

Karakterisering av avløpsvann fra norske landbaserte settefiskanlegg

Av Trond W. Rosten

Trond W. Rosten har en cand.scient.-grad i Akvakultur fra NTNU 1991 og arbeider som seniorrådgiver ved SINTEF Fiskeri og havbruk AS.

Summary

Characterization of the quality of discharge water from Norwegian land based smolt farms.

Knowledge of the water quality of discharge water from hatchery production is important for management, aquaculture operators and equipment suppliers. This is important for the adaptation of any treatment requirements and selection of solution for wastewater treatment. Characterization of wastewater was carried out on the basis of a survey among 15 smolt production enterprises in 2013 (28 water samples). The wastewater was evaluated from samples taken during a period of anticipated maximum load, with sample points before and after any discharge filters. The data were divided into two main groups; (1) prior to filtering (n = 18), (2) after filtering (n = 10). The analyzed water quality values before filtering were; biological oxygen demand (BOD₅, 447 ± 2.3 mg / l), chemical oxygen demand (COD, 7.94 ± 3.83 mg/l), suspended solids (SS, 6.28 ± 4.08 mg/l), total organic carbon (TOC, 5.48 ± 2.49 mg/l), total phosphorus (tot-P, 0.23 ± 0.20 mg/l), total nitrogen (tot-N, 2.58 ± 2.55 mg/l), population equivalents (pe, 3498 ± 2876). The analyzed water quality values after filtering were; oxygen demand (BOD₅, 3.08 ± 1.70 mg/l), chemical oxygen demand (COD, 6.05 ± 3.15 mg/l), suspended solids (SS, 5.10 ± 3.58 mg/l), total organic carbon (TOC, 4.50 ± 1.63 mg/l),

total phosphorus (tot-P, 0.27 ± 0.30 mg/l), total nitrogen (tot-N, 2.80 ± 3.42 mg/l), population equivalents (pe, 2927 ± 3450). Before and after filtration values of BOD₅ and SS values were well below the concentration limits required in the primary treatment in § 14.2 of the pollution regulations. With the exception of tot-P and Tot-N, all values were lower after filtering than before, but only BOD₅ was significantly different. The percentage decline between before and after the filter values were 31 % for BOD₅, 24 % for COD, 19 % for SS, 18 % for TOC and 16 % for pe. This is far from the alternative percentage treatment requirements in § 14.2 of the pollution regulation and one should consider whether this is an appropriate treatment regulation requirement for hatcheries. The results confirm the levels for the few and until now unsystematically reported wastewater qualities from Norwegian hatcheries. The typical hatchery effluent is characterized as strongly diluted, and treatment with sieve filters seem to have a limited effect of reducing the composition of the effluent. BOD₅ seems to be the parameter that gave the clearest results of filtering in our dataset.

Sammendrag

Kunnskap om vannkvalitet i utslippsvann fra settefiskproduksjon er viktig for forvaltning,

forskning, oppdrettsaktører og utstyrsløseleverandører. Dette er viktig for tilpasning av eventuelle rensekrav, og for valg av løsning for avløpsbehandling. Karakterisering av avløpsvann er foretatt utfra en undersøkelse blant 15 settefiskbedrifter i 2013 (28 vannprøver). Avløpsvannet er vurdert fra uttak av stikkprøver tatt under en periode med antatt høyeste belastning, med prøvepunkt før og etter eventuelt avløpsfilter. Dataene ble delt to hovedgrupper; (1) før filtrering (n=18), (2) etter filtrering (n=10). De analyserte nivå av vannkvalitet før filter var; biologisk oksygenforbruk (BOF5, $4,47 \pm 2,3$ mg/l), kjemisk oksygenforbruk (KOF, $7,94 \pm 3,83$ mg/l), suspendert stoff (SS, $6,28 \pm 0,08$ mg/l), total organisk karbon (TOC, $5,48 \pm 2,49$ mg/l), total fosfor (tot-P, $0,23 \pm 0,20$ mg/l), total nitrogen (tot-N, $2,58 \pm 2,55$ mg/l), person ekvivalenter (pe, $3\,498 \pm 2\,876$). De analyserte nivå av vannkvalitet etter filter var; oksygenforbruk (BOF5, $3,08 \pm 1,70$ mg/l), kjemisk oksygenforbruk (KOF, $6,05 \pm 3,15$ mg/l), suspendert stoff (SS, $5,10 \pm 3,58$ mg/l), total organisk karbon (TOC, $4,50 \pm 1,63$ mg/l), total fosfor (tot-P, $0,27 \pm 0,30$ mg/l), total nitrogen (tot-N, $2,80 \pm 3,42$ mg/l), person ekvivalenter (pe, $2\,927 \pm 3\,450$). BOF5, SS verdiene både før og etter filtrering ligger godt under konsentrasjonskravet i primærrensing i § 14.2 i forurensingsforskriften. Med unntak av tot-P og tot-N var alle verdier lavere etter filtrering enn før filtrering, men med unntak av BOF5 var ingen av forskjellene signifikante. Den prosentuelle nedgangen mellom før og etter filterverdier var 31 % for BOF5, 24 % for KOF, 19 % for SS, 18 % for TOC og 16 % for pe. Dette ligger langt unna et alternativt prosentuellt rensekrav i § 14.2 i forurensingsforskriften og man bør vurdere om dette er et egnet rensekrav for settefiskanlegg. Resultatene bekrefter nivåene for de få og til nå spredt rapporterte avløpsvannkvaliteter fra norske settefiskanlegg. Det typiske settefiskavløpet må karakteriseres som sterkt fortynnet og rensing med sildukfilter synes å ha en begrenset reduserende effekt på sammensetning av avløpet. BOF5 synes å være den parameter som gav tydeligst utslag av filtrering i vårt datasett.

Introduksjon

Det produseres mer en 327 millioner settefisk av laks og ørret i Norge (www.fiskeridir.no), de fleste i landbaserte oppdrettssystemer med avløp til fjord eller sjø (Rosten et al., 2007) og det foregår en kraftig utbygging både av eksisterende anlegg og nybygde anlegg. Ved nybygging er det i særlig grad resirkuleringsteknologi som anvendes (RAS), med den konsekvens at det benyttes mindre råvann pr kg fôr og det produseres et avløp som er mer konsentrert. Kartlegging av råvannkvalitet og karvannkvalitet har tidligere blitt utført med stor nytte for næring, forskning og forvaltning gjennom de såkalte VK-undersøkelsene i perioden 1999 – 2006 (Bjerknes, 2007). Særegenheter ved norsk råvann, som eksempelvis lav pH, alkalinitet og kalsium, samt stedvis høye nivå av metaller som aluminium og delvis jern har blitt beskrevet av blant annet Kristensen et al., (2009). Imidlertid har man manglet systematiske undersøkelser av kvalitet på utslippsvann fra anleggene. Dette kan gjenspeile at fokus for vannkvalitet har vært dyrevelferd og produksjonsytelse i anleggene og i mindre grad utslippsrelatert vannkvalitet. Tradisjonelt har bare de anlegg med utslipp til en følsom resipient blitt pålagt rensekrav på avløpet, men nå ser vi at det blir mer og mer vanlig at settefiskanlegg får nye rensekrav fra miljømyndighetene i forbindelse med søknad om utvidelse av konsesjon eller nybygg av anlegg. Rensekravene som anleggene er pålagt er varierende, men synes som en hovedtrend å følge retningslinjer i forurensingsforskriften §14.2 (Forskrift 2004-06-01 nr 931, 2004), der anleggene er pålagt primærrensing av avløpet, med dokumentasjon av et konsentrasjonskrav til suspendert og organisk stoff (målt som BOF5) på henholdsvis 60 mg/l og 40 mg O/liter, eller et prosentuellt rensekrav krav med dokumentasjon av minst 50 % reduksjon av suspendert stoff og 20 % BOF5 av det som tilføres renseanlegget slik det er vanlig ved kommunale renseanlegg. Siden det har manglet dokumentasjon på gjennomsnittlig vannforbruk og gjennomsnittlig konsentrasjon av organisk stoff (BOF5) i avløpet, er utslippet i mindre grad blitt karakterisert som personekvivalenter (pe) (Rosten et al., 2013).

Dette, i kombinasjon med sårbarhet på resipienten, kan ha betydning for om utslipp skal pålegges rensing eller ikke, og om kommunen eller fylkesmannen skal behandle utslippssøknaden. Krav om å etablere primærrensing eller sekundærrensing i henhold til forurensingsforskriften har tradisjonelt slått inn når utslippet er over 10 000 pe og resipienten er karakterisert som følsom.

Alternativer for rensing av avløp fra settefiskanlegg har blitt beskrevet av Sindilariu et al., (2007). Tradisjonelt har man benyttet seg av såkalte "End of Pipe"-teknologi (EPT) for å rense avløpet. EPT omfatter fysiske, kjemiske og biologiske renseprosesser. Tradisjonelt har man nesten utelukkende benyttet fysisk EPT (mikrosil filtrering) innenfor akvakultur, hvor man mener å kunne oppnå fjerning av 7-32 % av det totale nitrogen og 30-84 % av total fosfor gjennom å filtrere bort partikkelfraksjonen. Skal man fjerne mer løst nitrogen og fosfor fra avløpet, må man benytte kjemiske og/eller biologiske prosesser (Sindilariu et al., 2007). Ved bruk av tradisjonell renseteknologi (siling) er det vist at man i teorien kan oppnå renseprosent for BOF5 og SS på mellom 33-53 % av avløp fra akvakultur anlegg (Kelly et al., 1997, Bergheim et al., 1993, Sindilariu et al., 2009). Skal man oppnå ytterligere renseeffekter kan man bruke tilleggsteknologi, som for eksempel biologisk membranfiltrering (Sharrer et al., 2007) eller konstruert våtmarksfilter (Sindilariu et al., 2009).

Slamproduksjon (Bergheim et al., 1996) og rensing av utslipp fra setteanlegg med atlantisk laks er tidligere beskrevet av (Bergheim et al., 1993). Gjennomsnittlig renseeffekt for SS og total fosfor (tot-P) med en neddykket mikrosilduk av type UNIK trommefilter med lysåpning (60-350 μm) var 63-68 %. Rensesystemet produserte normalt en slammengde på 10-20 liter pr m^3 avløpsvann ved 10 % tørrstoffinnhold. Ved etablering av vakumsug kunne slammengden reduseres til 0,3 liter pr m^3 avløpsvann. Ved bruk av to stegs vannrensing (mikrosiling og sedimentasjon) kunne man oppnå ytterligere konsentrering av slammet og oppnå en slamproduksjon ved tørrstoffinnhold på 50-100 g/liter på 1-1,5 liter/kg fôr tilført ved en førfaktor 1,2.

Det er begrenset empirisk karakterisering av avløpsvann fra nyere større settefiskanlegg, særlig med tanke på SS, BOF5 og tot-P. Det er 18 år siden utslippet fra to kommersielle settefiskanlegg i Skottland ble undersøkt for renseeffekt for SS, TP og BOF5 ved ulike lysåpninger i filterduk (<30 – >200 μm) (Kelly et al., 1997). Fra denne studien fant man at utslippet typisk var karakterisert ved at opp til 80 % av BOF5 og SS var representert i en partikkelstørrelse mellom 100-60 μm , mens bare 66 % av total tot-P utslippet var representert ved denne partikkelstørrelsen. Høyest rense-% ble oppnådd ved belastningstopper (rengjøring av fiskekar). Det kunne ikke oppnås en fast renseeffekt fra filtrene. Renseeffekten gikk ned ved mindre belastning på tilførselssiden. Ingen av filtrene oppnådde mer enn 40 % renseeffekt for BOF5 eller SS ved lav belastning (normal produksjon) og maksimal renseeffekt ble funnet å være 46 % for BOF5 og 48 % for SS. Utslippet fra et europeisk ørretanlegg med delvis resirkulering og et vannforbruk på om lag 10 368 m^3/dag og to trinns silduksrensing på 80 μm og 63 μm er blitt beskrevet av (Sindilariu et al., 2009). Det ble oppnådd et BOF5-utslipp på 1,09 mg O/l og et SS-utslipp på 0,57 mg/l og en renseeffekt for SS på 33-53 % i denne konstruksjonen. Ytterligere rensing av avløpet ble oppnådd ved anvendelse av filetering gjennom et konstruert våtmarksfilter. Videre rapporterer (Sindilariu et al., 2007) at utslipp av SS og BOF5 fra landbaserte gjennomstrømningsanlegg for ørret vil kunne ligge i området 0,9-14 mg O/l BOF5 og 1,6-17,8 mg/l SS. Empiriske data på utslipp fra store moderne settefiskanlegg for atlantisk laks med RAS-teknologi er svært begrenset, men en studie av vannkvalitet over 14 måneder i et kommersielt RAS-settefiskanlegg er publisert av Fjellheim (2009). Her ble det funnet at SS lå mellom 12-67 mg/l før mikrosiling og mellom 2,3-4,7 mg/l etter mikrosiling med et Salsnes SFK 400. BOF5 ble ikke målt i denne undersøkelsen. Av nyere dato finnes noen tall fra norske gjennomstrømningsanlegg med "end of pipe technology" (EPT) rensing på 40 μm som antyder at SS i ligger i området 4-16 mg/l før rensing og 2-5 mg/l etter

rensing. Fra samme datasett fant man at BOF5 lå i området 2-12 mg O/l før rensing og 2-4 mg O/l etter rensing, KOF lå i området 15-45 mg O/l før rensing og 10-35 mg O/l etter rensing. Tot-N før rensing lå i området 1-5 mg/l før rensing og 1-3 mg/l etter rensing. Effektiviteten varierte med konsentrasjon før filteret fra 0-90 %, avhengig av ulike parameter (Asbjørn Bergheim, pers. med.).

Det eksisterer også noen eldre empiriske data som er samlet i en forskningsrapport fra BIO-FISH-systemet som er et delvis RAS-anlegg (Ulgenes & Lundin 2003). Under oppdrett av settefisk av røye med dette systemet ble det funnet at avløp fra fiskekar etter virvelseparening (partikkelfelle) hadde en vannkvalitet karakterisert med SS på 5,46 mg/l (+/- 0,22), KOF på 37,5 mg O/l (+/- 0,9), Tot-P på 0,96 mg P/l (+/-0,05), samt Tot-N mg N/l 8,99 (+/-0,34). En annen dataserie foreligger fra oppdrett av settefisk av atlantisk laks i Bandak med utslipp til ferskvann, også her med et RAS-system (BIO-FISH) (Ulgenes, 1997). I denne konfigurasjonen med produksjon av stor settefisk (ca 250 g) ble det rapportert om veldig høye renses effekter (etter partikkelfelle, slamfjerning og UV og mikrosiling) på henholdsvis 93 % for SS, 70 % for KOF, 86 % for tot-P og 18 % for tot-N.

Fôrets innhold av protein, fett og fosfor er avgjørende for utslipp av organisk stoff og næringssalter fra oppdrett. Gjennom fiskens produksjonssyklus, brukes fôr med ulike sammensetninger. Generelt vil innholdet av protein i fiskefôr være høyere for mindre fisk enn større laks, samtidig vil innhold av fett i fôret øke etter som fisken vokser. Innholdet av fosfor i fôret vil variere mindre (Bergheim og Braaten, 2007). Bergheim og Braaten (2007) presenterte også en modell for å beregne utslippet fra akvakultur basert på litteratur og satte opp en massebalanse som resultat av å produsere 1 tonn laks ved gitte forutsetninger. Av det fôret fisken spiser, vil ca 40 % av organisk materiale (angitt som BOF5), ca 45 % av nitrogen og ca 36 % av fosfor bli til biomasse (tilvekst). Resten av komponentene i fôret som spises, vil slippes ut til vannet i form av ekskrementer (partikler) og i form av oppløste stoffer. Av det nitrogenet fisken spiser i form av

protein, vil ca 43 % skilles ut igjen som oppløst nitrogen, dvs totalammonium-nitrogen (TAN) og urea-nitrogen. Ca 12 % av spist nitrogen via fôr antas å havne i ekskrementer som partikkelbundet nitrogen. Dette betyr at en meget stor andel av den totale mengden nitrogenet fisken spiser via fôr, vil gå til ekskresjon som oppløst materiale og kun en liten del i form av partikler. For fosfor er forholdet omvendt. Her vil det meste av det som går til ekskresjon, gå ut i form av partikler i ekskrementer og kun en liten del i oppløst form. I henhold til forutsetningene og massebalansen satt opp av Bergheim og Braaten (2007) vil et anlegg tilføres om lag 1,57 kg organisk materiale angitt som oksygenforbruk (BOF5) pr kg fôr tildelt, omlag 0,65 kg BOF5 assimileres i biomassen, og resten fordeler seg med 0,12 kg oppløst og 0,385 kg partikulært. I mangel av andre modeller kan vi anta at utslippet fra fisk og fôr i norske settefiskanlegg ville kunne følge omtrent samme massebalanse som det som er angitt av Bergheim og Braaten (2007).

På denne bakgrunn ble det igangsatt en vannkvalitetsundersøkelse blant norske settefiskanlegg. Målsettingen var å organisere en ny bred vannkvalitetsundersøkelse (VK-Avløp) for å bidra til å fremskaffe et bedre empiri på karakterisering av utslipp fra norske settefiskanlegg med og uten EPT-teknologi. Undersøkelsen kunne vanskelig ta mål av seg å karakterisere renses effekter nøyaktig siden det ikke er kontrollerte betingelser, men en databasen på avløpsvann fra settefiskanlegg vil kunne gi verdifull dokumentasjon til både forvaltning, oppdrettsnæring, leverandører, og forskning, gjennom å peke på status og utfordringer.

Materiale og metode

Datakilder

Resultatene som presenteres i denne artikkelen baserer seg på en vannkvalitetsundersøkelse av avløpsvann (VK Avløp) som ble foretatt blant 15 settefiskanlegg (4 RAS og 11 gjennomstrømingssystemer) høsten 2013. Undersøkelsen ble initiert av SINTEF Fiskeri og havbruk i etterkant av et større prosjekt på "Primærrensing og aktuelle løsninger for slambehandling i norske settefiskan-

legg” (Rosten et al. 2013). Sammen med skjema med anleggsopplysninger ble vannflasker og prosedyre for prøvetak av avløpsvann før og eventuelt etter avløpsfilter. Skjema inneholdt rubrikker for opplysning om; dato for prøvetaking, vann-temperatur, vannforbruk totalt (m³/min) prøvetakingsdag, pellet størrelse i bruk, fôrtype med proteininnhold, daglig utføringsmengde, samt beskrivelse av siste filter. Anleggene sendte inn fra 1-6 vannprøver avhengig av hvor mange avdelinger og avløp de hadde. Totalt datagrunnlag ble derfor 30 avløpsprøver.

Vannanalyser

Alle vannanalyser er basert på en enkelt prøve før og eventuelt etter siste filtreringspunkt for utslipp. I protokollen ble anleggene instruert til å foreta vannprøvene i perioden medio august – medio september, ved maksimal belastning på anlegget, før levering av 0 års smolt. Prøvene skulle tas ut fortrinnsvis kl 10:00 på morgenen og før eventuelt styrtavtapping av kar, sumper, etc for å unngå feilkilder med punktbelastning av partikler. Vannprøvene ble analysert ved akkreditert laboratorium (PreBIO, Namsos, akkreditering test 064) med standard analyseteknologi. Biokjemisk oksygenforbruk (BOF5) ble analysert etter NS-EN 1899-1, suspendert stoff (SS) NS-EN 872, totalt organisk karbon (TOC) etter EN 1484,

totalfosfor (tot-P) etter NS-EN ISO 15681-2, og totalnitrogen NS 4743, Kjemisk oksygenforbruk ble analysert etter internmetode utviklet i samsvarende med NS 4759.

Databehandling

Dataene ble klassifisert i to hovedgrupper; *gruppe 1* (n=18) (vannkvalitet før filtrering), *gruppe 2* (n=10) (vannkvalitet etter filtrering). 2 uteliggere ble fjernet og datasettet ble testet for normalfordeling med t-test (Shapiro-Wiik), p<0,050, deretter med Mann Whitney Rank Sum test (p<0,05) for å avdekke eventuelle forskjeller mellom de to gruppene som ikke skyldes tilfeldigheter. Signifikante forskjeller er angitt med ulike bokstav koder. Sigmaplo 13.0 ble benyttet for både deskriptiv statistikk, test for forskjeller mellom de to gruppene, samt for figurplotting. Personekvivalenter (pe) ble estimert utfra analysert mengde BOF5, multiplisert med vannforbruk i m³/dag/60 i hht NS 9426. Vannforbruksfaktor ble estimert utfra forbruk av spede vann (liter nytt vann) pr kg fôr pr dag. Verdiene er angitt som gjennomsnittsverdier +/- SD om ikke annet er angitt.

Resultater

Operative driftsparametere

Inndeling av datasettet i de to gruppene gjorde at operative driftsparametere kunne sammenlignes

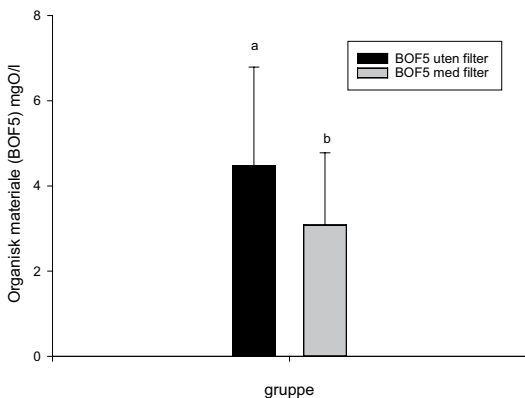
Parameter	Enhet	Gruppe 1 (Avløp uten rensing)	Gruppe 2 (Avløp med rensing)
Pelletstørrelse	mm	2,6 (+/- 0,44) ^a	3,2 (+/- 0,81) ^b
Fôrtype	fabrikat/type	2,5 (+/- 1,13) ^a	3,0 (+/- 1,10) ^a
Prøvetakingsdato	uke nr	35 (+/- 3,4) ^a	38 (+/- 1,3) ^b
Vanntemperatur	°C	13,6 (+/- 1,6) ^a	12,8 (+/- 0,81) ^b
Vannmengde	m ³ /døgn	50 409 (+/- 40 889) ^a	77 097 (+/- 113 722) ^a
Proteininnhold fôr	%	48,5 (+/- 0,88) ^a	48,2 (+/- 0,41) ^a
Daglige fôrmengder	kg	1 289 (+/- 694) ^a	1 562 (+/- 1 370) ^a
Fôr/Vannmengde	l/kg/dag	36 558 (+/- 18 019) ^a	43 449 (+/- 30 492) ^a
Lysåpning EPT sluttfilter	µm	-	60 - 300

Tabell 1. Operative driftsparametere (gjennomsnitt (+/- SD)) fra utvalget norske settefiskanlegg med i VK Avløp-undersøkelsen i 2013, med avløp uten rensing (gruppe 1, n=18) og med avløp med rensing (gruppe 2, n=10). Signifikante forskjeller er angitt med ulike bokstaver (^{a, b}), ikke signifikante (^{a, a}). p < 0,05.

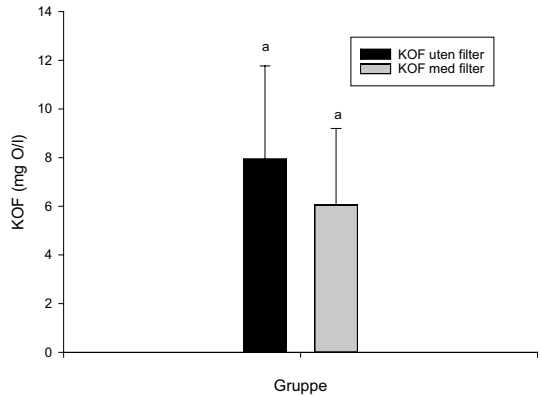
for å se om forskjellene mellom gruppe var store. Grupperingen, tabell 1, medførte at det som forventet ble noen mindre forskjeller mellom gruppene som resultat av inndelingen. Det bemerkes signifikant forskjell i pelletstørrelse, der gruppe 1 hadde noen mer innslag av mindre pellet enn gruppe 2, videre en signifikant forskjell i vanntemperatur, der gruppe 2 hadde 0,8 °C lavere gjennomsnittstemperatur enn gruppe 1, samt prøvetakingsdato der gruppe 1 i gjennomsnitt ble prøvetatt tre uker før gruppe 2. Det var ingen signifikante forskjeller i førmengder pr dag, proteininnhold eller fôrtype.

Organisk materiale

Innholdet av organisk materiale i avløpet fra de to gruppene, ble målt både som biologisk oksygenforbruk (BOF5), figur 1, og som kjemisk oksygenforbruk (KOF), figur 2. Målt som BOF5 finner vi en signifikant forskjell mellom gruppene, der gruppe 1, (uten filtrering) ligger på 4,47 (+/- 2,32) mg O/l mot 3,08 (+/- 1,70) mg O/l for gruppe 2 (med filtrering). Tilsvarende statistisk forskjell finnes ikke for KOF, der verdiene ligger på henholdsvis 7,94 (+/- 3,83) for gruppe 1 og 6,05 (+/- 3,15).



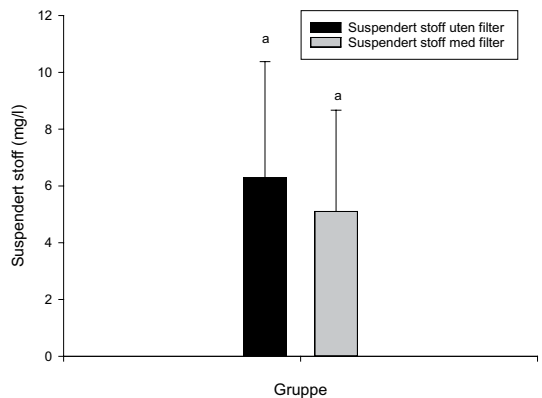
Figur 1. Forskjell i innhold av organisk stoff (BOF5) for settefiskanlegg med i VK Avløp 2013-undersøkelsen mellom gruppe 1 (avløp uten filtrering) (n=18) og gruppe 2 (avløp med filtrering) (n=10). Signifikansnivå p < 0,05.



Figur 2. Forskjell i innhold av organisk stoff (KOF) for settefiskanlegg med i VK Avløp 2013-undersøkelsen mellom gruppe 1 (avløp uten filtrering) (n=18) og gruppe 2 (avløp med filtrering) (n=10). Signifikansnivå p < 0,05.

Suspendert stoff

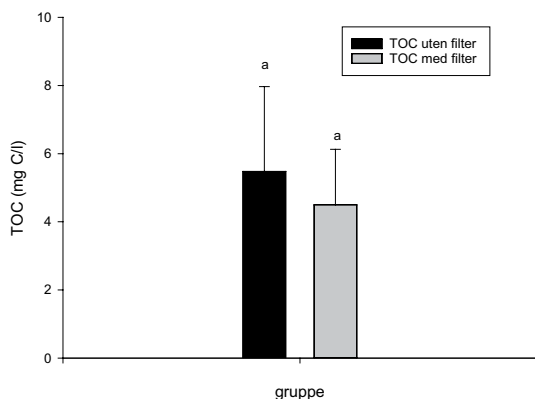
Innholdet av suspendert stoff i avløpet fra de to gruppene er vist i figur 3. Vi finner ingen signifikant forskjell mellom gruppene, men gruppe 1 (uten filter) ligger på 6,28 (+/- 4,08) mg/l som er høyere enn gruppe 2 (med filter) som ligger på 5,1 (+/- 3,57) mg/l.



Figur 3. Forskjell i innhold av suspendert stoff (SS) for settefiskanlegg med i VK Avløp 2013-undersøkelsen mellom gruppe 1 (uten filtrering) (n=18) og gruppe 2 (med filtrering) (n=10). Signifikansnivå p < 0,05.

Total organisk karbon

Innholdet av total organisk karbon i avløpet fra de to gruppene er vist i figur 4. Vi finner ingen signifikant forskjell mellom gruppene, men gruppe 1 (uten filter), ligger på 5,48 (+/- 2,49) mg/l som er høyere enn gruppe 2 (med filter), som ligger på 4,50 (+/- 1,63) mg /l.



Figur 4. Forskjell i innhold av total organisk karbon (TOC) for settefiskanlegg med i VK Avløp 2013-undersøkelsen mellom gruppe 1 (uten filtrering) (n=18) og gruppe 2 (med filtrering) (n=10). Signifikansnivå $p < 0,05$.

Total fosfor

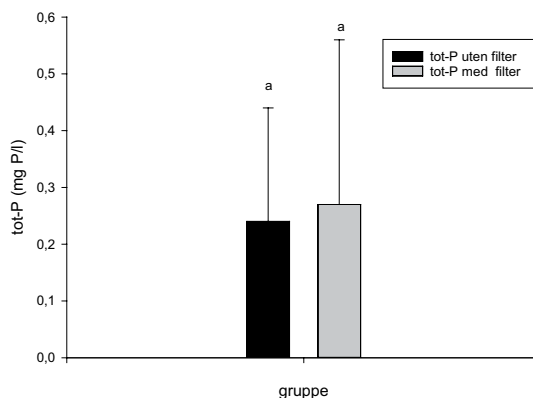
Innholdet av total fosfor i avløpet fra de to gruppene er vist i figur 5. Vi finner ingen signifikant forskjell mellom gruppene, men gruppe 1, (uten filter), ligger på 0,23 (+/- 0,20) mg P/l som faktisk er lavere enn gruppe 2 (med filter), som ligger på 0,27 (+/- 0,30) mg /l.

Total nitrogen

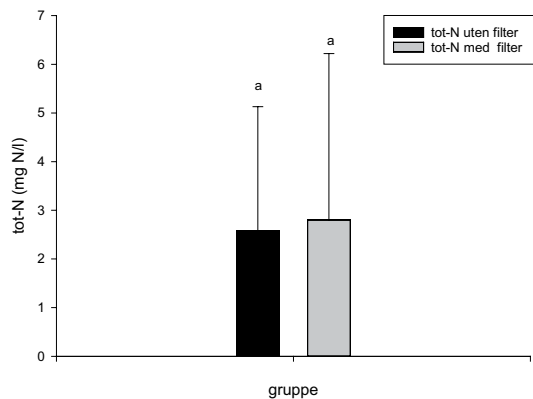
Innholdet av total nitrogen i avløpet fra de to gruppene er vist i figur 6. Vi finner ingen signifikant forskjell mellom gruppene, men gruppe 1 (uten filter) ligger på 2,58 (+/- 2,55) mg N/l som faktisk er lavere enn gruppe 2 (med filter) som ligger på 2,8 (+/- 3,42) mg /l.

Personekvivalenter

Karakterisering av utslippet av organisk stoff i form av pe utfra innholdet av organisk materiale

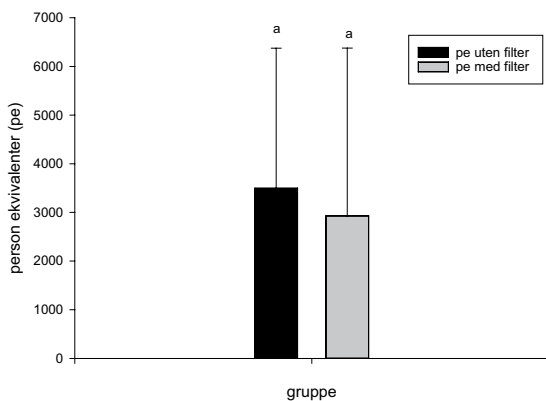


Figur 5. Forskjell i innhold av total fosfor (tot-P) for settefiskanlegg med i VK Avløp 2013-undersøkelsen mellom gruppe 1 (uten filtrering) (n=18) og gruppe 2 (med filtrering) (n=10). Signifikansnivå $p < 0,05$.



Figur 6. Forskjell i innhold av total nitrogen (tot-N) for settefiskanlegg med i VK Avløp 2013-undersøkelsen mellom gruppe 1 (uten filtrering) (n=18) og gruppe 2 (med filtrering) (n=10). Signifikansnivå $p < 0,05$.

(BOF5) i avløpet og vannforbruk for de to gruppene er vist i Figur 7. Vi finner ingen signifikant forskjell mellom gruppene, men gruppe 1, (før filter), får en estimert pe på 3 498 (+/- 2 876) som høyere enn gruppe 2 (etter filter), som har estimert pe på 2 927 (+/- 3 450).



Figur 7. Forskjell i utslipp av organisk stoff målt som personekvivalenter (pe) for settefiskanlegg med i VK Avløp 2013-undersøkelsen mellom gruppe 1 (uten filtrering) ($n=18$) og gruppe 2 (med filtrering) ($n=10$). Signifikansnivå $p < 0,05$.

Diskusjon

Operative driftsparametre

Det var en signifikant forskjell mellom gruppe 1 og gruppe 2 med tanke på størrelse på fôrpellet, men ikke i fôrtype eller mengde fôr tildelt pr dag. Forskjellen i pelletstørrelse er svært liten og de andre to fôrparametre er like, så vi antar dermed at denne forskjellen ikke har avgjørende betydning for sammenligning av gruppene. Det var også en liten, men signifikant forskjell i vanntemperatur, der gruppe 2 hadde den laveste temperaturen ($12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Dette kunne potensielt hatt betydning for vekst og appetitt, slik at utslipp av metabolitter vil være lavere for gruppe 2 enn for gruppe 1 ($13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$). Konsekvensen av et slikt scenario ville være at forskjellen mellom gruppe 1 og gruppe 2 ville bli mindre. Vi antar imidlertid at eventuelle forskjeller i vekst mellom $12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ er ubetydelig siden de begge ligger veldig nærme temperaturområdet for optimum vekst for laks (Austreng et al., 1987). Forskjellen på tre uker i gjennomsnittlig dato for prøvetak mellom gruppe 1 og gruppe 2 kan være et resultat av at anleggene var instruert til å foreta prøvetaking på den antatt høyeste belastningen i anlegget. Det kan også forklare forskjellen i vanntemperatur på $0,8$ grader. Vi legger også merke til at gruppen

uten filter hadde noe mindre gjennomsnittlig vannforbruk pr kg fôr pr døgn enn gruppen med filter. Forskjellen er ikke signifikant, men ha hatt betydning for konsentrasjon av enkeltparametre.

Organisk materiale

Organisk materiale kan estimeres både som BOF5 og KOF, samt TOC. Resultatene for BOF5 for gruppe 1 (før rensing) er i tråd med det som er antydnet av Sindilariu (2007) og data fra Bergheim (pers med) før rensing. BOF5 fra gruppe 2 (etter rensing) er i tråd med resultater oppgitt etter rensing med EPT på 40μ (Bergheim, pers. med) i settefiskanlegg med gjennomstrømnings-teknologi. Det er en signifikant forskjell før og etter rensing, med en prosentuell renseeffekt for BOF5 på 31 % uten at det skal tillegges mye vekt til denne forskjellen da dette ikke er et kontrollert forsøk.

KOF-resultatene er innenfor de predikerte verdier fra Sindilariu (2007) for landbaserte gjennomstrømningsanlegg, men noe lavere enn tall oppgitt fra gjennomstrømningsanlegg for laksesmolt med EPT på $40\mu\text{m}$ (Bergheim, pers. med). Forskjellen i forhold til Bergheims tall ligger $1,8$ - $5,6$ x lavere for gruppe 1 (før rensing) og $1,7$ - $5,8$ x lavere for gruppe 2 (etter rensing). Forskjellen kan muligens forklares ved at KOF kan variere en del og at man sammenligner en punktprøve med en dataserie.

Når det gjelder TOC er det interessant å merke seg at TOC for gruppe 1 er om lag $1,8\text{ mg/l}$ høyere enn benchmark TOC fra VK-undersøkelsene (Rosten et al., 2007). Fra disse undersøkelsene foretatt i perioden 1999-2006 vet en at gjennomsnittlig TOC var $3,7\text{ mg C/l}$, men at nivåene kunne variere mellom $0,4$ - $20,8\text{ mg C/l}$. VK-undersøkelsene er nå snart 10 år gamle, og når gjennomsnittlig TOC har økt i våre tall, kan det være en indikasjon på at intensitetsgraden faktisk har økt i norsk settefiskproduksjon sammenlignet med dette snart 10 år gamle datasettet. Fra data fra Kristensen et al. (2009) vet man at TOC i inntaksvannet gjennomsnittlig ligger på $2,0\text{ mg C/l}$, men kan variere mye, så her ligger det også usikkerheter. Kildene til TOC i inntaksvannet i Norge er normalt humus (Kristensen et

al. 2009) og råvann ble ikke undersøkt i vår undersøkelse, så dette kan man ikke utelukke. Renseprosent for TOC, når man sammenligner data fra gruppe 1 og gruppe 2, var 19 %, men det kan ikke tillegges mye vekt til denne forskjellen da gruppene ikke var signifikant forskjellige og betingelsene ikke kontrollerte.

Suspendert stoff

Resultatene for suspendert stoff (SS) er i tråd med, men dog nedre del av, prediksjon for utslipp fra landbaserte settefiskanlegg fra Sindilariu (2007). Verdiene er også i godt samsvar med rapporterte tall fra settefiskanlegg med gjennomstrømmingsteknologi og EPT på 40 µm både for nivå før og etter rensing (Bergheim, pers. med). Vi kan bemerke at Sindilariu oppga tall for SS ned mot 1,6 mg SS/l. Våre vannanalyser hadde nedre deteksjonsgrense for SS på 3 mg/l og vi kan ikke utelukke at våre SS-tall derfor er overestimerte. Tall fra RAS-anlegg (Fjellheim, 2009) viser som forventet av RAS-avløp noe høyere SS før mikrosiling enn gruppe 1 og tilnærmedesvis like tall etter mikrosiling som gruppe 2. Resultatene fra gruppe 2 er også i samsvar med data for SS fra RAS (BIOFISH) med virvel separering og oppdrett av arktisk røye (Ulgenes, 1997). Prosentuell renseeffekt på 24 % kan utregnes, men uten at det kan tillegges mye vekt da denne forskjellen ikke var signifikant forskjellig og betingelsene ikke kontrollerte.

Tot-P

Lite empiriske data på utslippsnivå av tot-P fra settefiskanlegg er rapportert. Resultatene i undersøkelsen vår ligger ca 4x lavere enn tall rapportert fra Ulgenes (1997) fra RAS med partikkelfelle. Tallene er ikke direkte sammenlignbare siden dette RAS-systemet ble testet med arktisk røye. Vi skal også tenke på at føringsteknologien har forbedret seg fra 1997 til i dag og kan ha påvirket tallene. Det er muligens noe uventet at ikke tot-P er lavere i gruppe 2 etter rensing enn før rensing (gruppe 1), dette kan skyldes at man ikke har klart å fange opp tilstrekkelig mengder partikler med de filterdukene som ble benyttet (60-300µ som EPT). Kelly et al, (1997) viste at bare 68 % av

total-P mengden var til stede i partikkelstørrelse > 60 µm, noe som kan indikere at en større del av fosforet er til stede i mindre partikler eller er på oppløst form i vårt datasett. De operative tallene indikerer også noe lavere vannforbruk pr kg før i gruppen uten filter enn de med filter, og dette kunne muligens ha bidratt til at det ble målt lavere tot-P i gruppen uten filter på grunn av laver fortynning. Man kan ikke si dette med sikkerhet fordi forskjellen i vannmengde pr kg før pr døgn ikke var signifikant forskjellig, tabell 1.

Tot-N

Tallene er helt i samsvar med tall oppgitt før og etter EPT-rensing med 40 µm EPT fra settefiskanlegg med gjennomstrømmingsteknologi (Bergheim, pers. med). Resultatet støtter antakelsen om at mesteparten av nitrogenet finnes på oppløst form og vil i liten grad påvirkes av et vanlig sildukfilter.

Personekvivalenter

Etter det vi har klart å finne er ikke utslipp fra settefiskanlegg tidligere blitt rapportert som pe-enheter. Dette skyldes nok at miljømyndighetene ikke har krevd dette som dokumentasjon fra næringen. Konsekvensen av manglende data for pe kan imidlertid være at utslippene blir vurdert for strengt. Verdiene for pe som er estimert, er lavere enn man kunne forvente ut ifra de rensekraav flere av anleggene er pålagt. Ingen av prøvene i utvalget overskrider 10 000 pe. Her er det selvfølgelig usikkerhet knyttet til manglende bruk av blandprøver i utvalget og i de rapporterte målte vannmengder, men tallene gir en pekepinn på hvor normale settefiskavløp i Norge kan ligge med tanke på pe. En annen betydning er at dersom utslippet er inntil 2000 personekvivalenter (pe) ved utslipp til ferskvann eller inntil 10 000 pe ved utslipp til sjø, er det kommunen som er forurensingsmyndighet.

Konklusjon

Resultatene i dette utvalget indikerer at utslipp fra settefiskanlegg er svært fortynnet og den prosentuelle renseeffekten med de lysåpninger som ble anvendt er beskjedne. Resultatene peker like-

vel i retning av sluttfiltrering med silduk mellom 60-300 µm har reduserende effekt på organisk stoff (BOD5) i størrelsesorden 31 % og at BOD5 kan være en egnet måleparameter. Når ulike anlegg med svakt avvikende betingelser plasseres inn i to behandlingsgrupper, vil dette ha betydning for spredning og usikkerhet. På grunn av dette må man være forsiktig å tolke slike empiriske datasett, både med tanke på å akseptere eller forkaste predikerte forskjeller. Når datasettet likevel viser en forskjell mellom ufiltrert og filtret avløp på tross av de individuelle variasjoner, så kan man etter vår mening konkludere med at dette viser en trend. Vi ser reduksjon i utslippstall for; KOF (24 %), SS (19 %), TOC (18 %), pe (16 %), mens tot-N og tot-P viser derimot ingen reduksjon når man sammenligner avløp uten filter og med filter. Dette kan indikere at en større andel av fosfor og nitrogen faktisk følger mindre partikler, eller er på oppløst form. Mer undersøkelser bør foretas for å belyse dette.

Resultatene indikerer også at utslippene fra anleggene i dette utvalget alle tilfredsstiller konsentrasjonskravet til primærrensing i forureningsforskriften § 14.2 for en prøvetakingstidperiode med antatt høyest belastning. Det alternative prosentuelle kravet over siste filter synes mindre egnet som rensekrav. Man kan som et alternativ vurdere totalutslipp og renseprosjenter i form av hva som tilføres anlegget i med føret, hvor mye biomasse som står i anlegget, hvor stort vannforbruket er, samt hvilke konsentrasjoner man finner på siste prøvetakingspunkt før utslipp til resipient. Resultatene indikerer at alle har lavere pe enn 10 000, noe som sammen med resipientforhold kan få betydning for hvilke rensekrav som pålegges anleggene, men dette må verifiseres med blandprøver av BOF5 og vannmengdemålinger. Det kan ikke utelukkes at det er betydelige forskjeller i avløp fra anlegg med RAS-teknologi og anlegg med gjennomstrømningsanlegg, men denne effekten kunne ikke isoleres i dette relativt tynne data-materialet.

Takk til

Jeg retter en takk til Johan Petter Ahlin og Nikolai Lian ved PreBIO i Namsos, Trude Olafsen tidligere leder av bransjenettverket akvARENA og de 15 bedriftene som deltok i VK Avløp 2013. Uten dere ville ikke dette vært mulig å få til.

Referanser

- Austreng, A., Storebakken, T., Aasgaard, T. (1987). Growth rate estimates for cultured Atlantic salmon and rainbow trout. *Aquaculture* 60, 157–160.
- Bergheim, A., Braaten, B. 2007. Modell for utslipp fra norske matfiskanlegg til sjø. Rapport nr 2007/180. Stavanger: IRIS.
- Bergheim, A., Sanni, S., Indrevik, G. & Holland, P. (1993). Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves. *Aquacultural Engineering*, 12, 97-109.
- Bergheim, A., Åsgård, T., (1996). Waste production from aquaculture. In: Baird, D. J., Beveridge, M.C.M, Kelly L.A., and Muir J.F., (ed.) *Aquaculture and Water Resource Management*. Oxford,UK: Blackwell Science Ltd.
- Bjerknes, V. 2007-. Vannkvalitet og smoltproduksjon. Juul forlag. pp 228.
- Fjellheim, A. (2009). Vannkvalitet i kommersielt resirkuleringsanlegg for laks. *VANN*, 3, 256-264.
- Forskrift 2004-06-01 NR 931 2004. *Forskrift 2004-06-01 nr 931*. Regjeringen.
- Kelly, L. A., Bergheim, A. & Stellwagen, J. (1997). Particle size distribution of wastes from freshwater fish farms. *Aquaculture International*, 5, 65-78.
- Rosten, T., Urke, H.A., Åtland, Å., Kristensen, T., Rosselland, B.O., (2007). Important operational parameters and water quality data from the Water Quality Survey in Norwegian hatcheries 1999 - 2006 (In: Norwegian), Lnr 5352-2007. NIVA, Oslo, pp. 16.
- Rosten, T.W., Azrague, K., Toldnes, B., (2013). Primærrensing og aktuelle løsninger for slambehandling i norske settefiskanlegg. SINTEF A24445. pp 1-123.
- Kristensen T, Åtland Å, Rosten T, Urke H.A, Rosselland B.O. (2009). Important influent-water quality parameters at freshwater production sites in two salmon producing countries. *Aquacultural Engineering* 41: 53–59

Sharrer, M. J., Tal, Y., Ferrier, D., Hankins, J.D., Summerfelt, S., (2007). Membrane biological reactor treatment of a saline backwash flow from a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering* 36(2): 159-176.

Sindilariu, P. D., Brinker, A. & Reiter, R. (2009). Waste and particle management in a commercial, partially recirculating trout farm. *Aquacultural Engineering*, 41, 127-135.

Sindilariu, P. D., Schulz, C. & Reiter, R. (2007). Treatment of flow-through trout aquaculture effluents in a constructed wetland. *Aquaculture*, 270, 92-104.

Ulgenes, Y., Lundin, U. (2003). Valsjøbyen fiskodling - Dokumentasjon av BIOFISH-anlegg for produksjon av settefisk (SFT 66 A03105). Sintef.

Ulgenes, Y. (1997). Behandling og sikring av avløp fra innlandsoppdrett Trondheim: Sintef.