dæla laxinum við meðhöndlun við laxalús og öðrum sníkjudýrum, og hefur það sýnt sig að það tekur oft upp undir heila viku fyrir lax af taka fóður aftur eftir slíka meðferð. Lágmarkun á stressi við ferlið er talið líklegt til að geta stýtt þann tíma verulega.

Dauðastirðnun hefur mikil áhrif á nýtingu, gæði og geymsluþol fiska. Fljótlega eftir dauða læsast vöðvar, sem leiðir til þess að fiskur verður stífur. Þetta fyrirbrigði er nefnt dauðastirðnun (latína: rigor mortis, enska: stiffness of death), en hún varir í nokkrar klukkustundir eða nokkra daga eftir aðstæðum. Smám saman slaknar aftur á vöðvum og fiskurinn verður mjúkur á ný. Munur er milli fisktegunda hvað þetta varðar og einnig milli einstakra fiska sömu tegundar.

Í laxavinnslu er það þekkt vandamál að ekki er hægt að ná beinagarði (pin-bone) úr flökum fyrr en á þriðja sólarhring eftir slátrun. Flutningur frá slátrunarstað til áframvinnslu hefur verið notaður í þessu ferli til að gera fiskinn tilbúinn til flökunar og fjarlægja beinin í framhaldi, en þau eru dregin úr flakinu. Með nýrri tækni, s.s. sjálfvirkum vatnsskurði hefur áhugi framleiðanda aukist á að vinna flökin í beinu framhaldi af slátrun og vinna þannig tíma og lengja hillutíma afurða. Rétt er að taka fram að stór hluti laxaafurða er seldur ferskur og því mikilvægt að hámarka geymsluþol vöru. Ef beinagarðurinn væri skorin úr, líkt og í þorski myndi þessi möguleiki opnast ásamt miklum tækifærum í markaðssetningu á flakastykkjum (portions) líkt og í þorskafurðum. Flökin stýttast hins vegar um 8 til 12% ef þau eru skorin af beinagarðinum fyrir dauðastirðnun (rigor), sem ekki hefur þó áhrif á bragð- bit eða önnur flakagæði (Þórðarson, Högnason, & Guðjónsson, 2017).

Með minni streitu við meðhöndlun fyrir slátrun má seinka dauðastirðnun og hversu öflug hún verður, og draga þannig úr neikvæðum áhrifum hennar. Það auðveldar vinnslu fyrir rigor þar sem lengri tími líður þar til ferlið hefst, auk þess sem gæði og geymsluþol afurða eykst (Þórðarson, Högnason, & Guðjónsson, 2017). Þekkt er að streita fyrir slátrun og sú orka sem fiskurinn notar fyrir slátrun hefur mikil áhrif á dauðastirðunarferlið þannig að aukin streita og orkunotkun fyrir dauða flýttir og ýkir ferlið (Oliveira A. , 2011). Við dælingu til slátrunar skiptir því miklu máli að fiskur sé ekki mjög stressaður áður en hann fer í gegnum rotara, þar sem sprikl hans getur valdið því að slátrun mistekst og hann fari því lifandi í blæðingu sem getur sett allt ferlið úr skorðum og valdið því að fiskurinn komist lifandi í blæðingaker.

Minni streita getur aukið afurðagæði og lengt dauðastirðunarferlið sem gefur frekari kost á pre-rigor vinnslu. Bætt aðferð við meðhöndlun á lifandi fiski sem veldur minni streitu gefur mikla möguleika á að leysa grundvallar vandamál laxeldis, s.s. laxa- og fiskilús. Ef ValuePump stenst væntinga munu opnast gríðarleg tækifæri í framleiðslu og útflutningi á búnaði til meðhöndlunar á lifandi fiski.

3 AÐFERÐAFRÆÐI

Markmið verkefnisins var að þróa, framleiða og prófa frumgerð af ValuePump. Þróun og smíði frumgerðarinnar fór fram 2021 og var hún tilbúin til prófanna í upphafi árs 2022. Voru þá gerðar samanburðartilraunir á ValuePump frumgerðinni og hefðbundinni vakúmdælu. Tilraunirnar voru gerðar í aðstöðu Hafró á Reykjanesi undir eftirliti og stjórnun sérfræðings Hafró og Stjörnu-Odda. Níutíu og átta laxar voru fengnir úr tilraunaeldisstöð Matís, á Keldnaholti, í desember 2021. Laxarnir voru um 800 gr. að stærð og voru fluttir með sérstökum tanki til rannsóknastöðvar Hafró, þar sem þeim var komið fyrir í kerjum sem eru sex metrar í þvermál og tveir metrar á hæð (kerjaheiti U1 og U2). Sérfræðingar Skaginn3X sáu um tenginu og dælingu á báðum dælum þessa þrjá daga sem dælingar fóru fram.

DST nemar frá Stjörnu-Odda voru notaðir til að mæla streitu fiska í samanburðarrannsókn á ValuePump og vakúmdælu. Þeir hafa verið notaðir við margskonar rannsóknir á undanförunum árum¹, meðal annars á laxfiskum við streitumælingar en ekki við samanburð á streitu við notkun á mismunandi dælum, og því um brautryðjandastarf að ræða. Einnig voru tekin blóðsýni til mælingar á streituhormóninu Kortisól, til að skoða fylgni útkomu við skráningu á hjartsláttarnemum. Kortisól mælingarnar fóru fram hjá Landspítalanum í Fossvogi.

3.1 Dælurnar

Samanburðardælur voru annars vegar vakúmdæla og hins vegar ValuePump frá 3X Skaginn. Dælurnar voru báðar með 6" (150 mm) breidd á röri og samkvæmt ráðleggingum framleiðanda byggðar fyrir allt að 1-1,5 kg stærð af fiski. Báðar dælur stóðu hlið við hlið í svipaðri hæð og voru sömu barkarnir notaðir við allar dælingar til að geta útilokað öðruvísi áhrifaþætti en dælurnar sjálfar. Inntakið á hvorri dælu var í 2,5-3 m hæð fyrir ofan vatnsyfirborðið í kerjunum, sem samsvarar soghæðinni. Lyftihæð eftir dælu var lítil eða engin, þar sem barkarnir lágu aftur ofan í kerin. Á Mynd 3 má sjá dælurnar hlið við hlið.

¹ <https://www.star-oddi.com/scientific-publications/>



Mynd 3: Dælnar sem notaðar voru við tilraunir, ValuePump til vinstri og vakúmdælan til hægri

Vakúmdælan:

Framleiðandi vakúmdællunar er Euskan, sem er af gerðinni VSB250 Double Tank með uppgefin afköst allt að 7-8 tonnum á tímann af lifandi fiski.

Notuð var tveggja-kúta vakúmdæla við tilraunir sem á skv. framleiðandanum að gefa sérstaklega stöðugt flæði og góða meðhöndlun á lifandi fiski. Kútarnir eru fylltir og tæmdir á víxl með 7,5 kW vökvahringdælu sem getur sogað og dælt á sama tíma. Hún þrýstir lofti í annan kúttinn til að tæma hann og sogað loft úr hinum á meðan. Vatnsskynjari lætur loftloka skipta á milli sogs og þrýstings. Mótór dællunar er keyrður á hraðastýringu og er þannig hægt að stýra afköstum og soghraða.

ValuePump:

ValuePump dælan er þriggja-rása / þriggja-fasa spíraldæla með 6,5 vafningum. Fyrir hvern snúning fyllir hún þrjá vafninga (50/50 loft og vatn). Tveir 7,5 kW mótórar eru tengdir hraðastýringum sem snúa dællunni.

Dæluvirkni myndast út frá samanlögðum hæðarmunum í hverri vatnssúlu í spíralnum (Arkímedesar lögmál). Þrýstingurinn í gegnum dæluna hækkar jafnt frá inntakinu að úttakinu yfir allan tímann og engin snöggbreyting verður á honum. Loftinu er hleypt inn við inntakið og afloftað á útenda. Þar sem dælusnúningar eru þrefaldir myndast ekki púlsar við dælingu, sem gefur stöðuga dælingu.

3.2 Hjartsláttarmælar og þrýstinemar

Hjartsláttarmælar frá Stjörnu-Odda voru notaðir til að fylgjast með áhrifu dælingar á hjartslátt fiskanna. Notaðir voru 20 stk. af DST micro-HRT (G2) sem vigta 3.3 gr.

Þrýstimælar frá Stjörnu-Odda voru einnig notaðir. En 2 stk. af DST milli-F (12 gr) – fyrir 260m dýpi með upplausn $\pm 1,6$ m. voru notaðir til að fylgjast með þrýstingi. Mælarnir tóku upp þrýsting á 1Hz milli 9:00-17:00 á dæludögnum. Einnig var minni þrýstinemi settur í fisk, sem tók mælingar á 2 sek. fresti á sama tíma.

Fyrir ígræðslu voru fiskar svæfðir með Finquel og líka merktir með slöngumerkjum. Þrýstinemar voru græddir í þrjá fiska, tveir í U1 og einn í U2, sem skráðu þrýsting við dælingu í tilraununum. Hitastig var 10 °C við ígræðslu. Á rannsóknartíma var fylgst með hitastigi, fóðrun og afföllum.

Við ígræðslu nema var hópur A, 49 fiskar, meðallengd 44,1 cm og 823,6 g að þyngd. Tíu fiskar voru teknir til ígræðslu hjartanema. Í hópi B voru 49 fiskar að meðalþyngd 905,6 g, 10 fiskar voru teknir til ígræðslu.

Mælar voru settir upp og ígræddir í fisk 6. janúar 2022 en forritaðir til að hefja mælingar miðvikudaginn 16. febrúar. Mælarnir voru forritaðir fyrir sérstakar mælingalotur á dæludögnum 16. febrúar, 23. febrúar og 2. mars, auk 9. mars en þá var engin dæling.

Hjartsláttarmælar tóku upp hitastig og hjartslátt á 1 mín. fresti frá klukkan 9:00-17:00 þessa daga en einnig er hjartarafrit (EKG) vistað í hluta af þeim mælingum. Hjartarafritið er notað til mælingar á hjartslætti og er það tekið upp á 150 Hz í 4 sekúndur í hvert sinn sem hjartsláttarmæling er tekin en hrágögnin aðeins vistuð að hluta til staðfestingar á reiknuðum gildum. Milli dæludaga voru mælar forritaðir til að skrá á 10 mínútna fresti.

3.3 Blóðsýnataka

HAFRÓ starfsmenn tóku blóðsýni úr lifandi laxfiskum í báðum kerum. Fiskarnir voru svæfðir með Finquel áður en blóðsýni voru tekin og sleppt strax aftur í kerin eftir sýnatöku til að tryggja velferð fiskanna. Sýni voru svo strax flutt á Landspítalann þar sem mælingar² fóru fram hjá sérfræðingi (Baldur Bragi Sigurðsson). Hitastigið í kerjum var 7°C og seltan 32 prómill.

² LC-MS/MS tækjabúnaður: Waters Acquity I-Class UPLC og Waters Xevo TQ-S mass spectrometer
Sýnameðhöndlun: Supported liquid extraction.

3.4 Lifandi laxfiskur

Fiskarnir voru fluttir til HAFRÓ og fengu þeir að jafna sig í kerjum áður en nemar voru græddir í þá. Fjölda og stærð fiskanna má sjá í töflu 1.

Tafla 1. Fjöldi og stærð fiska frá MARS rannsóknastöðinni.

Hópur	Fjöldi fiska	Meðal þyngd gr.	Meðal stærð cm.	Ígræddir nemar	Hitastig	Selta prómill
U1	49	824	44,1	10	7	32
U2	49	770	43,0	10	7	32

3.5 Skipulag tilrauna

Fyrir dælingu var vatni hleypt af kerjum þannig að 50 cm vatnshæð var eftir. Smíðaðar voru girðingar til að reka fiskinn að inntaki í dælu. Fiski var skipt í tvo hópa og voru 49 fiskar í hvorum hópi, U1 og U2. Hópum var síðan dælt í gegnum ValuePump eða vakúmdælu til samanburðar. Á mynd 4 má sjá hvernig staðið var að dælingartilraunum.



Mynd 4. Unnið við dælingu úr fiskkeri.

Blóðsýni voru tekin til mælingar á streituhormóni (Kortisól) til að skoða fylgni útkomu við skráningu á hjartanemum. Tekin voru sýni úr 10 fiskum úr hvorum hópi og þeim komið á Landspítalann í Fossvogi. Sýnin voru spunnin innan tveggja klukkustunda eftir sýnatöku.

3.6 Lýsandi tölfræði

Fyrir niðurstöður mæla voru tekin saman eftirfarandi tölfræðileg gögn:

- Lýsandi tölfræði eru aðferðir til að kerfisbinda, draga saman og lýsa gögnum. Það eru niðurstöður sem byggjast á úrtaki.
- Þýði er skilgreindur hópur sem gefur til kynna alla þá sem ætlunin er að fá upplýsingar um til að alhæfa um.
 - Þýði tilraunar eru allir laxfiskar sem fara í gegnum dælur.
- Úrtak er tiltölulega lítill hópur gagna sem er valinn úr þýðinu og er dæmigerður fyrir það.
 - Úrtak tilraunar var tilviljanakennt úrtak laxfiska sem voru ígræddir nemar í.
- Breytur og mælitölurnar sem notaðar eru til að lýsa eiginleikum þýðis út frá gögnum úr úrtaki gefa til kynna þörfina á stærð úrtaks. Eftir því sem breytileiki þýðis er meiri því stærra úrtaks er þörf sérstaklega ef á að greina margar breytur samtímis.
 - Í tilfalli laxfiska og áhrifa áreitis á hjartslátt er aðalbreytan hjartsláttur og kortisól í blóði. Það er því ekki þörf á stóru úrtaki til að geta spáð fyrir um allt þýðið við dælingu.

4 TILRAUNIR

Dælur voru settar upp, tengdar og prófaðar 2. Febrúar 2022. Mælar voru forritaðir til að taka mælingar á 10 mínútna fresti á milli mælingalota. Mælingalotur voru frá kl. 9-17 á mælingadögum og þá voru mælarnir stilltir til þess að taka mælingu á 1 mínútu fresti. Tilraunahóparnir voru tveir, 49 fiskar í sittthvoru kerinu, U1 og U2. Innan hvors hóps voru síðan 10 fiskar með innvortis hjartsláttarnema. Tíu dögum eftir ígræðslu nema voru tekin blóðsýni til að mæla streituhormón, kortisól, sem grunnildi (control). Skipulag tilraunanna má sjá á töflu 2.

Tafla 2. Skipulag tilrauna.

Dags.	Tilraun	Athugasemd
6. jan	Ígræðsla nema	Fiskar látnir jafna sig fyrir fyrstu dælingu. Allir fiskar lifðu af ígræðsluna.
2. feb	Dælur tengdar og prófaðar	Barkar settir í kerin en engin dæling á fiskum.
9. feb	<u>Grunnlína</u> – Hjartsláttarmælar og blóðprufur	Blóðsýnataka (Kortisól).
16. feb	<u>Dæludagur 1</u> – Hópi U2 dælt í gegnum vakúmdælu og hópi U1 dælt í gegnum ValuePump	Engin blóðsýnataka. Sjónrænt mat sýndi laskaða fiska með rispum á roði eftir dælingu í vakúm dælu en engir sjáanlegir áverkar eða breyting í hreyfingu í ValuePump. Einn laxfiskur dauður strax eftir úttak úr vakúmdælu.
23. feb	<u>Dæludagur 2</u> – Hópi U1 dælt í gegnum vakúmdælu og hópi U2 dælt í gegnum ValuePump	Blóðsýnataka (Kortisól) – Sirka 2 klst. eftir dælingu. Einn laxfiskur dauður strax eftir úttak úr vakúmdælu.
2. mars	<u>Dæludagur 3</u> – Hópi U2 dælt 2x í gegnum vakúmdælu og hópi U1 dælt 2x í gegnum ValuePump	Blóðsýnataka (Kortisól) – Sirka 2 klst. eftir dælingu. Í vikum á undan var hverjum fiski dælt einu sinni. Í þessari viku voru gerðar tvær umferðir í gegnum vakúmdælu og tvær umferðir í gegnum ValuePump. Sjónrænt mat sýndi fleiri laskaða fiska með fleiri rispum og mari á roði eftir dælingu í vakúmdælu en engir áverkar eða breytingar sáust eftir dælingu með ValuePump.
9. mars	<u>Max Stress</u> – Chase protocol ³	Blóðsýnataka (Kortisól) – Sirka 2 klst. eftir áreiti.

³ Þar sem reynt er handvirkt að hámarka stress og hjartslátt í fiski án dælingar eða mikillar meðhöndlunar við fiskinn.

Dæling var framkvæmd í þremur lotum með viku millibili, þ.e. 16. febrúar, 23. febrúar og 2. mars. Hleypt var úr kerjunum niður í 50 sm vatnshæð og fiskunum síðan smalað með smalagrindum í þröngan geira á milli grinda. Síðan var kveikt á dælunni og fiskunum smalað varlega í átt að inntaksbarkanum. Úttaksbarkinn frá dælunni lá síðan aftur ofan í kerid, hinum megin við smalagrindurnar. Umferðartími dælingar fyrir hvern stakan fisk var 40 sekúndur með vakúmdælunni og 80 sekúndur með ValuePump dælunni. Þann 9. mars, á síðasta mælingadegi hjartanema, var fiskinum ekki dælt en þess í stað framkölluð hámarksstreita (max stress) með því að lækka yfirborð í kerum þannig að aðeins nokkrir sentimetrar af vatni voru eftir og bak fiska stóð upp úr yfirborði og fiskurinn eltur og síðan háfaður í eina mínútu úr vatni á svipaðan hátt og lýst er í Prystay et al. . Fjórum sólarhringum seinna þann 14. Mars var fiski slátrað, namar fjarlægðir og lesið af þeim. (Prystay, et al., 2017)

Þegar blóðsýni voru tekin (10 stykki úr hvorum hóp) var beðið í klukkutíma eftir dælingu fyrir sýnatöku. Sýnum var síðan strax ekið á Landspítalann í Fossvogi til mælingar á streituhormóni (Kortisóli).

Tilraunaskipulag var þannig að hóparnir voru í sama kerinu allan tímann en dælunum var víxlað á milli vikna. Þannig var U1 hópnum dælt með ValuePump dælunni í fyrstu og þriðju viku en hins vegar með vakúmdælunni í annarri viku (og öfugt fyrir U2 hópinn). Í þriðju vikunni var fiskunum dælt tvisvar eða þrisvar sinnum í röð með sömu dælunni.

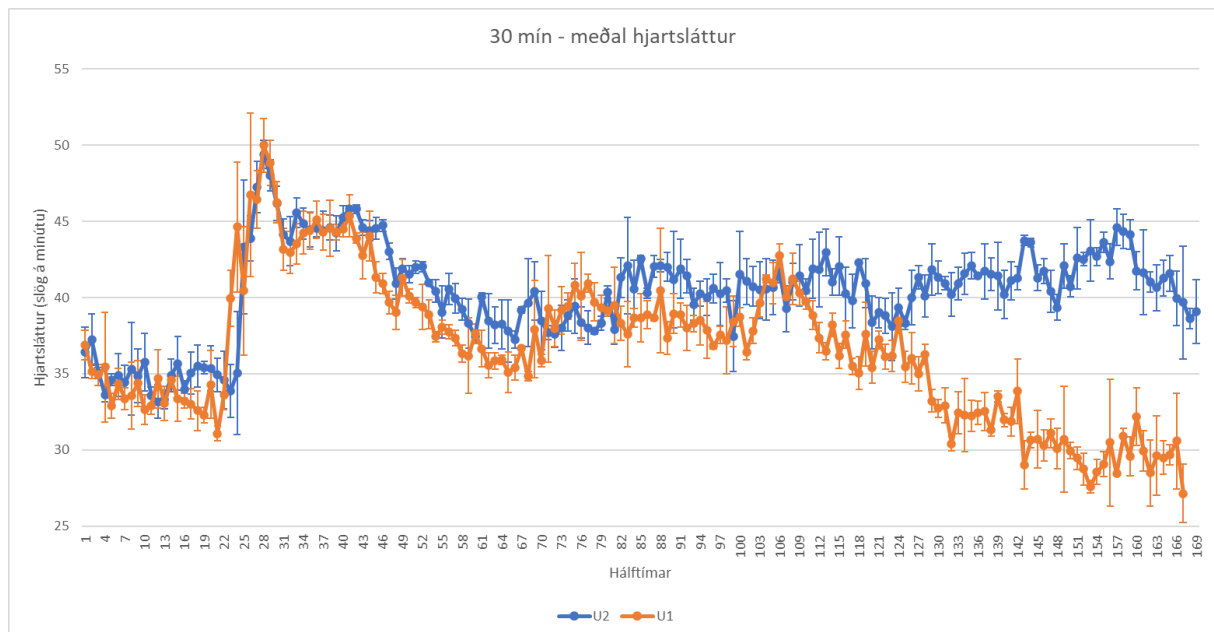
Við fyrstu dælingu með vakúmdælunni 16. febrúar slasaðist einn fiskur til ólífis í hópi U2, nokkuð bar á meiðslum og hreistri í vatninu og nokkrir fiskar virtust vankaðir eftir dælingu. Í hópi U1, sem dælt var með ValuePump dælunni, gekk betur og virtist fiskurinn vel á sig kominn eftir dælingu. Þetta var reynslan við allar þrjár dælingar.

5 NIÐURSTÖÐUR

5.1 Samanburður á niðurstöðum

Við fyrstu dælingu var töluverður munur á U1 og U2 þar sem fiskur sem dælt var í gegnum ValuePump (U1) var mun fljótari að ná sér eftir dælinguna. Það stemmir við sjónrænt mat á hópunum eftir dælinguna þar sem fiskar voru mjög vankaðir eftir vakúmdælu og einn fiskur dauður, og margir lengi að ná sér; lágu á hliðinni og syntu á hvolfi í nokkra tíma eftir dælingu. Fiskar voru hins vegar mun sprækari eftir dælingu úr ValuePump og ekki hægt að sjá nein alvarleg einkenni á þeim.

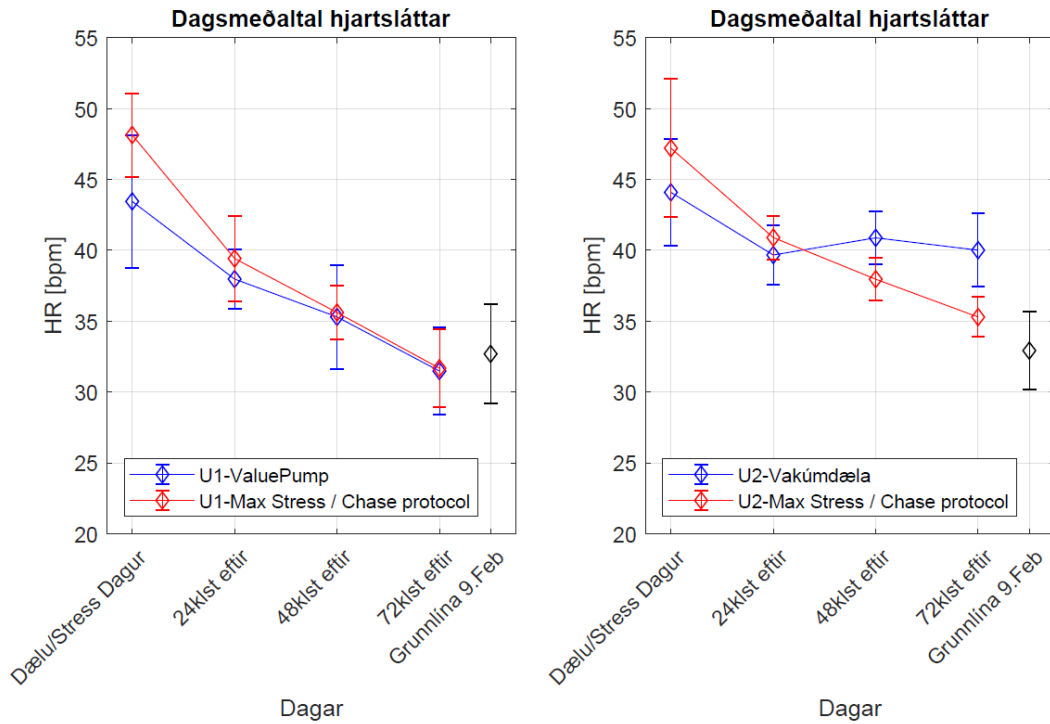
Við fyrstu dælingu sýndu hóparnir mjög svipaðan hjartslátt og síðan næstu 24 tímana á eftir. En eftir það skilur á milli hópanna þar sem U1 fellur niður í eðlilegt gildi (pre-stress) 72 tímum eftir dælingu, en U2 helst áfram hátt. Eftir á má segja að mistök hafi verið að víxla hópum eftir fyrstu dælingu og eðlilegra hefði verið að nota sömu hópa í sömu dælutegund allt ferlið. Niðurstöður fyrstu 72 tímana má sjá á mynd 5. Fyrstu 48 tímana er fylgni mikil milli hópna, en síðan byrjar U1 (ValuePump) að jafna sig (lækkandi hjartsláttur) meðan U2 (vakúmdæla) virðist halda háum hjartslætti.



Mynd 5. Hjartsláttur í báðum hópum (30 mín meðaltal) í fyrstu dælingu og fyrstu þrjá daga á eftir (U1 ValuePump – U2 Vakúm dæla)

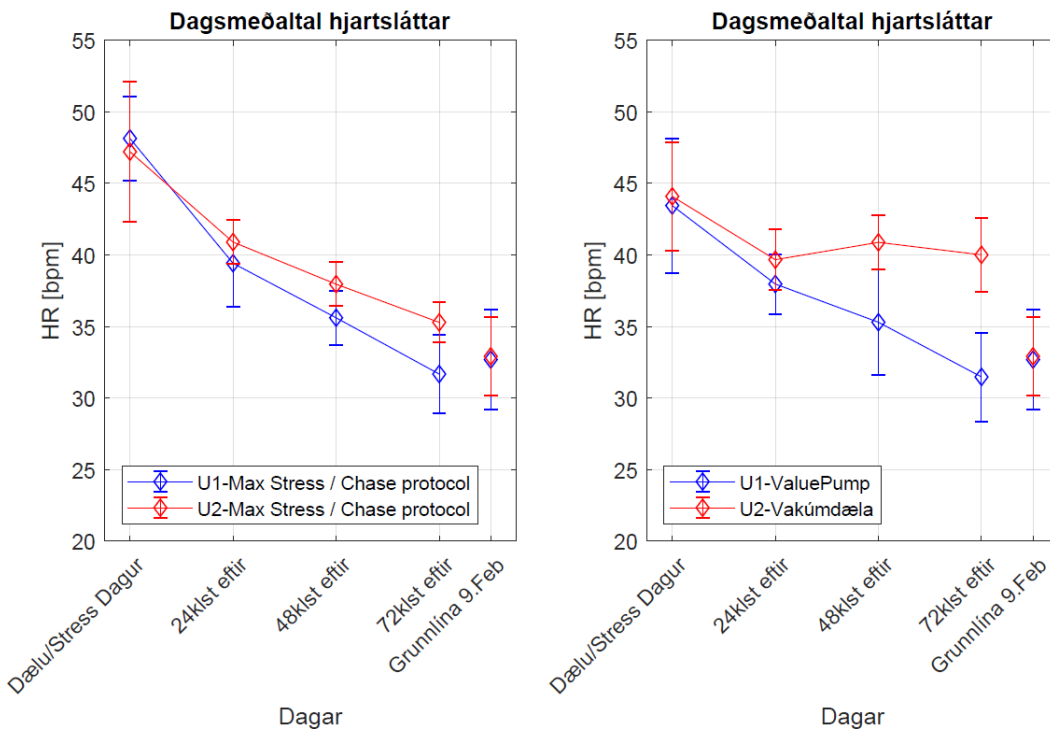
Á mynd 5 má sjá 30 mín meðaltal hjartsláttar við dælingu úr báðum hópum í fyrstu dælingu, U1 og U2. Greinilegt er hvernig U1 er fljótari að ná sér og eftir 48 tíma fer hjartsláttur niður í svipaðan hjartslátt og fyrir tilraun, en U2 heldur háum hjartslætti.

Á mynd 6 til vinstri eru tekin dagsmeðaltöl hámarksstreitu fyrir ValuePump (U1), annars vegar þegar dæling á sér stað, blá lína, og hins vegar við hámerkun á áreiti. Í línuritinu til hægri eru sömu gildi fyrir vakúmdælu. Línuritið sýnir dag dælingar og næstu 72 klst á eftir.



Mynd 6. Samanburður á "Chase protocol", þar sem reynt er að hámarka streitu og hjartslátt í hópunum við mikla meðhöndlun og fyrstu dælingu á fiskinum þar sem engin blóðsýnataka eða önnur meðhöndlun hefur átt sér stað.

Báðar dælar sýna svipuð gildi á hjartslætti á degi dælingar í samanburði við hámarkshjartslátt eða um 10% lægri en hámarkshjartsláttur. Hinsvegar helst hjartsláttur fisks í U2 hærri 48-72klst eftir tilraun.



Mynd 7. Samanburður á dagsmeðaltali hjartsláttar/streitu milli hópa við hámarksáreiti (t.v.) og við dælingu (t.h.).

Á mynd 7 er tekinn samanburður milli hópa, U1 og U2 þar sem skoðað er dagsmeðaltal hjartsláttar við hámarksáreiti til vinstri og síðan mismunur milli dælinga til hægri. Grunnlínu gildi sem tekin voru 9. Febrúar eru inn á öllum myndunum.

Við hámarksáreiti (Max Stress / Chase protocol) var yfirborð í kerri lækkað í 40 cm og fiskurinn truflaður með því að ýta við honum með háf, hann síðan háfaður í 1 mín áður en honum er sleppt aftur ofan í kerrið.

5.2 Hjartsláttarniðurstöður

Aðeins var stuðst við niðurstöður úr fyrstu dælingu og tilraun með hámarksáreiti vegna blöndunar sýnatökuhópa í báðar dælur eftir fyrsta dæludaginn.

Fiskur úr ValuePump (U1) var fljótari að ná sér eftir fyrstu dælingu en fiskur úr vakúmdælu (U2) ef skoðaður er munur á hjartslætti frá dælingu og 72 klst. eftir dælingu. Á mynd 5 má sjá 30 mín meðaltal hjartsláttar á báðum hópum við fyrstu dælingu, hann er síðan sýndur í dagsmeðaltölum á myndum 6 og 7 þar sem einnig er bætt við grunnildum fyrir 9. febrúar og dagsmeðaltöl úr síðustu tilrauninni þar sem reynt var að fanga hámarkshjartslátt. Þrátt fyrir lítinn mun á hjartslætti við dælingu milli dælanna tveggja þar sem báðir hópar voru í kringum 35 slög á mínútu fyrir dælingu og fóru upp í um 50 slög við dælingu og lækkuðu niður í um 40 slög á mínútu á fyrstu 24 klst. Eftir það jókst munurinn þar sem vakúmdælu-fiskur helst hár í kringum 40 slög á mínútu en ValuePump fiskur lækkar niður í grunnildi. Sjónrænn munur var töluverður, en þar er um huglægt mat að ræða en ekki hlutlæg niðurstaða. Óljóst er hvaða áhrif áverkar af völdum dælinga hafa á hjartsláttartíðnina en fjölda vísindagreina hafa skoðað áhrif af ígræðslu á nemanum og getur fiskurinn verið allt að 1-3 vikur að jafna sig að slíku inngripi.

Hitastig við tilraun hefur einnig áhrif á hversu vel sár og áverkar gróa í fiski og fiskur á herra hitastigi hefur betri gróanda en fiskur í kaldara vatni. Einnig hefur hitastig töluverð áhrif á hjartsláttartíðnina og fiskur við herra hitastig getur aukið tíðnina meira en við lægri hitastig, fiskurinn í þessari tilraun var við 7°C sem telst nokkuð lágt en þó ágætis nálgun á íslenskan sjávarhita. Áhugavert að keyra svipaða tilraun á hærri hitastigum t.d. 12°C og 16°C og bera saman við lægri hitastig.

Eftir á að hyggja voru mistök að halda sig ekki við sömu hópum við hverja dælutegund í gegnum allt ferlið. Augljóst var eftir dælingu, í öllum þremur tilraunum, að fiskur sem dælt var í gegnum vakúm dælu var mun verr á sig kominn en sá sem fór í gegnum ValuePump. Mikill munur var milli hópa eftir dælingu, þar sem nokkuð bar á dauða fiska eftir vakúmdælu þó að engin fiskur með hjartsláttamæli hafi dáíð. Einnig voru margir laskaðir, lágu á hliðinni og jafnvel á hvolfi í nokkurn tíma eftir dælingu. Engin fiskur dó eftir ValuePump og var sá fiskur mun betur á sig kominn, með eðlilegt sund og á móti straumi í kerinu. Töluvert var af hreistri í kerri eftir dælingu með vakúmdælu, en ekki bar á því eftir ValuePump.

Miðað við útlit og hegðun fisksins eftir fyrstu dælingu hefði verið rétt að víxla ekki hópum, og halda sig við sama hóp í gegnum sömu dælu allan tímann. Sú spurning vaknar hvort fiskur hafi verið svo laskaður eftir fyrstu dælingu í gegnum vakúmdælu að hann hafi aldrei náð sér eftir það? Engin blóðsýnataka var

tekin eftir fyrstu dælingu en hins vegar voru alltaf tekin blóðsýni 2 klst eftir dælingu í fiskum með hjartamæla eftir það auk grunnlínunnar.

5.3 Niðurstöður þrýstimæla

Ekki fundust niðurstöður annarra rannsókna á áhrifum þrýstistiguls sem áreiti á fiska, sem valdið gæti streitu. En hægt er að álíta að hærri sveifla í þrýstingi geti valdið streitu, þar sem snöggar breytingar í umhverfi geti aukið hana.

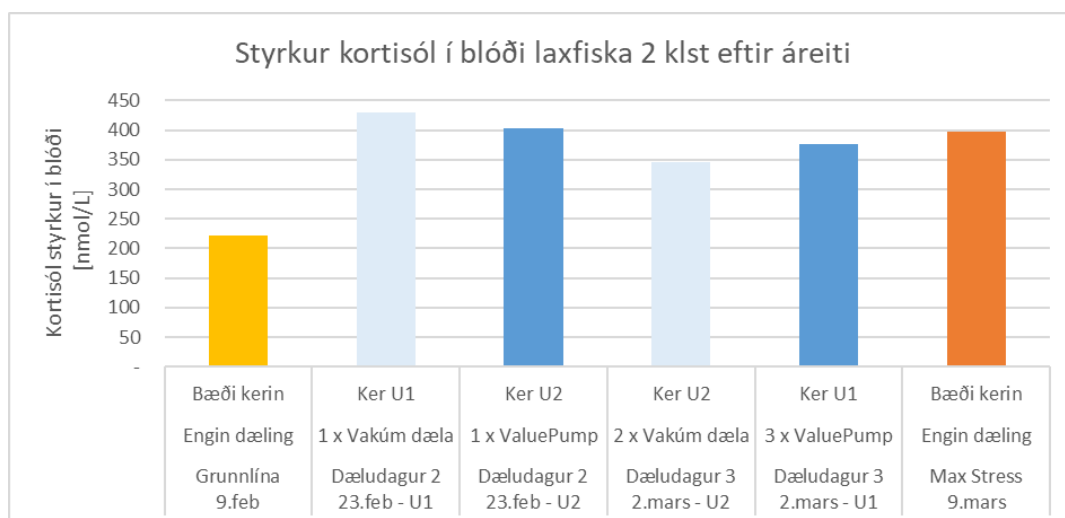
Áreiti út frá þrýstimismun í dælufurlinu virðist vera sambærilegt í báðum dælum. Hægt er að sýna mismun á bæði þrýstimun og stigul, en þessar niðurstöður eru hins vegar ekki marktækar vegna lágrar upplausnar nemanna og verður því mælt með áframhaldandi rannsókn og endurtekningu þrýstimælinganna með öðruvísi nemum til að staðfesta niðurstöðurnar.

Sjá frekari niðurstöður þrýstimælinga í viðauka.

5.4 Niðurstöður Kortisól mælinga

Ekki voru tekin blóðsýni á dæludegi 1. En dæludagar 2 og 3, auk grunnlínu- og hámarksstreitu (Max Stress) sýnatökudaganna gefa samanburð á áreiti fiska sem hafa farið í gegnum báðar dælurnar með viku millibili. Á öðrum dæludegi var skipt á milli kerja með dælurnar og því er viðmiðunarhópur ValuePump á dæludegi 2 búinn að fara í gegnum vakúm dæluna á dæludegi 1 og ætti því að verða fyrir meira áreiti í heildina en viðmiðunarhópurinn í vakúmdælu á dæludegi tvö og þrjú.

Út frá gefnum forsendum er hægt að bera saman niðurstöðurnar og álykta að það hafi náðst marktækur munur á grunnlínu (þar sem ekkert áreiti á sér stað í heilan dag) og kortisól í blóði laxfiska tveim klst. eftir dælingu í vakúm og ValuePump. Það er hins vegar ekki hægt að greina marktækan mun að magni kortisól í blóði milli dælutegundanna tveggja (sjá mynd 8).



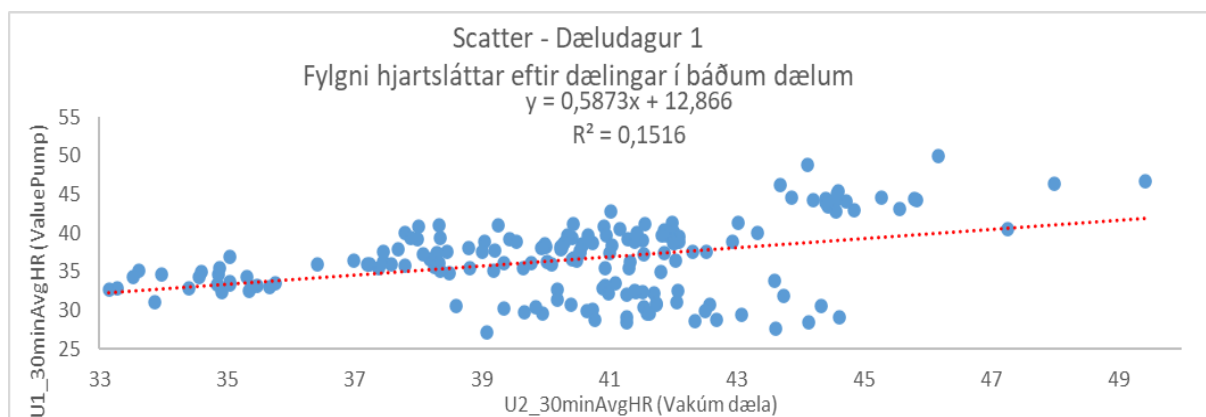
Mynd 8: Samanburður á kortisóli í blóði eftir sýnatökudögum og 2 klst eftir áreiti.

5.5 Tölfræði niðurstöður

Tafla 3. Skipulag sýnahópa.

Dags.	Sýnatökuhópur - U1	Sýnatökuhópur - U2
9. feb	Grunnlína og blóðsýnataka	Grunnlína og blóðsýnataka
16. feb	<u>Dælundagur 1</u> – 1 x ValuePump	<u>Dælundagur 1</u> – 1 x Vakúmdælu
23. feb	<u>Dælundagur 2</u> – 1 x Vakúmdælu og blóðsýnataka	<u>Dælundagur 2</u> – 1 x ValuePump og blóðsýnataka
2. mars	<u>Dælundagur 3</u> – 3 x ValuePump og blóðsýnataka	<u>Dælundagur 3</u> – 2 x Vakúmdælu og blóðsýnataka
9. mars	Max Stress – Chase protocol ⁴ og blóðsýnataka	Max Stress – Chase protocol og blóðsýnataka

Tölfræðileg marktækni vísar til líkanna á því að samband tveggja eða fleiri breyta stafi ekki af tilviljun. Breyturnar tvær að dæla laxfiski í gengum vakúm dælu borið saman við ValuePump dælu og áhrifum þess á hjartslátt og stresshormón í blóði sýna með t-test fallinu að það sé munur á milli þessara tveggja breyta (dæla) hvað varðar hjartslátt. Til þess að vera marktækur munur þarf $P(T \leq t)$ two tail að vera minna en 0,05. Útreikningar með t-test fallinu gefa niðurstöðuna $P(T \leq t)$ two tail = $4,19 \cdot 10^{-17}$ og telst því marktækur munur á milli hjartsláttaniðurstaða í vakúm dælu og ValuePump dælu, eins og sjá má á mynd 9.



Mynd 9: Fylgni/leitnilína R^2 og scatter línurit fyrir hjartsláttamælingar á dæluþegi 1 og 3 daga að jafna sig á eftir. Sýnatökuhópur U1 fyrir ValuePump dæluna og U2 í gegnum vakúm dæluna

Jöfnunar ferill laxfiska eftir dælingur í gegnum ValuePump er því marktækt hraðari en í gegnum vakúmdæluna þegar borin eru saman hjartsláttarmælingar tveggja sýnatökuhópa.

⁴ Þar sem reynt er handvirkt að hámarka stress og hjartslátt í fiski án dælingar eða mikillar meðhöndlunar við fiskinn.

Ekki voru framkvæmdar mælingar á blóðsýnum á dæluþegi 1 eða í jöfnunar fasanum og því einungis hægt að bera saman stresshormón í blóðsýnum tekin 2 klst. eftir dælingu á dæluþögum 2 og 3 auk grunnlínu sem voru tekin áður en dælingar byrjuðu og svo að auki hámarks streita daginn sem voru framkvæmd vikuna eftir síðustu dælingu.

Tölfræði útreikningar eru framkvæmdir með því að nota fallið ANOVA Single Test til að sjá hvort marktækur munur væri á milli sýnatökuhópa. Einnig voru gerð t-Test á milli tveggja sýnatökuhópa á hverjum sýnatökudegi.

Tölfræði útreikningar sýna að það er marktækur munur á milli grunnlínu og beggja dæla á dæluþegi tvö þar sem báðir sýnatökuhópar hafa verið dælt í gegnum báðar dæurnar með viku millibili. Staðalfrávik mælinga í ValuePump á dæluþegi 2 er einungis 16% á móti 39% í vakúmdælu sem styður mun á milli dæla.

Það mælist einungis marktækni á milli grunnlínu og ValuePump á dæluþegi þrjú þar sem sýnatökuhópur U1 fór 3 x í gegnum ValuePump á dæluþegi 3 og 1 x á dæluþegi 1 og auk þess 1 x í gegnum vakúm dælu á dæluþegi 2.

Marktækur munur mælist einnig á milli grunnlínu og hámarks streitu (Max Stress) daganna á báða sýnatökuhópa. Marktækni niðurstaðna kortisol mælinganna má sjá í töflu 4.

Tafla 4 Útreikningar á marktækni milli sýnatökuhópa

Marktækni - Munur á kortisóli milli sýnatökuhópa	P-value	Marktækur munur ? P < 0,05
ANOVA Single Test - Marktækni milli allra hópa		
Dæluþegur 2 - Allir hópar og allir test dagar	0,0198	JÁ
Dæluþegur 3 - Allir hópar og allir test dagar	0,0514	NEI
t-Test Two Sample - Marktækni milli tveggja hópa		
Dæluþegur 2 - Grunnlína vs Vakúm (U1)	0,0085	JÁ
Dæluþegur 2 - Grunnlína vs ValuePump (U2)	0,0001	JÁ
Dæluþegur 2 - Vakúm (U1) vs ValuePump (U2)	0,6498	NEI
Dæluþegur 2 - Vakúm (U1) vs Max Stress	0,6163	NEI
Dæluþegur 2 - ValuePump (U2) vs Max Stress	0,9107	NEI
Dæluþegur 3 - Grunnlína vs Vakúm (U2)	0,0739	NEI
Dæluþegur 3 - Grunnlína vs ValuePump (U1)	0,0022	JÁ
Dæluþegur 3 - Vakúm (U2) vs ValuePump (U1)	0,6076	NEI
Dæluþegur 3 - Vakúm (U2) vs Max Stress	0,4177	NEI
Dæluþegur 3 - ValuePump (U1) vs Max Stress	0,7250	NEI
Grunnlína vs Max Stress	0,0119	JÁ

Það sem við getum gefið okkur út frá þessum niðurstöðum er að það hefði verið æskilegra að hafa ekki notað báðar dælu á báða sýnatökuhópana. Því er ekki hægt að bera saman niðurstöður á milli dæla hvað varðar stress á fiskana í þeim tilgangi að sýna framá að önnur dælan valdi minna stressi en hin út frá dæluþögum 2 og 3.

Frekari niðurstöður á mælingum og marktækni kortisól mælinga má sjá í viðauka.

5.6 Ávinningur laxaiðnaðar

Ávinningur laxaiðnaðarins með því að draga úr streitu við meðhöndlun á fiski og dælingu til slátrunar er gríðarlegur. Mikil streita veldur því að fiskurinn tekur ekki fóður í allt að viku eftir meðhöndlun og þannig tapast dýrmætur tími til vaxtar. Með því að lágmarka streitu við dælingu til slátrunar er dregið úr myndun streituhormóns sem veldur gæðarýrnun og sýnt hefur verið fram á að kortisól getur dregið úr geymsluþoli afurða, þar sem álagið getur valdið mjólkursýrumyndun í vöðvum.

Ímynd laxeldisafurða er mjög mikilvæg fyrir markaðssetningu, en kröfur neytanda fara vaxandi um að gæta að dýravelferð og lágmarka eins og mögulegt er óþarfa álag sem getur valdið streitu og vanlíðan dýra.

6 ÁLYKTUN OG UMRÆÐUR

Rannsóknarspurning verkefnisins snýr að því hvort vakúmdæla valdi meiri streitu á lifandi laxfiskum en ValuePump. Gert er ráð fyrir sambandi hjartsláttar og streitu, við aukna streitu örvist hjartsláttur og með því að fylgjast með þeim tíma þar til hann verður aftur eðlilegur, sé hægt að álykta um hversu lengi streitu áhrif vegna dælingar vari og sá tími sem hann jafnar sig eftir álagið.

Ef miðað er við fyrstu dælingu, áður en hópum var víxlað, var ekki mikill munur á hjartslætti við dælingu eða fyrstu 24 klst. eftir dælingu, en eftir það lækkaði hjartsláttur í fisk sem dælt var með ValuePump niður í grunnildi (35 slög á mín) á meðan fisk sem dælt var með Vakúm dælu hélst um 25% hærrí (40 slög á mín). ***Þessu til stuðnings sýna tölfræðilegir útreikningar með t-test fallinu að jöfnunar ferill laxfiska eftir dælingur í gegnum ValuePump er marktækt hraðari en í gegnum vakúmdæluna þegar borin eru saman hjartsláttarmælingar tveggja sýnatökuhópa.***

Miðað við sjónrænt mat á ástandi fisks eftir dælingu var mikill munur á hópunum tveimur, þar sem nokkuð var um dauða fisks eftir dælingu með vakúm dælu og fiskurinn greinilega illa haldin, synti á hlið og jafnvel á hvolfi klukkutímum eftir dælingu. Hins vegar virtist fiskur sem dælt var í gegnum ValuePump vel haldin eftir dælingu. Þetta passar vel við niðurstöður hér að ofan við samanburð á dagsmeðaltali hjartsláttar við dælingu og hámarks áreiti.

Skoðuð voru áhrif dælingar á lifandi fiski, metin hversu mikil þau eru og hversu lengi þau vara. Þessi styttri tími í bata sem sést hjá ValuePump sýnir að það séu líkur á betri líðan laxfiskanna og að þeir missi ekki eins mikið niður gæði og feril dauðastirðunar borið saman við vakúmdæluna.

Tækifæri til frekari rannsókna

Það eru takmarkandi niðurstöður sem þessi rannsókn gefur hvað varðar marktækni í mun á milli dæluaðferða en sannarlega gefa þær rök fyrir aðferðafræði tilrauna svo hægt sé að velja nánar skipulagið á úrtaki og viðmiðunarhópum. Sem dæmi að tryggja að hver viðmiðunar hópur sé einungis prófaður í sömu dælu alla tilraunina.

Til að fá skýrari niðurstöðu þyrfti að gera samanburð milli þessara dælu tegunda við raun aðstæður, við kvíar út í sjó og með fisk sem er nær þeirri stærð sem venjulega er meðhöndlaður við kvíar eða dælt til slátrunar; u.þ.b. 5 kg. fiskur. Til að gera slíka tilraun þarf að nota dælur með um 40 cm rörum.

7 ÞAKKARORÐ

Höfundar vilja þakka samstarfsfólki í verkefninu fyrir samstarfið. Niðurstöður mun nýtast Skaginn 3X til frekari þróunar og markaðsetningar á nýrri dælu, ValuePump, og laxaiðnaðinum ef niðurstöður skila betri búnaði við meðhöndlun á lifandi fiski í framtíðinni. Arctic Fish er þakkað fyrir sitt framlag og gott samstarf í verkefninu.

Hafrannsóknastofnun er þakkað fyrir þeirra ómetanlega framlag, með faglegri yfirstjórn á rannsóknum og fyrir aðstoðuna á Stað á Reykjanesi. Sérstakar þakkir eru til Agnars Steinarssonar sem stýrði meðhöndlun á lifandi fiski við tilraunir. Ásgeiri Bjarnasyni starfsmanni Stjörnu-Odda er þakkað fyrir þeirra aðkomu að verkefninu, að útvega mæla og nema og ígræðslu þeirra, og ekki síður faglega ráðgjöf og aðstoð við meðhöndlun á fiski.

Jóhannes Weber og Ína Björg Össurardóttir, starfsmenn Skaginn 3X fá sérstaklega þakkir fyrir þeirra framlag til verkefnisins.

Síðast en ekki síst ber að þakka Matvælasjóð fyrir að koma að fjármögnun verkefnisins.

8 HEIMILDASKRÁ

FAO (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications/sofia/2020/en/>

Gorrie, W. 2001. Grading and handling around the hatchery. Part 3: High volume fish pumps. Hatchery International May/June. pp.36-37.

Gunnarsson, V. I., Björnsson, B., & Hreinsson, E. (2009). Föngun á þorski. Reykjavík: Hafrannsóknarstofnun.

Midling, K. Ö., Olsen, S. H., Tobiassen, T., Aas-Hansen, Ö., Aas, K., Harris, S., . . . Fremsteinevik, A. (2008). Slakting av oppdrettslaks på bat, direkte fra oppdrettsmerd. Oslo: Nofima.

Oliveira, A. (2011). Rigor Mortis in Fish. Kodiak: Fishery Industrial Technology Center.

Prystay, T. S., Eliason, E. J., Lawrence, M. J., Dick, M., Brownscombe, J. W., Patterson, D. A., . . . Cooke, S. J. (2017). The influence of water temperature on sockeye salmon heart rate recovery following simulated fisheries interactions. Oxford: Oxford University Press and the Society for Experimental Biology.

PWC (2019). Sustainable growth towards 2050. Sjømatbarometeret 2019. Pricewaterhouse Coopers, Oslo, Norway. <https://www.pwc.no/no/publikasjoner/sjomatbarometer-web-v02.pdf>

Radarinn (2022). Mælaborð sjávarútvegsins. Samtök Fyrirtækja í Sjávarútvegi. <https://radarinn.is/Fiskeldi/Eldi>

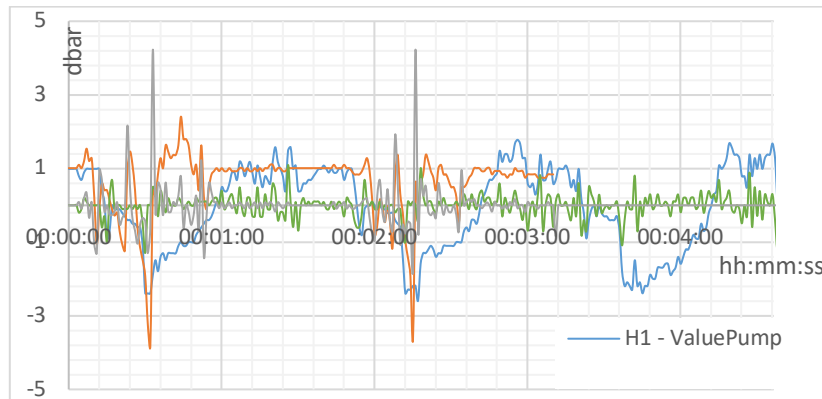
Þórðarson, G., Högnason, A., & Guðjónsson, A. H. (2016). *Áhrif dauðastirðunar á flakagæði*. Reykjavík: Mátis. <https://www.matis.is/media/matis/utgafa/13-16-Ahrif-daudastirdnunar.pdf>

VIÐAUKAR

ÞRÝSTIMÆLAR:

Einn fiskur í hvorum hópi var með þrýstimæli til að fylgjast með þrýstibreytingum við dælingu. Við gagnaúrvinnslu er sérstaklega horft á tvo þætti:

1. Þrýstimismunur Δp = hæsta – lágsta þrýstigildi í ferlinu
2. Þrýstistigull Δdp = hversu hröð þrýstibreyting á sér stað



Mynd 10. Þrýsti mælingar og þrýstistigull 2. mars 2022 - endurteknar dælingar

Í línuritinu fyrir ofan eru samanburðarmælingar á endurteknum dælingum með báðum dælum. Dæling í vakúmdælu tekur 40 sek. og eru miklar þrýstisveiflur sjáanlegar. Þar af leiðandi mælist þrýstistigullinn mjög hár. Samanborið við ValuePump, þar sem dælingin tekur 1 mín og 20 sek, er hægt að sjá greinilegan mun á sveifluhæð og ferlinum almennt, sem minnir miklu frekar á sínusbylgju – þ.e.a.s. mjúka sveiflu.

Tafla 5. Þrýstimunur og þrýstistigull.

	dælutími min:s	Δp max bar·10 ⁻¹	Δdp max bar·10 ⁻¹ ·s ⁻¹
Hópur 1 – ValuePump	1:20	4,4	2,4
Hópur 2 - vakúmdæla	0:40	6,2	6,1
Samanburður			
ValuePump gagnvart vakúmdælu	200%	70%	39%

Þrátt fyrir ómarktækni niðurstaðnanna sýnir Mynd 1010 áhugaverðan mismun á milli dælnanna. Ef hægt væri að staðfesta þessa hneigð myndi það tákna að þrýstimismunur væri 30% lægri og þrýstistigullinn u.þ.b. 60% lægri í ValuePump heldur í vakúm dælu. Hvoru tveggja hlýtur að hafa minna neikvæð áhrif á streitviðbrögð fiskana ef þeim er dælt með ValuePump.

Tölfræðiniðurstöður

HJARTSLÁTTARNEMAR:

Tölfræðiútreikningar frá dæluþegi 1. T-test niðurstöður sýna marktækan mun á milli hjartsláttamælinga í dæluþegum. Ekki mikil fylgni er á milli hjartsláttamælinga milli dæla og styður samanburð línurita milli dæluþega í kafla 5.1 það sé marktækur munur á milli vakúm dælu og ValuePump dælu skv Effect Size Stuðlinum og leitnilínu með $R^2=0,15$.

Pre dæling, dæling og reovery 3 dagar
Hjartsláttarmælingar frá 15.feb. kl 20:00 til 19.feb. kl 10:00

Descriptive statistics

	Vakúm dæla	ValuePump
Mean	40,3	36,6
Standard Error	0,2	0,4
Median	40,7	36,5
Mode	35,1	35,5
Standard Deviation	3,1	4,7
Sample Variance	9,6	21,9
Kurtosis	0,1	-0,3
Skewness	-0,2	0,2
Range	16,3	22,9
Minimum	33,2	27,1
Maximum	49,4	50,0
Sum	6979,6	6324,5
Count	173,0	173,0

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

Hjartsláttarmælingar frá 15.feb. kl 20:00 til 19.feb. kl 10:00

	Vakúm dæla	ValuePump
Mean	40,3	36,6
Variance	9,6	21,9
Observations	173	173
Pooled Variance	15,8	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	344	
t Stat	8,9	
P(T<=t) one-tail	2,10E-17	
t Critical one-tail	1,6	
P(T<=t) two-tail	4,19E-17	
t Critical two-tail	2,0	

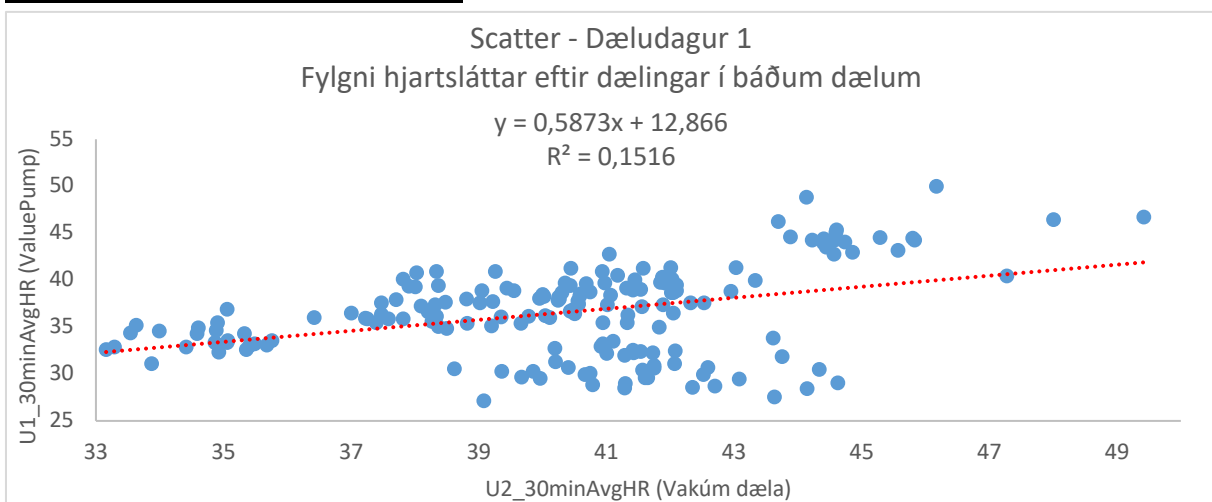
Correlation (Fylgni)

	Vakúm dæla	ValuePump
Vakúm dæla	1	
ValuePump	0,39	1

Jákvæð miðlungs fylgni á milli Vakúm og ValuePump

Effec Size (Cohen 1988)

Lítill fylgni	0,10
Miðlungs fylgni	0,30
Mikil fylgni	0,50



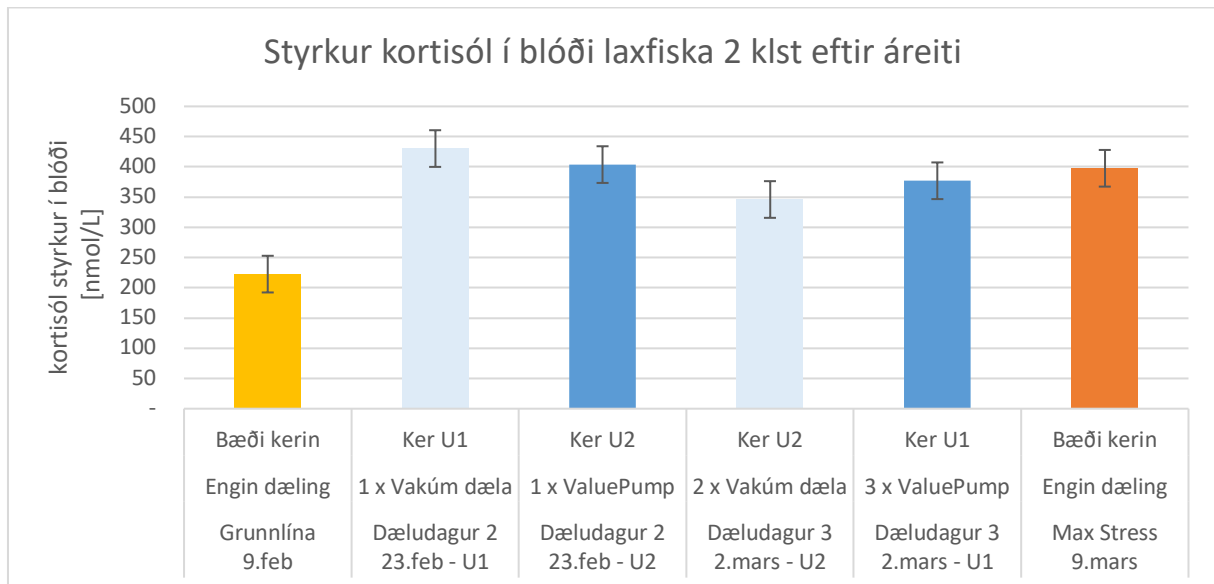
BLÓÐSÝNATAKA:

Niðurstöður blóðsýna - Kortisól niðurstöður

Gerð voru tvö innskot fyrir hvert sýni. Niðurstöðurnar sýna meðaltal tveggja innskota fyrir hvert blóðsýni.

Tafla 6. Niðurstöður kortisól mælinga

Kortisól [nmol/L]	Grunnlína 9.feb	Dælundagur 2 23.feb - U1	Dælundagur 2 23.feb - U2	Dælundagur 3 2.mars - U2	Dælundagur 3 2.mars - U1	Max Stress 9.mars
Dæla	<i>Engin dæling</i>	<i>1 x Vakúm dæla</i>	<i>1 x ValuePump</i>	<i>2 x Vakúm dæla</i>	<i>3 x ValuePump</i>	<i>Engin dæling</i>
Ker nr	<i>Bæði kerin</i>	<i>Ker U1</i>	<i>Ker U2</i>	<i>Ker U2</i>	<i>Ker U1</i>	<i>Bæði kerin</i>
Meðaltal	223	430	404	346	377	398
StDev	74	169	66	157	87	162
%StDev	33%	39%	16%	45%	23%	41%
(fjöldi sýna) N	7	10	10	10	9	19



Mynd 11 Samanburður á kortisóli í blóði eftir sýnatökudögum og 2 klst eftir áreiti.

Notað var fallið ANOVA Single Test til að sjá hvort marktækur munur væri á milli allra sýnatökuhópa. Einnig voru gerð t-Test á milli tveggja sýnatökuhópa á hverjum sýnatökudegi.

Tafla 7. Anova-Single Factor test dælundagar 2 og 3.

Anova: Single Factor

DÆLUDAGUR 2

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Vakúm	10	4303	430	28637
ValuePump	10	4037	404	4344
Grunnlína	7	1558	223	5523
Max Stress	19	7555	398	26385

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	210268	3	70089	3,66	0,0198	2,83
Within Groups	804902	42	19164			
Total	1015169	45				

Anova: Single Factor

DÆLUDAGUR 3

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Vakúm	10	3460	346	24625
ValuePump	9	3393	377	7601
Grunnlína	7	1558	223	5523
Max Stress	19	7555	398	26385

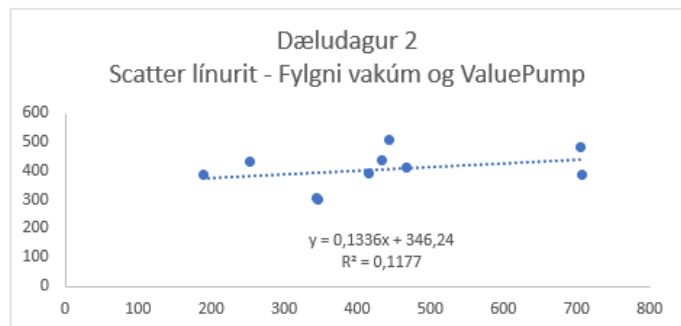
ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	162450,7	3	54150,23	2,809	0,0514	2,833
Within Groups	790504,1	41	19280,59			
Total	952954,8	44				

Fylgni niðurstaðna ef borin eru saman blóðsýni fiska dælt með Vakúm og ValuePump á dælundögum 2 og 3 gefa þær báða daga litla jákvæða fylgni skv Cohen Effect Size. Leitnilína scatter línurita þessa daga gefa $R^2=0,11$ á dæluþegi 2 og $0,05$ á dæluþegi 3.

Correlation (Fylgni)

	Vakúm	ValuePump
Vakúm	1	
ValuePump	0,34	1



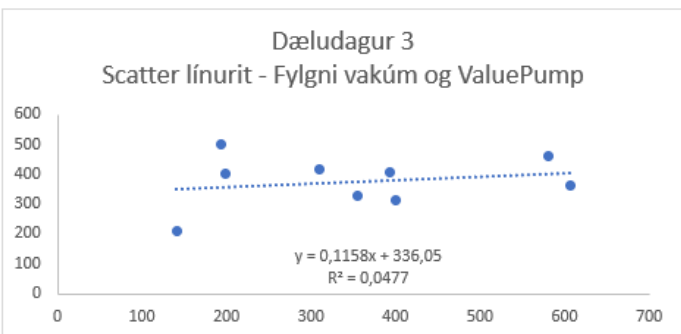
Correlation (Fylgni)

	Vakúm	ValuePump
Vakúm	1	
ValuePump	0,22	1

Jákvæð lítil fylgni á milli Vakúm og ValuePump

Effec Size (Cohen 1988)

Lítill fylgni	0,10
Miðlungs fylgni	0,30
Mikil fylgni	0,50



Mynd 12. Fylgni og scatter línurit fyrir kortisól á dælundögum 2 og 3.

Marktækni - Munur á kortisóli milli sýnatökuhópa	P-value	Marktækur munur ? P < 0,05
ANOVA Single Test - Marktækni milli allra hópa		
Dælundagur 2 - Allir hópar og allir test dagar	0,0198	JÁ
Dælundagur 3 - Allir hópar og allir test dagar	0,0514	NEI
t-Test Two Sample - Marktækni milli tveggja hópa		
Dælundagur 2 - Grunnlína vs Vakúm (U1)	0,0085	JÁ
Dælundagur 2 - Grunnlína vs ValuePump (U2)	0,0001	JÁ
Dælundagur 2 - Vakúm (U1) vs ValuePump (U2)	0,6498	NEI
Dælundagur 2 - Vakúm (U1) vs Max Stress	0,6163	NEI
Dælundagur 2 - ValuePump (U2) vs Max Stress	0,9107	NEI
Dælundagur 3 - Grunnlína vs Vakúm (U2)	0,0739	NEI
Dælundagur 3 - Grunnlína vs ValuePump (U1)	0,0022	JÁ
Dælundagur 3 - Vakúm (U2) vs ValuePump (U1)	0,6076	NEI
Dælundagur 3 - Vakúm (U2) vs Max Stress	0,4177	NEI
Dælundagur 3 - ValuePump (U1) vs Max Stress	0,7250	NEI
Grunnlína vs Max Stress	0,0119	JÁ