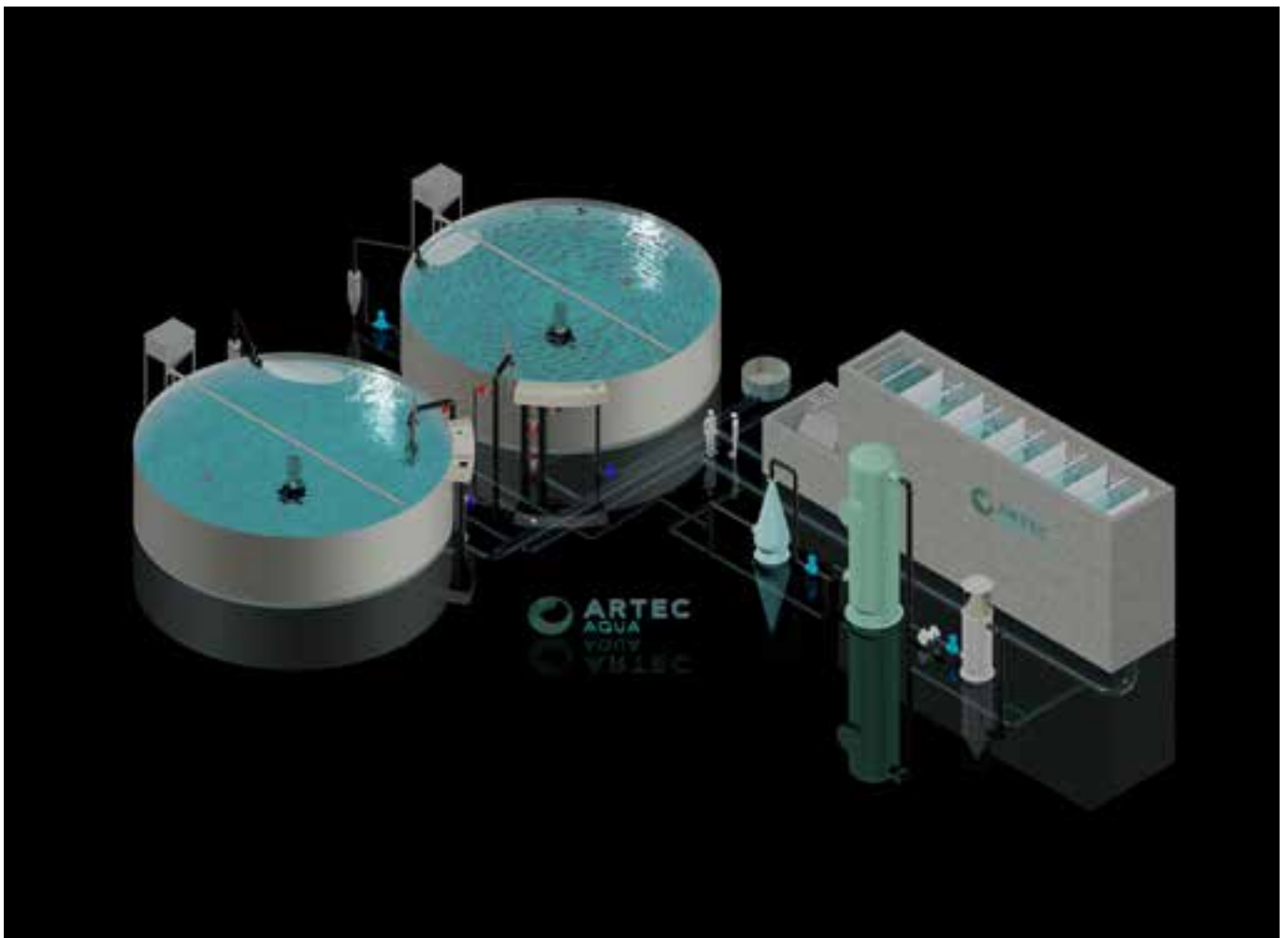


Sluttrapport - Artec pilot

Dokumentasjon av vannkvalitet og fiskefysiologi i et pilotanlegg for resirkulering (Artec Pilot) og et gjennomstrømningsanlegg



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Sluttrapport - Artec pilot Dokumentasjon av vannkvalitet og fiskefysiologi i et pilotanlegg for resirkulering (Artec Pilot) og et gjennomstrømningsanlegg.	Løpenr. (for bestilling) 6281-2012	Dato 14.11.2012
	Prosjektnr. Undernr. O-10193	Sider Pris 34
Forfatter(e) Ole-Kristian Hess-Erga Torstein Kristensen Robert Eliassen Martin H. Iversen	Fagområde Akvakultur	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Nordland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Artec Aqua AS	Oppdragsreferanse V. Fiveland
-----------------------------------	----------------------------------

Sammendrag
Sett under ett viser forsøkene at Resirkuleringssystemet (Artec Pilot) kan benyttes til kommersiell smoltproduksjon på lik linje med tradisjonelt gjennomstrømningsystem. Ved optimal drift vil også fiskevelferden bli godt ivaretatt. Forskjellene i forsøksperiodene gjenspeiler hovedsakelig forskjellene mellom driftssystemene, hvor resirkulasjonssystemet inneholdt mer løst karbondioksid, nitrogenavfall, partikler og organisk materiale, spesielt i forsøk 1. Etter optimalisering av delprosesser og inkludering av CO₂-lufing på karkanten ble nivåene av de nevnte parametrene betraktelig redusert. Dette har resultert i et velfungerende resirkuleringssystem som ivaretar fiskevelferden, og gir en jevn og god vannkvalitet.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Smoltproduksjon	1. Smolt production
2. Resirkuleringsteknologi	2. Recirculating systems
3. Vannkvalitet	3. Water quality
4. Artec Pilot	4. Artec Pilot



Ole-Kristian Hess-Erga
Prosjektleder



Mark Darryn Powell
Forskningsleder

Sluttrapport – Artec pilot

Dokumentasjon av vannkvalitet og fiskefysiologi i et pilotanlegg for resirkulering (Artec pilot) og et gjennomstrømningsanlegg

Forord

Denne rapporten er basert på resultatene fra to forsøk av Artec Aquas resirkuleringsteknologi (Artec Pilot) for smoltproduksjon. Resultatene fra forsøk 1 (ReCirk 1) er tidligere presentert i en delrapport (Delrapport ReCirk 1) hvor det ble identifisert noen forbedringsområder. De fleste anbefalingene ble implementert før forsøk 2, og resultatene fra dette forsøket viser en god effekt av tiltakene. Rapporten har blitt kvalitetssikret av forskningsleder for akvakultur, Mark D. Powell.

Ole-Kristian Hess-Erga har vært prosjektleder og hovedforfatter av denne rapporten. I tillegg har Torstein Kristensen (NIVA) bidratt med vurdering av blodanalyser. Robert Eliassen, Martin H. Iversen og Steinar Johnsen ved Universitetet i Nordland har levert analyser og vurderinger knyttet til «stressmapping».

Til slutt vil jeg takke de ansatte ved Mainstream Leines for prøvetaking og innsamling av data, og Victor Fiveland ved Artec Aqua for et meget inspirerende og fruktbart samarbeid.

Bergen, 14.11.2012

Ole-Kristian Hess-Erga, ph.d.

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn	6
2. Forsøksdesign og metoder	7
2.1 Forsøksoppsett	7
2.2 Systembeskrivelse	8
2.3 Prøvetaking	8
2.4 Analyser og registrerte data	9
2.4.1 Generell vannkvalitet	9
2.4.2 Mikrobiologisk karakterisering	10
2.4.3 Partikkelkarakterisering	10
2.4.4 Blodparameter	10
2.4.5 Gjelleanalyser	11
2.4.6 Stressmapping	11
2.4.7 Produksjonsdata	11
3. Resultater og diskusjon	12
3.1 ReCirk 1 og 2 (Forsøk 1 og 2)	12
3.1.1 Generell vannkvalitet	12
3.1.2 Mikrobiell karakterisering	17
3.1.3 Partikkelkarakterisering	19
3.1.4 Blodparameter	24
3.1.5 Metaller	28
3.1.6 Stressmapping	29
3.1.7 Produksjonsdata	30
4. Konklusjon	31
4.1 ReCirk 1 og 2 (Forsøk 1 og 2)	31
4.1.1 Generell vannkvalitet	31
4.1.2 Mikrobiell karakterisering	31
4.1.3 Partikkelkarakterisering	32
4.1.4 Blodparameter	32
4.1.5 Metaller	32
4.1.6 Stressmapping	32
4.1.7 Produksjonsdata	33
5. Referanser	34

Sammendrag

Sett under ett viser forsøkene at Resirkuleringssystemet (Artec Pilot) kan benyttes til kommersiell smoltproduksjon på lik linje med tradisjonelt gjennomstrømmingssystem. Ved optimal drift vil også fiskevelferden bli godt ivaretatt. Forskjellene i forsøksperiodene gjenspeiler hovedsakelig forskjellene mellom driftssystemene, hvor resirkulasjonssystemet inneholdt mer løst karbondioksid, nitrogenavfall, partikler og organisk materiale, spesielt i forsøk 1. Etter optimalisering av delprosesser og inkludering av CO₂-lufting på karkanten ble nivåene av de nevnte parameterne betraktelig redusert. Dette har resultert i et velfungerende resirkuleringssystem som ivaretar fiskevelferden, og gir en jevn og god vannkvalitet.

1. Bakgrunn

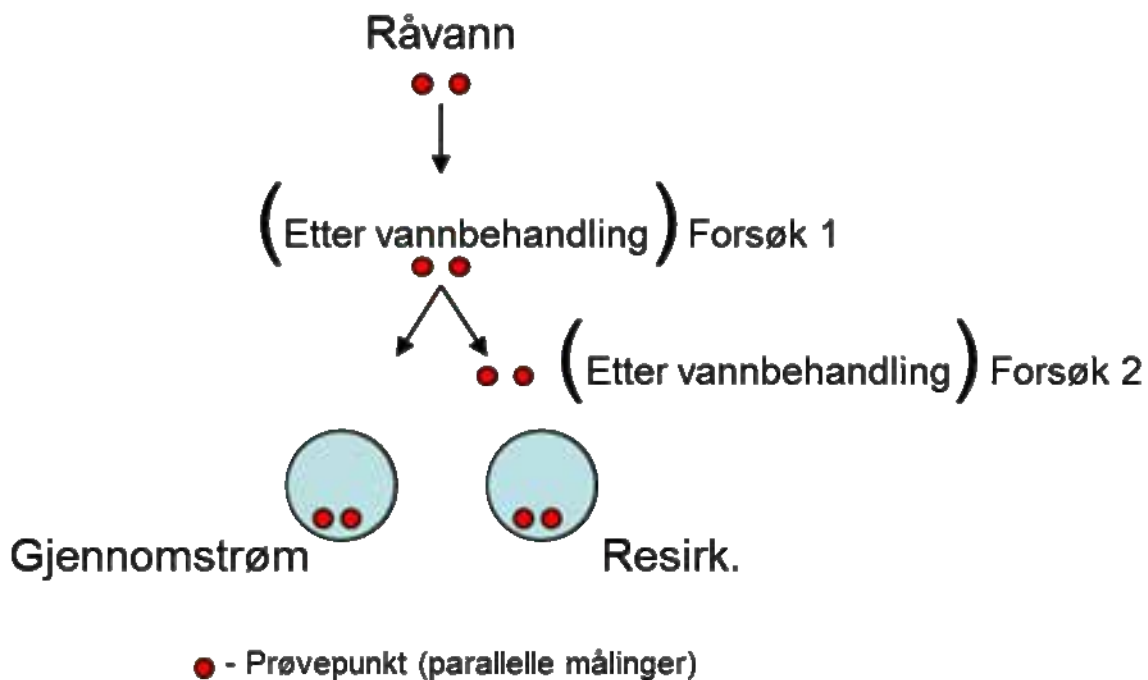
Artec Aqua og Mainstream Norway ønsket å etablere et pilotanlegg for resirkulering (ReCirk pilot) og sammenlikne vannkvalitet og fiskefysiologi med et tradisjonelt gjennomstrømningsanlegg (kontroll) for settefisk og smoltproduksjon ved Mainstreams anlegg på Leines. Vannkvalitet og fiskefysiologi ønskes dokumentert i de overnevnte anleggene og 2 alternative driftsbetingelser for resirkuleringsanlegget testes for å styrke beslutningsgrunnlaget for videre utvikling. NIVA ble kontaktet og det ble inngått en avtale om oppdrag (Jnr NIVA 1381/10) hvor Høyskolen i Bodø (nå Universitetet i Nordland) hadde ansvaret for stressmapping (analyser av plasmakortisol). På grunn av forsinkelser hos oppdragsgiver og samarbeidspartner har tidsplanen blitt revidert flere ganger. Arbeidspakke 1 (Opplæring av driftspersonell i resirkuleringsteknologi og prøvetaking) ble gjennomført på Steigen 20. til 23. september 2010. Arbeidspakke 2 (Analyser knyttet til gjennomføring av inntil 2 forsøk – ReCirk 1 og 2) innbefatter to forsøk hvor det første, ReCirk 1 ble utført 1.9.11 til 12.10.11 og ReCirk 2 ble utført 22.6.12 til 1.8.12. Resirkuleringssystemet ble optimalisert og forbedret basert på resultatene fra forsøk 1 og testet på nytt for å verifisere effekten av endringene (forsøk 2). Denne rapporten omhandler begge forsøkene (ReCirk 1 og 2). NIVA ved prosjektleder Ole-Kristian Hess-Erga har ledet og koordinert prosjektet i henhold til avtalen.

2. Forsøksdesign og metoder

Forsøkene ble utført ved Mainstream Norway sitt anlegg på Leines i perioden 1.9.11 til 12.10.11 (forsøk 1) og 22.6.12 til 1.8.12 (forsøk 2). Fisken ble akklimatisert til nye kar og miljøforhold i ca. en uke før forsøkene startet. Artec Aqua (V. Fiveland) hadde det overordnede ansvaret for resirkulasjonssystemet og koordinerte den daglige driften samt at prøvetakingen ble utført i henhold til forsøksplanen. De ansatte ved Mainstream Leines forestod den daglige driften, prøvetaking, noen analyser, innsending av vannprøver og registrering/innsending av relevante driftsparametere.

2.1 Forsøksoppsett

Det ble tatt ut 2 parallelle prøver fra hvert prøvepunkt (Figur 1) ved start (1.9.11 og 22.6.12), midtveis (22.9.11 og 6.7.12) og ved slutt (12.10.11 og 1.8.12) i begge forsøkene. Blodprøver for stressmåling ble ikke tatt ut på samme dag som de øvrige prøvene, men på dager tett opp til disse for å sikre prøvetaking av ustresset fisk.



Figur 1. Prøvepunktoversikt. Prøvepunktet «Etter vannbehandling» (EVB) i forsøk 1 var felles for begge systemene og i forsøk 2 var dette punktet internt i resirkuleringsystemet. Karvannsprøvene ble tatt fra avløpsvannet i de respektive karene.

2.2 Systembeskrivelse

Resirkuleringssystemet bestod av et trommelfilter (Faivre, 12-120, 36 µm), Grundfos, gråvannspumpe (NB150), Biofilter trinn 1 (Mowing Bed, Draft-tube, Biofilm Chip-P), Biofilter trinn 2 (Mowing Bed, Draft-tube, Biofilm Chip-M), CO₂ lufter på karkanten (Degasso 1250 CO₂) og partikkelfjerner (Hydrosyklon HC 108 05).

I tillegg var det følgende delstrøms-/hjelpesystemer (noen med pumper): Proteinskimmer (Sander, Fresh-Skim 500), UV (Siemens, Barrier M80), Vakuumluffer (Degasso MV 500 PE), Oksygenkjegle (SaturOx-OCHP-30) med grunnoksygenering og automatisk tilsetning av høyoksygenert vann på karkanten, Sidekanalblåser (FPZ K11-TD), Blowerrack 50 %, og pH justering (AGIMIX AM-01 agitator, SEKO MAKSIMA MGP 913 doseringspumpe).

Det ble også installert et alarm/styre/loggesystem med sensorer hvor ulike målepunkt kunne måles. I tillegg var det tilgang på sjøvann, ferskvann, tørket trykkluft, oksygen og strøm.

Oppdrettskarene og vannmengden (inn/ut) som ble benyttet variert noe mellom resirkulasjonssystemet (Resirk) og gjennomstrømmingssystemet (Gj. strøm) (Tabell 1).

Tabell 1. Karkarakteristikk av Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet.

Parameter	Resirk 1 og 2	Gj. str. 1 og 2
Karbenevning	Kar A, 5001 og 5002	Kar B, 3012 og 6002
Kartype	Runde ø 8 m	Runde ø 3 og 12 m
Karstørrelse netto (m ³)	63,7	7,5 og 200
Vannmengde inn/ut gjennomsnitt (l/min)	1370 og 885	250 og 1500
Mengde nytt vann gjennomsnitt (l/min)	Maks 66 og 115	250 og 1500

2.3 Prøvetaking

Det ble tatt ut parallelle vannprøver fra alle hoved-prøvepunktene (Råvann, Etter vannbehandling, Karvann Resirk og Karvann Gj. strøm). Ved hvert hoved-prøveuttak ble det samtidig målt temperatur, pH, saltholdighet, løst oksygen, løst karbondioksid og totalt gasstrykk (TGP) med håndholdte instrumenter (Thermo Scientific Orion 5 Star, OxyGuard CO₂ meter, Point 4 Tracker). Det ble tatt blodprøver av fisken (I-stat point-of-care (iSTAT) og EC-8+ kassetter) ved de tre prøvetidspunktene og tatt gilleprøver (induktivt koplet plasma emisjonsspektroskopi ICP-OES ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap) ved slutt. Det ble og tatt blodprøver for å kartlegge stressnivået og allmenntilstanden til forsøksfisken (UIN, Iversen m.fl. 1998). Se egen prøveprosedyre for utfyllende detaljer (vedlegg 1).

2.4 Analyser og registrerte data

Vannprøvene ble analysert for generelle vannkvalitetsparametere (pH, konduktivitet, alkalitet, turbiditet, totalt ammonium nitrogen (TAN), nitritt + nitrat, totalt organisk karbon (TOC), natrium, klorid, sulfat, kalsium, magnesium, løst karbondioksid, totalt aluminium, totalt kobber, totalt jern og totalt mangan), heterotrof bakteriell vekst (Colony Forming Units (CFU) på 3M Petrifilm), totalt antall bakterier (Becton Dickinson FACSCalibur flow cytometer) og partikkelmengde/størrelsesfordeling (Beckman Coulter Counter Multiziser II). Relevante fysiske- og kjemiske parametere ble registrert i sanntid enten ved manuelle målinger eller ved anleggets/Artec Aquas eget overvåkingssystem. Vannprøvene ble hovedsakelig analysert ved NIVAs laboratorium i Oslo, men noen parametere ble også analysert på anlegget (nitrogenforbindelser) og ved NIVAs laboratorium i Bergen (CFU, totaltelling av bakterier og partikkelanalyser).

2.4.1 Generell vannkvalitet

Generelle vannkvalitetsparametere ble analysert ved NIVAs akkrediterte laboratorium i Oslo (Tabell 2). Det ble benyttet egne prøveflasker for metallprøver (60 ml syrevaskede plastflasker), TAN (100 ml plastflasker og syrefiksert), karbondioksid (glassflaske + plastflaske og bioblokker) og øvrige parameter (0,5 l plastflaske). Karvannsprøvene ble også analysert for nitrogenforbindelsene ammonium, nitritt og nitrat med et kolorimeter (Thermo Scientific Orion AQ3700 Colorimetry Meter) på anlegget. Leverandørens prøveprosedyrer ble benyttet.

Tabell 2. Kjemiske analyser. Når konsentrasjonen gikk ut over måleområde ble prøven fortynnet. Det er benyttet 2 forskjellige metoder for noen parametere på grunn av ulik saltholdighet i prøvene.

Parameter	Enhet	Metodenr.	Måleområde	Måleusikkerhet (+/-)
pH	-log [H ⁺]	A 1-4	1-14	0,20
Konduktivitet	mS/m	A 2-3	5,0 - 500	5 %
Alkalitet	mmol/l	C 1-2	0,10 >	10 %
Turbiditet	FNU	A 4-2	0,05 - 0,50	0,05
Totalt ammonium nitrogen (TAN)	mg N/l	D 5	0,005 - 0,5	0,004
Nitritt + nitrat	mg N/l	D 3	100 - 1200	10 %
Totalt organisk karbon (TOC)	mg C/l	G 4-2/5-3	0,1 - 20/0,2 - 21	0,1/0,2
Natrium	mg/l	C 4-3	0,15 - 10	20 %
Klorid	mg/l	C 4-3	0,15 - 20,0	20 %
Sulfat	mg/l	C 4-3	0,20 - 40	20 %
Kalsium	mg/l	C 4-3	0,10 - 10	20 %
Kalium	mg/l	C 4-3	0,10 - 10	20 %
Magnesium	mg/l	C 4-3	0,10 - 10	20 %
Karbondioksid	mg/l	C 8*	0,1 - 20	0,1
Aluminium	µg/l	E 9-5/8-3	5 - 25/1 - 10000	20 %
Kobber	µg/l	E 9-5/8-3	2 - 10/0,15 - 10000	2/20 %
Jern	µg/l	E 9-5	5 - 25000	20 %
Mangan	µg/l	E 9-5/8-3	3 - 15/0,2 - 1	0,3/0,2
Sink	µg/l	E 9-5	1 - 10000/15 - 75	20%/1,5
Kadmium	µg/l	E 9-5	1 - 5	1

* Ikke akkreditert metode.

2.4.2 Mikrobiologisk karakterisering

Det mikrobielle samfunnet ble analysert ved dyrking av bakterier på syntetisk medium (heterotrof bakteriell vekst) og ved totaltelling av bakterier. Førstnevnte metode vil fange opp de bakteriene som lar seg dyrke og som er dyrkbare på prøvetidspunktet, og sistnevnte vil fange opp bakterier som har en tilfredsstillende mengde DNA som lar seg farge, uavhengig om de er levende og/eller dyrkbare. Sammen vil disse metodene kunne gi et innblikk i det mikrobielle samfunnet og dets hovedegenskaper.

Heterotrof bakteriell vekst

En fortyningsserie av prøvene og sterilt ferskvann (SFV) ble satt opp for så å bli platet ut på parallelle næringsmedium (3M Petrifilm). Dette ble sendt til NIVA Bergen med Postens «overnattpakke» og deretter inkubert ved 20 °C. Antall kolonidannende enheter (CFU – Colony Forming Units) ble talt manuelt etter 4 dager (opportunist/hurtigvoksende) og etter 14 dager (total CFU).

Totaltelling av bakterier

25 ml prøve ble fiksert (sluttkonsentrasjon 0,2 % glutaraldehyd) og oppbevart ved 4 °C inntil analyse ved flow cytometri. De fikserte prøvene ble fortynt i SFV og farget med 10000x fortytning av SYBR Green I og analysert med et FACSCalibur flow cytometer (Becton Dickinson).

2.4.3 Partikkelkarakterisering

Partikler i vann ble analysert for totalt suspenderte partikler (TSS) og størrelsesfordeling av partikler. Samlet vil metodene gi et godt bilde av partikkelbelastningen og hvilke størrelser som dominerer. I tillegg ble det tatt supplerende analyser for å beskrive den organiske belastningen (punkt 2.3.1).

Suspenderte partikler (NS 4733)

1 liter prøvevann ble filtrert ved bruk av en filteroppsats med GF/C filter (1,2 µm) og skylt med MilliQ vann. Vektendring etter tørking ved 105 °C i 1 time representerte totalt suspenderte partikler (TSS).

Størrelsesfordeling partikler

Størrelsesfordeling av partikler ble undersøkt ved å fikse 25 ml prøve i nøytral Lugol som ble oppbevart mørkt ved 4 °C og kvantifisering med en celle/partikkel analysator (Coulter Counter Multiziser II, Beckman).

2.4.4 Blodparameter

Det ble tatt ut 6 fisk fra Kar A og Kar B ved alle prøvepunktene (start, mellom og slutt). Fisken ble avlivet med et slag til hode og det ble umiddelbart tatt ut venøst blod med en kanyle og sprøyte. Blodet ble

overført til EC-8+ kassetter og analysert i et I-stat point-of-care instrument (iSTAT) som ga følgende parametere; natrium (Na^+), kalium (K^+), klorid (Cl^-), glukose (Glu), andel røde blodlegemer (hematokritt, Hct), partialtrykk av karbondioksid (pCO_2), bikarbonat (HCO_3^-) og pH. De tre sistnevnte parameterne ble korrigert for temperaturforskjellen mellom vannet fisken oppholdt seg i og instrumentets oppgitte verdi ved 37 °C (Eliason et al. 2007).

2.4.5 Gjelleanalyser

Fra samme gruppe ble det tatt ut 6 fisk hvor den andre gjellebuen på høyre side ble klippet ut, lagt på forhåndsveide scintillasjonsrør og deretter frosset ned. Prøven ble deretter analysert ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap, Isotoplaboratoriet. Gjellene ble frysetørket, syreoppløst og konsentrasjonen av aluminium (Al), kobber (Cu), jern (Fe) og mangan (Mn) ble bestemt ved ICP-OES (induktivt koplet plasma emisjonsspektroskopi).

2.4.6 Stressmapping

Dette arbeidet ble utført som en underleveranse fra Universitetet i Nordland og er lagt ved rapporten (vedlegg 2).

2.4.7 Produksjonsdata

Alle relevante produksjonsdata ble beregnet ut fra sorteringsdataene.

3. Resultater og diskusjon

Basert på resultatene fra forsøk 1 (Delrapport ReCirk 1) ble enkelte prosesser i resirkulasjonssystemet optimalisert før forsøk 2 ble gjennomført. I det følgende blir det spesielt fokusert på resultatene fra disse prosessene. Systemet var for øvrig i drift i perioden mellom forsøkene. For utfyllende beskrivelse om forsøk 1, se Delrapport ReCirk 1.

3.1 ReCirk 1 og 2 (Forsøk 1 og 2)

Forsøkene ble gjennomført uten spesielle problemer. Prøvene ble innhentet og analysert i henhold til punkt 2.3 Prøvetaking, og punkt 2.4 Analyser og registrert data.

3.1.1 Generell vannkvalitet

De fysiske- og kjemiske resultatene (Tabell 3 og 4) i forsøksperioden gjenspeiler hovedsakelig forskjellene mellom driftssystemene, hvor resirkulasjonssystemet inneholdt mer nitrogenavfall, partikler og organisk materiale. Selv om enkelte parametere varierte relativt mye i løpet av forsøksperiodene var vannkvaliteten jevnt over god for begge driftssystemene. Samtidig viser resultatene relativt lik temperatur i de to systemene, noe som er viktig for å bedre sammenlikningen av systemene.

Tabell 3. Fysiokjemisk vannkvalitet i Råvann, Etter vannbehandling, Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet ved de tre hoveduttakene (gjennomsnitt av 2 parallelle målinger) i forsøk 1.

Periode System	Start 1.9.11				Mellom 22.9.11				Slutt 12.10.11			
	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.
Temperatur (°C) anleggsmåling	11,3	11,1	12,1	11	9,4	14,1	13,5	13,9	6,2	10,7	10,7	11
Oksygenmetning (%) anleggsmåling	-	101	83	82	92	98	91	76	94	103	87	76
Totalt gasstrykk (%) anleggsmåling	-	100	99	97	96	101	101	97	94,5	101	100	99
CO2 (mg/l)	1,6	2,3	9,0	4,8	-	-	21,7	6,8	-	-	17,6	7,0
CO2 (mg/l) anleggsmåling	2,0	1,0	12,0	5,0	1,0	1,0	19,0	9,0	2,0	1,0	23,0	9,0
pH	6,88	6,86	7,02	6,82	6,89	6,81	6,73	6,57	6,82	6,97	6,49	6,79
pH anleggsmåling	6,46	6,68	6,51	-	6,21	6,52	6,37	5,70	6,45	6,59	6,17	5,95
Saltholdighet (ppt) anleggsmåling	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
Konduktivitet (mS/m)	3,70	4,60	219,00	5,83	3,89	5,75	215,00	6,01	3,96	5,20	359,00	6,50
Konduktivitet (mS/m) anleggsmåling	3,62	5,79	232,80	5,64	3,52	4,77	226,60	5,95	4,23	4,92	385,00	6,36
Alkalitet (mmol/l)	0,115	0,114	0,530	0,157	0,127	0,123	0,306	0,167	0,122	0,128	0,229	0,168
Totalt ammonium (mg NH4-N/l)	-	-	0,78	0,40	-	-	0,06	0,50	-	-	0,75	0,59
Uionisert ammonium (µg NH3-N/l)	-	-	1,30	0,39	-	-	0,06	0,34	-	-	0,33	0,54
Nitritt + nitrat (mg NO2-N+NO3-N/l)	-	-	15,47	11,40	-	-	20,55	-	-	-	5,86	0,07
Nitrat (mg NO3-N/l)	-	-	-	-	-	-	-	0,80	-	-	-	-
TAN (mg NH4-N/l) anleggsmåling (6.9, 26.9 og 12.10)	-	-	0,81	-	-	-	1,70	-	-	-	1,60	-
NH3 (µg NH3-N/l) anleggsmåling (6.9, 26.9 og 12.10)	-	-	0,06	-	-	-	1,39	-	-	-	0,34	-
Nitritt (mg NO2/l) anleggsmåling (6.9, 26.9 og 12.10)	-	-	0,18	-	-	-	0,18	-	-	-	0,12	-
Na (mg/l)	3,66	4,82	340,50	5,80	3,56	5,90	332,00	5,72	3,57	5,18	568,00	5,97
Cl (mg/l)	5,58	7,95	609,50	9,71	5,57	10,15	567,50	9,90	5,75	8,83	1025,00	10,30
K (mg/l)	0,54	0,57	12,50	0,62	0,54	0,60	12,75	0,78	0,53	0,60	21,00	0,93
Ca (mg/l)	1,86	1,90	15,50	1,97	2,30	2,37	12,95	2,36	2,36	2,42	24,50	2,29
Mg (mg/l)	0,53	0,72	42,00	0,84	0,56	0,89	41,90	0,93	0,56	0,79	72,00	0,89
SO4 (mg/l)	3,17	3,49	88,00	3,89	3,40	4,02	84,70	4,26	3,45	3,90	145,50	4,39

Tabell 4. Fysiokjemisk vannkvalitet i Råvann, Etter vannbehandling, Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet ved de tre hoveduttakene (gjennomsnitt av 2 parallelle målinger) i forsøk 2.

Periode System	Start 22.6.12				Mellom 6.7.12				Slutt 1.8.12			
	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.
Temperatur (°C) anleggsmåling	4,5	10,2	10,1	6,3	6,1	14,3	14,3	8,3	7,4	9,6	9,5	9,1
Oksygenmetning (%) anleggsmåling	94	108	90	91	99	151	80	87	98	125	81	78
Totalt gasstrykk (%) anleggsmåling	93	104	100	95	96	105	99	95	92	105	96	91
CO ₂ (mg/l)	2,3	-	4,8	6,2	-	-	8,1	5,9	-	-	8,8	6,4
CO ₂ (mg/l) anleggsmåling	1,0	3,0	4,0	6,0	1,0	5,0	8,0	6,0	1,0	7,0	11,0	8,0
pH	6,74	6,72	6,68	6,41	6,59	7,05	6,92	6,71	6,62	6,57	6,48	6,58
pH anleggsmåling	-	6,61	6,56	-	-	6,68	6,61	6,90	-	6,65	6,51	6,90
Saltholdighet (ppt) anleggsmåling	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	2,8	2,6	2,0
Konduktivitet (mS/m)	3,72	178,00	182,00	4,20	3,39	275,00	280,00	3,89	3,49	492,00	475,00	364,50
Konduktivitet (mS/m) anleggsmåling	3,76	195,00	196,00	4,01	3,44	298,50	303,00	3,75	3,52	536,00	516,00	392,00
Alkalitet (mmol/l)	0,081	0,204	0,208	0,103	0,071	0,345	0,329	0,113	0,097	0,316	0,287	0,250
Totalt ammonium (mg NH ₄ -N/l)	-	-	0,12	0,22	-	-	0,45	0,51	-	-	0,35	0,33
Uionisert ammonium (µg NH ₃ -N/l)	-	-	0,08	0,06	-	-	0,71	0,30	-	-	0,14	0,16
Nitritt + nitrat (mg NO ₂ -N+NO ₃ -N/l)	-	-	1,60	0,08	-	-	4,13	0,06	-	-	14,16	1,08
Nitrat (mg NO ₃ -N/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TAN (mg NH ₄ -N/l) anleggsmåling	-	0,1	0,20	0,30	-	0,28	0,57	0,31	-	0,20	0,32	0,22
Nitritt (mg NO ₂ -N/l) anleggsmåling	-	0	0,00	0	-	0,006	0,009	0	-	0,03	0,01	0,00
Na (mg/l)	3,81	283,00	285,00	3,95	3,69	449,00	444,50	3,08	3,75	805,50	780,50	577,00
Cl (mg/l)	6,53	507,00	511,50	6,70	6,25	793,00	786,50	5,86	7,91	1475,00	1425,00	1055,00
K (mg/l)	0,44	10,05	10,15	0,66	0,45	15,30	15,55	0,72	0,47	28,00	27,50	20,00
Ca (mg/l)	1,80	13,20	13,15	1,80	1,70	19,55	19,40	1,72	1,91	41,00	36,50	28,00
Mg (mg/l)	0,58	31,90	32,00	0,60	0,53	47,25	47,60	0,52	0,59	103,50	100,50	76,50
SO ₄ (mg/l)	2,60	71,35	72,75	2,70	2,64	117,50	119,50	2,64	2,94	205,50	199,00	149,50

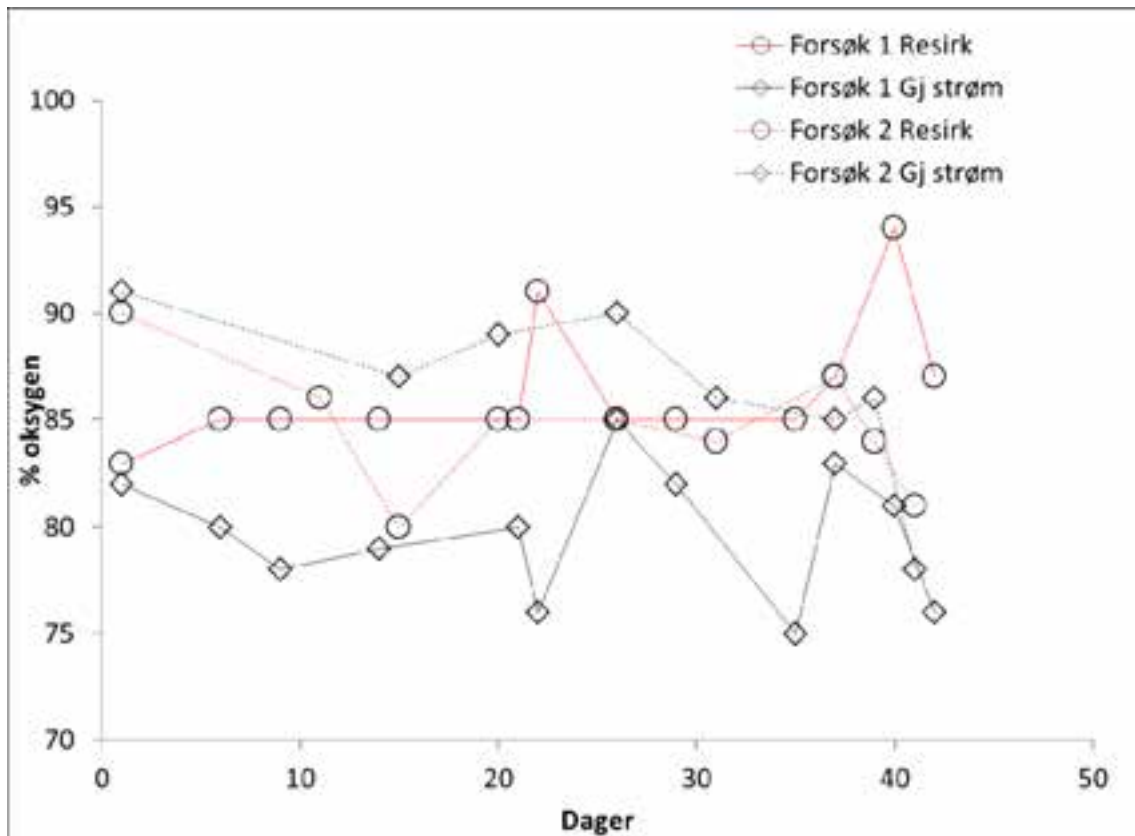
Temperatur, pH, oksygenmetning og karbondioksid

Temperaturmålingene ved start i forsøk 1 viser at det ikke var behov for oppvarming av vannet og at de ulike komponentene i resirkulasjonssystemet sannsynligvis genererte litt varme (Tabell 3). Relativt lik temperatur i karvannene bidrar til et godt sammenlikningsgrunnlag for de to systemene (spesielt i forsøk 1), da temperatur kanskje er det viktigste parametere for vekst (forutsetter at fôrbehovet er dekket). Eventuelle forskjeller i vekst vil da kunne forklares ut fra andre forhold.

Variasjonen i pH (lab-målinger) mellom de ulike prøvepunktene var innenfor 0,5 pH-enheter ved alle hoveduttakene og indikerer gode oppdrettsforhold (Tabell 3 og 4). Lab-målingene viser henholdsvis nedadgående trend (forsøk 1) og noe variabel pH (forsøk 2) i resirkulasjonssystemet, og anleggets egne målinger viser fluktuerende pH. Førstnevnte reflekterer høyere CO₂-nivå i forsøk 1 og betraktelig forbedrede CO₂-verdier i forsøk 2. Sistnevnte kan indikere ujevn pH-justering og dette kan i så tilfelle stabiliseres ved forbedrede rutiner. Forskjell mellom lab-målinger og egne målinger er nokså vanlig og skyldes ofte avvikende kalibrering, noe som sannsynligvis illustreres godt i målingene av gjennomstrømmingssystemet i forsøk 1. Forskjellene i dette systemet er opp mot 1 pH-enhet, mot <0,5 i resirkulasjonssystemet. Slike forskjeller kan få avgjørende betydning ved beregning av ammoniakkonsentrasjon og CO₂-konsentrasjon.

Oksygenmålingene (Tabell 3 og 4, og Fig. 2) viser en økning fra Råvannet til Etter vannbehandling, noe som antageligvis skyldes luftingen (luftekasse i forsøk 1 og SaturOx i forsøk 2), men kan og forårsakes ved blanding av vann med ulik temperatur. Uansett er vannet godt egnet for videre oksygentilsetning på karkanten (Gj. str) og i oksygenkjegle (Resirk – SaturOx). Karmålingene i forsøk 1 viser noe høyere metning i resirkulasjonssystemet (ca. 5 %) i forhold til gjennomstrømmingssystemet. Dette kan tyde på

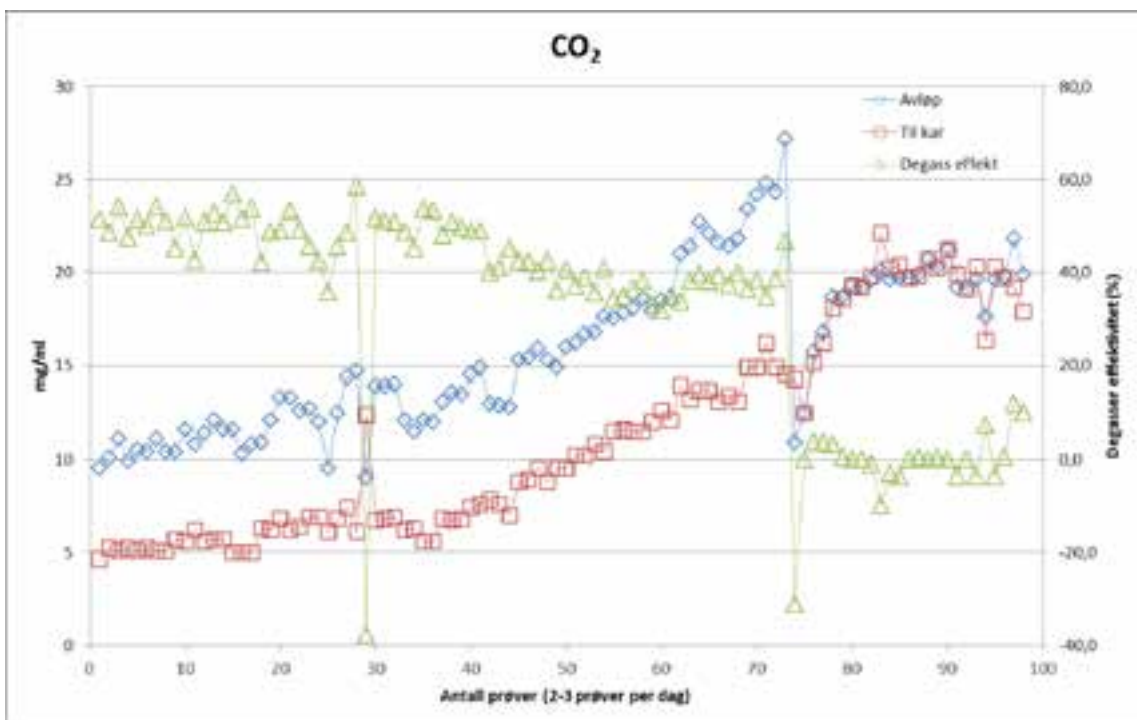
ulik innstilling eller ulik kapasitet på doseringsanlegget. Oksygenmetningen i karene vil variere med belastning og fôringsregime. Dermed vil de observerte svingningene for hele perioden sannsynligvis også kunne opptre i løpet av et døgn. Oksygenverdiene i gjennomstrømmingssystemet i forsøk 1 indikerer <80 % metning i halve forsøksperioden, men dette har bedret seg i forsøk 2. Resirkuleringssystemet blir driftet med gode oksygenverdier i avløpet i begge periodene.



Figur 2. Oksygenmetning i Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet i forsøksperiodene.

Konsentrasjonen av løst karbondioksid i Råvannet og Etter vannbehandling i forsøk 1 (Tabell 3) tilsvarer bakgrunnsverdier som normalt er til stede i vann som er i likevekt med friskluft (Bjerknes et al. 2007). I begge oppdrettssystemene tilsettes det oksygen for å øke produksjonen i forhold til tilgjengelig vannmengde. En slik reduksjon i spesifikt vannforbruk (vannmengde per kg fisk) fører til økt konsentrasjon av karbondioksid, reduksjon av pH, økt konsentrasjon av TAN og økt mengde av suspendert stoff. Dette gjør seg spesielt gjeldende i resirkulasjonssystemet i forsøk 1 hvor det er relativt høye konsentrasjoner av karbondioksid og relativ lav degassereffektivitet (Fig. 3) ved de ulike tidspunktene. Slike høye verdier overskrider alle anbefalinger og bør reduseres for å muliggjøre optimal vekst og fiskehelse. Basert på den beregnede degassereffektiviteten ble det anbefalt å vurdere alternative metoder for degassing og/eller optimalisere eksisterende metode (integret i biofilteret). Dette ble gjort i

for forsøk 2 og resultatene fra dette forsøket viser betraktelig bedre CO₂-verdier (Tabell 4). For øvrig viser data fra VK-undersøkelsene (NIVA 1999-2006) at laksesmolt kan få problemer når CO₂-konsentrasjonen overstiger 13-15 mg/l, men det finnes samtidig en del praktisk erfaring som viser at eksponering for langt høyere verdier tilsynelatende kan være uproblematisk (Bjerknes et al. 2007). Årsakene til denne forskjellen er lite kjent, men hyppige og brå svingninger ser ut til å være mer problematisk enn en gradvis økning i CO₂-konsentrasjonen, og når høy CO₂-konsentrasjon forekommer i kombinasjon med andre stressorer. Resultatene viser også relativ god korrelasjon mellom egne målinger (OxyGuard) og laboratoriemålingene, noe som kan tyde på riktig kalibrering av anleggets måleinstrument.

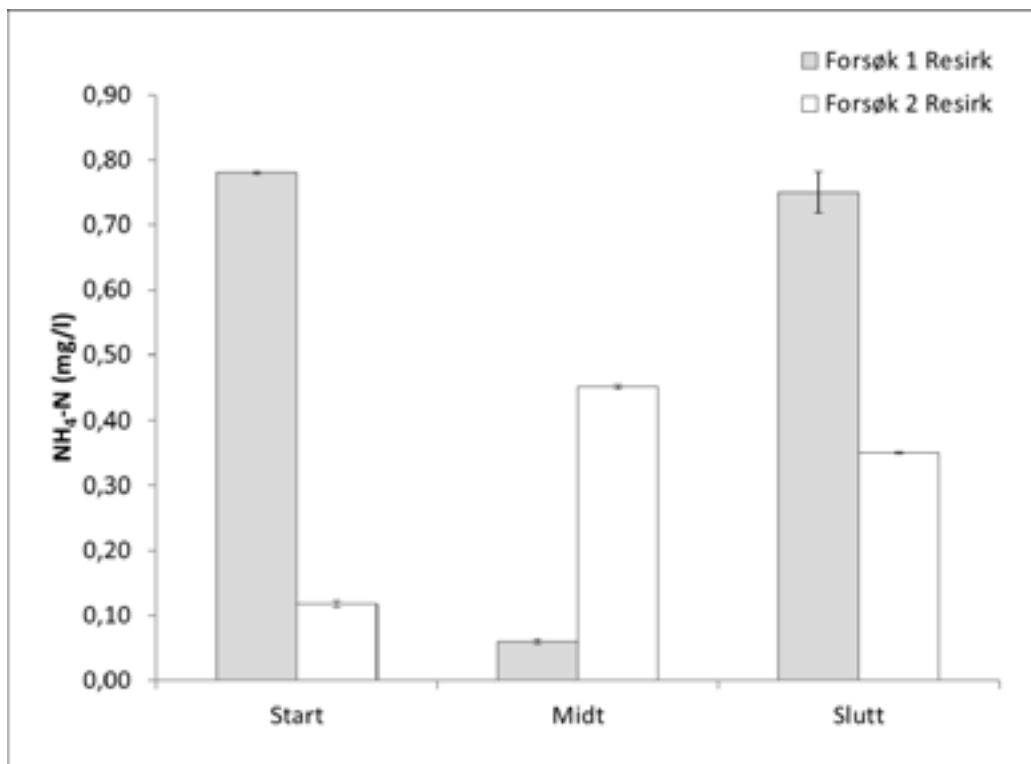


Figur 3. Sanntidsovervåking av løst karbondioksid og effektivitet av degassing i Resirkulasjonssystemet i forsøk 1.

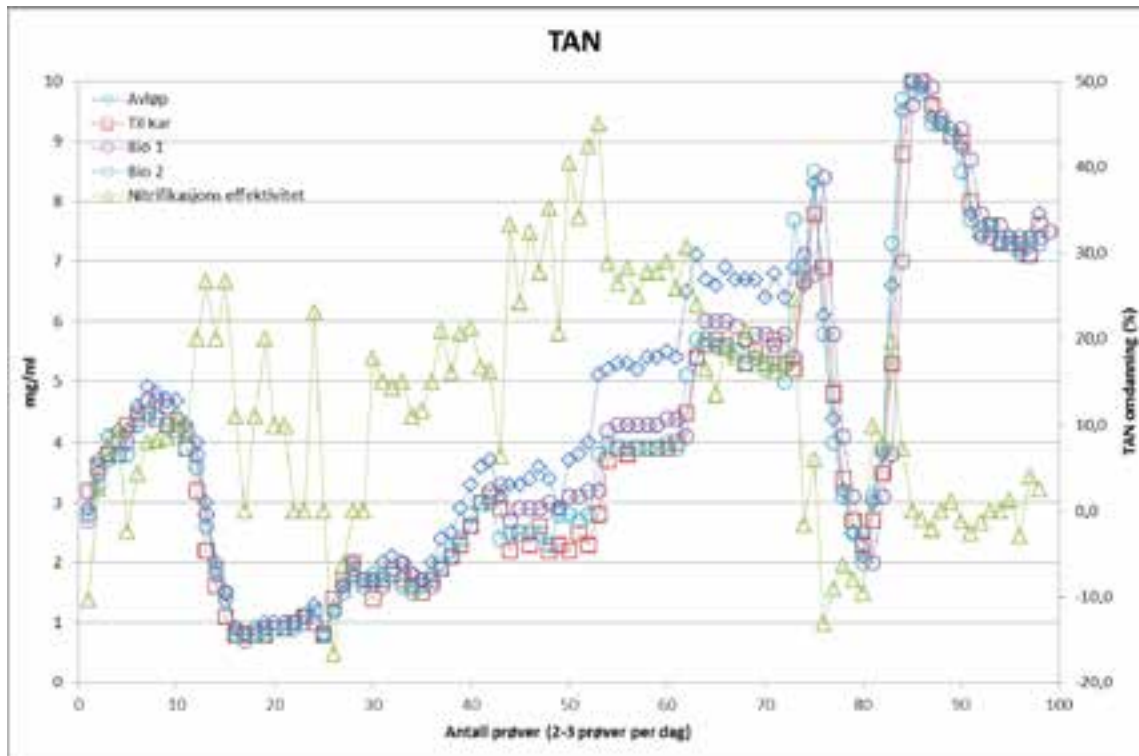
Nitrogenforbindelser

Ammoniakk er det viktigste ekskresjonsproduktet fra nitrogenmetabolismen hos de fleste beinfiskene. Ammoniakkforbindelsene forekommer som ionisert NH₄⁺ (ammonium) og uionisert gassform NH₃ (ammoniakk), og betegnes som totalammonium nitrogen (TAN). Fordelingen av de nevnte formene er avhengig av pH, saltholdighet og temperatur, hvor NH₃ regnes som den mest giftige formen. I et resirkuleringsanlegg benyttes et biofilter med nitrifiserende bakterier for å omdanne TAN til NO₃ (nitrat) via NO₂ (nitritt), og dermed reduseres konsentrasjonen av den mest giftige formen, NH₄/NH₃. Mellomproduktet NO₂ kan også forårsake problemer ved opphoping, både ved å senke pH og som et giftig produkt i seg selv.

Laboratorieresultatene viser lave konsentrasjoner av TAN både for resirkulasjonssystemet og gjennomstrømmingssystemet i hele forsøksperioden (Tabell 3 og 4, og Fig. 4). Forholdsvis like TAN-verdier (lab) tyder på relativ god omdanning av ammonium til nitritt og videre til nitrat i resirkulasjonssystemet. Slike lave verdier fører heller ikke til særlig høye NH_3 -konsentrasjoner. De kolorimetriske TAN-analysene som ble foretatt på anlegget og sanntidsovervåkingen (Fig. 5) avviker relativt mye fra laboratoriemålingene (Fig. 4). Årsaken til dette vites ikke med sikkerhet, men en mulig forklaring kan være enten mangelfull fiksering av laboratorieprøvene eller unøyaktighet ved de kolorimetriske analysene og feilkalibrering av sanntidssensoren. Hvis anleggsmålingene og sanntidsovervåkingen legges til grunn, ble resirkuleringsystemet i forsøk 1 driftet i perioder med TAN-konsentrasjoner over anbefalte grenseverdier, men de beregnede NH_3 -konsentrasjonene var uansett godt under anbefalte grenseverdier (Tabell 3). Relativt liten nedgang i TAN-konsentrasjonen mellom avløp og inntak til karet (og mellom Biofilter 1 og 2) indikerer et system som ikke fungerer optimalt i deler av forsøk 1 (Fig. 5). Hva dette skyldes er vanskelig å fastslå, men både ustabil vannkvalitet og umodent biofilter kan forårsake slike problemer. Resultatene fra forsøk 2 viser lavere TAN-verdier (Fig. 4), noe som indikerer bedre nitrifikasjon og et mer modent biofilter. Det ble anbefalt å øke alkaliteten til 0,8 mM basert på resultatene fra forsøk 1, for å unngå variasjon i pH og nitrifikasjonsaktiviteten og redusere CO_2 -konsentrasjonen. Dette ble ikke gjort, men optimalisering av delprosesser har likevel ført til en forbedring av ovennevnte. Det anbefales uansett å overvåke delprosessene nøye med kolorimetriske analyser eller lab-målinger.



Figur 4. TAN-konsentrasjon (målt som $\text{NH}_4\text{-N}$) i Resirkulasjonssystemet i forsøksperiodene.

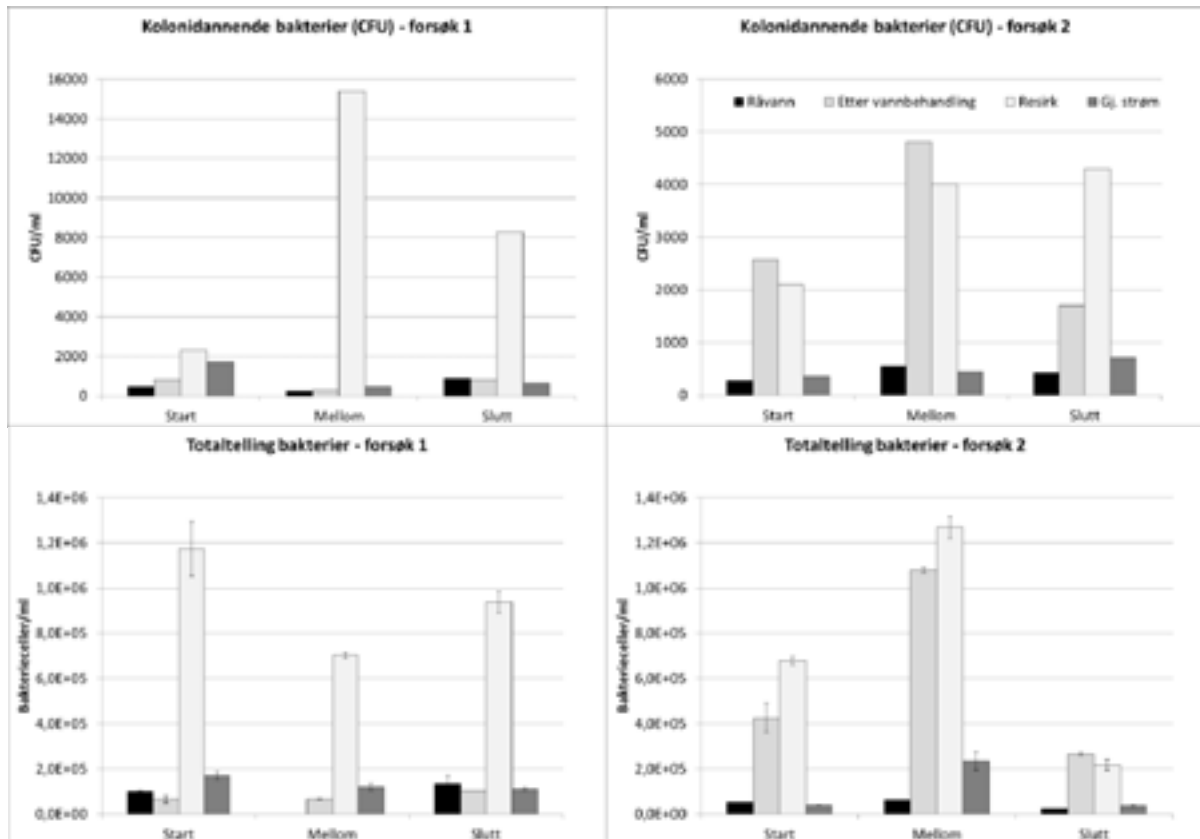


Figur 5. Sanntidsovervåking av TAN og nitrifikasjonseffektivitet i Resirkulasjonssystemet i forsøk 1. Nitrifikasjonseffektiviteten er beregnet ved relativ forskjell mellom verdiene i avløpet og innløpet til karet.

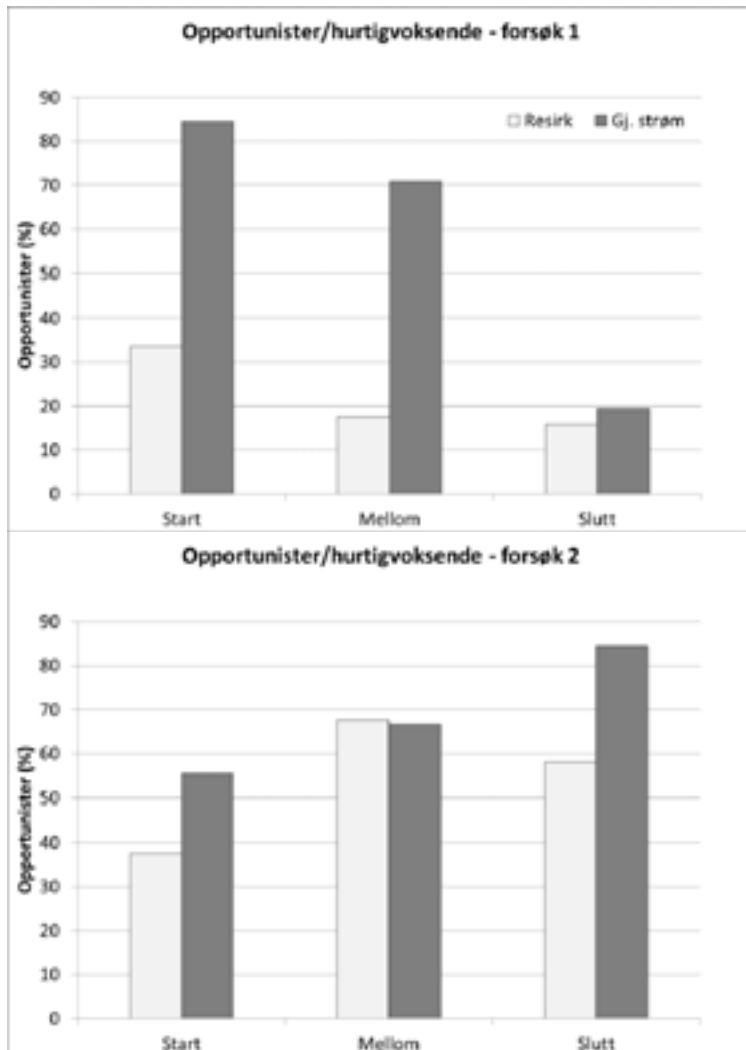
3.1.2 Mikrobiell karakterisering

Det mikrobielle samfunnet i tradisjonelle gjennomstrømmingssystemer styres i stor grad av inntaksvannet hvor det ofte er relativt lite organisk materiale og få bakterier (foruten flomperioder og i enkelte innsjøer). Vannbehandling av inntaksvannet og tilførsel av organisk materiale fra fisk og fôr kan endre dette forholdet. Forhøyede nivå av organisk materiale er ikke et problem i seg selv, men raske endringer til høye konsentrasjoner åpner opp for bakteriell kolonisering ved lav vannutskifting. Ved stor vannstrøm vil det mikrobielle samfunnet i karvannet representere variasjonen i inntaksvannet. Et resirkuleringsystem driftes ofte med høyere og stabile konsentrasjoner av organisk materiale, lav vannutskifting og et biologisk filter. Disse faktorene kan bidra til et mer stabilt system med høyere mengde bakterier som kan utkonkurrere opportunistiske bakterier og skape et bedre mikrobielt miljø for fisken.

Resultatene fra forsøkene viser høyere nivå av bakterier (både CFU og totaltelling) i resirkulasjonssystemet enn i gjennomstrømmingssystemet og med en lavere andel hurtigvoksende bakterier i resirkulasjonssystemet (Fig. 6 og 7). Både høyere oppholdstid, jevnere forsyning av organisk materiale, biofilteret og desinfisering av en delstrøm i resirkulasjonssystemet kan ha bidratt til dette.



Figur 6. Kolonidannende bakterier (CFU) og totalt antall bakterier (v/flow cytometri) i Råvann, Etter vannbehandling, Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet ved de tre hoveduttakene i begge forsøkene.



Figur 7. Prosent opportunistiske/hurtigvoksende bakterier (relative fraksjoner av CFU) i Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet ved de tre hoveduttakene i forsøk 1 og 2.

3.1.3 Partikkelkarakterisering

Partikkelanalysene indikerer høyere konsentrasjon i resirkulasjonssystemet enn i gjennomstrømmingssystemet, hvor konsentrasjonen er betraktelig lavere og tilnærmet lik inntaksvannet (Tabell 5 og Figur 8). Dette er for øvrig i samsvar med andre rapporter fra tilsvarende system. Det organiske materialet er substrat for bakterier og bidrar til oksygenforbruket og avfallsproduksjon når det blir brutt ned. Selv med et velfungerende filter med liten lysåpning (36 μm) inneholdt resirkulasjonssystemet 2-3,5 ganger mer TOC enn gjennomstrømmingssystemet i forsøk 1, og det samme bildet indikerte de øvrige partikkelanalysene (Tabell 5). Hvorvidt dette er positivt for fisken er vanskelig å avgjøre. TOC-resultatene fra forsøk 2 viser derimot en kraftig nedgang fra forsøk 1, hvor forbedret skumming (pga. høyere saltholdighet) og lengre oppholdstid i resirkulasjonssystemet (pga. CO₂-lufting på karkanten) kan være noe av forklaringen. De tilsvarende TSS-resultatene indikerer derimot en økning og

det er derfor vanskelig å konkludere hvorvidt resirkuleringssystemet i forsøk 2 fungerte bedre med tanke på partikkelfjerning.

Ved volumfordelingen av partikler utgjør ofte større partikler betraktelig mer volummessig enn små partikler. Volumfordelingen av partikler i råvannet viser en naturlig variasjon som i noen tilfeller også videreføres i produksjonsvannet (Fig. 9 og 10). Resultatene fra forsøk 1 viser større volummessig spredning i resirkuleringssystemet sammenliknet med gjennomstrømmingssystemet. I førstnevnte utgjør de største partiklene mer volummessig og sistnevnte er mer likt både råvannet og etter vannbehandling. Den samme tendensen kan sees i forsøk 2, men da med større likhet mellom de to produksjonssystemene og etter vannbehandling (avvikende prøvepunkt – internt i resirk-systemet).

Hvis man ser på antall partikler og deres størrelsesfordeling i forsøk 1, viser dette flest partikler $<6 \mu\text{m}$ for alle prøvepunktene og ved alle tidspunktene (ikke vist). Resultatene fra forsøk 2 viser samme trender, men med høyere totalantall partikler (ikke vist). Generelt kan det se ut som partikkelnivået i resirkulasjonssystemet ikke nødvendigvis akkumuleres over tid, men heller fluktuierer avhengig av den interne partikkelproduksjonen og at vannbehandlingen endrer partiklenes karakter (avskalling fra biofilteret og aggregering).

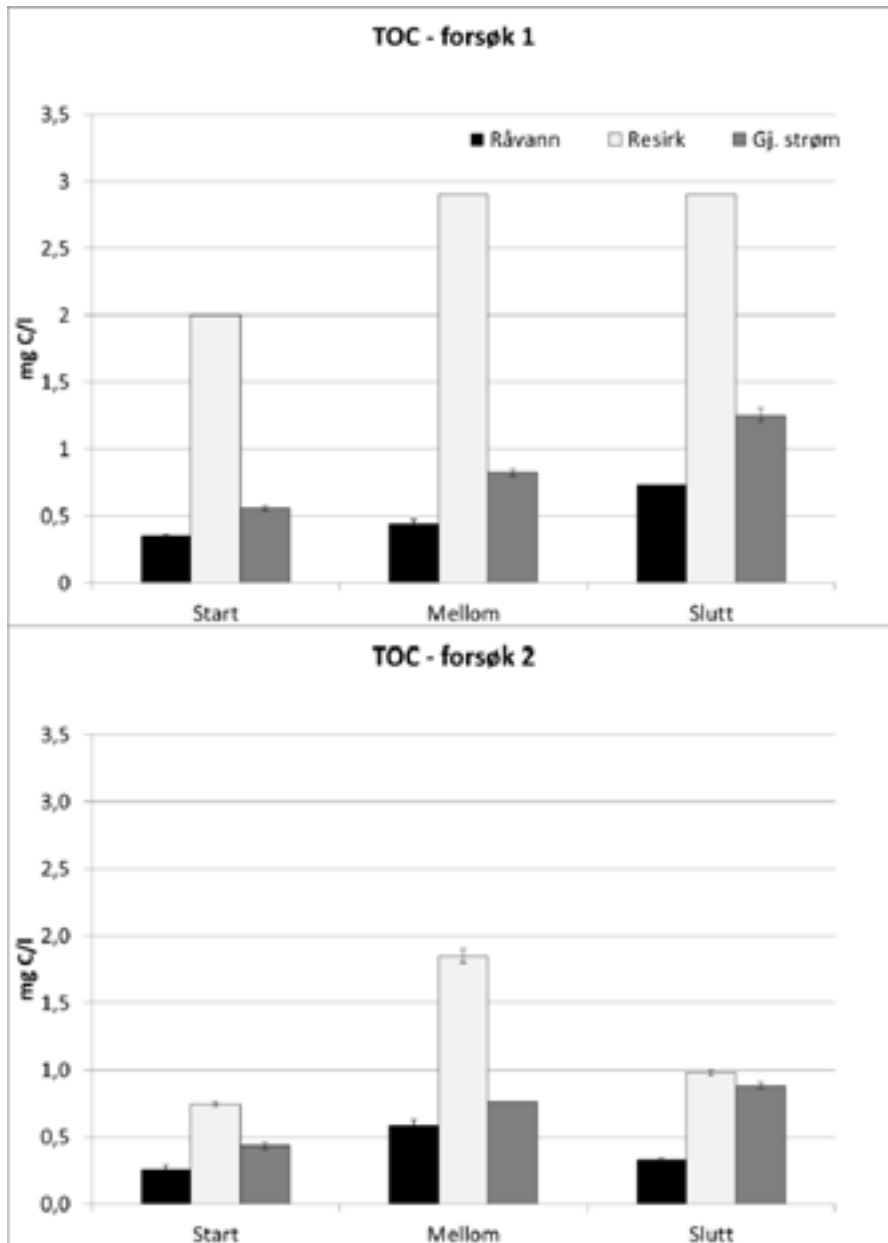
Tabell 5. Partikkelresultat fra Råvann, Etter vannbehandling, Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet ved de tre hoveduttakene (gjennomsnitt av 2 parallele målinger) i forsøk 1 (a) og 2 (b).

a

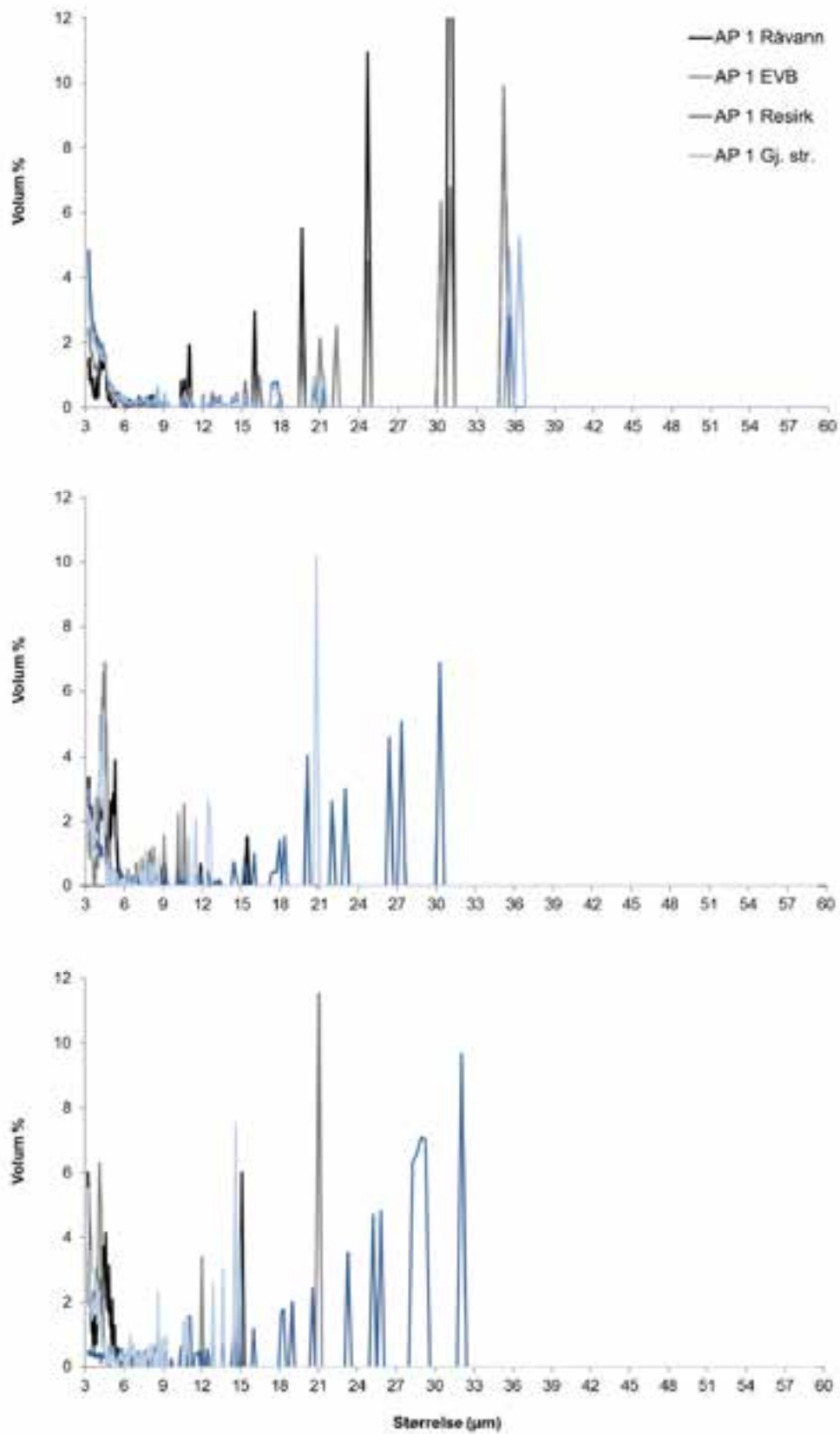
Periode System	Start 1.9.11				Mellom 22.9.11				Slutt 12.10.11			
	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.
Totalt organisk karbon (mg C/l)	0,36	0,28	2,00	0,56	0,42	0,54	2,90	0,83	0,73	0,78	2,90	1,25
Turbiditet (FNU)	0,76	0,30	1,36	0,57	0,24	0,28	0,65	0,27	0,26	0,25	0,45	0,27
Totalt suspendert stoff (mg/l)	0,27	0,26	0,74	0,38	0,38	0,47	0,80	0,38	0,26	0,29	0,77	0,45

b

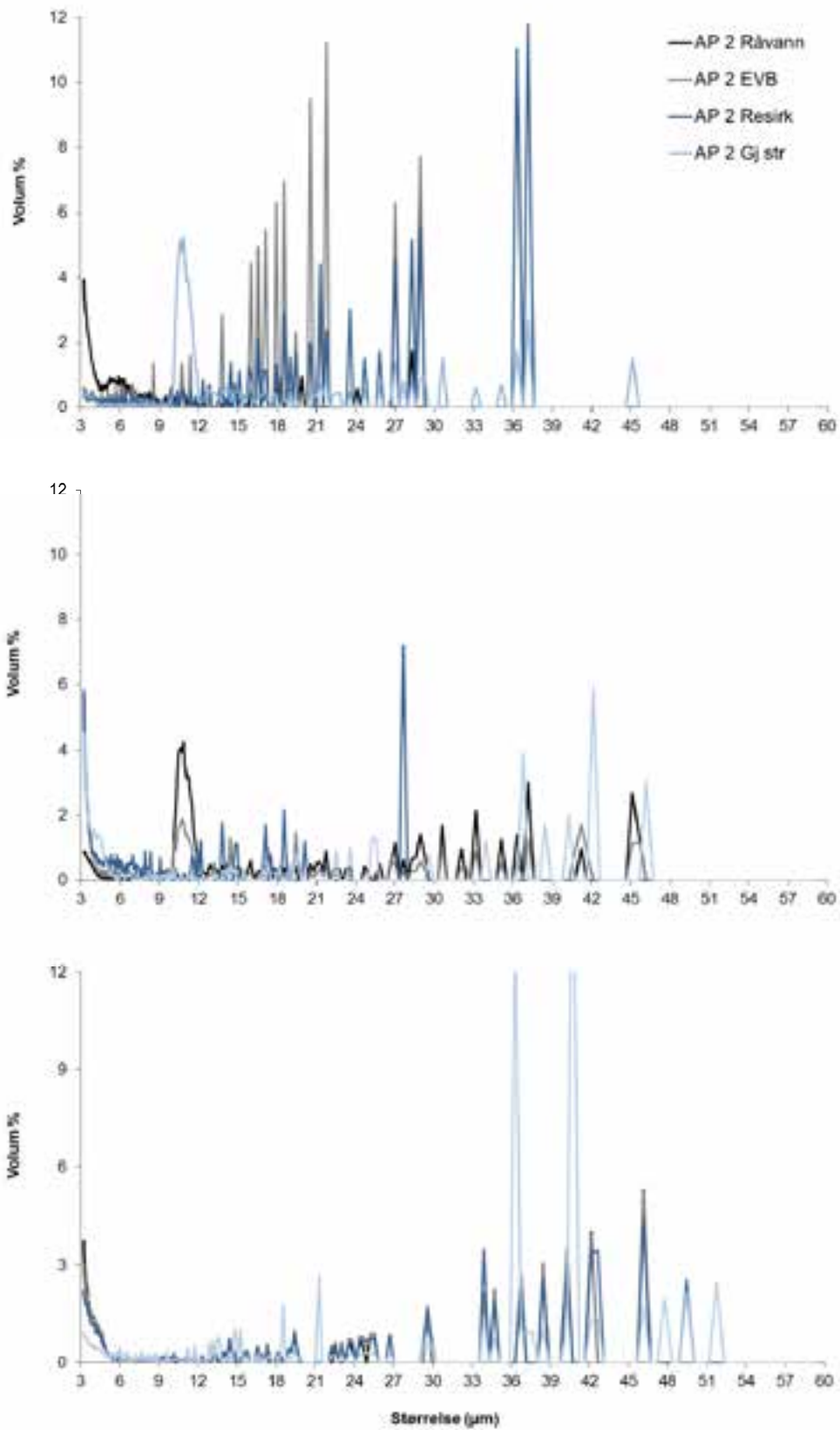
Periode System	Start 22.6.12				Mellom 6.7.12				Slutt 1.8.12			
	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.	Råvann	EVB	Resirk	Gj.str.
Totalt organisk karbon (mg C/l)	0,26	-	0,75	0,44	0,59	-	1,85	0,76	0,34	-	0,98	0,89
Turbiditet (FNU)	0,42	0,43	0,60	0,74	0,55	1,05	0,61	0,61	0,44	0,53	0,48	0,43
Totalt suspendert stoff (mg/l)	0,36	0,72	0,96	0,83	0,33	1,21	1,40	0,83	0,44	1,66	2,03	2,31



Figur 8. Totalt organisk karbon (TOC) i Råvann, Etter vannbehandling, Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingsystemet ved de tre hoveduttakene i forsøk 1 og 2.



Figur 9. Volumfordeling (%) av partikler (3,2-60 μm) i Råvann, Etter vannbehandling, Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet ved start, etter 3 uker og slutt i forsøk 1.



Figur 10. Volumfordeling (%) av partikler (3,2-60 μm) i Råvann, Etter vannbehandling, Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet ved start, etter 3 uker og slutt i forsøk 2.

3.1.4 Blodparameter

Samlet sett gir de beskrevne blodparametere (Tabell 6 og Fig. 11 til 13) en god oversikt over fiskens primære helsetilstand (vann/ionebalanse og syre-base balanse). Blodparametere kan karakteriseres som sekundære stressrespons-indikatorer (organismens fysiologiske og regulatoriske stressrespons). Denne metodikken og måleparameterne er mye brukt innen human- og veterinærmedisin (Harrenstien et al. 2005, Jacobs et al. 1993, Pidetcha et al. 2000).

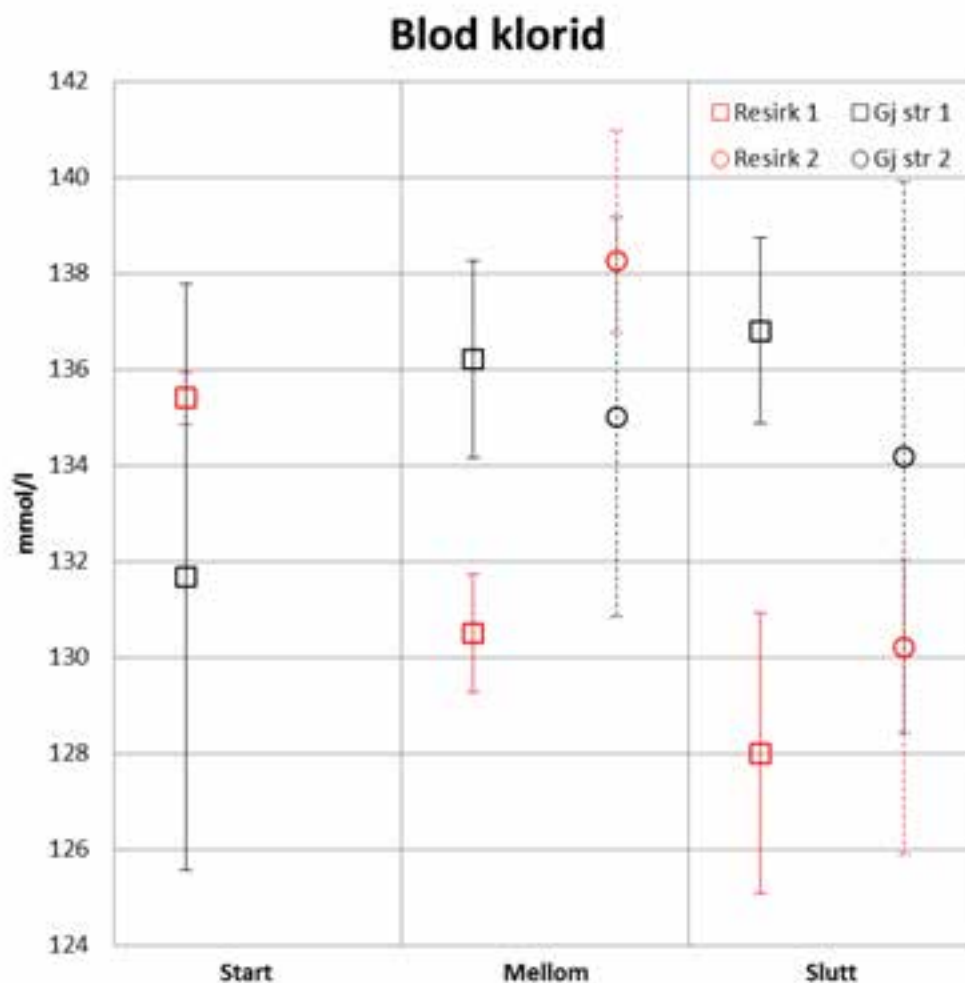
Generelt viser analysene blodparametere innenfor normalområdet i begge forsøkene, uten klare tegn til fiskevelferdsmessige utfordringer verken i resirkuleringsystemet eller i gjennomstrømmingssystemet. Sammenlignet med gjennomstrømmingssystemet er verdiene noe annerledes. Dette skjer på grunn av tilpasninger til vannmiljøet, og er ikke i seg selv tegn på annet enn en vellykket tilpasning.

Tabell 6. Blodparameter fra Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet ved de tre hoveduttakene (gjennomsnitt av 4-6 fisk \pm standard avvik (SD)) i forsøk 1 og 2. Ved start i forsøk 2 var iSTAT-instrumentet ute av drift.

	Forsøk 1 (1.9.-12.10.11)						Forsøk 2 (22.6.-1.8.12)					
	Start		Midt		Slutt		Start		Midt		Slutt	
	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.
Cl (mmol/l)	135,4 \pm 0,5	131,7 \pm 6,1	130,5 \pm 1,2	136,2 \pm 2,0	128,0 \pm 2,9	136,8 \pm 1,9	-	-	138,3 \pm 1,5	135,0 \pm 4,2	130,2 \pm 4,3	134,2 \pm 5,7
Glukose (mmol/l)	4,7 \pm 0,4	11,0 \pm 3,3	5,8 \pm 1,0	4,5 \pm 0,3	5,4 \pm 0,5	5,3 \pm 0,5	-	-	5,8 \pm 0,5	9,9 \pm 6,5	7,4 \pm 1,1	7,2 \pm 3,4
pH	7,28 \pm 0,07	7,15 \pm 0,07	7,44 \pm 0,09	7,18 \pm 0,06	7,40 \pm 0,07	7,20 \pm 0,11	-	-	7,16 \pm 0,07	7,07 \pm 0,04	7,21 \pm 0,05	7,10 \pm 0,05
HCO ₃ (mmol/l)	6,8 \pm 0,07	3,1 \pm 0,5	11,0 \pm 1,1	4,5 \pm 0,7	12,0 \pm 2,6	5,6 \pm 0,6	-	-	6,3 \pm 1,2	3,0 \pm 0,3	5,7 \pm 1,3	4,0 \pm 0,7
Lengde (cm)	11,6 \pm 0,7	11,4 \pm 0,7	13,8 \pm 0,9	12,9 \pm 0,7	16,7 \pm 1,6	16,0 \pm 0,4	-	-	14,9 \pm 0,5	14,8 \pm 0,8	16,6 \pm 0,8	15,2 \pm 0,8
Vekt (g)	19,6 \pm 2,7	16,8 \pm 4,5	34,7 \pm 5,9	28,3 \pm 4,5	60,4 \pm 18,8	52,0 \pm 5,5	-	-	43,2 \pm 6,1	37,8 \pm 5,8	55,2 \pm 6,7	42,0 \pm 7,0

Ionebalanse

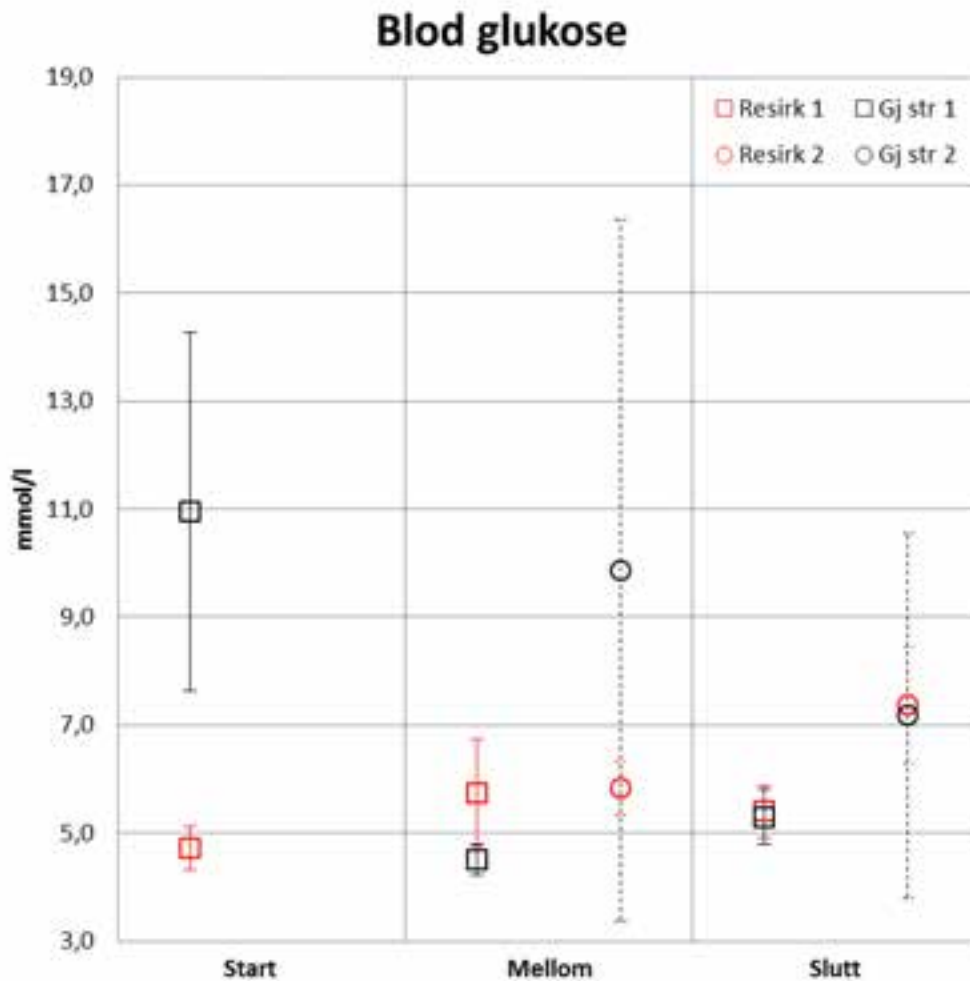
Na, K og Cl var innenfor fiskens normalområde i begge systemene, dog med noe avtakende kloridnivåer i resirkulasjonssystemet over tid. Dette kan henge sammen med at fisk under høye CO₂-nivåer kvitter seg med HCO₃⁻ akkumulert i røde blodceller o.a. ved at denne byttes med Cl⁻ over cellemembranen. Reduserte kloridnivåer ved høy CO₂ (også ved hyperoxi) er vanlig observert. Kloridnivået i blodet var lavere eller tilnærmet lik i resirkulasjonssystemet sammenliknet med gjennomstrømmingssystemet i begge forsøkene, på tross av langt høyere nivåer i vannet grunnet sjøvanntilsetning, noe som indikerer en aktiv reguleringsprosess (Fig. 11).



Figur 11. Kloridkonsentrasjon i blod fra fisk (verdier fra 2-5 fisk) ved de tre hoveduttakene, 1 (start), 2 (etter 3 uker/mellom) og 3 (slutt) i forsøk 1 og 2.

Glukose

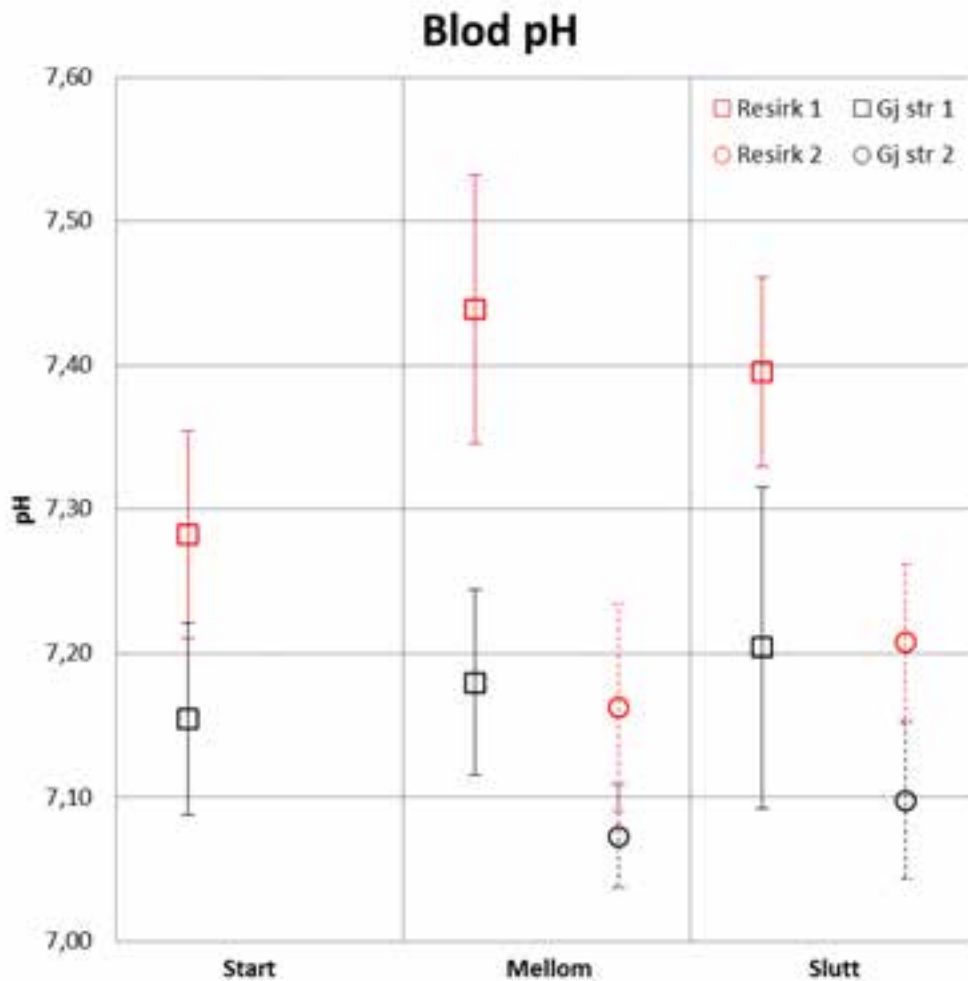
Blodglukose benyttes mye som en sekundær stressindikator og nivåene i blodet vil øke som følge av håndteringstress (opp mot dobling av verdiene) og kjemisk stress (metaller, plantevernmidler mm, opp mot 4-6 ganger normalnivåer) i løpet av timer til dager etter start på eksponeringen. Vi regner 3-6 mM som normalverdier for sultet fisk, og opp mot 7-8 mM for fisk som fordøyer fôr. Ut i fra disse normalnivåene har fisken i gjennomstrømmingssystemet ved noen tilfeller tegn til stress, mens de øvrige ligger innenfor normalområdet (Tabell 6 og Fig. 12).



Figur 12. Glukosekonsentrasjon i blod fra fisk (verdier fra 4-5 fisk) ved de tre hoveduttakene, 1 (start), 2 (etter 3 uker/mellom) og 3 (slutt) i forsøk 1 og 2.

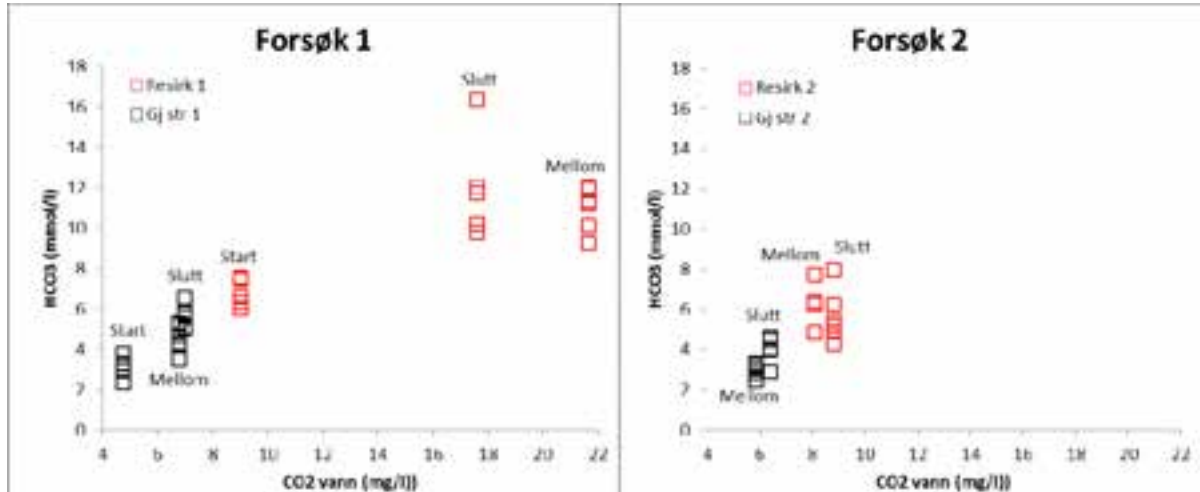
Syre-base balanse

Fisk vil søke å opprettholde sin syre-base balanse på et optimalt nivå gjennom å skille ut syre-base ekvivalenter etter behov. pH reguleres til et optimalt nivå i blod gjennom utskillelse av CO_2 over gjellene og bikarbonat i nyrene til et nivå på rundt 7,8 i arterielt blod. pH vil variere noe mer i venøst blod avhengig av mengden CO_2 som må fraktes bort fra cellene, men ligger normalt mellom 7,2-7,6. Resultatene fra forsøk 2 viser betraktelig bedre CO_2 -verdier i resirk-vannet (Tabell 4), noe som gjenspeiles i lavere pH og lavere konsentrasjon av bikarbonat (Tabell 6).



Figur 13. pH i blod fra fisk (verdier fra 5-6 fisk) ved de tre hoveduttakene, 1 (start), 2 (etter 3 uker/mellom) og 3 (slutt) i forsøk 1 og 2.

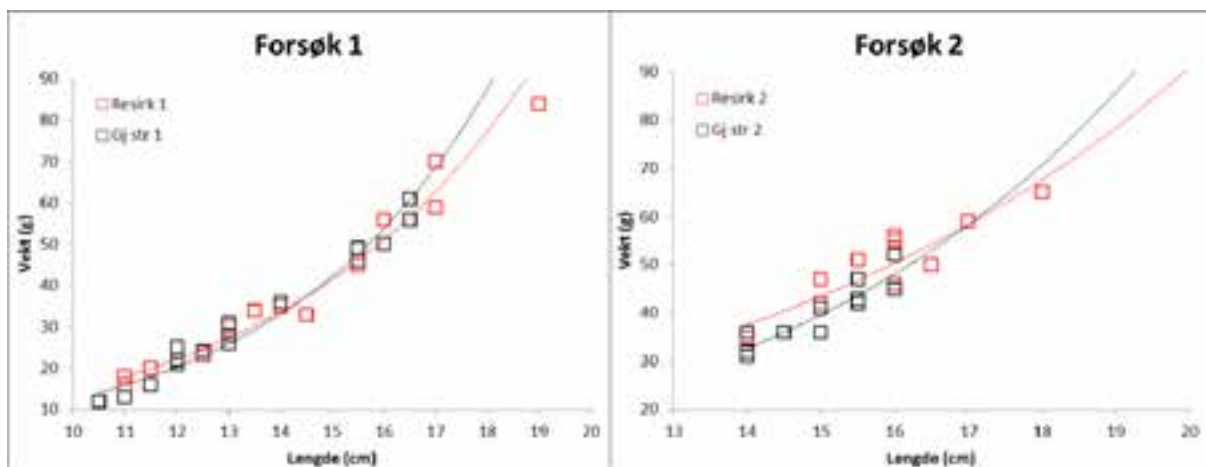
Bikarbonatnivået i blodet er vist å være svært avhengig av vannets CO_2 innhold, da CO_2 fra blod må skilles ut via diffusjon over gjellene langs en konsentrasjonsgradient. Et høyt partialtrykk av CO_2 i vannet vil derfor avtvinge en økt bufferkapasitet i blodet for å kunne generere en tilstrekkelig pCO_2 gradient for utskilling av CO_2 over gjellene. Enzymet karbonsyre anhydrase sørger for å omdanne HCO_3^- til CO_2 (g) i gjellene. Som vist (Fig. 14) er sammenhengen mellom vannets CO_2 innhold og fiskens HCO_3^- konsentrasjon sterk. Det samme mønsteret ses i gjennomstrømmingssystemet ved høyere CO_2 innhold.



Figur 14. Sammenheng mellom bikarbonat blod fra fisk (verdier fra 4-6 fisk) og karbondioksid i karvannet ved de tre hoveduttakene, start, mellom og slutt i forsøk 1 og 2.

Vekst

Vekstdata (Tabell 6 og Fig. 15) kan tyde på større grad av lengdevest hos fisken i resirkulasjonssystemet. Det bør følges opp da det kan være en interessant effekt av karmiljøet.



Figur 15. Vekstdata fra fisk ved alle hoveduttakene, start, mellom og slutt i forsøk 1 og 2.

3.1.5 Metaller

De negative effektene av frie metaller i vann er i første omgang knyttet til utfelling/binding av de positive metallformene til de negativt ladde celleoverflatene i fiskegjellene. Slike utfellinger kan forårsake problemer for fisken ved å irritere gjellevevet, noe som fører til økt slimutskillelse som kan påvirke respirasjonen og ionereguleringen (Bjerknes et al. 2007). Vannanalysene og gjelleanalysene (manglende fra forsøk 2) indikerer jevnt over lave metallkonsentrasjoner i tidsperioden som forsøkene pågikk (Tabell 7).

Slike lave konsentrasjoner utgjør ingen fare for fisken, men sesongmessige variasjoner kan forekomme og det anbefales derfor å overvåke metallnivåene også i perioder med flom og snøsmelting. Ved tilstedeværelse av organisk materiale vil metallene ofte danne komplekser og dermed reduseres giftigheten, men ved saltvannstilsetning eller ved lut- kalktilsetning kan endringen i pH forårsake frigjøring av metaller, hvor spesielt polymerisering av aluminium kan få uheldige konsekvenser (tidsavhengig giftighet). Det er rapportert noen tilfeller av akkumulering av kobber i resirkulasjonssystemer, og dette kan det også sees antydninger til i disse forsøkene. Konsekvensene av dette er fremdeles usikkert, men det anbefales å overvåke kobber i slike systemer.

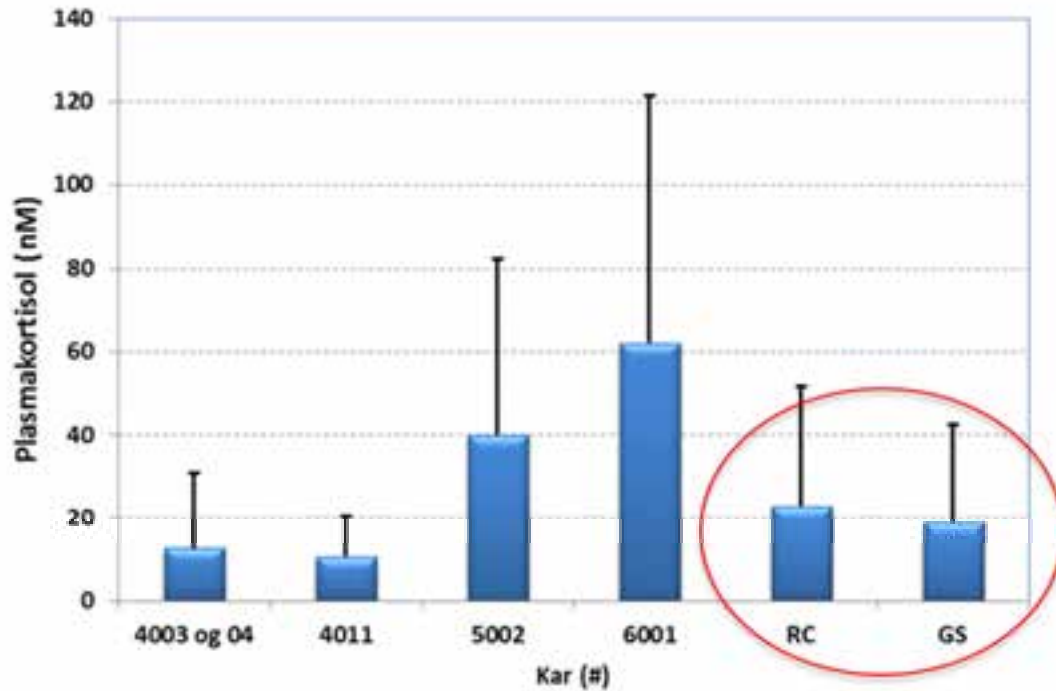
Tabell 7. Metallresultater fra vannprøvene og gjelleprøvene i begge forsøkene. Mangler gjelleresultat fra forsøk 2.

	Forsøk 1 (1.9.-12.10.11)						Forsøk 2 (22.6.-1.8.12)					
	Start		Midt		Slutt		Start		Midt		Slutt	
	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.
Al (µg/l)	-	-	6	7	7,7	16,9	6,0	9,5	7,2	24,4	5,4	7,4
Cu (µg/l)	2,7	1,1	3,0	<2	5,1	1,7	2,0	2,0	2,9	0,9	3,7	3,0
Fe (µg/l)	10,0	12,0	9,1	12,5	5,2	3,4	8,3	24,5	20,0	20,0	20,0	15,0
Gjelle Al (µg/g)					1,0	1,5					-	-
Gjelle Cu (µg/g)					1,8	1,5					-	-
Gjelle Fe (µg/g)					283,3	259,7					-	-

3.1.6 Stressmapping

Dette arbeidet ble utført som en underleveranse fra Universitetet i Nordland og er lagt ved rapporten (vedlegg 2).

Resirkuleringsteknologien som ble brukt i dette forsøket gav en produksjon av lakseparr med lave daglige stressnivåer sammenliknbart med noe av de laveste en har målt i kommersielle settefiskanlegg i Norge (Fig. 16). Dette tyder på at resirkuleringsteknologi kan benyttes i kommersiell lakseproduksjon på lik linje med vanlig tradisjonell gjennomstrømningsanlegg, og hvis en driver anlegget optimalt vil en også produsere fisk i henhold til god dyrevelferdsmessig praksis.



Figur 16. Gjennomsnittlig plasmakortisol (nM) \pm SD) ved anlegget i perioden 2009-2011 og i de 2 forsøkene, resirkulasjon (RC) og gjennomstrøm (GS).

3.1.7 Produksjonsdata

Innsamling av produksjonsdata er utfordrende og bidrar dermed til noe usikkerhet, men sett under ett er det mulig å trekke rimelig sikre konklusjoner. Resirkulasjonssystem og gjennomstrømmingssystem har en del iboende forskjeller som vil påvirke produksjonen, hvor kanskje de viktigste forholdene som temperatur og fôring (svak overføring) er relativt like. Beregninger av fiskebiomassen er basert på målinger under sorteringene i forsøksperioden og viser relativt lik produksjon og overlevelse i de to systemene hvis det tas hensyn til ulik fiskestørrelse i de 2 forsøkene (Tabell 8). Hvis mulig anbefales det å følge fisken i sjøfasen (forsøk 2) for å undersøke hvilken effekt produksjonssystemene gir i påvekstfasen.

Tabell 8. Produksjonsparameter i Resirkulasjonssystemet og Gjennomstrømmingssystemet ved start og slutt i forsøk 1 og 2.

	Forsøk 1 (1.9.-12.10.11)				Forsøk 2 (22.6.-1.8.12)			
	Start		Slutt		Start		Slutt	
	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.	Resirk	Gj.str.
Antall fisk	99609	7682	99535	7896	49864	68023	49824	67981
Snittvekt (gr)	15,2	15,8	49,3	47,9	42,0	35,0	69,3	45,7
Biomasse (kg)	1518	121	4905	378	2094	2381	3452	3105
Tetthet (kg/m ³)	24	16	77	50	33	12	54	16
Daglig spesifikk vekstrate (%)			2,9	2,7			1,3	0,7
Overlevelse (%)			99,9	99,9			99,9	99,9
Gjennomsnittlig vannmengde (l/min)	1530	250	1360	250	940	1500	910	1500
Spesifikt vannforbruk (l/kg fisk/min)	1,00	2,10	0,28	0,67	0,45	0,63	0,26	0,48

4. Konklusjon

I det følgende blir konklusjonene fra begge forsøkene sett under ett presentert. Det blir spesielt fokusert på effekten av de anbefalte tiltak som ble iverksatt etter forsøk 1 (Delrapport ReCirk 1).

4.1 ReCirk 1 og 2 (Forsøk 1 og 2)

Sett under ett viser forsøkene at Resirkuleringssystemet (Artec Pilot) kan benyttes til kommersiell smoltproduksjon på lik linje med tradisjonelt gjennomstrømmingssystem. Ved optimal drift vil også fiskevelferden bli godt ivaretatt. Forskjellene i forsøksperiodene gjenspeiler hovedsakelig forskjellene mellom driftssystemene, hvor resirkulasjonssystemet inneholdt mer løst karbondioksid, nitrogenavfall, partikler og organisk materiale, spesielt i forsøk 1. Etter optimalisering av delprosesser og inkludering av CO₂-lufting på karkanten ble nivåene av de nevnte parameterne betraktelig redusert. Samtidig viser resultatene relativ lik temperatur i de to systemene, noe som er viktig for god sammenlikning av systemene.

4.1.1 Generell vannkvalitet

Selv om enkelte parametere varierte relativt mye i løpet av forsøksperioden var vannkvaliteten jevnt over god for begge driftssystemene. Varierende pH og relativt høye CO₂-verdier i forsøk 1 ble erstattet med mer stabil pH og lavere CO₂-verdier i forsøk 2. Likevel kan det være mer å hente ved å øke alkaliteten til 0,8 mM for å minimere variasjon i pH og redusere CO₂-konsentrasjonen ytterligere. Basert på målingene i Resirk-avløpet fungerte innløsingen av O₂ tilfredsstillende og ga høye og stabile verdier. TAN-verdier (lab) ble også forbedret fra forsøk 1 til forsøk 2, noe som indikerer bedre nitrifikasjon og et mer modent biofilter

4.1.2 Mikrobiell karakterisering

De mikrobielle undersøkelsene viser et relativt høyt nivå av bakterier (både CFU og totaltelling) i Resirkulasjonssystemet enn i Gjennomstrømmingssystemet og med en lavere andel hurtigvoksende bakterier i førstnevnte. Generelt tyder dette på et stabilt system med høyere mengde bakterier som kan utkonkurrere opportunistiske bakterier og skape et bedre mikrobielt miljø for fisken. Både høyere oppholdstid, jevnere forsyning av organisk materiale, biofilteret og desinfisering av en delstrøm i resirkulasjonssystemet kan ha bidratt til dette. Det relativt høye bakterienivået kan med fordel reduseres noe ved bedre partikkelfjerning og/eller en optimalisering av desinfiseringsprosedyrene.

4.1.3 Partikkelkarakterisering

Partikkelresultatene indikerer høyere konsentrasjon og en svak akkumulering og stabilisering i resirkulasjonssystemet, og i gjennomstrømmingssystemet er konsentrasjonen betraktelig lavere og tilnærmet lik inntaksvannet. Dette er for øvrig i samsvar med andre rapporter fra tilsvarende system og ser ikke ut til å ha påvirket fisken negativt. For øvrig var det lavere partikkelnivåer i forsøk 2, noe som indikerer forbedret partikkelfjerning, antageligvis gjennom forbedret skumming (på grunn av noe høyere saltholdighet) og redusert vannhastighet internt i resirkuleringssystemet (redusert vannhastighet på grunn av CO₂-lufting på karkanten).

4.1.4 Blodparameter

Generelt viser analysene blodparametere innenfor normalområdet, uten klare tegn til fiskevelferdsmessige utfordringer verken i Resirkuleringssystemet eller i Gjennomstrømmingssystemet. Sammenlignet med Gjennomstrømmingssystemet er verdiene noe annerledes. Dette skjer på grunn av tilpasninger til vannmiljøet, og er ikke i seg selv tegn på annet enn en vellykket tilpasning.

4.1.5 Metaller

Vannanalysene og gjelleanalysene indikerer jevnt over lave metallkonsentrasjoner i tidsperioden som forsøkene pågikk. Slike lave konsentrasjoner utgjør ingen fare for fisken, men sesongmessige variasjoner kan forekomme og det anbefales derfor å overvåke metallnivåene også i perioder med flom og snøsmelting. Tenk også over hvilke konsekvenser raske pH-endringer vil gi for forholdet mellom fritt- og bundet metall. Det er rapportert noen tilfeller av akkumulering av kobber i resirkulasjonssystemer (muligens antydning til dette også i de her beskrevne forsøkene) og konsekvensene av dette er fremdeles usikkert, men det anbefales å overvåke kobber i slike systemer.

4.1.6 Stressmapping

Resirkuleringsteknologien som ble brukt i dette forsøket gav en produksjon av lakseparr og laksesmolt med lave daglige stressnivåer sammenliknbart med noe av de laveste en har målt i kommersielle settefiskanlegg i Norge. Dette tyder på at den testede resirkuleringsteknologi kan benyttes i kommersiell lakseproduksjon på lik linje med tradisjonelle gjennomstrømningsanlegg, og hvis en driver anlegget optimalt vil en også produsere fisk i henhold til god dyrevelferdsmessig praksis. Se for øvrig vedlegg 2 for utfyllende detaljer.

4.1.7 Produksjonsdata

Resultatene indikerer relativt lik produksjon og overlevelse i de to systemene. Hvis mulig anbefales det å følge fisken i sjøfasen for å undersøke hvilken effekt produksjonssystemene gir i påvekstfasen (etter forsøk 2).

5. Referanser

Bjerknes, V. (red.), 2007. Vannkvalitet og smoltproduksjon. ISBN 978-82-8090-018-0. Juul forlag.

Eliason, E.J., Higgs, D.A., Farrell, A.P., 2007. Effect of isoenergetic diets with different protein and lipid content on the growth performance and heat increment of rainbow trout. *Aquaculture*, 272, pp. 723–736.

Harrenstien, L. A., Tornquist, S. J., Miller-Morgan, T. J., Fodness, B. G. & Clifford, K. E., 2005. Evaluation of a point-of-care blood analyzer and determination of reference ranges for blood parameters in rockfish. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 226, 255–265.

Iversen, M., Finstad, B., Nilsen, K.J., 1998. Recovery from loading and transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture* 168, 387-394.

Jacobs, E., Vadasdi, E., Sarkozi, L. & Coman, N., 1993. Analytical evaluation of i-STAT portable clinical analyzer and use by nonlaboratory health-care professionals. *Clinical Chemistry* 39, 1069–1074.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no