

Reduksjon av vannforbruket, biologiske konsekvenser i oppdrettsanlegg

Av Asbjørn Bergheim.

Asbjørn Bergheim er dr. scient (NLH) og ansatt som seniorforsker ved Rogalandsforskning.

*Innlegg på seminar i Norsk Vannforening
4. april 1989.*

1. Innledning

I landbaserte oppdrettsanlegg er vannforbruket en sentral produksjonsfaktor. Tilgangen og forbruket av vann vil være avgjørende både for produksjonsnivået og oppdrettsmiljøet i anlegget. Enhver bevisst oppdretter ønsker et høyt produksjonsnivå i forhold til forbrukt vannmengde samtidig med at miljøbetingelsene for fisken er best mulig. Intensjonene med et redusert eller relativt lavt vannforbruk kan være flere:

Økonomi/ressursutnyttelse

- a) Høyere produksjonsnivå på basis av begrenset vannkilde (ferskvann)
- b) Reduserte dimensjoner på vanntransportssystem (ledninger, pumpestasjon etc.) og vannbehandlingsenheter (kalking, renseenheter etc.)
- c) Lavere pumpekostnader
- d) Lavere kostnader til temperaturheving.

Miljøbelastning

Redusert avløpsmengde med forhøyet partikkelinnhold gir bedre mekanisk renseseffekt.

I denne sammenheng er jo dette siste aspektet sentralt og er allerede omtalt av B. Eikebrokk. Mitt innlegg vil omtale de miljømessige og oppdrettsbiologiske konsekvensene av et vannforbruk som vha. ulike metoder/tiltak er lavere enn det som tilsvarer vannets naturlige oksygeninnhold ved én gangs bruk.

2. Vannreducerende tiltak

De mest aktuelle metodene for å redusere vannbehovet er følgende:

Resirkulering

Ferskvann

- a) Settefiskproduksjon av laksefisk. Avtagende aktualitet.
- b) Matfiskproduksjon av ål. Eneste aktuelle metode.

Sjøvann

Trolig lite aktuell metode (kaldtvannsarter).

Oksygenovermetning

Ferskvann

Vanlig i settefiskanlegg (laksefisk)

Sjøvann

Trolig aktuell metode i framtidige, lukkede matfiskanlegg (laksefisk, marine arter)

Lufting

Vanlig behandling av oksygenfattig inntaksvann i lukkede anlegg (sjø- og ferskvann)

Sjøvannstilsetning

Vanlig i settefiskanlegg (laksefisk).

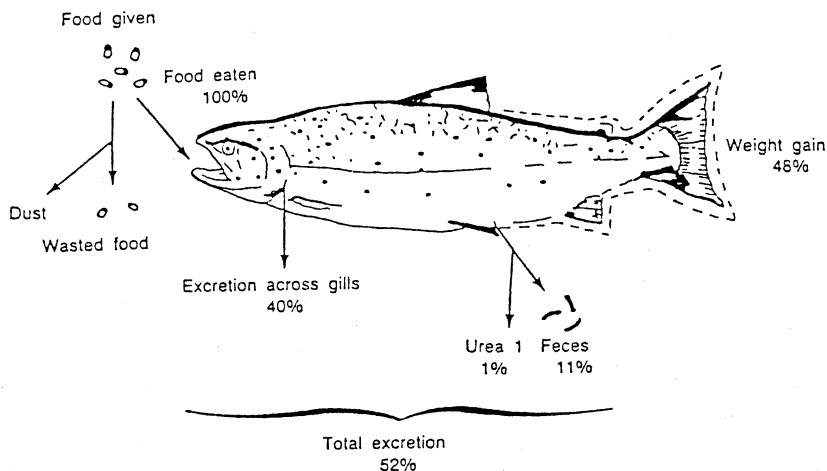
3. Miljømessige og biologiske effekter

Nedsatt vanngjennomstrømming eller gjenbruk av vannet vil generelt medføre en del negative miljøeffekter som kan få store konsekvenser for driftsresultatet. Tilstrekkelig kjennskap til disse effektene og ulike tiltak for å redusere/kontrollere dem er derfor avgjørende. Et hovedproblem ved kunstig lavt vannforbruk er opphopningen av *stoffskifteprodukter* som ammonium/ammoniakk, karbondioksyd og partikler i oppdrettsenhetene. Det forutsettes da at oksygenkonsentrasjonen og gassstrykket i vannet er under kontroll og ikke skaper unødige problemer.

A) Ammonium/ammoniakk

Utskillelsen av ammonium blir ofte regnet å være det største problemet i forbindelse med lavt vannforbruk. Ammonium skilles ut hovedsakelig over gjellene og er et endeprodukt fra nitrogenstoffskiftet (Fig. 1). Det framgår at ca. 50% av totalt opptatt nitrogen i føret utskilles i ekskrementer (ufordøyd fraksjon) eller ved ekskresjonen og at ammonium over gjellene utgjør hoveddelen (ca. 40% av opptatt N).

Nitrogenutskillelsen vil være påvirket av mange faktorer, men generelt vil nivået være nær korrelert med proteinopptaket og dermed med alle forhold som innvirker på appetitt/føropptak. Utskillelsesraten til våre vanlige oppdrettsarter er særlig studert hos *regnbueørret* der bl.a. From & Rasmussen (1984) har registrert nivåer hos 200 grams fisk på 18–550 mg $\text{NH}_3\text{-N/kg}$ fisk/24 timer, mao. en relativ variasjon på ca. 1 : 30. Forfatterne fant at utskillelsen økte 7–10 ganger fra sulttilstand til full appetittføring og ble omlag fordoblet

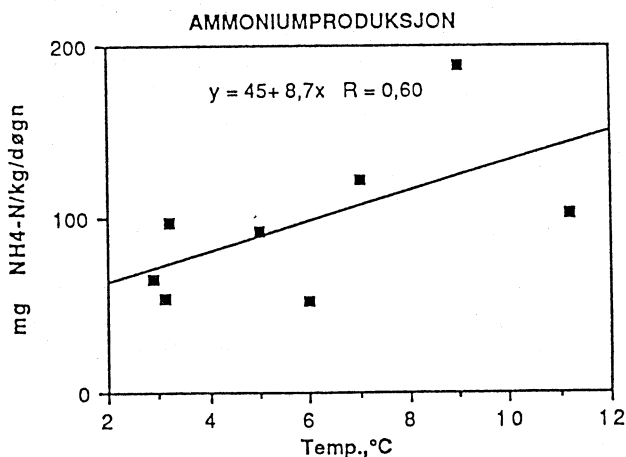


Figur 1. Nitrogenstoffskiftet hos atlantehavslaks. Etter Braaten et al (1986).

for hver 5°C økning av vanntemperaturen (5—15°C). En annen viktig faktor er at utskillelsen øker sterkt i forbindelse med stress; Smart (1981) fant f.eks. at utskillelsen var omtrent fordoblet dagen etter størrelsessortering sml. med før sortering i oppdrettsbasseng.

For *atlanterhavslaks* er det lite data over NH₃-utskillelse. I egne studier på settefisk registrerte vi døgnrater på 53—188 mg NH₃-N/kg fisk (24 timer) og en klar sammenheng mellom nivå og tem-

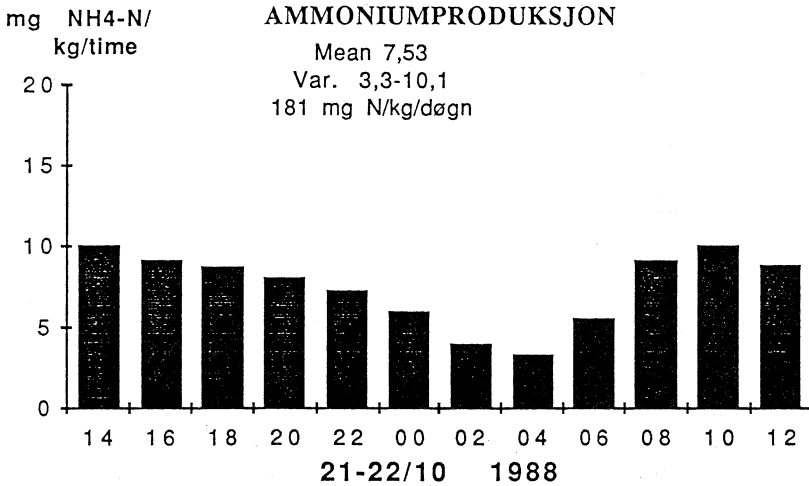
peratur (Fig. 2). Ved relativt høy temperatur/førstyrke (9—12°C) ble målt variasjoner over døgnet i forholdet 1 : 3. F.t. gjennomfører Rogalandforskning/NTNF slike registreringer ved Helland Laks, et landbasert matfiskanlegg. En døgnserie er vist i Fig. 3. I forhold til tilført nitrogenmengde i fôret var ammoniumproduksjonen lav, men i samsvar med de registrerte nivå i settefiskfasen (Fig. 2).



Figur 2. Døgnregistreringer av ammoniumutskillelsen hos settefisk av laks oktober 1987 — juni 1988, Sjøtun Smolt A/S. Vektintervall 27—67 gram. (Bergheim et al. 1988).

Ammoniakk er en meget giftig gass for fisk, og laksefisk synes å være særlig sårbar: LC₅₀ over 24—96 timer oppgis til 0,2—0,3 mg NH₃/l, mens subletale effekter kan forventes ved konsentrasjoner over 0,002 mg NH₃/l (Haywood 1983). Typiske subletale effekter av ammoniakk er gjelleskader, redusert vekstthastighet og nedsatt sykdomsresistens (Lang et al. 1987). Konsentrasjons-

nivået som medfører kroniske langtids-effekter i oppdrett har vært mye omtalt, men igjen mangler data for atlanterhavslaks — spesielt i saltvann. Alabaster & Lloyd (1980) oppgir 0,025 mg NH₃-N/l som et maksimalt, akseptabelt konsentrasjonsnivå (long-time threshold value). Et annet vesentlig forhold er at ammoniakktoksisiteten avtar med stigende saltholdighet; Knoph (pers.



Figur 3. Ammoniumutskillelsen over døgnet hos smoltfiser i saltvannsbasseng, Helland Laks A/S. (Egne upubl. data).
Middelvekt 410 g, tetthet 12 kg/m³, tilvekst 1,4% pr. dag, før-% 2,5.
Temp. 12,7°C, vannforbruk 0,93 l/kg/min.

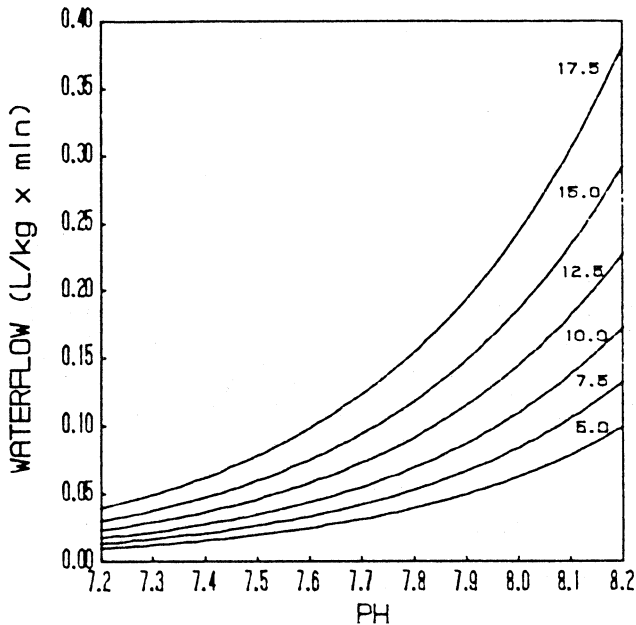
info) opplyser at pågående forsøk tyder på at toleransegrensa for laks er adskillig høyere i saltvann enn ferskvann.

I oppdrettsbasseng vil pH-nivået være avgjørende for risikoen for ammoniakkforgiftning:

$$\% \text{NH}_3 = \frac{100}{1 + \text{antilog}(pK_a - \text{pH})} \quad pK_a \text{ er } 9,5 - 9,9 \text{ ved } 5-15^\circ\text{C}$$

Det vil altså sjelden oppstå slike problemer i ferskvann med pH-nivå under 7,5. Men i hardt grunnvann og saltvann med pH omkring 8,0 vil ca. 2% av total ammonium (NH₄⁺ + NH₃) være på giftig gassform ved 10°C. Ved å forutsette 0,025 mg NH₃-N/l som toleransegrense, bør ikke konsentrasjonen av total ammonium overstige 1 mgN/l i bassenget ved pH 8. Fivelstad (1988) har estimert nødvendig saltvannsbehov for å holde ammoniakkonsentrasjonen under kontroll som funksjon av pH, temperatur og føropptak (Fig. 4).

I de pågående forsøkene ved Helland Laks har vi registrert maksimalt oksygenforbruk over døgnet på 114–194 mg O₂/kg/time ved 8,0–12,7°C og fiskestørrelse 400–1250 g. Dersom en forutsetter at inntaksvannet er 100% oksygenmettet og minste akseptable konsentrasjon i avløpet settes til 6,5 mg O₂/l, er nødvendig vannforbruk på basis av våre data 0,6–1,5 l/kg/min. For å holde ammoniakkonsentrasjonen under 0,025 mg N/l ved pH 8,0 og ellers like forhold, er det iflg. Fig. 4 tilstrekkelig med 0,07–0,14 l/kg/min som er



Figur 4. Nødvendig behov for saltvann (30 ‰ S) i oppdrettsenheter som funksjon av pH, temperatur og en konstant forstyrke på 1% pr. dag. Grunnleggende forutsetning er maks. 0,025 mg NH₃-N/l (toleransegrense). Etter Fivelstad (1988).

bare 10–20% av behovet på basis av oksygenforbruket. Det kan imidlertid bemerkes at en forstyrke på 1% pr. dag er under veiledende føringsnivå for laks ved temperaturer over 8–10°C.

Et annet avgjørende forhold er i hvilken grad pH i oppdrettsenhetene påvirkes av fiskens respirasjon.

B) Karbondioksyd

Ved fiskens respirasjon dannes karbondioksyd som ved sin sure reaksjon vil kunne medføre betydelige pH-fall i oppdrettsenheter, spesielt i settefiskkar som tilføres vanlig bløtt overflatevann. For ubehandla inntaksvann med pH 6–8 og <10 mg Ca/l, blir gjerne registrert en nedgang på 0,2–1 pH-enhet

gjennom oppdrettskar ved normal fisketetthet og vannforbruk. Karbondioksyd regnes normalt ikke som risikofaktor utfra sin surhetseffekt i oppdrettsanlegg, men har et par øvrige direkte/indirekte effekter som er av stor betydning.

Den moderate pH-senkende effekten til karbondioksyd vil som beskrevet ha en avgjørende betydning for giftigheten til ammonium/ammoniakk i vann typer med stabil pH over 7,5–8; vanligvis hardt grunnvann og saltvann. Fivelstad (1988) opplyser fra Maritech's forsøksstasjon at ved bruk av ca. 200% oksygenmettet saltvann og et vannforbruk på 0,2–0,3 l/kg/min (12°C) ble det registrert pH-fall fra 8,0 til 7,2–7,5. Han

mener derfor at vannforbruket kan reduseres under 0,10 l/kg/min selv ved 15°C uten at NH₃-konsentrasjonen overstiger 0,025 mg N/l. Ved Helland Laks er registrert pH-reduksjoner på 0,1—0,2 enheter ved høyt vannforbruk (90% O₂-metning i inntak, 31⁰/₀₀S) og en CO₂-produksjon på omkring 2 mg/l.

Karbondioksyd og ammoniakk vil trolig også ha en additiv eller synergistisk giftvirkning overfor fisk (Lang et al. 1987) når de opptrer sammen i relativt høye konsentrasjoner i oppdrettsystemer basert på lavt vannforbruk. Et annet viktig forhold er at høyt karbondioksyd-nivå vil redusere hemoglobinet evne til å binde oksygen og dermed redusere blodets oksygentransporterende kapasitet (Bohr's effekt, Root's effekt). Smart (1981) refererer et forsøk med hhv. 12, 24 og 55 mg CO₂/l i oppdrettskar (ferskvann) med regnbueørret der kun det høyeste nivået medførte redusert appetitt og tilvekst i løpet av 28 dager. Den mest interessante observasjon i forsøket var imidlertid at økende CO₂-konsentrasjon medførte *nefrokalosinose* - en tilstand bl.a. karakterisert ved iøynefallende kalkutfellinger på nyret.

C) Finpartikler

Ved redusert vannforbruk vil det i varierende grad skje en oppkonsentrering av organiske partikler i oppdrettsenhetene. Partiklene stammer fra fôrstøv, oppløste/knuste fôrgranulater eller pellets og ekskrementer. Braaten et al. (1986) henviser til flere forfattere som anser oppkonsentrering av ammoniakk og/eller suspenderte partikler som den direkte årsak til at det oppstår miljøbeta gjelleskader. Gjelleskader under oppdrettsforhold er vanligvis av

den kroniske typen som skyldes suboptimale miljøbeta betingelser over lengre tid. Uten behandling eller forbedret miljø vil gjellelidelsene gjerne etterfølges av mikrobielle/parasittære angrep som kan få drastiske følger.

Det er meget viktig at selvrensningen i bassengene i størst mulig grad opprettholdes ved bruk av små vannmengder. Tvinnereim og Skybakmoen (1985) oppgir bl.a. at bunnstrømmen i sirkulære basseng må være 4—6 cm/s for kontinuerlig uttransport av større partikler. Graden av utskifting av hele vannvolumet vil være avgjørende for om det dannes «lommer» med finpartikler og stoffskifteprodukter i bassengene.

D) Kimtall

Redusert gjennomstrømning eller gjenbruk av vannet vil medføre forøket antall mikroorganismer i vannet som generelt vil øke smittepresset på oppdrettsfisken. I forbindelse med et ugunstig øvrig miljø vil tilstedeværelse av patogene organismer raskt kunne skape kritiske situasjoner.

E) Strømhastighet

Strømhastigheten i bassenget har stor fysiologisk innvirkning på fisken. Redusert hydraulisk belastning i forbindelse med oksygenovermetning vil generelt medføre nedsatt strømhastighet. For regnbueørret er f.eks. registrert en reduksjon i oksygenforbruket med ca. 40% når strømhastigheten i bassenget avtok fra vel 2 til 1 fiske-lengde pr. sek. (Rao, 1971). Det har også vist seg at laks, som er en utpreget strømforserer, vil kunne oppnå raskere vekst og bedre fôrfaktor ved forserte hastigheter på opptil 1—2 lengder pr.

sek. sammenlignet med kontinuerlig hviletilstand (Kuipers, 1982). Strømpåvirket laks utvikler også et mer «villfisklignende» utseende med strømlinjeformet, blank kropp. Totland et al. (1987) konkluderte med at en svømmehastighet på ca. 0,4 lengder pr. sek. over lang tid medførte raskere vekst, mer velutviklet hvit muskelmasse og bedre kvalitetsnivå ved slakting (pris) hos laks enn ved liten strømpåvirkning i mærer (<5 cm/s).

Ved oppdrett av laksefisk tyder mye

på at strømhastigheten er en miljøfaktor som er tillagt altfor lite vekt.

5. Konklusjon

Selv om det foreligger en del kunnskaper om den gjensidige påvirkningen mellom oppdrettsfisk og isolerte miljøfaktorer, særlig for regnbueørret, er kunnskapsnivået såvidt begrenset at aktuelle minimumsgrenser mht. vannforbruk som regel bare kan antydes ut fra teoretiske betraktninger.

LITTERATUR

- Alabaster, J. S. & R. Lloyd. 1982. Water quality criteria for freshwater fish. FAO/ Butterworths, 361 pp.
- Bergheim, A., Tyvold, T. & S. Øines. 1988. Registreringer av stoffskiftenivået hos settefisk. Norsk Fiskeoppdrett, 13 (10): 39—40.
- Braaten, B., Poppe, T., Jacobsen, P. & K. Maroni. 1986. Risks from self-pollution in aquaculture: Evaluation and consequences. In: Grimaldi & Rosenthal (Eds.): Efficiencies in aquaculture production: Disease control, p. 139—165. Proceedings of the 3rd International Conference on Aquafarming, «AQUACOLTURA '86», Verona 9—10 Oct. 1986.
- Fivelstad, S. 1988. Waterflow requirements for salmonids in single-pass and semi-closed land-based seawater and freshwater systems. Aquacultural Engineering, 7: 183—200.
- From, J. & G. Rasmussen. 1984. A growth model, gastric evacuation and body composition in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R., 1836). Dana, vol. 3:61—139.
- Haywood, G. P. 1983. Ammonia toxicity in teleost fishes: Review. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., 1117: iv, 1—35.
- Kuipers, M. 1982. Salmon thrive on exercise. Fish Farmer, 5 (4): 9—10.
- Lang, T., Peters, G., Hoffmann, R. & E. Meyer. 1987. Experimental investigation on the toxicity of ammonia: effects on ventilation frequency, growth, epidermal mucous cells, and gill structure of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Dis. aquat. Org., 3: 159—165.
- Rao, M. M. G. 1971. Influence of activity and salinity on the weight-dependent oxygen consumption of the rainbow trout *Salmo gairdneri*. Mar. Bio., 8: 205—212.

- Smart, G. R. 1981. Aspects of water quality producing stress in intensive fish culture. In: Pickering, A. D. (Ed.): Stress and Fish, p. 277—293. Academic Press. 367 pp.
- Totland, G. K., Kryvi, H., Jødestøl, K. A., Christiansen, E. N., Tangerås, A. & E. Slinde. 1987. Growth and composition of the swimming muscle of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during long-term sustained swimming. *Aquaculture*, 66: 299—313.
- Tvinnereim, K. & S. Skybakmoen. 1985. Selvrensing i kar for settefisk og matfisk. *Norsk Fiskeoppdrett*, 10 (12): 26—27.