

Råvannskvalitet i norske settefiskanlegg for laks relatert til vannkvalitetskrav i resirkuleringsanlegg

Av Anders J. Fjellheim, Torstein Kristensen, Åse Åtland og Bjørn Olav Rosseland

Anders J. Fjellheim, Torstein Kristensen, Åse Åtland og Bjørn Olav Rosseland er forskere ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Bjørn Olav Rosseland er i tillegg Professor ved Universitet for miljø- og biovitenskap (UMB).

Sammendrag

NIVA gjennomførte i perioden 1999 – 2006 årlige vannkvalitetsundersøkelser ved norske settefiskanlegg for laks (VK-1999-2006), og har i dag en omfattende database med bakgrunn i disse undersøkelsene. Et økende behov for smolt i laksenæringen har ført til at stadig flere anlegg bygges med resirkuleringsteknologi. Dette skyldes både at ferskvann i mange tilfeller er en begrenset ressurs og at resirkuleringsteknologi gir nye muligheter for effektiv produksjon av laks. Kvaliteten på inntaksvannet til resirkuleringsanlegg vil ha betydning for eventuell behandling av vannet før det tilføres systemet, og for valg av vannbehandling i systemet. Denne artikkelen gir en oversikt over vannkvaliteten ved norske settefiskanlegg, og relaterer nivået av alkalitet, pH, kalsium, total organisk karbon (TOC), metaller og temperatur til kravene til vannkvalitet som stilles i et resirkuleringsanlegg for smoltproduksjon.

Summary

NIVA has in the period 1999 – 2006 conducted annual water-quality surveys in Norwegian Atlantic salmon smolt farms (WQ 1999-2006), and has gathered a comprehensive database on the subject. An increasing demand for Atlantic salmon smolt in Norway has resulted in several farms design with Recirculating Aquaculture Systems (RAS), and several are being planned. One cause for this, is the fact that freshwater in many cases is a limited resource, but also that RAS involves new possibilities in making Atlantic salmon production more efficient. The inlet water-quality will determine if the water has to be physical/chemical treated before it is added to a RAS system, and it can also influence the choice of water-treatment within the system. This article gives an overview of water-quality in Norwegian Atlantic salmon smolt farms, and relates the levels of alkalinity, pH, calcium, total organic car-

bon (TOC), metals and temperature to the requirements of water-quality for RAS Atlantic salmon smolt production.

Innledning

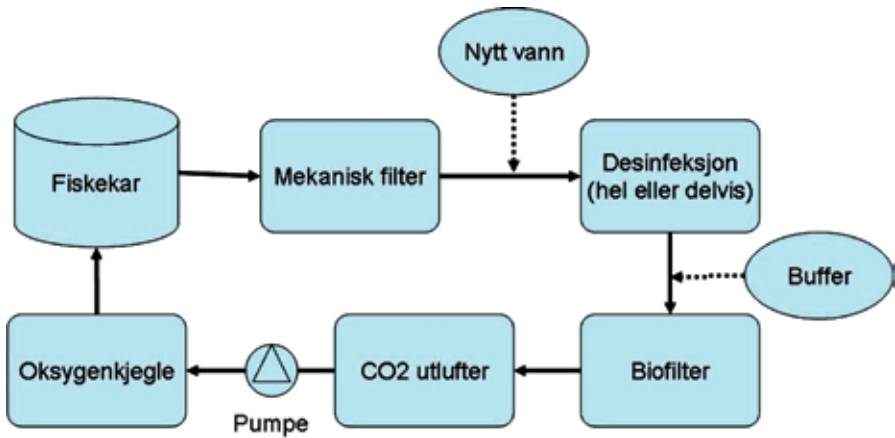
Produksjonen av laks i Norge antas for 2009 å bli 850 000 tonn, noe som er en økning på 650 000 tonn de siste 15 årene. Denne økningen i produksjon har gitt et økt behov for laksesmolt. Smoltbehovet anslås til å være over 350 millioner i 2021, dette er 150 millioner mer enn dagens produksjon (Kittelsen et al. 2006). For å kunne oppnå denne produksjonsøkningen vil økt bruk av resirkulerings-teknologi bidra til en bærekraftig vekst med hensyn til bruk av vannressurser. Resirkulering av vann brukes allerede i flere settefiskanlegg i Norge og utlandet, og i tillegg er flere anlegg under bygging og prosjektering. Resirkulering av vannet minsker forbruket av ferskvannsressurser, er energieffektivt ved oppvarming av vann og gir med riktig teknologi og styring et stabilt oppdrettsmiljø. NIVA har systematisk kartlagt råvannskvaliteten og driftsforholdene i norske settefiskanlegg siden 1999 (Kristensen et al. 2009, Rosseland et al. 2005, Rosten et al. 2007) og har gjennom dette arbeidet opparbeidet en stor database for viktige vannkvalitetsparametere. Materialet i databasen baserer seg på 357 råvannsprøver og 241 karvannsprøver fra totalt 157 anleggsundersøkelser, dette medfører at over 70 % av norske settefiskanlegg har bidratt med vannprøver som danner grunnlaget for databasen.

Kvaliteten på vannet som tilføres et resirkuleringsanlegg, vil være av betyd-

ning for om råvannet må forbehandles før det tilføres systemet, og det vil være av betydning for vannbehandlingen internt i systemet. Denne artikkelen beskriver utvalgte vannkvalitetsparametere i råvannet til norske settefiskanlegg, og relaterer disse til ønsket vannkvalitet i resirkuleringsanlegg for laks.

Prinsippkisse resirkuleringsanlegg

Et resirkuleringsanlegg for vann i smoltproduksjon består av vannbehandlingskomponenter som muliggjør en god vannkvalitet i driftsvannet til fisken, figur 1, selv med tilførsel av lite nytt vann (Lekang 2007, Liltved et al. 2007). Et mekanisk filter fjerner partikler fra vannet og dette er viktig for å unngå gjelleproblemer for fisken og for å senke vekst av heterotrofe bakterier. Vannet desinfiseres ved bruk av UV eller ozon, i de fleste tilfeller som en delvis desinfeksjon for å holde bakterietall i vannet nede. Biofilteret omdanner total ammonium nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, TAN), som skilles ut av fisken (Terjesen og Rosseland 2009), via giftig nitritt (NO_2^-) til "ufarlig" nitrat (NO_3^-). Et rislefilter brukes for å luften ut CO_2 fra vannet. CO_2 akkumuleres i vannet som en konsekvens av metabolsk aktivitet av fisk og heterotrofe bakterier i systemet. Tilførsel av nytt vann til systemet fortynner ut nitrat, slik at ikke toksiske nivåer oppstår. Bufferløsning tilføres for å holde pH og alkalitet oppe, da både CO_2 og nitrifikasjonen i systemet vil senke pH i vannet.



Figur 1. Prinsippkisse av et resirkuleringsanlegg for vann i smoltoppdrett.

Alkalitet

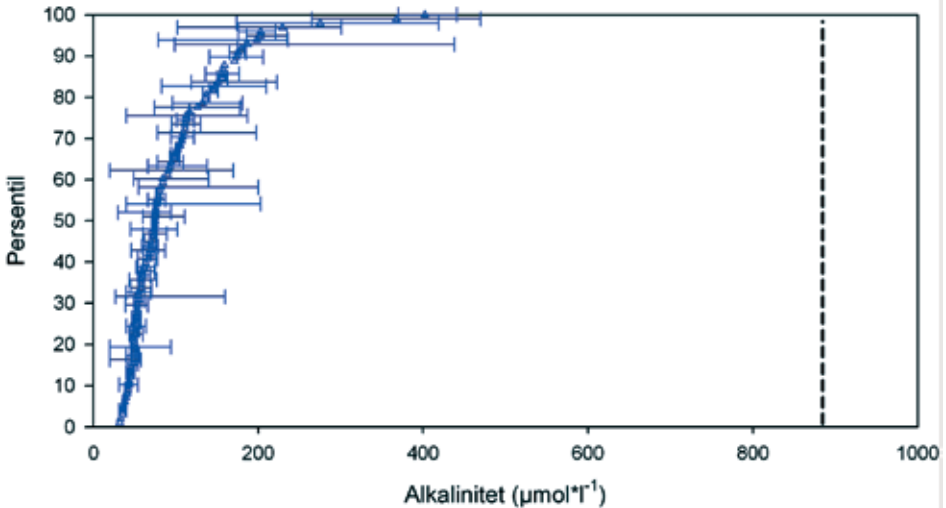
Alkalitet er et mål på vannets bufferkapasitet. Alkalitet er en begrensende faktor for nitrifikasjonen i biofilteret i et resirkuleringsanlegg ved verdier lavere enn 45 målt som mg/l CaCO_3 (Biesterfeld et al. 2003), dette tilsvarer 900 $\mu\text{mol/l}$. Verdier lavere enn dette var vanlig i et kommersielt resirkuleringsanlegg for laks (Fjellheim 2009). Alkaliteten i råvannet til norske settefiskanlegg er lav i forhold til kravene i et resirkuleringsanlegg, figur 2, noe som medfører at alkalitet må tilføres. Ulike typer forbindelser kan brukes for å øke alkaliteten i resirkuleringsanlegg (Timmons et al. 2002), for eksempel lut (NaOH), natrium bikarbonat (NaHCO_3), kalsium karbonat (CaCO_3) eller hydrat kalk (Ca(OH)_2). Hvilken buffer og hvilke mengder buffer som skal brukes for å heve alkalitet og pH i et gitt system vil påvirkes av råvannskvaliteten, men det er ekstremt viktig å ikke få pH for høy pga økt dannelse av giftig ammoniakk (NH_3) fra NH_4^+ (Terjesen og Rosseland 2009).

pH

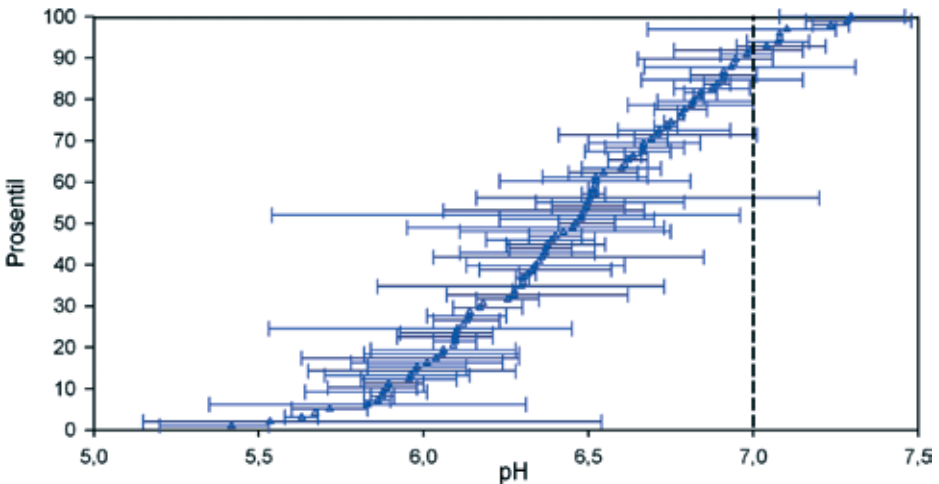
En generell anbefaling fra leverandører av resirkuleringsanlegg for laks er at pH bør være rundt 7 for å oppnå effektiv nitrifisering i biofilteret. Denne anbefalingen støttes av data som viser at nitrifiseringshastigheten var 4 ganger høyere ved pH 7,5 enn ved pH 5,5 (Villaverde et al. 1997). Råvannet i norske settefiskanlegg har generelt lav pH, sammenlignet med det som er optimalt i resirkuleringsanlegg, figur 3. Det er i tillegg tre prosesser i systemet som vil bidra til å senke pH ytterligere; CO_2 produsert av fisken, CO_2 produsert av heterotrofe bakterier i biofilteret og nitrifikasjonsprosessen som foregår i biofilteret. Samme type buffer brukes for å heve både pH og alkalitet i disse systemene.

Kalsium

Innholdet av kalsium i råvannet beskytter gjellene til fisk mot at metaller som er løst i vannet binder seg til gjellene. Metaller kan tilføres med inntaksvannet, eller



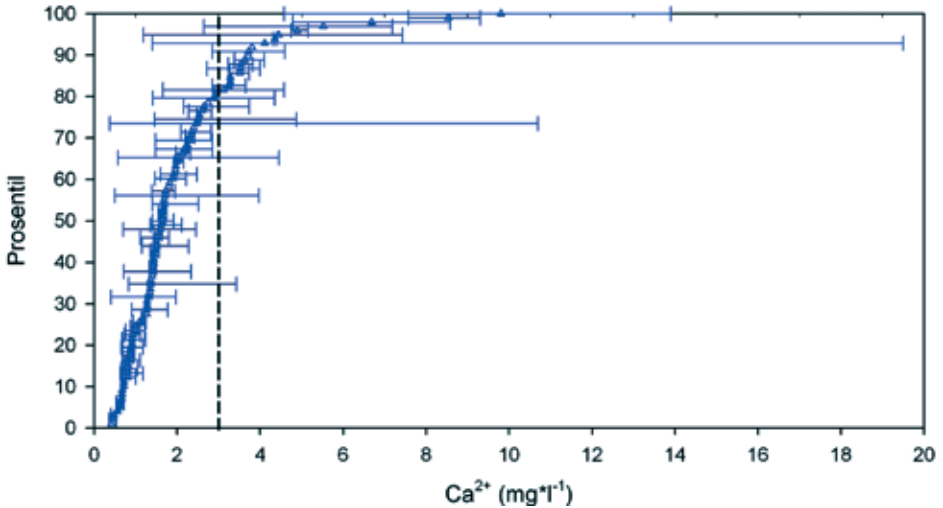
Figur 2. Alkalitet i råvann fra norske settefiskanlegg (VK databasen). Δ angir middelværdi, vertikale linjer angir variasjonsbredde som minimums og maksimumsverdier. Antall prøver fra hvert anlegg (totalt 143 anlegg) varierer fra 1 til 8, med 2,5 prøver som gjennomsnitt. Ønsket nivå i resirkuleringsanlegg er angitt med -----. (Modifisert etter: Kristensen et al. 2009).



Figur 3. pH i råvannet fra norske settefiskanlegg (VK databasen). Δ angir middelværdi, vertikale linjer angir variasjonsbredde som minimums og maksimumsverdier. Antall prøver fra hvert anlegg (totalt 143 anlegg) varierer fra 1 til 8, med 2,5 prøver som gjennomsnitt. Ønsket nivå i resirkuleringsanlegg er angitt med -----. (Modifisert etter: Kristensen et al. 2009).

akkumuleres til potensielt skadelige nivåer i vannet i resirkuleringsanlegg (Davidson et al. 2009). Det vil derfor være ønskelig å ha en kalsiumkonsentrasjon i vannet som gir denne beskyttende effekten. Innholdet av kalsium i råvannet til settefiskanlegg i Norge er relativt lavt, figur 4. Ved å bruke en bufferløsning som

inneholder kalsium (for eksempel CaO, Ca(OH)₂ eller CaCO₃) i resirkuleringsanlegg, vil man kunne heve kalsiuminnholdet og dermed oppnå en fisk som er bedre beskyttet mot metaller løst i vannet. Den beskyttende virkning av kalsium øker ikke vesentlig ved konsentrasjoner over 2,5-3 mg/liter (Rosseland 1999).



Figur 4. Kalsium i råvannet fra norske settefiskanlegg (VK databasen). Δ angir middelværdi, vertikale linjer angir variasjonsbredde som minimums og maksimumsverdier. Antall prøver fra hvert anlegg (totalt 143 anlegg) varierer fra 1 til 8, med 2,5 prøver som gjennomsnitt. Ønsket nivå i resirkuleringsanlegg er angitt med -----. (Modifisert etter: Kristensen et al. 2009).

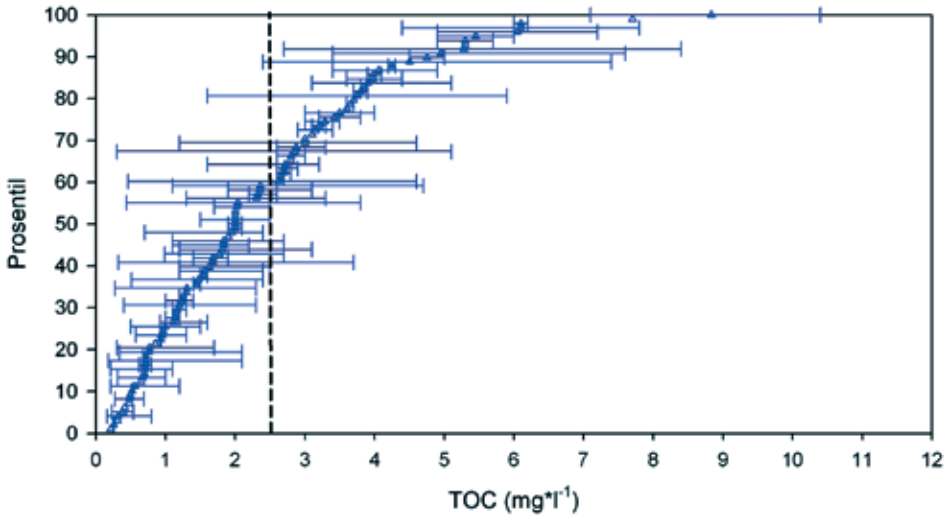
TOC

Innholdet av totalt organisk karbon (TOC) er relativt høyt i mange vannkilder til norske settefiskanlegg, figur 5, men ca 60 % av anleggene er innen det som defineres som ”meget god” vannkvalitet (Andersen et al. 1997). Høy TOC bidrar til transport av metaller, men metaller som er bundet til humus er mindre biotilgjengelige enn lavmolekylære metall-

ioner (Teien et al. 2006). Det er vist at bruk av ozon kan frigjøre metaller som er bundet til humus, bruk av ozon vil også bidra til økt heterotrof bakterievekst ved å gjøre organiske partikler mer biotilgjengelige. Ozon brukes i resirkuleringsanlegg for å klarne vannet og for desinfisering. Metoder for å fjerne TOC fra vannet er i bruk i drikkevannsbehandling (Liltved og

Norgaard 1999), og disse kan vurderes til behandling av råvannet før det tilføres resirkuleringsystemet. Dette vil kunne

hindre problemer med remobilisering av metaller under vannbehandlingen i resirkuleringsystemet.

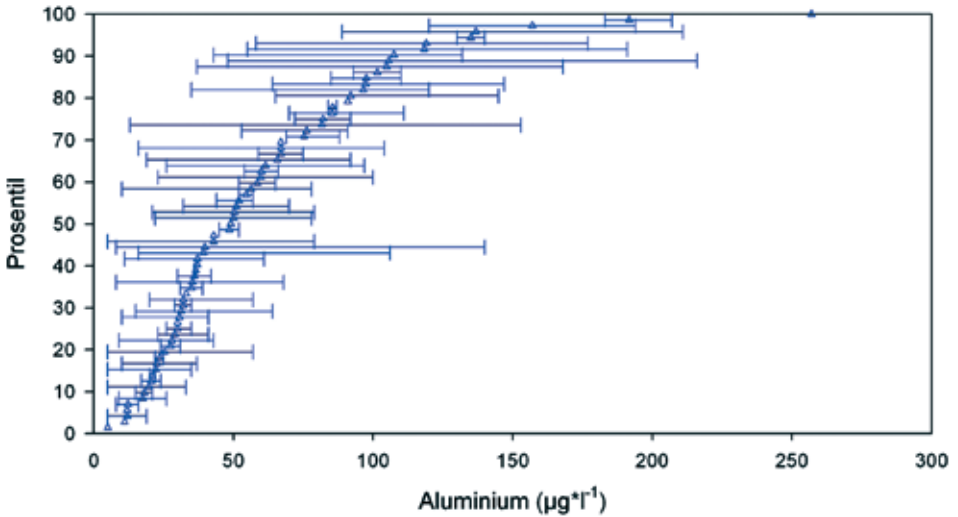


Figur 5. TOC i råvannet fra norske settefiskanlegg (VK databasen). Δ angir middelværdi, vertikale linjer angir variasjonsbredde som minimums og maksimumsverdier. Antall prøver fra hvert anlegg (totalt 143 anlegg) varierer fra 1 til 8, med 2,5 prøver som gjennomsnitt. Kravet for "meget god" vannkvalitet er angitt med -----.
(Modifisert etter: Kristensen et al. 2009).

Metaller

I Norge er problemer med metaller i vann tradisjonelt relatert til lav pH og aluminium (Teien et al. 2006, Skjelkvåle et al. 2007). Men også jern og kobber har gitt problemer for fisk i settefiskanlegg (Roseland 1999). Smoltstadiet er spesielt utsatt når det gjelder metaller i vannet (Kroglund et al. 2007). Når det gjelder aluminium, er det konsentrasjonen av labilt, uorganisk aluminium som vil være gjellereaktiv og som dermed vil være problematisk for fisk. Ved endringer i pH eller ionestyrke kan aluminium frigjøres og gå over fra organisk bundet til giftige,

labile former (Teien et al. 2004). Nivået av total aluminium varierer mye mellom anlegg og mellom ulike prøvetakinger i det enkelte anlegg, figur 6. I hvilken grad metaller kan gå fra organisk bundet til giftige, labile former ved vannbehandlingsprosesser i resirkuleringsanlegg er lite kjent. Men det er vist at bruk av ozon kan gi økning i andelen gjellereaktive former. Fjerning av humøse partikler (Liltved og Norgaard 1999) før råvannet benyttes i resirkuleringsanlegget, vil minke andelen metaller som tilføres.



Figur 6. Total aluminium i råvannet fra norske settefiskanlegg (VK databasen). Δ angir middelerdi, vertikale linjer angir variasjonsbredde som minimums og maksimumsverdier. Antall prøver fra hvert anlegg (totalt 143 anlegg) varierer fra 1 til 8, med 2,5 prøver som gjennomsnitt. (Modifisert etter: Kristensen et al. 2009).

Temperatur

Optimal temperatur i oppdrett av laks-smolt er ansett å være i området 12-16 grader for å oppnå god vekst hos fisken, og allikevel unngå misdannelser som kan oppstå ved for høy temperatur. Muligheten til å holde optimal temperatur hele året i settefiskanlegg ved benyttelse av resirkuleringsteknologi, vil bidra til å utnytte kapasiteten i anlegget bedre, det vil også bidra til at smolt vil kunne settes ut i sjøen til andre tider av året enn det man kan i dag. Dermed kan konsesjonene på sjøanlegg utnyttes bedre i forhold til dagens reguleringsregime. Reguleringsregimet baseres på maksimal tillatt biomasse (MTB), og for å utnytte denne best mulig må biomassen av laks i sjøen holdes jevn hele året. Laksen må smoltifisere før den kan overføres fra ferskvann

til sjøvann, dette er en fysiologisk prosess som går hurtigere ved høyere temperaturer. Oppvarming av vann er en svært energikrevende prosess, spesielt i anlegg med gjennomstrømmingsteknologi. I resirkuleringsanlegg vil derimot energimengden som går med til oppvarming av vannet være mye mindre, i og med at det er et mye mindre volum av nytt vann som må varmes opp. Oppvarmet vann er også en fordel i resirkuleringsanlegg, da de bakteriene som omdanner TAN og nitritt er varmekjære med temperaturoptimum rundt 25-30°C. Vanntemperaturen i inntaksvannet til norske settefiskanlegg er i optimalt område for vekst i kun 4-5 av årets 12 måneder (Kristensen et al. 2009), slik at potensialet for økt utnyttelse av anleggene

er stort ved å gå over til resirkulerings-teknologi og holde temperaturen i vannet på 12-14 grader hele året.

Konklusjoner

- Vannkvaliteten i inntaksvannet til norske settefiskanlegg for Atlantisk laks avviker til dels betydelig fra krav til vannkvalitet i et anlegg med resirkuleringsteknologi.
- Kunnskap om vannkvaliteten i inntaksvannet vil være viktig ved planlegging av resirkuleringsanlegg for å avgjøre optimal vannbehandlingsstrategi.

Referanser

Andersen, J.R, Bratli, J.L., Fjeld, E., Faa-feng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B.O. & Aanes, K.J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. (Classification of environmental quality in freshwater). - Statens forurensningstilsyn, Veiledning 97:04. 31 pp.

Biesterfeld, S., G. Farmer, P. Russell, and L. Figueroa. 2003. Effect of alkalinity type and concentration on nitrifying biofilm activity. Water environment research 75, no. 3: 196-204.

Davidson, J., C. Good, C. Welsh, B. Brazil, and S. Summerfelt. 2009. Heavy metal and waste metabolite accumulation and their potential effect on rainbow trout performance in a replicated water reuse system operated at low or high system flushing rates. Aquacultural Engineering.

Fjellheim, A. J. 2009. Vannkvalitet i et kommersielt resirkuleringsanlegg for laks. VANN, no. 3: 256-264.

Kittelsen, A.T., T. Rosten, Y. Ulgenes, J.R. Selvik, and H. Alne. 2006. Tilgjengelige ferskvannsressurser til fremtidig produksjon av settefisk til laks og ørret. FHL rapport.

Kristensen, T., Å. Åtland, T. Rosten, H.A. Urke, and B.O. Rosseland. 2009. Important influent-water quality parameters at freshwater production sites in two salmon producing countries. Aquacultural Engineering (7). 41, 53-59

Kroglund, F., B. Finstad, S. O. Stefansson, T. O. Nilsen, T. Kristensen, B. O. Rosseland, H. C. Teien, and B. Salbu. 2007. Exposure to moderate acid water and aluminum reduces Atlantic salmon post-smolt survival. Aquaculture 273, no. 2-3: 360-373.

Lekang, O-I. 2007. Aquaculture Engineering Blackwell Publishing Ltd, 352 pp. ISBN 9781405126106

Liltved, H., and E. Norgaard. 1999. Fjerning av humus fra drikkevann ved felling med kitosan og etterfølgende direktefiltrering i Filtralite og kvartsand. NIVA rapport.

Liltved, H., Rosseland, B.O., Vogelsang, C. og Åtland, Å. 2007. Vannbehandling. . I: Bjercknes, V. (red.) Vannkvalitet og smoltproduksjon, Kapittel 5, side 159-184, Juul forlag, ISBN 978-82-8090-018-0.

- Rosseland, B. O. 1999. Fiskehelse og fiske sykdommer. Vannkvalitetens betydning for fiskehelsen. (Water quality and fish health). Pp 240-252 in: Poppe, T. (ed.) Fiskehelse og fiske sykdommer. (Fish health and fish diseases). Universitetsforlaget. ISBN 82-00-12718-4.
- Rosseland, B.O., Rosten, T., Salbu, B., Kristensen, T., Åtland, Å., Kroglund, F., Teien, H-C., Heier, L.S., Tollefsen, K-E. and Baeverfjord, G. 2005. Documentation of fish welfare: freshwater quality criteria as basis for fish welfare strategies in intensive production of salmonides. Aquaculture Europe 2005. Lessons from the past to optimise the future. Trondheim, Norway, August 5-9, 2005. European Aquaculture Society, Special publication 35, 390-391.
- Rosten, T., Urke, H.A., Åtland, Å., Kristensen, T. og Rosseland, B.O. 2007. Sentrale drifts- og vannkvalitetsdata fra VK Laks – undersøkelsene fra 1999 – 2006. NIVA Rapport, Lnr. 5352-2007, 16 s. ISBN 82-577-4918-4.
- Skjelkvåle, B.L., Bjercknes, V., Hindar, A., Kaste, Ø., Kristensen, T., Rosseland, B.O., Salbu, B., Teien, H-C og Åtland, Å. 2007. Vannkjemi. . I: Bjercknes, V. (red.) Vannkvalitet og smoltproduksjon, Kapittel 2, side 57-93, Juul forlag, ISBN 978-82-8090-018-0.
- Teien, H.C., F. Kroglund, B. Salbu, and B. O. Rosseland. 2006. Gill reactivity of aluminium-species following liming. Science of the Total Environment 358, no. 1-3: 206-220.
- Teien, H.C., B. Salbu, F. Kroglund, and B. Olav Rosseland. 2004. Transformation of positively charged aluminium-species in unstable mixing zones following liming. Science of the Total Environment 330, no. 1-3: 217-232.
- Terjesen, B.F. og Rosseland, B.O. 2009. Produksjon og giftighet av ammoniakk hos fisk. Norsk Fiskeoppdrett 2, 52-55.
- Timmons, M. B., J.M. Ebeling, F.W. Wheaton, S. T. Summerfelt, and B. J. Vinci. 2002. Recirculating aquaculture systems. 2nd ed. Cayuga Aqua Ventures.
- Villaverde, S., P. A. Garcia-Encina, and F. Fdz-Polanco. 1997. Influence of pH over nitrifying biofilm activity in submerged biofilters. Water Research 31, no. 5: 1180–1186.