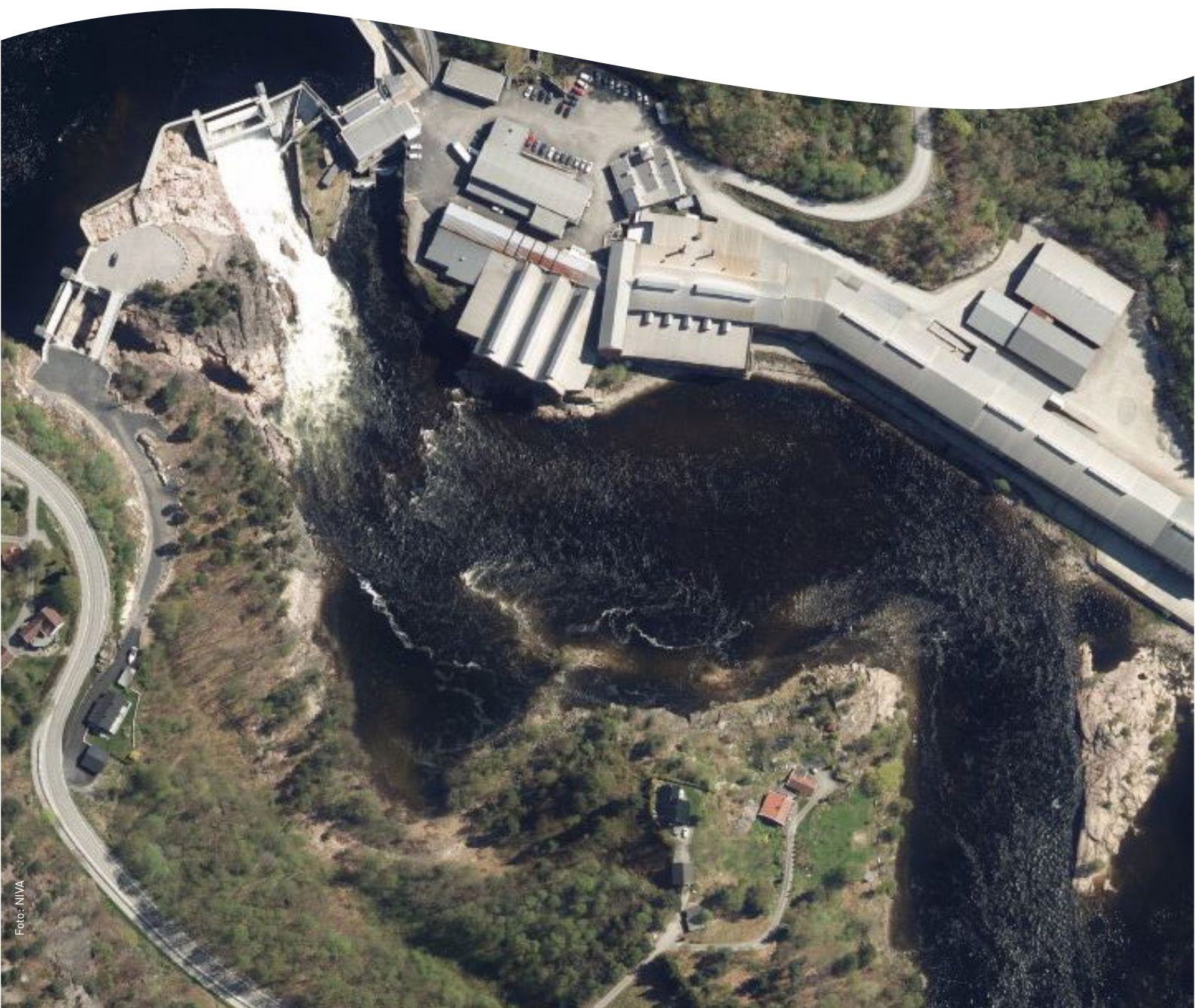


Forsuringsstatus og forslag til tiltaksstrategi for Otras lakseførende strekning Kalking og forsuring



RAPPORT

Hovedkontor

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

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Tittel Forsuringsstatus og forslag til tiltaksstrategi for Otras lakseførende strekning	Løpenummer 7320-2018	Dato 18.12.2018
Forfatter(e) Atle Hindar, Tormod Haraldstad, Rolf Høgberget og Øyvind Kaste	Fagområde Kalking og forsuring	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Agder	Sider 29

Oppdragsgiver(e) Otra laxefiskelag Miljødirektoratet	Oppdragsreferanse Kontrakt av 8.10.2018; Mdir sak 2018/13164
Oppdragsgivers utgivelse: Miljødirektoratet rapport M-1248/2018.	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 180297

Sammendrag

Til tross for betydelige reduksjoner i sur nedbør og forsurende industriutslipp, er det sannsynligvis et forsuringproblem for anadrom fisk i Otra. Vannkvaliteten ut av Byglandsfjorden er forholdsvis god, mens avrenningen i det store lokalfeltet nedstrøms tilfører surt og aluminiumholdig vann i perioder med mye nedbør. Blandingsforholdet avgjør pH og konsentrasjonen av potensielt giftig aluminium (labilt Al, LAI) på Otras lakseførende strekning. Byglandsfjorden er også reguleringsmagasin for elvekraftverk nedstrøms, og det nevnte blandingsforholdet påvirkes av manøvreringen. I Otra nedstrøms Byglandsfjorden har vi anbefalt kalking av to større sidevassdrag (Røyknesåna og Frøysåna) og terrengkalking i en tredel av arealet. Som en siste del av en tiltaksstrategi har vi anbefalt å endre manøvreringen av Byglandsfjorden i perioder med høy avrenning i lokalfeltet. Ved å opprettholde eller øke tilførselen fra Byglandsfjord gjennom flomepisoder kan en trolig unngå de høyeste og mest skadelige LAI-konsentrasjonene. Kostnader for kalkingstiltakene er beregnet.

Fire emneord	Four keywords
1. Forsuring	1. Acidification
2. Laks	2. Atlantic salmon
3. Tiltaksstrategi	3. Strategy for countermeasures
4. Plan	4. Plan

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Prosjektleder

Atle Hindar

ISBN 978-82-577-7055-6
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

Regionleder

Øyvind Kaste

Forsuringsstatus og forslag til tiltaksstrategi for Otras lakseførende strekning

Forord

Forsuringssituasjonen og behovet for fullkalking av Otra har vært uavklart, men fangst av laks og andre forhold har indikert at vannkvaliteten ikke har vært optimal. Otra Laxefiskelag tok derfor kontakt med NIVA for å få en ny vurdering av forsuringssituasjonen og for å få utarbeidet en tiltaksplan for den anadrome strekningen av Otra.

Foreliggende rapport er basert på tilgjengelige data fra flere kilder, fangstdata for laks og relevante rapporter. I vurderinger og beregninger er det tatt hensyn til igangværende (fra desember 2017) kalking av Dåsåna og foreslåtte planer for kalking ved Brokke og i Høiebekken.

Arbeidet har vært finansiert av Miljødirektoratet og Otra Laxefiskelag. Kjetil Lønborg Jensen i direktoratet og Harald Endresen og Jostein Mosby i laksefiskelaget har vært våre kontaktpersoner. Alle takkes for samarbeidet.

Grimstad, 18. desember 2018

Atle Hindar

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn.....	6
2	Datagrunnlag.....	7
3	Forsuringssituasjonen	8
3.1	Generelle trender	8
3.2	Otra - forsuringsutvikling og kalkingsplaner	8
3.3	Dagens forhold i Otras nedre del.....	11
3.3.1	Arealer og hydrologi	11
3.3.2	Dagens vannkvalitet	15
3.3.3	Vannkjemi og regulering	19
4	Igangværende og planlagt kalkingsaktivitet.....	21
4.1	Brokke kraftverk.....	21
4.2	Dåsåna.....	21
4.3	Høiebekken	22
5	Vannkvalitetsscenarier	22
6	Supplerende tiltak	23
6.1	Kalking i hovedelva	23
6.2	Kalking av sidevassdrag.....	24
6.3	Terrengkalking	25
6.4	Kombinasjonsstrategi	26
6.5	Kostnader.....	26
7	Anbefaling.....	27
8	Referanser.....	28

Sammendrag

Til tross for betydelige reduksjoner i sur nedbør og forsurende industriutslipp, er det sannsynligvis et forsurningsproblem for anadrom fisk i Otra. Vannkvaliteten ut av Byglandsfjorden er forholdsvis god og kan bli tilfredsstillende hele året med kalkingstiltak ved Brokke, oppstrøms innsjøen. I det nesten 1000 km² store lokalfeltet nedstrøms tilføres imidlertid surt og aluminiumsholdig vann i perioder med mye nedbør. Det er dermed blandingsforholdet mellom disse to vannkvalitetene som avgjør pH og konsentrasjonen av potensielt giftig aluminium (labilt Al, LAI) på Otrå anadrome strekning.

Byglandsfjorden er også reguleringsmagasin for elvekraftverk nedstrøms, og det nevnte blandingsforholdet kan påvirkes av manøvreringen. I begynnelsen av 2016 ble det identifisert en periode med sterkt økende avrenning i lokalfeltet og en samtidig og tilsvarende struping av tilførselen fra Byglandsfjorden. Tappingen ble redusert til under det halve i løpet av to døgn. I denne perioden ble de høyeste LAI-konsentrasjonene i Otra ved Vigeland i årene 2016-2018 målt, og vi mener manøvreringen forsterker den negative effekten i Otra av disse sure lokaltilførselene.

I Otra nedstrøms Byglandsfjorden startet kalkingen av Dåsåna i desember 2017, og vi har her anbefalt kalking av ytterligere to større sidevassdrag (Røyknesåna og Frøysåna) oppstrøms anadrom strekning som del av en tiltaksstrategi. Til sammen vil da en tredel av lokalfeltet være kalket.

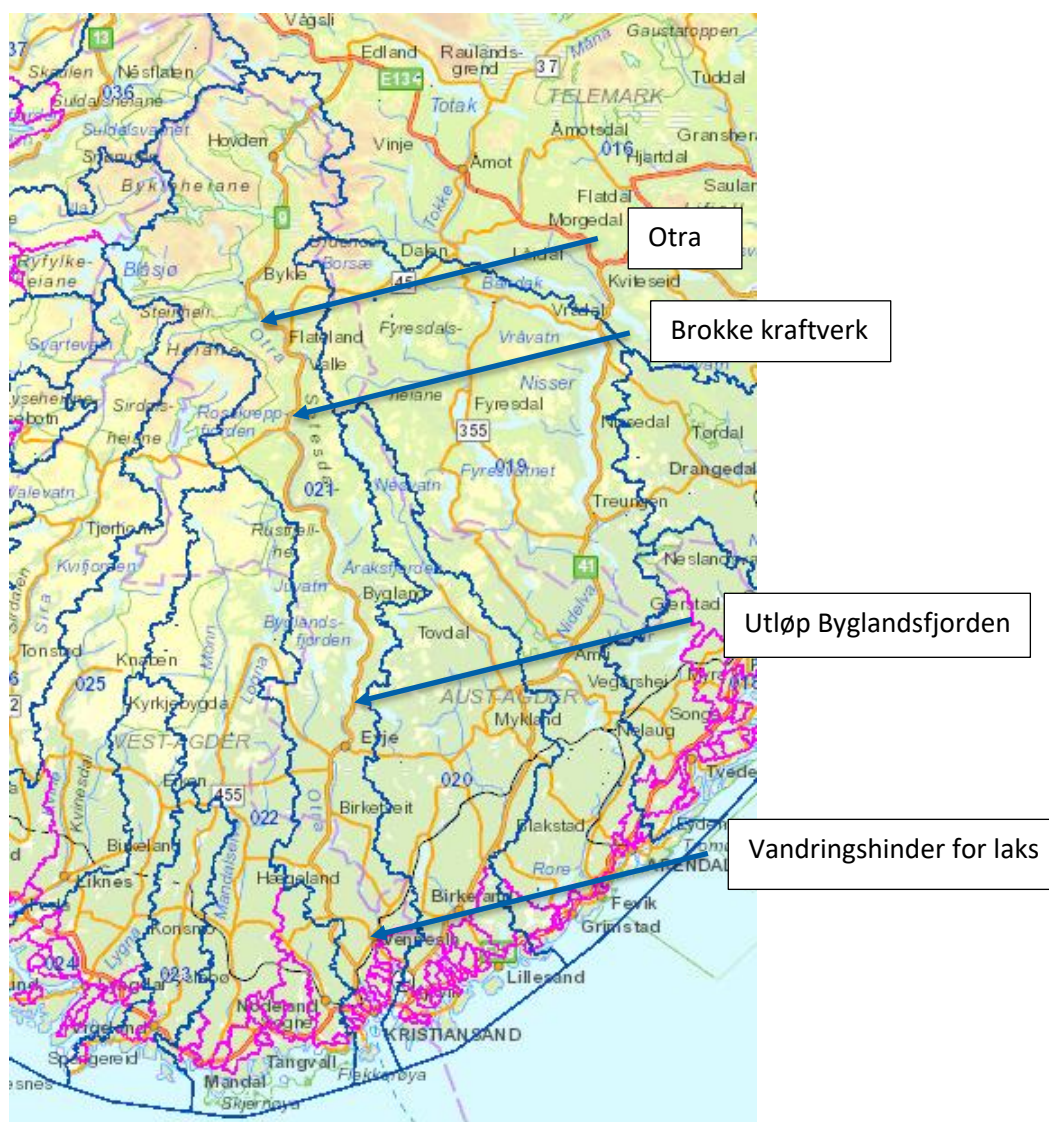
Med den gode erfaringen fra terrengkalkingsprosjekter gjennomført på 1990-tallet, har vi også anbefalt at terrengkalking bør være en del av strategien. Hvis ytterligere en tredel av lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjorden kalkes på denne måten, vil en her sannsynligvis kunne ha en effekt i flere titalls år (effektperioden er ikke verifisert med målinger). Sidefelt på anadrom strekning bør velges ut først, og terrengkalkingen kan gjerne gjennomføres over 2-3 år for å fordele kostnaden bedre.

Som en siste del av en tiltaksstrategi har vi anbefalt å endre manøvreringen av Byglandsfjorden i perioder med høy avrenning i lokalfeltet. Ved å opprettholde eller øke tilførselen fra Byglandsfjord gjennom flomepisoder kan en trolig unngå de høyeste og mest skadelige LAI-konsentrasjonene på anadrom elvestrekning.

Kostnader for etablering av kalkdosering i de to sidevassdragene er satt til 7-8 mill. NOK, mens årlige kalkutgifter for tørt kalksteinsmel vil koste noe under 350.000 NOK. Terrengkalking av en tredel av nedbørfeltet nedstrøms Byglandsfjorden vil kunne koste 162 mill. NOK. Utgiften kan fordeles over 2-3 år. Det kan også være hensiktsmessig av hensyn til spredetid og produksjonstid for det anbefalte kalkproduktet (0,2-2 mm grovdolomitt). Kostnaden for endret manøvrering av Byglandsfjorden er ikke beregnet. Blir den uforholdsmessig høy, kan arealet for terrengkalking økes.

1 Bakgrunn

Det lakseførende vassdraget Otra ligger midt i det forsursrammede Agder, men har aldri blitt fullkalket. Dette til tross for omfattende kalking i nabovassdragene Arendalsvassdraget, Tovdalsvassdraget, Mandalsvassdraget og Kvina, samt en rekke andre vassdrag i regionen. En medvirkende årsak er formen på nedbørfeltet, med et forholdsvis stort areal i nord (**Figur 1**). Om lag halvparten (1810 km² av 3753 km²) er oppstrøms Brokke og bare en firedel (969 km²) er nedstrøms Byglandsfjorden. I den øvre delen er berggrunnen mer motstandsdyktig mot forsuring, og det har vært langt mindre belastning med sur nedbør enn lenger sør.



Figur 1. Nedbørfeltene til Otra og andre vassdrag i Agder. Otra er kraftig regulert, spesielt i øvre del, og plasseringen av det største kraftverket er vist. Se også **Figur 4** for avgrensning av anadrom strekning.

I Otravassdragets midtparti og nedstrøms Byglandsfjorden tilføres det imidlertid surt og aluminiumsholdig vann, og det er i lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjorden at eventuelle tiltak må settes inn. På den anadrome strekningen nedstrøms Vigeland er det også sidevassdrag med episodisk dårlig

vannkvalitet. Forholdsvis dårlige fangster av laks har ført til usikkerhet om vannkvaliteten er god nok på hele den anadrome strekningen.

I vassdragets midtre del gjennomføres det tiltak for å bedre forholdene for den relikte laksen bleke. Denne benytter Byglandsfjorden og elvestrekningen oppstrøms, men har tidligere også vært etablert i Dåsåna som ligger nedstrøms Byglandsfjorden. Dåsåna er forsuret, men basert på en kalkingsplan for dette sidevassdraget (Haraldstad mfl. 2012) har vassdraget vært kalket fra desember 2017.

Otravassdraget er gjennomregulert, og de største hydrologiske endringene er i den øvre delen. Her er det store reguleringsmagasiner og lange rørstrekk som fører vann både i nordgående og sørgående retning. Vannføringen i Otra er stedvis svært lav, og vannkvaliteten er tidvis sterkt preget av sidefeltenes bidrag. Dette er noe av bakgrunnen for at det ble utarbeidet en kalkingsplan for avrenningen fra Brokke kraftstasjon oppstrøms Byglandsfjorden (Vethe og Høgberget 2017).

Utgangspunktet for den foreliggende tiltaksplanen er å sikre en vannkvalitet som gir tilfredsstillende kvalitet for laks, spesielt i smoltifiseringsperioden om våren. Det antas at bestanden av sjøørret og forsuringfølsomme bunndyr også vil styrkes.

2 Datagrunnlag

Som grunnlag for planen er det innhentet vannkjemiske data og annet datagrunnlag fra følgende kilder:

- vannkjemiske undersøkelser og beregnet kalkbehov i forbindelse med kalkingsplan for Otra ved Brokke,
- overvåking i regi av Blekeprosjektet (målestasjonene utløp Byglandsfjorden, Fennefoss, Dåsåna og innløp Kilefjorden),
- vannkjemikontrollen (Høiebekken, samt Otra ved Vigeland og Skråstad),
- kontinuerlig pH-måling ved Vigeland nedstrøms Vennesla,
- elvetilførselsprogrammet (RID); stasjonen ved Skråstad

Vi har gått gjennom bestandsdata for laks og flere rapporter som omhandler biologiske forhold.

Data fra NVE Atlas og NVEs Hydra II er brukt for å karakterisere vannføring og som grunnlag for beregninger.

Etablerte kritiske vannkjemiske grenseverdier for laks er lagt til grunn for vurderinger og beregninger.

3 Forsuringssituasjonen

3.1 Generelle trender

Det har vært en generell bedring i forsuringssituasjonen i vann og vassdrag siden omkring 1990. Dette gjenspeiles i høyere pH og ANC-verdier¹ og reduserte konsentrasjoner av den potensielt giftige aluminiumfraksjonen labilt aluminium². Mange steder er innlandsfisken kommet tilbake og kalkingsinnsatsen i kalkede innsjøer har etter hvert blitt redusert. Kalking av de store vassdragene i Agder har imidlertid fortsatt fordi vannkvaliteten ikke er tilfredsstillende for laks.

I dette bildet hører også med tre andre, generelle trender i vannkjemi. Den ene er økende fargetall, som betyr at det er mer humus i vassdragene nå enn tidligere. Dette er delvis tilskrevet redusert forsuring og at jorda har mindre evne til å holde på organiske stoffer. Her kan det imidlertid også ligge en klimakomponent basert på økt utbredelse av skog i høyreliggende områder og at det regner mer. Økt humuskonsentrasjon kan motvirke trenden med økende pH fordi humus inneholder svake og sterke syrer. Men humus binder også aluminium, slik at den potensielt giftige fraksjonen blir lavere.

Den andre trenden er reduserte konsentrasjoner av positivt ladde stoffer, slik som kalsium, magnesium og kalium. Denne trenden skyldes mindre sulfat og dermed mindre behov for basekationer for å opprettholde ladingbalansen i vannet. I og med at jorda har blitt utarmet i forsuringperioden har det vært en frykt for at denne utviklingen skal gi historisk lave konsentrasjoner av viktige ioner for fisk. Det er blant annet kjent at kalsium reduserer giftvirkningen av aluminium, og en reduksjon i kalsium kan delvis motvirke effekten av reduserte konsentrasjoner av aluminium.

Den siste trenden er at episoder med dårlig vannkvalitet, f.eks. i forbindelse med sjøsaltepisoder, er blitt mindre dårlige. Når forsuringen avtar blir det mindre lager av tilgjengelig aluminium i jorda, og det er dermed mindre aluminium som kan mobiliseres under sjøsaltepisoder. Økt frekvens av stormer og uvær kan paradoksalt nok gi mindre problemer med sjøsaltepisoder fordi lageret av aluminium reduseres, rett og slett fordi det tømmes oftere.

3.2 Otra - forsuringsutvikling og kalkingsplaner

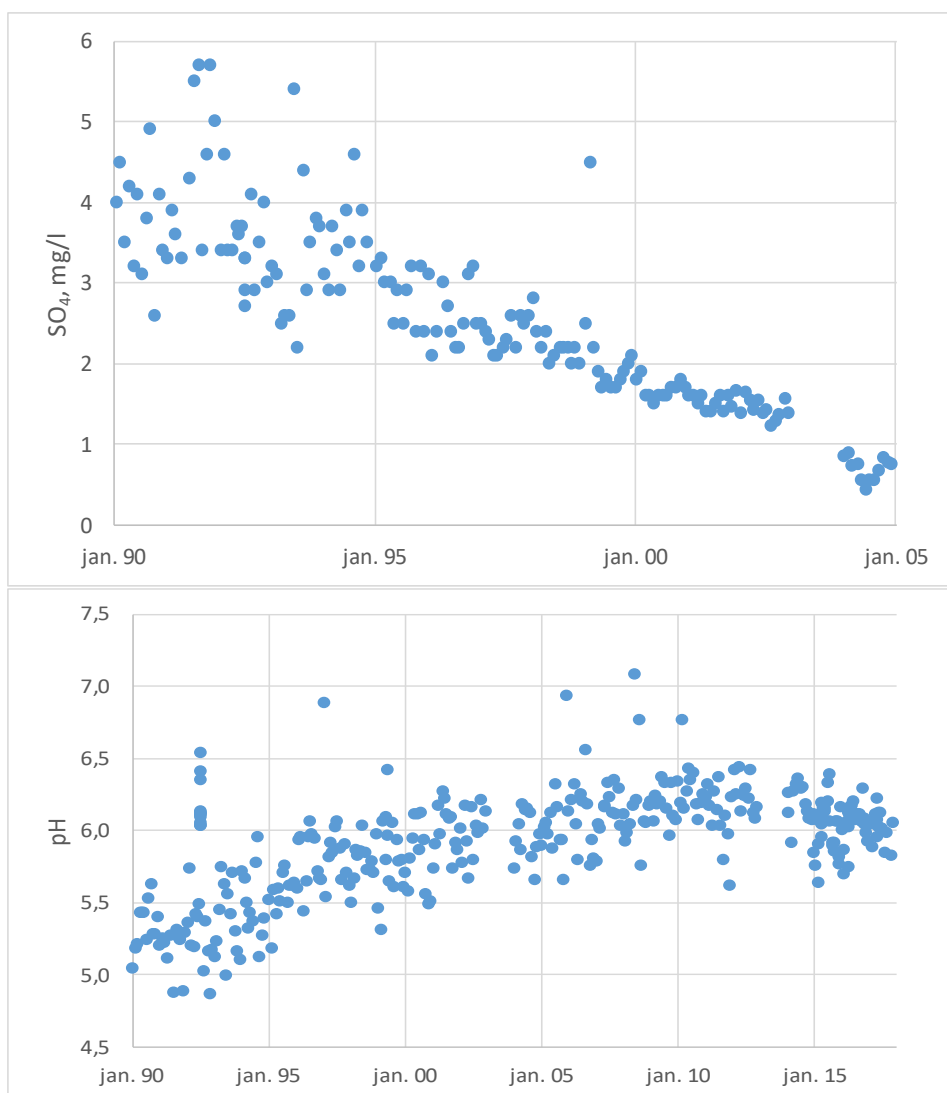
Otra har vært forsuret i mange tiår, og problemer for laks er dokumentert med jevne mellomrom. Forsuring skyldtes fram til sommeren 1995 både sur nedbør og lokale industriutslipp. Lange dataserier fra Skråstad i nedre del (**Figur 4**) viser avtak i sulfatkonsentrasjon og økning i pH (**Figur 2**). Det brå avtaket i sulfat og økningen i pH fra nivået i perioden 1990-1995 sammenfaller i tid med etableringen av industriavløpsledningen, se under. Endringene etter 1995 skyldes reduksjonen i nedfallet av sulfat i nedbør.

Fram til etableringen av en avskjærende industriavløpsledning til sjøen i juni 1995 ble industriavløp fra tremassefabrikkene i Vennesla sluppet til elva. Avløpet fra Hunsfoss fabrikk inneholdt ikke bare organisk stoff som la grunnlaget for omfattende soppbegroing i elva, men også syre (Traaen og

¹ $ANC = Ca^{++} + Mg^{++} + Na^{+} + K^{+} - SO_4^{--} - Cl^{-} - NO_3^{-}$ (alle verdier oppgitt i $\mu\text{ekv/l}$)

² Labilt aluminium (LAI)=reaktivt aluminium (RAI)-ikke-labilt aluminium (ILAI)

Johannessen 1987). pH i Otra kunne tidvis komme ned mot 4,2 på grunn av disse industriutslippene, men pålagt minstevannføring på 50 m³/s hindret pH-verdier ned mot 3,7-3,9 (Hindar 1994).



Figur 2. Konsentrasjonen av sulfat (øverst) og pH (nederst) på stasjonen Skråstad i Otra i perioden 1990-2005 (sulfat) og 1990-2017 (pH). Data er fra elvetilførselsprogrammet (2004-2016), tiltaksovervåking kalking (2015-2017) og andre kilder (hentet fra Vannmiljø).

Det er laget kalkingsplaner for hele vassdraget (Traaen og Johannessen 1987; Kaste og Hindar 1994) og mer spesifikt for den nedre delen (Kroglund og Kaste 2002), men disse er aldri blitt realisert.

I planen fra 1994 ble det foreslått å bruke nærmere 5000 tonn kalk per år oppstrøms Byglandsfjorden, blant annet fra en kalkdoserer ved Brokke kraftverk. Det ble foreslått at Byglandsfjorden skulle kalkes opp med noe over 3000 tonn kalk. For god vannkvalitet i nedre del ble det beregnet et årlig kalkbehov på 7400 tonn. Doserere ble anbefalt etablert i Dåsåna, i Otra ved Iveland kraftverk og ved Hunsfoss. Grunnlaget for 7400 tonn/år var pH 6,5 i smoltfiseringsperioden og 6,2 ellers i året, mens hhv. pH 6,2 og pH 6,0 ville kreve om lag 4000 tonn/år.

I planen for nedre del fra 2002 ble det slått fast at tettheten av eldre lakseunger var urovekkende lav, trolig som et resultat av lav overlevelse. I de undersøkelsene fra 1999 og 2000 som det ble referert til, ble det påpekt at smoltkvaliteten var tilfredsstillende, men at bl.a. gjellelev viste tegn på forsureningsskader. Dette ble sammenholdt med at de fleste sidebekkene mellom Byglandsfjorden og anadrom strekning var sure. Disse funnene og en ny vurdering i forbindelse med planen pekte på forsurening i sidevassdrag nedstrøms Byglandsfjorden i kombinasjon med ugunstige hydrologiske forhold som årsak til negative biologiske effekter (Kroglund og Kaste 2002).

Tiltak i form av dosering av kalk eller silikat i Otra oppstrøms Venneslafjorden ble foreslått i 2002 (Kroglund og Kaste 2002). De to mest aktuelle lokalitetene var inntaket til Steinsfoss kraftverk (Beierhølen) og i tilknytning til selve kraftverket. Dosering av kalk i fire sidevassdrag ble foreslått som et alternativ til kalking i selve Otra. Disse fire er Dåsåna, Hægelandsbekken (Eljansåna), Frøysåna og Røyknesåna, se **Figur 3**, et nedbørfeltareal på totalt 400 km². Det representerer 41 % av lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjorden. Terrengkalking ble vurdert som et godt alternativ til dosering, men kostnaden ansett som for høy.

I 2008 ble det på bakgrunn av genetiske studier konkludert med at laksebestanden i Otra var utryddet, men at reetablering, hovedsakelig basert på laks fra andre vassdrag, ikke lenger var truet av forsurening (Kroglund mfl. 2008). Det ble også konstatert en økende egenproduksjon av laksunger, men at det var behov for å forsterke smoltproduksjonen og smoltkvaliteten. Tiltak for å sikre produksjonen av laks ble ansett som positivt for videre reetablering av en egen laksestamme i Otra.

Bunndyrprøver og et begrenset antall vannprøver i 2015/2016 forsterket inntrykket av en moderat tilstand med hensyn til forsurening i hovedelv og fire sidebeker nedstrøms Venneslafjorden (Gustavsén og Tormodsgard 2016).

I et notat fra 2018 til laksefiskelaget skriver Y.A. Olsen og D.O. Andersen ved UiA at nivået på målt gjelle-Al på laks og brunørret var urovekkende høyt (Olsen og Andersen 2018). Prøvene ble tatt tidlig i mai 2018, og målingene ble utført på NMBU. Middelvekten for de totalt 17 laksungene var 13,8 gram og midlere gjelle-konsentrasjon var størst i Høiebekken og i Otra, hhv. 83 og 89 mg/kg gjelle. Deres anbefaling var kalking av Otra og sidebeker for å øke smoltoverlevelsen og gi bedre tilbakevandring av laks.

Som en delvis kontrast til anbefalinger om tiltak er VRL³ sin vurdering av laksebestanden i Otra. Bestanden oppfyller kvalitetsnormen for laksebestander, men er gitt scoren 2 (moderat fare) for samlet påvirkning (Anon 2018). Scoren for samlet påvirkning er en kombinasjon av avløp, forsurening og regulering, hver enkelt med liten effekt av påvirkningen.

Som del av MARS prosjektet (**M**anaging **A**quatic Ecosystems and **W**ater **R**esources under **M**ultiple **S**tress) fant Wright mfl. (2017) at forsureningsforholdene i nedre del også i framtida vil være en viktig faktor for anadrom fisk. En svak positiv effekt av økt nedbør vil ikke hindre dette.

³ VRL er Vitenskapelig råd for lakseforvaltning

3.3 Dagens forhold i Otras nedre del

3.3.1 Arealer og hydrologi

Otras totale nedbørfelt er 3753 km² (**Tabell 1**) og om lag halvparten er oppstrøms Brokke (**Figur 3**). Kun 26 % av Otras nedbørfelt (969 km²) er nedstrøms Byglandsfjorden. Det består av omlag 20 sidevassdrag, hvorav det klart største er Dåsåna, fulgt av Røyknesåna, Frøysåna og Eljansåna, se **Figur 3** og **Tabell 1**.

Andelen dyrket mark er svært lav i Otra som helhet (0,9 %) og i Dåsåna (0,7 %), men noe høyere i sidefeltene lenger nedover i vassdraget (**Tabell 1**). Med en andel dyrket mark på 2-4 % kan en forvente at avrenningen ved lav vannføring kan være preget av landbruk, mens sporene trolig er lite synlige ved moderat og høy vannføring. Det kan dermed gi større variasjon i vannkjemi enn når andelen dyrket mark er under 1,0 %.

Tabell 1. Totalt areal og areal av dyrket mark for ulike seksjoner av Otra og for sidevassdrag. Data fra NVEs NEVINA.

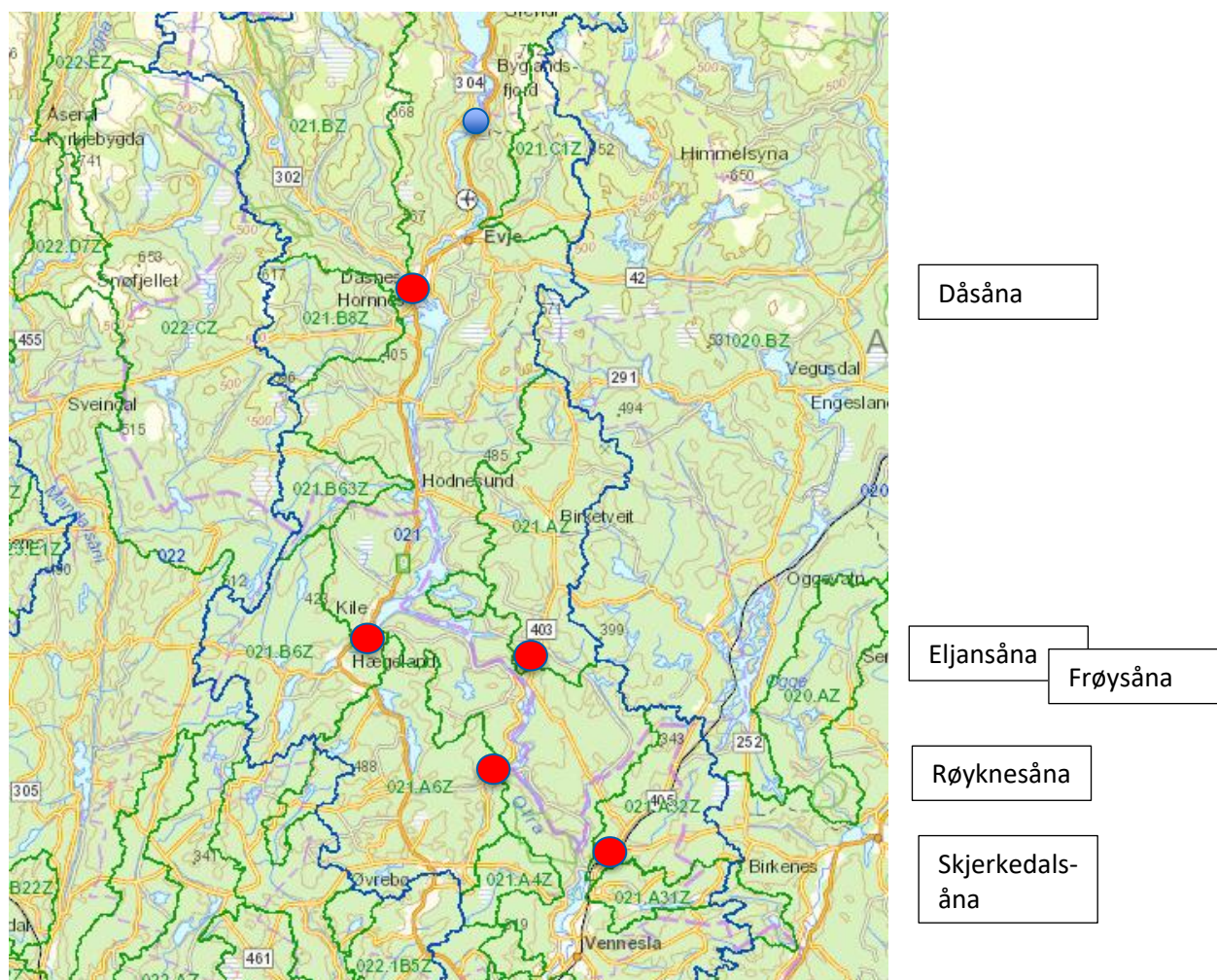
	Areal km ²	Dyrket mark %
Otra	3753	0,9
Otra ved utløp Byglandsfjorden	2784	
Lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjorden	969	
Otra ved Vigeland dam	3682	
Otra nedstrøms Vigeland (anadromt areal)	71	
Dåsåna	183	0,7
Frøysåna	71,7	2,3
Røyknesåna	82,4	3,5
Eljansåna	63,3	2,3
Skjerkedalsåna	41,5	1,9
Høiebekken	16,2	0,7

Anadrom strekning er nedstrøms vandringshinderet ved Vigeland dam i Vennesla, se **Figur 4**. Hinderet ligger i nedre kartkant i **Figur 3**.

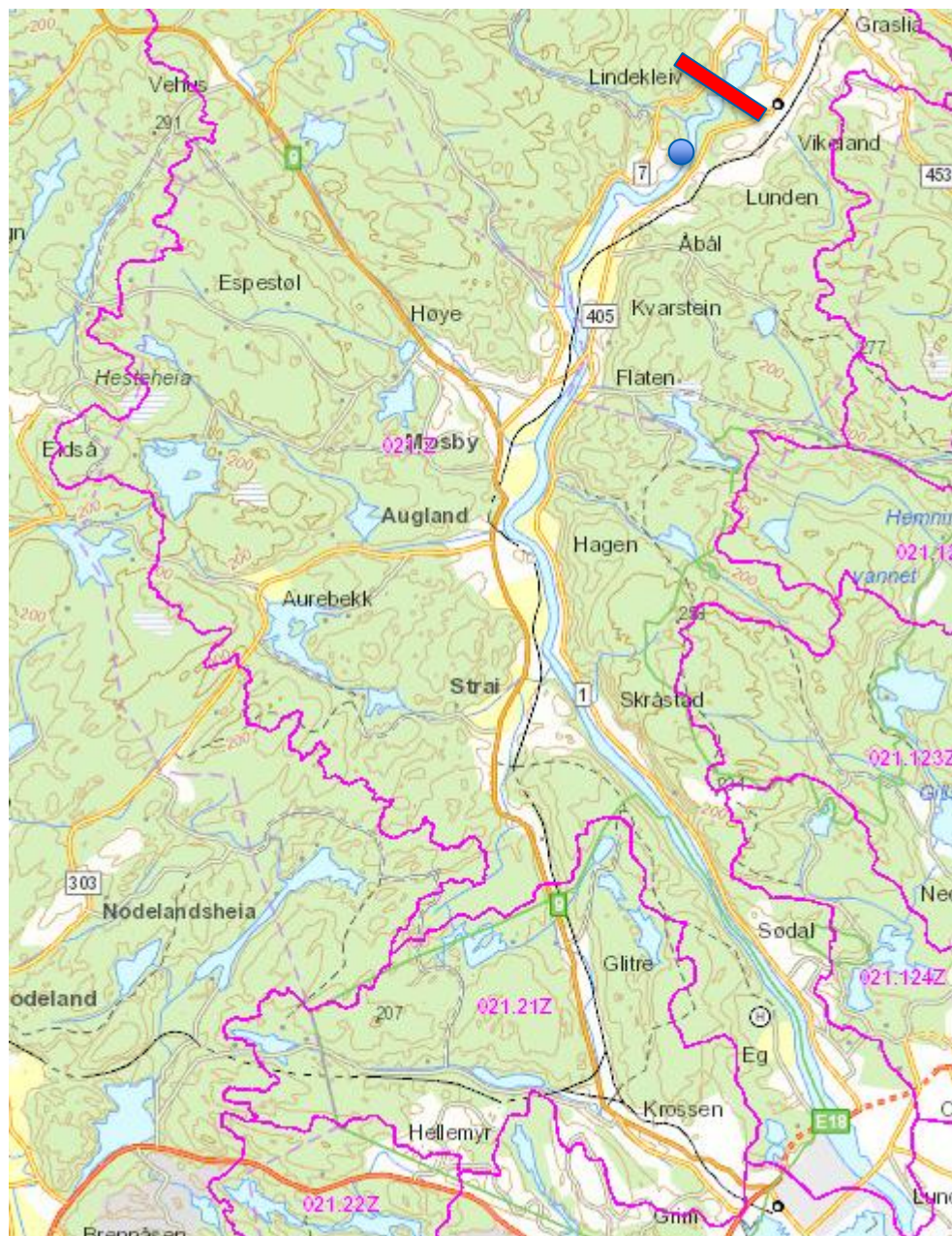
Etter forsursperioden ble det i 1995 igjen påvist laksunger i Otra, men tettheten var svært lav (Kroglund og Kaste 2002). Årsaken ble tilskrevet den dårlige vannkvaliteten i sidefeltene nedstrøms Byglandsfjorden i kombinasjon med hydrologisk forsinkelse.

Hydrologisk forsinkelse oppstår typisk nedstrøms store innsjøer når det regner kraftig. Det kan ta tid før vannføringen øker ut av innsjøen, mens vannføringen i lokalfelt uten store innsjøer responderer raskt. I slike situasjoner vil vannkvaliteten i sidefeltene dominere hovedelva. I Otra er det pålagt en forholdsvis høy minstevannføring i nedre del (50 m³/s), men dette motvirker som vi skal se ikke nødvendigvis denne effekten på vannkjemi.

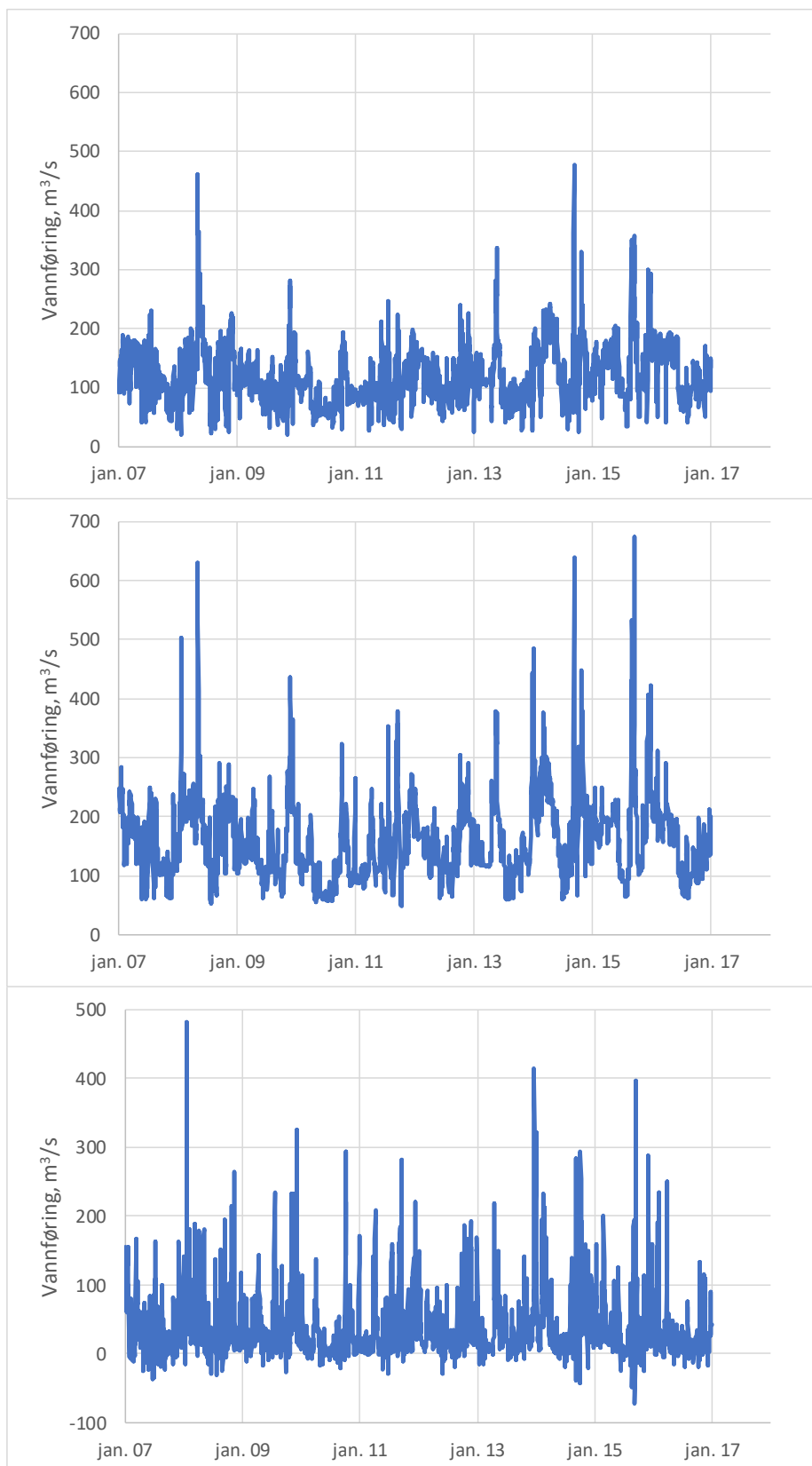
Vi har innhentet døgnvannføring for 10-årsperioden 2007-2016 fra Otra ved Syrtveit rett nedstrøms Byglandsfjorden (**Figur 3**) og ved Heisel rett oppstrøms Høie (**Figur 4**). Begge stasjoner ligger i elvestrengen, og forskjellen i vannføring skyldes i hovedsak tilførsler fra sidefeltene nedstrøms Byglandsfjorden. Vannføringen ut av Byglandsfjorden varierer som forventet forholdsvis lite, mens vannføringen i sidefeltene, og dermed ved Heisel, varierer svært mye (**Figur 5**).



Figur 3. Utløp av større sidevassdrag i lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjord (markert med rød kule og navn ut til høyre). NVE-stasjon 21.69.0 Syrveit er markert med blå kule.

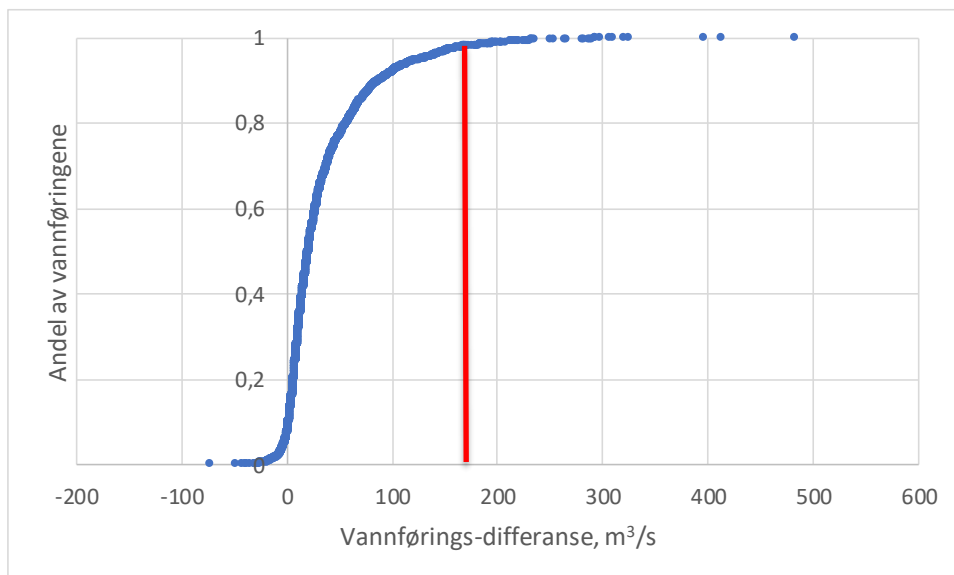


Figur 4. Nedbørfeltet til nedre del av Otra, dvs. hele den anadrome strekningen fra vandringshinderet (markert med rød strek) ved Vigeland dam og til sjøen. NVE-stasjon 21.11.0 Heisel er markert med blå kule.



Figur 5. Døgnvannføring ved Syrtveit (øverst), Heisel (midten) og som differanse mellom de to (nederst).

For en kalkingsstrategi i nedre del er kunnskap om lokaltilførslene og innblandingsforholdene med vann fra Byglandsfjorden et viktig grunnlag. Mens lokaltilførslene maksimalt kan være opp mot 300-500 m³/s som døgngjennomsnitt, er 98 % av døgngjennomsnittsvannføringene under 170 m³/s (**Figur 6**). Det tilsvarer at det i gjennomsnitt er vannføringer over 170 m³/s sju dager i året.



Figur 6. Frekvensfordeling av beregnet døgngjennomsnittsvannføring fra lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjorden. Den røde streken indikerer at 98 % av døgngjennomsnittsvannføringene ligger under 170 m³/s. Negative verdier kan skyldes en kombinasjon av tidsforsinkelser og lave vannføringer.

3.3.2 Dagens vannkvalitet

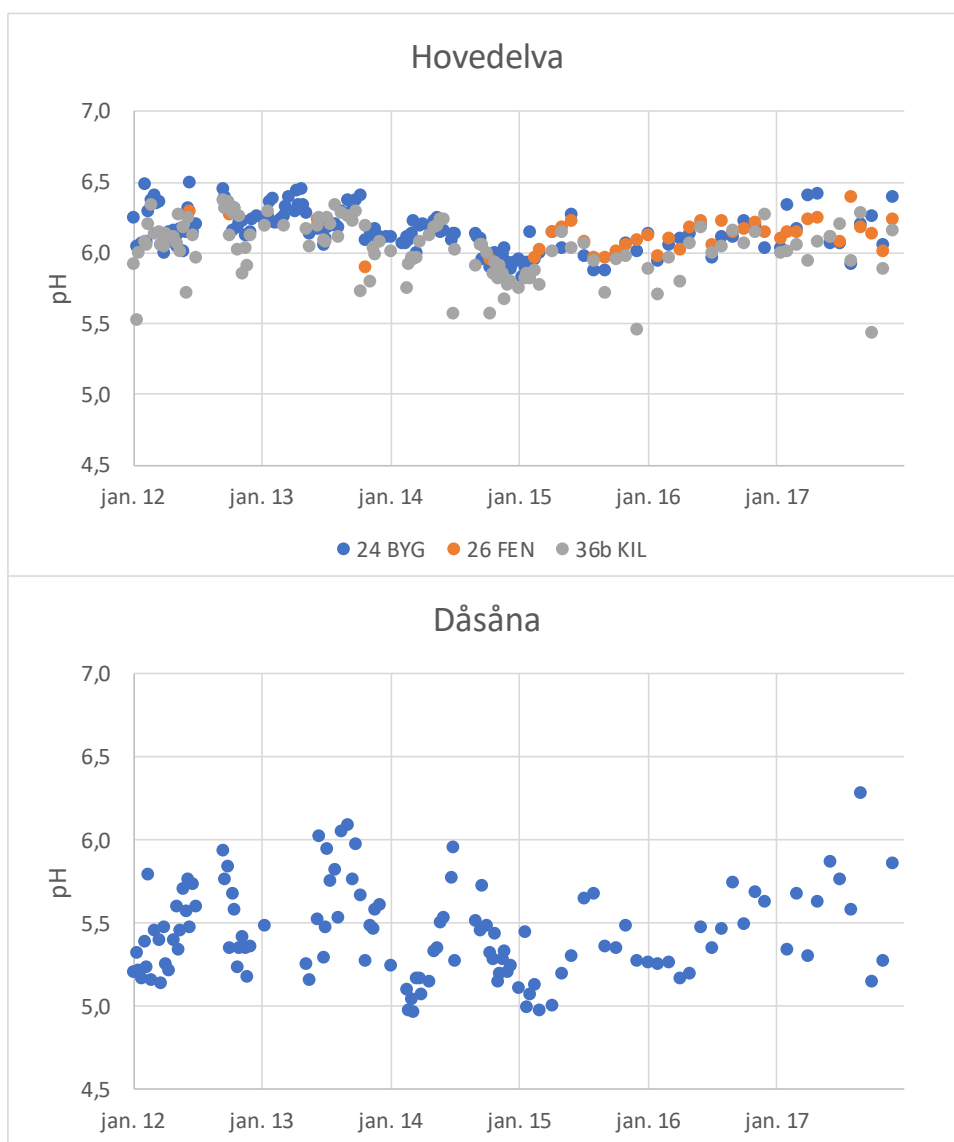
I Otra viser data fra blekeprosjektet i perioden 2012-2017 at pH ved utløpet av Byglandsfjorden og ned mot Dåsåna (ved Fennefoss) i all hovedsak var 6,0-6,5 (**Figur 7**). I Dåsåna derimot var pH stort sett under 6,0. Mens konsentrasjonen av labilt Al (LAI) alltid var under 20 µg/l på de to øverste stasjonene i Otra, var den stort sett over 20 µg/l i Dåsåna (**Figur 8**). Dette til tross for at vannet i hovedelva er forholdsvis klart (TOC i området 2-3 mg/l), mens det i Dåsåna er humøst (4-8 mg TOC/l). Våren 2013 var konsentrasjonen av LAI helt opp mot 80 µg/l i Dåsåna.

Forholdene i Dåsåna er trolig representativ for de største sidefeltene nedstrøms Byglandsfjord. Den dårligere vannkvaliteten i sidevassdragene vises også ved at pH ved innløp Kilefjorden relativt ofte var i området 5,5-6,0 og at konsentrasjonen av LAI kunne være noe over 20 µg/l (**Figur 7** og **Figur 8**).

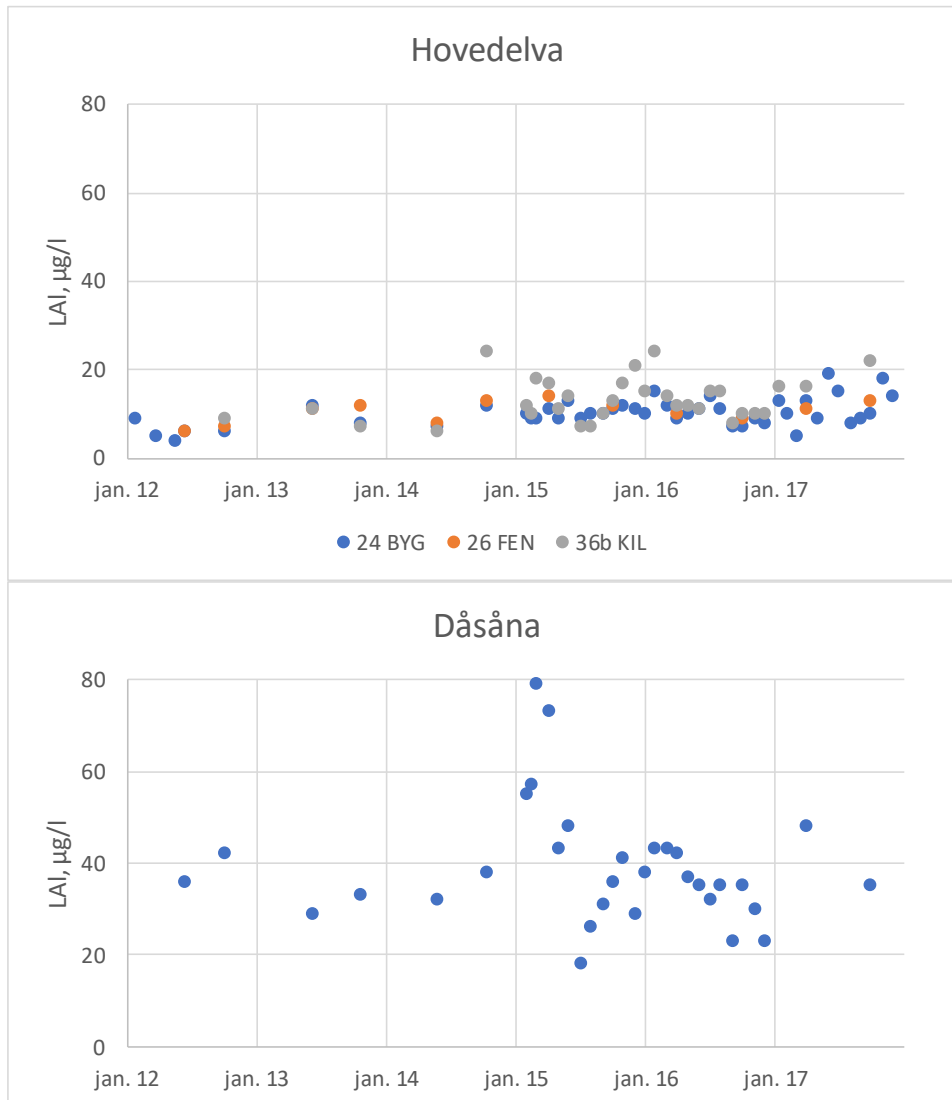
Konsentrasjonene av kalsium i hovedelva i perioden 2012-2017 var i området 0,5-1,0 mg/l, mens de i Dåsåna var 0,4-0,75 mg/l. Konsentrasjonen av magnesium var 0,15-0,20 mg/l på alle stasjoner. Det antas at nivåene kan være avtakende.

Grenseverdien for ANC_{org}⁴ på 8 µekv/l var ikke overskredet på de nevnte stasjonene i Otra, mens den var det på enkelte tidspunkt i Dåsåna i 2013-2014. Det er imidlertid svært få data for denne parameteren. ANC_{org} tar hensyn til sterksyreandelen av de organiske syrene (Lydersen mfl. 2004), og en regner med at verdier i nærheten av og over 8 µekv/l gir god beskyttelse for fiskebestandene (Hindar og Larssen 2005).

⁴ ANC_{org}=ANC- 10,2/3 * TOC

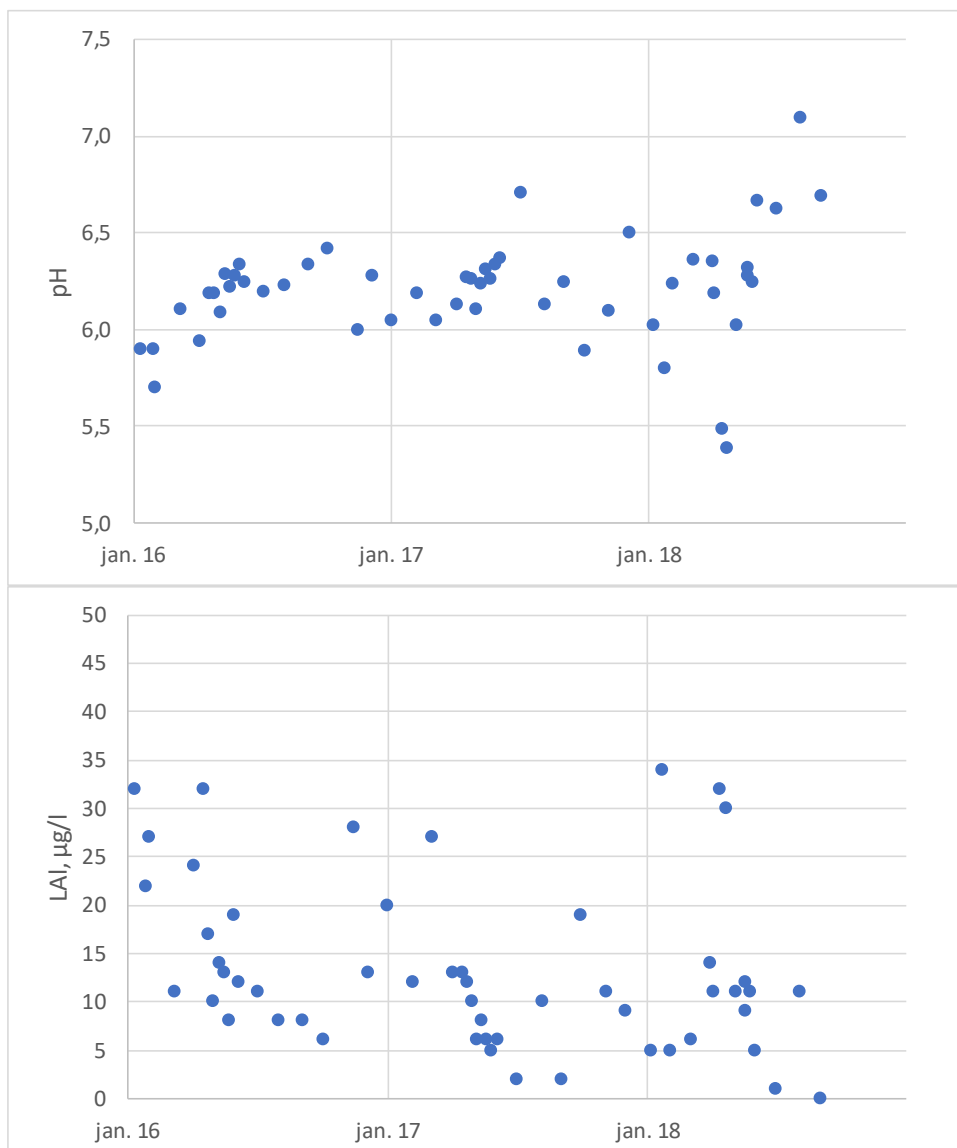


Figur 7. pH i Otra på tre stasjoner i hovedelva (øverst) og i Dåsåna. De tre stasjonene er utløpet av Byglandsfjorden, Fennefoss og innløp Kilefjorden. Dåsåna er kalket fra desember 2017.



Figur 8. Labilt aluminium i Otra på de samme fire stasjonene som i **Figur 7**.

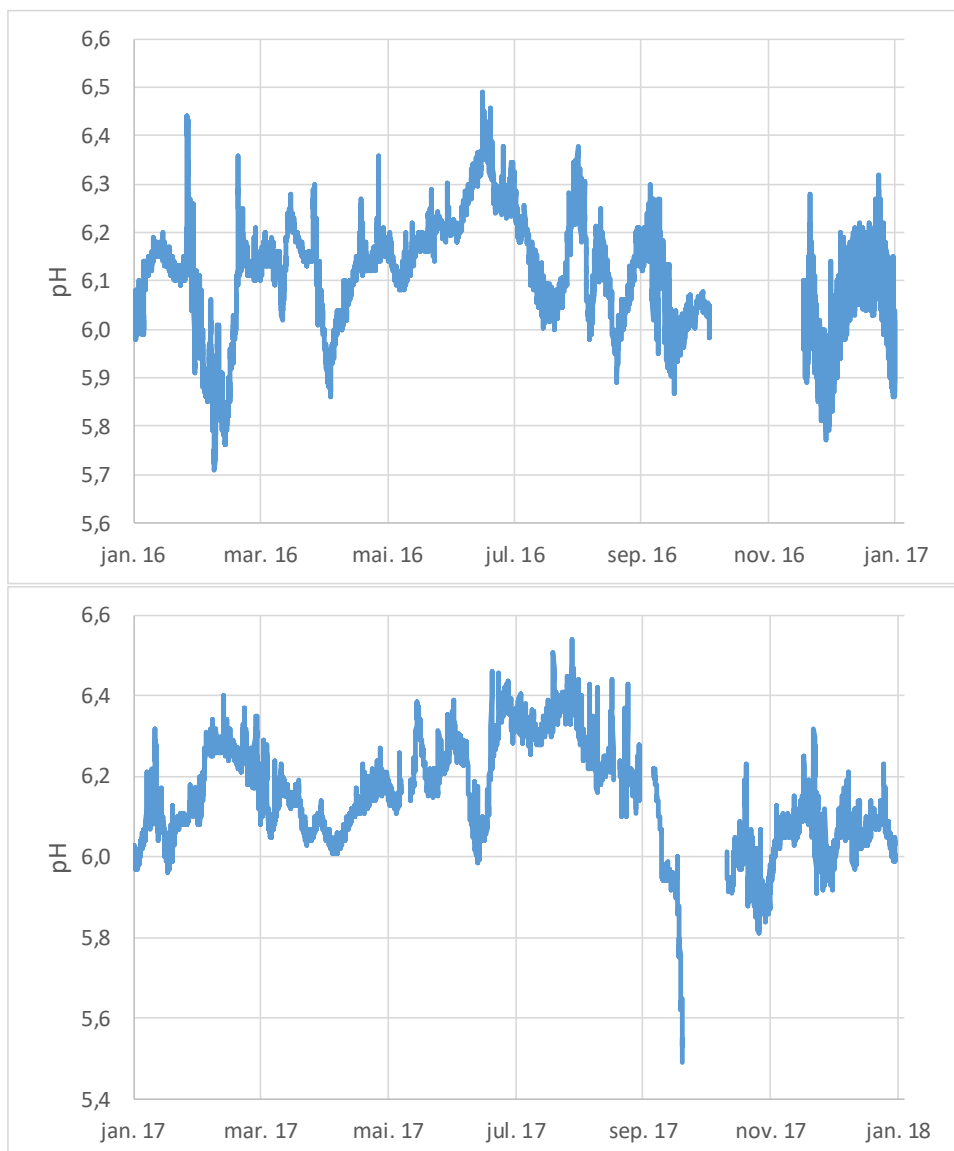
Data fra vannkjemikontrollen for 2016 og 2017 viser at vannkvaliteten i Høiebekken ikke er akseptabel for anadrom fisk, med pH-verdier ned til 5,5 og samtidig LAI-konsentrasjoner på 30-35 µg/l (**Figur 9**). pH må være over 6,2 for å unngå de høyeste LAI-konsentrasjonene og over 6,5 for å tilfredsstille kravet i vannforskriften om maksimalt 10 µg/l på anadrome elvestrekninger (Direktorats-gruppen vanndirektivet 2015).



Figur 9. pH og konsentrasjonen av labilt aluminium (LAI) i Høiebekken i perioden 2016-2018 (data fra Miljødirektoratets vannkjemikontroll).

Vannkjemikontrollen har målestasjoner ved Vigeland og Skråstad, dvs. øverst og nederst i anadrom strekning. I perioden 2016-2018 varierte pH i området 5,7-6,4 begge steder, mens konsentrasjonen av LAI var opp til 30 µg/l (**Figur 11**). Tidlig i 2016, omkring 1. februar, var LAI-konsentrasjonen i hovedelva ved flere prøvetakinger omkring 30 µg/l. Dette er betydelig over grenseverdien for laks i vannforskriften på 10 µg/l.

Det var betydelig variasjon i pH gjennom året (**Figur 10**). I 2017 var pH nær 6,0 fram til et stykke ut i september. Da kom en mindre flom på opp mot 600 m³/s ved Heisel (den 13.9.2017), og pH i Otra var en uke seinere redusert ned til pH 5,4 (den 21.9.2017). Deretter er det brudd i måleserien, og under storflommen omkring 1. oktober (døgnmiddel på 1008 m³/s ved Heisel den 2.10.2017) var pH-sensoren ute av drift.



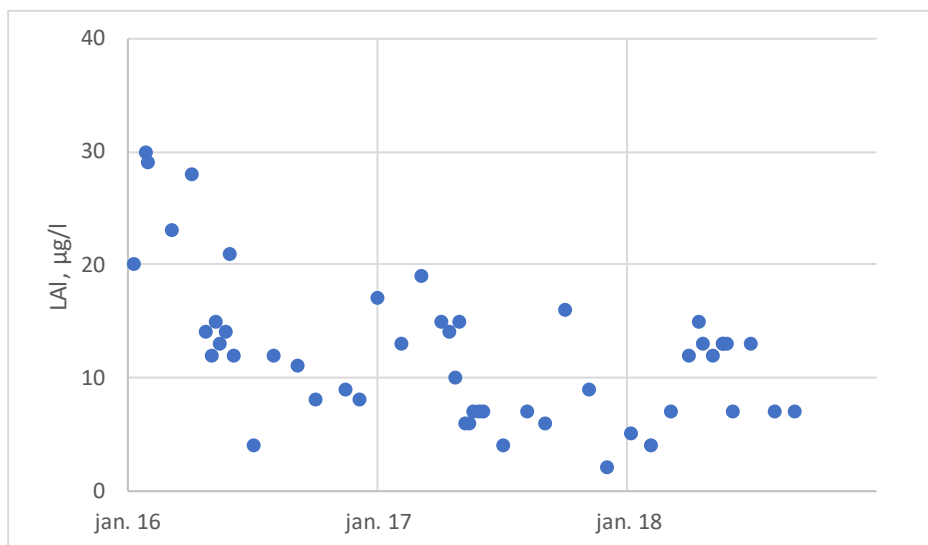
Figur 10. pH målt kontinuerlig ved Vigeland i Otra i 2016 og 2017. Data fra NIVAs pH-kontroll.

3.3.3 Vannkjemi og regulering

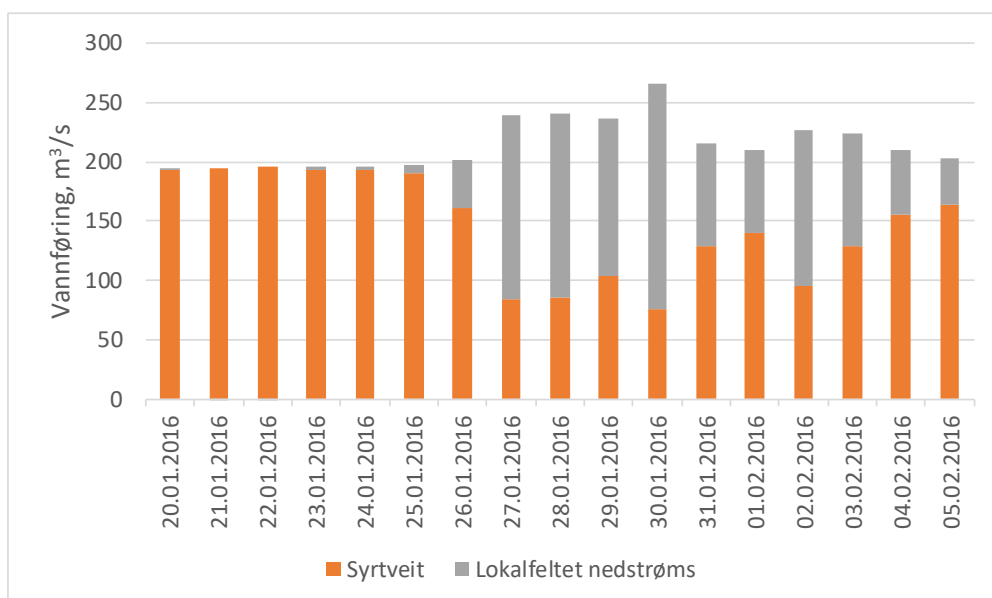
Vi undersøkte vannføringsfordelingen mellom utløp Byglandsfjorden og lokalfeltet ned til Heisel i perioden tidlig i 2016 da de forholdsvis høye konsentrasjonene av LAI ble målt. Fra 20.1. til og med 25.1. kom det nær 200 m³/s fra Byglandsfjorden og ubetydelig fra lokalfeltet (**Figur 12**). Kraftig regn ga deretter (27.1.-30.1.) en vannføring på 130-190 m³/s fra lokalfeltet (middelvannføringen er noe under 35 m³/s), og denne avtok de påfølgende dagene til ned mot 50 m³/s.

Tappingen fra Byglandsfjorden ble kraftig redusert i løpet av to døgn, og var i perioden med høyest lokalavrenning redusert til under halvparten av nivået i førsituasjonen (**Figur 12**). Denne blandingen ga de høyeste LAI-konsentrasjonene på anadrom strekning i perioden 2016-2018.

Ved å opprettholde eller øke tappingen i slike episoder ville LAI-konsentrasjonen vært vesentlig lavere, gitt LAI-konsentrasjoner på 5-20 µg/l som er målt ut fra Byglandsfjorden (**Figur 8**).



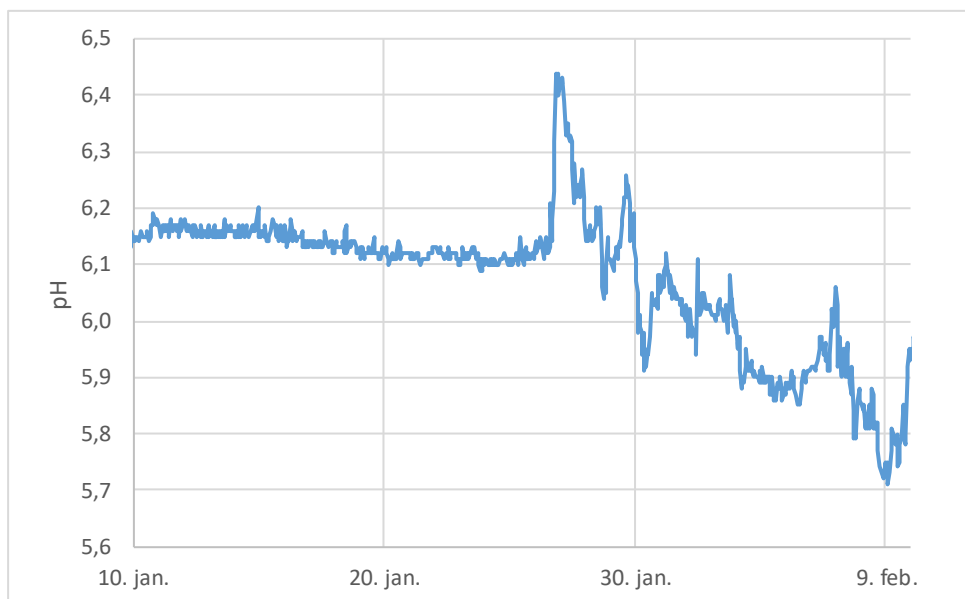
Figur 11. Konsentrasjonen av labilt Al ved Vigeland i Otra i perioden 2016-2018. Grenseverdien mellom god og moderat tilstand mht. forsurening i vannforskriften er 10 µg/l.



Figur 12. Vannføringsfordeling mellom utløp Byglandsfjorden (ved Syrteit) og lokalfeltet nedstrøms (ned til Heisel) tidlig i 2016.

Manøvreringen forsterker derfor effekten av sur tilrenning på anadrom strekning. Dette er nærmere omtalt under vannkvalitetsscenarioene.

De kontinuerlige pH-målingene ved Vigeland (**Figur 13**) bekrefter effekten av manøvreringen ved Byglandsfjorden. pH ble redusert fra 6,1-6,2 i den stabile perioden med vann fra Byglandsfjorden og ned til 5,7-5,8. Økningen til pH 6,4 i løpet av 10 timer kan skyldes utvasking av opplagrede bufrende stoffer i lokalfeltet helt i starten på flomepisoden.



Figur 13. pH målt kontinuerlig ved Vigeland tidlig i 2016.

4 Igangværende og planlagt kalkingsaktivitet

Det er flere mindre kalkingstiltak i det 969 km² store lokalfeltet til Otra nedstrøms Byglandsfjord, blant annet i innsjøer i Dåsånas nedbørfelt (Haraldstad mfl. 2012).

Som allerede nevnt er det de siste årene laget planer for kalking nedstrøms Brokke kraftstasjon, av Dåsåna og av Høiebekken, hvorav bare Dåsåna er realisert per dags dato (kalket fra desember 2017). Vi gir her et kort sammendrag av disse planene og antatt betydning for Otras anadrome strekning.

4.1 Brokke kraftverk

Reguleringen av Brokke sør, der sidefelt sør for Brokke er ført opp til kraftverket, har resultert i at dette vannet tidvis dominerer tilførselen gjennom kraftverket. Dette vannet er surt, mens vannet nordfra (fra Botsvatn) har en bedre vannkvalitet. Det er av hensyn til bleka laget en kalkingsplan (Vethe og Høgberget 2017) der det anbefales å kalke utløpet av Brokke kraftverk i perioder med surt vann, samt avrenningen fra reguleringsmagasinet Hovatn i øst. Kalking av lokalfeltet nedstrøms Brokke og terrengkalking er også vurdert.

En realisering av kalkingsplanen innebærer bruk av omkring 1000 tonn kalk per år og vil redusere surheten inn mot Byglandsfjorden i perioder. Det vil trolig først og fremst stabilisere vannkvaliteten med pH nær 6,0 ut av Byglandsfjorden framfor å øke pH fra 6,0 og oppover. Slik sett vil kalking for bleke i øvre del gi et mer forutsigbart utgangspunkt for kalking i nedre del.

4.2 Dåsåna

Dåsåna ble karakterisert som kronisk sur i 2002 (Kroglund og Kaste 2002), og de data vi har gitt i foreliggende rapport viser at det også i 2017 var et godt grunnlag for kalkingstiltak. Basert på

kalkingsplanen (Haraldstad mfl. 2012), ble det igangsatt to kalkslurryanlegg i desember 2017. Årlig kalkmengde kan være omkring 500 tonn. Målet er å øke produksjonsarealet for bleka.

Nedbørfeltet er 183 km², dvs. 19 % av lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjord. Dette er en betydelig andel, og Dåsåna er da også det største sidevassdraget til Otra på denne strekningen. Det har ikke vært noe mål å overkalke av hensyn til Otra nedstrøms samløpet med Dåsåna. Tiltaket innebærer derfor at avrenningen fra dette arealet avsyres (trolig til pH omkring 6,0), men ikke gir noen ekstra buffervirkning i Otra.

Tiltaket er oppstrøms anadrom strekning, og det vil slik sett ikke øke produksjonsarealet for laks.

4.3 Høiebekken

Realisering av kalkingsplanen for Høiebekken vil innebære at et nedbørfelt på 16,2 km² blir avsyret, enten ved kalkdosering eller ved terrengkalking (Haraldstad mfl. 2017). Arealet er kun 1,7 % av lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjord, og det vil derfor ikke ha noen merkbar betydning for vannkvaliteten i Otra.

Høiebekken er på anadrom strekning, så tiltaket vil øke produksjonsarealet for laks.

5 Vannkvalitetsscenarier

En plan for kalking av Otra må ta hensyn til dagens og framtidig forsureingssituasjon, igangsatte og planlagte kalkingsaktiviteter, men manøvreringsmuligheter i dette sterkt regulerte vassdraget bør også vurderes. Vi tar her utgangspunkt i:

- dagens forsureingssituasjon og at denne ikke vil endres særlig de nærmeste årene,
- at kalking ved Brokke stabiliserer vannkvaliteten ut av Byglandsfjorden til omkring 6,0,
- kalking av Dåsåna til pH omkring 6,0,
- at Høiebekken er så liten at den vannkjemiske effekten i Otra er ubetydelig,
- at vannkvaliteten i resten av lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjorden er den samme som i Dåsåna ved moderate og høye vannføringer,
- hydrologien er 1) som beskrevet for 10-årsperioden 2007-2016 eller 2) basert på alternativ manøvrering av Byglandsfjorden reguleringsmagasin under spesielle forhold.

Scenario 1: Ved alle målte avrenningsforhold fra Byglandsfjorden og hvis det samtidig er liten vannføring i lokalfeltet nedstrøms vil vannkvaliteten på OTRAS anadrome strekning etter punktene over være akseptabel. Ved liten vannføring i lokalfeltet vil minstevannføringen på 50 m³/s på anadrom strekning sikres ved tapping av Byglandsfjorden, og det er denne vannkvaliteten som vil dominere vannkvaliteten i Otra.

Scenario 2: Tidvis kan det komme inntil 170 m³/s fra lokalfeltet (i 2 % av tiden kan det være mer), hvorav kun 19 % (Dåsåna) er avsyret. Vi gir denne avrenningen en pH på 5,2 og 50 µg LAI/l basert på data fra Dåsåna før den ble kalket. pH i Dåsåna etter kalking og ut av Byglandsfjorden settes til 6,0, og labilt aluminium settes til 10 µg/l. Et verste scenario kan da være en sur avrenning på 138 m³/s fra lokalfeltet (170 m³/s – 19 %), 32 m³/s (19 % av 170 m³/s) kalket vann fra Dåsåna og 40 m³/s fra Byglandsfjorden. pH vil være 5,5 nederst på anadrom strekning sammen med 38 µg LAI/l.

Scenario 3: Et langt bedre scenario i dette tilfellet (med avrenning fra lokalfeltet som i scenario 2) vil være en avrenning på 200 m³/s fra Byglandsfjorden. pH vil bli 5,7 nederst på anadrom strekning sammen med 28 µg LAI/l.

I scenario 2 og 3 vil vannkvaliteten være problematisk for smolten både i aktuelle sidebekker og på anadrom strekning av Otra, men manøvreringen vil påvirke utgangspunktet for kalkingstiltak i betydelig grad.

Scenario 4a: Dette scenariet tar utgangspunkt i den konkrete situasjonen som ble beskrevet for dagene omkring 1. februar 2016 (**Figur 12**). Med en fordeling 80 m³/s fra Byglandsfjorden og 150 m³/s fra lokalfeltet nedstrøms ble det målt 30 µg LAI/l og pH var 5,7-5,9. Vannføringen fra Byglandsfjorden var da redusert fra 200 m³/s og den totale vannføringen ved Heisel i nedre del var svakt økt til 230 m³/s. Dette vil si at økt vannføring i lokalfeltet utløser en dobbelteffekt. Det blir både økte tilførsler av surt, aluminiumsholdig vann fra lokalfeltet og effekten blir forsterket ved at vannføringen fra Byglandsfjorden reduseres. Effekten av alternativ manøvrering er illustrert i beregningen under. Sannsynligvis var pH 5,5 og konsentrasjonen av LAI omkring 40 µg/l i avrenningen fra lokalfeltet i denne situasjonen (med pH 6,0 og 10 µg LAI/l fra Byglandsfjorden).

Scenario 4b: Hvis vannføringen fra Byglandsfjorden ble opprettholdt og ikke redusert, ville pH blitt noe under 5,8 og LAI omkring 23 µg/l i Otra.

Scenario 4c: Hvis vannføringen fra Byglandsfjorden ble økt fra 200 m³/s til 250 m³/s for å dempe forsureffekten av den lokale tilrenningen, ville pH blitt noe over 5,8 og LAI omkring 21 µg/l i Otra. Økt vannføring fra Byglandsfjord med 50 m³/s i 5 døgn gir en tapping på 21,6 mill. m³. Det er 10 % av reguleringsmagasinet i fjorden og kan isolert sett (uten tilrenning til fjorden) gi en maksimal vannstandssenkning på 0,5 meter, som er 10 % av tillatt reguleringshøyde (HRV-LRV = 5 meter).

Med dagens kalking av Dåsåna ville forholdene i Otra blitt noe bedre enn i scenariene 4a-4c. Dette forutsatt at kalkingen er effektiv også ved høye vannføringer.

6 Supplerende tiltak

Det er svært sannsynlig at det er et tiltaksbehov i Otra med sidefelt på anadrom strekning hvis forholdene for laksesmolt, og for den saks skyld både laksunger og voksen laks, skal bli bedre. Det er dermed ikke bare sidefeltene selv, men også vannkvaliteten i Otra som bør være målet for tiltak. Så hvordan kan det løses?

6.1 Kalking i hovedelva

Det er flere tiltak som er aktuelle, men en strategi for Otra basert på dosering i tilstrekkelig mange av de drøyt 20 sidebekkene er neppe realistisk som eneste tiltakstype. Det er først og fremst av praktiske årsaker - det vil kreve mye å drifte et titalls mindre kalkdoserere. Det var også konklusjonen i 2002, der anbefalingen var å kalke i hovedelva oppstrøms anadrom strekning (oppstrøms Venneslafjorden; Kroglund og Kaste 2002).

Det vil imidlertid også være problematisk å basere seg på kalking i hovedelva. Kalkes det for høyt oppe, risikerer en at vannføringen tidvis er for lav på doseringsstedet. Det skyldes delvis hydrologisk forsinkelse, ved at vannføringen i lokalfeltet øker raskere enn vannføringen ut av Byglandsfjorden, og delvis manøvreringen av dette reguleringsmagasinet, slik vi har beskrevet. Kalkdosene (kalkmengde per liter) kan bli svært høye hvis en ønsker å kompensere for dette, med fare for tidvis betydelig sedimentasjon av kalk og liten effekt videre nedover.

Kalkes det for nær anadrom strekning risikerer en rent teoretisk problemer med ustabil aluminiumskjemi i blandingssoner. Vi tror imidlertid ikke det bør være avgjørende når nå LAI-konsentrasjonene i det sure vannet er blitt forholdsvis lave. Plasseringen av en kalkdoserer i dette tilfellet må også ta hensyn til regulering og manøvrering, men det løses ved at doseringen styres etter vannføring.

Det som uansett kan være utfordrende med dosering i hovedelva er å finne riktige styringsverdier for pH. Problemet er at pH oppstrøms kan være under 6,0 samtidig med at LAI-konsentrasjonen er akseptabel. Det er i de tilfeller der vanntilførselene fra sidefelt er av betydning, men ikke tilstrekkelig til å gi en uakseptabel vannkvalitet. Settes kriteriet for kalking ved pH i området 5,8-6,0, kan en dermed risikere å kalke på store vannmengder uten at det er et behov. Settes pH-målet lavere (5,6-5,7), kan en risikere å ikke kalke vann med høye LAI-konsentrasjoner.

Her ville det vært behov for en LAI-sensor, men denne finnes ikke på markedet. NIVA hadde tidligere en mobil minilab der vi analyserte Al-fraksjoner automatisk (Mobillab-NIVA; Henriksen mfl. 1986), og vi har også hatt feltlaboratorium med rask analyse av Al-fraksjoner. Vi anser det som lite realistisk å basere kalkdosering på styring etter disse metodene.

6.2 Kalking av sidevassdrag

Kalkdosering i de to største sidebekkene som ikke er kalket, dvs. Røyknesåna og Frøysåna, er svært aktuelt. Kalkdosering i Eljansåna kan også vurderes. De to første har et samlet areal på 154 km² (**Tabell 1**), dvs. 16 % av lokalfeltet. Sammen med Dåsåna utgjør det 337 km², som er en tredel av lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjorden. Disse er ikke produksjonsområder for anadrom fisk. Det er imidlertid vanskelig å finne sidevassdrag i nedre del som er tilstrekkelig store for en betydelig fiskeproduksjon samtidig som de bidrar til en vesentlig avsyring av Otra. Alle tre feltene kan kalkes med etablering av ett doseringsanlegg i hvert av dem.

Variierende vannkjemi i Røyknesåna og trolig også i Frøysåna gjør at vi vil anbefale samme styringsprinsipp som i Dåsåna (etter pH nedstrøms) slik at en ikke kalker unødvendig. Kalken kan imidlertid være tørt mel i og med at det ikke er kritisk med svært rask kalkoppløsning. Variasjonen i vannkjemi styres trolig av avrenningen, med forholdsvis høy pH og lite aluminium i perioder med lite vann og lav pH og mer aluminium i perioder med moderat og høy vannføring. Bidrag fra landbruksarealer kan være tydelig i perioder med lite vann, men sannsynligvis i langt mindre grad ellers. Det kan være aktuelt å erstatte kalking i Røyknesåna med kalking av Eljansåna, eventuelt også inkludere Eljansåna, som antydnet. Andelen dyrket mark er lav og ikke vesentlig forskjellig mellom disse (**Tabell 1**). Vi antar derfor at vannkvaliteten i avrenningen er temmelig lik i perioder med moderat og høy avrenning.

Vi kan ta utgangspunkt i beregningen av kalkmengde for Dåsåna (Haraldstad mfl. 2012). Behovet for hele dette vassdraget ble satt til 477 tonn kalksteinsmel eller 523 tonn kalkslurry. For Røyknesåna tilsvarer dette hhv. 210 og 230 tonn og for Frøysåna hhv. 190 og 210 tonn. Forskjellen på 3 % i spesifikk avrenning anses som ubetydelig og er ikke lagt inn her. Men vannkvaliteten kan vise seg å

være noe bedre i disse to enn i Dåsåna, slik at kalkbehovet kan justeres ned. Kalkbehovet i Eljansåna kan settes til 165 tonn/år for kalksteinsmel. Tar vi utgangspunkt i midlere kalkforbruk i større laksevassdrag, der kalkoppløsningen kan være nær 100 % (Hindar og Skancke 2017), blir kalkforbruket 10 % lavere, men for disse mindre vassdragene kan anslagene basert på Dåsåna være de beste.

Kalking i sidefeltene vil være del av en strategi for Otras anadrome strekning. Det blir derfor viktig å dosere kalk av hensyn til tilrenningen i hele lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjord. Det kan slik sett være et kalkbehov selv om vannkvaliteten i perioder er god nok i de kalkede sidefeltene. En bedre oversikt over vannkvaliteten ved ulike avrenningsforhold i hele dette tiltaksområdet kan være nyttig, se under anbefalinger.

Av samme årsak (kalking for anadrom strekning) er det også viktig at doseringen skjer langt nede i sideelvene, slik at det 1) er kontroll på at tilrenningen til Otra avsyres og 2) at det er mulig å overdosere uten at dosene blir for høye hvis det skulle være nødvendig. Overdosering kan være nødvendig hvis tiltakene i sideelvene ikke kombineres med andre tiltak.

I Røyknesåna vil vi foreslå at doseringsanlegget plasseres nedstrøms samløpet med Skarpenglandvassdraget, og i Frøysåna vil vi anbefale nedstrøms lvedal. For best styring i forhold til Otra ved kalkdosering i Eljanåna, anbefaler vi nedstrøms utløpet av Hægelandsvatnet, for eksempel ved Homme sag.

6.3 Terrengekalking

Terrengekalking kan være en mulighet. Effekten kan vare i flere tiår (Hindar mfl. 2003), men effektperioden i de forsøksprosjektene som er gjennomført er ikke verifisert med målinger. Det er imidlertid planer om at dette skal gjøres. Hvis nye data viser at slike tiltak kan gi akseptabel vannkvalitet i 50 år, kan også økonomien være fordelaktig. Rent vannkjemisk betrakter vi terrengekalking som det beste alternativet fordi det med riktig dose gir en stabil vannkemi, der aluminium i stor grad holdes tilbake i terrenget. Basert på flere forskningsprosjekter er det gitt anbefalinger om kalktype og spredningsstrategi som sikrer minimale negative effekter på vegetasjonen (Hindar mfl. 2012).

Ved terrengekalking bør en først velge ut sidefelt der det også er et potensial for produksjon av laks og sjøaure, deretter felt høyere oppover i vassdraget.

Ser en for seg terrengekalking av en tredel av lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjord (323 km²), vil det tilsvare en kalkmengde på 65.000 tonn. Det er basert på en dose av 0,2-2 mm grovdolomitt på 2 tonn per hektar. Det anbefales at finfraksjonen (0-0,2 mm) er fjernet av hensyn til vegetasjon og eventuell avdrift til områder som unntas fra kalking. Med en varighet på 50 år, vil det tilsvare en årlig kalkmengde på 1300 tonn, dvs som årsforbruket i Audna+Lygna. Går man opp til en dose på 3 tonn/ha kan en risikere å kalke mer enn nødvendig, mens en dose på 1 tonn/ha trolig er for lite til å gi tilstrekkelig effekt.

Terrengekalking kan ses på som en investering i og med at varigheten antas å være så lang som noen tiår. Dette tiltaket kan derfor også fordeles over 2-3 år, slik at ikke hele utgiften belastes på ett år.

6.4 Kombinasjonsstrategi

En kombinert strategi med dosererkalking og terrengkalking som skissert over vil gi pH 5,8 og nær 20 µg LAI/l som verste scenario. Vi mener dette kan forsvares, spesielt hvis deler av terrengkalkingen skjer på anadrom strekning. Da vil aluminium i denne delen holdes tilbake i terrenget, noe som anses som særlig viktig. Men vil anbefaler også at en ser på manøvreringen av Byglandsfjorden, se under.

Det lokale nedbørfeltet til den anadrome strekningen, dvs. arealer med tilrenning nedstrøms Vigelandsdammen, er på 71 km². Da er det igjen ytterligere 252 km² (323-71=252 km²) opp til en tredel av hele lokalfeltet. Ved utløp Kilefjorden er nedstrømsarealet 410 km². Det inkluderer de to som er anbefalt for kalking (Frøysåna og Røyknesåna), og restfeltet blir 257 km². Dette restfeltet inkluderer Høiebekkens nedbørfelt på 16 km², som eventuelt også kan inngå i terrengkalkingen. For Høiebekken vil det være en bedre løsning enn dosering. Det inkluderer også Skjerkedalsvassdraget/Rogåna med nedbørfelt på 41,5 km², som kommer inn i Venneslafjorden fra nordøst. Også dette sidevassdraget kan være aktuelt for dosererkalking, men som allerede nevnt kan det være krevende å drifte mange slike.

I en kombinasjonsstrategi bør en også se på manøvreringen av Byglandsfjorden. Her er det et stort potensial for å dempe forsureffekten ved moderat og høy vannføring i lokalfeltet nedstrøms. Det kan gjøres ved 1) å opprettholde vannføringen ut av Byglandsfjorden eller 2) ved å øke den under slike forhold, se de beskrevne scenariene. Et mål med alternativ manøvrering kan slik sett være å unngå de høyeste konsentrasjonene av LAI i Otra, mens kalkingstiltakene reduserer det generelle LAI-nivået resten av året.

6.5 Kostnader

Kostnader for kalkdoseringstiltakene tar utgangspunkt i etableringen og drift av Dåsåna-anleggene, samt Miljødirektoratets anbefalte prising av kalk i forbindelse med vannforskriftsarbeidet. Kostnader for terrengkalking tar utgangspunkt i innhentet pris for terrengkalking i Modalselva, at volumet i Otra vil være vesentlig større og at tiltaket vil ligge noen år fram i tid.

De kalkdoseringsanleggene som ble satt i drift i Dåsåna i 2017 koster anslagsvis 3,5-4 mill. NOK, eks mva per anlegg. For enda mindre vassdrag enn Dåsåna mener vi dette er uforholdsmessig høye investeringskostnader, og viser til at det gjennomføres forsøk med rimeligere alternativer. Prisen inkluderer imidlertid grunnarbeider, framføring av strøm osv. Denne delen av kostnaden kan variere med de lokale forholdene, slik som atkomst og tilgang på strøm.

For to (Røyknesåna og Frøysåna) eller tre (også Eljansåna) kalkdoseringsanlegg blir kostnaden hhv. 7-8 mill. NOK eller 10,5-12 mill. NOK.

Kalkprisen styres i stor grad av logistikk (transport og lager) og i mindre grad av produksjonskostnaden. Den vil derfor variere med region og konkret lokalisering av tiltaket. Erfaring med kostnader for kalkslurry i Dåsåna tilsier 900-1000 NOK/tonn eks mva, mens anbefalt pris for tørt mel er 850 NOK/tonn, dvs. noe lavere. Vi velger her å bruke prisen for tørt mel i og med at det ikke er kritisk at kalken løses svært raskt.

For kalking av Røyknesåna, Frøysnesåna og eventuelt Eljansåna er årlig kalkbehov for kalksteinsmel hhv. 210, 190 og 165 tonn. Årlig kalkkostnad blir da hhv. 180.000, 162.000 og 140.000 NOK.

Terrengkalking av en tredel av lokalfeltet nedstrøms Byglandsfjorden (323 km²) med 2 tonn/ha av 0,2-2 mm grovdolomitt, tilsvarende 200 tonn/km², vil kreve 65.000 tonn grovdolomitt. Vi setter prisen til 2.500 NOK/tonn eks mva, ferdig spredd. Denne enhetsprisen vil kunne gjelde for noen år fram i tid og inkluderer alle kostnader ved transport og spredning. Totalkostnaden blir 162 mill. NOK.

Terrengkalking av en større andel av dette nedbørfeltet kan være nødvendig hvis kostnaden ved endret manøvrering blir uforholdsmessig høy. Endret manøvrering, med tilhørende produksjonstap, er ikke kostnadsberegnet.

For terrengkalking med så store volumer har vi også innhentet vurderinger av kritiske faktorer, spesielt tiden det tar å spre anbefalt volum og produksjonskapasiteten for anbefalt kalkkvalitet. Vi foreslo i utgangspunktet å spre kostnaden over 2-3 år, og det kan også være nødvendig av hensyn til spredetid og produksjonstid.

7 Anbefaling

Vår anbefaling er å supplere dosererkalkingen i Dåsåna med samme type kalking, men gjerne med tørt mel, i ytterligere to sidevassdrag (Frøysåna og Røyknesåna) og i tillegg terrengkalke en tredel av arealet nedstrøms Byglandsfjorden. En tilpasset manøvrering av reguleringsmagasinet Byglandsfjorden vil kunne redusere de høyeste LAI-konsentrasjonene i Otra. Den anbefalte strategien blir dermed tredelt; kalkdosering, terrengkalking og endret manøvrering under spesielle avrenningsforhold.

Kalking av Eljansåna kan øke andelen av lokalfeltet som kalkes med dosering, mens økt terrengkalking kan erstatte endringer i manøvreringen av Byglandsfjorden.

Det anbefales å skaffe flere vannkjemiske data fra aktuelle sidevassdrag under moderate og høye vannføringer. Det vil styrke kunnskapen om vannkvalitet og gi et enda bedre grunnlag for tiltak. Den som skal gjennomføre prøvetakingen må da følge med på prognoser for nedbørforholdene og rykke ut på riktig tidspunkt. Prøvetaking kan være ved de anbefalte doseringsstedene. De viktigste parametrene er pH, konduktivitet, kalsium, RAI+ILAI og TOC, men full ionesammensetning vil gi større muligheter for datatolkning.

8 Referanser

Anon. 2018. Klassifisering av tilstand i norske laksebestander 2010-2014. Temarapport nr 6, 74 s.

Direktoratsgruppen vanddirektivet 2015. Veileder 02:2013 – revidert 2015. Klassifisering av miljøtilstand i vann.

Gustavsen, P.Ø. og Tormodsgard, L. 2016. Bunndyrundersøkelser og vannprøver i Otra, Vest-Agder 2015/16. Gustavsen Naturanalyser og NaturPartner AS. Rapport 7-2016. 17 s.

Haraldstad, T., Hindar, A., Høgberget, R., Kaste, Ø. og Teien, H.-C. 2017. Utredning av aktuelle kalkingstiltak i Agder. NIVA-rapport 7110.

Haraldstad, T., Kroglund, F. og Hindar, A. 2012. Kalkingsplan for Dåsånassdraget. NIVA-rapport 6288. 31 s.

Henriksen, A., Røgeberg, E., Andersen, S. and Veidel, A. 1986. MOBILAB-NIVA - a complete station for monitoring water quality, Acid Rain Research, report 11; NIVA-report 1918. 44 p.

Hindar, A. 1994. Drift av vassdrag – Otra. Betydningen av vannføring og forurensningstilførsler for vannkvaliteten. NTN-programmet Bedre Bruk av Vannressursene (BBV). NIVA-rapport 3065. 36 s.

Hindar, A. og Larssen, T. 2005. Modifisering av ANC- og tålegrenseberegninger ved å inkludere sterke organiske syrer. Naturens Tålegrenser, fagrapport 119. NIVA-rapport 5030. 38 s.

Hindar, A. og Skancke, L.B. 2017. Kalkoppløsning ved dosering i lakseelver. NIVA-rapport 7196.

Hindar, A., Tørseth, K., Aas, W., Heier, L.S., Salbu, B., Standring, W., Teien, H.-C., Bakkestuen, V., Brandrud, T.E., Aarrestad, P.A., Kroglund, F., Larssen, T., Nilsen, P. og Krokan, P.S. 2012. Terrengkalking for å redusere surhet og tilførsel av aluminium til vassdrag. Terrengkalkingsprosjektets oppsummeringsrapport. DN-utredning 5-2012. 152 s.

Hindar, A., Wright, R.F., Nilsen, P., Larssen, T. and Høgberget, R. 2003. Effects on stream water chemistry and forest vitality after whole-catchment application of dolomite to a forest ecosystem in southern Norway. *Forest Ecol. Manage.* 180: 509-525.

Kaste, Ø. og Hindar, A. 1994. Tiltak mot forsuring av Otra – kalkingsplan. NIVA-rapport 3052, 37 s.

Kroglund, F., Høgberget, R., Hindar, K. Østborg, G. og Balstad, T. 2008. Laks og vannkvalitet i Otra, 1996-2006. NIVA-rapport 5531. 49 s. + vedlegg.

Kroglund, F. og Kaste, Ø. 2002. Forsuringsstatus og tiltaksplan mot forsuring i Nedre Otra, Vest-Agder. NIVA-rapport 4588. 31 s.

Lydersen, E., Larssen, T. and Fjeld, E. 2004. The influence of total organic carbon (TOC) on the relationship between acid neutralizing capacity (ANC) and fish status in Norwegian lakes. *Sci. Tot. Environ.* 326: 63-69.

Olsen, Y.A. og Andersen, D.O. 2018. Analyser av metaller (Al, Mn, Fe) på gjeller til laks og brunørret fra Otra og sidebekker mai 2018. Notat av 16.8.2018. 2 s.

Traaen, T.S. og Johannessen, M. 1987. Tiltak for å bedre vannkvaliteten i Otravassdraget. SFT/NIVA. Overvåkingsrapport 301/88, NIVA-rapport 2069. 29 s.

Vethe, A. og Høgberget, R. 2017. Kalkingsplan for Otra nedstrøms Brokke. NIVA-rapport 7122.

Wright, R.F., Couture, R.-M., Christiansen, A.B., Guerrero, J.-L., Kaste, Ø. and Barlaup, B.T. 2017. Effects of multiple stresses hydropower, acid deposition and climate change on water chemistry and salmon populations in the River Otra, Norway. *Sci. Tot. Environ.* 574: 128-138.

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 samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

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