

Vannkvalitet i marin yngelproduksjon

Håndbok og praktiske erfaringer fra prosjektet:
Overvåkingsprogram og kompetansehevingstiltak knyttet til vannkvalitet
og fiskehelse i marine yngel- og settefiskanlegg (MarinVest)

Prosjektperiode : 2011-2014

Åse Åtland, Ole-Kristian Hess-Erga, Bjørn Olav Rosseland (NIVA og NMBU), Torill Vik Johannessen,
Skretting, Sterling White Halibut, Atlantic Cod Farms, Fjord Gadus, Nordic Halibut, Marine Harvest Labrus,
Sande Seafarm Production.

Delfinansiert av deltagerne, NIVA og Vestlandsrådet (Vestlandsprogrammet for nye oppdrettsarter).

Atlantic Cod
Farms/
Atlantic Cod
Juveniles



Rensefisk
Øygarden
MHL



Fjord
Gadus



Vestlandsrådet

Sande
Seafarm
Production

Sterling
White
Halibut

Innhold

3. Innledning og bakgrunn
4. Inntaksvann
5. Vannbehandling av inntaksvann, og til de ulike avdelingene
5. Karvann
 - a. N-forbindelser
 - b. CO₂, oksygenering og gassovermetning
 - c. Metallproblematikk
8. Generell røkting
8. Spesielle prosedyrer - rutiner
10. Referanser

Innledning og bakgrunn

Variierende og ustabil produksjon av yngel er et velkjent problem for mange marine yngelprodusenter. Dette hemmer utviklingen av nye marine arter og rammer enkeltoppdrettere hardt. Suboptimal drift, sykdom og dårlig vekst kan få alvorlige konsekvenser både i yngelfasen og i de påfølgende fasene (settefisk og matfisk). Det finnes generelt lite vitenskapelig litteratur om marin yngelproduksjon selv om det har vært drevet oppdrett av enkelte arter i lang tid. Det er viktig å opparbeide seg denne type erfaring og kunnskap gjennom systematisk kartlegging og gode vitenskapelige undersøkelser. Slik dokumentasjon og erfaring må overføres til oppdretterne for å styrke utviklingen og kommersialiseringen av marine arter. På denne måten er det mulig å forbedre beslutningsgrunnlaget og heve kompetansen for den enkelte oppdretter. Ugunstig vannkvalitet nevnes hyppig som en begrensende faktor og en kilde til suboptimal drift.

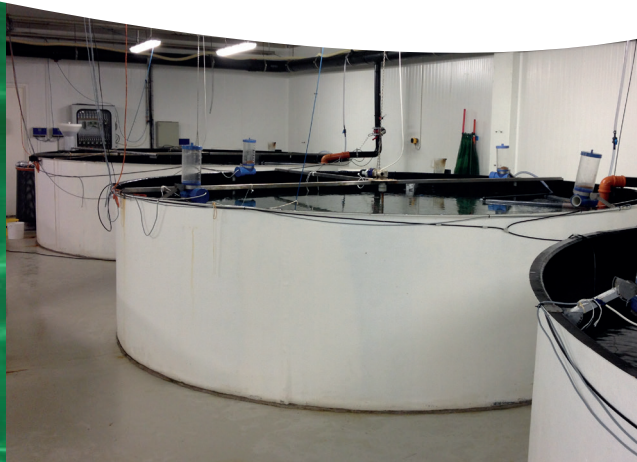
Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har siden 1999 ledet de såkalte VK(vannkvalitets)-undersøkelsene hvor det ble gjennomført årlige undersøkelser av vannkvaliteten i norske settefiskanlegg for laks. Basert på dette så NIVA behovet for noe tilsvarende for marin fisk. Prosjektet «Overvåkingsprogram og kompetansehevingstiltak knyttet til vannkvalitet og fiskehelse i marine yngel- og

settefiskanlegg (MarinVest)» ble startet i 2010. Prosjektet ble utviklet av NIVA sammen med Skretting og deretter fikk en med partnerne Sterling White Halibut (SWH), Nordic Halibut (NH), Atlantic Cod Farms (ACF), Marine Harvest Labrus (MHL), Fjord Gadus (FG) og Sande Seafarm Productions (SSP). Vestlandsprogrammet for nye oppdrettsarter, Vestlandsrådet innvilget prosjektsøknaden og har finansiert prosjektet sammen med egeninnsats fra Skretting, SWH, NH, ACF, MHL, FG og SSP, og økonomisk støtte fra NIVA. Denne håndboken er sammenstilling av de viktigste praktiske erfaringene fra dette prosjektet, og vi håper at den vil kunne være til nytte i det videre arbeidet med marin yngelproduksjon. Logisk sett er håndboka bygd opp på samme måte som vi gjennomførte arbeidet på hvert av de deltakende anleggene dvs. ved at vi følger vannets vei gjennom anlegget fra inntak til avløp.

Vi håper at heftet vil være til nytte i det videre arbeidet !

Bergen 16. juni 2015

Åse Åtland og Ole-Kristian Hess-Erga
NIVA Akvakultur



Inntaksvann

Inntaksvannet er startpunktet for all marin yngelproduksjon, og et dårlig og/eller variabelt inntaksvann kan være svært ødeleggende for produksjonen.

Inntaksvannet kan ha med virus, parasitter, alger eller planktonorganismer samt ulike typer av partikler eller forurensning.

Erfaringer:

Anleggene i prosjektet hadde vanninntak fra 20 til 150 meters dyp. De fleste anleggene hadde to vanninntak – ett dypt og ett grunnere, som regel på rundt 50 m dyp. Dette gir muligheter for temperaturjustering og -optimalisering. Inntakets plassering er viktig, og det bør vektlegges stabile strømforhold (vertikalt og horisontalt) og egnet bunntopologi. Om bunntopologien tillater at inntaket kan henge vertikalt kan være en fordel med tanke på å redusere risiko for nedslamming.

Gode forundersøkelser er viktig, og bør inkludere prøvetaking over tid, kartlegging av strømforhold, samt god oversikt over mulig utveksling av vann med naboanlegg. Andre anlegg enten med samme art eller andre arter i nærheten kan skape problemer med smittespredning, uønskede legemidler eller eutrofiering, og det er viktig å ha tenkt gjennom dette. Når en skal vurdere vanninntak til ferskvannsanlegg oppfordrer en til å kartlegge hva som foregår av aktiviteter i nedbørfeltet – på samme måte bør en ha oversikt over andre aktiviteter som f.eks. kloakkutslipp, industrivirksomhet, havner eller sig fra nåværende eller tidligere fyllplasser etc. Sist men ikke minst må anleggets inntaks og utslippsledning plasseres slik at en er sikker på å unngå å pumpe inn eget eller andre anleggs avløpsvann.

Lengden på inntaksledningen er også av betydning. Dersom en må langt ut med inntaksledningen, og den ligger grunt er

det viktig å være oppmerksom på at en kan få oppvarming av inntaksvannet med gassovermetning som resultat. Begroing i inntaksledningen kan også være et problem. Det var som ventet tydelig at anleggene med dypt vanninntak opplever færre problemer med variable temperaturforhold enn anlegg som kun har grunt (50-70m) vanninntak. De grunnere inntakene med høyere temperatur kan imidlertid svært nyttige å bruke etter larvestadiet for å få bedret vekst på yngelen.

Våre målinger har vist at alger og bakterier kommer inn i inntaksvannet på alle inntaksdyp, men generelt sett var det mindre alger og bakterier på de dypere inntakene. For øvrig viste genetiske analyser at bakteriesamfunnene var bemerkelsesverdig like til tross for at prøvene var tatt på ulike lokaliteter, ulike dyp og på ulike tider av året – og videre at det bakterielle mangfoldet var størst i inntaksvannet sammenlignet med etter vannbehandling og i kar. Bakterielt mangfold er gunstig.

Praktiske råd:

- Sørg for å ha vanninntak som er dypt nok til å gi mest mulig stabile temperaturforhold, men suppler gjerne med grunnere vanninntak for bruk på senere stadier for temperaturjustering
- Ha god oversikt over dominerende strømforhold og øvrige aktiviteter nær anleggets vanninntak
- Hensiktsmessig plassering og jevnlig inspeksjon av vanninntak (med ROV) kan være nyttig som grunnlag for tiltak mot nedslamming
- Sørg for beredskap med reservepumper og inntaksledning som kjøres med sirkulerende vann for å være sikre på at de fungerer som de skal når det skulle bli behov

Vannbehandling av inntaksvann, og vann til de ulike avdelingene

Det første trinnet på vannbehandling i samtlige av de deltakende anleggene er filtrering, og dette ble løst på litt ulike måter i anleggene. Ett av anleggene filtrerte på 100 µm, ett annet anlegg hadde trommelfilter på 30 µm, mens flere anlegg filtrerte vannet gjennom sandfilter med åpning på ca. 10 µm. Her er det mange ulike løsninger. Samtlige av anleggene UV-behandler vannet etter filtrering. Primærbehovet er å redusere smitterisiko, og jevnlig kontroll av UV-utstyr og dose er viktig. I tillegg til UV-filtreringen bruker noen anlegg ozonering og skimmer – dette kan i tillegg til desinfeksjon også ha stor effekt for å få ut organisk materiale i forkant av UV-behandlingen.

Når det gjelder lufting har de fleste anleggene lufting i høydetank/nivåtank, men også noen anlegg hadde også vakuumlufting på karnivå (i påvekstavdeling). Oksygenering foregikk hovedsakelig ved diffusorer både i høydetank/nivåtank og direkte i kar. Dette medfører ofte store gradienter. Påvekstanleggene har registrert forhøyet O_2 og for høyt total gasstrykk (TGP) – opp mot 102-104%. Dette kan være problematisk og bør følges opp med jevnlig målinger av totalgasstrykk.

En felles problemstilling er at det i denne typen anlegg er mange punkter med trykkøkning og oppvarming av vann – noe som kan gi problemer med gassovermetning dersom luftingen ikke er god nok i etterkant.

Erfaringer

Gjennom prosjektet har vi tydelig sett at det ikke alltid er mulig å observere ønsket effekt av vannbehandlingen, og i flere tilfeller har vi sett at vannbehandlingen faktisk forringer vannkvaliteten f.eks er det i noen tilfelle observert at konsentrasjonen av suspendert stoff (TSS) øker

i vannet etter sandfiltrering. Dette understreker behovet for dokumentasjon ved prøvetaking før og etter de ulike vannbehandlingstrinnene for å avklare slike forhold. På grunnlag av slike data kan en også optimalisere utstyret og bruken av det.

Praktiske råd

- Sørg for gode rutiner for tilbakespyling av sandfiltre, og for vasking av trommelfiltre
- Jevnlig prøvetaking er nyttig for å sjekke om filtreringen har ønsket effekt. Analysere vannprøver før og etter filtreringsenheten for suspendert stoff (TSS)
- Sørg for god partikkelfjerning før desinfisering med UV. Kontroller UV-dose.
- Oksygenering med diffusor på karnivå bør justeres slik at en i størst mulig grad unngår store gradienter og «skyer» med superoksygenert vann
- Jevnlige målinger av Totalt gasstrykk (TGP) etter hvert av vannbehandlingsstadiene og særlig ved temperaturjustering og/eller blanding av vann med ulike temperaturer for å unngå gassovermetning.

Karvann

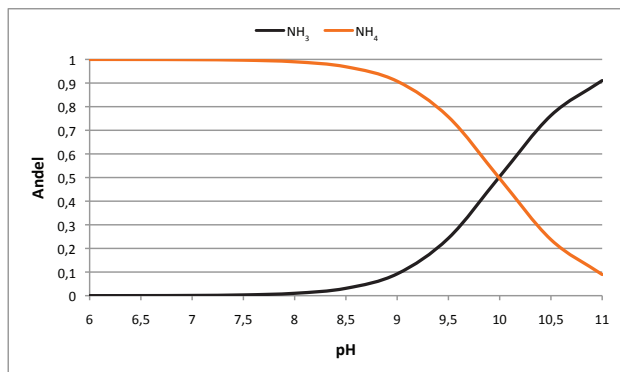
Karvannskvaliteten varierer mye med både kardedesign, belastning, art, og livsstadium samt type fôr, fôringsstrategi og røkerutiner. I store kar kan det også være betydelige gradienter i vannkvalitet.

Erfaringer

a. N-forbindelser

Ammoniakk er mest giftig på den udisosierte formen (NH_3). Denne formen er det mest av ved høy pH, mens ammonium NH_4^+ dominerer ved lavere pH (se figur 1). Fiskens utskillelse av nitrogenforbindelser (ammonium/ammoniakk) kan bli giftig ved høy belastning i kar, men i praksis har dette vist å være et lite problem i de undersøkte

nyngelanleggene. Det var stort sett lave verdier, og den høyeste beregnede verdi for ammoniakk ($\text{NH}_3\text{-N}$) i karvann blant de deltagende anleggene var $8 \mu\text{g NH}_3\text{-N/l}$. Dette er langt de nivåene som har vist for negative effekter hos de undersøkte artene.



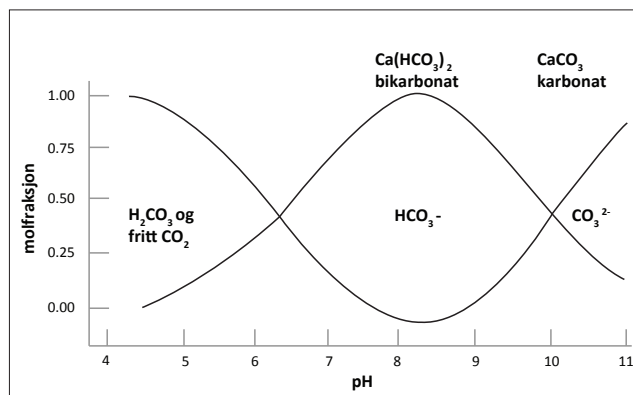
Figur 1. Sammenheng mellom pH og andelen $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$.

For torsk er det vist f.eks vekstreduksjon ved $\text{NH}_3\text{-N}$ nivåer $>115\text{-}120 \mu\text{g/l}$ (Remen m.fl. 2008). Studier av juvenil piggvar viste at veksten stoppet opp ved $730 \mu\text{g/l NH}_3\text{-N}$, mens selv $170 \mu\text{g/l NH}_3\text{-N}$ gav redusert vekst ved langtidseksponering (Person-Le Ruyet m. fl. 2003). Studier utført av Foss m. fl. (2007) har vist at en viss hyperoksygenering (110-115% metning) kan motvirke de negative effektene av ammoniakkeksponering hos piggvar. Det er viktig å merke seg at dette vil kunne være et større problem i påvekstanlegg eller i landbaserte matfiskanlegg eller der hvor en av ulike grunner får en pH-økning (medfører en større andel NH_3) i vann med stor belastning.

b. CO_2 -nivåer

Sammenlignet med ferskvannsbaserte anlegg er ikke CO_2 et stort problem for marin yngelproduksjon. Dette har sammenheng med at ved høyere pH i sjøvann forskyves

likevekten «bort fra» fritt CO_2 og over mot bikarbonat og karbonat (se illustrasjon i figur 2). De fleste anleggene i undersøkelsen hadde CO_2 -verdier i karvann i området $1\text{-}5 \text{ mg/l}$ - noe som er uproblematisk for fiskehelse. Det finnes noe litteratur på CO_2 -toleranse for de aktuelle artene. For torsk er det vist vekstreduksjon ved økende produksjonsintensitet ved CO_2 konsentrasjoner på 12 mg/l (Foss m. fl. 2006), men denne studien ser på gjenbruk av vann slik at økt CO_2 er assosiert også med økende NH_3 -nivåer. Videre er det vist økt forekomst av katarakt hos torskeyngel ved kronisk (55 dagers) eksponert i vann med CO_2 -nivåer på 18 mg/l (Moran m. fl. 2012). I den samme fiskematerialet ble det også påvist vekstreduksjon ved CO_2 -nivåer på både 8 og 18 mg/l (Moran og Støttrup 2011). For piggvar yngel ($55\text{-}176 \text{ g}$) er det også vist tydelig vekstreduksjon ved økte CO_2 -nivåer. Eksponering til CO_2 nivåer på 26 og 42 mg/L gav vekstreduksjon på henholdsvis 21 og 58% sammenlignet med kontrollgruppen som hadde CO_2 -nivåer på 5 mg/l (Stiller m. fl. 2015). En nylig studie med kveiteyngel (fra 16 g) viste vekstreduksjon ved et pH-fall på $0,4$ enheter pga økt CO_2 ved 5°C , men ikke ved høyere temperaturer (Gråns m. fl. 2014).



Figur 2. Karbonatbufferingsystemet ved ulike pH-nivåer.

c. Metallproblematikk

I en del av anleggene ser vi forhøyede nivåer av metall i karvann. Dette kan skyldes flere faktorer som selve konstruksjonen, fôr og fôrspill samt levende fôr. Leire som tilsettes sammen med fôret i en del tilfeller er kjent for å kunne inneholde mye aluminium og også i noen tilfeller jern. Resultatene viser at konsentrasjonene av aluminium og kobber er forhøyet i vannet ved noen tidspunkter, og dette gjenspeiles også i noen grad med at metallene gjenfinnes på fiskegjellene. I motsetning til for laks har en ikke alltid gode grenseverdier for skade, og en må derfor tolke resultatene med varsomhet. Imidlertid er noen av nivåene såpass høye at de i alle fall kan være nyttig å følge dette opp for å undersøke hva det betyr for fiskens helsetilstand. Studier av torskøyngel har vist fysiologiske effekter av aluminium i brakkvann: en tydelig sterk reduksjon i plasmaklorid (fra 140-150 mmol/L før til 100-110 mmol/L) ble observert når torskøyngel ble eksponert i brakkvann med 60-70 µg Al/l. Slike aluminiumsnivåer kan en finne i ferskvannspåvirkede fjorder. Så store og varige reduksjoner i plasmaklorid er ikke tidligere rapportert fra litteraturen, der torsk har vært eksponert for lave saliniteter. Reaksjonen antas å være en respons på kombinasjonen bioreaktivt aluminium i miljøet, aluminiumsdeposisjon og lav saltholdighet. (Bjerknes m. fl. 2005).

Erfaringer og forsøk utført ved Austevoll Havbruksstasjon tilbake i 1995 (Jelmert og Berg 1995) viste at korrosjonsbeskyttelse med sinkanoder forårsaket lekkasje av sink og uvanlig lav klekkesprosent hos kveite, og oppfølgende forsøk viste hemming av klekking på så lave konsentrasjoner som 12,5 µg/l. Zn målinger kan derfor være nyttig å få gjort. I resirkuleringsystemer med høy resirkuleringsgrad er det kjent at metaller fra fiskefôret kan akkumuleres over tid (Martins m. fl. 2009). En nylig studie på kveiteyngel har imidlertid vist at verken vekst eller fødeinntak ble

negativt påvirket av økte metallnivåer på grunn av høy resirkuleringsgrad (van Busset m. fl. 2014).

Praktiske råd

- Erfaringene har vist at ammoniakk i liten grad er et problem i marine yngelanlegg, men sjekk med vannprøver og anleggsmålinger er likevel lurt ved høy belastning i kar
- Vær obs på at kit-målingene ikke er 100% å stole på ved lave nivåer – supplér med vannprøver
- Heller ikke CO₂-nivåene i karene ser ut til å være noe stort problem, men bør sjekkes
- Vær obs på vannkvalitet i Artemiakulturene – har målt høy CO₂, og dette er vist i litteraturen å redusere klekkesuksess
- Levendefôr-kulturer har vist seg å fungere som et bakteriemedium.
- pH måling gir en grei indikasjon på CO₂-nivåene i karene (se Figur 3).
- Tilsetting av leire kan medføre økte aluminiumskonsentrasjoner i vannet. Giftighet av aluminium er vist i alle fall hos piggvar og torsk
- Vær oppmerksom ved bruk av sinkanoder, og følg opp med vannprøver for å sjekke om konsentrasjonene av sink kan komme opp i kritiske nivåer. Dette er særlig viktig for rogn og klekkeprosess – vist for kveite, men kan trolig også være et problem for andre arter

Generell røkting

De daglige røkterutinene ved hvert anlegg hvert enkelt anlegg er avgjørende for vellykket drift og legger grunnlaget for god fiskehelse. Basert på erfaringene fra prosjektet er det tydelig at bedriftene har kompetente ansatte på alle nivå. Imidlertid ser vi en del tilfeller av mangelfulle smitte- og hygienebarrierer, og også at det i en del tilfeller mangler utstyr dedikert til egne operasjoner samt områder/kar.

Dette kan slå svært uheldig ut ved at sykdomsutbrudd vil være vanskelige å begrense.

Spesielle prosedyrer

Det er særlig viktig å tenke gjennom vannkvalitet og vannbehandling i forbindelse med særskilte prosedyrer på anlegget som kan stresse fisken som f.eks. sortering, eventuell vaksinerings, flytting mellom avdelinger etc. Når slike prosedyrer skal gjennomføres på sensitive livsstadier bør fisken stressees minst mulig med dårlig vannkvalitet. Hurtige endringer i vannkvalitet og temperatur er også ugunstig.

Slike prosedyrer kan i seg selv også gi uønskede endringer i vannkvaliteten: nedtapping av kar kan f.eks. medføre gassovermetning, fisk i bedøvelseskar kan utsettes for høye nivåer av ammoniakk om dette vannet ikke skiftes ut ofte, enkelte bedøvelsesmidler kan bli giftige om vannet utsettes for sollys.

En typisk kritisk prosedyre for marine yngelanlegg vil være levende transport av rogn og yngel.

God dokumentasjon av forløp og rutiner, samt dokumentasjon i form av vann- og fiskeprøver er det beste grunnlaget for forbedring.

Tabell 1: Oversikt over variasjonsbredden i målingene fra de deltakende anleggene på de viktigste vannkvalitetsparametrene. Data angitt her er fra laboratoriemålinger hos NIVA (vann) og NMBU (gjeller). Samtlige data finnes i Hess-Erga m.fl. 2015. Vær oppmerksom på at denne tabellen kun viser variasjonsbredde i datane fra prosjektet, og ikke er å betrakte som anbefalte grenseverdier. Mer om grenseverdier finnes i teksten samt i Hess-Erga m. fl. 2015.

		Min	Max	Enhet
pH	Inntak	7,72	8,04	
	Kar	7,36	8,03	
Metaller i vann	Aluminium (Al)	<2	43 (inntak), 121 (kar)	µg/l
	Kobber (Cu)	<2	17 (inntak), 26 (kar)	µg/l
	Jern (Fe)	<3	148 (inntak), 58 (kar)	µg/l
	Sink (Zn)	<5	55 (inntak), 31 (kar)	µg/l
Metaller på gjeller	Aluminium (Al)	2	54	µg/g
	Kobber (Cu)	2	6	µg/g
	Jern (Fe)	113	265	µg/g
	Sink (Zn)	65	200	µg/g
N-forbindelser (kar)	NH ₃	0,03	8,17	µg N/l
	NH ₄	<5	1351	µg N/l
	NO ₂ +NO ₃	17	1192	µg N/l
CO₂ (kar)		0,7	20,9	mg/l

Referanser

- Bjerknes, V., Å. Åtland, T. Kristensen og F. Kroglund. 2005. Eksponering av torsk i estuarine blandsoner: Effekter av lav salinitet og aluminium. NIVA-rapport 5032-2005. ISBN 82-577-4733-5
- Foss, A., B. A. Røsnes og V. Øiestad. 2003. Graded environmental hypercapnia in juvenile spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen): effects on growth, food conversion efficiency and nephrocalcinosis. *Aquaculture* 220: 607–617
- Foss, A., Å. Åtland, H. Hustveit, H. Hovland, A. Øfstie og A.K. Imsland. 2006. Effects of water reuse and stocking density on water quality, blood physiology and growth rate of juvenile cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* 256: 255-263.
- Foss, A., A.K. Imsland, B. Roth, E. Schram og S.O. Stefansson. 2007. Interactive effects of oxygen saturation and ammonia on growth and blood physiology in juvenile turbot. *Aquaculture* 271: 244-251
- Gräns, A., F. Jutfelt, E. Sandblom, E. Jönsson, K. Wiklander, H. Seth, C. Olsson, S. Dupont, O. Ortega-Martinez, I. Einarsdottir, B.T. Björnsson, K. Sundell og M. Axelsson. *Journal of Experimental Biology*: 217: 711-717.
- Hess-Erga, O.K., T. Vik Johannessen og Å. Åtland. 2015. Overvåkingsprogram og kompetansehevingstiltak knyttet til vannkvalitet og fiskehelse i marine yngel- og settefiskanlegg. NIVA rapport 6782-2015. ISBN 978-82-577-6517-0
- Jelmert, A. og Ø. Bergh. 1995. Bruk av sinkanoder kan skape problem i klekkerier for marine arter. *Havforskningsnytt* nr 16 – 1995. ISSN 0804-5496.
- Martins, C.I.M., M.G. Pistrin, S. S.W. Ende, E.H. Eding og, J.A.J. Verreth. 2009. The accumulation of substances in recirculation aquacultures systems (RAS) affects embryonic and larval development in common carp *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 291: 65-73.
- Moran, D. og J.G. Støttrup. 2011. The effect of carbon dioxide on growth of juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* L. *Aquaculture* 102: 24-30
- Moran, D., L. Tubbs, og J.G. Støttrup. 2012. Chronic CO2 exposure markedly increases the incidence of cataracts in juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* L. *Aquaculture* 364-365: 212-216.
- Person-Le Ruyet, J., A. Lamers, A. Le Roux, A. Severe, G. Boeuf and N. Mayer-Gostan. 2003. Long-term ammonia exposure of turbot: effects on plasma parameters. *Journal of Fish Biology* 62: 879-894.
- Remen, M. A.K. Imsland, S. O. Stefansson, T.M. Jonassen og A. Foss. 2008. Interactive effects of ammonia and oxygen on growth and physiological status of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* 274: 292-299.
- Stiller, K.T., K. H. Vanselow, D. Moran, G. Bojens, W. Voigt, S. Meyer, og C. Schulz. 2015. The effect of carbon dioxide on growth and metabolism in juvenile turbot *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture* 444: 143-150.
- Umme, S. Uddowla, Md. Hasan; 이기훈. 2012. Effects of pH Change by CO2 Induction and Salinity on the Hatching Rate of *Artemia franciscana* Fisheries and Aquatic Sciences 15(2): 177-181
- Van Bussel, C.G.J., J.P. Schroeder, L. Mahlmann, og C. Schulz. 2014. Aquatic accumulation of dietary metals (Fe, Zn, Cu, Co, Mn) in recirculating aquaculture systems (RAS) changes body composition but not performance and health of juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquacultural Engineering* 61: 35-42.
- Annet nyttig materiale:
<http://kveitemanualen.imr.no/>

Grunnlagsreferanser for ammoniakkberegningene:

- Khoo, K.H., C.H. Culberson, and R.G. Bates. 1977. Thermodynamics of the dissociation of ammonium ion in seawater from % 40 C, *Journal of Solution Chemistry*, 6:281-290, 1977.
- Whitfield, M. The hydrolysis of ammonia ions in sea water - a theoretical study. 1974. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdoms*, 54:565-580, 1974.
- I. Hansson, I., A new set of pH scales and standard buffers for sea water. 1973. *Deep-Sea Research*, 20:479-491, 1973.



NIVA Hovedkontor
Gautadalléen 21, 0349 Oslo
NIVA Østlandsavdelingen
Sandvikaveien 59, 2312 Ottestad
Telefon 22 18 51 00
www.niva.no • niva@niva.no