

Kalkingsplan for Otra nedstrøms Brokke



Hovedkontor

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

NIVA Region Sør

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

NIVA Region Innlandet

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

NIVA Region Vest

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

Tittel Kalkingsplan for Otra nedstrøms Brokke	Løpenummer 7122-2017	Dato Februar 2017
Forfatter(e) Arne Vethe (Bygland kommune), Rolf Høgberget	Fagområde Kalking og forsuring	Distribusjon Fri
	Geografisk område Aust-Agder	Utgitt av NIVA

Oppdragsgiver(e) Bygland kommune	Oppdragsreferanse
-------------------------------------	-------------------

Sammendrag

Kalkingsplanen har som mål å bidra til bedre vasskvalitet for bleke oppstrøms Byglandsfjorden der Otra periodevis er sur. Dei djupe forsuringsepisodane oppstår ved flaum i dei nære vassdraga samstundes med spesielle hydrologiske tilhøve i regulera område til Brokke kraftverk. Det er omtala fire ulike former for tiltak med tilrådingar. Alle dei foreslegne kalkingsstrategiane vil gje ein god vasskvalitetsforbedrande effekt i oppvandringsområda for bleke. Det er likevel forskjell på forventta effekt. Best effekt på vasskvaliteten vil oppnåast dersom det vert kalka frå Brokke og gjennomføres terrengkalking i områda mellom Brokke og Ose. Tiltaket er likevel lågt prioritert på grunn av høg pris. Ei kalking berre frå Brokke er også fagleg forsvarleg så lenge det også vert kalka for sure tilførselar nedstrøms Brokke ved å setja høgare pH-krav på anlegget.

Fire emneord	Four keywords
1. Vassdrag 2. Vassdragsregulering 3. Kalking 4. Bleke	1. River basin 2. Hydropower regulation 3. Liming 4. Landlocked salmon


Rolf Høgberget
Prosjektleder


Øyvind Kaste
Forskningsleder

Kalkingsplan for Otra nedstraums Brokke

Forord

Otravassdraget har vore råka av forsuring i meir enn 50 år. Det er dokumentert at bleka i Byglandsfjorden er hemma av periodevis surt vatn i vassdraget (Barlaup mfl. 2015). På prosjektgruppemøtet i «Blekeprosjektet» i april 2016 vart det føreslått å innleia planlegging for kalking av Otra nedstraums Brokke kraftverk.

Direktoratet for Naturforvaltning (no Miljøverndirektoratet), Fylkesmannen i Aust- og Vest-Agder, dei berørte kommunene og Otteraaens Brugseierforening fekk utarbeida den første kalkingsplanen i 1994: «Tiltak mot forsuring av Otra – kalkingsplan». Planen som vart utarbeida av NIVA, vart ikkje gjennomført på grunn av store kostnader. No er nedfallet av sur nedbør mindre og ein reknar med at det berre skal tilførast kalk i periodar. Drift og forvaltning i Bygland kommune har teke på seg arbeidet med å utarbeida ny kalkingsplan i samarbeid med NIVA Region Sør (avtale av 3.11.2016). Målet med dette arbeidet er å få Otra inn på lista i den nasjonale handlingsplanen for kalking.

Bygland/Grimstad, februar 2017

Arne Vethe
Rolf Høgberget

Innholdsliste

1 Innleiing.....	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Mål for kalkingsplanen	7
2 Vassdragsbeskrivelse	8
2.1 Hydrologi.....	8
2.2 Vassdragsreguleringar	9
2.3 Vasskvalitet	12
2.3.1 Generelt	12
2.3.2 Vasskvalitetsundersøkingar i Blekeprosjektet	12
3 Tålegrenser for bleke	19
4 Kalkingsstrategi	20
5 Anbefaling om valg av kalkingsstrategi	23
6 Referansar	24

Sammendrag

Denne kalkingsplanen for Otra har som mål å bidra til betre vasskvalitet for bleke oppstraums Byglandsfjorden. Saman med andre tiltak i Blekeprosjektet (Barlaup mfl. 2015) kan dette tiltaket føra til at bleka klarer å auka den naturlege rekrutteringa og etablera ein sjølvreproduserande bestand utan behov for yngelutsetjing.

Deler av Otra er periodevis påverka av forsuring. Dei geologiske forholda i nedslagsfeltet til Otra gjer at det er ein gradient mot surare vatn frå nord til sør. I denne delen av vassdraget finst den relikte laksestamma bleke (*Salmo salar*). Bestanden har hatt ei uheldig utvikling sidan 1960-åra og var nær ved å bli utrydja ved samanbrotet i 1971-72 (Gunnerød 1973). Den har stått som kritisk trua på raudlista til Miljødirektoratet fram til nyleg. Tålegrensene til bleke for surt vatn er ikkje klarlagt i detalj, men ho har eit høgare krav til vasskvalitet enn aure.

Alt i 1994 vart det utarbeidd ein omfattande kalkingsplan for Otra. I mellomtida har forsuringstilstanden blitt vesentleg forbetra. Dette har redusert behovet for kalkingstiltak i vassdraget. Automatisk pH-overvaking har likevel avdekt periodiske forsuringsepisodar nedstraums Brokke kraftverk. Dette er viktige stader i det opphavlege oppvandringsområdet for bleke. Tiltaksbehovet no er konsentrert til områda nedstraums Brokke kraftverk. Luftovermetning i utløpet av Brokke kraftverk kan óg vera skadeleg for fisken. Det er sannsynleg at luftovermetning i kombinasjon med episodisk forsuring utgjer ein større fare for fisken enn om ein av desse faktorane opptre aleine. Det er foreslått eit eksponeringsforsøk ved Syrtveit Fiskeanlegg for å undersøkje dette nærmare.

Otra har eit nedbørfelt på 3738 km² og er Sørlandets mest vassrike vassdrag. Byglandsfjorden er den største innsjøen i Otra med eit areal på 35 km² og eit nedbørfelt på 2772 km². Frå kjeldeområdet nord for Hovden i Setesdal og til utløpet i Kristiansandsfjorden er det 240 km. Nedbørfeltet til Otra er langsstrekt, men sidevassdraga er gjennomgåande forholdsvis korte. Årsnedbør er opptil 2000 mm i vestlege deler og minkar til berre 700 mm på dei turraste stadane i aust. Hydrologiske forhold er prega av store kraftutbyggingar, blant anna ved Brokke der vatnet er ført utanom det naturlege elveløpet og til Brokke kraftverk. Også en del lokale tilsig er styrd gjennom dette kraftverket.

Berggrunnen i det nordre området av Otravassdraget har god bufferevne i motsetnad til bergartane lenger sør der det for det meste er gneis og granitt som gjev lita motstandsevne mot surt vatn. Nedanfor utlaupet av Brokke Kraftverk kan det i periodar, vanlegvis om våren eller i forbindelse med store nedbørmengder, oppstå markerte tidsavgrensa forsuringsepisodar i Otra. Godt bufra vatn vert då halde attende av surare «takrennevatn» som med stort trykk blir ført gjennom tilløpssjaktene og held attende tunnelvatnet frå Botsvatn (reguleringsmagasinet oppstrøms Brokke).

Sidan 2010 har to automatiske pH-overvåkingsstasjonar (pH og vanntemperatur) vore drifta på Nomeland, nedafor utlaupet av Brokke kraftstasjon og Syrtveit ved utlaupet av Byglandsfjord. Seinare vart sistnemnde flytta til innlaupsosen av Otra, til Byglandsfjord ved Ose. Desse stasjonane har påvist langvarig forsuring ved Brokke gjentakande gonger. Temperturforholda i kraftverksvatnet har avdekket samanheng mellom pH og manøvrering av ulikt vatn gjennom Brokke kraftverk. pH-stasjonen på Ose har gjeve auka innsikt om korleis forsuringsepisodane utviklar seg frå Brokke til Byglandsfjorden. Forsuringa blir ofte djupare ved Ose enn ved Brokke. I Blekeprosjektet er det gjennomført eit omfattande vassprøveprogram på inntil 38 faste stasjonar i Otravassdraget med sideelver og bekkar. Sjølv om dagens vasskjemi i Otra er betydeleg betre enn på 1980-talet, viser det vasskemiske overvåkingsprogrammet at mange av sidebekkane fortsatt er svært sure og at hovedelva også tidvis har forsuringsepisodar som potensielt kan vera skadelege for blekebestanden.

Kalkingsstrategien må innrettast på tiltak i sure episodar. Eit pH-styrt kalkingsanlegg i utslaget fra Brokke kraftverk vil effektivt motverka forsuringsepisodane. pH som prosesssignal er foresleget etablert på

eksisterande pH-overvåkingsstasjon ved Nomeland. pH-målet for kalkinga blir sett foreløpig til 6,1 i påvente av eksakte vannkvalitetkrav ved kombinasjon av surt vatn og luftovermetning. For effektiv oppløysing foreslås å benytte en kalkkvalitet som sikrar mot synleg sedimentering på elvebotnen.

Kalkingstiltak med effekt også nedstraums Brokke bør gjennomførast for optimalisering av vasskvaliteten på heile strekningen Brokke-Ose. Fire alternative strategiær er utgreia og omtala. To av alternativa omhandlar eit større sidevassdarg, Hovatn. Alternativa vert nevnt i prioritert rekkefølge:

- Dosering til pH 6,2 frå doseringsanlegg ved Brokke og innsjøkalking av Hovatn.
- Dosering til pH 6,2 frå doseringsanlegg ved Brokke og kalking ved utslaget frå Hovatn kraftverk
- Dosering til pH 6,3 frå doseringsanlegg ved Brokke
- Dosering til pH 6,1 frå doseringsanlegg ved Brokke og terrengkalking av restfeltet nedstraums Brokke.

Alle dei foreslegne kalkingsstrategiane vil gje ein god vasskvalitetsforbedrande effekt i oppvandringsområda for bleke. Det er likevel forskjell på forventa effekt. Best effekt på vasskvaliteten vil oppnåast dersom det vert kalka frå Brokke og gjennomføres terrengkalking i områda mellom Brokke og Ose. Tiltaket er likevel lavt prioritert på grunn av høg pris. Ei kalking berre frå Brokke er også fagleg forsvarleg så lenge det også vert kalka for sure tilførselar nedstraums Brokke ved å setja høgare pH-krav på anlegget.

1 Innleiing

1.1 Bakgrunn

I Otra finst den relikte laksestamma bleke (*Salmo salar*). Den er sjeldan, og finst berre nokre få stader i heile verda. Det er og fleire andre fiskeartar i vassdraget (vedlegg B). Deler av Otra er periodevis påverka av forsuring. Dei geologiske forholda i nedslagsfeltet til Otra gjer at det er ein gradient mot surare vatn frå nord til sør. Deler av Otra er periodevis påverka av forsuring. Vassdraget har også tidlegare vore forsuringspåverka. (Leivestad mfl. 1976; Hindar og Grande 1987; Hindar mfl. 1991; 1993). Dei geologiske forholda i nedslagsfeltet til Otra gjer at det er ein gradient mot surare vatn frå nord til sør (Hindar og Grande 1987). Eit generelt problem med forsuring er at giftige aluminiumforbindelsar akkumulerer seg på gjellene og påvirker respirasjonen hos fisk (Driscoll 1972, 1995; Rosseland mfl.1992). I vassdraget finst den relikte laksestamma bleke (*Salmo salar*), som har hatt ei uheldig bestandsutvikling sidan 1960-åra og var nær ved å bli utrydda ved bestandssamanbrotet i 1971-72 (Gunnerød 1973). Bleka har høgare krav til vasskvalitet enn aure, og sto som kritisk trua på raudlista til Miljødirektoratet fram til nyleg. Blekas tålegrenser for surt vatn er ikkje klarlagt i detalj, og det er derfor behov for eksponeringsforsøk for å undersøke dette nærmare (Høgberget 2016).

På oppdrag for Direktoratet for Naturforvaltning, Fylkesmannen, dei 7 kommunane i regionen og Oteraaens Brukseierforening vart ein kalkingsplan for Otra laga alt i 1994 (Kaste og Hindar 1994). Planen var svært omfattande med framlegg om i alt 6 kalkdoserare frå Bjørnarå i nord til Hunsfoss i Vennesla og fleire innsjøkalkingar. Generelt har forsuringstilstanden i landsdelen blitt vesentleg forbedra sidan 1994 (Garmo mfl. 2015). Vasskvaliteten i Otra er med dette også forbedra (ref. økologisk tilstand, Vann-nett.). Dette har redusert behovet for kalkingstiltak i vassdraget. Automatisk pH-overvåking har likevel avdekket periodiske forsuringsepisodar nedstrøms Brokke kraftverk. Dette er i det opprinnelege oppvandringsområdet for bleke. Bleka skal restaurerast til naturlege bestandar i vassdraget, noko som har aktualisert behovet for vasskvalitetsforbetrande tiltak. Tiltaksbehovet er no konsentrert til områda nedstrøms utlaupet av Brokke kraftverk. Sidan 1999 har det årleg vore gjennomført undersøkingar av blekebestanden for å vurdere status, foreslå og gjennomføre tiltak (Barlaup mfl. 2005; 2009; 2015). Rognplanting, yngelutsetting og habitatforbetring. Den «miljøstyrte vannstand» som er innført i Byglandsfjorden og reguleringsregimet forøvrig er også element i dette.

Eit problem som har vore mykje omtala dei siste åra er oksygenovermetning i utlaupet av Brokke kraftverk som kan vera skadeleg for fisken. I bekkeinntaka til driftstunnellen blir det stundom drege med luft ned i trykksjakta som skaper overmetning av oksygen i vatnet ved utlaupet. I 1993-94 (Matzow pers.medd.) og også fleire gonger i seinare år har det vore rapportert om fiskedød i Otra nedanfor Brokke. I førstninga vart det antekta at årsaka var surt vatn. Seinare vart det lansert ein teori om at gassovermetning kan vera årsaka. Temaet vert no undersøkt av Uni Research i samband med Blekeprosjektet. Det er sannsynleg at gassovermetning i kombinasjon med episodisk forsuring utgjer ein større fare for fisken enn om éin av desse faktorane opptreir åleine. Det er foreslått eksponeringsforsøk ved Syrtveit Fiskeanlegg for å undersøke dette nærmare (Høgberget 2016).

1.2 Mål for kalkingsplanen

Denne kalkingsplanen for Otra har som mål å bidra til betre vasskvalitet for bleke oppstrøms Byglandsfjorden. Det er tidlegare sett i gang fullkalking av Dåsvatn i 2013 og kalkdoserer i Skjerka er under prosjektering. Andre prosjekt er óg gjennomført (vedlegg A.). Sammen med andre tiltak i blekeprosjektet kan tiltaka fora til at bleka klarer å auka den naturlege rekrutteringa og etablera ein sjølvreproduserande bestand utan behov for yngelutsetting. Kalkingsplanen skal koordinerast med Blekeprosjektet som har fleire verkemiddel og tiltak som skal forbedra dei økologiske forholda i Byglandsfjorden og elvestrekningane opp- og nedstrøms fjorden.

2 Vassdragsbeskrivelse

2.1 Hydrologi

Otra har eit nedbørfelt på 3738 km² og er Sørlandets mest vassrike vassdrag. Frå kjeldeområdet nord for Hovden i Setesdal og til utløpet i Kristiansandsfjorden er det 240 km (**Figur 2**). Hovudvassdraget til Otra er langstrekt, men sidevassdraga er gjennomgåande forholdsvis korte.

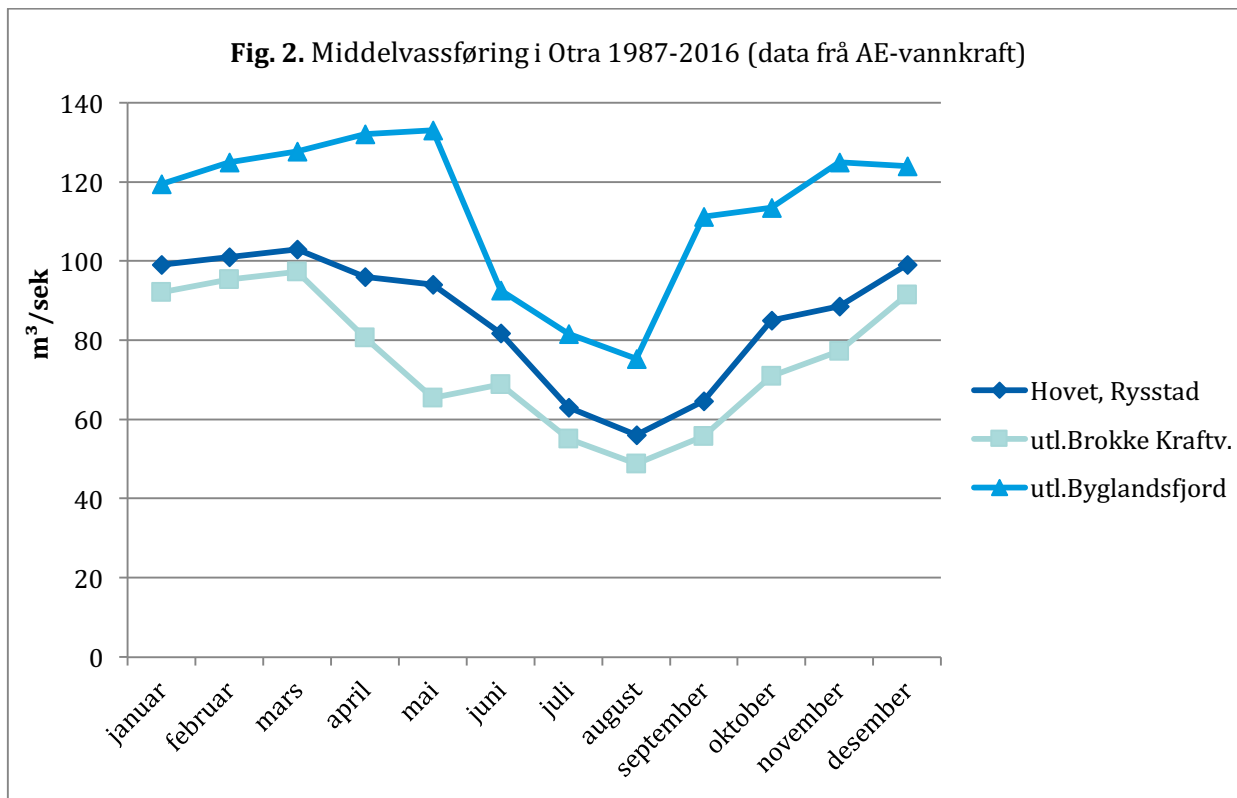
I dei høgastliggjande deler av nedbørfeltet er det store område av fjell og vidde opptil 1400 moh. med for det meste tynt morenedekke. Det er og noko berrt fjell i Njardarheimområdet. Tregrensa er opptil 1000 moh., men gjennomsnittleg 800-900 m. I heiområda ned til omlag 500-600 moh. er det parti med lite skog, men i lune område i dalane er det bjørkeskog med innslag av furu. Lågareliggjande deler er dominert av barskog og blandingskog. Omlag 3% er dyrka mark. Dei mektigaste lausavsetningane finst langsmed hovudvassdraget.

Årsnedbør er opptil 2000 mm i vestlege deler og minkar til berre 700 mm på de turraste stadane i aust. Det er og stor skilnad i temperatur frå innlandet og til kysten. Vassføringa ved Valle er prega av at store deler av det naturlege tilsiget er ført utanom elveløpet og til Brokke kraftverk. Vassføringa nedanfor Brokke er kjenneteikna av stor vintervassføring og lågare sommarvassføring på grunn av magasinering (**Figur 1**). Om våren er det likevel stor avrenning av snøsmelting i dei uregulerte avsnitta. Dette har blitt redusert av dei siste «takrenneoverføringane» i Brokke Sør og Nord. Rysstadbassenget nedanfor Brokke er eit langstrekt elvebasseng som er inntak for Hekni kraftverk ved Tjurrmo. Mellom inntaksdammen og utslaget frå kraftverket på Hekni er det bygt 10 tersklar for å halda eit vannspeil i deler av elveløpet. Dette vart gjort for å forbetra mulighetene for fisk og av estetiske omsyn. Årleg, gjennomsnittleg vassføring ved Hovet målestasjon ved Rysstad er 94 m³/s og ved utlaup Byglandsfjord 125 m³/s (**Tabell 1**).

Tabell 1. Årsmiddelverdiar av vassføring i Otra basert på døgnerverdiar av NVEs målestasjonar i Otra.

	Valle	Nedstrøms Brokke	Hekni restfelt	Utløp Byglandsfj.	Dåsåna (sidevassdrag)
Nedbørfelt, km ²	regulert	1771		2767	183
Periode	1990-92	1990-92	1996 - 2016	1990-92	2009-11
Middel, m ³ /s	14,4	94		125	6,77
Max, m ³ /s	230	365		804	
Min, m ³ /s	2,1	6	5 / 3 sommar/ vinter	15	

Byglandsfjorden er den største innsjøen i Otra med eit areal på 35 km² og eit nedbørfelt på 2772 km² (**Tabell 2**). Innsjøen er 167 m djup og består av fleire innsjøbasseng med mellomliggjande tersklar. På bakgrunn av tilsigdata og volum er det berekna ei teoretisk opphaldstid på ca. 0,6 år, men ein må ta omsyn til at i deler av året (sommar og vinter) kan noko av vassmengdene passera gjennom innsjøen i overflatelaga (over sprangskiktet).



Figur 1. Middelvassføring i Otra 1987-2016. Data frå Agder Energi Vannkraft.

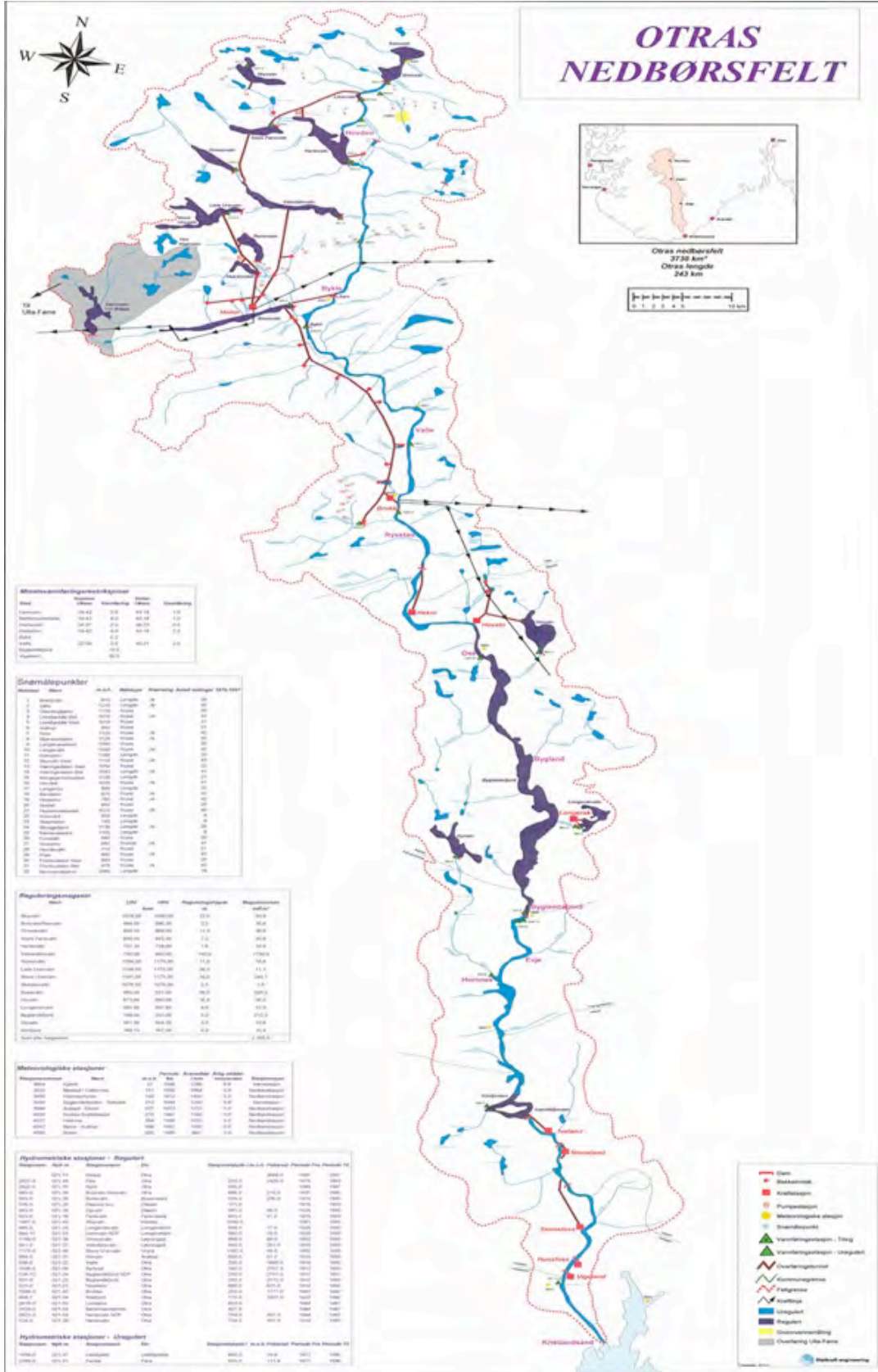
Tabell 2. Hydrologiske data for Byglandsfjorden; LRV kote 198; HRV 203 m (Østrem mfl. 1984).

Nedbørfelt	2772	km ²
Middels årleg avrenning	3494	mill. m ³
Innsjøareal	34,6	km ²
Største djupne	167	m
Middel djupne	58	m
Innsjøvolum	1995	mill. m ³
Teoretisk opphaldstid	0,6	år

2.2 Vassdragsreguleringar

Otra er kraftig regulert gjennom heile vassdraget (**Figur 2**). 121 km² av Otras nedbørfelt (3,2%) i Storevatnområdet er overført til Sira-Kvinas utbygging av Ulla-Førre. Otravassdragets nedslagsfelt er framleis 3617 km². Vatnedalsvatn (1150 mill. m³) og Botsvatn (296 mill. m³) er hovudmagasin i Bykle. Hartevatn og Breivevatn vert pumpa opp til Førsvatn som er overført til Vatnedal. All avrenning frå Skyvatn er også overført til Vatnedalsvatn. Til Holen kraftverk ved Botsvatn er det eit fall på 289 m. Store Urevatn og Reinevatn er leda til Skargje kraftverk, også ved Botsvatn.

Bjørnarå er, via det nye takrennesystemet som samlar opp fleire elver på austsida av dalen, ført nord til den nye demningen med kraftverk ved Sarvsfoss som også drenerer til Botsvatn. Eit anna nytt takrennesprosjekt er Brokke Sør som leiar vatn frå vestsida inn i det same systemet.



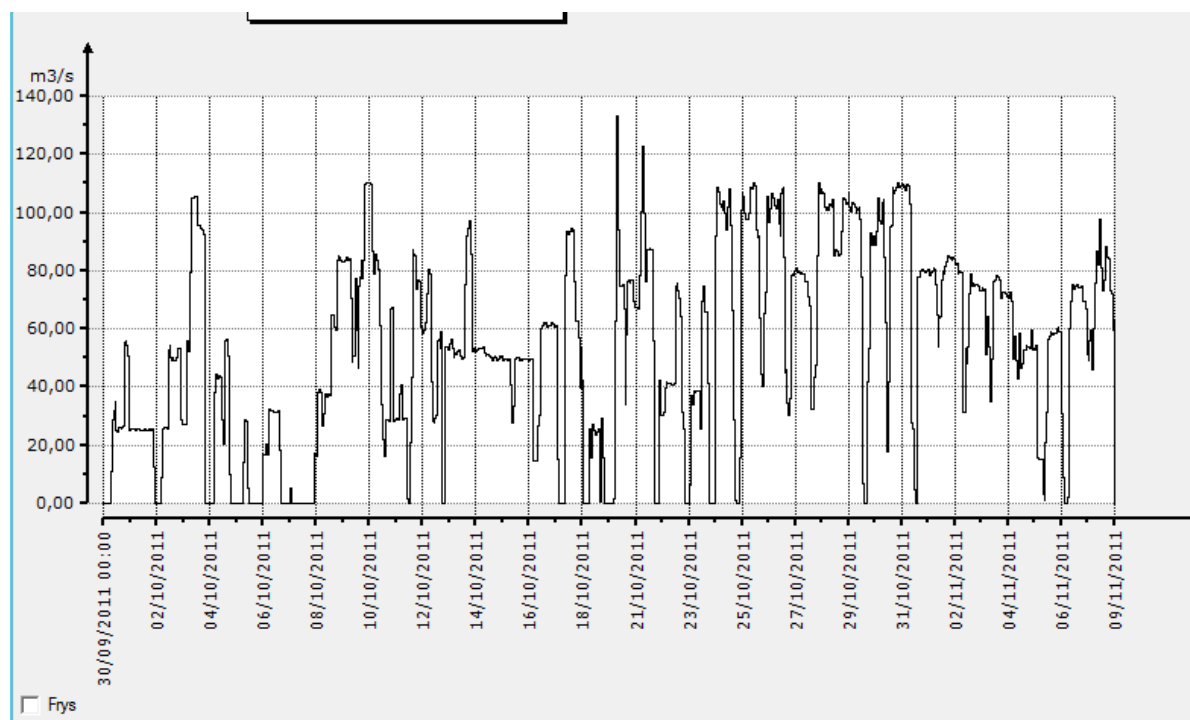
Figur 2. Vassdragsreguleringar i Otra med nedslagsfeltet. (Otra Kraft DA/Statkraft E.)

Vassføringa i Setesdal er derfor mange stader leia utanfor sitt naturlege løp og i tunnel til kraftproduksjon. Særleg mellom Hovden og Valle er det lite vatn att i elveleiet (minstevassføring, **Tabell 3**). Minstevassføring ved Valle er 3 m³/s om sommaren og 2 m³/s om vinteren. Ved utlauget av Brokke kraftverk renn vatnet i det naturlege elvefaret, for så å gå inn att i fjellet ved Tjurrmo nedafor Rysstad til Hekni kraftverk ved Langeid (ferdig utbygd i 1995). Minstevassføring på den regulerede strekningen er 5 m³/s om sommaren og 3 m³/s om vinteren. Dei fleste store kraftverk kjøres ulikt i dag- og nattproduksjon på grunn av døgnvariasjon i straumforbruket (**Figur 3**).

På austheia av Byglandsfjorden ligg Hovatn og Langeraksvatn som er regulert til kraftproduksjon. Langerak kraftstasjon med sin 100 år gamle turbin og aggregat er framleis i drift. Tilsaman tilsvarar dei to sidevassdraga ei middellavrenning på 3 m³/s.

Nedanfor Kilefjorden er det også fleire kraftverk, 5 i alt, som vert rekna som reine elvekraftverk. For å forsyne desse kraftverka med jamn tilførsel av vatn er Byglandsfjorden regulert med inntil 5 m (LRV kote 198; HRV kote 203). Men fjorden vert sjeldan tappa ned under kote 200. Reguleringshøgda av Byglandsfjorden tilsvarar eit magasinivolum på 212 mill. m³. Frå vårflommens kulminasjon til 1. september skal vannstanden ikkje underskride øvre reguleringsgrense med meir enn 1 m (reg. forskrift). I gytetida for bleka, definert til 1. – 31. desember skal vannstanden vera opp mot kote 201,5 (NVE 2013, Tillatelse til midlertidig avvik frå manøvreringsreglement for Byglandsfjorden).

Frå



Figur 3. Eksempel på stor variasjon i vassføringa ut frå Brokke kraftstasjon (frå Agder Energi Vannkraft).

Tabell 3. Minstevassføring i regulerte deler av øvre Otra.

	Minstevassføring m ³ /s	
	Sommar	Vinter
Hartevatn, utlaup	2	0,5
Otra ved Bykil	0,2	0,2
Otra ved Valle	4	2
Otra ved Hekni (restfeltet)	5	3
Utlaupe av Byglandsfjorden	15	15

2.3 Vasskvalitet

2.3.1 Generelt

Berggrunnen i det nordre området av Otravassdraget har god bufferevne mot sur nedbør og vasskvaliteten er god. Det er eit geologisk skilje i breksja ved Vatnedalen mellom Bykle og Hovden. Bergartane i nedbørsfeltet sør for dette er for det meste gneis og granitt som gjev mineralfattig avrenningsvatn og dermed har lita motstandsevne mot surt vatn (Kaste og Hindar 1994). Nord for Vatnedalen og aust for Valle finst det metamorfe og sedimentære bergartar som gjev vatnet større bufferkapasitet. I Otravassdraget er det ein gradient mot svakare bufferevne frå nord mot sør.

Frå lengst nord i vassdraget og ned til Flånè i Valle er vasskvaliteten bra. J.f. vassprøveprogrammet i blekeprosjektet, der det ikkje er registrert skade på botndyrsamfunnet. Nedanfor utlaupet av Brokke kraftverk kan det i periodar, vanlegvis om våren eller i forbindelse med store nedbørsmengder oppstå markerte tidsavgrensa forsuringsepisodar av Otra (Barlaup mfl. 2015). Dette står i kontrast til den generelle utviklinga dei siste 15-20 år, der skadeverknader på fisk pga. sur nedbør har avteke og no ikkje ser ut til å påverka aure i særleg negativ grad (Vethe mfl 2004, 2005, 2010, Vethe 2015), Barlaup mfl. 2003, Lindås 1993, 1994). Men mattilgangen for fisk er framleis påverka ved at forsuringfølsomme artar av botndyr og plankton er fråverande (Barlaup mfl. 2015). Vidare sørover langs Otravassdraget vert det tilført fleire sure tilløp frå sidevassdrag, og sjølv om kvart enkelt er lite i høve til hovudelva, vil summen av dei bety ein del for vasskvaliteten (Barlaup mfl. 2015).

Det vasskjemiske måleprogrammet i Blekeprosjektet vart påbegynt i 2010. Både den historiske og dagens forekomst av bleke kan vera begrensa av vasskjemii, av reguleringane eller ein kombinasjon av baa. Sjølv om dagens vasskjemii i Otra er betydeleg betre enn på 1980-talet, er mange av sidebekkane framleis sure, og dei kan vera ei betydeleg kjelde til transport av giftig aluminium ut i hovudelva. I blandsonene mellom hovodelv og sidevassdrag vil aluminium kunne føreliggje på ei ustabil og særst giftig tilstandsform, trass i at pH i hovudelva er god (Rosseland mfl. 1992).

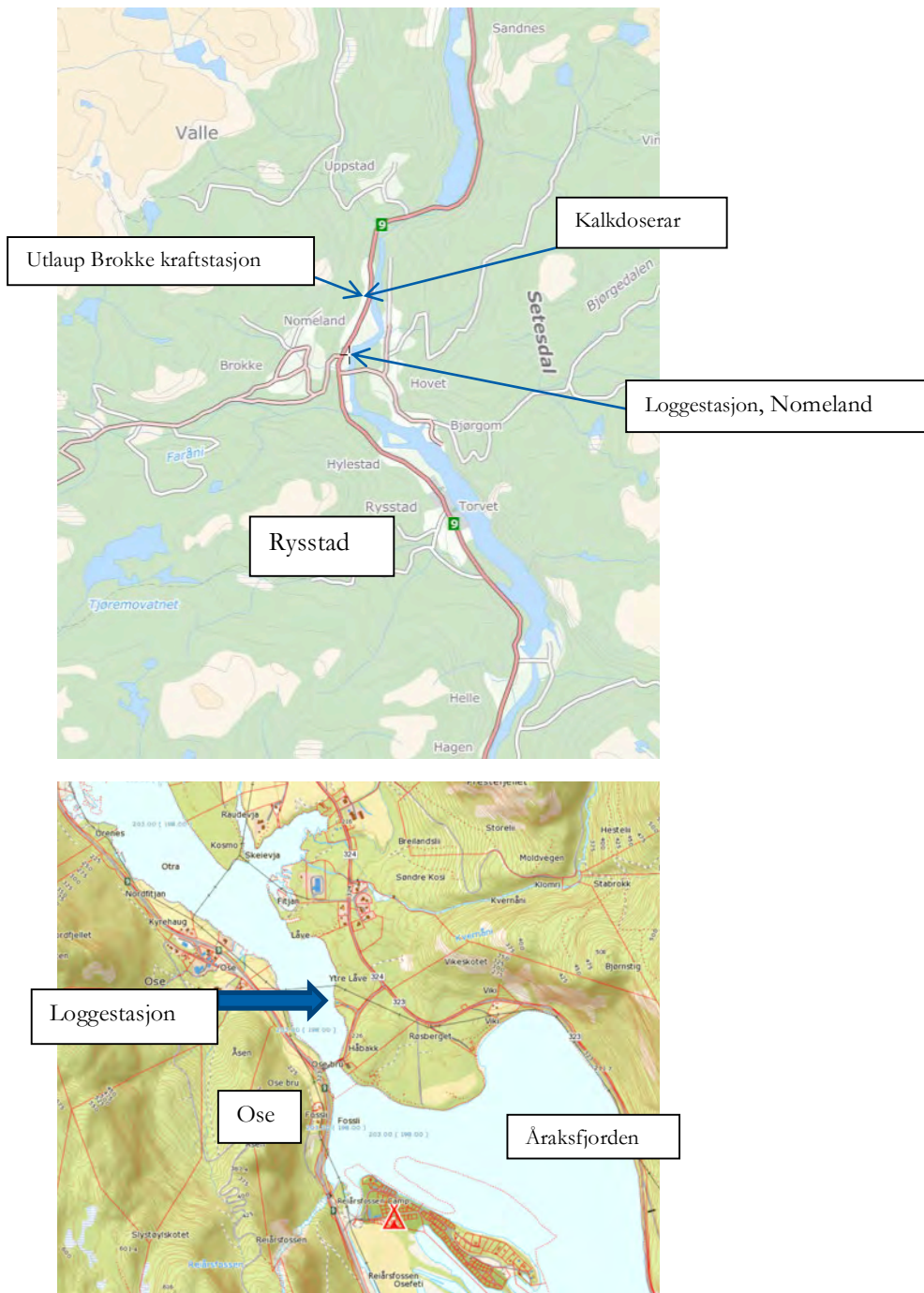
Det veks mykje krypsiv (*Juncus bulbosus*) i heile vassdraget. Regulering er ein av faktorane som truleg påverkar denne veksten (vedlegg C). Reguleringane vil også kunne skape variasjon i vasskjemien, avhengig av kva for vassmagasin som til eikvar tid vert nytta. Dersom godt bufra vatn vert halde attende i dei store reguleringsmagasina i fjellet, mens det overføres vatn frå lågareliggjande og surare «takrenne»-felt, vil det kunne oppstå forsuringsepisodar i hovudelva. Likeeins vil det kunne oppstå forsuring i hovudelva dersom det vert tappa lite frå reguleringsmagasina og sure sidevassdrag får dominera vassføringa i hovudelva.

2.3.2 Vasskvalitetsundersøkingar i Blekeprosjektet

pH-logging

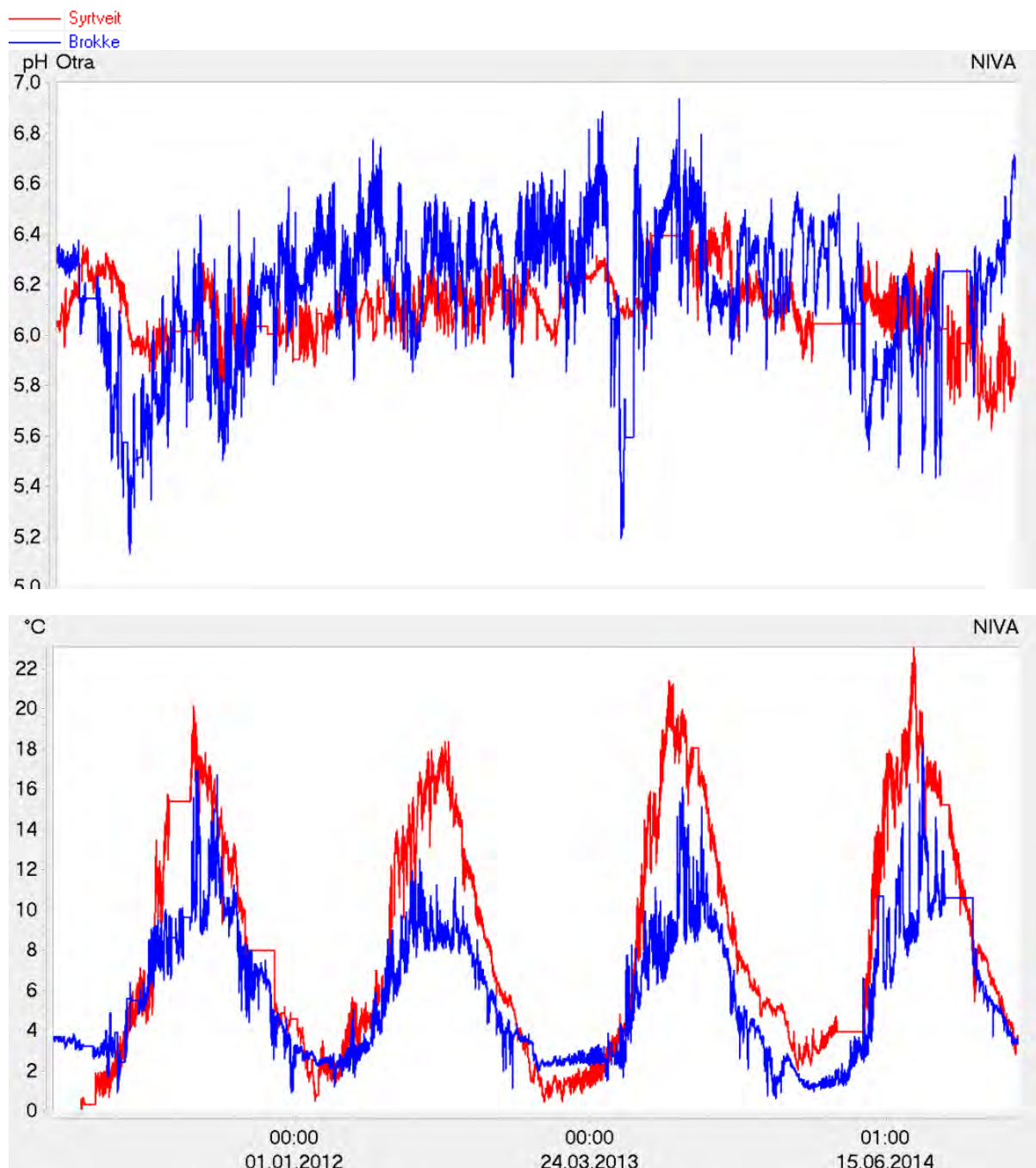
Sidan 2010 har to automatiske pH-overvåkingsstasjonar vore drifta på Nomeland, nedafor utlaupet av Brokke kraftstasjon (**Figur 4**) og Syrtveit ved utlaupet av Byglandsfjord. Stasjonane samlar pH- og

temperaturdata kvart minutt og lagrar gjennomsnittet av alle verdiar pr. time. I tillegg blir maksimums- og minimumsverdiar lagra. Loggedata frå desse overvåkingsstasjonane vert kvalitetssikra og gjort tilgjengeleg for Blekeprosjektets årsrapportar. Loggaren ved Syrtveit vart flytta til Ose 14.4.2015, mens pH-målingar på døgnbasis fortsette på manuell basis ved Syrtveit.



Figur 4. Loggestasjonar for pH og temperatur i Otra ved Nomeland og Ose. Fram til april 2015 var det og ein stasjon ved utløpet av Byglandsfjord (Syrtveit). Forslag til plassering av kalkdoserer ved Brokke er vist.

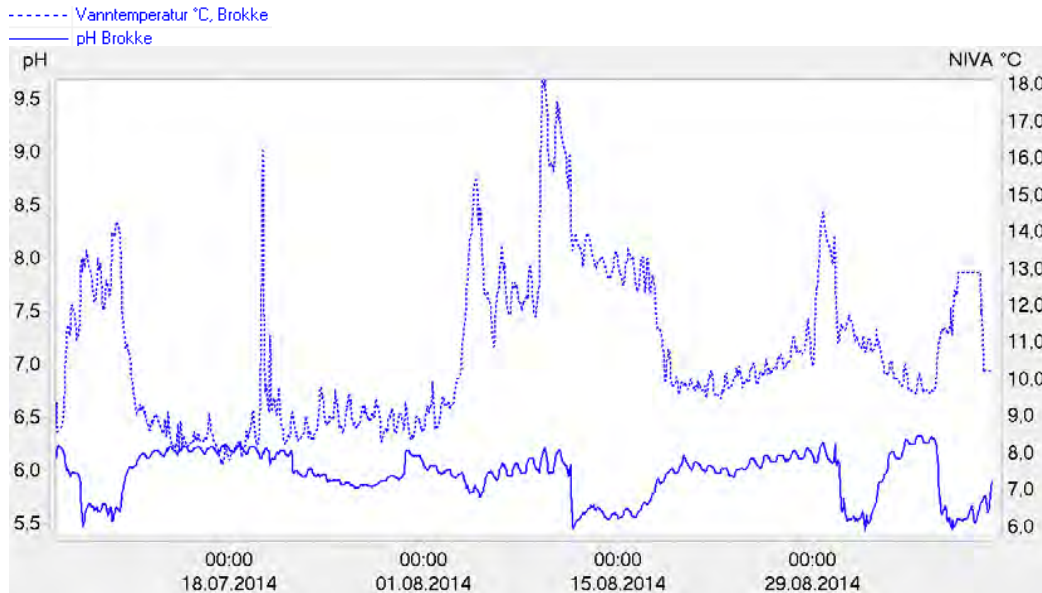
Det er rapportert kontinuerlege pH - og temperaturdata frå Syrtveit og Brokke i åra 2011-2014 (Barlaup m.fl. 2015), (**Figur 5** og **Figur 6**). Dataene viser at pH-regimet er forskjellig ved dei to stasjonane. Brokke har langt større variasjonar enn Syrtveit. Langvarig forsuring ved Brokke oppstod i forbindelse med våravsmeltinga i april 2011, i mai 2013 og i juli-september 2014, utan at det vart påvist spesielt surt vatn ved Syrtveit.



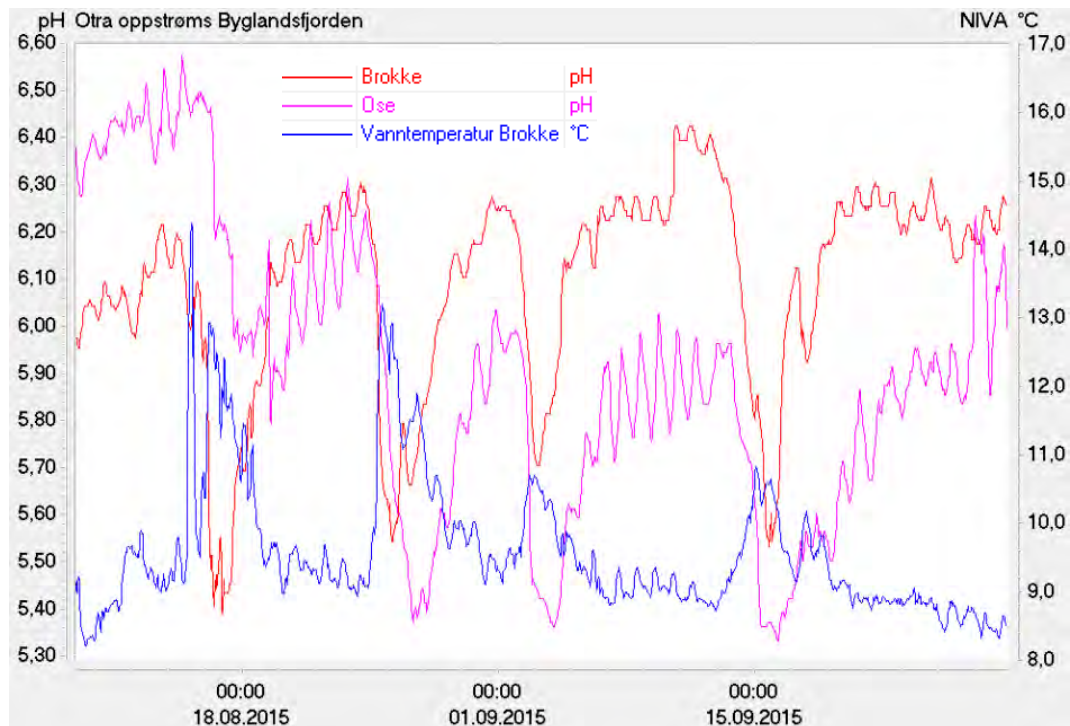
Figur 5. pH og temp. i Otra (blå strek: Brokke; raud: Syrtveit) 2012-14.

Episodane ved Brokke i juli-september 2014 er synt i **Figur 6**. Denne viser fire påfølgjande sure episodar med varierende intervall. Temperaturen auka samstundes. Forholdet må ha samanheng med manøvrering

av ulikt vatn gjennom Brokke kraftverk. Det sure vatnet hadde langt høgare temperatur enn vatnet i elva utanom forsuringsepisodane. Frå første del av september vart det registrert gradvis lågare pH ut av Byglandsfjorden ved Syrtveit (**Figur 5**).



Figur 6. Vasstemperatur og pH ved Brokke i tida 5. juli til 10. september 2014. Temperaturen i vatnet steig i dei periodane pH vart låg i elva.



Figur 7. pH ved Brokke og Ose sammen med vasstemperaturen ved Brokke i august og september 2015. Forsuringa oppstår i forbindelse med periodevis temperaturauke. Vatnet vert surare på vegen frå Brokke til Ose.

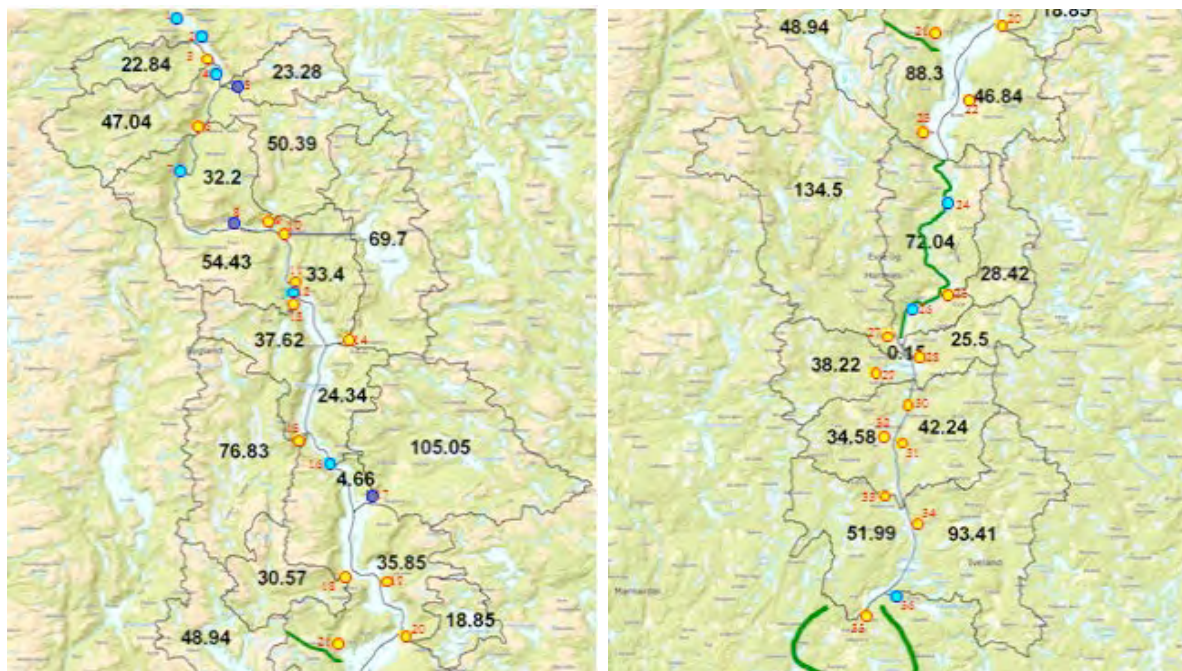
Ved utløpet av Byglandsfjorden var pH under 6,0 heile hausten i 2014. Med unntak av vinteren 2011/2012 er det ikkje tidlegare i overvåkingsperioden målt fleire stikkprøvar på rad med pH-verdiar under 6,0. Resultata frå vår- og haustrunden i sidebekkane viser at pH her er gjennomgåande lågare enn i hovedelva.

pH-stasjonen på Ose (frå april 2015) har i ettertid gjeve auka innsikt om korleis forsuringsepisodane utviklar seg frå Brokke til Byglandsfjorden. Forsuringa blir ofte djupare ved Ose enn ved Brokke. I forsuringsepisodane vert pH redusert kortvarig < pH 5,5; for deretter å vise aukande pH i ca. 1 veke (**Figur 7**).

Vasskjemidata

I tillegg til loggarane har Blekeprosjektet gjennomført eit omfattande vassprøveprogram på inntil 38 faste stasjonar i Otravassdraget med sideelver og bekkar. Plassering av stasjonane er vist i **Figur 8** og nærmare opplysningar i **Tabell 4**. Fram til 2013 vart det teke prøve kvar veke på dei viktigaste stasjonane, deretter månadlege prøvar. Stasjonane som har betegnelsen «hovedelv» av Otra vert rekna som dei viktigaste med tanke på kalkingsdosering, men også dei største «sure» tilløpselvene. Alle parameter er ikkje målt på alle prøvane. I dei fleste rutineprøvar er det målt berre pH. I dei viktigaste periodane på nøkkelstasjonane er det målt full serie; dvs. pH, labilt Al, ANC, kalsium, alkalitet, TOC og ledningsevne.

Vi har også tilgang på tidlegare måldata (SFTs overvåkingsprogram), særleg stasjonane ved Valle vannmerke og Ose bru er nyttige når det gjeld langtidstrend i vasskjemien, med sine månadlege pH-data heilt frå slutten av 1970-åra (Kaste mfl. 2000).

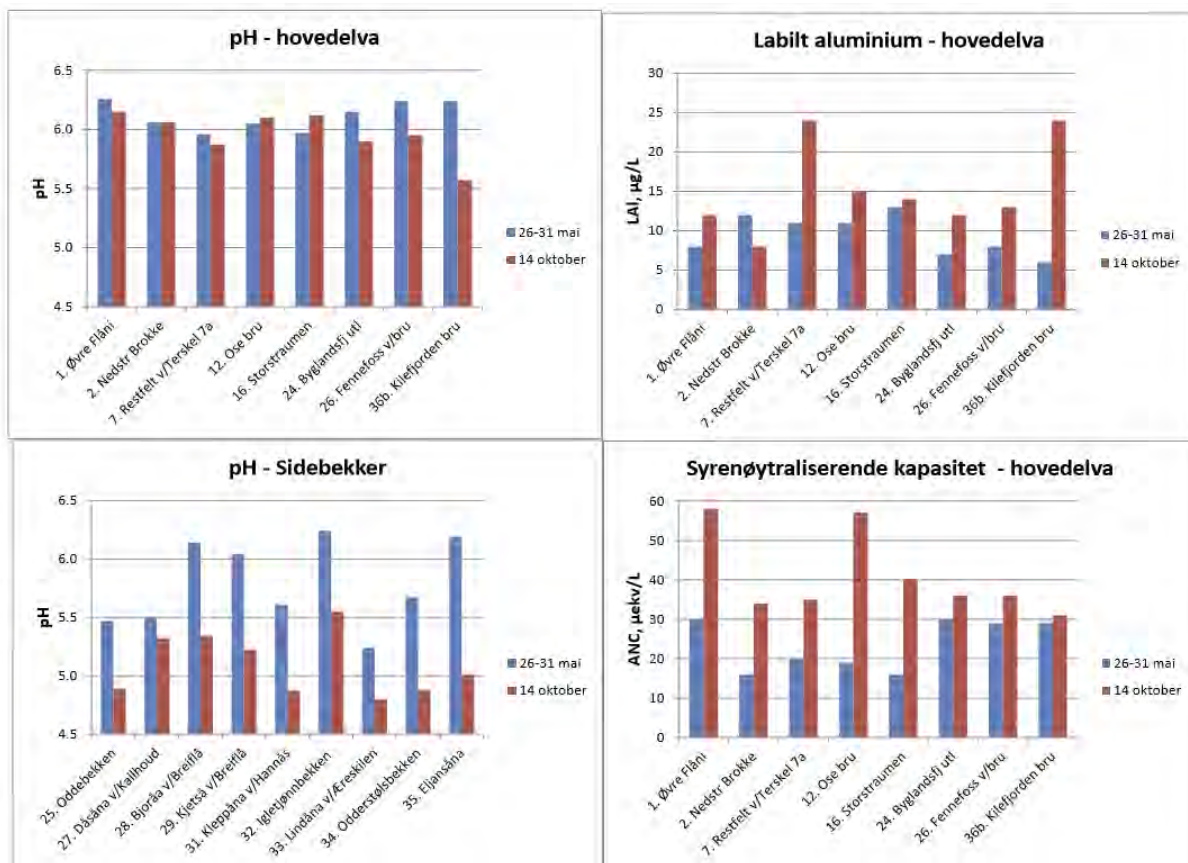


Figur 8. Prøvetakingsstasjonar for vatn i Otra (NIVA/ LFI Uni Research Miljø)

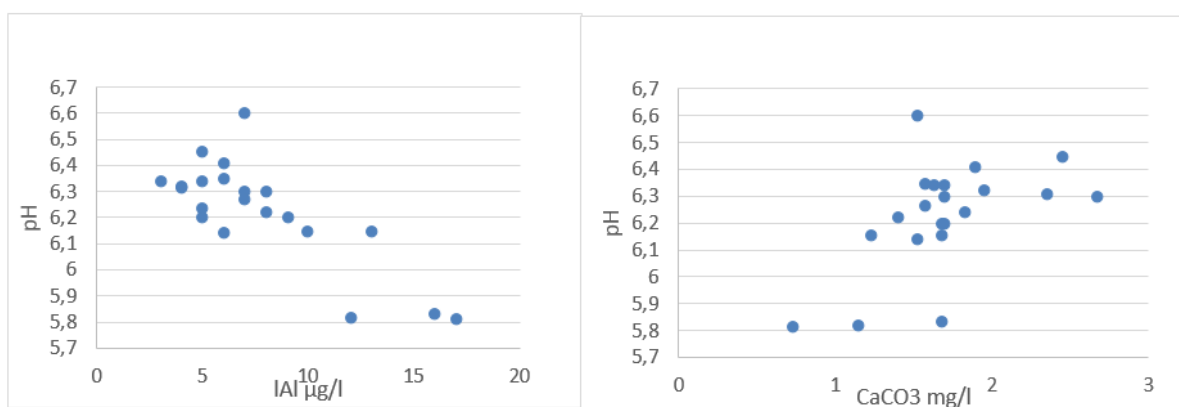
Tabell 4. Vassprøvestasjonar i Otra. Stasjonsnummer er angitt i **figur 7** for lettare identifisering av stad. (Barlaup mfl. 2015).

St.nr.	Stasjonsnavn	Side av elva	Areal økning	Avstand økning	ØV X-koordinat	NS Y-koordinat
1	Øvre Flåni		0	0	416024	6559954
2	Nedstr Brokke		10	3.6	414947	6554129
3	Fjellskardelva	V	22.8	8.5	416875	6549833
4	v/Straume		23.8	9.7	418158	6548464
5	Fra Straumsgjuvet (øst)	Ø	46.1	9.8	418264	6548708
6	Kvernåni	V	93.1	14.2	416819	6544742
7	v/Terskel 17a		94.1	18.5	416241	6542144
8	Moen	Ø	125.3	25.1	420217	6539095
9	Heistadfossen v/Heistadmoen	Ø	175.7	27.4	422325	6539514
10	Utløp kraftstasjon Hovatn	Ø	175.7	28.5	423322	6538643
11	Kvernåni v/Ose	Ø	263.5	31.8	424491	6535685
12	Ose bru		264.5	32.5	424438	6534937
13	Reiarsfossen	V	301.1	32.8	424479	6534367
14	Bekk fra Hovatn	Ø	370.8	36.5	427877	6532094
15	Skåmåni	V	471.9	42.3	427505	6524763
16	Storstraumen		472.9	45.5	427717	6524041
17	Kvålsåna Bygland	Ø	611.7	48.5	430950	6522400
18	Melåni	V	642.3	53.4	429350	6516930
19	Lauvdal	Ø	678.2	56.3	432115	6516882
20	Longeråkåni	Ø	697.1	59.6	433544	6513484
21	Dalebekken	V	725.1	62.9	429789	6512424
22	Grendiåni	Ø	771.9	66.5	431959	6507817
23	Boåni	V	831.9	68.9	429209	6505781
24	Byglandsfjorden utløp		832.9	75.6	431189	6501335
25	Oddebekken	Ø	860.3	83	431204	6494934
26	Fennefoss v/bru		932.3	84.2	428956	6493528
27	Dåsåna v/Kallhoud	V	1115.7	88	425998	6493513
28	Bjøråa v/Breiflå	Ø	1141.2	89.8	430381	6490778
29	Kjetså v/Breiflå	V	1179.4	91	427389	6489974
30	Gymåne v/Hannås	Ø	1191.4	94.3	429659	6487127
31	Kleppåna v/Hannås	Ø	1221.4	96.7	429384	6485259
32	Igljtjønnbekken v/Hannåskilen	V	1256	96.1	428148	6485981
33	Lindåna v/Ereskilen	V	1308	101.3	428580	6481791
34	Odderstølsbekken	Ø	1401.4	102.8	432283	6479711
35	Eljansåna	V	1426.4	107.1	427974	6474062
36	Kilefjorden utløp		1427.4	107.6	429745	6475186
36b	Kilefjorden bru					

Stikkprøver av vasskjemi på stasjonane i hovudelva viser pH-variasjon mellom 5,6 og 6,3 (**Figur 9** og **Figur 10**). Konsentrasjonen av labilt Al (LAl) var som regel høgare om hausten enn om våren, mens ANC (syrenøytraliserande kapasitet) også var høgast om hausten. Målingane viser at sidebekker og elver gjennomgåande er surare enn hovudvassdraget.



Figur 9. Resultat av vasskjemi frå vår og haust 2014 i hovudelva og sidebekkar; pH, syrenøytraliserande kapasitet (ANC) og labilt aluminium. Data frå Blekeprosjektet (Barlaup mfl. 2015).



Figur 10. pH, labilt aluminium (lAl) og kalsiumkarbonat (CaCO₃) nedstrøms Brokke kraftstasjon. lAl > 10 µg/l ved pH < 6,1. CaCO₃- konsentrasjonar i området 1,5-2,5 mg/l gir pH > 6,1.

3 Tålegrenser for bleke

Det er definert vasskvalitetsgrenser for aure og laks (Norsk klassifiseringssystem for vann; Direktorsgruppa 2009/2013). Bleke står i ei særstilling, då vasskvalitetsgrenser ikkje er formelt definert for reliktt innlandslaks. Erfaringar viser at bleka har litt høgare fysiologiske krav til vasskvalitet enn aure og får problem, særleg med reproduksjon i periodar med dårlegare vasskvalitet. I gjennomsnitt har vatnet i Otra omlag 0,8 mg Ca/l og omlag 2 mg TOC/l. Vassdraget kan då tilordnast elvetype 12;1d, svært kalkfattig, svært klar, (Norsk klassifiseringssystem for vann). Grensa mellom god og moderat er sett til pH 6,2 ANC til 25 $\mu\text{ekv/l}$ og LAI til 10 $\mu\text{g Al/l}$, (Enge og Kroglund 2009).

Utgangspunktet for vasskvalitetsmålet er fastsette grenser for laks. Kravet til vasskvalitet hjå laks varierer gjennom ulike stadium av livet. Parrstadiet (før utvandring frå elva) er det mest robuste, mens smoltifiseringsperioden er den mest utsette perioden. Under denne perioden er pH-grensa sett til 6,2-6,4 for anadrom laks (Kroglund mfl. 2008a). Vasskvalitetskravet som er brukt på anadrom laks er sett for å beskytta smoltens saltvasstoleranse. Sjølv om bleka er ein laks, utvandrar den ikkje til havet og treng dermed ikkje ein slik beskyttelse. Likevel foregår det ei form for smoltifisering som påverkar fiskefysiologien. Det finst ingen forsøksresultat som kan gje grunnlag for definisjon av grenseverdier. Eit pH-mål på 6,1 er derfor sett på skjønn. Dette krev ein vasskvalitetsforbedring frå omlag pH 5,8 til pH 6,1 i alle blekeførande deler av vassdraget

For bedre å forstå korleis det rådande vasskjemiregime påvirkar blekebestanden og for å sette kalkingsmål er det et behov for å gjennomføre eksperimentelle forsøk for å definere tålegrensene bleka har i forhold til vasskvalitet.

4 Kalkingsstrategi

Dei to automatiske pH-overvåkingsstasjonane på Brokke og Ose har avdekt periodevis forsureing av Otra, (ref. 2.3.2). Tilstandane oppstår når spesielt stort hydraulisk trykk av «takrennevatn» stoppar vatn frå Botsvatn i tunnelen inn mot Brokke kraftverk. Årsakene kan vere spesielt kraftige og langvarige regnvêrsepisodar og/eller våravrenning av smelta snø og is. Vannstanden i Botsvatn er også ein faktor som fastset mottrykket i denne effekten. Takrennevatnet drenerer frå fattige nedbørsfelt og er surt (ref. **Error! Reference source not found.**). Kalkingsstrategien i hovudelva må innrettast på tiltak i desse episodane. Eit pH-styrt kalkingsanlegg i utslaget frå Brokke kraftverk vil effektivt motverke forsureingsepisodane i området mellom Brokke og Ose. pH som prosesssignal kan enklast etablerast på gjeldande pH-overvåkingsstasjon ved Nomeland (Nord: 59° 06.696' Aust: 7° 30.571'). Innblandingforholda er slik at det ikkje kan påreknast fullstendig kalkinnblanding. Årsaka er at elva renn i berre ein vestleg sving mellom utslaget og pH-stasjonen. Ei øy, Jorisøya, motverkar også effektiv innblanding. Likevel blir desse forholda vurderte som kompenserbare ved justering av pH-krava. Avstanden mellom doseringspunkt og pH-måling er 1270 m. Denne avstanden er under normale vassføringsforhold tilstrekkeleg til å oppnå god oppløysing av kalk og i stor grad ferdig reagert blandsoneproblematikk. Likevel vil reaksjonstida reduserast vesentleg ved flaum. For raskare oppløysing blir det foreslått å nytte kategori 2 kalk (50 % < 4 µm). Det blir foreslått å nytte kalkprodukt med CaCO₃-innhald = 95 %, då dette sikrar mot synleg sedimentering på elvebotnen.

Vasskjemiske tålegrensar for bleke er ikkje identifisert. Tidlegare er grensa karakterisert som ein stad mellom nivået for aure og laks. (Rosseland mfl. 1986). For anadrom laks bør lAl-konsentrasjonen i sårbare livsstadium ikkje overgå 10 µg/l. Av **Figur 10** framgår at pH 6,1 er grensenivået for når lAl-konsentrasjonen overskrir dette nedstraums Brokke. Bleke i dette området er også utsett for gassovermetning som saman med giftig aluminium kan gje ein større negativ effekt enn faktorane enkeltvis. Forhold omkring desse interaksjonane er ikkje undersøkt, men før desse opplysingane eventuelt er framskaffa, er det fornuftig å setje pH-målet for kalkinga høgt for dermed å dempe potensielle samverkingseffektar. Det blir derfor foreslått pH 6,1 som målverdi. Det blir her skissert fire alternative kalkingsstrategiar for å nå desse vasskjemiske måla. Det er rekna med 75 % kalkoppløysing. Titreringskurva som ligg til grunn for doseberekningar er henta frå en generell tabell gjeldande for vannkvaliteter med konsentrasjon av totalt organisk karbon < 3 mg TOC/l. For optimal tabell må titreringsanalysar foretakast på aktuelt surt Otravatn.

Alternativ 1

Dosering til pH 6,3 frå doseringsanlegg ved Brokke.

Dette føreset at pH-kravet (styringsverdi som må settast for å nå pH-målet) på doseringsanlegget vert sett i forhold til pH målt ved det antekne suraste punktet i blekeførande strekning, som er oppstraums Åraksfjorden ved Ose. Ein pH-reduksjon på 0,2 pH på denne strekningen er ofte observert. Doseringkapasiteten på anlegget må derfor vere stor nok til å kunne auke pH frå 5,3 til 6,3 ved vassføringar opp mot 250 m³/s (slukeevne på Brokke kraftverk + vassføringa i naturleg elveprofil). Forutsett totalt organisk karbon (TOC) < 3 mg/l, må CaCO₃-konsentrasjonen vere 1,13 g/m³. Ved 75 % oppløysing vil doseringa bli 33 tonn CaCO₃/døgn. Årleg kalkbehov vil variere mykje, avhengig av årsvariasjon i avrenning og reguleringsregimet. På bakgrunn utrekningar gjorde med fem års historikk (2011-2015) er behovet berekna til å vere maksimum 1000 tonn/år.

Alternativ 2

Dosering til pH 6,2 frå doseringsanlegg ved Brokke og kalking ved utslaget frå Hovatn kraftverk.

Nedbørfeltet til Hovatn kraftverk (71 km²) drenerer frå sure bergartar. Tidlegare er det målt haustverdiar i området pH 5,4-5,7 (Vethe mfl. 2009). Feltnmålingar hausten 2016 viste pH 5,35. Kalkdosering av dette vatnet vil redusere blandsoneproblematikken i områda nedstraums Heistad. Ved val av ei slik løysing vil pH ved Ose spele ei mindre rolle i forhold til pH-kravet ved Brokke. Av **Figur 7** framgår at pH ved Ose blir redusert i forhold til Brokke ved forsureingsepisodar. Denne effekten vil bli mindre, og pH-kravet ved

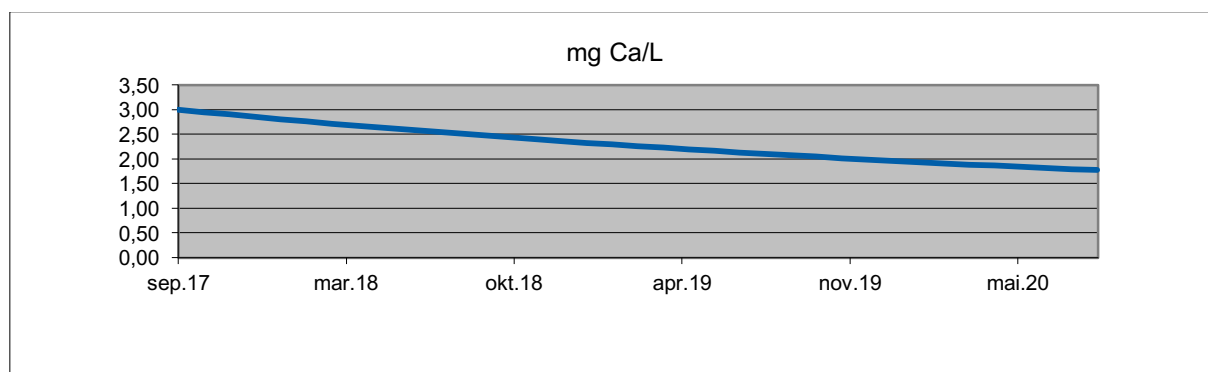
Brokke vert derfor foreslege sett til pH 6,2. Kalkingsbehovet ved Brokke er berekna til maksimum 800 tonn/år. Ved Hovatn kraftstasjon på Heistad vil kalkingsbehovet vere 65 tonn/år. Då slukeevna på kraftverket er over 10 m³/s, må doseringskapasiteten vere minst. 1,1 tonn/døgn. For rask oppløysing av kalken vert det foreslått kalk av kategori 2.

Også andre sidedebørfelt i området Brokke-Ose bør kalkast, men bekkane er små, og etablering av doseringsanlegg i desse står ikkje i forhold til investeringskostnadane. I nokre felt kan innsjøkalking nyttast, men effekten for bleke er usikker, då surt overflatevatn vil tilførast Otra periodevis frå desse innsjøane i lagdelingsperioden vinterstid.

Alternativ 3

Dosering til pH 6,2 frå doseringsanlegg ved Brokke og innsjøkalking av Hovatn.

Opphaldstida i Hovatn er 3,6 år. Det foreslås kalka med 1,7 gonger grunddosen kvart 3 år (**Figur 11**). Metoden kan nyttast fordi uttakspunktet av vatn frå Hovatnmagasinet er ca. 15 m. under overflata ved lågaste tillatne magasinffylling. Sannsynligheita for surt overflatevatn frå Hovatn er derfor lite. Det er beregnet et kalkbehov på 575 tonn CaCO₃ som kalksteinsmjøl kvart 3 år. Det blir da kalka for heile nedbørfeltet til Hovatn kraftverk (71 km²).



Figur 11. Avtak i CaCO₃-konsentrasjon gjennom tre år etter kalking. Berekna kalking om hausten.

Alternativ 4

Dosering til pH 6,1 frå doseringsanlegg ved Brokke og terrengkalking av restfeltet nedstraums Brokke.

Desse områda omfattar alle nedbørfelt på austsida av Otra mellom Brokke og Ose. Vidare nedbørfelta nedstraums Myklevatn nedbørfelt på vestsida av Otra til Ose. Samla areal vil utgjere 245 km² (**Tabell 5**). Berggrunnen er for det meste av gneis, granitt og andre fattige bergartar. Likevel må naturforhold som kan redusere spreingsarealet bli utgreia nærmare. Kjørereglar for val av spreingsmetode, kalktype og areal er tilrått av Terrengkalkingsprosjektet (Hindar mfl., 2012). Mellombelse utrekningar viser at terrengkalking krev spreing av 49000 tonn grovdolomitt. Kornfordelinga kan vere 0-2 mm, men det er ein fordel for vegetasjonen at finfraksjonen er fjerna slik at kornfordelinga er 0,2-2 mm. Ved berre spreing i gunstige område av terrenget (hovudsakleg skog) bør ein kalkdose i dei områda som faktisk blir kalka vere 4,6 tonn/ha. Kalkeffekten ved terrengkalking er målt og modellert. Desse antyder ein effektperiode på 20-30 år. Det vil seie at kostnaden kan fordelast på denne perioden, og vi har her brukt 25 år. Blir kostnaden samanlikna med andre tiltak, bør ein leggje vekt på at det ikkje er kostnader knytt til terrengkalking etter at tiltaket er gjennomført og oppnått effekt er dokumentert i løpet av eit par år. Det er knytt uvisse til om vald kalkkonsentrasjon kan reduserast utan at verknadstida blir redusert. Derfor blir foreslått at kalkinga først blir gjennomført med 2,3 tonn/ha for deretter å følgje effekten av dette før ein eventuell rekalking.

Tabell 5. Restfelt mellom Brokke og Ose. Tabellen viser nedslagsfeltets størrelse og arealtypar som bør unngåast ved terrengkalking i %.

	Brokke-Ose
Nedslagsfelter km ²	245,94
Sjø %	8
Dyrka mark %	0,5
Myr %	3,3
Snaufjell %	45
Urban %	0,08

5 Anbefaling om valg av kalkingsstrategi

Alle dei foreslåtte kalkingsstrategiane vil gje ein god vasskvalitetsforbedrande effekt i oppvandringsområda for bleke. Likevel er det skilnader på forventa effekt. Best effekt på vasskvaliteten vil oppnåast dersom det blir kalka frå Brokke og gjennomført terrengkalking i områda mellom Brokke og Ose. Utfordringa ved denne forma for kalking er dei store momentane kostnadene som må sjåast på som eit kalkingsforskot med verknad i bortimot 25 år. Delnedbørfelta nedstraums Brokke kan ikkje fullkalkast på anna vis. Likevel er det mogeleg å kalke noko av dette ved utslaget frå Hovatn kraftstasjon. Dette tiltaket vil redusere ein del av effektane frå sure sidefelt. Sjøv om alternativet med terrengkalking er det klart beste for bleka, er den totale kostnaden så høg et forslaget vanskeleg kan anbefalast, men den gode vannfaglege effekten fremjast ved å gje alterantivet plass i kalkingsplanen. Innsjøkalking av Hovatn vil hjelpe på nær same vis som dosererkalking frå Hovatn kraftstasjon. Dette er mogeleg då uttaket av vatn frå Hovatnmagasinet ikkje er i overflata. Sur overflateavrenning vil dermed unngåast. Det minst aktuelle kalkingstiltaket nedstraums Brokke er innsjøkalking av fjell og heivatn (helikopterkalking) grunna fare for sur avrenning av overflatevatn i visse tider av året.

Ei kalking berre frå Brokke er også fagleg forsvarleg så lenge det også blir kalka for sure tilførsler nedstraums Brokke ved å setje høgare pH-krav på anlegget. Ved pH-krav 6,3 vil ekstra dosering utgjere 25000 tonn i løpet av 25 år. Blandsonoeffekter vil likevel oppstå nedstraums alle sure sidebekker. **Tabell 6** viser kalkforbruket ved dei ulike alternativa, etablerings- og driftskostnader som cirka priser fordelt på 25 år.

Tabell 6. Etableringskostnader, driftskostnader og kalkforbruk som kalsiumkarbonat (CaCO_3). Alternativ 4 som grovdolomitt. Kostnadene nyttar høvesvis kr. 900/tonn levert kalkdoserer, kr. 2000/tonn for innsjøkalking og kr. 2400/tonn for terrengkalking. Siste kolonne er total årleg kostnad (inkl. etableringskostnad) fordelt over 25 år.

Alternativ	Etbl.			
	Anlegg	Drift/år	Tonn /år	kr /år
1	3500000	250000	1000	1290000
2	5000000	450000	865	1428500
3	3500000	250000	992	1494000
4	3500000	250000	2520	4704000

Anbefalinga blir i prioritert rekkefølge:

Alternativ 3: Dosering til pH 6,2 frå doseringsanlegg ved Brokke og innsjøkalking av Hovatn.

Alternativ 2: Dosering til pH 6,2 frå doseringsanlegg ved Brokke og kalking ved utslaget frå Hovatn kraftverk

Alternativ 1: Dosering til pH 6,3 frå doseringsanlegg ved Brokke

Aternativ 4: Dosering til pH 6,1 frå doseringsanlegg ved Brokke og terrengkalking av restfeltet nedstraums Brokke.

6 Referansar

- Barlaup B., Kleiven E., Kile N.B., og B.O. Martinsen 2003: Fiskebiologiske undersøkelser i fire reguleringsmagasin i Aust-Agder: Reinevatn, Skargjesvatn, Store Urevatn og Hovatn, høsten 2002. LFI-Universitetet i Bergen. Rapp. nr.126. ISSN-0801-9576.
- Barlaup, B.T., Kleiven, E., Christensen, H., Kile, N.B., Martinsen, B.O. og Vethe, A. 2005. Bleka i Byglandsfjorden- bestandsstatus og tiltak for økt naturlig rekruttering. DN-utredning 2005-3. 72 s.
- Barlaup, B.T., Sandven, O.R., Skoglund, H. Kleiven, E., Kile, N.B., Vethe, A., Martinsen, B.O., Gabrielsen, S.-E. og Wiers, T. 2008. Bleka i Byglandsfjorden - bestandsstatus og tiltak for økt naturlig rekruttering 1999-2009. DN-utredning 5-2009. 86 s.
- Barlaup B.T. (red.), H. Skoglund¹, B. Skår¹, S.E. Gabrielsen¹, G. A.Halvorsen, T.E. Isaksen, T. Haraldstad, A. Hobæk, R. Høgberget, F. Kroglund, G.B. Lehmann, B.O. Martinsen, E.S. Normann, Ø.Kaste, N.B. Kile, E. Kleiven, U.Pulg, L.B. Skancke, G. Velle, K.W., Vollset, A. Vethe, og T. Wiers 2015. Blekeprosjektet. Status og tiltak 2010-2014. LFI-Uni Research. Rapp. 249.
- Blomdal E. og Egerhei T. 1983. Vasspest (*Elodea canadensis*) i Evje og Hornnes kommune, Aust-Agder. Blyttia 41: s 58 – 60.
- Driscoll C.T. , Baker J.P., Bisogni J.J. & Schoefield C.L. 1980. Effects on aluminium speciation on fish in dilute acidic waters. Nature 284 p. 161-164.
- Driscoll C.T. 1995. Longterm trends in the chemistry of precipitation and lake water in the Adirondack Region of New York, USA. Water, air and soil pollution. Vol. 85, p. 583-88.
- Enge E. og F. Kroglund 2009. Population density of brown trout (*Salmo trutta*) in moderate acidic low conductivity mountain lakes in South Western Norway. Manus, vedlegg 9 i: Enge, E. (2009): Sira-Kvina utbyggingen - Effekter på vannkjemi, forsuringssituasjon og fiskebestander i Sira. (MSc oppgave, UiS).
- Garmo Ø, Skancke LB og Høgåsen T. 2015. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Vannkjemiske effekter 2014. M- 414, NIVA-rapport L nr. 6929.
- Gunnerød T.B. 1973. Rapport om bleken i Byglandsfjorden. Direktoratet for Vilt og Ferskvannsfisk. Notat 15.10.1973. 12s.
- Haraldstad M. 2007. Krypsiv i Otra. Tilstandeen i 2005 og forslag til vidare overvåking.
- Haraldstad, T., Kroglund F. og A. Hindar 2012. Kalkingsplan for Dåsånavassdraget. NIVA L.nr. 6288.
- Hendrey, G. R., K. Baalsrud, T. S. Traaen, M. Laake and G. Raddum. "Acid Precipitation: Some Hydrobiological Changes." *Ambio* 5.5/6 (1976): 224-27. Web.
- Hindar A. og Grande M. 1987: Otra 1980-1986.Tiltaksorientert overvåking. SFT/NIVA. Overvåkningsrapport 292/87, NIVA L.nr. 2056.
- 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. Aanes K.J. og Bækken T. 1991: Otra 1987-1990.Tiltaksorientert overvåking. SFT/NIVA. Overvåkningsrapport 472/91, NIVA L.nr. 2657.
- Hindar A. Aanes K.J. Bækken T. og Lindstrøm E. A. 1993. Otra 1992. Tiltaksorientert overvåking og konsekvensundersøkelse. SFT/NIVA. Overvåkningsrapport 535/93, NIVA L.nr. 2951.

- Hindar A., Garmo Ø. A. og Teien H. C. 2015. Sammenheng mellom labil Al og pH i kalkede laksevassdrag. NIVA L nr 6872-2015.
- Høgberget, Rolf 2016. Notat til prosjektmøte for Blekeprosj. 9.4.2016.
- Kaste Ø. og A. Hindar 1994. Tiltak mot forsurening av Otra - Kalkingsplan. NIVA Rapport L.nr. 3052.
- Kaste, Ø., Larsen, B.M., Lindstrøm, E-A. & Aanes, K.J. 2000. Tiltaksorientert overvåking av Otra i 1999. [Measure-oriented monitoring of River Otra in 1999 – English summary]. NIVA-rapport L nr 4244.
- Kleiven E., Vethe A. Homme T. A. 2009. Ørekyta i øvre Setesdal... Fauna vol. 61. s 64-73.
- KLIF 2010. Overvåking av langtransportert forurensing luft og nedbør. Årsrapport- Effekter 2009. Klima- og forurensingsdirektoratet (KLIF). Statlig program for forurensingsovervåking. Rapport 1078/2010. TA 2696/2010, 160s.
- Kroglund, F., Teien, H.C., Rosseland, B.O. og Salbu, B., 2001a. Time and pH-Dependent detoxification of aluminum in mixing zones between acid and non-acid rivers. *Water Air and Soil Pollution*, 130(1-4): 905-910.
- Kroglund, F., Teien, H.C., Rosseland, B.O., Salbu, B. og E. Lucassen 2001b. Water quality dependent recovery from aluminum stress in Atlantic salmon smolt. *Water Air And Soil Pollution*, 130(1-4): 911-916.
- Kroglund, T. og Ø. Kaste 2002. Forsuringsstatus og tiltaksplan mot forsurening i Nedre Otra, Vest-Agder. NIVA Rapport l.nr. 4588.
- Kroglund, F., Høgberget, R., Hindar, K., Østborg, G. og Balstad, T., 2008a. Laks og vannkvalitet i Otra, 1990-2006. NIVA. Rapport 1. nr OR-5531.
- Kroglund, F., Rosseland, B.O., Teien, H.C., Salbu, B., Kristensen, T., and Finstad, B. 2008b. Water quality limits for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to short term reductions in pH and increased aluminum simulating episodes. *Hydrology and Earth System Sciences* 12(2): 491-507.
- Leivestad H., Hendrey G., Muniz I.P. and E. Snekvik 1976. Effect of acid precipitation on freshwater organisms. In: Brække F.H. (red.). Impact of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway. SNSF-prosjektet, FR 6/76: 87-111.
- Lindås O.R. 1993. Etterundersøkelsen i magasiner og regulerte elver i Øvre Otra, Aust-Agder. Rapp. 147. LFI-Zool. Mus. UiO. ISSN 0333-161x
- Lindås O.R. 1994. Etterundersøkelsen i magasiner og regulerte elver i Øvre Otra, Aust-Agder. Rapp. 152. LFI-Zool. Mus. UiO. ISSN 0333-161x
- Miljødirektoratet.no . web: Kalking av vann og vassdrag. Kalking bedrer vannkjemien i sure vassdrag, og dermed også forholdene for fisk og andre organismer som lever i ferskvann.
- Moe, Therese Fosholt 2011. Nuisance growth of *Juncus bulbosus* in lakes and rivers - experimental studies. PhD-avhandling ved Universitet i Oslo. 131 s.
- Rosseland B.O., Skogheim O.K., Kroglund F. og E. Hoell 1986. Mortality and physiological stress of yearclasses of landlocked and migratory Atlantic salmon, brown trout and brook trout in acidic aluminium-rich soft water. *Water, Air, and Soil Poll.* 30: 751-756.
- Rosseland, B.O. og Hindar, A. 1991. Mixing zones - a fishery management problem? In: International lake and watershed liming practices. Terrene Inst. Washington, DC: 161-172.
- Rosseland, B.O., Blakar, I., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellestad, A., Lydersen, E., Oughton, D. H., Salbu, B., 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters... *Environmental Pollution* vol. 78: issues 1 - 3.
- Staurnes, M. and Vogt, R. 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters; Complex Al chemistry and extreme toxicity for salmonids. *Environ. Pollut.* 78: 3-8.

- Rørslett B., Tjomsland T., Løvik, J.E., Lydersen E., Mjelde M. og Grande M. 1981. Undersøkelse av Øvre Otra. NIVA Rapport L nr. 1263.
- Rørslett B., Brandrud T.E og S.W Johansen 1990: Tilgroing i terskelbasseng i Otra ved Valle. Problemanalyse og forslag til tiltak. NIVA Rapport. L nr. 2442.
- Saltveit S.J. 1983. Fiskeribiologiske undersøkelser i forbindelse med planer om bygging av Hekni kraftverk, Aust-Agder. Del 1.Fisk. Rapp. Lab. Ferskvannforsk. Innlandsfiske, Univ. i Oslo, 56. (39 s.)
- Størkersen Ø.R. 1992. Truete arter i Norge. Norwegian Red List. Direktoratet for naturforvaltning, DN-rapport 1992-6. 89 s.
- Teien, H. C. og Kroglund, F. 2009. Komparative studier mellom kalksteinsmel (Miljøkalk VK3, Miljøkalk NK3) og kalkslurry BIOKALK 75 - løselighet av Ca og økning i pH over tid. Rapport nr 1/2009. Institutt for plante- og miljøvitenskap - UMB.
- Vethe A. 2015. Aure i øvre Otra. Prøvefiske på strekningen Hartevatn - Ose 2010-2015 Fiskebiologiske undersøkingar i Otravassdraget. Rapport 12/2015, 24 s. Bygland kommune.
- Vethe A., Kile N.B. og Martinsen B.O. 2004. Etterundersøkingar i reguleringsmagasin til Otra; Vatnedalsvatn, Ormsavatn og Botsvatn 2003. Fiskebiologen i Bygland, 4745 Bygland. ISBN 82-993677-4-3.
- Vethe A., Kile N.B. og Martinsen B.O. 2005. Etterundersøkingar i samband med vassdragsregulering i øvre Otra; Skyvatn, Båstogvatn, Langvatn mfl. 2004, ISBN 82-993677-5-1.
- Vethe A. Kile N. B. og Martinsen B.O. 2009. Prøvefiske og biologiske undersøkingar i Longeraksvatn, Hovatn, Store Urevatn, Reinevatn og Skargjesvatn 2009. ISBN 82- 993677- 6.
- Østrem G., Flakstad N. og Santha J. M. 1984. Dybgekart over norske innsjøer. Meddelelse nr 48 frå hydrologisk avdeling. NVE. 128 s.

Vedlegg A. Eksisterande kalkingsprosjekt i Otravassdraget

Dei største sidevassdraga til Otra i midtre og nedre deler er Hovatn, Jorddalsvassdraget (Kvålsånè), Longeraksvatn, Skåmånè og Dåsåna (med store Gyvatn og Skjerka) (**Error! Reference source not found.**). For blekebestanden nedstraums Byglandsfjord er det alt vedteke at Dåsåna skal kalkast. Kalkingsplan for Dåsånassdraget føreligg, (Haraldstad og Kroglund 2012). Dåsvatn vart fullkalka første gong i 2013. Andre vatn i vassdraget som vert full- eller partielt kalka er Vetrhusvatn, Gjuvvatn m.fl. på Gråhei, Bygland.

Tidlegare vart fleire innsjøar i Otras nedslagsfelt kalka, men der kalking er avslutta heilt eller delvis er vist tabellen under

Det kan nok ha vore forhasta å avslutta fullkalking i fleire av desse sjøane. Ved å starta opp igjen kalking kan reforsuringa stansast i sidevassdraga som er mest belasta med dårleg bufferevne og låg pH. Med ein slik strategi vil ein få ein gevinst ved at ein større del av Otravassdraget vert nøytralisert for surt vatn. Fylkesmannen har stilt seg positiv ein slik strategi. Det er ein føresetnad at lokalitetane som vert peika for fullkalking har ei teoretisk opphaldstid på nærmare 1 år eller meir.

Innsjøar i Otra nedslagsfelt som blir (eller har blitt) fullkalka.

Lokalitet	Utlauksområde	Kalk/år (t)	CaCO ₃ /år (t)	Kalka 1.gong	Stått over	Status kalking
Dåsvatn	Dåsåna, Hornnes			2013	2016	1 gong årl. frå no
Vøylevatn - Torebuvatn	Sorånè, Jorddalsvassdraget		25 ca.	2002 ca.	2. kvart	etter behov
Stråndevatn	Nordåne (Kvålsånè)		11	1993 ca	2. kvart	etter behov
Stemtjørn	Nautdalsånè, Bygland		2-3	1994 ca		
Gjuvatn, Pråmtj., Litjørn, Longebutj. m.fl.	Longerakvatn		tot. 15	1983		etter behov
Tjørnstøylvatn	Grendi		14	1989	3. kvart	etter behov
Valebjørgvatn	Grendi		33	1990 ?	3. kvart	etter behov
Sandvatn/Sjallvatn	Store Gyvatn-Skjerka	(skjellsand)		1991		avsl. 2001
Vetrhusvatn	Skjerka - Dåsåna		25	1989	2009	etter behov
Bjørvatn	Bjøråna, Breidflå		38	1991		etter behov
Nedre Otra						
Røynelandsvatn	Røyknes	25		1988		avslutta
H- Eikelandsvatn	Røyknes	80		1989	2. kvart	
V- Eikelandsvatn	Venneslafjorden	50		1989		avslutta
Svanetjønn	Rugåna, Vennesla	6		1989		avslutta

I det som er typisk for Otravassdraget, sure sideelver, kan giftige blandsoner lett oppstå ved kalking av vassdraget (Rosseland mfl. 1992). Tiltak for å motverka slike effektar er tidlegare foreslått (Hindar 1994). Det mest effektive tiltaket er å kalka opp sideelvene separat, eit stykke før dei renn ut i hovedelva eller å kalka innsjøar i sidevassdraga. I Otra nedstraums Brokke er det dokumentert redusert pH i hovedelva ved Ose under forsuringsepisodar. Dette er forårsaka av sure sidevassdrag.

Vedlegg B. Fiskeartar i vassdraget

I Otra er det aure *Salmo trutta* i stort sett heile vassdraget, bleke (relikt laks) *Salmo salar* opp til Hallandsfoss i Valle, anadrom laks opp til Vigelandfoss/Hunsfoss i Vennesla, abbor *Perca fluviatilis* nedanfor Fennefoss ved Hornnes, ørekyte *Phoxinus ph.* og ål *Anguilla ang.* førekjem sporadisk i nedre deler av vassdraget.

Vasskvaliteten i Otra er god nok for reproduksjon av aure. Bleka som inntil nyleg sto på «raudlista» var nær ved å dø ut omkring 1972 på grunn av forsuring og miljøpåverknad etter kraftutbygging. Rogn vart flytta til fleire fiskeanlegg med betre vasskvalitet og settefisk attendeført til Bygland Fiskeanlegg. Første utsetting av settefisk av bleke i Byglandsfjorden etter bestandssamanbrotet var i 1979 (3000stk.). Det auka til 20 tusen i 1982 og 85 tusen i 1984. I 1991 vart det nye Syrtveit Fiskeanlegg bygt og målet om 100 000 settefisk pr. år snart nådd. I 90-åra var det berre sporadisk påvist naturleg reproduksjon.

I 1999 vart «Blekeprosjektet-tiltak for økt naturleg rekruttering starta med m.a. rognplanting, og forlenga førebels til 2017. I 2013 vart utsetting av yngel fasa ut , frå dette tidspunkt vert det berre satsa på rognutsetting. Utviklinga for bleka har stort sett vore svak, men ein skilde periodar har vore positive. Fram til 2008 var det framgang med etterfølgjande tilbakegang (Barlaup et. al. 2009). Fram mot 2013 var det igjen framgang i andel bleke. Men det er framleis liten naturleg reproduksjon av bleka (rapp. 249 LFI Uni Research Miljø 2015). Det er problem med å identifisera om bleka som vert fanga i prøvefisket stammar frå naturleg gyting eller rognplanting. Etter minkande fangstar i 2015 vart det beslutta å setta ut 10 000 merka 0+ settefisk i 2016 som eit eingongstilfelle. Gjenfangstar av desse er det for tidleg å rapportera om. Hausten 2016 er det registrert auke i tettheit av blekeyngel som stammar frå rognplanting i restfeltet av Hekni, særleg i øvre deler (B. Barlaup pers. medd.) etter observasjon under dykking.

Ørekyt vart utilsikta sett ut i Bykle-Hovdenområdet før 1980 og spreidde seg raskt i øvre deler av Otravassdraget og nedover (Kleiven mfl. 2010). Fysiologisk sett er ørekyte av dei ferskvassfiskeartar som har aller lågast toleranse for surt vatn. Det var blitt stor bestand av ørekyt i Flånè omkring 1996 men lenge syntest det som det var ein barriere for at ørekyten skulle spreia seg sør for Brokke. Dette kan det vera fleire årsaker til m.a surare vatn eller det omtalte fenomenet i innleiing, gassovermetning frå Brokke Kraftverk. I 2008 hadde den kome ned til Byglandsfjorden og i 2014 var den observert også nedanfor ved Moseid (Nils B. Kile, pers. medd.).

Vedlegg C. Vassvegetasjon

Ein stor del av Otra er tilgrodd med krypsiv *Juncos bulbosus*. På område som tilsvarar meir enn 10 000 dekar av Otra er det registrert at denne problemveksten finst (M.Haraldstad 2007). Dette er ein langskotsplante med for det meste undervassblad, men den trivst også godt i våtmarker og til og med på land om den får tilført nok vatn. Den veks ned til 2-3 m djup og på optimale stader for planten kan den dekkja heile vannsøyla til overflata og danna teppe. Krypsiv krev lite næring og trivst i middels surt vatn (Moe 2011), som er vanleg på Sørlandet.

I Otra finst den heilt frå terskelbassenga i Valle til Venneslafjorden og elva nedanfor (Rørslett 1981,1990). Den auka forekomsten av krypsiv er først og fremst ein reguleringseffekt og skuldast i mindre grad forsuringsutviklinga i vassdraget (Rørslett mfl. 1990). Undersøkingar har vist at kalking direkte i innsjøar kan stimulere framvekst av krypsiv, mens det same ikkje er dokumentert i elver.

Det er registrert ein liten forekomst av vasspest *Elodea canadensis* i ei utviding av Otra ved dyrka mark i Evje (Blomdal og Egerhei 1983), men den har ikkje utvida sitt vekseområde sidan den gong. Ein kan likevel ikkje sjå bort frå effektar på vassvegetasjon som følgje av kalking.

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