

NOTAT

15. mars 2016

Til: NEKST AS v/Kjell Audun Aasen

Fra: NIVA v/Åse Åtland

Prosjektnummer NIVA: O-15376

J.nr. 0349/16

Årsovervåking av vannkvalitet for NEKST AS

I oktober 2015 ble det inngått en avtale mellom NEKST AS og NIVA Akvakultur om overvåking av vannkvaliteten i anlegget. Opplegget omfattet totalt 12 vannprøver av driftsvann samt en prøve av ubehandlet råvann. Månedlig prøvetaking over en periode på ett år.

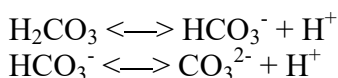
Dette notatet er en foreløpig sammenstilling av prøveresultatene for perioden 30. oktober til og med 22. februar 2016. Samtlige prøver er analysert ved NIVAs laboratorium etter akkrediterte metoder.

Rapporten vurderer vannresultatene ut fra etablerte grenseverdier for enkeltparametere i vitenskapelig litteratur, og er sammenholdt med NIVAs database for råvann benyttet til akvakulturformål (VK databasen, som dekker over 80 % av alle vannkilder som benyttes p.t., se for eksempel Kristensen *et al.* 2009a).

Resultater og vurdering

Surhetsgrad og Bufferevne

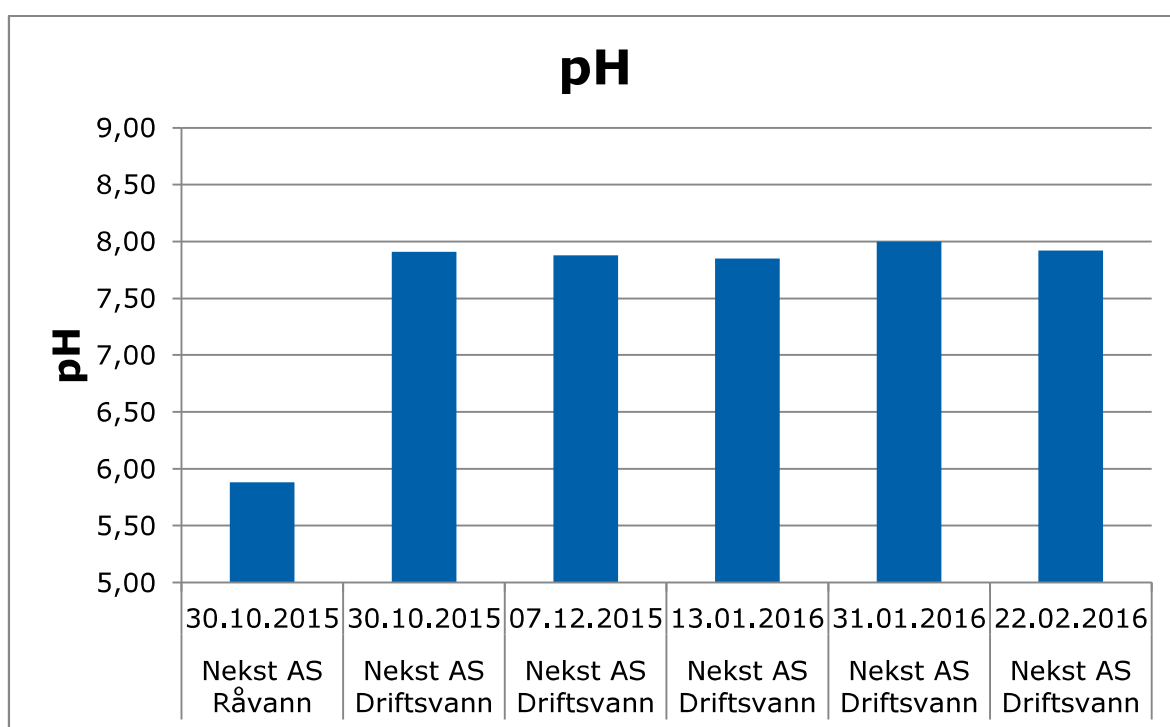
pH er et mål for vannets surhetsgrad og pH representerer den negative logaritmen til konsentrasjonen av H⁺-ioner (-log [H⁺]). Vannets pH (surhetsgrad) styres av forholdet mellom syrer og baser, men effektene av syre/base-tilsetning modereres av ulike buffersystemer. Det viktigste buffersystemet i naturlig overflatevann er knyttet til uorganisk karbon, i form av karbondioksid (CO₂), bikarbonat (HCO₃⁻) og karbonat (CO₃²⁻). CO₂ løses lett i vann, og en liten del (<1 %) vil også reagere med vann og danne karbonsyre (H₂CO₃). CO₂ + H₂O \rightleftharpoons H₂CO₃. Avhengig av pH i vannet vil denne dissosiere til HCO₃⁻ og eventuelt også CO₃²⁻.



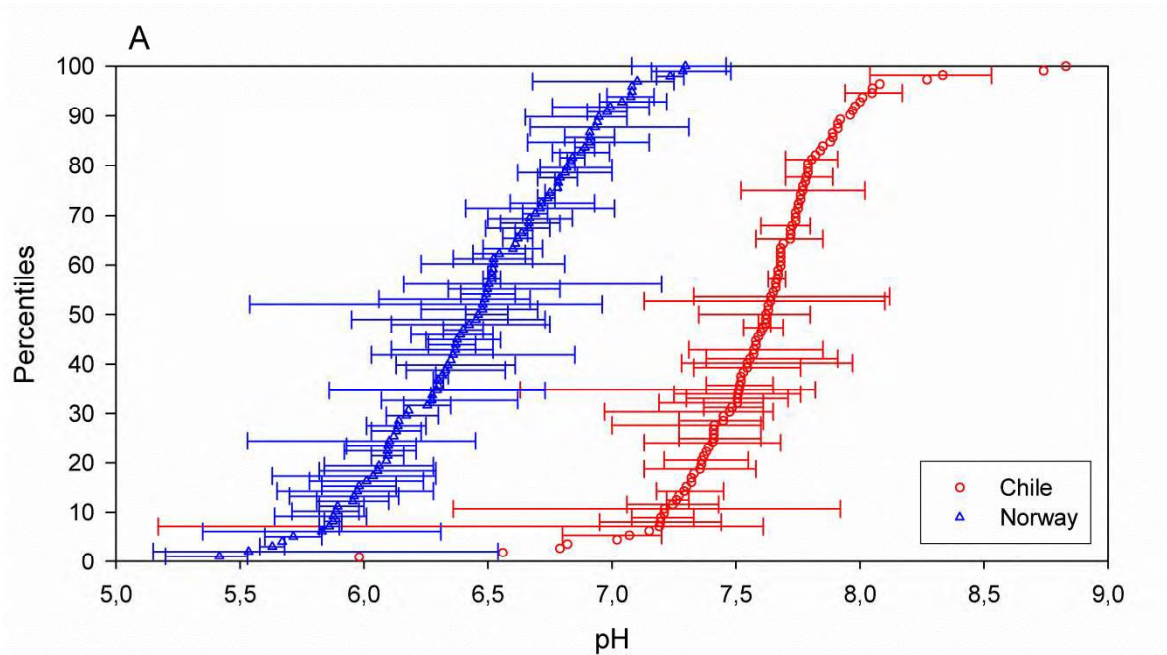
En stabil og jevn pH er ønskelig siden dette reduserer fysiologisk stress på fisken. pH kontrollerer en rekke løselighets- og likevektsreaksjoner (diskutert under de ulike parametrene) i vann og den viktigste er forholdet mellom ammonium (NH₄⁺) og ammoniakk (NH₃). pH virker også inn på giftigheten av hydrogensulfid og metaller (aluminium, jern, kobber, kadmium, sink). For smolt av Atlantisk laks er det anbefalt at

vannet har en pH mellom 6,2 og 7,8. pH i råvannet til NEKST AS lå noe i overkant av med en pH som varierte fra 7,85-8,00 dette (figur 1). Det er lite erfaring med oppdrett i vann med så høy pH. Til sammenligning er gjennomsnittlig pH i råvann til norske settefiskanlegg 6,44, mens den var på 7,56 i Chile (figur 2).

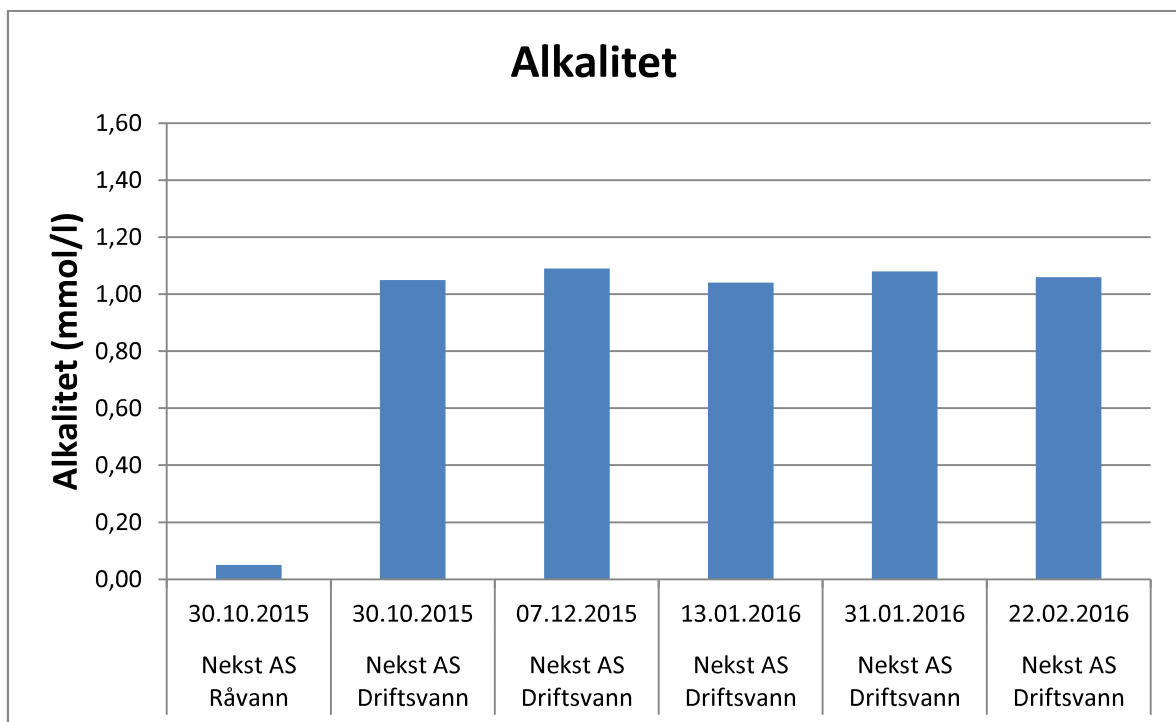
Bufferkapasiteten basert på alkalitet (figur 3) var også langt høyere enn gjennomsnittet for norske settefiskanlegg – om lag 10 ganger høyere. En god bufferkapasitet er fordelaktig, og gjør vannets pH mer stabil ved flom og store nedbørmengder. Det samme gjelder under intensiv produksjon da pH-fallet i kar vil bli mindre pga. fiskens produksjon av CO₂ når bufferkapasiteten er god.



Figur 1: pH-verdier prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.



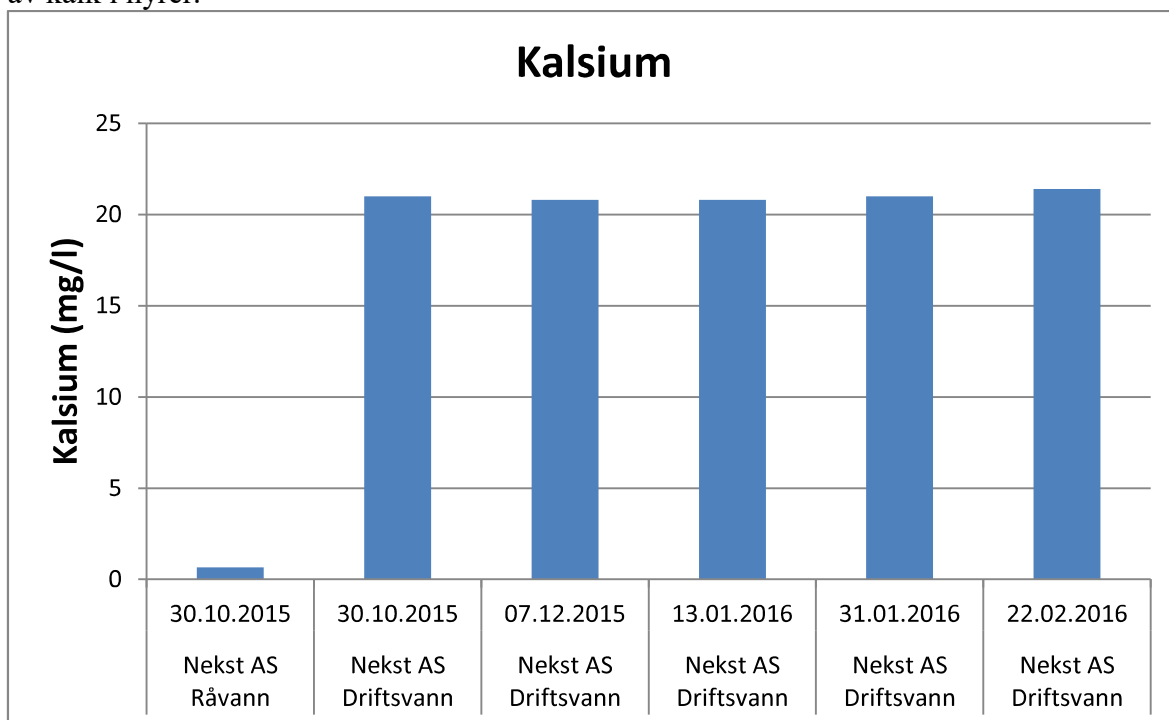
Figur 2: Kalsiumkonsentrasjoner (mg/l) i råvann i Norge og Chile (Kristensen et al 2009).



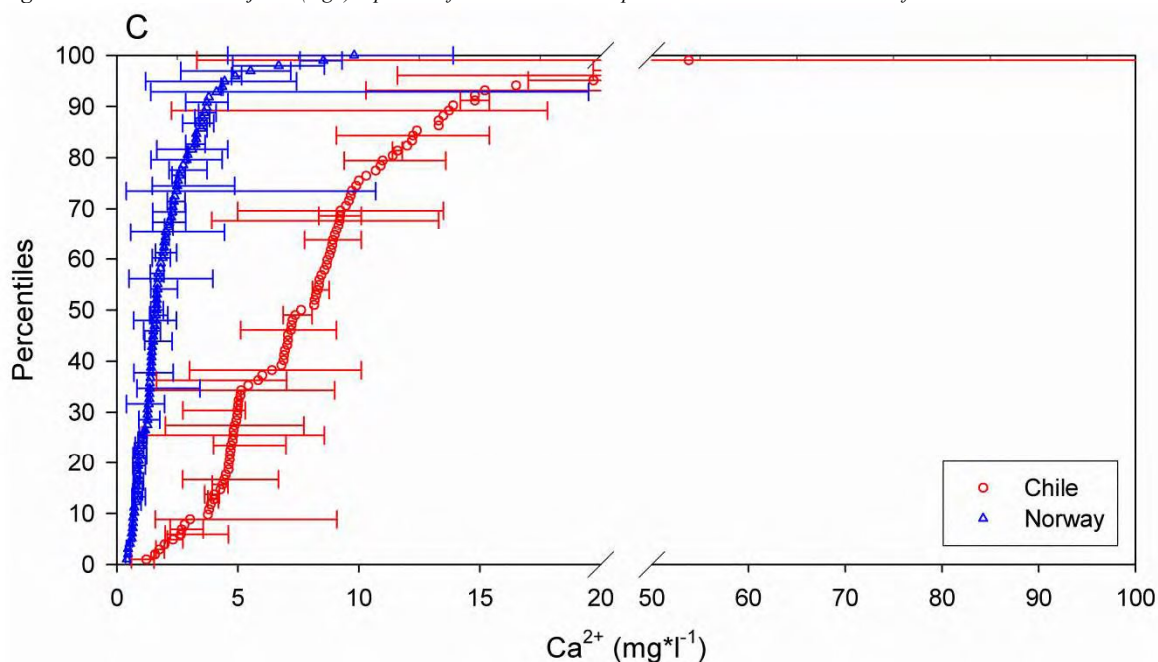
Figur 3: Alkalitet (mmol/l) i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.

Kalsiumkonsentrasjonen i vannet på NEKST AS var høy (20,8-21,4 mg/L), mens gjennomsnittlig Ca-konsentrasjon i VK-databasen ligger på 1,90 mg/l (figur 4). Også vannets Hardhet var betydelig høyere enn snittet i Norge (figur 6). Kalsiumnivået fra

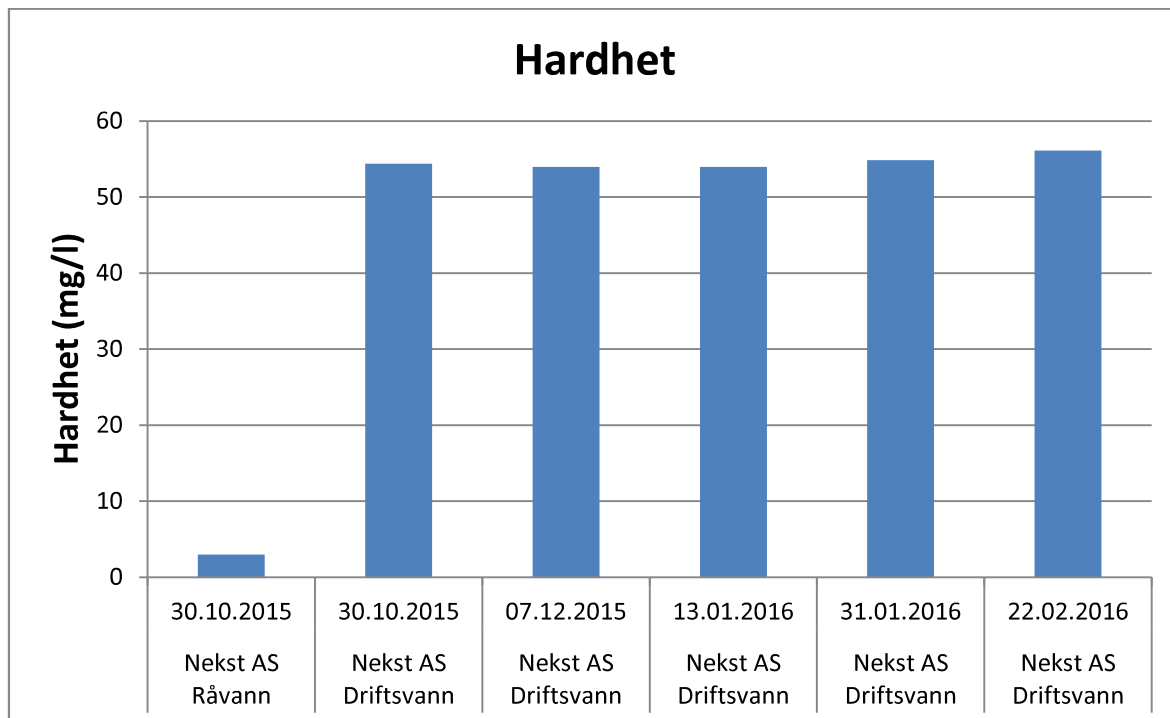
NEKST AS er også høyere enn i råvannet til smoltanlegg i Chile (figur 5). En høy konsentrasjon av kalsium i vannet er i utgangspunktet fordelaktig med hensyn på beskyttelse mot giftighet av metaller. Vi regner kalsiumverdier på >2-2.5 mg Ca/L som tilstrekkelig for å avgifte aluminium i lave konsentrasjoner, men det er nødvendig med høyere Ca-konsentrasjon for andre metaller, slik som f.eks. kobber. Det er imidlertid rapportert fra enkelte anlegg at svært høye Ca-nivåer kan medføre problemer med avleiring av kalk i nyrer.



Figur 4: Kalsiumkonsentrasjoner (mg/l) i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.



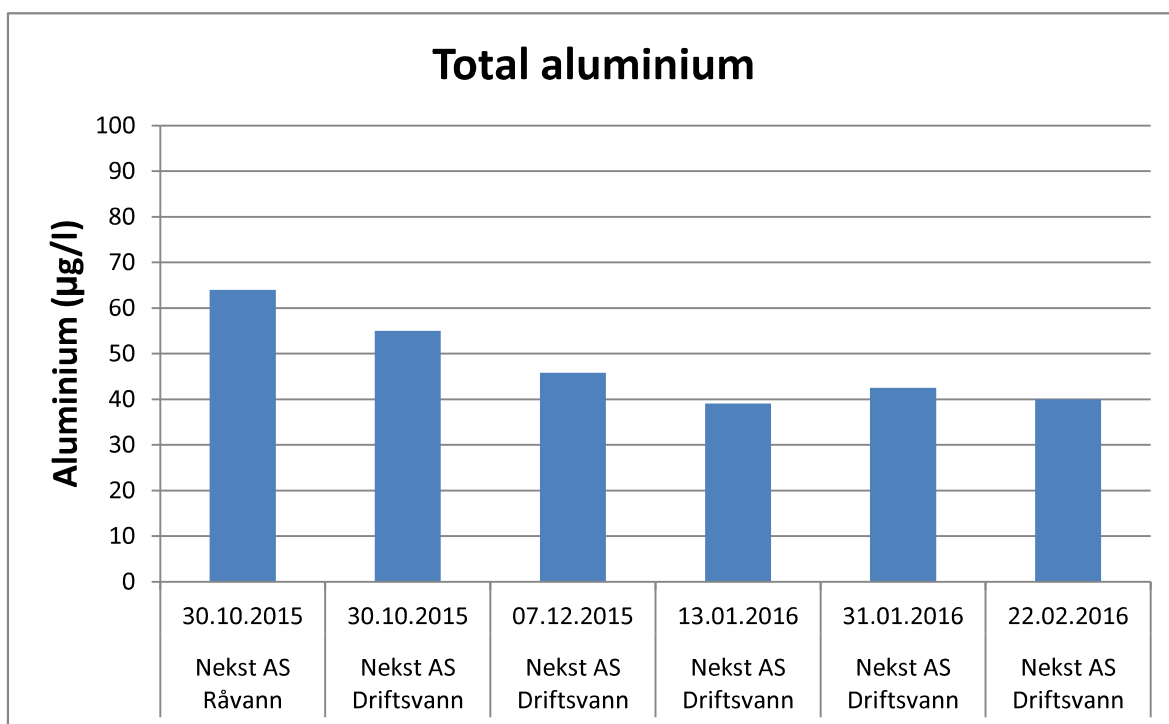
Figur 5: Kalsiumkonsentrasjoner (mg/l) i råvann i Norge og Chile (Kristensen et al 2009).



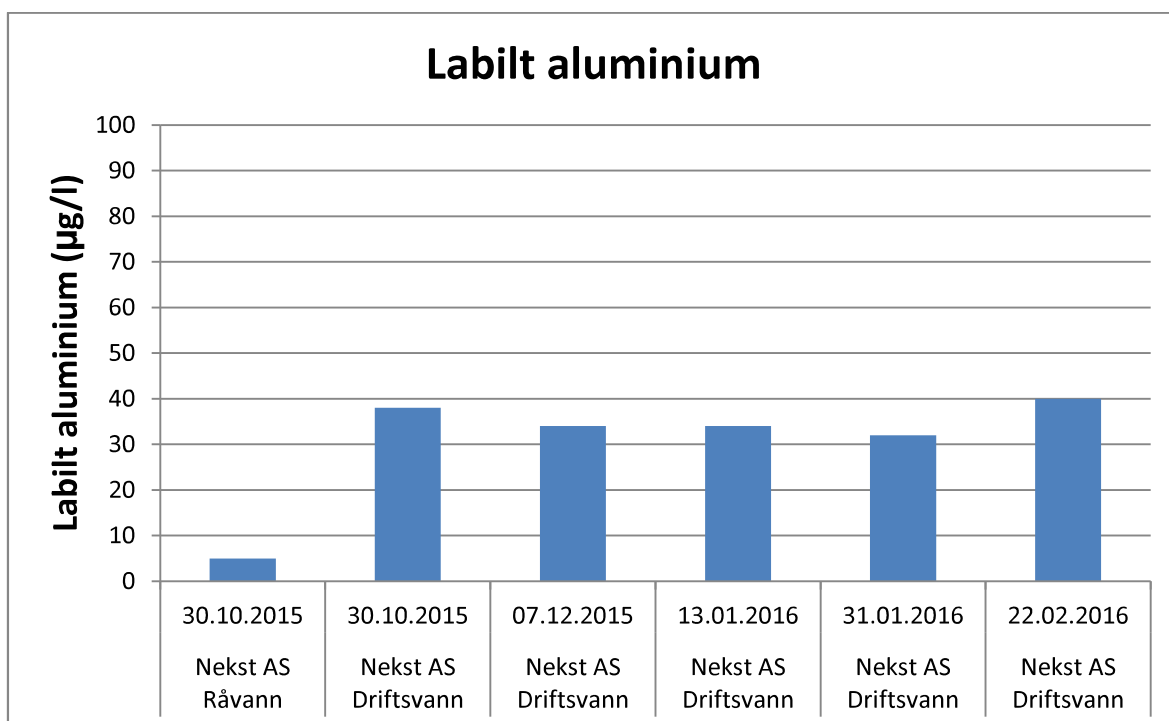
Figur 6: Hardhet (mg/l) i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.

Metaller

Konsentrasjonen av aluminium (målt som total Al) varierte fra 39,1-55 µg/l, og var dermed noe lavere enn gjennomsnittlig verdi i VK-databasen (62 µg/L) på (Figur 7, Tabell 1).



Figur 7: Konsentrasjoner (µg/l) av total aluminium i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.

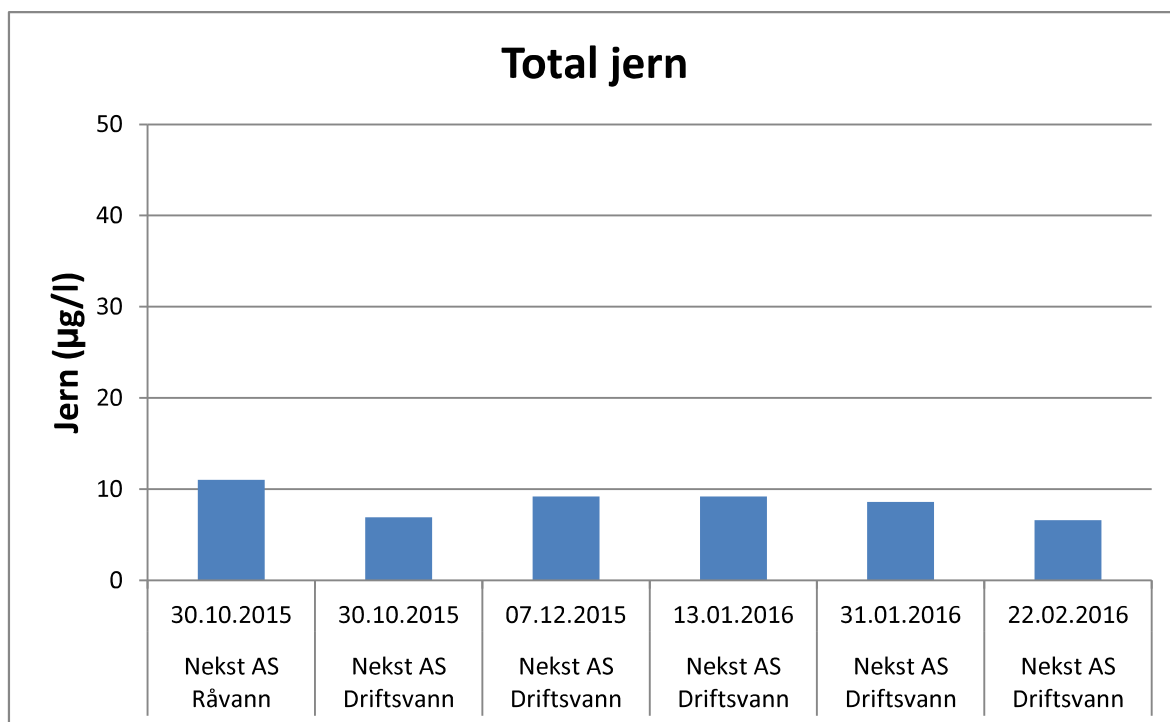


Figur 8: Konsentrasjoner (µg/l) av labilt aluminium i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.

Labilt (LAI) eller uorganisk monomert Al (Al_i) er den formen som er mest skadelig for fisk, mens organisk eller partikkelbundet aluminium kan bli giftig ved bruk av sjøvann. Labilt aluminium ble målt ved samtlige prøvetidspunkter, og konsentrasjonen varierte fra

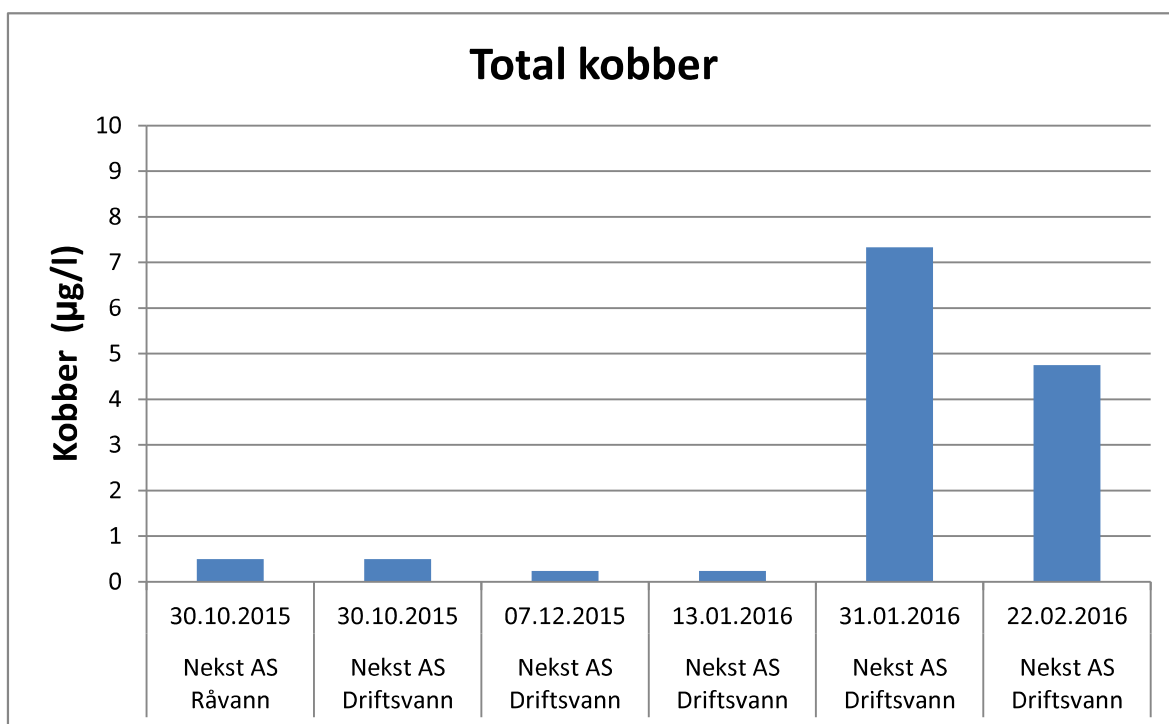
32-40 $\mu\text{g/l}$ (figur 8). Vi har tidligere satt ca. 15-20 μg labilt Al/L som grenseverdi for skader på laksesmolt i ferskvann, og høyere verdier for yngel (se Rosseland 1999). Nyere forskning har imidlertid vist at selv verdier ned mot og under 10 μg labilt/L i pH området < 6,2 i ferskvannsfasen rett før sjøutvandring kan forstyrre laksens fysiologi og redusere marin overlevelse (Kroglund og Finstad 2003, Kroglund et al. 2007, Stefansson et al. 2006). Nivåer som forårsaker skade for andre stadier er høyere. Når det gjelder labilt aluminium vil mellom 5-10 $\mu\text{g/L}$ (Kroglund et al. 2008) være tilstrekkelig til å «slå ut» sjøvann isoformen av Na-K-ATPase ($\alpha 1\text{b}$ Na-K-ATPase) i siste fase av smoltifiseringen (Nilsen et al. 2010). Det er viktig å merke seg at ved en så høy pH som den som ble målt her vil ikke disse resultatene være direkte overførbare. Det vi registrerer som labilt aluminium NEKST AS er ikke Al_3^+ , men derimot labilt Al i form av negativt ladd aluminat $\text{Al}(\text{OH})_4^-$.

Jernnivåene var lave, og varierte fra 6,6-9,2 $\mu\text{g/l}$ (figur 9). Det mest kritiske for fisk er når toverdig jern kommer i kontakt med luft og oksyderes (Teien m. fl. 2008). De målte nivåene av jern er helt uproblematisk for fisk.

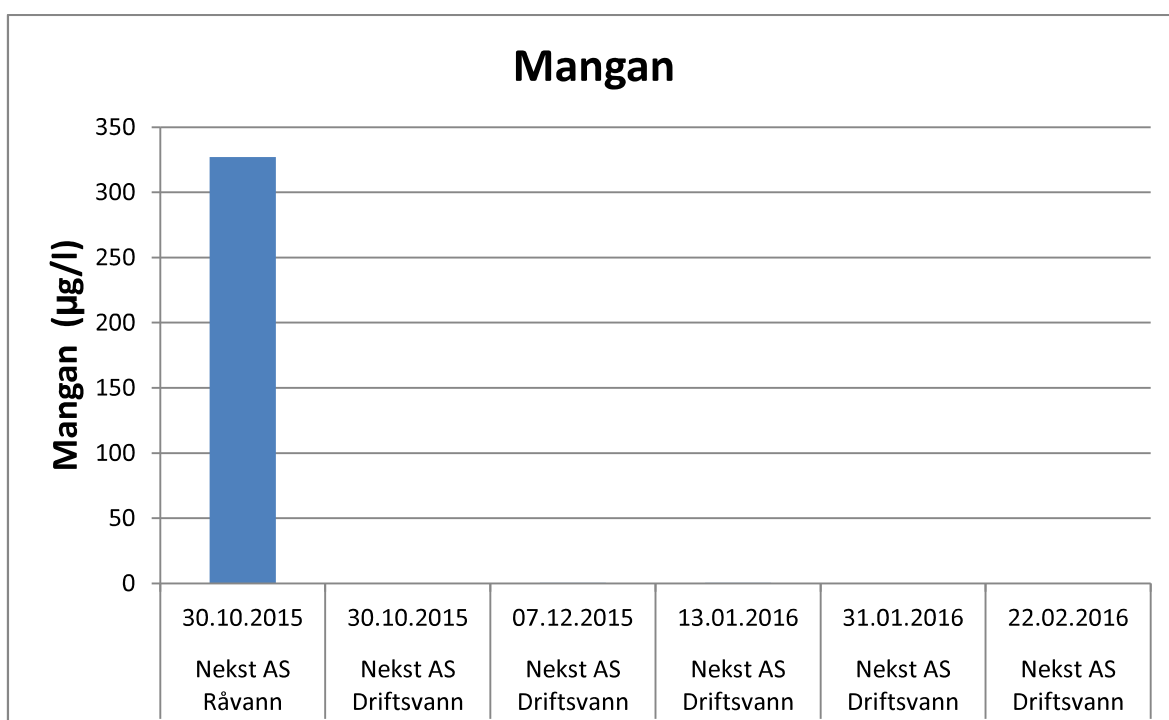


Figur 9: Konsentrasjoner ($\mu\text{g/l}$) av total jern i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.

Kobber kan også være giftig for fisk, og resultatene viste forhøyede kobbernivåer ved to av prøvetakingstidspunktene dvs. den 31. januar og den 22. februar (figur 10). Mangan var svært høy i råvannsprøven tatt på den første dato, men uproblematisk lave etter vannbehandlingen på samtlige datoer (figur 11).



Figur 10: Konsentrasjoner (µg/l) av total kobber i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.

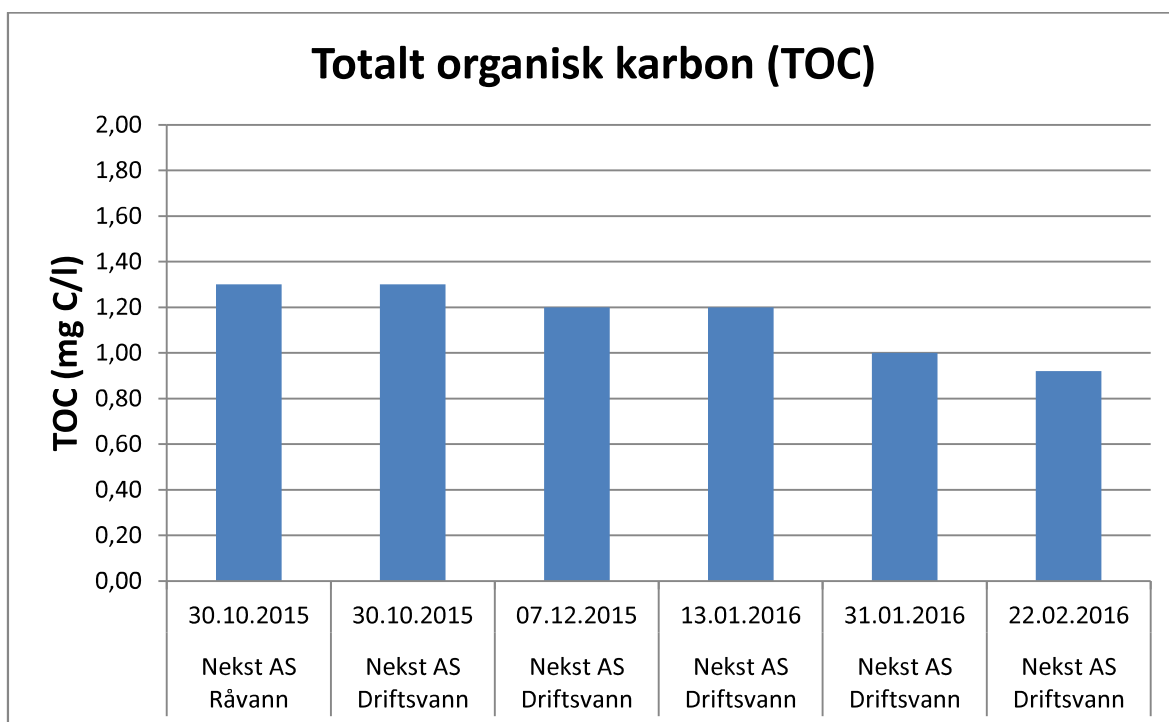


Figur 11: Konsentrasjoner (µg/l) av total mangan i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.

Organisk materiale

Innholdet av organisk materiale (totalt organisk karbon, TOC) er viktig for å si noe om giftighet av metaller. Ved høye TOC-nivåer vil en stor del av metallene foreligge som

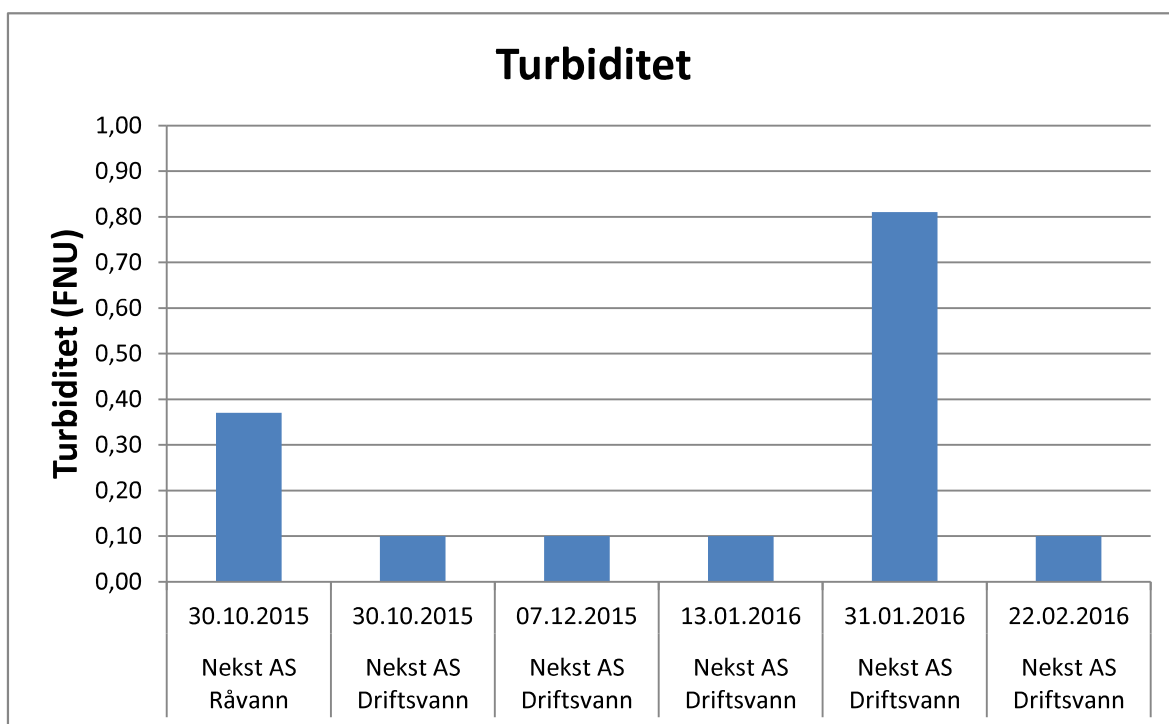
organisk bundet og lite giftige. Disse organisk bundne metallene (særlig aluminium) kan likevel bli giftige ved tilsetning av sjøvann i salinitetsområdet 1-10 ppt. TOC-nivåene var middels høye på NEKST AS (0,92 og 1,3 mg C/l) (figur 12).



Figur 12: Konsentrasjoner (mg C/l) av total organisk karbon (TOC) i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.

Turbiditet

Høy turbiditet (partikkelinnhold) i vannet kan gi gjelleirritasjonen og eventuelt direkte vevsskader. Nivåene som her er registrert (< 0,3 og 0,54 FNU) (figur 13) er langt, langt lavere enn det som gir slike effekter. Vannkvaliteten er en tydelig klarvannstype.



Figur 12: Nivåer av turbiditet i prøvene fra NEKST AS tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016.

Oppsummering

Vannprøvene viser at vannbehandlingen med CO₂ og marmorfiltrering som ventet gir pH-økning samt økte Ca-nivåer og bufferkapasitet. Vannbehandlingen fjerner dessuten mangan og reduserte total Al-nivåene fra 64 til 55 µg/l. Dette er gunstig for fisk.

Ut fra tabellen ser en at andelen labilt aluminium øker etter vannbehandling dvs. fra 5 til 30-40 µg/l. Det er viktig å være oppmerksom på at grenseverdiene som er satt opp for labilt aluminium (Mattilsynets anbefaling er labilt Al <5 µg/l) er basert på studier av Al-giftighet ved lav pH. Litteraturen viser at labilt aluminium ved høy pH (aluminat) er langt mindre giftig enn labilt aluminium ved lav pH (Poleo og Hytterød 2003). I denne studien ble lakseparr eksponert til ~350 µg Al/l ved pH 9,5, og dette gav ingen akutt toksisk virkning på laks.

Ved to prøvetidspunkter (31. jan og 22. feb) observerer en at Cu-nivåene er forhøyet. NIVA gjennomførte i 2007 eksperimenter med laksesmolt i kobberholdig vann. En total kobberkonsentrasjon i vannet på ca. 20 µg/L forårsaket 100 % dødelighet på laksesmolt i løpet av 48 timer (Kristensen et al. 2009). Når det gjelder lakserogn og yngel har NIVA gjennomført forsøk som har vist at korte pulser (2-3 dager) med 20-30 µg/L kobber også kan gi noe redusert overlevelse og vekst (Pessot et al. 2014). Organisk karbon (TOC) og kalsium vil virke beskyttende og NIVAs forsøk har vist at både økt kalsiumkonsentrasjon er velegnede vannbehandlingsløsninger slik at risikoen for skade knyttet til kobber trolig er ubetydelig i vannkvaliteten ved NEKST AS. Meade (1989) anbefaler Cu < 6 µg/L ved Hardhet <100 mg/l, mens ved en Hardhet >100 mg/L er en sikker grenseverdi for kobber satt til 30 µg/l. Ut fra dette vil risiko være lav.

Litteratur

Kristensen T, Åtland Å, Rosten T, Urke HA and Rosseland BO (2009). Important influent-water quality parameters at freshwater production sites in two salmon producing countries. *Aquacultural Engineering* 41: 53–59

Kroglund, F. og Rosseland, B.O. 2004. Effekter av forsureningsepisoder på parr- og smoltkvalitet til laks. NIVA Rapport, LNR 4797-2004, 45 pp. (ISBN 82-577-4475-1)

Kroglund, F., Rosseland, B.O., Teien, H-C., Salbu, B., Kristensen, T. and Finstad, B. 2008. Water quality limits for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to short term reductions in pH and increased aluminium simulating episodes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12, 491–507.

Nilsen, T.O., L.O.E. Ebbesson, O.G. Kverneland, F. Kroglund, B. Finstad og Sigurd O. Stefansson. 2010. Effects of acidic water and aluminium exposure on gill Na^+ , K^+ -ATPase α -subunit isoforms, enzyme activity, physiology and return rates in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquatic Toxicology* 97: 250-259.

Pessot, C., Å. Åtland, H. Liltved, M. G. Lobos and T. Kristensen. 2014. Water treatment with crushed marble or sodium silicate mitigates combined copper and aluminium toxicity for the early life stages of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) . *Aquacultural Engineering* 60:77-83.

Poleo, ABS og S. Hytterød, S. 2003. The effect of aluminium in Atlantic salmon (*Salmo salar*) with special emphasis on alkaline water. *Journal of inorganic biochemistry* 97: 89-96.

Rosseland, B.O. 1999. Vannkvalitetens betydning for fiskehelsen. (Water quality and fish health). Pp 240-252 in: Poppe, T. (ed.) Fiskehelse og fiskesykdommer. Universitetsforlaget. ISBN 82-00-12718-4.

Teien, H.-C., Kroglund, F., Salbu, B., and Rosseland, B.O. 2006. Gill reactivity of aluminium- species following liming. *Science of the Total Environment*. 358, 206-220.

Teien, H.C., Ø. Garmo, Å. Åtland and B. Salbu. 2008. Transformation of Iron Species in Mixing Zones and Accumulation on Fish Gills. *Environ. Sci. Technol.* 2008, 42, 1780–1786.

Åtland, Å., Bæverfjord, G., Heier, L.S., Rosseland, B.O. og Rosten, T. 2007. Vannkvalitet i norske settefiskanlegg. Problem og tiltaksvurdering. I: Bjerknes, V. (red.) Vannkvalitet og smoltproduksjon, Kapittel 4, side 125-158, Juul forlag, ISBN 978-82-8090-018-0.

Tabell 1: Resultater fra NEKST AS. Prøvene ble tatt i perioden 30. oktober 2015 - 22. februar 2016. Beregnede verdier er merket med *.

		Nekst AS Råvann	Nekst AS Driftsvann	Nekst AS Driftsvann	Nekst AS Driftsvann	Nekst AS Driftsvann	Nekst AS Driftsvann
		30.10.2015	30.10.2015	07.12.2015	13.01.2016	31.01.2016	22.02.2016
pH		5,88	7,91	7,88	7,85	8,00	7,92
Ledningsevne	mS/m	2,15	11,2	11,7	11,7	12,3	13
Alkalitet	mmol/L	0,050	1,050	1,090	1,040	1,080	1,060
Turbiditet (TURB860)	FNU	0,37	<0,30	<0,30	<0,30	0,81	<0,30
Nitrogen (tot-N)	µg N/L	210	215	200	270	235	215
Nitrat (NO ₃ -N)	µg N/L	120	110	100	120	110	130
Totalt organisk karbon (TOC)	mg C/L	1,30	1,30	1,20	1,20	1,00	0,92
Klor (Cl)	mg/L	4,24	4,07	4,67	5,85	5,87	7,15
Sulfat (SO ₄)	mg/L	1,07	1,09	0,96	1	0,98	0,99
Aluminium (Al) - total	µg/L	64	55	45,8	39,1	42,5	40
Al - kolloidalt *	µg/L	32	0	0	0	5,5	-11
Al - reaktivt	µg/L	32	57	50	50	37	51
Al - ikke labilt	µg/L	27	19	16	16	5	11
Al - labilt *	µg/L	5	38	34	34	32	40
Kalsium (Ca)	mg/L	0,64	21,00	20,8	20,8	21,0	21,4
Kobber (Cu)	µg/L	<2	<2	0,24	0,24	7,33	4,75
Jern (Fe)	µg/L	11	6,9	9,2	9,2	8,6	6,6
Kalium (K)	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,14
Magnesium (Mg)	mg/L	0,34	0,47	0,49	0,49	0,59	0,65
Mangan (Mn)	µg/L	327	<0,3	0,54	0,54	0,25	0,30
Natrium (Na)	mg/L	2,67	2,67	2,64	2,64	3,18	3,69
Hardhet *	mg/L	3,0	54,4	54,0	54,0	54,9	56,1
ANC *	µekv/L	29	1060	1037	1002	1045	1054

NOTAT

8. april 2016

Til: NEKST AS v/Kjell Audun Aasen

Fra: NIVA v/Åse Åtland

Prosjektnummer NIVA: O-15376

J.nr. 517/16

Årsovervåking av vannkvalitet for NEKST AS

I oktober 2015 ble det inngått en avtale mellom NEKST AS og NIVA Akvakultur om overvåking av vannkvaliteten i råvann fra Florø. Dette ble rapportert i en foreløpig rapport den 15. mars 2016.

Dette notatet er en sammenstilling av prøveresultatene for en prøve tatt den 15. mars 2016 ved et anlegg for avsalting av sjøvann som en alternativ vannkilde. Prøven er analysert ved NIVAs laboratorium etter akkrediterte metoder.

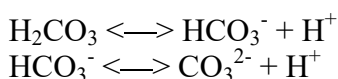
Rapporten vurderer vannresultatene ut fra etablerte grenseverdier for enkeltparametere i vitenskapelig litteratur, og er sammenholdt med NIVAs database for råvann benyttet til akvakulturformål (VK databasen, som dekker over 80 % av alle vannkilder som benyttes p.t., se for eksempel Kristensen *et al.* 2009a).

Resultater og vurdering

Sjøvannet før avsalting representerer en typisk sjøvannskvalitet med ett unntak – kobberverdiene var høyere enn ventet (7,3 µg/l). Antagelig skyldes dette noe metallkontaminering fra metallkomponenter enten ved prøvetakingsstedet eller fra utstyret, men dette bør sjekkes nærmere.

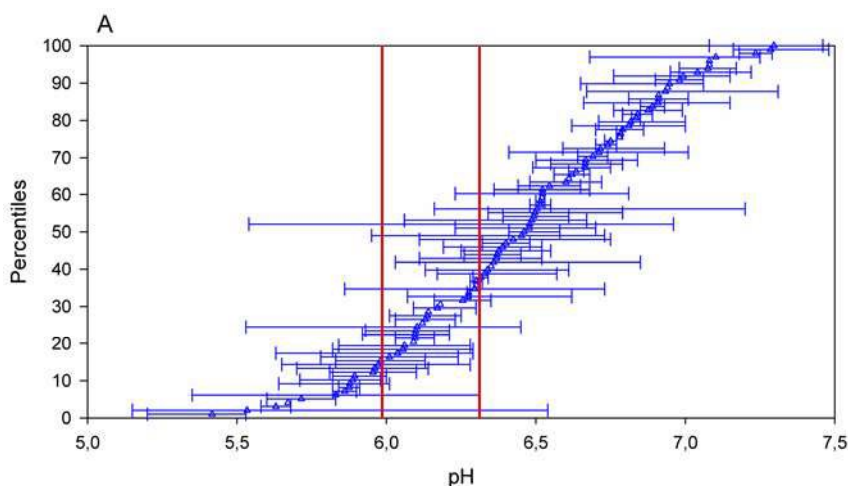
Surhetsgrad og Bufferevne

pH er et mål for vannets surhetsgrad og pH representerer den negative logaritmen til konsentrasjonen av H⁺-ioner (-log [H⁺]). Vannets pH (surhetsgrad) styres av forholdet mellom syrer og baser, men effektene av syre/base-tilsetning modereres av ulike buffersystemer. Det viktigste buffersystemet i naturlig overflatevann er knyttet til uorganisk karbon, i form av karbondioksid (CO₂), bikarbonat (HCO₃⁻) og karbonat (CO₃²⁻). CO₂ løses lett i vann, og en liten del (<1 %) vil også reagere med vann og danne karbonsyre (H₂CO₃). CO₂ + H₂O <=> H₂CO₃. Avhengig av pH i vannet vil denne dissosiere til HCO₃⁻ og eventuelt også CO₃²⁻.

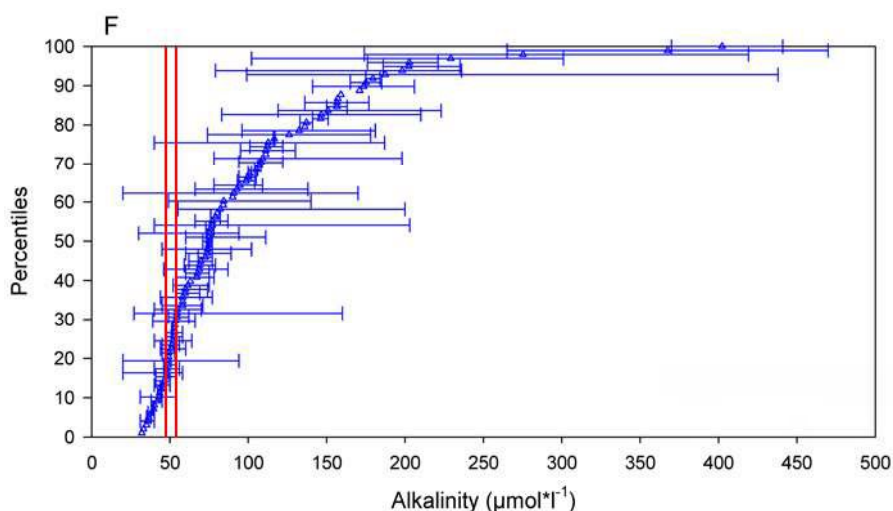


En stabil og jevn pH er ønskelig siden dette reduserer fysiologisk stress på fisken. pH kontrollerer en rekke løselighets- og likevektsreaksjoner (diskutert under de ulike parametrene) i vann og den viktigste er forholdet mellom ammonium (NH_4^+) og ammoniakk (NH_3). pH virker også inn på giftigheten av hydrogensulfid og metaller (aluminium, jern, kobber, kadmium, sink). For smolt av Atlantisk laks er det anbefalt at vannet har en pH mellom 6,2 og 7,8. pH i det avsaltede vannet var på 6,31 i den ene prøven (WM 1) og på 5,99 i den andre prøven (WM 2) (figur 1). Dette betyr at pH er noe for lav til intensiv oppdrettsproduksjon, og bør justeres noe opp.

Bufferkapasiteten basert på alkalitet (figur 2) var noe lavere enn gjennomsnittet for norske settefiskanlegg. En god bufferkapasitet er fordelaktig, og gjør vannets pH mer stabil ved flom og store nedbørsmengder. Det samme gjelder under intensiv produksjon da pH-fallet i kar vil bli mindre pga. fiskens produksjon av CO_2 når bufferkapasiteten er god.



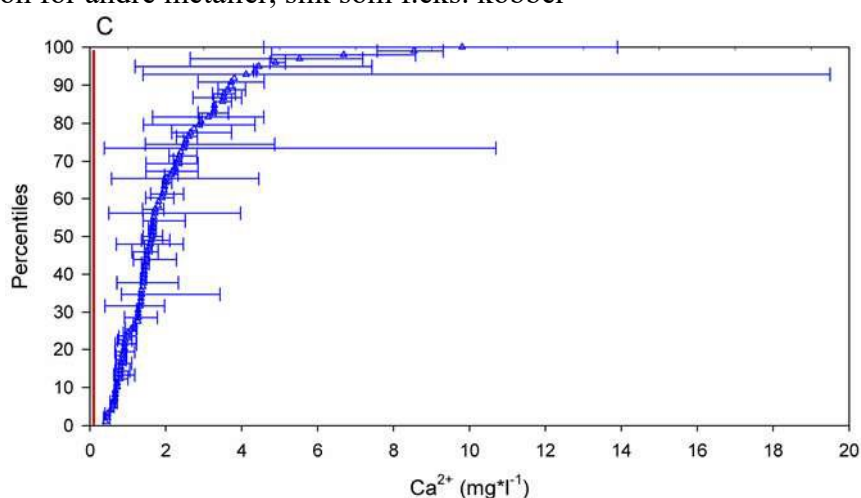
Figur 1: pH-verdier i de to prøvene fra avsaltet vann fra NEKST AS tatt den 15. mars 2016.



Figur 2: Alkalitet (mmol/l) i de to prøvene fra avsaltet vann fra NEKST AS tatt den 15. mars 2016.

Kalsiumkonsentrasjonen i vannet på NEKST AS var svært lav (0,055 og 0,053 mg/l), mens gjennomsnittlig Ca-konsentrasjon i VK-databasen ligger på 1,90 mg/l (figur 3). Også vannets Hardhet (0,5 mg/l) var betydelig lavere enn snittet for råvann til smoltproduksjon i Norge som ligger på 8,42 mg/l.

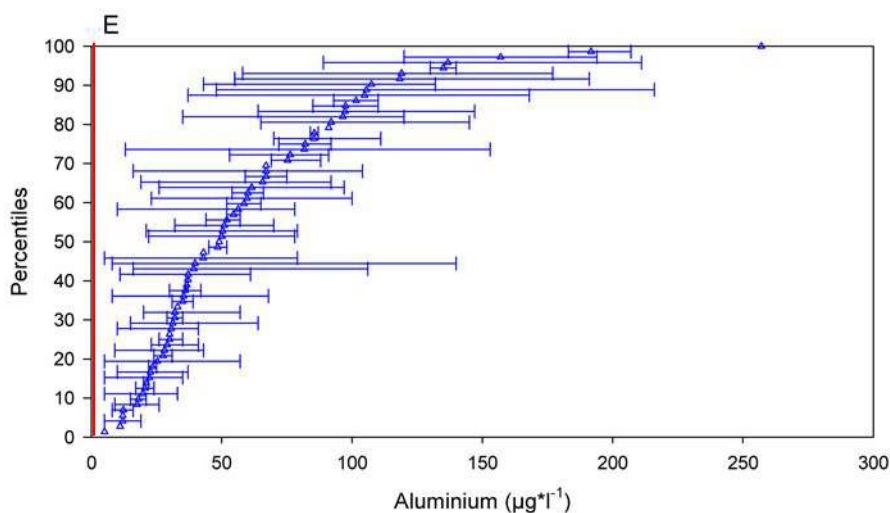
En høy konsentrasjon av kalsium i vannet er ønsket med hensyn på beskyttelse mot giftighet av metaller. Vi regner kalsiumverdier på >2-2,5 mg Ca/l som tilstrekkelig for å avgifte aluminium i lave konsentrasjoner, men det er nødvendig med høyere Ca-konsentrasjon for andre metaller, slik som f.eks. kobber



Figur 3: Kalsiumkonsentrasjoner (mg/l) i de to prøvene fra avsaltet vann fra NEKST AS tatt den 15. mars 2016.

Metaller

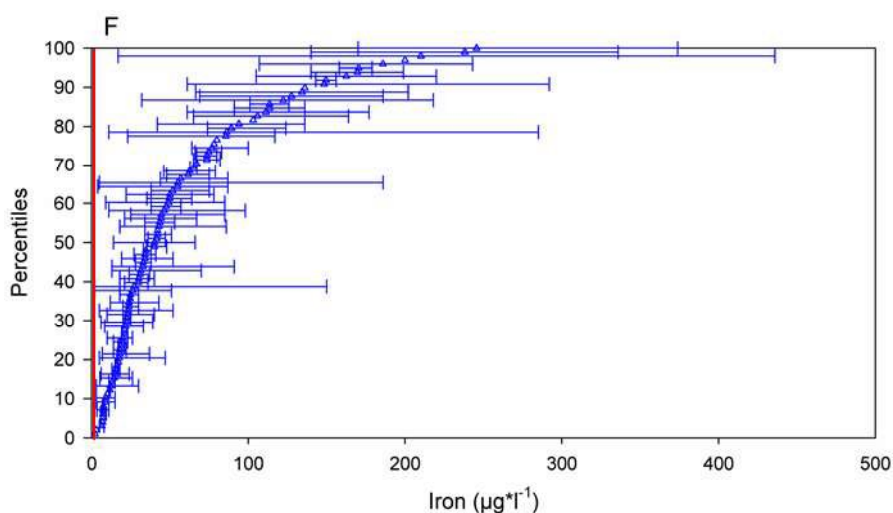
Konsentrasjonen av aluminium (målt som total Al) var svært lave - på henholdsvis 0,53 og < 0,10 $\mu\text{g/l}$, og var dermed klart lavere enn gjennomsnittlig verdi i VK-databasen (62 $\mu\text{g/l}$) på (figur 4, Tabell 1).



Figur 4: Konsentrasjoner ($\mu\text{g/l}$) av total aluminium i de to prøvene fra avsaltet vann fra NEKSTAS tatt den 15. mars 2016.

Labilt (LAl) eller uorganisk monomert Al (Al_i) er den formen som er mest skadelig for fisk, mens organisk eller partikkelbundet aluminium kan bli giftig ved bruk av sjøvann. Labilt aluminium er ikke ferdiganalysert ennå, men ved så lave totalkonsentrasjoner som her vil det uansett være lavere enn det som kan bli et problem. Rapporten vil oppdateres med disse tallene når analysen er ferdig i kommende uke.

Jernnivåene var lave, henholdsvis 2,6 og 0,93 µg/l (figur 5). Det mest kritiske for fisk er når toverdige jern kommer i kontakt med luft og oksyderes (Teien m. fl. 2008). De målte nivåene av jern er helt uproblematisk for fisk.



Figur 5: Konsentrasjoner (µg/l) av total jern i de to prøvene fra avsaltet vann fra NEKSTAS tatt den 15. mars 2016.

Kobber kan også være giftig for fisk, men resultatene viste svært lave kobberverdier i begge prøvene - henholdsvis 0,42 og 0,20 µg/l (tabell 1). Det ser ikke ut for at den forhøyede kobberverdien i sjøvannsprøven har medført noe høyere Cu-nivå etter avsalting.

Manganverdiene var også uproblematisk lave, faktisk under deteksjonsgrensen på 0,030 µg/l (tabell 1).

Organisk materiale

Innholdet av organisk materiale (totalt organisk karbon, TOC) er viktig for å si noe om giftighet av metaller. Ved høye TOC-nivåer vil en stor del av metallene foreligge som organisk bundet og lite giftige. Disse organisk bundne metallene (særlig aluminium) kan likevel bli giftige ved tilsetning av sjøvann i salinitetsområdet 1-10 ppt. TOC-nivåene var svært lave i disse prøvene <0,10 mg C/l) (tabell 1).

Turbiditet

Høy turbiditet (partikkelinnhold) i vannet kan gi gjelleirritasjonen og eventuelt direkte vevsskader. Nivåene som her er registrert (< 0,30 FNU) (tabell 1) er langt, langt lavere enn det som gir slike effekter. Vannkvaliteten er en tydelig klarvannstype etter avsalting

Oppsummering

Med utgangspunkt i typisk sjøvann har en ved avsalting laget en vannkvalitet med middels pH, lav ionstyrke/bufferkapasitet og svært lave metallkonsentrasjoner. Med unntak av et visst behov for å øke pH, Ca-nivåer og bufferkapasitet noe skulle dette være en vannkvalitet som kan være godt egnet for oppdrett

Litteratur

Kristensen T, Åtland Å, Rosten T, Urke HA and Rosseland BO (2009). Important influent-water quality parameters at freshwater production sites in two salmon producing countries. *Aquacultural Engineering* 41: 53–59

Kroglund, F. og Rosseland, B.O. 2004. Effekter av forsureningsepisoder på parr- og smoltkvalitet til laks. NIVA Rapport, LNR 4797-2004, 45 pp. (ISBN 82-577-4475-1)

Kroglund, F., Rosseland, B.O., Teien, H-C., Salbu, B., Kristensen, T. and Finstad, B. 2008. Water quality limits for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to short term reductions in pH and increased aluminium simulating episodes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12, 491–507.

Nilsen, T.O., L.O.E. Ebbesson, O.G. Kverneland, F. Kroglund, B. Finstad og Sigurd O. Stefansson. 2010. Effects of acidic water and aluminium exposure on gill Na⁺, K⁺-ATPase α -subunit isoforms, enzyme activity, physiology and return rates in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquatic Toxicology* 97: 250-259.

Pessot, C., Å. Åtland, H. Liltved, M. G. Lobos and T. Kristensen. 2014. Water treatment with crushed marble or sodium silicate mitigates combined copper and aluminium toxicity for the early life stages of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) . *Aquacultural Engineering* 60:77-83.

Poleo, ABS og S. Hytterød, S. 2003. The effect of aluminium in Atlantic salmon (*Salmo salar*) with special emphasis on alkaline water. *Journal of inorganic biochemistry* 97: 89-96.

Rosseland, B.O. 1999. Vannkvalitetens betydning for fiskehelsen. (Water quality and fish health). Pp 240-252 in: Poppe, T. (ed.) Fiskehelse og fisesykdommer. Universitetsforlaget. ISBN 82-00-12718-4.

Teien, H.-C., Kroglund, F., Salbu, B., and Rosseland, B.O. 2006. Gill reactivity of aluminium- species following liming. *Science of the Total Environment*. 358, 206-220.

Teien, H.C., Ø. Garmo, Å. Åtland and B. Salbu. 2008. Transformation of Iron Species in Mixing Zones and Accumulation on Fish Gills. *Environ. Sci. Technol.* 2008, 42, 1780–1786.

Åtland, Å., Bæverfjord, G., Heier, L.S., Rosseland, B.O. og Rosten, T. 2007. Vannkvalitet i norske settefiskanlegg. Problem og tiltaksvurdering. I: Bjerknes, V. (red.) Vannkvalitet og smoltproduksjon, Kapittel 4, side 125-158, Juul forlag, ISBN 978-82-8090-018-0.

Tabell 1: Resultater fra NEKST AS. Prøvene ble tatt den 15. mars 2016. Beregnede verdier er merket med *.

		Anbefaling Mattilsynet	Sjøvann	Avsaltet vann WM 1	Avsaltet vann WM 2
		Driftsforskrift	15.03.2016	15.03.2016	15.03.2016
pH		6,2-7,8	7,82	6,31	5,99
Ledningsevne	mS/m			9,62	9,22
Alkalitet	mmol/L		2,41	0,054	0,049
Turbiditet (TURB860)	FNU		<0,30	<0,30	<0,30
Nitrogen (tot-N)	µg N/L		180	<10	<10
Nitrat (NO₃-N)	µg N/L			<2	<2
Totalt organisk karbon (TOC)	mg C/L		0,95	<0,10	<0,10
Klor (Cl)	mg/L		23000	26,9	27,0
Sulfat (SO₄)	mg/L		2900	0,27	0,27
Aluminium (Al) - total	µg/L		2,8	0,53	<0,10
Kalsium (Ca)	mg/L		470	0,055	0,053
Kobber (Cu)	µg/L		7,3	0,42	0,20
Jern (Fe)	µg/L		14	2,6	0,93
Kalium (K)	mg/L		430	0,74	0,74
Magnesium (Mg)	mg/L		1000	0,089	0,10
Mangan (Mn)	µg/L		1,0	<0,030	<0,030
Natrium (Na)	mg/L		12000	16,40	16,40
Hardhet *	mg/L		5292	0,5	0,5

