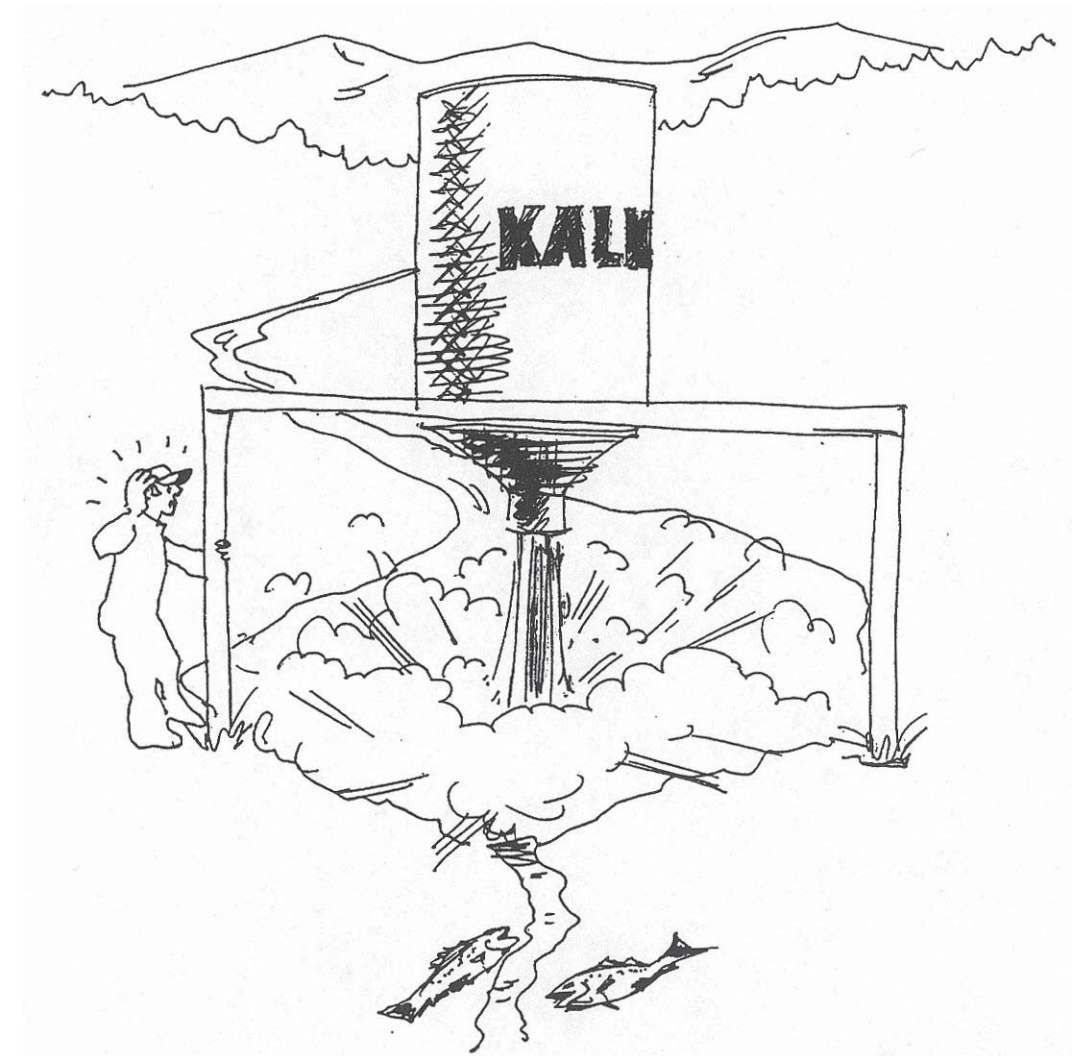




RAPPORT LNR 4904-2004

**Driftskontroll av
kalkdoseringsanlegg
i Mandalsvassdraget**

Avviksrapport år 2003



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2003.	Løpenr. (for bestilling) 4904-2004	Dato 18.10.2004
	Prosjektnr. Undernr. O-99049	Sider Pris 27
Forfatter(e) Høgberget, Rolf	Fagområde Måle- og overvåkingsteknologi	Distribusjon
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) MANKALK	Oppdragsreferanse
-----------------------------	-------------------

Sammendrag

Driftskontroll av kalkdoseringsanleggene i Mandalselva er et verktøy for å få bedre innsyn i kalkingen fra anleggene. Avviksrapporten er en sammenfatning av hendelser i rapporteringsperioden. Den foreslår også tiltak for optimalisering av rutiner, installasjoner og kalkingsstrategi. Smeland og Håverstad kalkdoseringsanlegg har fungert meget tilfredsstillende. Ved eventuell nedleggelse av Smeland-anlegget, anbefales opprettholdelse av dagens doseringskapasitet for de to anleggene i området Håverstad/Bjelland. Bjelland kalkdoseringsanlegg hadde mange svikt i pH-målingene som benyttes til doseringssignal, særlig nedstrøms anlegget. Til tross for disse forholdene har anlegget sørget for god opprettholdelse av pH-målene i lakseførende strekning av elva. Elva hadde pH under mål-verdier 4 ganger i løpet av rapporteringsperioden. Logåna-anlegget fungerte lite tilfredsstillende. Det var for mange tekniske problemer med driften, og anlegget fikk ikke tilstrekkelig ofte påfyll av vannglass. Spesielt bemerkes et tilfelle da manglende vannglass var årsaken til at vannkvaliteten ble så dårlig at det kan ha oppstått fiskedød i elva.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Vassdrag	1.
2. Kalkdosering	2.
3. Overvåking	3.
4. Måleteknikk	4.



Prosjektleder



Forskningsleder



Forskningsdirektør

Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg

i Mandalselva

Avviksrapport år 2003

Forord

Tidligere erfaringer har vist at kalkdoseringsanlegg for dosering av kalksteinsmel i rennende vann ofte produserer tilfeldig kalkdose til vassdragene de betjener. Ettersom anleggene er kostnadskrevende både i etablering og drift, er det avgjørende for et økonomisk forsvarlig resultat at driften er tilnærmet optimal. Ideelt sett innebærer dette full kontinuerlig drift uten uønskede stopp og at dosen til enhver tid verken er for lav eller høy i forhold til oppsatte mål.

NIVA har utviklet et system for effektiv kontroll av kalkdoseringsanlegg ved bruk av enkel sensorteknologi og effektiv informasjonsflyt. Dette systemet for driftskontroll ble etablert i Mandalsvassdraget i 1999 som et ledd i å bedre oversikten over den daglige driften ved anleggene i vassdraget, samt å være et ekstra prosessverktøy for operatører og annet personell i MANKALK. Det ble inngått en rammeavtale for virksomheten. Ny rammeavtale ble inngått 15. mai 2001. Denne inkluderer ansvaret for pH-målingsutstyr som prosessverktøy ved kalkingsanleggene.

Den daglige driften av driftskontrollsystemet utføres av fast personell på NIVA bestående av Liv Bente Skancke, Jarle Håvardstun og Rolf Høgberget.

De årlige avviksrapportene gir en dokumentasjon av arbeidet med driftskontroll ved kalkingsanleggene i Mandalsvassdraget.

Oppdragsgiver er den interkommunale stiftelsen MANKALK, bestående av alle involverte kommuner i Mandalsvassdraget. Prosjektet støttes også av Miljøvernnavdelingen hos Fylkesmannen i Vest-Agder.

Grimstad, 18. oktober 2004

Rolf Høgberget

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Driften på anleggene	8
2.1 Smeland	8
2.2 Håverstad	10
2.3 Bjelland	11
2.4 Logåna	14
2.4.1 Etablering og doseringsprinsipp	14
2.4.2 Måletekniske utfordringer ved pH- og vannstandsmålinger	14
3. Tiltak	24
3.1 Smeland	24
3.2 Håverstad	24
3.3 Bjelland	24
3.4 Logåna	25
4. Referanser	27

Sammendrag

Driftskontroll av kalkingsanlegg i Mandalselva omfattet i 2003 foruten Smeland, Håverstad, Bjelland doseringsanlegg også Logåna doseringsanlegg. Dette anlegget er et pH-styrt anlegg for dosering av SiO_2 (vannglass). Ideen bak etableringen av anlegget var at det skal fungere som et forsøksanlegg, der det er mulig å forandre doseringsoppsett når nye erfaringer krever dette for å oppnå bedre drift.

Smeland doseringsanlegg var også dette året et meget driftssikkert anlegg selv om kontinuiteten var noe dårligere enn tidligere år. Det ble ikke dosert lavere dose enn minimum grenseverdi på 1 g kalksteinsmel pr m^3 . Det har blitt vurdert å legge ned anlegget. Dersom dette blir tilfellet, vil både driftssikkerhet og kapasitet i kalkingen av Mandalselva bli for lav. Det anbefales derfor at anlegget da flyttes til området mellom Håverstad og Bjelland.

Håverstad-anlegget fungerte meget tilfredsstillende. Også dette året har det vært behov for hyppige dosejusteringer på anlegget for å optimalisere pH før etterjustering ved Bjelland. Tidligere anbefalinger om automatisk pH-justering opprettholdes.

Bjelland-anlegget fungerte doseringsteknisk godt, men det var for mange feil i pH-målingene. Stopp i gjennomstrømming til målekyvetta var et problem, særlig i målingene nedstrøms doseringsanlegget. Elektroder som ikke virket optimalt, forble i prosessen i for lang tid før de ble skiftet ut. Nytt inntak for vann til pH-måling oppstrøms anlegget er etablert i perioden. Dette bør sikre en bedre kontroll av pH oppstrøms anlegget. Imidlertid gjenstår to punkter i tiltakslista. Disse er bedre justering ved maksimalnivå på silovekta og aktivisering av styringssignalet som dose til driftskontroll-loggeren ved manuell drift. pH-målene for lakseførende strekning av elva ble opprettholdt hele året med unntak av fire anledninger da pH-verdien ble redusert til under målnivå i deler av elva.

Logåna doseringsanlegg fungerte ikke tilfredsstillende i perioden. Det oppsto driftsstans for ofte. Minst et av disse tilfellene førte til fare for fiskedød i elva. Det største problemet var at det ikke ble fylt på vannglass da beholdningstanken gikk tom. Deretter var det for store problemer med vannsystemet til anlegget. Tilstopping av vanngjennomstrømmingen og tilbakeslag av vannglassholdig vann var et problem. pH-meteret var vanskelig å vedlikeholde på grunn av stopp i gjennomstrømming til elektrodene og forurensning med vannglass i målekyvetta. Dette førte også til at elektrodene hadde nedsatt levetid. Anlegget bør bygges om slik at vann til vannglass-innblanding og pH-måling blir to forskjellige kretser. Doseringsteknisk vil det være mer ideelt om ikke vann ble benyttet til innblanding før tilsetningen i elva. Den store viskositeten ved lave temperaturer og eventuelle usikkerheter omkring effektiv innblanding i elvevannet gjør at dette bør utprøves nærmere.

Plasseringen av anlegget er ikke optimal i forhold til mulighetene for å måle nøyaktig vannføring. Ideelt bør anlegget flyttes til en plass oppstrøms sone for anadrom fisk der elveprofilen er i fast fjell. Ved å velge denne plasseringen vil problemer omkring innblandingsforhold i fiskeførende strekning også bortfalle.

1. Innledning

Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg er et system som ble utviklet av NIVA i 1996 og 1997 for å avdekke effektiviteten til de enkelte kalkdoseringsanleggene. Bakgrunnen for utviklingen av systemet ligger i erfaringer med høyst forskjellige driftsresultater på de forskjellige kalkdoseringsanleggene. Systemet er basert på registrering av kalkforbruk som vektreduksjon i kalkdoseringsanleggets beholdningstank (kalksilo) og vannføringen ved kalkingspunktet. I tillegg registreres pH-verdiene ved pH-styrte anlegg. For detaljert informasjon om systemets oppbygging og virkemåte vises det til Høgberget og Hindar (1998).

Kalkdoseringsanleggene styrer i hovedsak doseringen etter to forskjellige prinsipper:

Vannføringsstyring: Et vannføringsstyrt kalkdoseringsanlegg skal kalke med fast dose. Dosen beregnes på grunnlag av hvor stor del av nedbørfeltet som skal avsyres og ønsket vannkvalitet fra en kalk-pH-titreringskurve. Doseringen er proporsjonal med vannføringen. Ved å sammenligne dose målet med den faktiske dosen gitt av driftskontrollen, vil en få et mål på effektiviteten til anlegget.

pH-styring: pH-verdier som blir målt i elva nær kalkingsanlegget er koblet til doseringen av kalk slik at disse overstyrer signalene fra vannføringsstyringen. Ved å sammenligne det fastsatte pH-målet for den aktuelle strekning i elva med de faktiske målte pH-verdier vises effektiviteten til anlegget.

I Mandalsvassdraget er det montert driftskontroll på de tre største kalkdoseringsanleggene; Smeland, Håverstad, Bjelland samt et lite anlegg som doserer SiO₂ (vannglass) i Logåna. Anlegget på Smeland er vannføringsstyrt, mens anlegget på Håverstad skal være styrt av pH oppstrøms anlegget. Imidlertid har det vist seg at pH-målingene koblet til anlegget på Håverstad ikke har fungert optimalt (Høgberget 2000). Derfor styres anlegget for tiden som et vannføringsstyrt anlegg. Anlegget på Bjelland er styrt etter pH, både oppstrøms- og nedstrøms kalkdoseringsanlegget. Logåna-anlegget doserer for tiden etter pH nedstrøms anlegget. Driftskontrollen avviker minimalt fra de andre anleggene ved at det er volumberegning av beholdningstank og ikke vekt som danner grunnlaget for doseberegninger. Plasseringen av de fire doseringsanleggene i Mandalsvassdraget som er omtalt i denne rapporten, er vist på kart (**Figur 1**).

Det er tidligere utgitt følgende avviksrapporter fra Mandalsvassdraget:

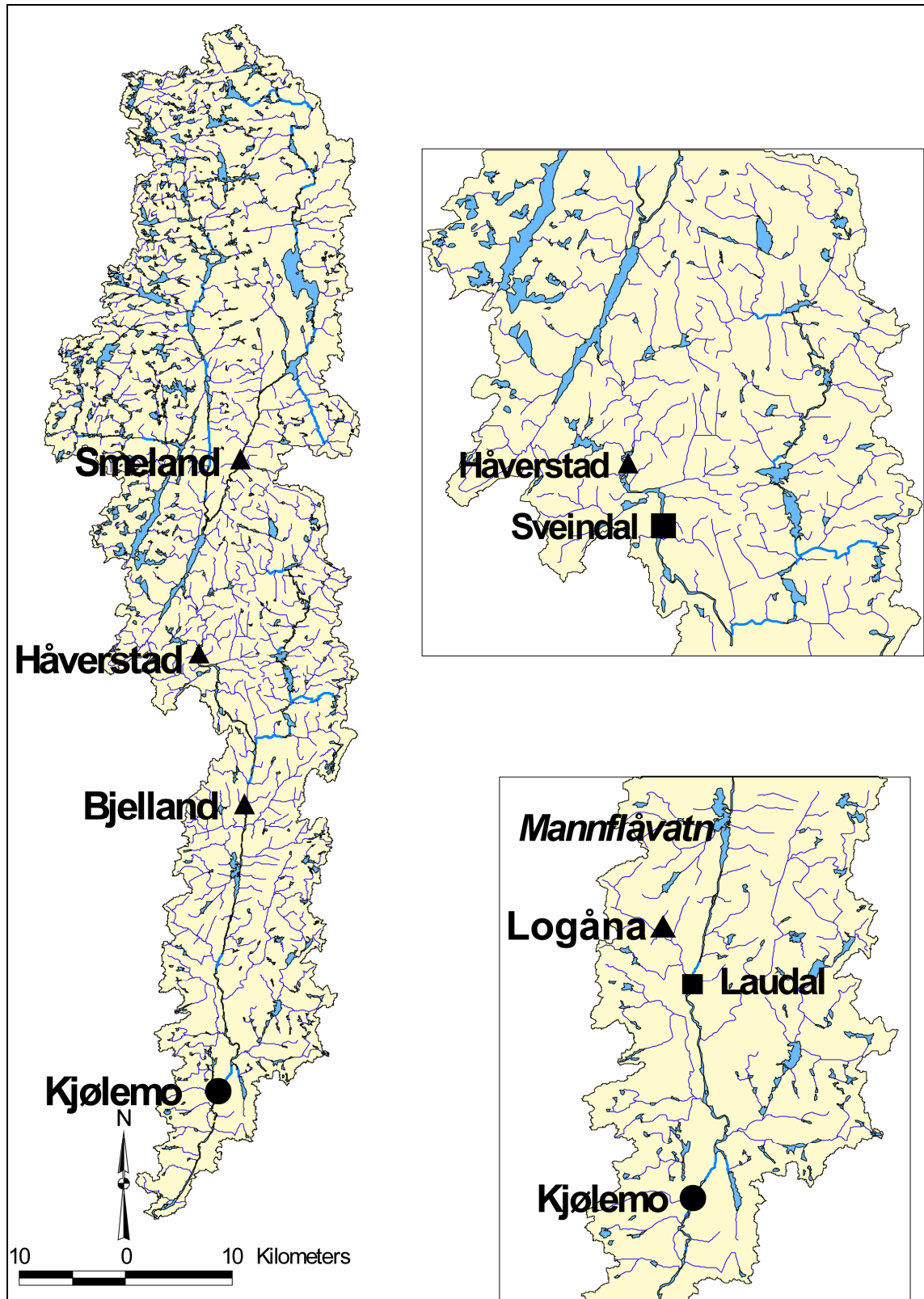
*oppstart av driftskontrollen i 1999 – 1. juni 2000 (Høgberget 2000)

*1. juni 2000 – 1. juli 2001 (Høgberget 2001)

*1. juli 2001 – 31. desember 2001 (Høgberget 2002)

*1. januar 2002 – 31. desember 2002 (Høgberget 2003)

Denne avviksrapporten fra Mandalsvassdraget omhandler perioden 1. januar - 31. desember 2003.



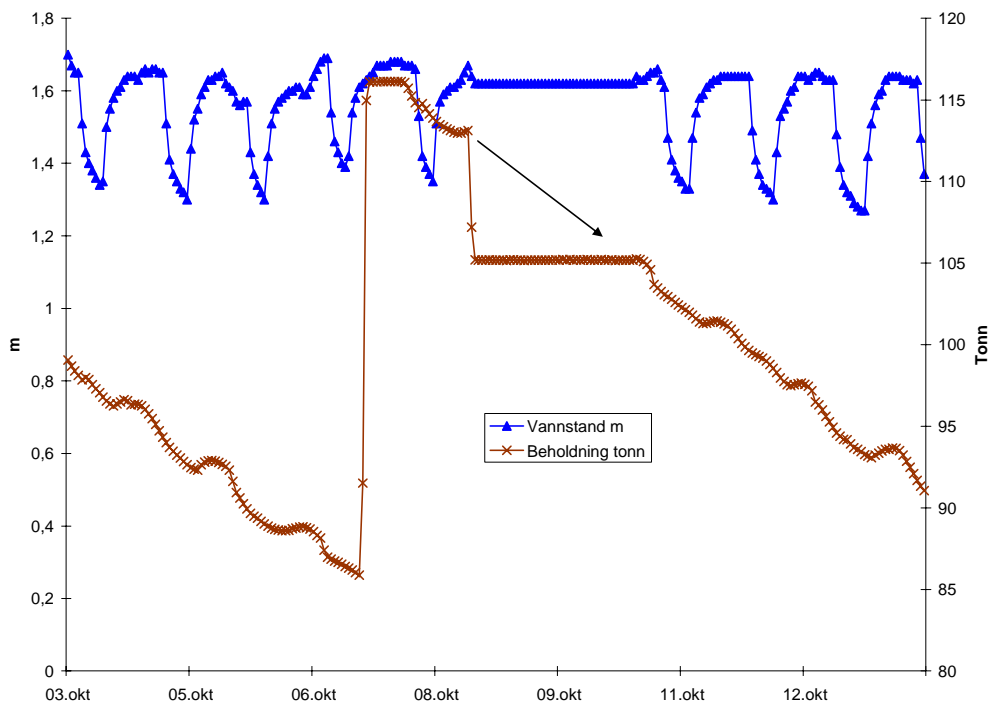
Figur 1. Kart over nedbørfeltet til Mandalselva med utsnitt av to områder i stor målestokk som viser plasseringen av kalkdoseringsanlegg (triangler) og pH-målestasjon (sirkel). Øvrige stedsnavn er merket med kvadrater.

2. Driften på anleggene

2.1 Smeland

Øverst i Mandalsvassdraget ligger kalkdoseringsanlegget Smeland (**Figur 1**). Dette anlegget er et vannføringsstyrt kalkdoseringsanlegg. Et slikt anlegg skal kalke med fast dose. Den teoretiske kalkdosen for anlegget på Smeland er gitt som $\geq 1\text{ g kalksteinsmel/m}^3\text{ vann}$. Ved driftskontroll registreres dosen som vektreduksjon i kalkdoseringsanleggets kalkbeholdning (kalksilo) sammenholdt med vannføring ved kalkingstidspunktet. Kalkdoseringsanlegget er plassert nedstrøms et kraftverk som døgnregulerer vannføringen forbi doseringsanlegget. Vanlig utvikling gjennom et døgn har lavest vannføring tidlig på morgenen, deretter en fordobling utover dagen. Maksimum vannføring nås om ettermiddagen da det normalt er ca $25\text{ m}^3/\text{s}$ forbi kalkdoseringsanlegget.

Driftskontroll-loggeren stanset tre ganger i løpet av 2003. Det var en dag fra 21. juli, 2 dager fra 8. oktober og 9 dager fra 17. november. Årsaken var manglende nødstrøm til loggeren ved strømstans på anlegget. Ved to av anledningene var det likevel mulig å registrere doseringstilstanden. Anlegget doserte ikke den 21. juli, mens normal drift kunne avleses fra kalkvektsutviklingen den 8. oktober (**Figur 2**)



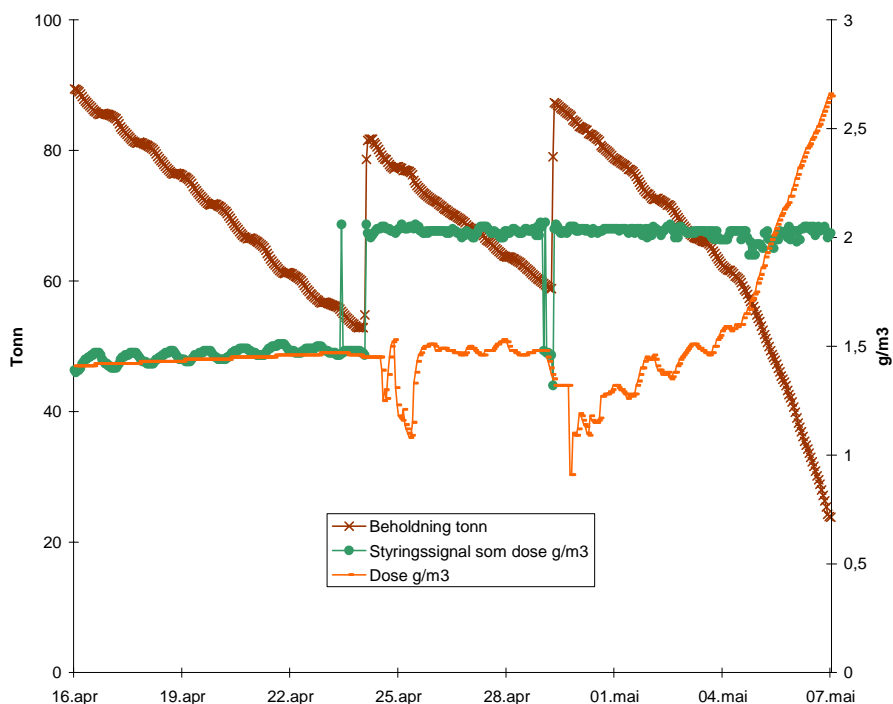
Figur 2. Vannstand og kalkvekt på Smeland i oktober 2003. Figuren viser en episode der det ikke ble registrert verdier på loggeren, men beholdningsutvikling kan likevel avleses. (Vannstands målet er tatt med for å vise at tilstanden også gjaldt andre parametere). Beholdningskurven viser en "trappetrinnsutvikling". Den reelle utviklingen fulgte sannsynligvis et lineært avtak (pil).

Doseringen har stoppet fire ganger i lengre tid enn 8 timer i løpet av året. Dette er angitt i **Tabell 1**. Det har ikke tidligere vært registrert så mye driftsstans på anlegget. Likevel karakteriseres anlegget som et meget stabilt doseringsanlegg med høy driftssikkerhet.

Tabell 1. Oversikt over antall og varighet av doseringsstopp på Smeland doseringsanlegg. Anlegget hadde flere og lengre stopp enn tidligere år.

Stopp dato	Varighet dager
21.07.2003	1
13.08.2003	5
29.08.2003	5
09.12.2003	2

Anlegget doserte ved normal drift ca $1,5 \text{ g/m}^3$. Dette samsvarte mye med styringssignalet som dose i tiden før 23. april. Imidlertid viser driftskontroll-loggen at styringssignalet på våren varierte med vannføring i lange perioder. Etter 23. april økte styringsdosen til noe over 2 g/m^3 uten at dette påvirket den faktiske dosen (**Figur 3**). Unntakene var en periode på 3 dager fra 4. mai da anlegget ga høyere dose enn styringssignalet skulle tilsi og ca 1,5 uke fra 18. august da dosen var nokså lik styringssignalet verdi. Anlegget doserte aldri under grensen på 1 g/m^3 .



Figur 3. Kalkbeholdning, styringssignal som dose og driftskontrollens reelle dose i april og første del av mai 2003 ved Smeland doseringsanlegg. Figuren viser at økning av ønsket dose ikke førte til noen endring av reel dose. Den viser også en periode på ca 3 dager da dosen økte over ønsket verdi. Kurven for avtak i kalkbeholdning viser også at det plutselig gikk ut mer kalk. Det var ingen flom i perioden.

2.2 Håverstad

Kalkdoseringsanlegget på Håverstad ligger mellom anleggene på Smeland og Bjelland (**Figur 1**), på en tange mellom utslagstunnelen fra Håverstad kraftverk og det gamle elveløpet. Anlegget er et pH-styrt kalkdoseringsanlegg. Det vil si at pH-verdier som blir målt i elva nær kalkingsanlegget styrer doseringen av kalk. Imidlertid har det vist seg at det oppstår bakevje-effekter i elvevannet ved dette doseringsanlegget. Kalket vann trekkes oppover det gamle elveløpet og passerer inntaksbrønnen oppstrøms anlegget. pH-målingen oppstrøms anlegget blir dermed påvirket av utdosert kalk fra kalkdoseringsanlegget, og derfor uegnet som styringsverktøy for kalkdoseringen. For å unngå problemet er pH satt til en fast verdi (pH 4,7) slik at pH-forandringene overstyres. Anlegget kan da fungere som et vannføringsstyrt anlegg, med dosering av fast dose i forhold til vannføring.

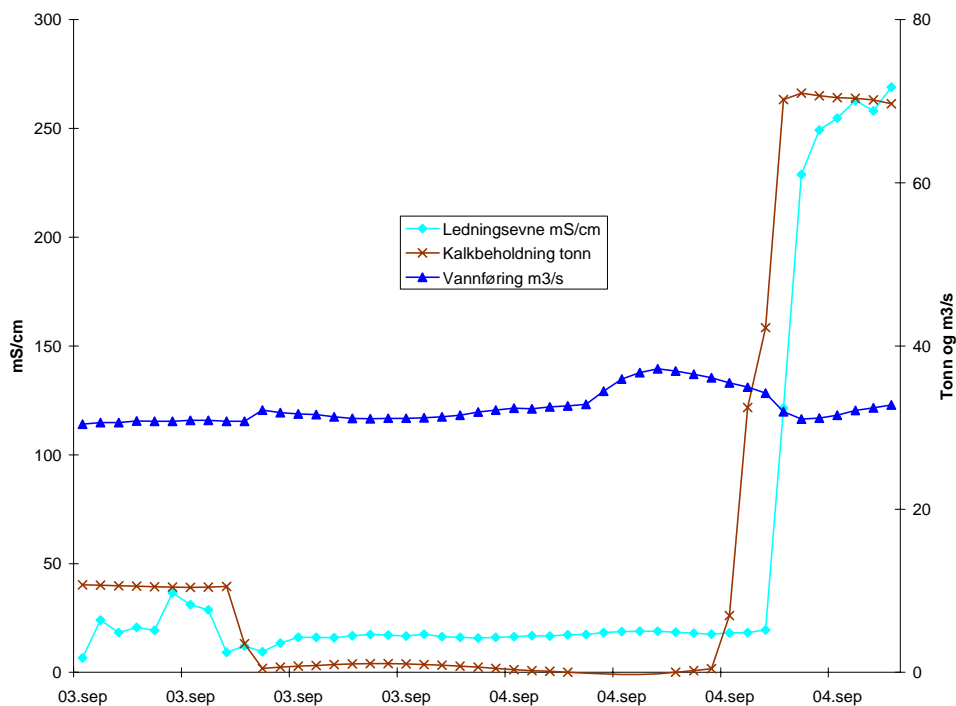
Driftskontroll-loggeren hadde en driftsstans i rapporteringsperioden. Det var 8 dager fra 8. september.

På doseringsanlegget ble det registrert en driftstans på over 8 timer i rapporteringsperioden. Det var 23. august da anlegget sto i ca 3,5 dager. Imidlertid var det meget lav vannføring de to første dagene ($>10 \text{ m}^3/\text{s}$) slik at episoden hadde minimal betydning.

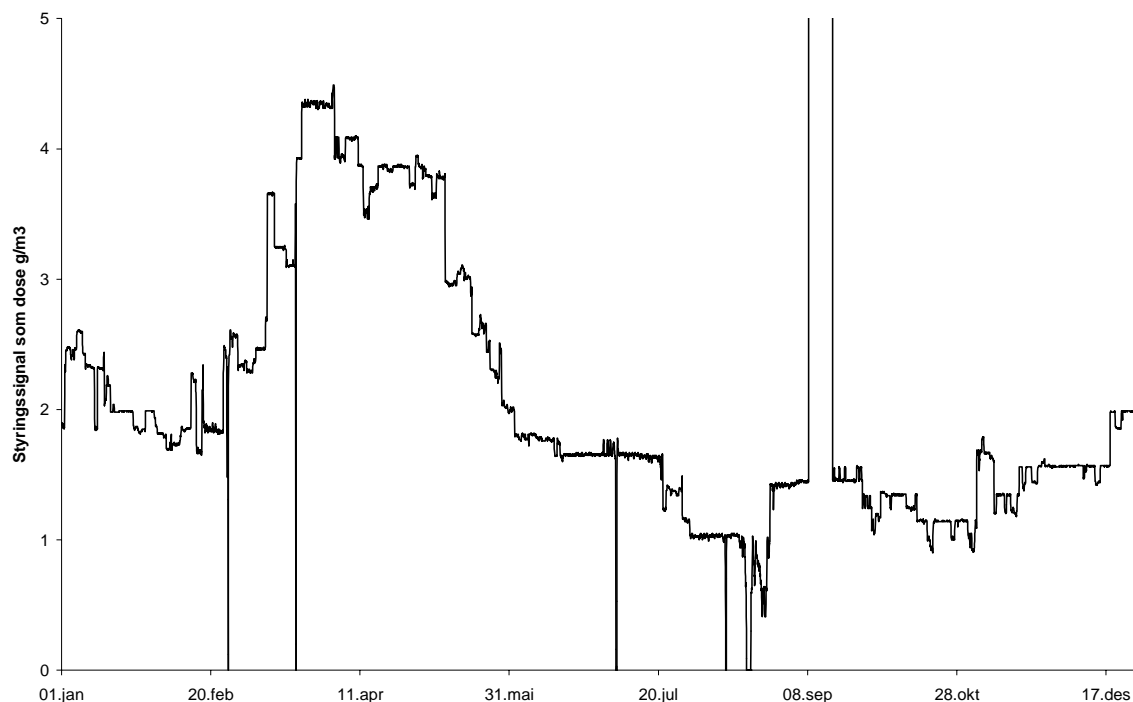
Et plutselig avtak i kalkbeholdning den 3. september kan skyldes lokal kalibrering av vekta. Ifølge operatøren på anlegget ble det ikke registrert noen form for ukontrollert "utblåsing" fra anlegget. Det ble heller ikke registrert økning av ledningsevnen i blandekaret (**Figur 4**).

Kalkdoseringsanlegget på Håverstad har erfaringsmessig meget stor driftssikkerhet. Dette var også tilfellet i 2002 (Høgberget m.fl. 2003).

Kalkdosen fra anlegget ble justert manuelt etter behov for å oppnå gunstigst mulig pH i elva før dosering ved Bjelland. Dette ble gjennomført en rekke ganger (**Figur 5**). Den reele dosen var noe lavere enn innstilt dose, noe som også tidligere er rapportert (Høgberget 2000).



Figur 4. Kalkbeholdning, vannføring og ledningsevne på Håverstad i september 2003. Figuren viser et plutselig avtak i beholdning uten at dette påvirker ledningsevnen i blandekaret. Det var heller ingen vannføringsøkning i elva. Forholdet kan komme av at det lokalt ble foretatt en kalibrering av vekta.



Figur 5. Styringssignalet til doseringsautomatikken på Håverstad kalkdoseringsanlegg gjennom året 2003. Figuren viser stor variasjon i ønsket dose. Denne dosen stilles manuelt hver gang den forandres. Reel dose er vanligvis ca 0,5-0,9 g/m³ lavere enn grafen viser.

2.3 Bjelland

Kalkingsanlegget på Bjelland ligger nedenfor Smeland og Håverstad (**Figur 1**) og styrer mesteparten av vannkvaliteten på anadrom strekning (Bjelland–Kjølemo). I praksis vil ønsket vannkvalitet i denne sammenhengen bety ønsket pH-verdi. Anlegget på Bjelland er derfor pH-styrt, og doserer kalk etter pH-verdiene som registreres oppstrøms- og nedstrøms doseringsanlegget.

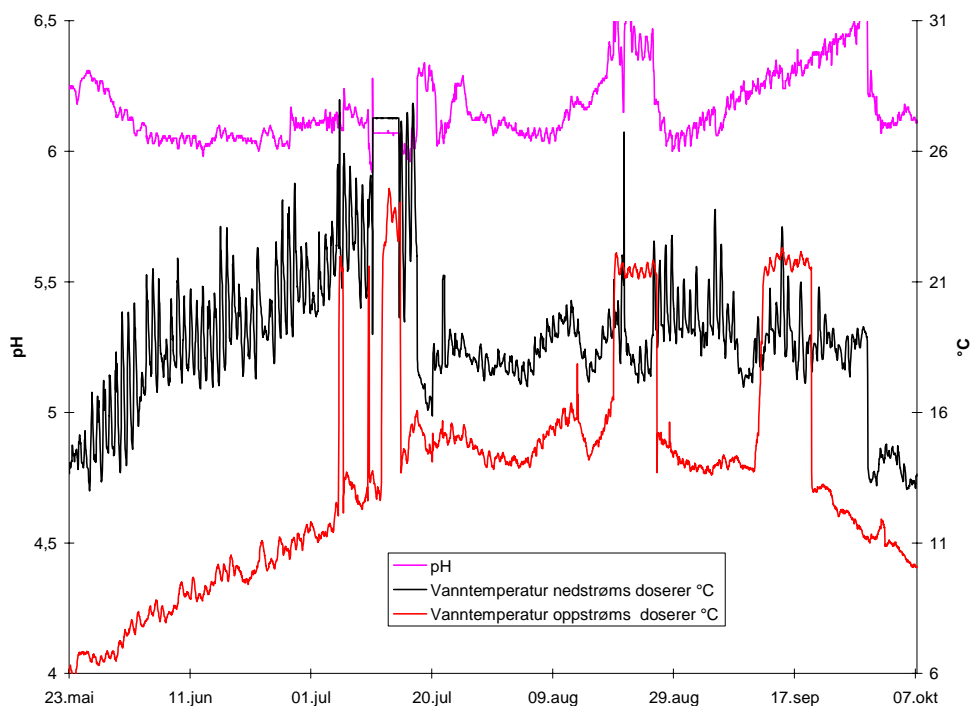
Fylkesmannen i Vest-Agder har fastsatt pH-mål gjennom året (teoretiske grenseverdier for pH) for anadrom strekning i Mandalsvassdraget slik: 15/2-31/5: pH 6,2 og 1/6-14/2: pH 6,0 (DN 2002). Generelt er det ofte ønskelig med en dosering som gir pH litt over det fastsatte målet for å ha noe bufferkapasitet i forhold til eventuelle forsurende forhold nedstrøms anlegget. pH-kravet på anlegget blir satt høyere enn pH-målet for elva.

Det har ikke vært svikt i driftskontroll-loggeren i rapporteringsperioden. Imidlertid har pH-signal fra pH nedstrøms anlegget ikke blitt registrert av loggeren i 4 dager fra 11. juli.

Stopp i målekyvete for pH-måling oppsto mange ganger gjennom året. De fleste tilfellene er listet i **Tabell 2**. Den rutinemessige kommunikasjonen med driftsoperatøren var preget av mange innspill fra NIVA om for høye temperaturer i målekyvetta. Det var lange perioder om sommeren da pH-målingene muligens bare var delvis aktive ved pH-stasjonen nedstrøms anlegget (**Figur 6**). Det er alltid vanskelig å skille disse tilfellene med tidspunkter fordi det på denne tiden av året er så liten forskjell på ute- og innetemperatur. Temperaturmålingene var også ca 3-3,5 °C for høye.

Tabell 2. Tid med stillstand i kyvetta for pH-måling oppstrøms og nedstrøms Bjelland kalkdoseringsanlegg i 2003. I tillegg var det en lang periode med usikre tidsavsnitt om sommeren, som er forklart i egen figur under.

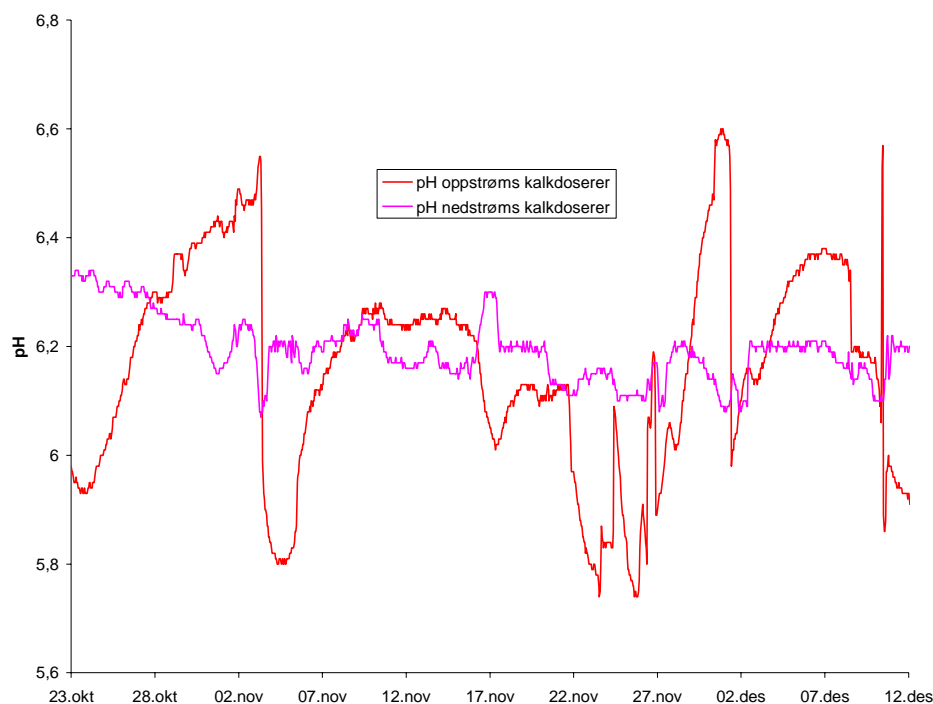
Dato	Stillstand i kyvette oppstrøms doserer Timer	Stillstand i kyvette nedstrøms doserer Timer
01.01.2003	32	
03.01.2003		58
12.01.2003	24	
18.02.2003	148	
11.04.2003		50
05.07.2004		18
12.07.2003		75
19.08.2003		168
11.09.2003		213
21.11.2003		49
25.11.2003		11
26.11.2003		8
10.12.2003		12
28.12.2003		31



Figur 6. Vanntemperatur oppstrøms og pH med tilhørende vanntemperatur nedstrøms Bjelland kalkdoseringsanlegg i sommerhalvåret 2003. Figuren viser at det i lange perioder kan ha vært feil pH-måling på stasjonen. Ved to anledninger (18. juli og 29. september) ble det gjort vedlikehold som åpnet vannsirkulasjonen i målekyvetta. Dette synes ved at temperaturen plutselig gikk ned, og at pH reagerte. Imidlertid er det vanskelig å dokumentere når feilen oppsto. Det ser ut som om feilen oppsto gradvis. Ekstra store svingninger mellom dag og natt kan også tyde på at verdiene farges av romtemperaturen i stasjonslokalet (kommunal pumpestasjon) som antagelig varierte mer enn temperaturen i elva. Vanntemperaturen nedstrøms anlegget var hele tiden ca 3-3,5 °C for høy på grunn

av feilkalibrering. Imidlertid varierer temperaturavviket mellom de to målingene mye. Dette underbygger mistanken om sirkulasjonssvikt i målekyvetta nedstrøms anlegget.

Problemet med for høy pH i målevannet oppstrøms anlegget fortsatte å prege situasjonen. Dette skyldes forhold som er beskrevet flere ganger i tidligere rapporter (for eksempel Høgberget 2000 og Høgberget 2001). På slutten av året var det også til tider for høye pH-verdier. Da var årsaken at defekte elektroder ikke ble byttet ut. pH-verdiene økte da gradvis med tiden på en unormal måte, (se **Figur 7**).



Figur 7. pH oppstrøms og nedstrøms kalkdosereren på Bjelland høsten 2003. Figuren viser hvordan pH flere ganger begynner å øke inntil den blir tvunget tilbake ved kalibrering. pH vandret helt opp mot pH 6,6.

På tross av problemene omkring pH-målingene har det vært god effekt av kalkingen fra anlegget i lakseførende strekning av elva. Det har bare blitt registrert 4 tilfeller av for lav pH i måleområdet for kalkingen. Riktignok var pH for lav i hele tre døgn fra 18. januar, men dette har sannsynligvis ikke påført fiskestammen noen varig effekt da overskridelsen av pH-målet var minimal (pH 5,8). Tilfellene med for lav pH i forhold til pH-mål er listet i **Tabell 3**.

Tabell 3. Tid med for lav pH i forhold til pH-målet for lakseførende strekning av elva i 2003. Registreringene er gjort nedstrøms Bjelland kalkdoseringsanlegg og ved Kjølemo nær utløpet av Mandalselva.

Dato	Bjelland		Kjølemo	
	Timer	pH	Timer	pH
18.01.2003			75	5,75
22.01.2003			13	5,92
13.05.2003	23	6,1		
10.07.2003	10	5,92		

2.4 Logåna

2.4.1 Etablering og doseringsprinsipp

Logåna er en periodisk sur sideelv til Mandalselva. Den er laks- og sjøørretførende, men på grunn av store variasjoner i surhetsgraden, har det vært vanskelig å vedlikeholde en stabil fiskebestand. Det har også forekommet massiv fiskedød flere ganger i forbindelse med ekstreme forsuringsepisoder. Elva har tidligere vært kalket ved hjelp av kalkdoseringsanlegg.

Høsten 2002 ble Logåna doseringsanlegg etablert. Det er et pH-styrt anlegg for dosering av vannglass (SiO_2). pH-meteret er plassert nedstrøms doseringspunktet. Det er også vannføringssignal tilkoblet anlegget for å kunne gi optimal dosering ved behov. Siden det i lange perioder ikke er nødvendig å avsyre elvevann, gir anlegget ingen kontinuerlig dose, men justerer raskt doseringen til valgt pH-krav ved forsuringsepisoder. pH-målet for Logåna ble ved oppstart satt til samme nivå som resten av Mandalselva. Dosering av vannglass skulle da begynne ved ca pH 6,1. Imidlertid ble det satt en maksimal dose på 2,5 mg SiO_2/l , det vil si 6,7 ml vannglass/ m^3 .

2.4.2 Måletekniske utfordringer ved pH- og vannstandsmålinger

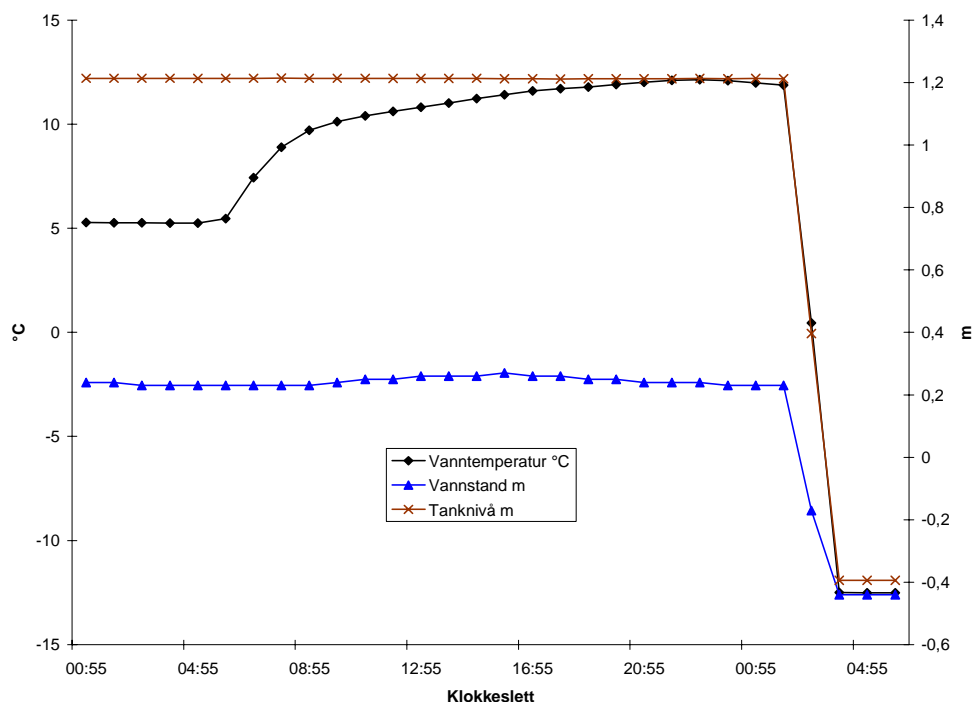
Anlegget er bygget inne i en 20" isolert metallcontainer. I containeren er det blant annet en 12 m^3 GUP-tank (glassfiberarmert polyestertank), og et pH-meter som leverer et prosesssignal til doseringsautomatikken. På grunn av frykt for ukontrollerte utslipp av lutholdig væske fra anlegget, er det plassert ca 30m fra elvebredden inne i et nyetablert uthus. Vann til pH-måling og fortykning av vannglass blir pumpet fra en inntaksbrønn ca 40 m nedstrøms anlegget. Målekyvetta er lukket slik at vannet er under trykk, og blir ledet tilbake til prosessvannet (blanding av vann og vannglass) etter pH-målingen. Dette er ulikt alle andre pH-styrte anlegg der målekyvetta er åpen. Faren for forurensing av målevannet med prosessvann øker betydelig ved denne type løsning. Årsaken er at prosessvannet, som trykkes 60m oppstrøms anlegget før det doseres i elva, kan komme i retur inn i målekyvetta ved pumpestans. Dette fører ofte til permanent 0-punktsforandring av pH-elektrodene. pH-verdiene vil dermed bli feil.

Anlegget er plassert i et område med dype morenemasser. Elva går i disse massene som inneholder store mengder stein. Disse beveger seg hver gang det er flom i elva. Det er derfor meget vanskelig å etablere gode vannføringssammenhenger med vannstanden i elva. Vannstandsmålingene blir foretatt i inntaksbrønnen. Brønnen fungerer som et 0-punkt i forhold til vannstand, men elvebunnen forandrer seg til stadighet slik at vannføringsmålinger gir ulike resultater i forhold til vannstand. Det er likevel etablert en foreløpig vannføringskurve for målepunktet, (**Tabell 4**). Denne må revideres når vannføringen blir kalibrert annet sted i elva der bunnforholdene er stabile.

Tabell 4. Tabell som viser sammenheng mellom vannføring og vannstand. Vannstanden er satt ut fra et fastpunkt på inntaksbrønnen. Tabellen må betraktes som foreløpig. Trolig vil tabellen aldri bli korrekt på grunn av stadig variasjon i elveløpet.

Vannstand m	Vannføring l/s
0,1	58
0,2	207
0,3	415
0,4	681
0,5	1006
0,6	1390
0,7	1832
0,8	2332
0,9	2891
1	3508
1,1	4184
1,2	4918
1,3	5711
1,4	6562
1,5	7472
1,6	8440
1,7	9467
1,8	10552

Logåna-anlegget ble startet 10. mars 2003. Driftskontroll av anlegget var operativ fra første dag. Driftskontrolloggeren har stoppet 5 ganger i 2003 som følge av strømstans på anlegget. Loggeren er forsynt med nødstrømsutstyr (UPS). Denne starter når nettspenningen uteblir, men har begrenset driftstid, (**Figur 8**). Likevel sørget dette utstyret for at loggeren noen ganger gikk kontinuerlig selv om nettstrømmen uteble. Årsaken til de fleste av disse stoppene var at jordfeilbryteren i strøminntaket slo ut. De to lengste driftsstansene varte i henholdsvis 1,5 og 2,5 dager.



Figur 8. Vanntemperatur, vannstand og tanknivå målt 27. april 2003 da det var strømstans på anlegget. Figuren viser at loggeren fortsatte å registrere verdier fra instrumentene i ca 20 timer etter at nettstrømmen ble brutt. Instrumentene får sin strøm fra UPS (uninterrupted power supply). Temperaturkurven viser tydelig når strømstansen oppsto ved at temperaturen økte på grunn av sirkulasjonssvikt med påfølgende oppvarming til romtemperatur.

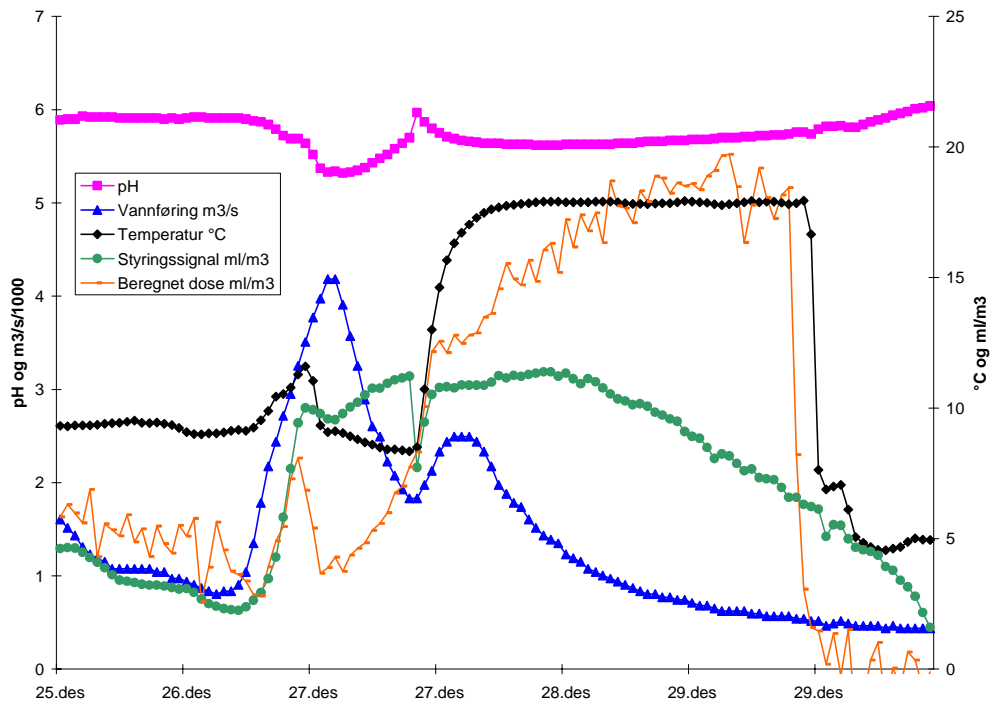
Effektiv driftskontroll opphørte en lang periode om sommeren som følge av svikt fra pH- og vannstandssignalet. Anlegget var uten pH-signal i nærmere 9 uker fra 5. juli. Årsakene til at forholdet ikke ble rettet opp var flere. Feil på pH ble meldt driftsoperatør 7. juli. Siden ble det ikke mulig å innhente data fra anlegget. Operatør fra MANKALK fikk forespørsel om å lete etter feil den 9. juli. Han fant anlegget uten strøm og satte derfor denne på igjen. To dager senere var det igjen brudd på strømmen. På grunn av ferieavvikling ble det ikke gjennomført driftskontroll den 14. juli. Den 16. juli ble hele filserverssystemet på NIVA reorganisert. I denne prosessen mistet vi muligheten til å utføre driftskontroll. Vitale datafunksjoner forsvant for en lengre periode og det var ikke mulig å se på nye driftsdata før midlertidig dataløsning ble etablert 29. juli.

Vannstandssignalet uteble i litt over 4 uker fra 22. juli. Vannglass-beholdingen var den samme hele tiden. Dette viser at det ikke ble dosert i denne perioden. Det foreligger ikke data på om surhetsgraden noen gang har vært for lav i forhold til pH-målet, men flomsituasjon har antagelig oppstått i forbindelse med mye regnvær en uke fra 20. juli. Det er naturlig at pH i Logåna da avtar.

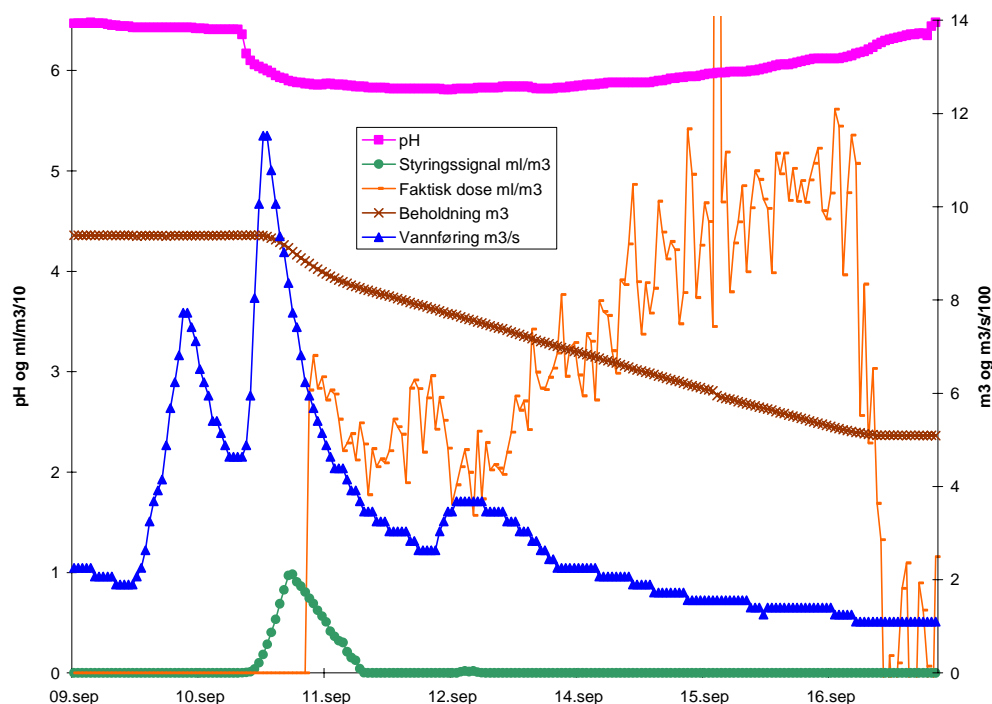
Det var stans i gjennomstrømmingen til målekyvetta for pH-måling 7 ganger i løpet av registreringsperioden (**Tabell 5**). To av disse gangene var det pumpestopp i inntaksbrønnen som forårsaket tilstanden. Dette synes ved at alle registreringer falt bort i slutten av tiden med for høy vanntemperatur i målekyvetta i forhold til temperaturen i ellevannet (**Figur 8**). Ved slike stopp kan doseringen øke til langt over behov. **Figur 9** viser hvordan vannglass-doseringen ble alt for høy som følge av at pH ikke reagerte på vannglass. Den 11. september oppsto en liknende situasjon. pH reagerte ikke på doseringen som etter hvert ble betydelig. I denne perioden ble det ikke gitt signal til dosering. Likevel doserte anlegget kraftig og gav doser på opp mot 50 ml/m³ (**Figur 10**). Totalt var pH-målingene upålitelig i ca 350 timer på grunn av stopp i målekyvetta.

Tabell 5. Stopp i vanngjennomstrømmingen i målekyveta for pH-måling. Anlegget vil i slike perioder ikke fungere etter hensikten.

Fra	Til	Antall timer	Anmerkning
27.04.2003 05:55	28.04.2003 01:55	20,00	Pumpestopp
12.05.2003 07:55	14.05.2003 14:55	55,00	
10.06.2003 10:55	11.06.2003 08:55	22,00	Pumpestopp
11.09.2003 00:55	15.09.2003 05:55	101,00	
02.10.2003 14:55	03.10.2003 16:55	26,00	
08.12.2003 14:55	11.12.2003 12:55	70,00	
27.12.2003 16:55	29.12.2003 22:55	54,00	



Figur 9. pH, temperatur, vannføring og dose som styringssignal og beregnet verdi høsten 2003. Figuren viser hvordan doseringen økte til 20 ml/m^3 uten at dette påvirket pH-verdiene. Årsaken var at pH ble målt på stillestående vann i målekyveta. Situasjonen oppsto 27. desember kl 16:00. Forskjeller i beregnet dose og styresignal som dose viser også at det har vært andre forhold som har påvirket utdoseringen. Under stor flom den 27. desember var den faktiske (beregnete) dosen lavere enn styringssignalet, mens forholdet ble snudd i perioden med høy dosering. Årsaken til dette forholdet er uklar. Doseringen kuliminerte før pH igjen ble målt riktig. Dette kom av at beholdningstanken gikk tom for vannglass.



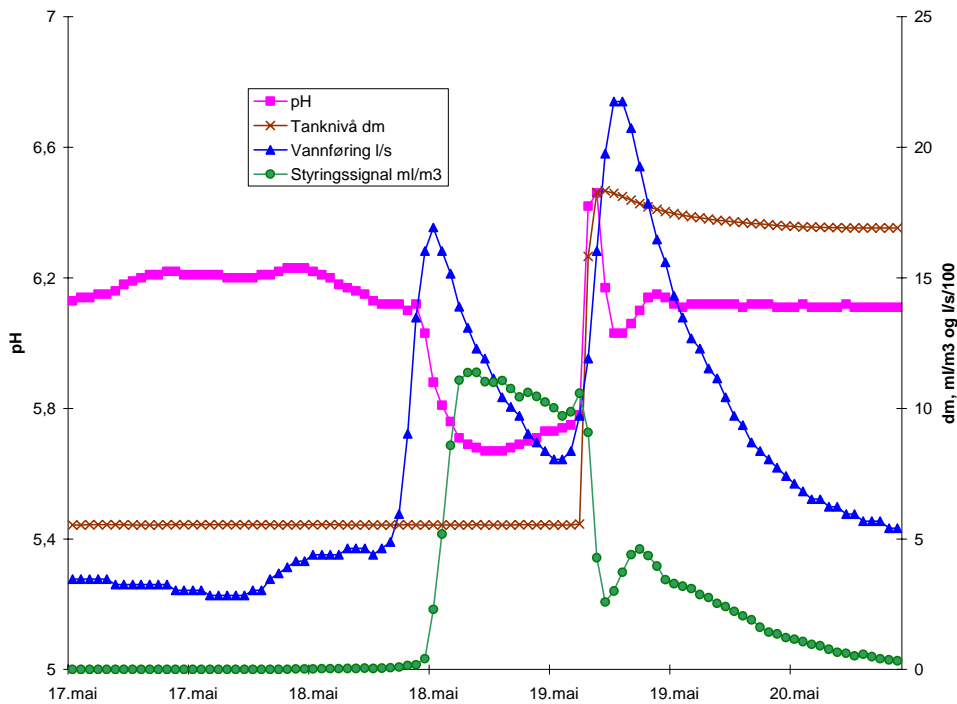
Figur 10. pH, vannføring, vannglass beholdning og doser i Logåna midt i september 2003. Figuren viser at det under flom ble behov for dosering. Dette vises ved økt styringssignal. Dette behovet ble raskt redusert. Imidlertid fortsatte doseringen med økende doser. Doseringen økte til 50 ml/m³ uten at dette påvirket pH-verdiene. pH-målingene var ikke riktige. Feil på anlegget gjorde også at det ble dosert vannglass selv om doseringspumpen sto stille.

pH var for lav i forhold til pH-målet for elva 10 ganger i løpet av registreringsperioden. Dette utgjorde til sammen 230 timer (**Tabell 6**). Årsaken var ved to anledninger at dosering uteble. Den 18. mai ble det ikke dosert selv om styringssignalet for dosering var aktivt (se **Figur 11**), og den 4. november var anlegget tomt for vannglass i nærmere 2 døgn. pH ble da meget lav (pH 5.3), (**Figur 12**). Denne situasjonen kan ha gitt varig skade på fisk i elva (Kroglund og Rosseland 2004). Ved de fleste andre tilfellene ble det gitt noe lav dose til å kunne oppfylle pH-kravet. Dataene viser også at dosene ble for høye i forhold til kravet om maksimaldose på 6,7 ml/m³ ved en rekke anledninger. Doser ved høy dosering er plukket ut ved å ta utgangspunkt i den normale forsuringsutviklingen ved flomepisoder i Logåna. Det finnes eksempel på denne fra driftsdata før dosering av vannglass ble startet vinteren 2003 (**Figur 13**). Episoden oppsto ved første tøvær etter streng vinterkulde. Av kurven går det fram at pH var på det laveste like etter at vannføringen hadde kuliminert. Ved sammenligning av dosene som ble gitt ved disse tidspunktene i hver flomutvikling (**Tabell 7**) går det tydelig fram at dosene vanligvis ble ca 2,5 ganger maksimal tillatt dose. Silisium i vannglass binder sannsynligvis alt tilgjengelig giftig aluminium ved maksimalt tillatt dose (Åtland et al. 2003). Det anses derfor ikke skadelig for fisk selv om pH synker under pH-kravet ved flom.

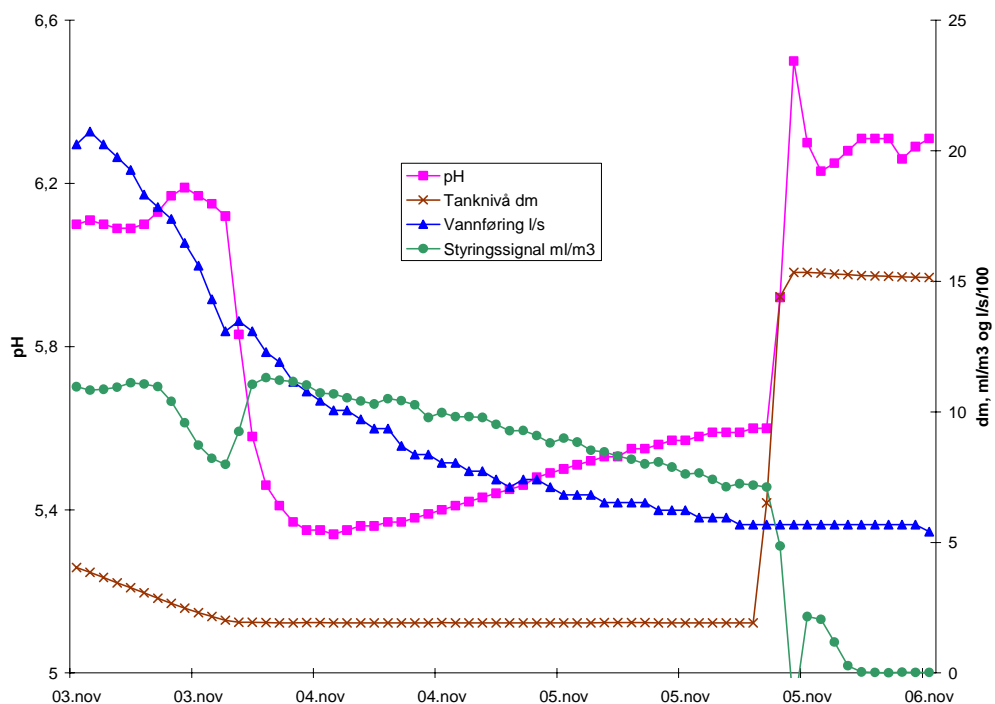
Eksempel på doser ved høy flom og lav pH er gitt i **Figur 14**. Fra 2. desember (**Figur 15**) ble kravet til pH senket fra 6,1 til 5,9 for å redusere på overdoseringen av vannglass. Dette resulterte i at dosene gikk betraktelig ned. Under to flommer senere i desember ble maksimal dose henholdsvis 7,2 og 6,3 ml/m³. Dette i tråd med den tillatte maksimum dose.

Tabell 6. Episoder med for lav pH i forhold til pH-målet i elva. Årsak til forholdene i egen kolonne. Lavest pH oppsto da beholdningstank gikk tom for vannglass. Tilstanden varte i nesten to døgn før ny forsyning med vannglass ble levert.

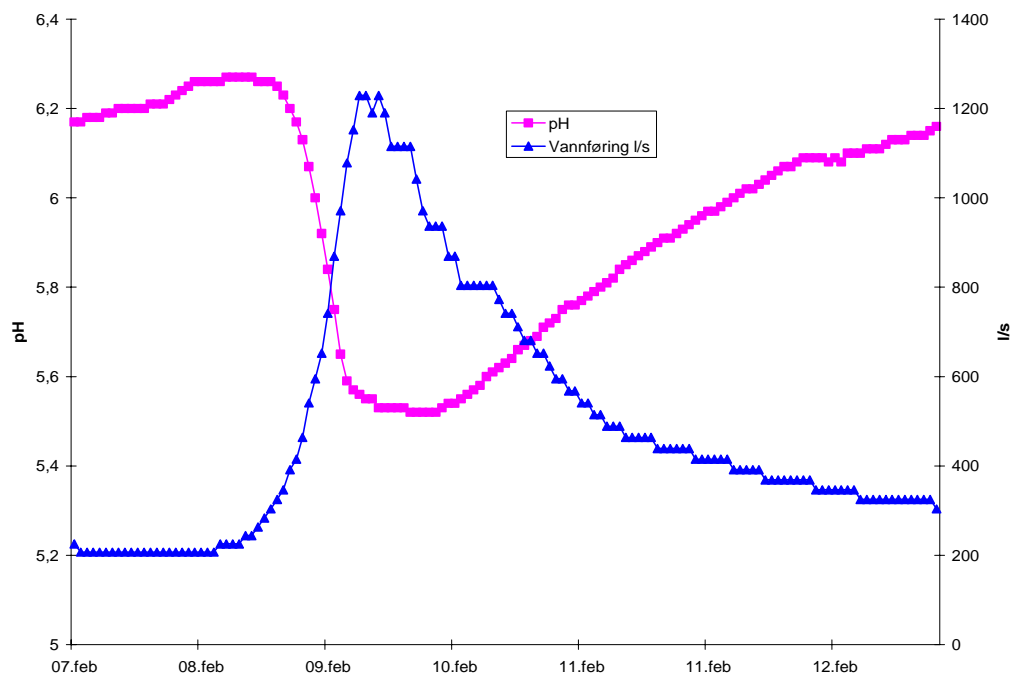
Fra	Til	Tid timer	Laveste pH	Årsak til episode
31.03.2003 12:55	01.04.2003 10:55	22,00	5,8	For lav dosering
01.04.2003 13:55	01.04.2003 23:55	10,00	5,8	For lav dosering
12.05.2003 09:55	14.05.2003 13:55	52,00	6	For lav dosering
18.05.2003 17:55	19.05.2003 11:55	18,00	5,7	Ingen dosering
01.10.2003 15:55	02.10.2003 14:55	23,00	5,9	For lav dosering
02.11.2003 21:55	03.11.2003 11:55	14,00	5,6	For lav dosering
04.11.2003 01:55	05.11.2003 18:55	41,00	5,3	Tank tom
15.11.2003 15:55	16.11.2003 04:55	13,00	5,6	For lav dosering
27.11.2003 10:55	27.11.2003 22:55	12,00	5,5	For lav dosering
30.11.2003 08:55	01.12.2003 06:55	22,00	5,7	For lav dosering



Figur 11. Tanknivå, vannføring, pH og styringssignal som ønsket dose i Logåna i mai 2003. Figuren viser en situasjon der det ble gitt signal om dosering, men tekniske problemer førte til at det ikke ble dosert vannglass.



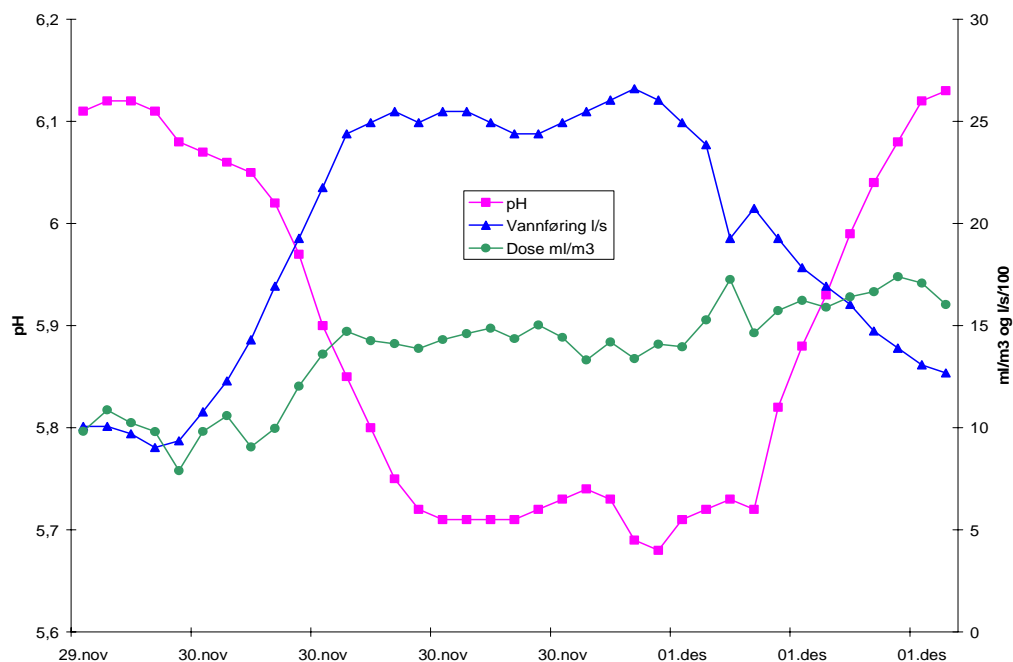
Figur 12. Tanknivå, vannføring, pH og styringssignal som ønsket dose i Logåna en periode i november 2003. Figuren viser at tanken var tom i nesten 2 døgn under en flom. Dette resulterte i meget surt vann i elva nedstrøms dosereren. pH ble på det laveste målt til 5,3.



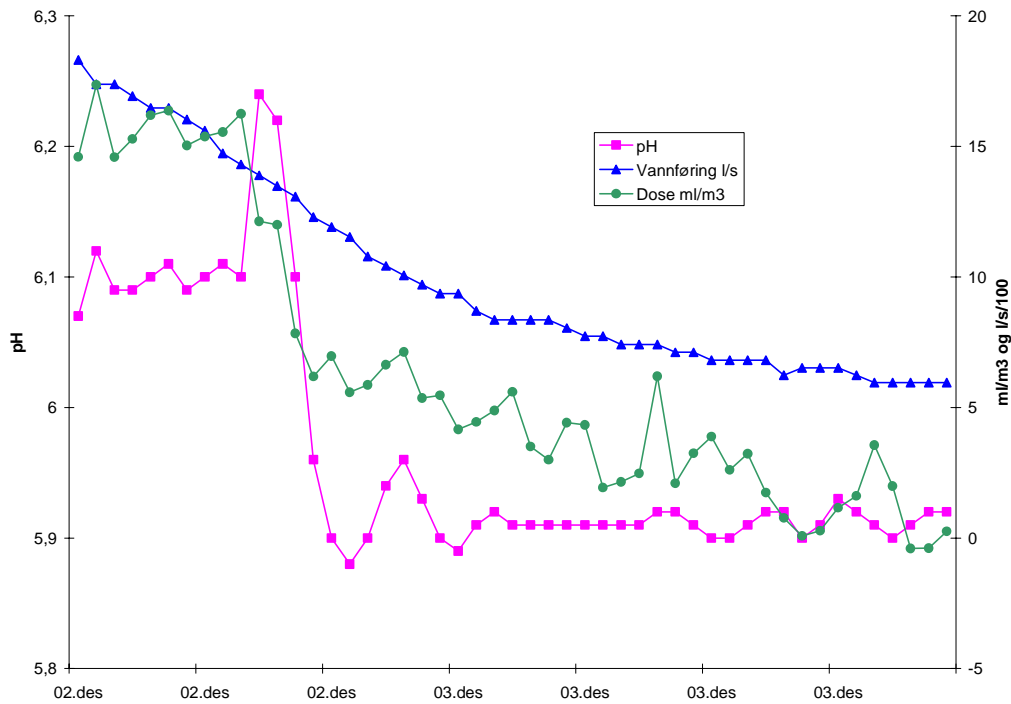
Figur 13. pH og vannføring under en flomepisode vinteren 2003 før dosering av vannglass ble startet i Logåna. Figuren viser at pH reduseres i takt med økende vannføring og er på det laveste i etterkant av maksimum vannføring.

Tabell 7. pH, styringssignal som dose og faktisk gjennomsnittlig dose pr. time i Logåna ved vannføringer høyere enn 1 m³/s året 2003. Dosen overgår langt den verdi som er satt som ønskelig maksimum dose (6,7 ml/m³).

Dato	pH	Vannføring l/s	Styringssignal ml/m ³	Timesdose ml/m ³
11.03.2003	6,0	2385	10	14
01.04.2003	5,8	2279	11	16
01.04.2003	6,2	1693	10	19
13.05.2003	6,0	541	6	27
13.05.2003	6,0	2279	11	16
13.05.2003	6,0	2285	10	16
24.05.2003	6,1	2092	6	12
11.09.2003	5,9	571	7	32
16.09.2003	6,2	125	0	54
01.10.2003	6,0	1436	11	19
07.10.2003	6,1	808	8	19
30.10.2003	6,1	1801	8	11
03.11.2003	5,5	4878	9	9
03.11.2003	6,1	1981	11	16
15.11.2003	5,6	3269	10	14
16.11.2003	6,0	1950	11	17
23.11.2003	5,9	2392	11	16
27.11.2003	5,5	3269	10	13
27.11.2003	5,9	1944	11	16
01.12.2003	6,1	1400	11	17
02.12.2003	6,1	1565	11	15
02.12.2003	5,9	1157	3	6
14.12.2003	5,9	1704	5	7
25.12.2003	5,9	1526	5	6

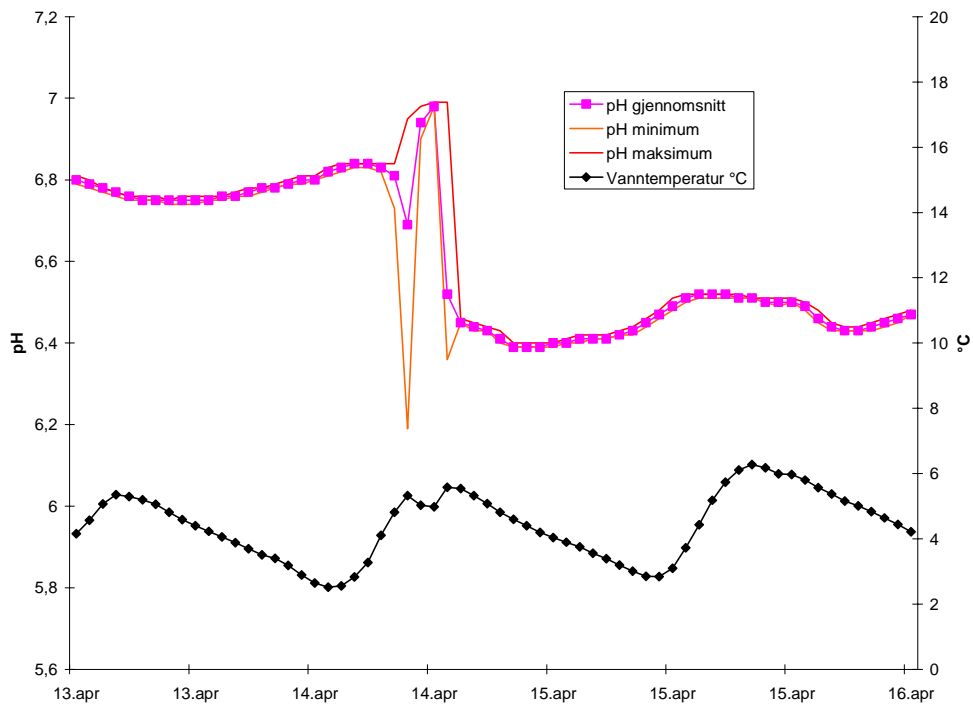


Figur 14. pH, vannføring og dose under en flom i månedsskiftet november/desember 2003 i Logåna. Figuren viser at selv om pH ble lavere enn ønskelig, gav doseringen 2,5 ganger angitt maksimaldose til elva.

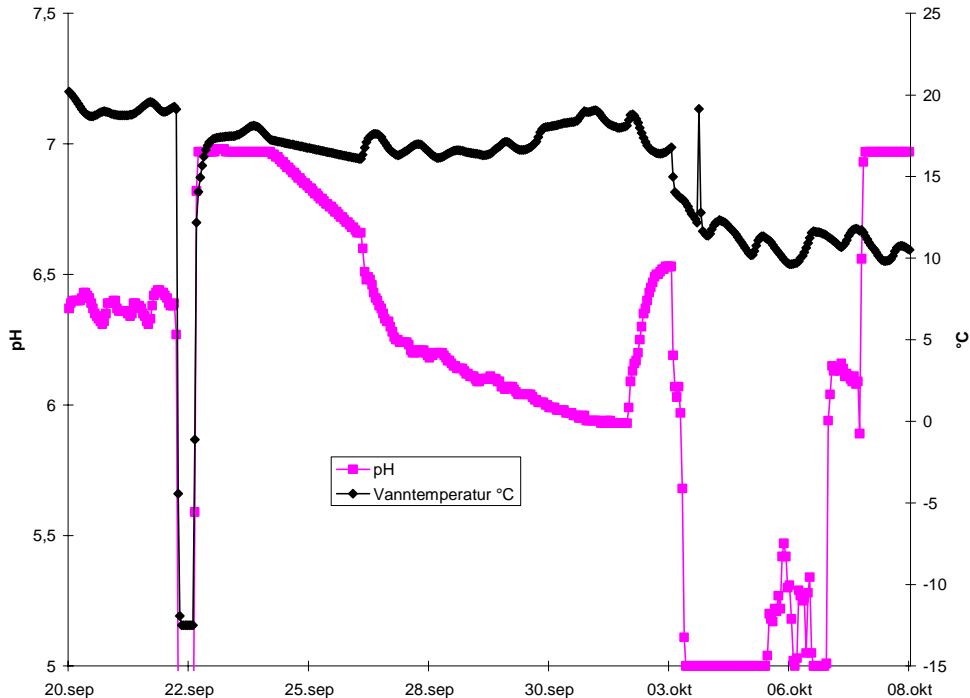


Figur 15. pH, vannføring og dose da pH-kravet i Logåna ble forandret fra 6,1 til 5,9 den 2. desember 2003. Figuren viser at dosen umiddelbart gikk ned 10 ml/m³. På grunn av stadig synkende doseringsbehov i etterkant av flommen, ble dosen gradvis redusert til 0.

Store feilnivåer i pH-verdiene oppsto ved flere anledninger selv om det var gjennomstrømming i målekyveta. **Figur 16** viser eksempel på stor korrigerings ved pH-kalibrering. **Figur 17** viser også hvor meget pH blir påvirket etter en stopp i vanngjennomstrømmingen som resulterte i vannglass i målekyveta. pH-elementene blir permanent svekket, og i dette tilfellet endte det med fullstendig defekte elektroder.



Figur 16. pH og vanntemperatur i Logåna, april 2003. Figuren viser at pH først viste store avvik fra riktig nivå. Ved kalibrering ble pH-justert 0,4 enheter ned.



Figur 17. pH og vanntemperatur i Logåna i månedsskiftet september/oktober 2003. Figuren viser svikt i målinger da anlegget stoppet den 22. september. Antagelig har vannglass som sto i utførselslangen etter doseringsanlegget kommet i retur inn i målekyveta da vannpumpen stoppet. Dette førte til meget høy pH (pH viser 7 også ved høyere verdier). pH-elektroden fungerte ikke normalt etter denne episoden.

3. Tiltak

3.1 Smeland

Vannføringsmålingene på anlegget har ikke blitt oppgradert slik det ble foreslått i 2001 (Høgberget 2001). Imidlertid er det fremmet forslag om å legge ned hele doseringsanlegget. Dersom dette blir en realitet, vil det bli nødvendig å dosere mer i området Håverstad/Bjelland. Forhåndsdosen inn mot Bjelland doseringsanlegg må uansett balanseres slik at det er en gunstig pH for etterjustering på Bjelland. Håverstad doseringsanlegg vil, med årets avrenning, kunne dosere de mengdene som skal til for å håndtere denne oppgaven. I år var maksimal momentan dosering fra Smeland og Håverstad til sammen ca 600 g/s. Dette er litt over halvparten av hva Håverstad-anlegget kan dosere (1090 g/s). Årets maksimale vannføringer var ikke spesielt store. År 2000 hadde derimot en nedbørrik høst. Da ble det på det meste dosert 1800 g/s fra de to anleggene. Dette er langt over hva Håverstad-anlegget kan dosere alene.

Dersom det, ved eventuell nedleggelse av Smelandsanlegget ikke blir etablert et nytt anlegg på sterkningen Håverstad/Bjelland, vil sikkerheten for forsvarlig kalkdosering til Mandalselva bli vesentlig svekket. Ved en eventuell langvarig stopp i doseringen fra Håverstad vil det ikke være tilgjengelig utstyr for å kunne dosere de nødvendige mengder til å opprettholde vannkvaliteten på et akseptabelt nivå nedstrøms Bjelland.

Med bakgrunn i ønsket om å opprettholde sikkerhetsnivået og doseringskapasiteten er anbefalingen at det, dersom Smeland doseringsanlegg skal nedlegges, bør etableres et anlegg i området Håverstad/Bjelland. Antagelig er flytting av eksisterende anlegg på Smeland det mest økonomiske alternativet.

Håverstad-anlegget var opprinnelig utstyrt for pH-styring. Dette var en del av kalkingsplanen for elva. Denne funksjonen vil enkelt kunne etableres ved å benytte pH-utstyret som er montert på Håverstad i dag til pH oppstrøms styring av framtidig doseringsanlegg.

3.2 Håverstad

Det er fortsatt ikke tatt grep for å iverksette pH-styring slik det er foreslått i alle tidligere avviksrapporter. Det er uvisst om eventuelle justeringer av signal for vannstand og kalkvekt har medført bedre målespenn i verdiene. Det er sannsynlig at vektjustering har medført forandring av 0-punktet, men maksimalnivået i siloene har i 2003 ikke overskredet før målte maksimalnivå (124 tonn). Eventuell ny maksimalverdi har derfor ikke latt seg avlese.

3.3 Bjelland

Anlegget har i 2003 fått nytt inntak til pH-måling oppstrøms anlegget. Dermed burde problemet med påvirkning av lokalt vanntilsig ved vanninntaket være løst. Imidlertid er det ingen klare tilstander som beskriver en bedring av situasjonen. pH-målingene er preget av lange perioder med mangelfull vanngjennomstrømming. Tiltak bør iverksettes for å bedre denne situasjonen. Det er også viktig å bytte elektroder med en gang det vises tegn til svakheter i måleresultatene.

Det er ikke foretatt justering av kalkvekta. Feil i vektavlesing ved full silo er beskrevet tidligere (Høgberget et al. 2002). Styringssignalet som dose er fortsatt ikke tilgjengelig når anlegget driftes i manuell stilling.

3.4 Logåna

Det må etableres rutiner som sikrer tilstrekkelig vannglassbeholdning i tanken til enhver tid. Dette er avgjørende for å kunne håndtere fortløpende forsurende episoder.

Det er vesentlig for et pH-styrt doseringsanlegg at pH-meteret fungerer optimalt. En viktig forutsetning er at nytt vann strømmer gjennom målekyvetta til enhver tid. På Logånaanlegget har det vært et stort problem å sikre denne vanngjennomstrømmingen. Årsaken har vært at vannpumpa i inntaksbrønnen har stoppet seg til med lauv- og kvistrester. Det var til å begynne med vanskelig å se vannbevegelsen gjennom systemet. Våren 2003 ble det derfor satt inn et flotameter i vannkretsen. Imidlertid har erfaringer vist at bedret visuell oversikt ikke bedrer driftssikkerheten. Det har også til tider vært vanskelig å avlese flotameteret fordi småkvister satte seg fast mellom stempel og sylinder slik at flowverdiene ble gale.

Når vannpumpa i inntaksbrønnen stopper opp, vil vannet i slangene gå tilbake til brønnen. Dette førte i begynnelsen til store problemer for pH-målingene. Årsaken var at vannglassholdig vann kom i retur tilbake til målekyvetta. Den lutholdige væsken påvirket pH-elektroden så mye at de ikke målte på samme måte etter en slik behandling. Driftstiden på elektrodene gikk også vesentlig ned. Dette resulterte i at det ble byttet elektrodesett 3 ganger i løpet av 2003. For å bøte på problemet ble det montert tilbakeslagsventiler både på hovedkrets og krets til pH-kyvette. Vannglass har trengt inn i målekyvetta også etter at disse var montert. Systemet har derfor ikke fungert optimalt.

Den vanlige metoden for vannforsyning ved kontinuerlig pH-måling, er et åpent system der man kan sende vannet ut i fri luft etter målekyvetta. Dette løser imidlertid ikke problemet. Årsaken er at dersom vannglassholdig vann, ved tilbakeslag, kommer forbi inntaket til kyvetta, vil dette kunne trykkes forover igjen gjennom kyvetta ved pumpestart. Det enkleste hadde derfor vært å dele vann- og vannglass-krets. Vann vil i så tilfelle bare pumpes til pH-måling. Vannglass vil doseres konsentrert rett i elva. Imidlertid er det usikkert om doseringen blir sikker ved lav temperatur. Viskositeten i vannglass øker betraktelig ved lav temperatur. Ved 0 °C er viskositeten 300 cps. Dette vil muligens hindre vannglass i å passere utløpspunktet dersom det ikke installeres varmekabel sammen med kjemikalieslangen. Imidlertid anses det som noe problematisk å dosere konsentrert væske til elva. Innblandingssonen kan bli for lang, spesielt i flomsituasjoner, og den giftige sonen kan dermed bli for omfattende. For ikke å introdusere nye usikkerheter anbefales derfor å installere et nytt inntakspunkt i elva for pumping av vann til pH-måling. Dette vannet går da i egen krets og vil ikke påvirkes av prosessvann som inneholder vannglass. Imidlertid bør dosering av konsentrert vannglass direkte til elv utprøves som metode, da dette gjør doseringsteknikken enklere.

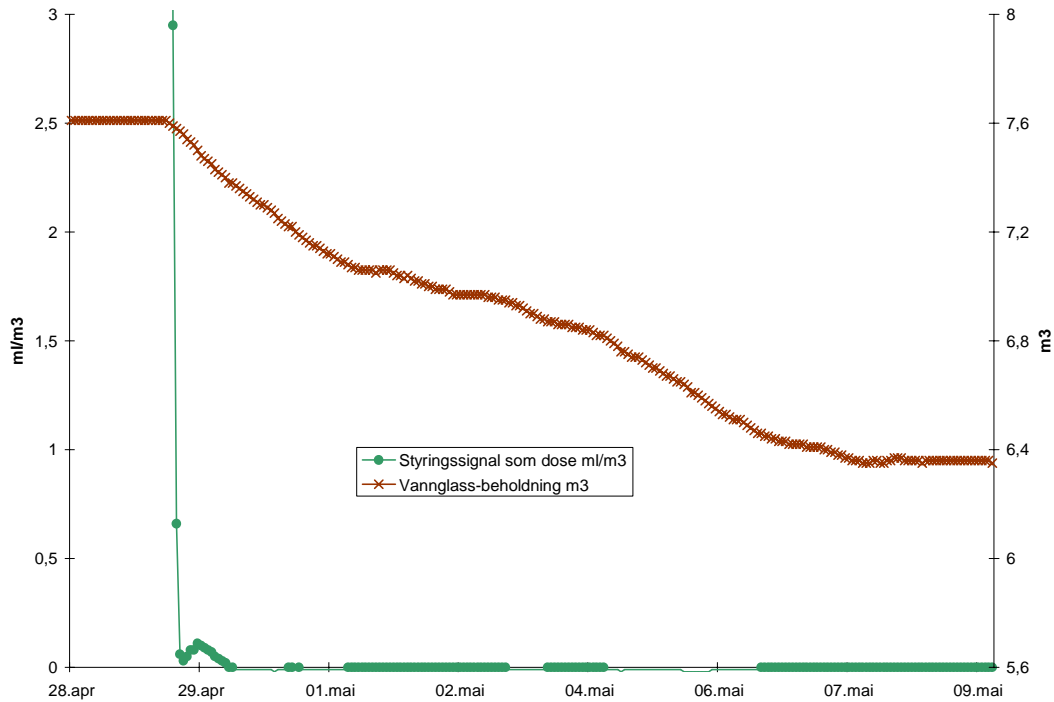
Problemet med tilstopping av vannpumpe og annet utstyr bør løses ved etablering av en stor rist i inntaksbrønnen som blir satt opp slik at rista ikke så lett tettes igjen av kvist, lauv og annet materiale.

Anlegget bør ikke gå tomt for vannglass før ny forsyning er levert på anlegget. Erfaringsmessig er beholdningen tilstrekkelig for minst 3 episoder med flom og surt vann. Da full beholdning i praksis er ca 10 m³ vannglass, vil dette si at bestillingsnivå ikke bør være under 3,3 m³ (64 cm på peilestaven i tanken). Det bør alltid være kapasitet igjen til å ivareta dosering ved behov. I følge leverandøren av vannglass (BIM krystall ved Anders Haavik) bør det ikke være problem å ivareta en slik rutine, da de har leveranser i området rutinemessig 2 ganger pr. uke.

Vannføringskurven for Logåna som funksjon av vannstanden ved målepunktet for vannstand (i inntaksbrønnen) er ikke optimal. Dette fører til at dosen som blir beregnet på grunnlag av dosering og vannføring ikke er eksakt. NIVA har foretatt mange vannføringsmålinger ved forskjellige vannstander, men det oppleves stadig at vannføringen blir annerledes ved samme vannstand før og etter en stor flom. Årsaken er at elva i dette området ligger i løst morenemateriale. Elva flytter derfor massene under flom slik at tverrprofilen forandres. MANKALK har bestilt en kalibrering av vannføringen i elva

mot målestav et annet sted i elva. Da dette arbeidet er gjennomført, vil det være enklere å kalibrere vannføringen mot vannstandsmåleren etter behov. Dette må dessverre inngå som en type vedlikeholdsarbeid på anlegget, og utføres hver gang elvebunnen er forandret. Den beste løsningen hadde imidlertid vært å flytte anlegget til et sted med fast tverrprofil i elveleiet.

Det er registrert dosering til elva selv om doseringspumpa ikke går. (**Figur 18**) Det er for øyeblikket uklart hvordan dette kan oppstå, men det antas at en mottrykksventil etter pumpa ikke har fungert etter hensikten. Dette bør utbedres slik at det ikke unødige doseres vannglass til elva.



Figur 18. Vannglass-beholdning og styringsignal som dose på Logåna doseringsanlegg i mai 2003. Figuren viser en situasjon der det ble dosert vannglass til elva selv om doseringspumpa sto stille. Dosen varierte mellom 5 og 10 ml/m³. Det er uklart hva som førte til denne tilstanden.

4. Referanser

DN 2002. Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2001. DN-Notat 2002-1.

Høgberget, R., 2000. Avviksrapport år 2000 fra driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. NIVA rapport L. nr. 4277.

Høgberget, R., 2001. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2000-2001. NIVA rapport L. nr. 4415.

Høgberget, R., 2002. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2001. NIVA rapport L. nr. 4488.

Høgberget, R. og Hindar, A., 1998. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg. NIVA rapport L. nr. 3824.

Høgberget, R., Skancke L. B. og Håvardstun, J., 2003. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2002. NIVA rapport L. nr. 4697.

Kroglund, F. og Rosseland, B.O., 2004. Effekter av episoder på parr og smoltkvalitet til laks. NIVA rapport L. nr. 4797.

Åtland, Å., Barlaup, B., Bang, K., Bjerknes, V., Gabrielsen, S. E., Håvardstun, J., Lindstrøm, E.-A., Raddum, G., Teien, H. C., 2003. Langtidseffekter av silikatdosering. Ett års utprøving av silikat i Tangedalselva, et sidevassdrag til Undesdalsvassdraget i Hordaland. NIVA rapport L. nr. 4656