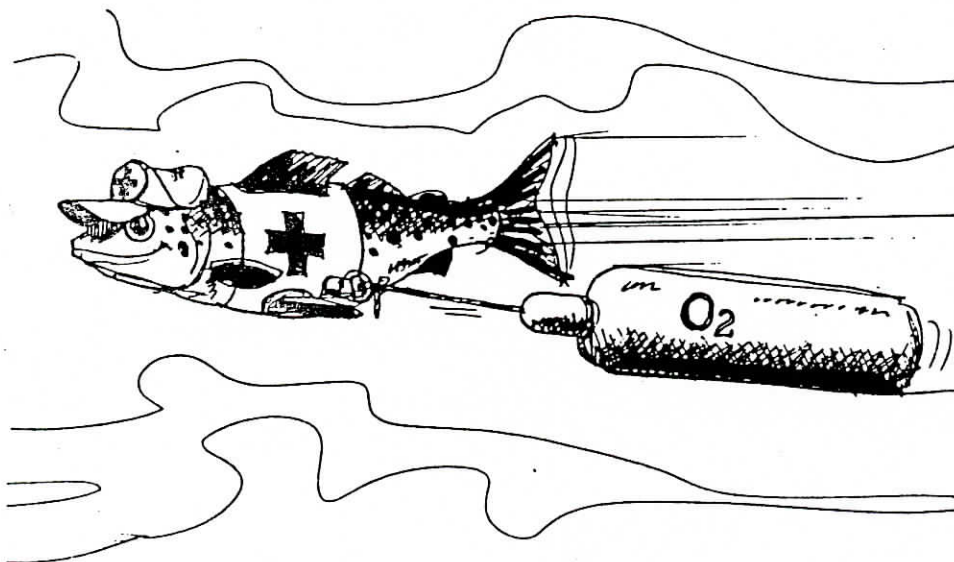


VATNS- OG SÚREFNISNOTKUN Í LAXELDI



Valdimar Gunnarsson

Kennsluhandrit

Hólaskóli, Hólum í Hjaltadal

Júní 1991

EFNISYFIRLIT

	bls.
1.0 Inngangur	1.
2.0 Súrefnisinnihald eldisvökva	1.
3.0 Þættir sem hafa áhrif á súrefnisnotkun lax	2.
3.1 Hitastig	2.
3.2 Fiskstærð	2.
3.3 Fóðrun	2.
3.4 Straumhraði	3.
3.5 Streita og aðrir þættir	5.
3.6 Útreikningar á súrefnisnotkun fiska	7.
3.6.1 Notkun eininga við útreikninga á súrefnisnot. fiska	7.
3.6.2 Súrefnisnotkun á hvert kg fisk	7.
3.6.3 Reiknð heildarsúrefnisnotkun	8.
3.6.4 Áætluð heildarsúrefnisnotkun	8.
3.6.5 Að hvaða notkun kemur vitneskja um súrefnisnotkun fiska	8.
3.7 Heimildir og ítarefni	9.
4.0 Kröfur um lágmarks súrefnisinnihald vatns	10.
4.1 Lág,arls súrefnisinnihald vatns	10.
4.2 Lágmarks mörk fyrir súrefnisinnihaldi í vatni ...	11.
4.3 Sveiflur í súrefnisnotkun laxfiska	11.
4.4 Hvenær er best að mæla súrefnisinnihald í vatni .	13.
4.5 Aðgerðir til að draga úr sveiflum á súrefnisinnihaldi vatns	13.
4.6 Heimildir og ítarefni	14.
5.0 Vatnspörf í laxeldi	15.
5.1 Einnota vatn án súrefnisbætingar	15.
5.1.1 Þættir sem stjórna vatnspörf	15.
5.1.2 Vatnspörf í seiðaeldi	15.
5.1.3 Súrefnis-/vatnspörf í matfiskeldi	16.
5.1.4 Útreikningar á vatnsnotkun	16.
5.2 Súrefnisbætt vatn	17.
5.2.1 Súrefnisbæting	17.
5.2.2 Súrefnisbæting - uppsöfnun eiturefna	18.
5.2.3 Súrefnisbæting - uppsöfnun ammoníaks	18.
5.2.4 Útreikningar á vatnspörf þegar vatn er súrefnisbæt	20.
5.3 Endurnotkun á vatni	21.
5.4 Heimildir og ítarefni	23.

1.0 INNGANGUR

Mikið og gott vatn er grunnforsendan fyrir því að hægt sé að vera með laxeldi. Gæði vatnsins og magn setja mörk fyrir framleiðslugetu fiskeldisstöðva. Til að geta áætlað framleiðslumagn stöðvarinnar út frá því vatnsmagni sem er til umráða þarf vatns- og súrefnisþörf fisksins að vera þekkt. Það hefur hent í allt of mörgum tilvikum að vatns- og súrefnisþörf hefur verið vanáætluð við hönnun fiskeldisstöðva hér á landi. Það hefur aftur valdið því að rekstrarforsendur hafa ekki staðist. Einnig getur vanþekking á vatns- og súrefnisþörf fiska hjá eldismönnum valdið vandamálum í eldinu, vanlíðan hjá fiskinum og í verstu tilvikum afföllum á fiski.

Í þessari grein verður fjallað um vatns- og súrefnisnotkun hjá Atlantshafslaxi (*Salmo salar* L.), en niðurstöðurnar má einnig nota til viðmiðunar fyrir regnbogasilung og bleikju. Fyrst verður fjallað um súrefnisinnihald í vatni, næst um þætti sem hafa áhrif á súrefnisnotkun fiska og kröfur um lágmarks súrefnisinnihald í eldisvatni. Að lokum verður fjallað um vatnsþörf í laxeldi þegar vatnið er einnotað, súrefnisbætt og endurnotað. Einnig verður teknir fyrir þættir eins og hve mikið af súrefni er hægt að taka úr einum lítra af vatni og hve mikið af úrgangsefnum safnast fyrir í vatninu.

2.0 SÚREFNISINNIHALD ELDISVÖKVA

Vatn inniheldur lítið súrefni miðað við loft. Einn lítri af lofti inniheldur um 300 mg af súrefni en vatn sem er 15°C aðeins um 10 mg súrefni í lítra. Súrefnisinnihald eldisvökva er háð hitastigi, seltu og loftþrýstingi. Súrefnisinnihaldið minnkar með auknu hitastigi og seltu eins og sýnt er í töflu 2.1.

Tafla 2.1. Uppleysanlegt súrefni í mg O₂/líter við mismunandi hitastig (°C) og seltu (‰). Eldisvökvinn er 100% mettaður (Ross 1985).

Selta Hiti (°C)	0‰	10‰	20‰	30‰	35‰
0	14.6	13.6	12.7	11.8	11.4
1	14.2	13.3	12.4	11.5	11.2
2	13.8	12.9	12.1	11.3	10.9
3	13.5	12.6	11.8	11.0	10.6
4	13.1	12.2	11.5	10.7	10.3
5	12.8	11.9	11.2	10.5	10.0
6	12.5	11.6	10.9	10.2	9.8
7	12.2	11.3	10.6	10.0	9.6
8	11.8	11.1	10.4	9.7	9.4
9	11.5	10.8	10.2	9.5	9.2
10	11.3	10.6	9.9	9.3	9.0
11	11.0	10.4	9.7	9.1	8.8
12	10.8	10.1	9.5	8.9	8.6
13	10.5	9.9	9.3	8.7	8.5
14	10.3	9.7	9.1	8.6	8.3
15	10.1	9.5	8.9	8.4	8.1
16	9.9	9.3	8.7	8.2	7.9
17	9.7	9.1	8.6	8.1	7.8
18	9.5	8.9	8.4	7.9	7.7
19	9.3	8.7	8.2	7.8	7.5
20	9.1	8.6	8.1	7.6	7.4

Fullmettað ferskvatn sem er 0°C inniheldur 14.6 mg O₂/lítra, en aðeins 9.1 mg O₂/l við 20°C. Sjór sem er með 35‰ seltu inniheldur u.þ.b. 20% minna súrefni en ferskvatn. T.d. inniheldur 10°C heitt ferskvatn 11.3 mg O₂/l en sjórinn aðeins 9.0 mg O₂/l. Ef súrefnisinnihald eldisvökva í frárennsli er haft 6.5 mg O₂/lítra er hægt að taka úr 4.0°C heitu ferskvatni 6.6 mg O₂/lítra (13.1-6.5) en úr sjó sem er með 35.0 ‰ seltu og 20.0 °C heitur aðeins 0.9 mg O₂/lítra (7.4-6.5).

Loftþrýstingur getur haft áhrif á magn súrefnis í vatni. Eftir því sem loftþrýstingurinn er meiri þess meira er af súrefni í vatninu. T.d. er meira af súrefni í vatninu þegar hæð er yfir landinu samanborið við lægð. Súrefnisinnihald eldisvökvans lækkar einnig eftir því sem hæð frá sjó eykst og lækkar það u.þ.b. 1% fyrir hverja 90 metra. Þar sem allar fiskeldisstöðvar hér á landi eru á láglandi er skekkja vegna hæðarmismunar hverfandi lítil.

3.0 ÞÆTTIR SEM Hafa ÁHRIF Á SÚREFNISNOTKUN LAXA

Súrefnisnotkunin er aðallega háð hitastigi eldisvökvans, fiskstærð, fóðrun og straumhraða. Einnig geta þættir eins og streita og þroskastig fisksins m.fl. haft áhrif á súrefnisnotkunina.

3.1 Hitastig

Súrefnisnotkun (efnaskiptahraði) eykst með auknum vatnshita. Á mynd 2.1 er sýnd súrefnisnotkun ($\text{mg O}_2/\text{kg fisk/klst}$) við grunnefnaskiptahraða (standard metabolic rates) hjá rauðlaxi (*Oncorhynchus nerka*) miðað við þyngd og hitastig. Grunnefnaskiptahraði er þegar fiskurinn er ófóðraður og í hvíldarstöðu.

Ef skoðuð eru áhrif hækkandi hitastigs á súrefnisnotkun 5 gr rauðlaxaseiða á mynd 2.1, þá má sjá að við 5°C er súrefnisnotkunin um $50 \text{ mg O}_2/\text{kg fisk/klukkustund}$ og hækkar upp í rúmlega $100 \text{ mg O}_2/\text{kg fisk/klst}$ ef hitastigið er hækkað upp í 15°C .

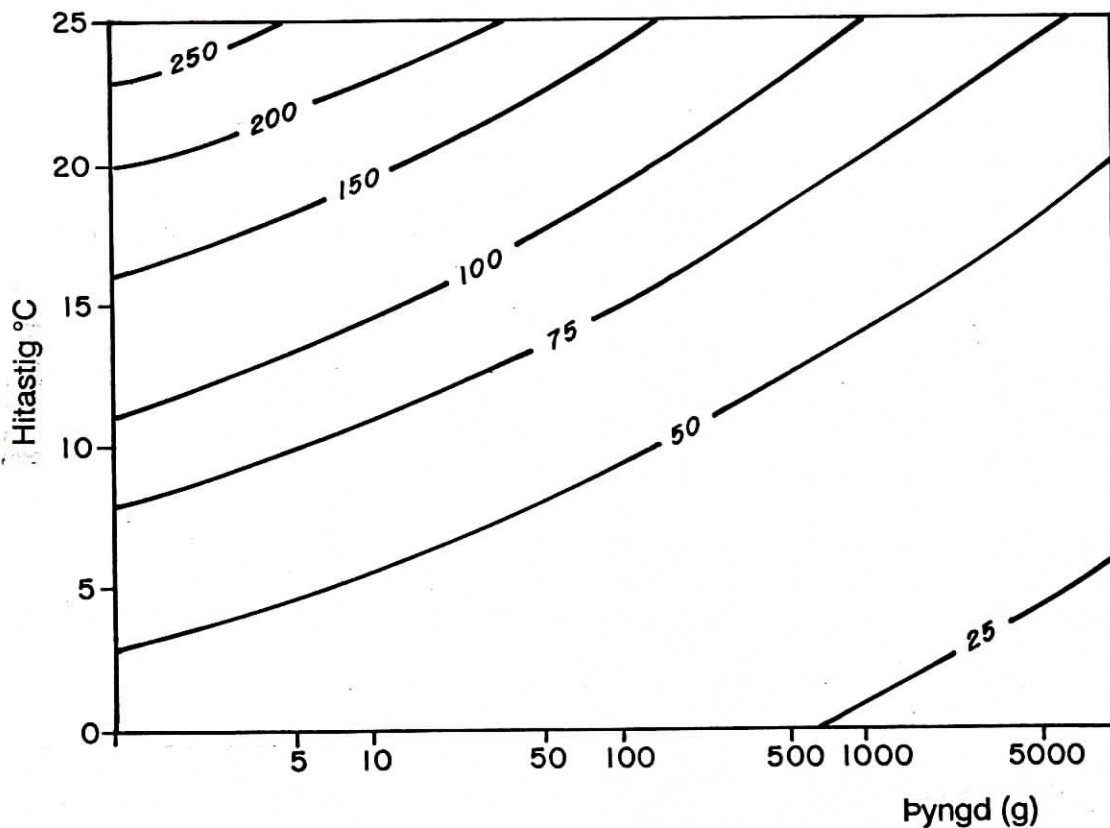
3.2 Fiskstærð

Vaxtarhraði (efnaskiptahraði) við ákveðið hitastig minnkar með aukinni fiskstærð. Súrefnisnotkun hjá 1 kg af litlum fiski er því meiri en súrefnisnotkun hjá 1 kg af stórum fiski. Á mynd 2.1 má sjá hvernig súrefnisnotkun við grunnefnaskipti hjá rauðlaxi aukast með minnkandi fiskstærð. T. d. rauðlax sem er 10 gr og við 10°C notar um $70 \text{ mg O}_2/\text{kg fisk/klst}$ við grunnefnaskipti, en 1000 gr fiskur við 10°C notar aðeins um $40 \text{ mg O}_2/\text{kg fisk/klst}$.

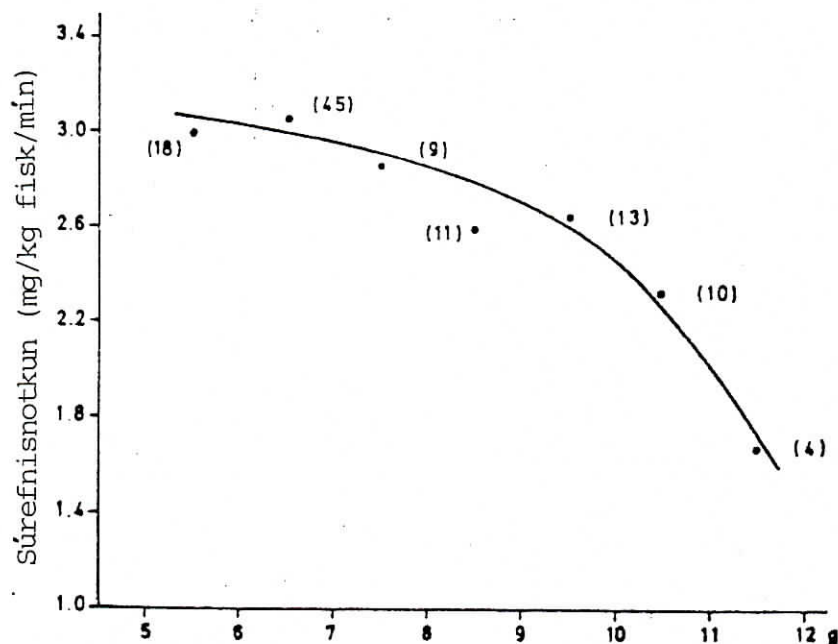
Á mynd 2.2 er sýnt hvernig súrefnisnotkun hjá fóðruðum seiðum Atlantshafslax minnkar með aukinni fiskstærð.

3.3 Fóðrun

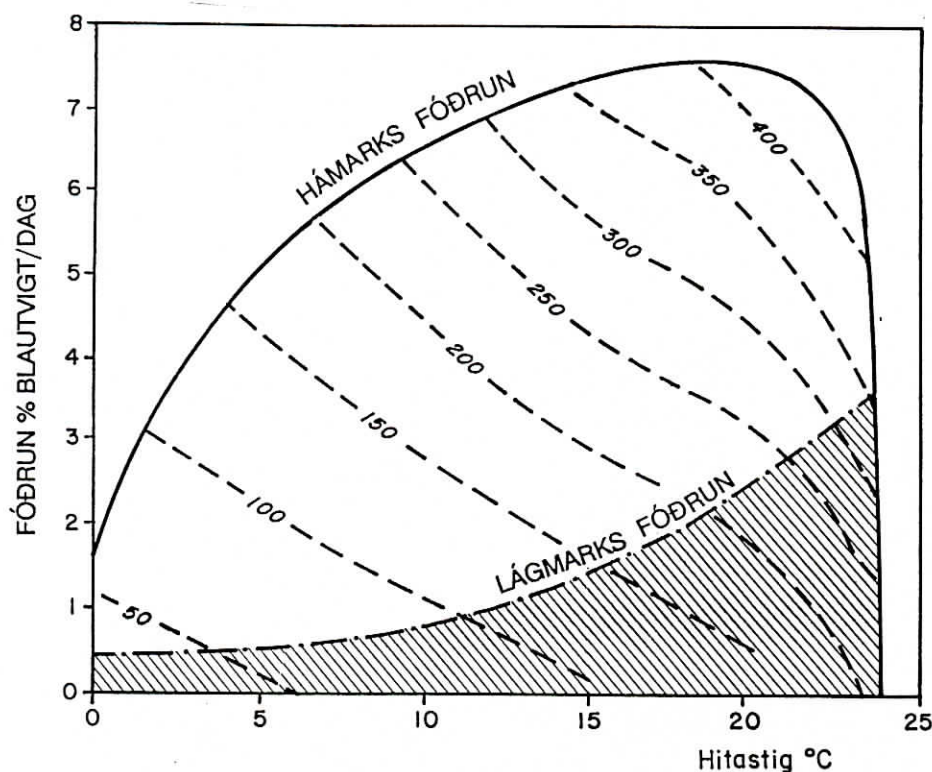
Súrefnisnotkun (efnaskiptahraði) fiska eykst með aukinni fóðrun eins og sýnt er á mynd 2.3. Rauðlaxaseiði sem eru fóðruð að mettun (hámarks fóðrun) við 10°C hafa súrefnisnotkun sem samsvarar $250 \text{ mg O}_2/\text{kg fisk/klst}$. Ef fóðrunin er minnkuð niður í það að fiskurinn fái ekki meira fóður en það



Mynd 2.1. Súrefnisnotkun við grunnefnaskiptahraða (standard metabolic rates) hjá rauðlaxi (*Oncorhynchus nerka*) miðað við þyngd (log þyngd) og hitastig. Súrefnisnotkunin er mæld í $\text{mg O}_2/\text{kg fisk/klst}$ (Frá Brett og Glass, 1973).



Mynd 2.2. Súrefnisnotkun hjá fódruðum 5-12 gr seiðum Atlantshafslax í mgO_2/kg fisk/mín (Kittelsen og Refstie 1979).



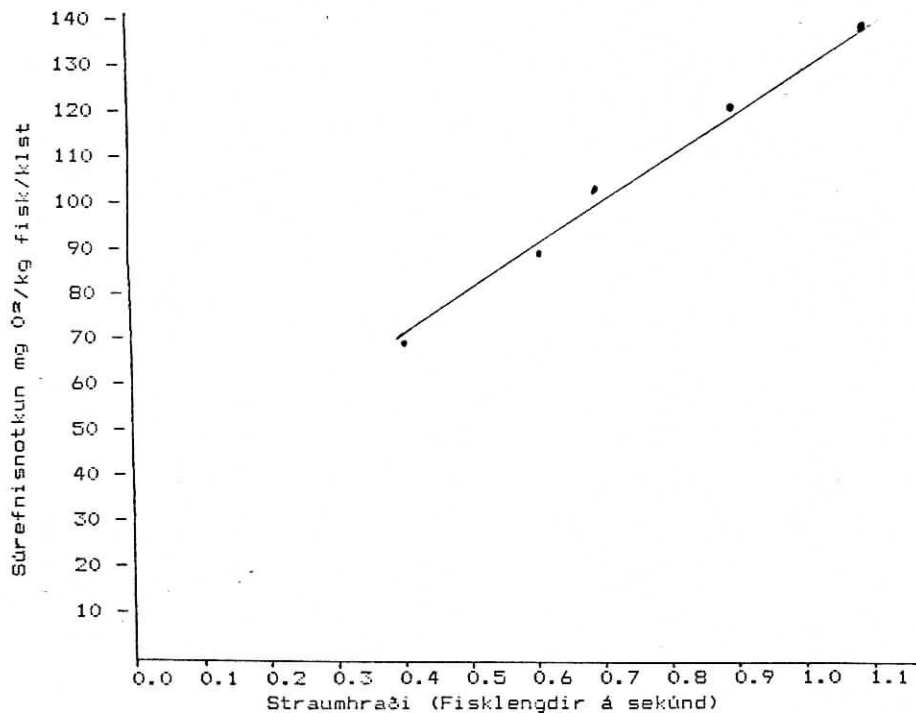
Mynd 2.3. Súrefnisnotkun hjá 20 gr rauðlaxaseiðum (*Oncorhynchus nerka*) miðað við mismunandi fódrun í prósentum, blautvigt á dag og hitastig. Heila línan sýnir hámarks fódrun og punktalínan lágmarks fódrun til að viðhalda þyngd fisksins. Brotalínan sýnir súrefnisnotkun við mismunandi fódrun og hitastig (frá Brett og Groves 1979).

sem þarf til að hann viðhaldi þyngd sinni minnkar súrefnisnotkunin niður í tæp $100 \text{ mgO}_2/\text{kg}$ fisk/klst. Sveltur fiskur sem er hafður við 10°C notar eingöngu um $75 \text{ mgO}_2/\text{kg}$ fisk/klst.

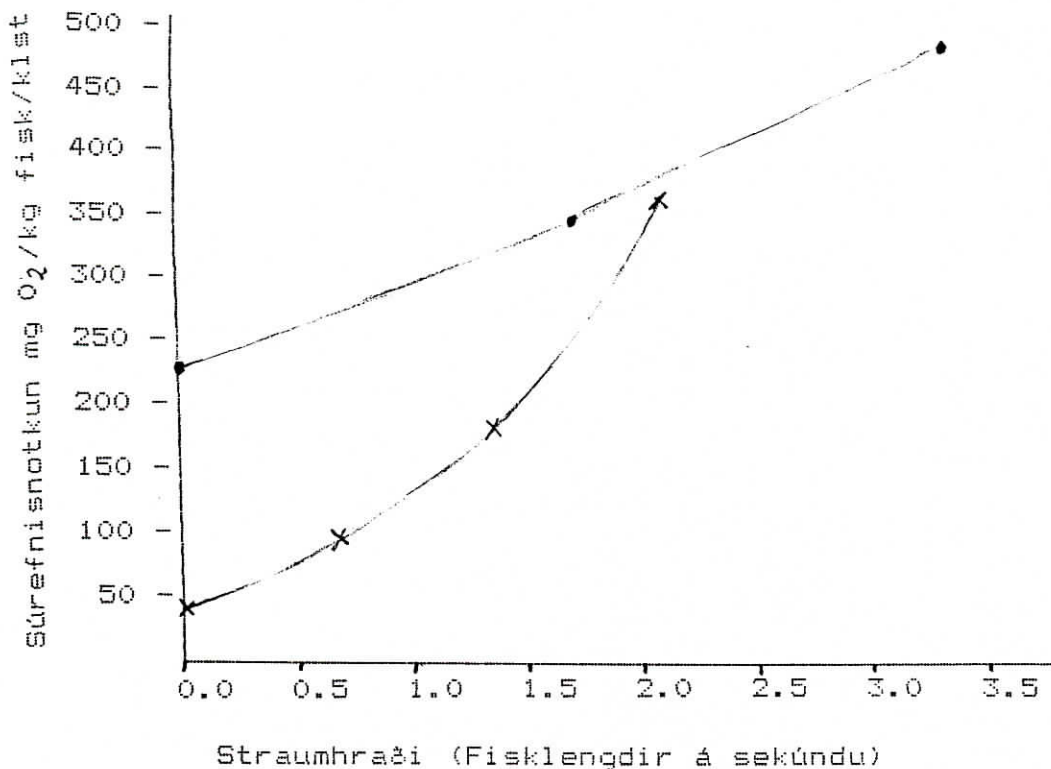
3.4 Straumhraði

Súrefnisnotkun laxins eykst með auknum straumhraða. Á mynd 2.4 er sýnt sambandið milli súrefnisnotkunar hjá laxi og straumhraða í fisklengdum á sek.

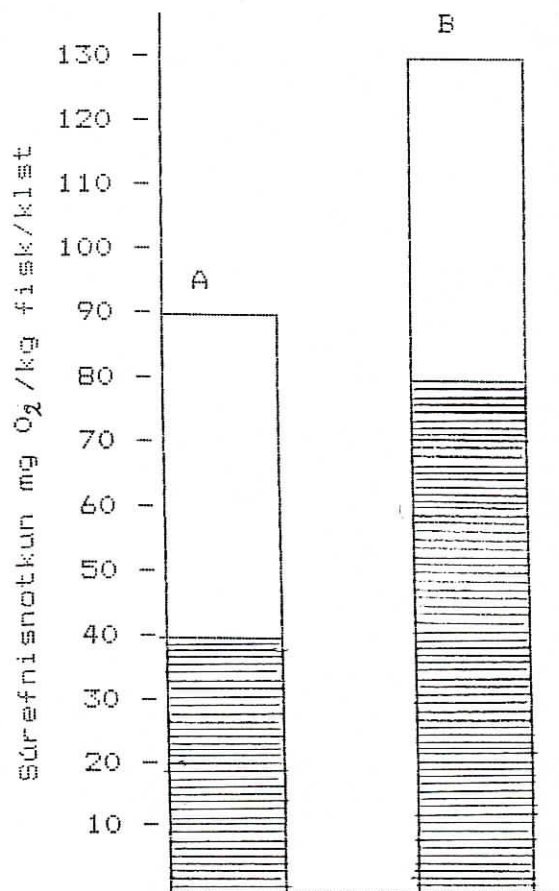
Út úr mynd 2.4 má sjá að með því að auka straumhraðann um 0.5 fisklengd á sekúndu eykst súrefnisnotkun fisksins um tæp 50% hjá atlantshafslaxi sem er 400-950 gr að þyngd. Þetta gildir þó ekki fyrir allar stærðir af fiski og við öll hitastig. Kjörstraumhraði hjá laxfiskum mældur í fisklengdum á sekúndu er mismunandi eftir fiskstærð. Hann fer minnkandi með aukinni



Mynd 2.4. Samband á milli súrefnisnotkunar hjá Atlantshafslaxi (mg O₂/kg fisk/klst) og straumhraða mældum í fisklengdum á sekúndu. Mælingarnar fóru fram á tímabilinu 1 september til 30 október og voru framkvæmdar í nokkrum 500 rúmmetra kerjum. Meðalþyngd laxins var frá 400 til 950 gr. Hitastig sjávar á tímabilinu var 6.0-7.0°C. Fiskurinn var fóðraður allan tímann og súrefnismælingarnar voru framkvæmdar á þeim tíma s ó l a r h r i n g s sem súrefnisnotkun fisksins var mest Í þessu tilviki í ljósaskiptum á kvöldin. Meðaltölin (punktanir) eru byggð á 15-20 mælingum.



Mynd 2.5. Súrefnisnotkun hjá 3.4 gr (•) og 1432 gr fiski (x) við mismunandi straumhraða. Hitastig eldisvatnsins var 15°C og fiskurinn var sveltur (Tölur frá Brett 1965).



fiskstærð. Þetta kemur greinilega fram á mynd 2.5. Fiskur sem er 3.4 gr hefur nokkuð jafna aukningu í súrefnisnotkun með auknum straumhraða. Það sama er ekki að segja um stærri fiskana (1432 gr). Eftir því sem straumhraðinn er aukinn verður aukningin í súrefnisnotkuninni þeim mun meiri eftir því sem straumhraðinn er meiri. Aukning í straumhraða, t.d. um 0.5 fisklengdir á sekúndu mun því alltaf auka súrefnisnotkunina hlutfallslega meira hjá stórum fiski miðað við litlan fisk og þá sérstaklega þegar straumhraðinn er kominn um og yfir 1.0 fisklengd/sek.

Hiti hefur einnig mikil áhrif á það hve mikil hlutfallsleg aukning verður í súrefnisnotkuninni með auknum straumhraða. Fiskur sem er hafður er við lágt hitastig hefur litla súrefnisnotkun (sjá mynd 2.3). Aftur á móti hefur fiskur sem er hafður við hærri hitastig meiri súrefnisnotkun vegna hærri grunnefnaskipta og meiri fódurtöku. Með því að auka straumhraðann um t.d. 0.5 fisklengd á sekúndu eykst súrefnisnotkunin í mgO₂/kg fisk/klst nokkuð svipað við lágt og hátt hitastig. Súrefnisnotkunin mun því hlutfallslega aukast meira við lágt hitastig en við hátt eins og sýnt er á mynd 2.6. Áður en straumhraðinn er hækkaður er fiskurinn hafður við lágt og hátt hitastig við sama straumhraða og er súrefnisnotkunin við lægra hitastigið 40 mg O₂/kg fisk/klst en við hærri hitastigið 80 mg O₂/kg fisk/klst (sjá mynd 2.6). Með því að auka straumhraðann um 0.5 fisklengdir á sekúndu eykst súrefnisnotkunin um 50 mg O₂/kg fisk/klst. Þar sem súrefnisnotkunin hjá fiskinum við lægra hitastigið er ekki nema 40 mg O₂/kg fisk/klst eykst súrefnisnotkunin um 125%, en ekki nema um 62.5% hjá fiskinum sem er hafður við hærri hitastigið.

Mynd 2.6. Skýringarmynd á áhrifum aukningar í straumhraða (0.5 fisklengdir/sek) á hlutfallslega aukningu í súrefnisnotkun hjá fiski sem er hafður við lágt hitastig (A) og hátt hitastig (B). Til skýringar sjá texta.

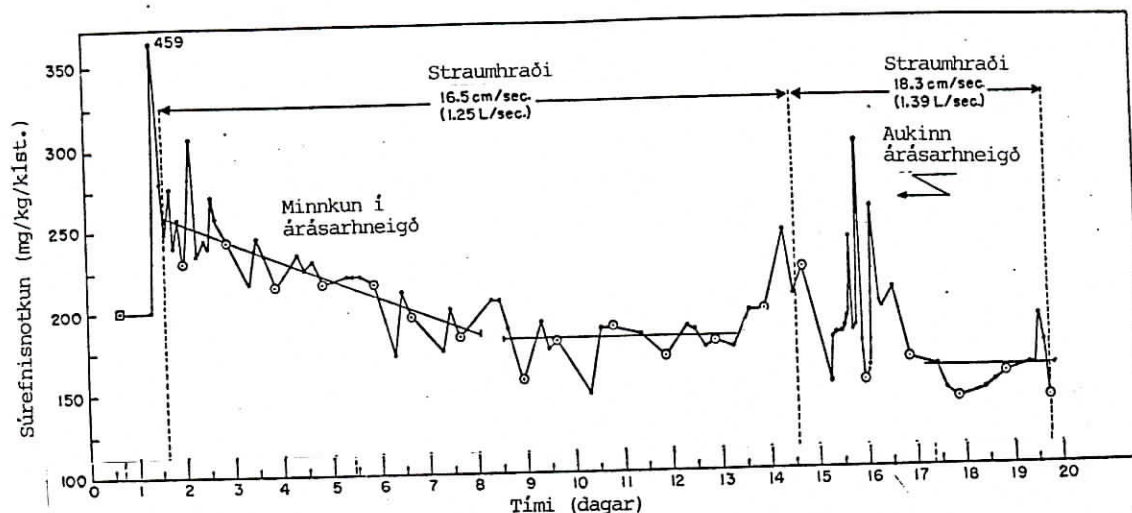
3.5 Streita og aðrir þættir

Margir aðrir þættir en hitastig, fiskstærð, fódrun og straumhraði geta haft áhrif á súrefnisnotkun fiska. Þar má nefna þætti eins og streitu, súrefnisinnihald vatns, gönguseiðamyndun og fl.

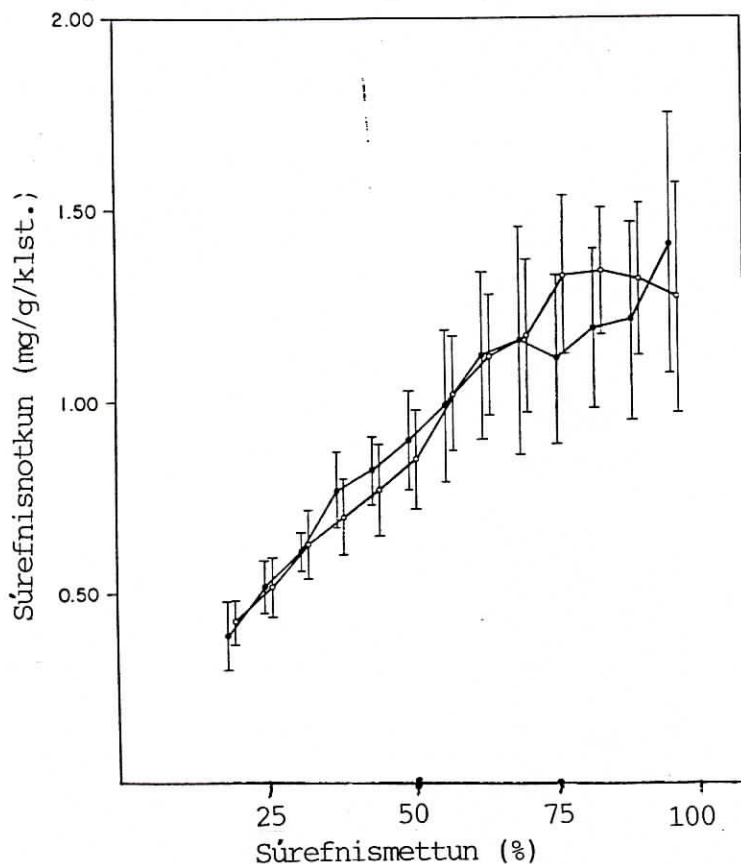
Margir þættir geta valdið streitu hjá laxfiskum. Má þar nefna breytingu á umhverfispáttum eins og t.d. skyndileg aukning á straumhraða, að fiskurinn er settur úr innikeri í útiker og breytingar á árásargirni fisksins. Á mynd 2.7 er sýnt hvernig súrefnisnotkun rauðlaxaseiða breytist yfir 20 daga tímabil. Fyrst eftir að seiðin koma í nýja umhverfið þar sem aðstæður eru allt aðrar en í því umhverfi sem þau komu úr, eykst súrefnisnotkun fisksins rúmlega tvöfalt. Fyrstu dagana er streita og árásargirni fiskanna mikil en fer síðan minnkandi með þeim afleiðingum að súrefnisnotkun fiskanna minnkar. Á fjórtánda degi jókst súrefnisnotkun fisksins þar sem straumhraðinn var aukinn mikið yfir stutt tímabil til að kanna sundgetu fiskanna. Á 15-17 degi jókst síðan súrefnisnotkun fiskanna vegna aukinnar streitu og árásarhneigðar.

Þegar straumurinn í eldiskeri er aukinn skal varast að auka hann mikið í einu, sérstaklega þegar fiskurinn hefur verið hafður við lítinn straumhraða í langan tíma. Ef straumurinn er skyndilega aukinn mikið á fiski sem er óvanur að synda í miklum straumi eykst súrefnisnotkun hans óeðlilega mikið. Súrefnisnotkunin mun síðan verða eðlileg aftur eftir að fiskurinn hefur vanist aðstæðum og þjálfast upp.

Súrefnisnotkun fisksins er einnig háð súrefnisinnihaldi í vatni. Ef lítið er um súrefni í eldisvatninu minnkar súrefnisupptaka hans (mynd 2.8). Við hvaða mörk



Mynd 2.7. Daglegar mælingar á súrefnisnotkun rauðlaxaseiða sem voru höfð við 15°C, mismunandi straumhraða og streitu. Síðasta mæling á hverjum degi er sýnd með hring (Brett 1973).



Mynd 2.8. Súrefnisnotkun hjá tvílitna (lokaðir hringir) og þrílitna (opnir hringir) laxaseiðum (*Salmo salar* L.). Stærð fisks um 20 gr og hitastig 15°C (Benfey og Sutterlin 1984).

súrefnisinnihald vatnsins þarf að liggja til að súrefnisnotkun fisksins fari minnkandi er háð þáttum eins og fódru, hitastigi o.fl. Við mikla fódru og hátt hitastig má gera ráð fyrir að þessi mörk liggi við u.þ.b. 70% súrefnismettun. Við þann eldshita sem er almennt hafður hér á landi er sennilega að engin teljandi minnkun eigi sér stað í súrefnisupptöku fyrr en súrefnisinnihald vatnsins er komið niður í um 6-7 mgO₂/l.

Súrefnisnotkun fisksins er mjög mismunandi eftir þroskastigum. Fyrst eftir frjóvgun er súrefnisnotkun fisksins mjög lítil, en fer síðan vaxandi með auknum þroska og stærð fóstursins og

er mest við klak. Súrefnisnotkun seiðanna á kviðpokastigi er síðan lítil en eykst síðan þegar seiðin byrja að lyfta sér frá botni og taka til sín fóður. Frá þeim tíma fer hún jafnt og þétt minnkandi þangað til að gönguseiðamyndun kemur. Gönguseiðamyndunin er orkukrefjandi og aukast jafnframt hreyfingar fisksins og eykst því súrefnisnotkunin á meðan á henni stendur. Eftir að gönguseiðamyndun er náð minnkar súrefnisnotkunin jafnt og þétt.

3.6 Útreikningar á súrefnisnotkun fiska

3.6.1 Notkun eininga við útreikninga á súrefnisnotkun fiska

Aður en farið er í útreikninga er nauðsynlegt að gera sér grein fyrir nokkrum stærðareiningum sem eru oft notaðar þegar súrefnisnotkun fiska er reiknuð út. Þegar súrefnisnotkun fiska er mæld er hún oftast gefin upp í mgO_2/kg fisk á tímaeiningu. Einnig er um að ræða að súrefnisnotkunin sé gefin upp í kg, gr, mg og ug. Til að gera sér betur grein fyrir þessum stærðareiningum og til að geta borið saman mismunandi stærðareiningar er nauðsynlegt að vita hvernig á að breyta kg í gr, úr gr í mg og áfram. Þetta er gert á eftirfarandi hátt:

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ gr} = 1.000.000 \text{ mg} = 1.000.000.000 \text{ ug (míkrógramm)}$$

Dæmi 1. Í einu kerri nota fiskarnir 0.399 kg af súrefni yfir sólarhringinn. Hvað eru þetta mörg millígrömm?

Útreikningar: Súrefnisnotkun í kg $\times$ fjöldi millígramma í kg =
 $0.399 \text{ kg} \times 1.000.000 = 399.000 \text{ mgO}_2$

Súrefnisnotkun er einnig oft gefin upp í mismunandi tímaeiningum, í sek, mín, klst og á sólarhring. Til að geta borið saman niðurstöður súrefnismælinga þar sem notaðar eru mismunandi tímaeiningar er nauðsynlegt að hafa þekkingu til að geta breytt úr einni tímaeiningu yfir í aðra. Þetta er gert á eftirfarandi hátt:

$$1 \text{ sólarhringur} = 24 \text{ klst} = 1440 \text{ mín} = 86.400 \text{ sek}$$

Dæmi 2. Hvað eru margar sekúndur í einni klst.

Útreikningur: Í eini klst eru 60 mín. Í einni mín eru 60 sek, samtals 3.600 sek (60×60).

3.6.2 Súrefnisnotkun á hvert kg fisk

Til þess að hægt sé að reikna súrefnisnotkun fiska í kerri þurfum við að hafa eftirfarandi upplýsingar:

- *****
- a) Súrefnisinnihald í innrennsli
 - b) Súrefnisinnihald í frárennsli
 - c) Vatnsrennsli í kerrið
 - d) Lífpunga fisksins í kerinu
- *****

Til að finna út súrefnisnotkun t.d. á hvert kg fisk á mínútu er vatnsnotkunin (l/mín) margfölduð með súrefnistökunni (mgO_2/l) og deilt í með lífpunganum (kg). Með súrefnistöku er átt við hve mikið súrefni fiskurinn tekur úr einum lítra af vatni. Ef súrefnisinnihald í innrennsli er ekki gefið upp er hægt að finna það með hjálp töflu 1 hér að framan.

Dæmi 3. Vatnsrennsli í kerlið er 20 l/mín. Súrefni í innrennsli 10 mgO₂/l og í frárennsli 6.5 mgO₂/l. Lífpungi af fiski í kerinu er 35 kg. Hver er súrefnisnotkun fisksins í mgO₂/kg fisk/mín ?

Útreikningar:

$$\text{Súrefnisnotkun fisks} = \frac{V \times S}{L} =$$

$$= \frac{20 \text{ l/mín} \times (10 \text{ mgO}_2/\text{l} - 6.5 \text{ mgO}_2/\text{l})}{35 \text{ kg}} = 2.0 \text{ mg O}_2/\text{kg fisk/mín}$$

V = Vatnsrennsli (l/mín), gæti einnig verið l/sek eða l/klst

S = Súrefnistaka (súrefni inn (mg O₂/l) - út (mg O₂/l))

L = Lífpungi í kerli (kg)

3.6.3 Reiknuð heildarsúrefnisnotkun

Heildarsúrefnisnotkun í kerli eða í allri stöðinni er hægt að finna með því að margfalda vatnsrennsli með súrefnistöku. Ef stuðst er við sömu forsendur og í dæmi 3 er þetta reiknað út á eftirfarandi hátt.

$$\text{Heildarsúrefnisnotkun} = V \times S = 20 \text{ l/mín} \times 3.5 \text{ mgO}_2/\text{l} = 70 \text{ mgO}_2/\text{mín}$$

V = Vatnsrennsli (l/mín)

S = Súrefnistaka (súrefni (mg O₂/l) inn - út (mg O₂/l))

3.6.4 Áætluð heildarsúrefnisnotkun

Hægt er að áætla heildarsúrefnisnotkun ef súrefnisnotkun fisksins og lífpungi eru þekkt. Það er gert með því að margfalda áætlaða súrefnisnotkun fisksins með lífpunga.

Dæmi 4. Súrefnisnotkun fisksins er áætluð 2.0 mg O₂/kg fisk/mín og lífpungi 35 kg. Hver er áætluð heildarsúrefnisnotkun ?

$$\text{Heildarsúrefnisnotkun} = SF \times L = 2.0 \text{ mgO}_2/\text{kg fisk/mín} \times 35 \text{ kg} = 70 \text{ mgO}_2/\text{mín}$$

SF = Súrefnisnotkun fisks (mg O₂/kg fisk/mín)

L = Lífpungi (kg)

3.6.5 Að hvaða notkun kemur vitneskja um súrefnisnotkun fiska

Vitneskja um súrefnisnotkun fiska getur komið að margskonar notum t.d. þegar áhvarða á hversu afkastamikið súrefnistæki eigi að kaupa til að auka framleiðslu stöðvarinnar. Einnig ef gleymst hefur að telja fjölda fiska sem hafa verið settir í ker er hægt að nálgast fjölda þeirra ef súrefnisnotkun þessarar stærðar af fiski er þekkt. Í þessu tilviki þarf fyrst að byrja á því að finna meðalþyngd fiskanna í kerinu, mæla súrefnismettun í inn og frárennsli, mæla vatnsrennsli í kerlið, síðan er hægt að reikna út fjölda fiska.

Dæmi 5. Vatnsrennsli í kerlið er 30 l/mín, súrefnisinnihald, inn 11,0 mgO₂/l, út 7,5 mgO₂/l. Meðalþyngd fisksins er 40 gr. Með tilraunum hefur verið fundið út að fiskurinn við þessar aðstæður notaði 2.5 mgO₂/kg fisk/mín. Hver er fjöldi fiska í kerinu ?

Útreikningar:

A) Fyrst er fundin út heildarsúrefnisnotkun í kerinu.

$$\text{Heildarsúrefnisnot.} = V \times S = 30 \text{ l/mín} \times 3.5 \text{ mgO}_2/\text{l} = 105 \text{ mgO}_2/\text{mín}$$

B) Næst er fundið út fjöldi kg í kerinu

$$\text{Fjöldi kg í kerri} = \frac{H}{SF} = \frac{105 \text{ mgO}_2}{2.5 \text{ mgO}_2/\text{kg fisk/min}} = 42 \text{ kg}$$

H = Heildarsúrefnisnotkun (mgO₂/min)

SF = Súrefnisnotkun fisks (mgO₂/kg fisk/min)

C) Að lokum er fundinn út fjöldi fiska í kerinu.

$$\text{Fjöldi fiska í kerri} = \frac{L}{M} = \frac{42 \text{ kg}}{0.04 \text{ kg}} = 1.050 \text{ stk}$$

L = Lífpungi í kerri (kg)

M = Meðalþyngd (kg)

3.7 Heimildir og ítarefni

Benfey, T.J. and Sutterlin, A.M., 1984. Oxygen utilization by triploid landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 42:69-73.

Bergheim, A., Tyvold, T. og Öines, S., 1988. Registeringer av stoffskiftetivået hos settefisk. *Norsk Fiskeoppdrett* 12(10):39-40.

Braaten, B., 1978. Stoffskifte hos fisk - betydning og konsekvenser. *Norsk Fiskeoppdrett* 3(1):4-6.

Brett, J.R., 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *J.Fish.Res.Bd.Can.* 21(5): 1183-1226.

Brett, J.R., 1965. The relation of size to rate of oxygen consumption and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J.Fish.Res.Bd.Can.* 22:1491-1501.

Brett, J.R., 1973. Energy expenditure of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) during sustained performance. *J.Fish.Res.Bd.Can.* 30:1799-1809.

Brett, J.R. and Glass, N.R., 1973. Metabolic rates and critical swimming speeds of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to size and temperature. *J.Fish.Res.Bd.Can.* 30: 379-87.

Brett, J.R. and Groves, T.D.D., 1979. Physiological energetics. *Í: Fish Physiology Vol VIII. (eds. W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett), pp.280-353. Academic Press, Inc.*

Maxime, V., Boeuf, G., Pennec, J.P. and Peyraud, C., 1989. Comparative study of the energetic metabolism of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and smolts. *Aquaculture* 82:163-171.

Muller-Feuga, A., Petit, J. and Sabaut, J.J., 1978. The influence of temperature and wet weight on the oxygen demand of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.) in fresh water. *Aquaculture* 14:355-363.

Needham, T., 1988. Salmon smolt production. bls.87-116. *Í: Salmon and trout farming. (eds. L.Laird and T. Needham). Ellis Horwood Ltd.*

Kittelsen, A. og Refstie, T., 1979. Vannbehov til lakseunger. *Norsk fiskeoppdrett* 4(4):14-15.

Wiggs, A.J., Henderson, E.B., Saunders, R.L., and Kutty, M.N., 1989. Activity, respiration, and excretion of ammonia by Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt and postsmolt. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 46:790-795.

4.0 KRÖFUR UM LÁGMARKSSÚREFNISINNIHALD VATNS

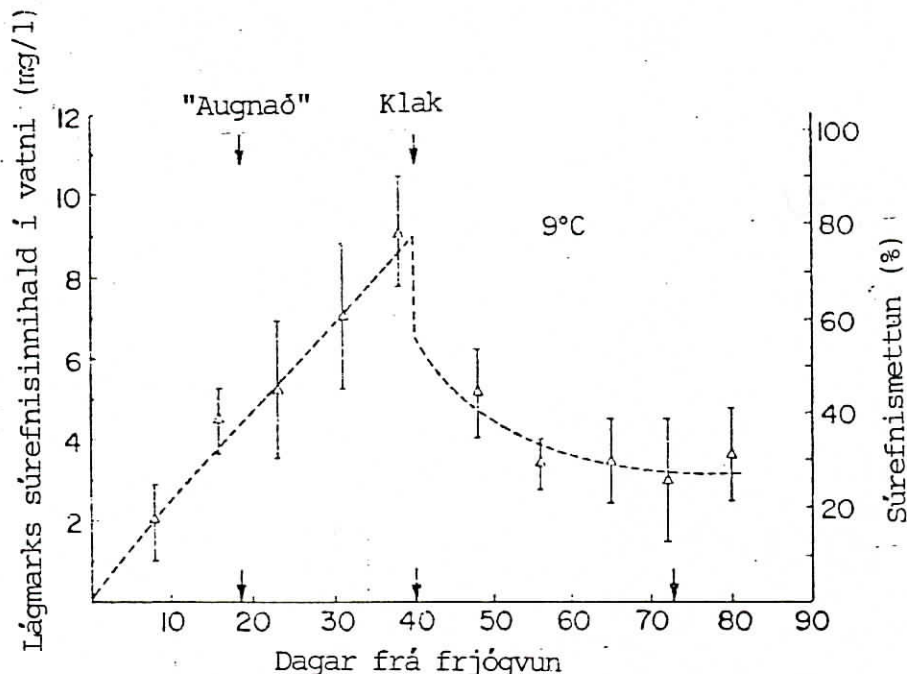
4.1 Lágmarks súrefnisinnihald vatns

Það súrefnismagn sem þarf til að viðhalda eðlilegum vexti er mismunandi eftir því á hvaða þroskastigi fiskurinn er og einnig geta umhverfispáttir haft áhrif þar á. Í þessu sambandi má nefna eftirfarandi:

- *****
a) Þroskastig fisksins
b) Hitastig vatnsins
c) Virkni fisksins
d) Vatnsgæði m.fl.

Þroskastig fisksins

Lágmarks súrefnisinnihald vatns til að viðhalda eðlilegum þroska og vexti er mismunandi eftir því hvort um er að ræða hrogn (fóstur), kviðpokaseiði, seiði eða fullvaxinn fisk. Eftir því sem fósttrið í hrogninu þroskast eykst súrefnisnotkun þess, einnig verður það viðkvæmara fyrir lágu súrefnisinnihaldi vatns. Viðkvæmast er fósttrið fyrir lágu súrefnisinnihaldi vatns við klak (mynd 4.1).



Mynd 4.1. Lágmarks súrefnisinnihald vatns til að viðhalda eðlilegum þroska fósturs og kviðpokaseiðis regnbogasilungs. Hitastig er um 9°C (Rombough 1986).

Strax eftir klak verður fósttrið mun þolnara fyrir lágu súrefnisinnihaldi vatns. Eins og má sjá á mynd 4.1 minnkar lágmarks súrefnisinnihald vatnsins til að viðhalda eðlilegum vexti um rúmlega helming fljótlega eftir klak. Þetta má að hluta til rekja til þess að nú leikur vatnið um líkama seiðisins og á það því mun auðveldara með að ná súrefni úr því. Á meðan fósttrið er í hrogninu þarf súrefnið fyrst að fara í gegnum eggghýðið áður en fósttrið getur nýtt sér það. Þetta súrefnisflæði er háð súrefnismagni vatnsins og minnkar eftir því sem súrefnisinnihald vatnsins minnkar.

Hitastig

Hitastig vatnsins hefur einnig áhrif á það hvar mörkin fyrir súrefnisinnihald þurfa að liggja til að fósttrið vaxi eðlilega. Eftir því sem vatnið er heitara liggja þessi mörk ofar eins og sýnt er í töflu 4.1. Einnig er hætt á því að ef súrefnisinnihald vatnsins er mjög lágt, að mikið verði af vansköpuðum seiðum og í verstu tilvikum að afföll eigi sér stað.

Virgni fisks og vatnsgæði

Það má gera ráð fyrir að mörkin fyrir súrefnisinnihald vatns til að viðhalda eðlilegum vexti

Tafla 4.1. Áætlað hæsta lágmarks súrefnisinnihald vatns til að viðhalda eðlilegum þroska fósturs regnbogasilungs (P_c) og 50% af vaxtarhraða fóstursins ($P_{50\%}$) rétt fyrir klak. Hrognin voru höfð við stöðugt hitastig (Rombough 1986).

Hití (°C)	P_c (mg O_2 /l)	$P_{50\%}$ (mg O_2 /l)
6.0	7.6	2.6
9.1	8.7	3.1
12.0	9.5	3.6
15.1	10.2	4.0

hækki eftir því sem virkni fisksins er meiri. Því má gera ráð fyrir að í kerjum þar sem straumhraði er mikill þurfi að hafa súrefnismagn í vatninu eitthvað hærri samanborið við aðstæður þar sem straumhraðinn er minni. Einnig virðist þurfa að hafa súrefnismagn í menguðu vatni hærri samanborið við hreint og tært vatn til að fiskurinn haldi eðlilegum vexti.

4.2 Lágmarks mörk fyrir súrefnisinnihald í vatni

Vegna þess hve margir þættir geta haft áhrif á það hve mikið súrefni þarf að vera í vatninu til að viðgangur fisksins sé eðlilegur er erfitt að setja nákvæm mörk sem geta gilt fyrir allar eldisaðstæður. Starfsmenn eldisstöða verða því að finna það í hverju tilviki fyrir sig hvað hentar best.

Tilraunir með laxa- og regnbogasilungsseiði við hátt hitastig (15-20°C) sýna að til þess súrefnisinnihald vatnsins hafi lítil áhrif á vöxt og viðgang fisksins þarf súrefnisinnihaldið að vera um og yfir 7.0 mg O_2 /lítra. Flestar seiðaeldisstöðvar hér á landi miða við að súrefnisinnihald fari ekki undir 7.0 mg súrefni/l. Við aðstæður sem eru við eldi á laxi í strandeldisstöðvum hér á landi er líklegt að í flestum tilvikum nægi að hafa súrefnisinnihald vatnsins um og yfir 6.5 mg O_2 /l. Fiskur sem hafður er í vatni sem inniheldur undir 6.0 mg O_2 /lítra hefur minni vaxtarhraða, minni fódurtöku og lægri fódurnýtingu. Einnig er sundgeta fisksins minni og mun meiri hætta á afföllum.

Þegar súrefnisinnihald vatnsins er komið niður undir 5.0 mg/l er það byrjað að hafa veruleg áhrif á viðgang fisksins, vöxtur yfirleitt enginn og mun meira hætta á að sjúkdómar komi upp og afföll aukist ef þetta ástand er lengi viðvarandi. Ef súrefnisinnihald vatnsins fer niður í 2-3 mg/l er líklegt að afföll eigi sér fljótlega stað.

Súrefnisinnihald í vatni:

7.0 mg O_2 /l viðmiðunarmörk fyrir seiðaeldi

6.5 mg O_2 /l viðmiðunarmörk fyrir matfiskeldi

5.0 mg O_2 /l hefur veruleg áhrif á viðgang fisksins

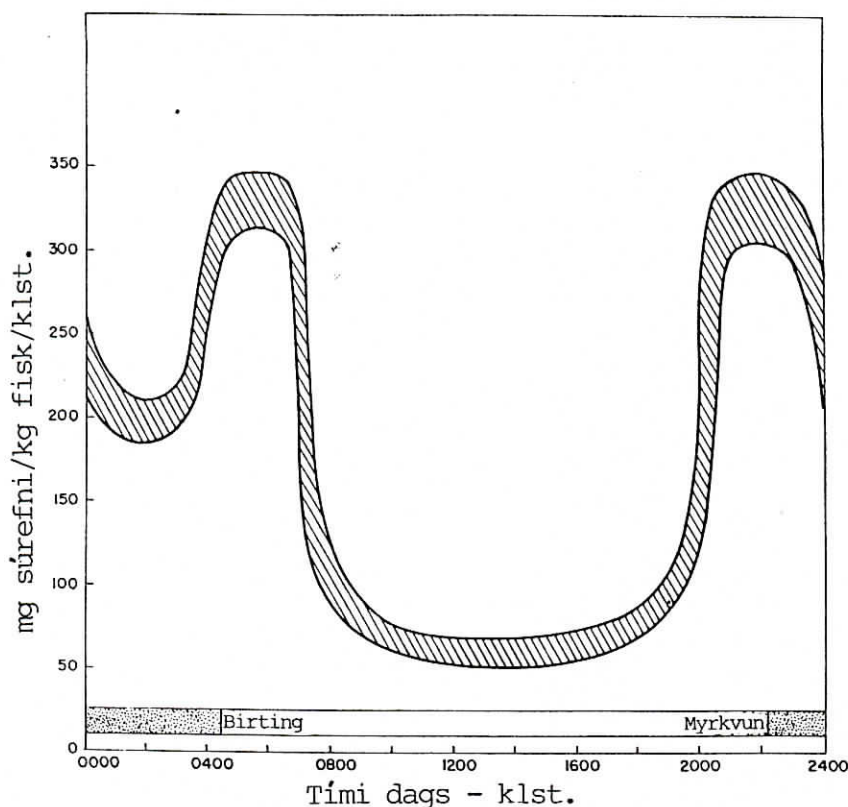
2.0-3.0 mg O_2 /l hættumörk

4.3 Sveiflur í súrefnisnotkun laxfiska

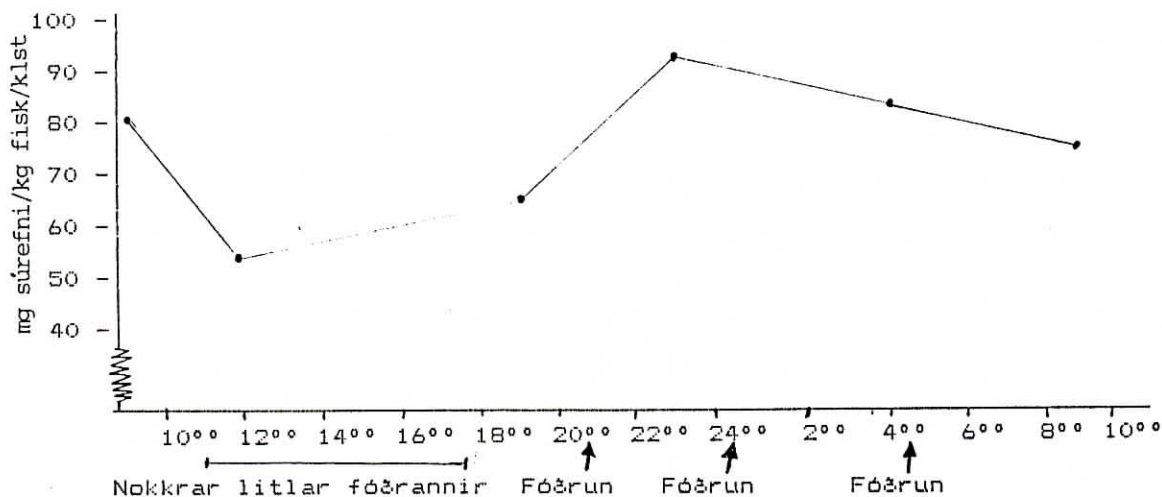
Töluverðar sveiflur geta átt sér stað í súrefnisnotkun fiska í einu ker. Ástæðurnar fyrir sveiflunum geta verið margar og má í því sambandi benda á mismunandi fóðrun og atferlisbreytingar hjá fiskinum.

Við skulum fyrst líta á hvernig súrefnisnotkun hjá rauðlaxaseiðum í náttúrulegu umhverfi sveiflast yfir sólarhringinn. Á mynd 4.2 er sýnt hvernig súrefnisnotkunin breytist yfir sólarhringinn og er hún lægst yfir daginn. Ástæðan fyrir því er sú að rauðlaxaseiðin leita niður í dýpið á daginn þar sem hitastigið er 5-6°C. Vegna lítills hita og engrar fódurtöku á þessum tíma er súrefnisnotkun rauðlaxaseiðanna lág. Þegar fer að skyggja leita seiðin upp á yfirborðið þar sem hitastig vatnsins er 16-17°C og halda sig þar þangað til að það fer að birta aftur. Fódurtakan á sér nær einvörðungu stað þegar fer að skyggja á kvöldin og þegar það fer að birta á morgnana og er súrefnisnotkun fisksins því hæst þá.

Sveiflur í súrefnisnotkun hjá atlantshafslaxi í eldiskeri hjá strandeldisstöð hafa einnig verið fundnar vegna hegðunarbreytinga og ójafnrar fóðrunar á sólarhringnum (Mynd 4.3). Eins og myndin sýnir er súrefnisnotkunin minnst yfir daginn og mest á kvöldin þegar fer að rökkva. Súrefnisnotkun



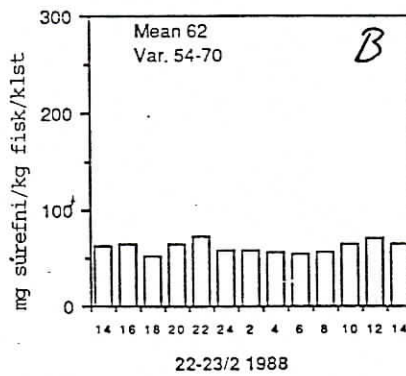
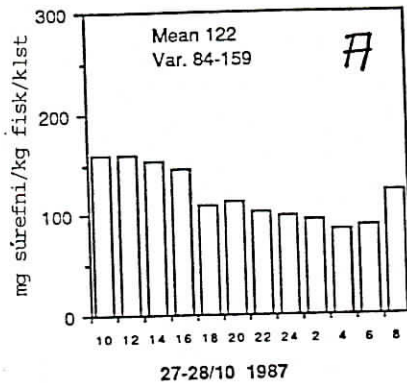
4.2. Sveiflur í súrefnisnotkun rauðlaxaseiða (2 gr) í Babline vatninu. Fóðurtakan á sér stað nær einvörðungu á kvöldin og á morgnana. Á daginn halda seiðin sig á djúpu vatni við 5-6°C og á næturnar í yfirborðinu við 16-17°C (Brett og Groves 1979).



Mynd 4.3. Sveiflur í súrefnisnotkun hjá 200-300 gr atlantshafslaxi í 500 rúmmetra útikeri. Í kerinu var 7.4 tonn af fiski, hitastig 6.6-6.8°C og dauf lýsing um nætur. Vatnsrennsli 55 l/sek og straumhraði um 20 sm/sek. Mælingarnar voru gerðar á tímabilinu 30-31 júlí.

fisksins er einnig að jafnaði meiri yfir næturnar en á daginn. Ástæður fyrir sveiflum í súrefnisnotkun eru í þessu tilviki tvenns konar. Í fyrsta lagi leitar fiskurinn í meiri straum á næturnar. Hann þjappar sér meira saman á staði þar sem meiri straumur er. Það er að segja við innrennslið og Mynd frárennslið og einnig leitar hann meira upp á yfirborðið. Í öðru lagi á fóðrun sér mest stað á kvöldin og á morgnana.

Norskar tilraunir með mælingar á sveiflum í súrefnisnotkun laxaseiða í fullri fódru og vexti á einum sólarhring sýna að mesta súrefnisnotkunin er yfir daginn eins og sýnt er á mynd 4.4a. Þetta er sett í samband við að fódruin á sér stað yfir daginn. Yfir veturinn þegar fiskurinn er hafður á kælingu og fódruin er lítil eru sveiflurnar mjög litlar (mynd 4.4b). Má sjá það í samhengi við að súrefnisnotkun vegna fódurtöku er hlutfallslega mun minni við lágt hitastig en við hærri hitastig og gætir sveiflna í súrefnisnotkun þess vegna mun minna.



Mynd 4.4. Sólarhringssveiflur í súrefnisnotkun laxaseiða v i ð m i s m u n a n d i eldisaðstæður og þroskastig seiðanna. Laxaseiðin voru alin í 30 m³ innikerjum. A) Stærð seiða 27,3 gr og hitastig 9°C. B) Stærð seiða 47,6 gr og hitastig 2,7°C (Bergheim m.fl., 1988).

4.4 Hvenær er best að mæla súrefnisinnihald í vatni

Vegna sveiflna í súrefnisnotkun hefur það mikið að segja hvenær á sólarhringnum súrefnismælingar eru gerðar. Sveiflur í súrefnisnotkun eru mismunandi á milli stöðva, árstíma m.fl. T.d. í einni stranddisstöð var súrefni í frárennsli kersins mælt klukkan 12⁰⁰ 7.6 mg/l og klukkan 23⁰⁰ var súrefnisinnihaldið 6.2 mg/l (sjá einnig mynd 4.3). Ef svo óheppilega vill til að súrefnismælingar eru framkvæmdar á þeim tíma sem súrefnisnotkun fisksins er minnst er hætt á að súrefnisinnihald vatnsins fari undir 6.0 mg O₂/lítra á þeim tímum þegar súrefnisnotkunin er mest. Ástæðan fyrir lélegum vexti gæti því verið of lágt súrefnismagn í eldisvatninu þrátt fyrir að þær súrefnismælingar sem hafa verið gerðar hafi sýnt annað. Vegna þess að sveiflur í súrefnisnotkun fiska geta verið mismunandi á milli stöðva þarf fyrst að mæla sveiflurnar í einn sólarhring áður en einn ákveðinn tími fyrir súrefnismælingar er valinn, einnig þarf að fylgjast með árstíðabundnum breytingum í súrefnisnotkun fiskanna.

4.5 Aðgerðir til að draga úr sveiflum á súrefnisinnihaldi vatns

Þar sem súrefnisinnihald vatnsins er haft lágt er mjög varasamt að framkvæma aðgerðir sem valda sveiflum í súrefnisnotkun fisksins. Slíkt getur valdið því að súrefnisinnihald vatnsins fari of neðarlega með þeim afleiðingum að vöxtur minnkar og í verstu tilvikum að afföll eigi sér stað. Þetta getur gerst ef fódrað er mikið í einu. Þegar fiskurinn er fódraður aukast hreyfingar hans til muna, einnig þarf hann meira súrefni vegna meltingar fæðunnar. Ef t.d. ein stór fódruin á sér stað á sólarhringnum stendur fódruin yfir í nokkra tugi mínútna. Á meðan á fódruinni stendur eykst súrefnisnotkun fisksins mikið vegna aukinnar virkni og ef fódruin stendur í lengri tíma er hætt á að súrefnisinnihald vatnsins fari vel undir viðmiðunarmörk. Hætta á því að þetta komi fyrir er þess meiri eftir því sem viðmiðunarmörkin fyrir súrefnisinnihald vatnsins er haft lægra. Það ber því að varast að hafa súrefnisinnihald í vatni lágt þar sem miklar sveiflur eru í súrefnisnotkun fiskanna. Þar sem súrefnisinnihald vatnsins er haft lágt er æskilegt að fódra fiskinn nokkrum sinnum á sólarhring til að minnka líkurnar á því að súrefnisinnihaldið fari undir sett viðmiðunarmörk. Aðrir þættir eins og streita t.d. vegna prufutöku eða hreinsun á kerri geta valdið aukningu í súrefnisnotkun og ber því að halda öllum aðgerðum sem geta aukið súrefnisnotkun fiskanna í lágmarki ef súrefnisinnihald vatnsins er lágt.

4.6 Heimildir og ítarefni

Alderice, D.F. Wickett, W.P. and Brett, J.R., 1958. Some effects of temporary exposure to low dissolved oxygen levels on Pacific salmon eggs. *J.Fish.Res.Bd.Can.* 15(2):229-49.

Bergheim, A., Tyvold, T. og Öines, S., 1988. Registeringer av stoffskiftetivået hos settefisk. *Norsk Fiskeoppdrett* 12(10):39-40.

Bergheim, A., Böe, E., Littlehamar, L., Sanni, S., Tyvold, T., and Öines, S., 1989. Landbasert matfiskeoppdrett - biologiske faktorer

og stoffomsetning. Sluttrapport. Roglandforskning. 79 bls.

Braaten, B., 1978. Stoffskifte hos fisk - betydning og konsekvenser. Norsk Fiskeoppdrett 3(1):4-6.

Brett, J.R. and Groves, T.D.D., 1979. Physiological energetics. Í: Fish Physiology Vol VIII. (eds. W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett), pp.280-353. Academic Press, Inc.

Davis, J.C., 1975. Minimal dissolved oxygen of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. J.Fish.Res.Board Can. 32:2295-2332.

Hamor, T. and Garside, E.T., 1977. Size relations and yolk utilization in embryonated ova and alevins of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in various combinations of temperature and dissolved oxygen. Can.J.Zool. 55:1892-1898.

Pedersen, C.L., 1987. Energy budget for juvenile rainbow trout at various oxygen concentrations. Aquaculture 62:289-98.

Poston, H. A. and Williams, R.C., 1988. Interrelations of oxygen concentration, fish density, and performance of Atlantic salmon in an ozonated water reuse system. Prog.Fish-cult. 50(2):69-76.

Rombough, P.J., 1986. Mathematical model for predicting the dissolved oxygen requirements of steelhead (*Salmo gairdneri*) embryos and alevins in hatchery incubators. Aquaculture 59:119-137.

Spoor, W.A., 1990. Distribution of fingerling brook trout (*Salvelinus fontinalis* Mitchill), in dissolved oxygen concentration gradients. J.Fish Biol. 36:363-73.

5.0 VATNSPÖRF Í LAXELDI

Algengast er að vatn til fiskeldisstöðva hér á landi sé notað einu sinni og að það sé ekki súrefnisbætt. Til að spara vatnið hafa nokkrar fiskeldisstöðvar byrjað með að súrefnisbæta vatnið annað hvort með beinni dælingu á súrefni í vatnið eða með beinni loftun í eldisker. Einnig eru dæmi um það hér á landi að vatn sé sparað með því að endurnota það.

5.1 Einnota vatn án súrefnisbætingar

5.1.1 Þættir sem stjórna vatnspörf

Þeir þættir sem stjórna vatnspörf í laxeldi þegar vatnið er einnota og súrefnisbæting á sér ekki stað eru eftirfarandi:

A) Súrefnisinnihald vatns

B) Súrefnisnotkun fisksins

Vatnspörfin eykst eftir því sem súrefnisnotkun fisksins eykst og súrefnisinnihald vatnsins minnkar. Eins og kemur fram í töflu 1.1 minnkar súrefnisinnihald vatnsins meðal annars með aukinni seltu og hitastigi. Vatnspörf fiska er því meiri eftir því sem vatnið er heitara og saltara.

Þegar vatnspörf í fiskeldi er áætluð er mjög mikilvægt að gera sér grein fyrir þeim straumhraða sem fiskurinn kemur til með að lifa við. Í kerjaeldi þar sem mikill straumhraði er hafður er vatns-/súrefnisþörf fisksins að stórum hluta til vegna sunds. Til dæmis ef straumhraðinn er aukinn frá 0.5 fisklengdum/sek í 1.0 fisklengd/sek í matfiskeldisstöð eykst súrefnisnotkunin u.þ.b. um 50%.

5.1.2 Vatnspörf í seiðaelði

Hlutfallslega nota hrogn mjög lítið vatn ef miðað er við seinni stig eldisins og næst því lítill vatnssparnaður með því að takmarka rennsli til hrognanna. Æskilegt er að hafa súrefnismettun vatnsins allt að 100% þegar það kemur frá hrognunum. Margir miða við að hafa u.þ.b. 1 l/mín vatnsrennsli í klakrennur fyrir hvern lítra af hrognum. Vatnsrennslið fer að sjálfsgöðu eftir hitastigi vatnsins og þroskastigi (súrefnisnotkun) fóstursins.

Eftir að frumfóðrun hefst og á seinni stigum er ráðlagt að gera ráð fyrir að í seiðaelði á laxi sé vatnspörfin eins og fram kemur í töflu 5.1. Þá er mögulegt að hafa straumhraðann um 1.0 fisklengd/sek sem gefur betri hreinsun í eldiskerinu. Einnig hafa rannsóknir sýnt að seiði sem alin eru við mikinn straumhraða (1.0-2.0 fisklengdir/sek) gefi betri árangur í laxeldi og hafbeit en seiði sem alin eru við minni straumhraða.

Tölur um vatnspörf í töflu 5.1 skal einvörðungu taka sem mjög grófa viðmiðun. Súrefnis-/vatnspörf fisksins getur bæði verið meiri eða minni en kemur fram í töflunni. T.d. ef fiskurinn er lítið fóðraður og straumhraðinn lítill þá er vatnspörfin minni en upp er gefið í töflunni. Einnig geta aðstæður verið þannig að súrefnis-/vatnspörf fisksins er meiri, til dæmis ef mikill straumhraði er í

Tafla 5.1. Áætluð ferskvatnspörf hjá laxaseiðum í lítrum/kg/mín við mismunandi hitastig og fiskstærð. Gert er ráð fyrir 95% mettnun eldisvökva og að súrefnisinnihald í frárennsli sé 7,0 mg O₂/lítra.

Vatns- hiti (°C)	Fiskstærð (gr)					
	1	5	10	15	25	50
2	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3
4	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3
6	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4
8	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5
10	1.5	1.1	0.9	0.7	0.6	0.6
12	1.8	1.5	1.1	0.9	0.7	0.7
14	2.4	2.0	1.5	1.1	0.9	0.8
16	3.2	2.6	2.0	1.5	1.1	0.9

kerinu, einnig auka lífeðlisfræðilegar breytingar eins og gönguseiðamyndun súrefnis-/vatnspörfina á meðan á henni stendur.

5.1.3 Súrefnis-/vatnspörf í matfiskeldi

Lítið hefur verið gert af því að mæla súrefnisnotkun í matfiskeldi laxfiska. Reynslan sýnir að að jafnaði er notað 0,3-0,35 l/kg fisk/mín í strandeldisstöðvum hér á landi. Hitastig í þessum stöðvum er yfirleitt 6-7°C, en seltan mjög breytileg eða allt frá 20-35 ppm og straumhraðinn í kerinu sennilega um og undir 0,5 fisklengdum á sek. Miðað við að súrefni í frárennsli sé um 6,5 mg/l er mæld súrefnisnotkun fiskanna tæpt 1,5 mg súrefni/kg fisk/mín. En það skal haft í huga að í innrennsli flestra strandeldisstöðvanna er töluverð loftun þannig að gera má ráð fyrir að notkunin sé eitthvað meiri.

Verulegur munur getur verið í súrefnisnotkun á milli kerja, m.a. vegna mismunandi fódurtöku, straumhraða, streitu m.fl. Í einstaka tilvikum má alveg eins búast við að súrefnisnotkun fiska sem eru undir 1 kg fari vel yfir 3,0 mg súrefni/kg fisk/mín.

Almennt er talið að vatnsnotkun sem svarar 0,3-0,35 l/kg fisk/mín sé full lítið fyrir lax í strandeldisstöðvum. Við svo litla vatnsnotkun hreinsa kerin sig m.a. illa. Æskilegt er að miða við að vatnsnotkunin sé 0,4-0,5 l/kg fisk/mín í þeim tilvikum sem vatnið er ekki súrefnisbætt og við þau hitastig (6-7°C) og seltu (20-35°C) sem eru í strandeldisstöðvum hér á landi. Ef um heitari (10°C) og saltari sjó er að ræða er nauðsynlegt að gera ráð fyrir meiri vatnspörf.

5.1.4 Útreikningar á vatnsnotkun

Til að finna út vatnsnotkun hjá fiski þarf að vita vatnspörf hjá einu kg af fiski og lífpungann.

**Vatnsnotkunin er fundin út með því að margfalda
 saman vatnspörfina (l/kg fisk/mín) og lífpungann (kg).**

Dæmi 1. Hver er áætluð vatnsnotkun hjá 10 gr fiski sem er við 10°C ? Lífpungi í kerinu er 100 kg.

Útreikningar:

Fyrst er farið í töflu 5.1 og fundin út vatnspörf hjá 10 gr fiski við 10°C, sem er 0.9 l/kg fisk/mín. Síðan er lífpunginn margfaldaður með vatnspörf á hvert kg fisk.

$$\text{Vatnsnotkun} = VA \times L = 0.9 \text{ l/kg fisk/mín} \times 100 \text{ kg} = 90 \text{ l/mín}$$

VA = Vatnspörf, (l/kg fisk/mín)

L = Lífpungi (kg)

Í þeim tilvikum þar sem eingöngu súrefnisþörf fisksins er gefin upp, en ekki vatnspörfin þarf einnig upplýsingar um súrefnisinnihald vatnsins (mgO₂/l) í innrennsli og ákvörðun þarf að liggja fyrir um hversu mikið súrefni í frárennsli á að vera til að hægt sé að áætla vatnsnotkunina. Í dæmi 2 er sýndur slíkur útreikningur.

Dæmi 2. Súrefnisþörf fisksins er 2.0 mgO₂/kg fisk/mín. Vatnið er 10°C heitt með 10'.. seltu og 95% mettað af súrefni. Súrefnisinnihald í frárennsli er miðað við að sé 6.5 mgO₂/l. Hver er vatnspörf fisksins ?

Útreikningar:

Fyrst er farið í töflu 1.1 og fundið út hve mikið súrefni sé í 1 lítra af vatni sem er fullmettað og 10°C heitt og með 10'.. seltu. Úr töflunni má lesa að þetta vatn inniheldur fullmettað 10.6 mgO₂/l. Upp var gefið að vatnið væri 95% mettað og er súrefnisinnihaldið því 10.1 mgO₂/l (10.6 x 0.95). Eftir að upplýsingar um súrefnisinnihald vatnsins eru fengnar er hægt að reikna út vatnspörfina.

$$\text{Vatnspörf} = \frac{SF}{(S1-S2)} = \frac{2.0 \text{ mgO}_2/\text{kg fisk}/\text{mín}}{(10.1 \text{ mgO}_2/\text{l} - 6.5 \text{ mgO}_2/\text{l})} = 0.55 \text{ l/kg/mín}$$

SF = Súrefnisnotkun fiskisins, mg O₂/kg fisk/mín

S1 = Súrefnisinnihald vatns í innrennsli, mgO₂/l.

S2 = Súrefnisinnihald vatnsins í frárennsli, mgO₂/l.

Þegar búið er að finna vatnspörfina hjá einu kg af fiski er hægt að finna heildarvatnsnotkunina með því að margfalda saman vatnspörf á hvert kg og heildarlífþungann.

Til að hægt sé að reikna út vatnsnotkun hvers kg af fiski í kerri þurfa að vera til upplýsingar um lífþungann og vatnsrennslið. Lífþunganum er síðan deilt upp í vatnsrennslið til að finna út vatnsnotkun á hvert kg. Í dæmi 3 eru sýndir útreikningar á vatnsnotkun hjá einu kg af fiski.

Dæmi 3. Í ker rennur 10 l/mín og í því eru 20 kg af fiski. Hver er vatnsnotkun hvers kg af fiski ?

Útreikningar:

$$\text{Vatnsnotkun} = \frac{V}{L} = \frac{10 \text{ l/mín}}{20 \text{ kg}} = 0.5 \text{ l/kg fisk/mín}$$

V = Vatnsrennsli (l/mín)

L = Lífþungi (kg)

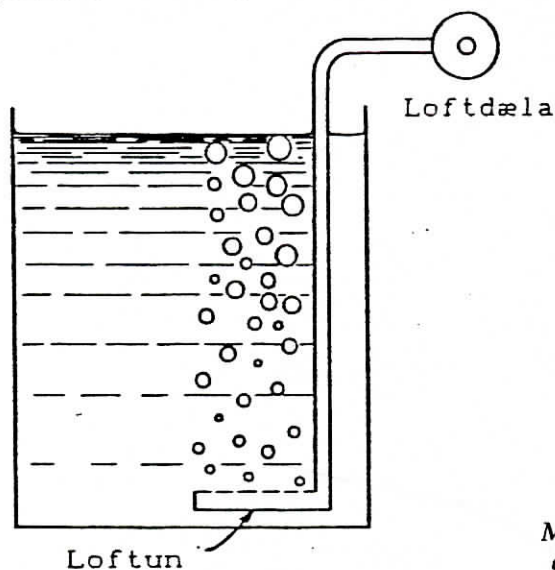
Niðurstöðuna er síðan hægt að bera saman við vatnspörf fiska í töflu 5.1. T.d. ef þýngd fiskanna er 50 gr og hitastig 14°C hefði vatnspörfin átt að vera 0.8 l/kg fisk/mín, en hún er 0.5 l/kg fisk/mín. Ástæðan fyrir því gæti t.d. verið sú að lítill straumur sé í kerinu, lítill fóðrun eigi sér stað og svo framvegis.

5.2 Súrefnisbætt vatn

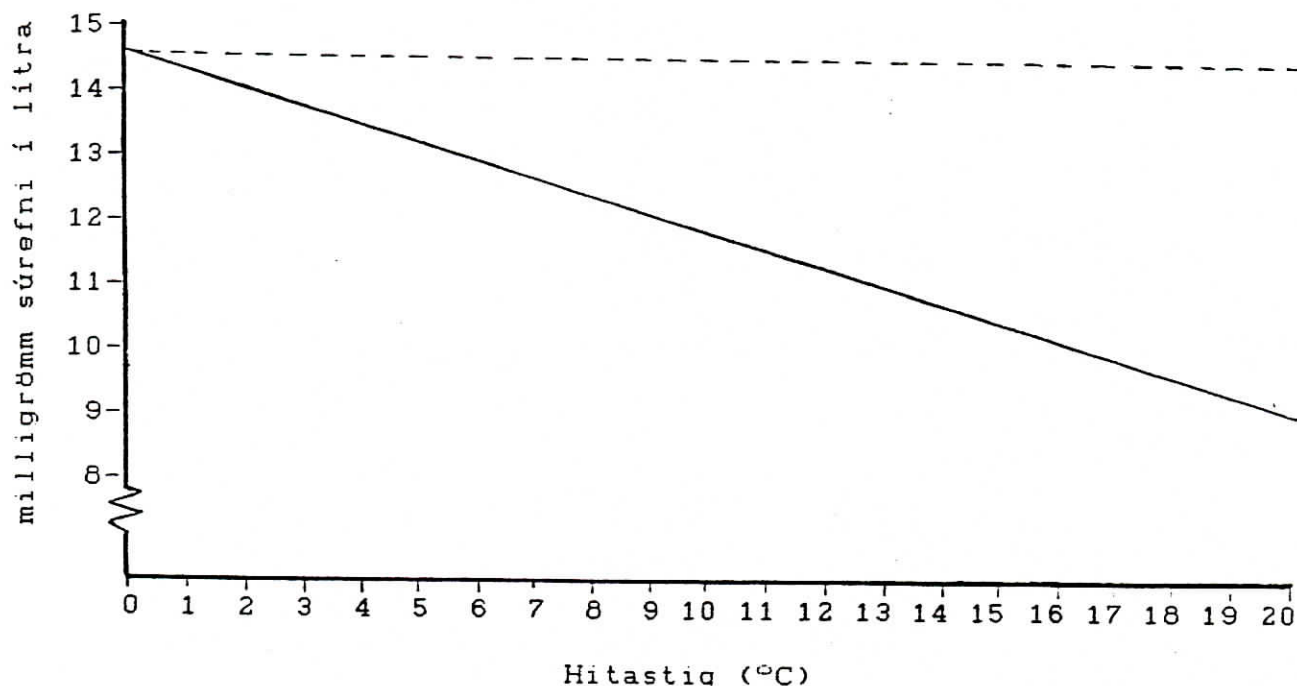
5.2.1 Súrefnisbæting

Til að fá betri nýtingu á eldisvatni er hægt að súrefnisbæta það. Það er gert með beinni dælingu á lofti í eldiskerið eða dæla hreinu súrefni í eldisvatnið. Á mynd 5.1 er sýnt hvernig bein loftun á sér stað í eldiskeri. Bein loftun í eldiskeri súrefnisbætir eldisvökvann því meira sem súrefnismettunin í eldiskerinu er lægri. Loftunin minnkar sveiflur á súrefnisinnihaldi eldisvatnsins sem geta orðið vegna breytinga á súrefnisnotkun fiskisins eða vatnsstreymis. Bein dæling á lofti yfirmettar vatnið yfirleitt ekki af súrefni eins og súrefnisdæling getur gert. Yfirmettun við loftdælingu getur þó átt sér stað þegar miklu lofti er dælt í ker á nokkura metra dýpi. Þegar loftdæling er notuð er súrefnismettun vatnsins yfirleitt undir 100%, en með súrefnisbætingu getur metnunin farið langt yfir 100%.

Með því að dæla hreinu súrefni í eldisvökvann er hægt að auka súrefnisinnihald hans langt umfram það sem finnst venjulega við náttúrulegar aðstæður. Súrefnisbæting er sérstaklega nýtsöm þar sem hátt hitastig er notað. Eftir því sem eldisvökvinn er heitari þeim mun minna inniheldur hann af uppleysanlegu súrefni. Með súrefnisgjöf er hægt að hafa súrefnisinnihald í innrennsli óháð hitastigi eldisvatnsins, eins og sýnt er á mynd 5.2.



Mynd 5.1. Bein loftun í eldisker (frá Wheaton 1985).



Mynd 5.2. Súrefnisinnihald ferskvatns og súrefnisbæting. Heila línan táknar súrefnisinnihald ferskvatns og brotalínan súrefnisinnihald vatnsins þegar það hefur verið súrefnisbætt.

5.2.2 Súrefnisbæting - uppsöfnun eiturefna

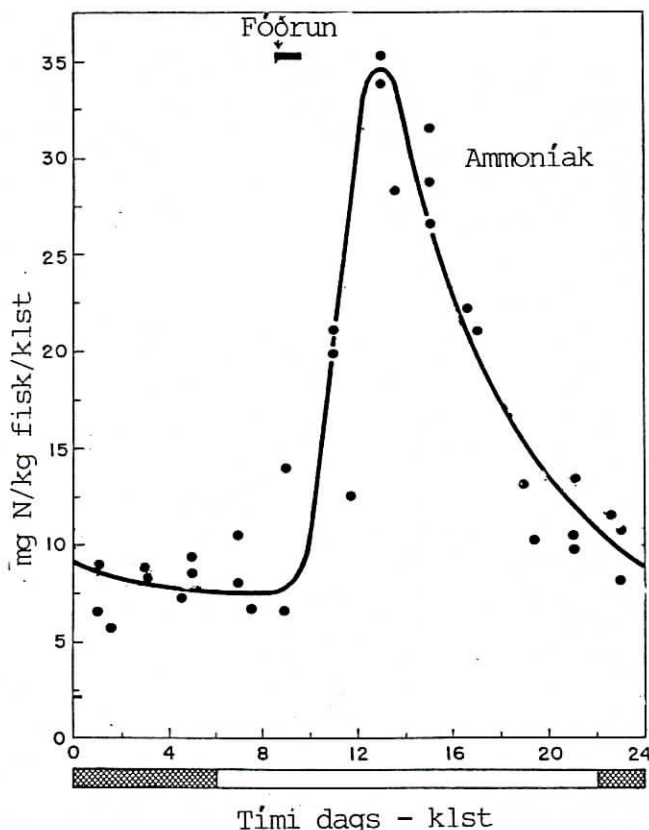
Því meira súrefni sem eldisfiskurinn tekur úr hverjum lítra af vatni verður meiri uppsöfnun af eiturefnum. Þ.e.a.s eftir því sem hver lítri af vatni er notaður til að framleiða fleiri kg af fiski því meira safnast fyrir af eiturefnum í vatninu. Mest er því hættan á uppsöfnun eiturefna þegar vatnið er súrefnisbætt eða endurnotað. Með auknu eiturefnainnihaldi í vatni er hættan á að vöxtur minnki og afföll aukist. Úr vatni sem rennur inn í eldiskerið tekur fiskurinn súrefni og gefur frá sér koltvísýring (CO_2), ammoníum (NH_4^+), þvag og saur. Svo framalega sem góð vatnsskipti eru í kerinu eru eituráhrif af saur og þvagi lítil. Mest hættan er á að ammoníak (NH_4^+ + NH_3) og koltvísýringur (CO_2) valdi eitrun hjá fiskinum og verður fjallað um ammoníakeitrun hjá fiski í næsta kafla. Varðandi koltvísýring er ráðlagt að hafa hann undir 10 mgCO_2/l . Fyrir hvert mg af súrefni sem fiskurinn tekur úr vatni gefur hann frá sér 1.1 mg af koltvísýringi. Ef mikið magn af koltvísýringi er í vatninu þegar það rennur í eldiskerið og súrefnistakan er hugsanlega hættan á að það hafi áhrif á vöxt og viðgang fisksins.

5.2.3 Súrefnisbæting - uppsöfnun ammoníaks

Virkni ammoníaks (NH_4^+ + NH_3) fer mikið eftir gæðum vatnsins, og eykst eiturefnavirknin með hækkandi pH og hitastigi. Við aukið pH og hitastig verður hlutfallslega meira ammoníak (NH_3) í vatninu sem er eiturefni fyrir fiskinn, en af ammoníakjónum (NH_4^+) sem hafa litla sem enga eiturvirkni. Ráðlagt er að miða við að ammoníaksinnihald (NH_3) eldisvökvans sé að jafnaði undir 0.025 mg í lítra þegar aðrar umhverfisáðstæður eru hagstæðar, til að fiskurinn hafi eðlilegan viðgang og vöxt. Þessi mörk geta þó verið mismunandi, t.d. ef fiskurinn hefur verið aðlagður smám saman að háu ammoníaksinnihaldi liggja þessi mörk eitthvað hærri. Einnig ef aðrir umhverfispættir eins og súrefnis- og koltvísýringsinnihald er óhagstætt liggja þessi mörk lægra.

Vanalega er 40-50% af próteinmagninu sem fiskurinn borðar brotinn niður og notaður sem orkugjafi. Við niðurbrot próteina myndast ammoníak sem fiskurinn skilur út aðallega um tálknin. Það magn af ammoníaki sem fiskurinn losar sig við er mest nokkrum tímum eftir fódurgjöf (mynd 5.3). Magn ammoníaks getur því verið mjög sveiflukennt og má gera ráð fyrir því að þess meiri sveiflur séu í ammoníakinnihaldi í vatni eftir því sem sjaldnar er fóðrað.

Þegar ammoníakmagn er mælt er bæði um magn ammoníaks (NH_3) og ammoníaksjóna (NH_4^+) að ræða. Til að finna hlutfall ammoníaks verður að fara í töflu 5.2 sem sýnir hvernig hlutfall ammoníaks og ammoníaksjóna breytist með auknu pH og hitastigi.



Mynd 5.3. Sveiflur í losun ammoníaks hjá rauðlaxaseiðum (*Oncorhynchus nerka*). Seiðin voru fódruð 3% af þyngd sinni á dag, hitastig var 15°C. Sá tími sem myrkur var á fiskinum er táknadur með dökku (breytt frá Brett og Groves 1979).

Dæmi 1. Ammoníak (NH_4^+ og NH_3) mælist 2 mg/l. Hitastig er 10°C og pH er 7.0. Hvað mikið ammoníak (NH_3) er í vatninu ?

Útreikningur:

Til að finna prósentuhlutfall NH_3 er farið í töflu 5.2 og fundið að NH_3 er 0.19%. Síðan er fundið út hve mörg milligrömm NH_3 er í hverjum lítra af vatni.

$$\text{Magn } \text{NH}_3 = \frac{\text{AM} \times \text{P}}{100} = \frac{2.0 \text{ mg } \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ \times 0.19}{100} = 0.0038 \text{ mg } \text{NH}_3$$

AM = Magn ammoníaks (NH_3 og NH_4^+) í mg/l.

P = Prósentuhlutfall NH_3 .

Niðurstaðan er sú að ammoníaksmagnið (NH_3) er vel undir settu hámarki, 0.025 mg NH_3 /l. Ef hitastigið er hækkað upp í 20°C fer ammoníakinnihald vatnsins upp í 0.008 mg NH_3 /l. En ef pH er hækkað upp í 9.0 er magn NH_3 komið upp í 0.3 mg/l sem er langt yfir settu hámarki.

Hversu lítið vatn hægt er að nota án þess að upp komi ammoníakseitrun er algerlega háð gæðum vatnsins og þá sérstaklega pH gildi vatnsins. Í töflu 5.3 er sýnt hve mikið vatn þarf fyrir tvær stærðir af atlantshafslaxi sem eru aldir við 10°C og í fullri fóðrun. Eins og kemur fram í töflunni þarf meira vatn til að koma í veg fyrir eiturvirkni ammoníaks (NH_3) eftir því sem meira er fóðrað og pH er hærra. Vatnspörf fisks sem er 50 gr og við 10°C (sjá töflu 5.1) er 0.6 l/kg fisk/mín og ammoníakmengun fer því ekki að gæta við þessa vatnsnotkun og fulla fóðrun fyrr en pH er komið yfir 8.0. Miðað við pH 8.0 þarf vatnsrennslið að vera að lágmarki 0.245 l/kg fisk/mín til að ammoníaksmengun eigi sér ekki stað og við þetta pH má því fiskurinn fá meira en helming af súrerfnisþörfinni frá súrefnisbætingu.

Tafla 5.2. Hlutfall NH_3 í prósentum í lausn með $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ miðað við mismunandi hitastig og pH.

°C	5	6	8	10	12	14	16	18	20
pH									
6.5	.04	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.10	.13
6.6	.05	.06	.07	.09	.10	.12	.13	.16	.18
6.7	.06	.07	.08	.09	.11	.13	.15	.17	.20
6.8	.08	.09	.10	.12	.14	.16	.19	.21	.25
6.9	.10	.11	.13	.15	.17	.20	.23	.27	.32
7.0	.12	.14	.16	.19	.21	.25	.29	.34	.40
7.1	.16	.17	.20	.23	.27	.32	.37	.42	.50
7.2	.20	.22	.25	.29	.34	.40	.46	.53	.63
7.3	.25	.27	.32	.37	.41	.51	.58	.67	.79
7.4	.31	.34	.40	.47	.54	.64	.73	.84	.99
7.5	.39	.43	.50	.59	.68	.80	.92	1.06	1.24
7.6	.49	.54	.63	.74	.85	1.00	1.16	1.33	1.56
7.7	.62	.68	.80	.92	1.07	1.26	1.45	1.67	1.96
7.8	.78	.85	1.00	1.16	1.35	1.58	1.82	2.09	2.45
7.9	.98	1.07	1.25	1.46	1.69	1.98	2.29	2.62	3.06
8.0	1.22	1.34	1.58	1.83	2.12	2.48	2.86	3.28	3.83
8.1	1.54	1.68	1.98	2.29	2.65	3.11	3.58	4.09	4.77
8.2	1.93	2.11	2.48	2.86	3.32	3.88	4.46	5.10	5.94
8.3	2.41	2.64	3.10	3.58	4.14	4.84	5.55	6.33	7.36
8.4	3.02	3.30	3.87	4.46	5.15	6.01	6.89	7.84	9.09
8.5	3.77	4.12	4.82	5.55	6.40	7.45	8.52	9.68	11.18
8.6	4.70	5.13	5.99	6.89	7.93	9.21	10.49	11.88	13.68
8.7	5.85	6.38	7.43	8.53	9.78	11.32	12.86	14.51	16.63
8.8	7.25	7.90	9.18	10.50	12.01	13.84	15.67	17.61	20.07
8.9	8.96	9.74	11.28	12.87	14.66	16.82	18.96	21.20	24.02
9.0	11.02	11.96	13.80	15.68	17.78	20.30	22.75	25.30	28.47

Tafla 5.3. Nauðsynlegt vatnsrennsli í l/kg fisk/mín til að ammoníaksmagn (NH_3) fari ekki yfir 0.025 mg NH_3 /l miðað við mismunandi pH. Hitastig vatnsins er 10°C og fiskurinn fær eðlilega fóðrun. Útreikningarnir miðast við að 1 kg af fódri gefi 29 gr af ammoníak ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$).

Stærð fisks (gr)	Fóðrun % af fiskins þyngd	pH	7.0	8.0	8.5
50 gr	1.7		0.026	0.245	0.755
500 gr	1.0		0.015	0.146	0.444

Ef tekið er dæmi til skýringar til að skýra betur hvernig pH og hitastig hafa áhrif á eiturvirkni ammoníaks vatnsins.

Í dæminu hér að ofan var gengið út frá því að ammoníaklosun frá einu kg af fódri væri 29 gr. Þetta magn getur verið mjög mismunandi og má benda á að þættir eins og t.d. efnasamsetning fódursins. Eftir því sem próteininnihald er meira í fódri og stærri hluti af próteinunum fer í bruna er ammoníaklosun meiri. Ammoníaklosun getur einnig verið mismunandi eftir þroskastigi fisksins, t.d. eykst ammoníaklosun fisksins við gönguseiðamyndun.

5.2.4 Útreikningar á vatnspörf þegar vatn er súrefnisbætt

Eins og áður hefur verið sagt er hægt er að spara verulegt magn af vatni með því að súrefnisbæta það. Eftir því sem meira súrefni er dælt í vatnið minnkar vatnspörfin. Margar fiskeldisstöðvar vilja auka framleiðslu án þess að auka við vatnsrennslið. Í slíkum tilvikum verður

að súrefnisbæta vatnið eða endurnota það. Til að finna út hve mikið súrefni þarf til að auka framleiðsluna þarf súrefnisþörf fisksins að vera þekkt. Ef súrefnisnotkun fisksins er ekki þekkt er hægt að reikna hana út, þ.e.a.s. að fundin er út súrefnisnotkun í stöðinni þegar vatnsnotkunin er mest og deilt upp í með lífpunganum í stöðinni. Þetta er gert eins og sýnt er í dæmi 1.

Dæmi 1. Í Skólalax h/f er hámarksvatnsrennsli 5000 l/mín. Súrefnisinnihald í innrennsli er 11 mgO₂/l og í frárennsli að meðaltali 7.5 mgO₂/l. Lífpungi í stöðinni er 8.000 kg. Hver er súrefnisþörf hjá kg af fiski? Hvað þarf mikla súrefnisbætingu í kgO₂/klst ef lífpunginn er aukinn úr 8.000 kg í 14.000 kg.

Útreikningur:

Fyrst er reiknuð út súrefnisnotkun fisksins

$$\text{Súrefnisnotkun} = \frac{V \times (S1 - S2)}{L}$$

$$= \frac{5000 \text{ l/mín} \times (11 - 7.5 \text{ mgO}_2/\text{l})}{8.000 \text{ kg}} = 2.19 \text{ mg O}_2/\text{kg fisk/mín.}$$

V = Vatnsrennsli, l/mín.

S1 = Súrefnisinnihald í innrennsli, mgO₂/l.

S2 = Súrefnisinnihald í frárennsli, mgO₂/l.

L = Lífpungi í kg.

Næst er reiknað út hve mikið súrefnisnotkunin eykst með því að auka lífpungann úr 8.000 kg í 14.000 kg.

$$\text{Súrefnisbæting} = \frac{AL \times SF \times 60}{1.000.000} =$$

$$\frac{6.000 \text{ kg} \times 2.19 \text{ mgO}_2/\text{kg fisk/mín} \times 60}{1.000.000} = 0.788 \text{ kgO}_2/\text{klst}$$

AL = Aukning í lífpunga, kg.

SF = Súrefnisnotkun fisksins, mgO₂/kg fisk/mín.

60 = Breytt mínútum í klst.

1.000.000 = mg breytt í kg.

Í þessu tilviki þarf því súrefnistæki sem getur framleitt tæpt kg af súrefni á klst. Ef um mörg ker væri að ræða í stöðinni myndi vera best að finna út súrefnisnotkun fisksins í hverju ker fyrir sig og síðan leggja saman niðurstöðurnar og fá þannig heildarsúrefnisnotkun í allri stöðinni.

5.3 Endurnotkun vatns

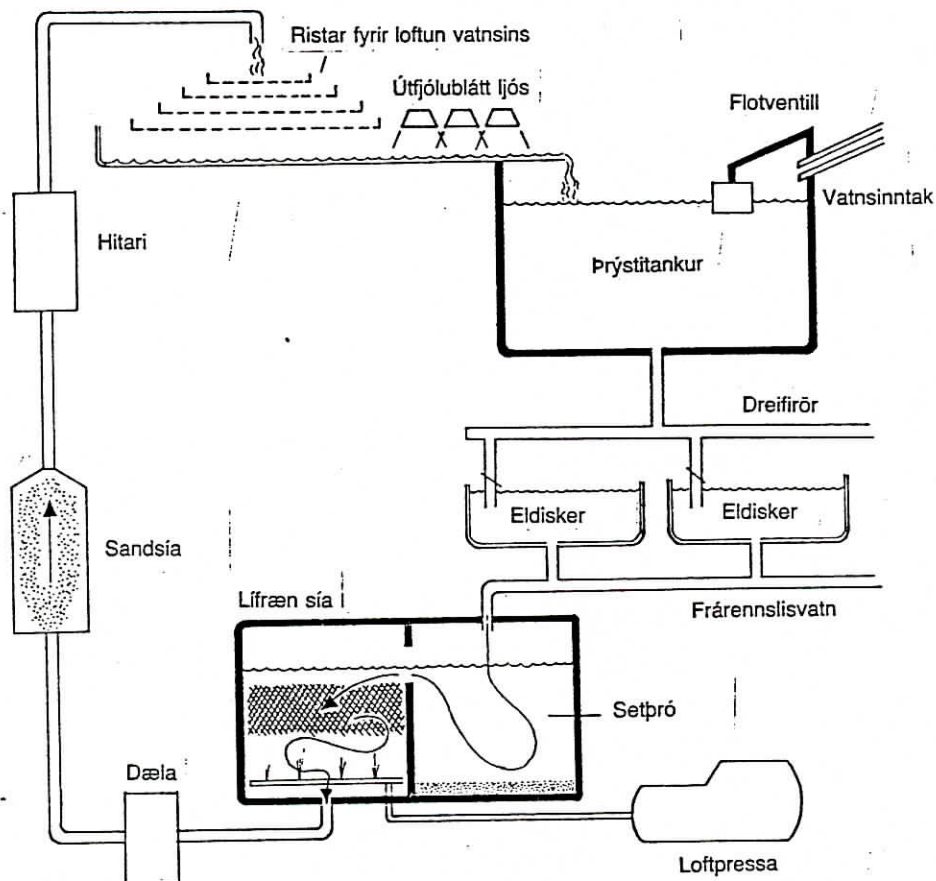
Önnur aðferð til að spara vatn er að endurnýta það. Sú aðferð hefur meðal annars verið mikið notuð við regnbogasilungs-ála- og seiðaeldi erlendis. Mjög misjafnt er hversu mikið vatnið er endurnotað, eða allt frá nokkrum prósentum upp í allt að 100%. Í svo kölluðum lokuðum kerfum þar sem vatnið er endurnotað allt að 100% er það hreinsað mjög vel áður en það er notað aftur. Á mynd 5.4 má sjá dæmi um slíkt endurnotkunarkerfi. Hreinsunin fer fyrst fram í setþróum þar sem stærstu agnirnar botnfalla, síðan fer vatnið í lífræna síu þar sem m.a. ammoníak (NH₃) er brotið niður í hættulaus efnasambönd. Smæstu agnirnar eru síðan fjarlægðar í sandsíu og þaðan fer vatnið í hitaelement sem hitar vatnið upp í æskilegt hitastig. Úr hitaelementinu fer vatnið í loftara þar sem meðal annars koltvísýringur loftast úr vatninu og í staðinn kemur súrefni og að lokum er vatnið sótthreinsað með UV-geislun.

Erlendis eru fiskeldisstöðvar oft byggðar í hallandi landslagi og er vatnið þá leitt úr einni eldiseiningu yfir í þá næstu, einnig geta margar fiskeldisstöðvar nýtt vatn úr sömu á og sú sem er neðst í vatnskerfinu getur því nýtt vatn sem fjöldi annarra fiskeldisstöðva hefur notað. Með endurnotkun á vatni er því hægt að framleiða mikið magn af fiski með mjög litlu vatni. Sérstaklega ef vatnið er hreinsað vel fyrir hverja endurnotkun.

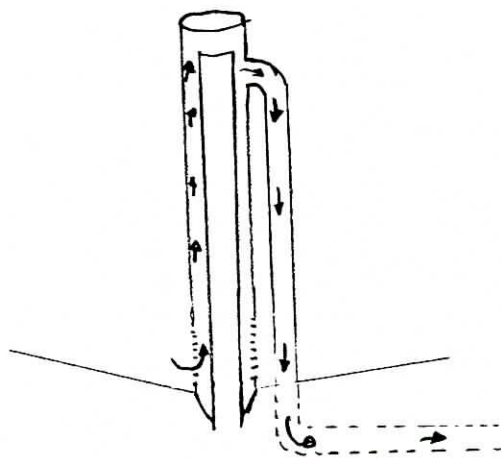
Mjög misjafnt er hversu vel vatnið er hreinsað áður en það er endurnotað. Sumstaðar er vatnið leitt í setpró og loftað áður en það er endurnotað og í öðrum tilvikum á eingöngu smá loftun sér stað á vatninu. Í jarðtjörnum eru tiltölulega lítil vatnskipti og straumhraði lítill þannig að agnir setjast á botn tjarnarinnar. Einnig ná eiturefni að brotna niður í mun meiri mæli samanborið við eldiseiningar þar sem vatnsskiptin eru mjög hröð. Vatn frá jarðtjörnun er því mun minna mengað og eittrað en vatn t.d. frá hringlaga kerjum.

Til að varna því að vatnið frá hringlaga kerjum sé mikið mengað hefur verið útbúinn sérstakur búnaður við frárennsli kerjanna (5.5). Það vatn sem á að endurnota hefur verið tekið ofarlega í teleskoprörinu, þannig að það vatn sem er "flussað" úr kerinu komi ekki með.

Í sumum tilvikum getur endurnotkun verið með að betrumbæta vatnsgæðin. Það er í þeim tilvikum sem pH gildi vatnsins er mjög hátt (oft um 9). Við notkun lækkar pH gildið vegna losunar koltvísýrings hjá fiskinum. Það er ekki óalgengt að pH gilið fari niður í 7-8 eftir að búið er að nota vatnið einu sinni.



Mynd 5.4. Dæmi um lokað kerfi þar sem vatnið er endurnotað allt að 100%. Sjá texta til nánari skýringa.



Mynd 5.5. Útbúnaður til að varna því að vatn sem er "flussað" úr kerinu verði endurnotað.

5.4 Heimildir og ítarefni

Alabaster, J.S. og Lloyd, R., 1982. Water quality criteria for freshwater fish. University Press, Cambridge, 361 pp.

Bower, C.E. and Bidwell, J.P., 1978. Ionization of ammonia in seawater: Effects of temperature, pH, and salinity. J.Fish.Res.Bd.Can. 35:1012-1016.

Brett, J.R. and Groves, T.D.D., 1979. Physiological energetics. Í: Fish Physiology Vol VIII. (eds. W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett), pp.280-353. Academic Press, Inc.

Burrow, R.E., 1969. The influence of fingerlings on adult salmon survivals. Trans.Am.Fish.Soc. 98:777-84.

Christiansen, J.S., Jobling, M. og Jørgensen, E.H., 1990. Oksygen- og vannbehov hos laksefisker - Nye reviderte tabler. Norsk Fiskeoppdrett 15(10):28-29.

Huguenin, J.E. and Colt, J., 1989. Design and operating guide for aquaculture seawater systems. Development in aquaculture and fisheries science, 20. Elsevier Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo. bls.5-30 og 167-180.

Trussell, R.P., 1972. The percent un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at different pH levels and temperatures. J.Fish.Res.Bd.Can. 29:1505-1507.

Wendt, C.A.G. and Saunders, R.L., 1973. Changes in carbohydrate metabolism in young Atlantic salmon in response to various forms of stress. Int.Atl.Salm.Symp.Spec.publ.Ser. 4:55-88.

Westers, H. and Pratt, K.M., 1977. Rational design of hatcheries for intensive salmonid culture, based on metabolic characteristics. Prog. Fish-Cult. 39(4):157-165.

Wheaton, F.W., 1985. Aquacultural engineering. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida. 708 pp.