

Oksygen i vann - hva er det beste for fisken?

Av Trond W. Rosten

Trond W. Rosten er forskningsleder ved NIVA seksjon for Fisk og akvakultur.

Sammendrag

Oksygenivået i vann må kontrolleres i fiskeoppdrett. Fisk forbruker oksygen avhengig av flere faktorer, og oksygen må tilsettes vannet for å opprettholde gode vekstbetingelser for fisken. Løseligheten av oksygen er avhengig av temperatur, og det anbefales å bruke graden av oksygenmetning (%) som en praktisk overvåkingsparameter. En undersøkelse viser at Oksygenivået i norske smoltkar lå mellom 45 – 140 % metning. Det anbefales å sikte mot 100 % metning i fiskekarene, for å tilby et tilnærmet naturlig oksygenmiljø. Både for lave og for høye nivå av oksygen er skadelig for laksefisk. For høye nivå kan føre til oksidativt stress og for lave nivå kan føre til redusert vekst og overlevelse. For lave nivå av oksygen er problematisk om nivåene av CO₂ og total ammonium-nitrogen (TAN) også er høye. Av disse grunner er det fordelaktig å installere et feedbackstyrt oksygeneringssystem til alle fiskekar, samt nødoksygensystem, dersom vann eller strøm skulle stoppe.

Denne artikkelen redegjør kort for anbefalinger og problemstillinger knyttet til oksygenivå i vann ved produksjon av settefisk av laks og ørret.

Summary

Water concentrations of oxygen must be controlled in fish farming. Fish is consuming oxygen depended upon several factors, and oxygen is added to the water to enhance production. The solubility of oxygen in water is depended on temperature and it is recommended to use the degree of oxygen saturation (%) as a practical monitoring measure. A study show that oxygen saturation varies from 45 – 140 % in smolts farms. The target value for the aqua culturist of Atlantic salmon should be 100 % oxygen saturation to provide an environment close to field conditions. Both low and high oxygen levels are harmful. High levels lead to oxidative stress and low oxygen levels effects growth and survival, and are particular dramatic if CO₂ and ammonia levels are high. Due to the importance of oxygen in fish farming it is highly recommended to install a feedback control system for general supply of oxygen and an emergency oxygen system for crisis like water stop or electrical failure.

Utgangspunkt – Naturtilstand

Når man skal vurdere egnet oksygenivå

i vann for en ferskvannslevende lakseunge kan det være nyttig å ta utgangspunkt i hvilke forhold denne normalt sett opplever i naturlig tilstand i rennende vann. En grov, men likevel relativt presis tilnærming er at rennende vann i utgangspunktet holder 100 % metning med oksygen og at det er denne metningsgraden fisken i all hovedsak møter. Naturlige svingninger kan forekomme der det er innslag av grunnvann eller høy biologisk aktivitet, men man kommer ikke utenom at fisken står fritt til å oppsøke et temperatur- og oksygenregime som den ønsker. Løseligheten av oksygen, som uttrykkes som konsentrasjon i mg/l, er avhengig av temperatur. Oksygen har økende løselighet ved lavere vanntemperatur (Garcia, 1992). For fisk er det trykkforskjellen mellom oksygennivået i vannet og i blodet som er den drivende kraft for oksygentransporten inn i fiskeblodet. Trykkforskjellene uttrykkes best ved % metning. Av denne grunn gir det derfor mer mening å benytte % metning som mål på oksygennivå i vannet. Sagt med andre ord så kan 6,6 mg/l liter være tilstrekkelig oksygen ved 25 graders vann (80 % metning), mens meget lavt ved 1 graders vann (45 % metning). I en intensiv oppdrettssituasjon mener man at en oksygenmetning som er i likevekt med atmosfærisk $pO_2 = 21$ kPa (100 % metning) er den mest optimale (Timmons, 2002; Wedemeyer, 1996).

Laksefisk opprettholder et relativt konstant oksygenopptak ved synkende oksygenkonsentrasjon i vannet ved å kombinere økt ventilasjonsvolum (antall

og styrke i gjellebevegelser) med økt effektivisering av gjellearealet. Ved langvarig lavere oksygennivå, vil fisken også søke å kompensere for dette ved at blodets oksygenbindingsegenskaper forbedres (Bjerknes, 2007)

Fiskens respirasjon (pustebevegelser) reguleres først og fremst av oksygeninnholdet i blodet. Dette er i motsetning til pattedyr hvor respirasjonen først og fremst reguleres av CO_2 -nivået i blodet. Dette vil si at ventilasjonen av gjellene i praksis vil være en tilpasning mellom oksygennivået i vannet og fiskens oksygenforbruk. Oksygen kan i seg selv være problematisk både i for høy (hyperoksi) og for lav konsentrasjon (hypoksi). Lavt oksygennivå vil generere stress hos fisk (Portz et al., 2006). Dette er den mest kritiske og begrensende vannkvalitetsvariabel for hold av fisk (Bergheim et al., 1991). Kritisk oksygentrykk (pO_2) øker med høyere vanntemperatur og høyere nivå av metabolitter i vannet (Alabaster et al., 1979). Konsekvensen av for lavt oksygennivå er stagnasjon i vekst (Weber, 1983), redusert svømmekapasitet (Dahlberg, 1968) og økt stressrespons (Wedemeyer, 1981), samt i ytterste konsekvens død (Niell, 1991).

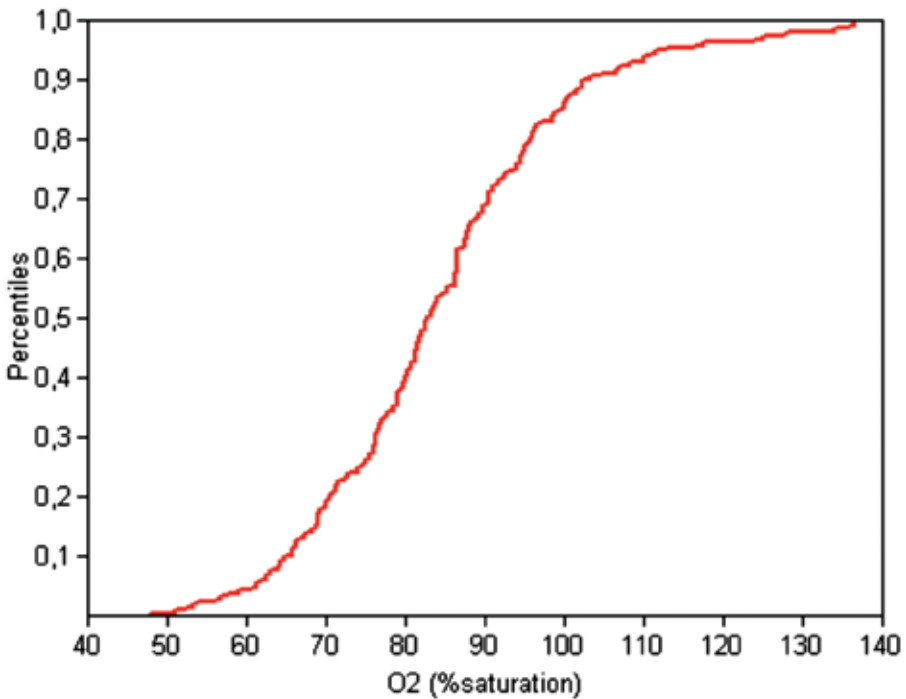
Ny kunnskap indikerer at fisk søker å beskytte cellene sine mot eksponering av for høyt oksygennivå (Bjerknes, 2007), ved å redusere gjellebevegelserne når vannet er overmettet med oksygen ($>> 100$ %). I forsøk har man vist at eksponering av vill laksesmolt for oksygennivå omkring 150 % kan føre til økt dødelighet i ferskvann, økt forekomst av soppinfeksjon, økt risiko for lakselusinfeksjon,

samt høy dødelighet etter overføring til ferskvann (Finstad, 2007). En feedback styring av oksygennivået i karene er derfor nødvendig for å unngå både for lavt og for høyt oksygennivå.

Undersøkelser i norske settefiskanlegg

NIVA gjennomførte i perioden 1999 til 2006 årlige undersøkelser av vannkvalitet og driftsbetingelser i norske settefiskanlegg. Undersøkelsen er beskrevet av (Kristensen et al., 2009) og data er også gitt i Rosten (2007). I all hovedsak var det kommersielle anlegg som deltok,

men noen kultiveringsanlegg var også med. Så godt som 100 % av anleggene benyttet oksygentilsetning til driftsvannet og hele 54 % av anleggene benyttet feedbackstyring av oksygenanlegget. 35 % benyttet en form for CO₂-lufting av karvannet (Rosten, 2007). Andelen som benyttet denne form for vannbehandling var økende. Vanlige driftsnivå i karvannet ved produksjon av laksesmolt lå i gjennomsnittlig på 10,2 mg/l med oksygen (Rosten, 2007), men nivåene varierte relativt mye. Nyere studier viser at det er mulig å oppnå svært god smoltkvalitet gitt at oksygenivået i karene styres og



Figur 1. Fordeling av oksygennivå (% metning) i smoltkar (n=158) ved norske settefiskanlegg før utsett til sjø. Vi kan se at om lag 15 % av karene ligger lavere enn 70 % metning og om lag 20 % høyere enn 100 % metning.

CO₂ i karvannet luftes ut slik at det holdes lavere enn 15 ppm (Rosten, 2007).

Løst oksygen er den første vannkvalitetsparameter som begrenser produksjonen i både åpne og lukkede systemer for hold av fisk. Denne begrensningen kommer av det relativt store oksygenbehovet til fiskebiomassen i systemet, den relativt lave løseligheten av oksygen i vann og den begrensede tilførselen fra de to naturlige kildene til løst oksygen, nemlig vannutskiftning med frisk vann og foto-

syntese. I produksjon av fisk må man derfor tilføre oksygen i samme takt som hastigheten på biomasseøkningen forårsaket av føring hver dag (Colt, 1991). Dette må enten skje ved konstant økning av vanntilførselen, økning i oksygendoseringen, eller en kombinasjon av begge.

I en utredning for Mattilsynet (Rosten et al., 2004) er krav til oksygeninnhold i karvann for fisk foreslått. Disse er angitt i tabell 1.

Art	Optimum	Tålbart	Betinget	Ikke akseptabelt
Laksefisk	100 %	60 %	50 %	< 40 %
Torsk	100 %	56 %	34 %	< 30 %
Piggvar	100 %	60 %	4,4 mg/l	Ikke tilgjengelig
Kveite	100 %	7 mg/l	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig
Steinbit	100 %	4,0 mg/l*	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig

*Ref. Foss et al., 2002. Aquaculture Research

Tabell 1. Krav til oksygeninnhold (som % metning eller mg/l) foreslått for de ulike oppdrettsartene.

Rosten (2004) deler inn vannkvalitetskravet til oksygen i fire nivå. "Optimum" er det nivået man bør strebe etter å tilby fisken og med minst mulig variasjoner. "Tålbart" er det nivå fisken kortvarig takler i en oppdrettsituasjon. "Betinget" er det nivå hvor fisken kan opprettholde tilnærmet normal aktivitet gitt at andre faktorer er spesielt gunstige. "Ikke akseptabelt" er et nivå hvor man vil kunne få økt dødelighet pga. denne parameteren alene.

Et forhold som vil påvirke hvilket oksygeninnhold som tolereres, er karvannets innhold av metabolittene karbondioksyd

(CO₂) og ammoniumnitrogen (TAN). Fra settefiskundersøkelsene vet vi at karbondioksydinnholdet i smoltkar vil variere mellom 2 – 30 mg/l og TAN-nivået mellom 2 – 3150 ug/l (Rosten, 2007). Generelt kan man si at de fysiologiske problemene fisken opplever blir forsterket dersom CO₂ og TAN er høye (henholdsvis >15 mg/l og > 1500 ug/L) og oksygeninnholdet i vannet lavt (< 70 % metning). Problemene som manifesterer seg kan være redusert tilvekst, forstyrrelse i osmoregulering, redusert overlevelse og forkalkning av nyrer (Fivelstad, 1999, 2003.; Hosfeld et al., 2008).

Oksygenforbruket er et indirekte mål på energiforbruket (metabolismen), og en lang rekke faktorer påvirker dette. Siden dette er meget komplekst og dynamisk vil matematiske modeller for oksygenforbruk hos fisk ofte ikke stemme med det oksygenforbruket som erfares under praktisk fiskeproduksjon. Dette gjør at det er vanskelig eksakt å forutsi effekten av ulike verdier av de vannkvalitetsparametere som er knyttet til metabolismen. De viktigste faktorene som bestemmer oksygenforbruket hos fisk er kroppsstørrelse, vanntemperatur, stress, aktivitet – svømmehastighet, fôringsstatus (Forsberg, 1997; Grottum og Sigholt, 1998). Effekten av fôring på oksygenforbruket er nært knyttet til temperaturen og øker med økende totalt fôrintak, men påvirkes også av faktorer som fôringsregime (Forsberg, 1997). På grunn av denne komplekse sammenhengen vil man i liten grad kunne kontrollere oksygennivået til alle kar i et fiskeanlegg kun ved hjelp av mengden innløpsvann. Resultatet kan bli store variasjoner, med risiko for oksygenmangel. Et oksygentilsettingsanlegg med feedbackstyring vil gi bedre muligheter til å kontrollere oksygennivået i alle fiskekar.

Konklusjon

Oksygennivået i karvannet er den viktigste parameteren å ha kontroll på ved produksjon av fisk. Oksygennivåene i norsk settefiskproduksjon viser relativt varierende nivå, men ligger stort sett innenfor det som kan aksepteres som forsvarlig for fiskens velferd. Det bør tilstrebes et oksygennivå i karvannet som

ligger tilnærmet på 100 % metning, slik fisken som oftes opplever i vill tilstand. I en normal driftssituasjon vil man kunne tolerere svingninger mellom 80 og 110 % metning, selv om svingninger i størst mulig grad bør unngås. Det er viktig at oksygennivået ikke blir for lavt (< 70 % metning). Dette vil i tilfelle kunne føre til redusert tilvekst, økt stress, svekket motstandsdyktighet og redusert fiskevelferd. I tillegg vil man oppnå en bedre sikkerhetsmargin ved en eventuell vannstopp. Det er også viktig at oksygennivået ikke blir for høyt (>120 % metning) da dette vil medføre oksidativt stress og kunne skade fiskens helse. Ved etablering av et anlegg for tilsats av flytende oksygen til driftsvannet, anbefales det å satse på systemer med muligheter for feedbackstyring for å sikre seg mot uønskede svingninger. En tank med flytende oksygen vil også muliggjøre direkte forsyning av nødoksygen i tilfelle strøm – og vannbrudd og representerer dermed også en god velferdsmessig forsikring for lakseungene i et settefiskanlegg.

Referanser

Alabaster, J., Shurben, D., Knowles, G., 1979. Effect of Dissolved Oxygen and Salinity on the Toxicity of Ammonia to Smolts of Salmon, *Salmo Salar* L. *Journal of Fish Biology* 15, 705-712.

Bergheim, A., Seymour, E.A., Sanni, S., Tyvold, T., Fivelstad, S., 1991. Measurements of oxygen consumption and ammonia excretion of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial-scale, single-pass freshwater and seawater

- landbased culture systems. *Aquacult. Eng.* 10, 251-267.
- Bjerknes, V., Liltved, H., Rosseland, B.O., Rosten, T., Skjelkvåle, B.L., Åtland, Å., 2007. Vannkvalitet og Smoltproduksjon. Juul forlag, Oslo, 240 pp.
- Colt, J., Orwicz, K., Bouck, G., 1991. Water quality criteria for high density fish culture. *Aquaculture Eng* 7, 397-441.
- Dahlberg, M.L., Shumway, D.L., Doudoroff, P., 1968. Influence of dissolved oxygen and carcondioxide on swimming performance of largemouth bass and Coho salmon. *J Fish Res Board Can* 25, 49-70.
- Finstad, B., Kroglund, F., Strand, R., Stefansson, S., Bjørn, P.A., Rosseland, B.O., Salbu, B., 2007. Salmon lice in suboptimal water quality - reasons for reduced postsmolt survival? *Aquaculture*.
- Fivelstad, S., Olsen, A. B., Kløften, H., Ski, H., W., Stefansson, S., 1999. Effects of carbon dioxide for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at constant pH in bicarbonate rich freshwater. *Aquaculture*, 171-187.
- Fivelstad, S., Olsen, A.B., Wågbo, R., Zeitz, S., Hosfeld, A.-C.- D., Stefansson, S., 2003. A major water quality problem in smolt farms: Combined effects of carbon dioxide and reduced pH (Al) on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture*, 339-357.
- Forsberg, O.I., 1997. The impact of varying feeding regimes on oxygen consumption and excretion of carbon dioxide and nitrogen in post-smelt Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Aquaculture Research* 28, 29-41.
- Garcia, H.I., Gordon, L.I., 1992. Oxygen solubility in seawater: better fitting equations, (calculated for any salinity). *Limnol.Oceanogr.* 37, 1307-1312.
- Grottum, J.A., Sigholt, T., 1998. A model for oxygen consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*) based on measurements of individual fish in a tunnel respirometer. *Aquacultural Engineering* 17, 241-251.
- Hosfeld, C.D., Engevik, A., Mollan, T., Lunde, T.M., Waagbo, R., Olsen, A.B., Breck, O., Stefansson, S., Fivelstad, S., 2008. Long-term separate and combined effects of environmental hypercapnia and hyperoxia in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture* 280, 146-153.
- Kristensen, T., Åtland, Å., Rosten, T., Urke, H. A., Rosseland, B.O., 2009. Important influent water quality parameters at freshwater production sites in two producing countries. doi:10.1016/j.aquaeng.2009.06.009.
- Niell, M., Bryan, J.D., 1991. Responses to fish temperature and oxygen, and response integration through metabolic scope. In: Tomasso, J.R. (Ed.), *Aquaculture and water quality*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, pp. 30-57.

- Portz, D.E., Woodley, C.M. and Cech, J.J.Jr., 2006. Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. *Rev. Fish. Biol* 16, 125-170.
- Rosten, T., 2007. Storskala settefiskproduksjon. In: FHF/NIVA (Ed.), Seminar under AquaNor 2007 vedrørende lanse-ring av boken "vannkvalitet og smolt-produksjon". NIVA, Trondheim.
- 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, pp. 16.
- Rosten, T., Åtland, Å., Kristensen, T., Rosseland, B.O., Braathen, B.R., 2004. Vannkvalitet relatert til dyrevelferd. In: Mattilsynet (Ed.). KPMG Senter for havbruk og fiskeri, Trondheim, pp. 89.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M, Weathon, F.V., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 2002. Recirculating aquaculture systems, Itchica NY, 769 pp.
- Weber, J.M.a.K., D.L., 1983. Effects of hypoxia and surface access on growth, mortality, and behaviour of juvenile guppies (*Poecilia reticulata*). *Can. J Fish Aquat Sci* 40, 1583-1588.
- Wedemeyer, G.A., 1996. Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman and Hall, New York, 232 pp pp.
- Wedemeyer, G.A., McLeay, D.J., 1981. Methods for determining the tolerance of fish to environmental stressors. In: Pickering, A.D. (Ed.), Stress and fish. Academic Press, New York, pp. 247-268.