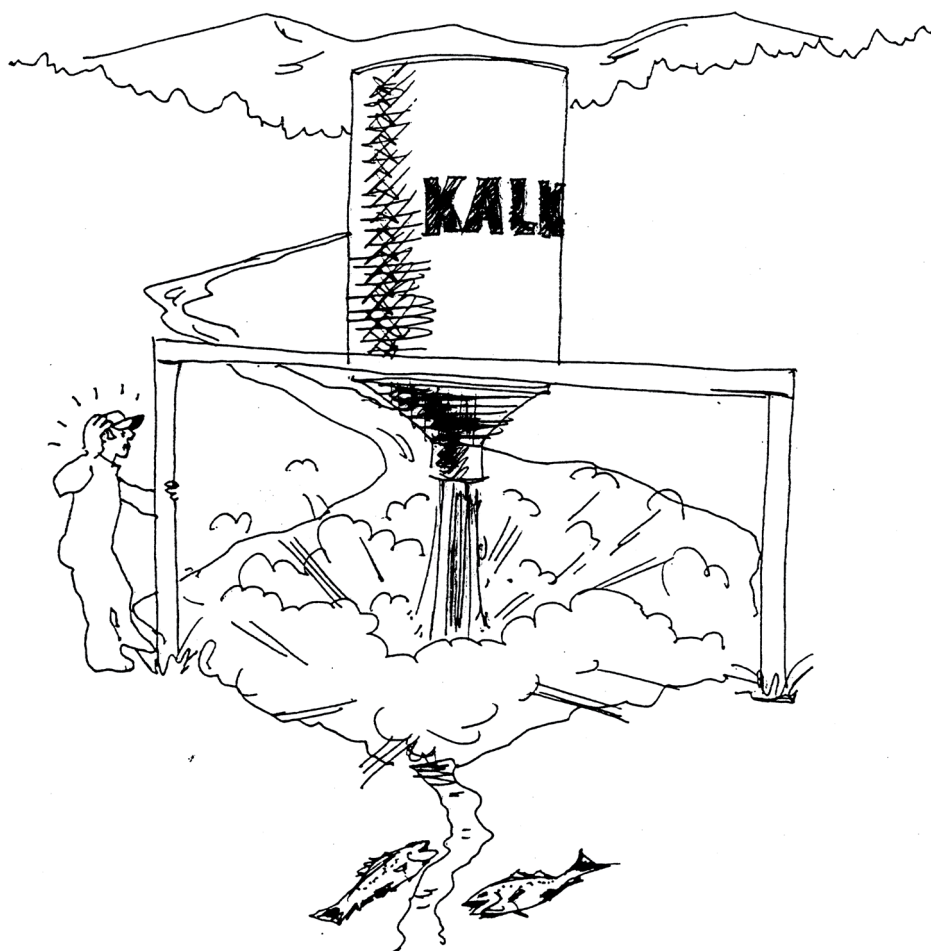


Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget Avviksrapport 2012



RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

NIVA Midt-Norge

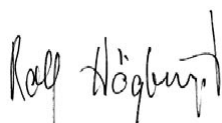
Høgskoleringen 9
7034 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget Avviksrapport 2012	Løpenr. (for bestilling) 6525 - 2013	Dato 29.4.2013.
	Prosjektnr. Undemr. 13133	Sider Pris 26
Forfatter(e) Rolf Høgberget	Fagområde Overvåking	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Samarbeid om kalking av Mandalsvassdraget, MANKALK (Audnedal, Evje- og Hornnes, Mandal, Marnardal, Songdalen og Åseral kommune).	Oppdragsreferanse
--	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Driftskontroll av kalkdoseringsanleggene i Mandalsvassdraget gjennomføres for å avdekke effektiviteten til de enkelte anleggene i vassdraget. Avviksrapporten er en sammenfatning av hendelser i rapporteringsperioden. Den foreslår også tiltak for optimalisering av rutiner, installasjoner og kalkingsstrategi. Driftssikkerheten på Smeland doseringsanlegg var meget god. Det etterlyses imidlertid en ny beskrivelse av hvordan anlegget skal fungere i kalkingsstrategien for elva. Håverstad doseringsanlegg hadde meget god driftssikkerhet. På Bjelland doseringsanlegg ble det registrert hyppigere underskridelser av målet ved lave pH-mål. Dette er som forventet, da råd om reduksjon av pH-kravet på anlegget sannsynligvis er gjennomført. pH-stasjonen nedstrøms anlegget hadde store driftsproblemer i over seks måneder. På Logåna doseringsanlegg var det gjennomgående god driftssikkerhet, før en episode med manglende dosering i desember førte til stor sannsynlighet for skader på fisk. For bedring av driftssikkerheten foreslås en alternativ pH-målingsmetode og ombygging til pH nedstrømsstyrt dosering. Elektronisk ombygging av anlegget vinteren 2012 førte til tap av mange viktige data for driftskontrollen. Det var god leveransesikkerhet av silikat (vannglass) til Logåna-anlegget.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Vassdrag 2. Kalkdosering 3. Overvåking 4. Måleteknikk 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. River system 2. Lime dosing 3. Monitoring 4. Mearuring technic
--	---



Rolf Høgberget
Prosjektleder



Øyvind Kaste
Forskningsleder



Thorjorn Larssen
Forskningsdirektør

**Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i
Mandalsvassdraget**

Avviksrapport 2012

Forord

Tidligere erfaringer har vist at anlegg for dosering av kalksteinsmel i rennende vann ofte produserer en upresis kalkdose til vassdragene som de betjener. Ettersom anleggene er kostnadskrevenne både i etablering og drift, er det avgjørende for et økonomisk og miljømessig 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 dokumentere effektiviteten i den daglige driften ved anleggene i vassdraget, samt å være et ekstra prosessverktøy for operatører og annet personell i MANKALK (interkommunal stiftelse bestående av alle involverte kommuner i Mandalsvassdraget). Det ble inngått ny rammeavtale 15. mai 2001, som 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, Lise Tveiten og Rolf Høgberget. Jarle Håvardstun har også laget kartene i rapporten.

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

Oppdragsgiver er MANKALK. Prosjektet støttes også av Miljøvern avdelingen hos Fylkesmannen i Vest-Agder.

Grimstad, 29.04. 2013

Rolf Høgberget

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	8
2. Driften på anleggene	11
2.1 Smeland	11
2.2 Håverstad	12
2.3 Bjelland	15
2.4 Logåna	18
3. Forslag til tiltak	24
3.1 Smeland	24
3.2 Bjelland	24
3.3 Logåna	24
4. Referanser	26

Sammendrag

Driftskontroll av kalkdoseringsanleggene i Mandalsvassdraget gjennomføres for å avdekke effektiviteten til disse. Avviksrapporten er en sammenfatning av hendelser i rapporteringsperioden.

Smeland

- Driftssikkerheten var meget god i 2012. Anlegget kalket noe lavere enn dose målet unntatt fra midt i november og ut året.
- Nye kalkingskrav for Smelandsanlegget er tidligere etterlyst flere ganger. Det etterlyses en ny beskrivelse av hvordan Smelandsanlegget skal fungere i kalkingsstrategien for elva.
- Doseringssignalet må igjen etableres slik at det blir tilgjengelig for driftskontrollen.

Håverstad

- Det var meget god driftssikkerhet på anlegget. Kun fem stopp i løpet av året ble registrert. Disse var alle kortvarige.
- Doseringen fra anlegget ble justert etter behov. Dette førte til doser fra 0,25 til 3,5 g/m³ avhengig av årstid og vannføringsforhold.

Bjelland

- Det ble registrert en del tilfeller der pH i lakseførende strekning ble målt lavere enn pH-målet for elva. De fleste av disse tilfellene var svært marginale, og oppsto i en tid med lave pH-mål. Det antas at et råd om reduserte pH-krav ved lave pH-mål (Høgberget 2012) var gjennomført på anlegget, og at dette derfor økte frekvensen av svakt underskredet pH.
- pH oppstrøms anlegget hadde meget god driftssikkerhet i hele perioden.
- pH-signalet fra stasjonen nedstrøms anlegget fungerte tilfredsstillende til siste uke i april. Da begynte avlest pH å vandre mot økende verdier slik at det ble vanskelig å kalibrere. pH-signalene ble ikke rolige og pålitelige før alt var byttet på stasjonen og ekstra jord-referanser var etablert. Feil på doseringsanlegget gjorde også at pH-signaler ikke var tilgjengelig for driftskontrollen før i november. Totalt var anlegget uten pH nedstrøms-styring i 6,5 måneder.
- Tiltak med prøvetaking for å avdekke kalkinnblandingforhold under flom og etablering av nytt vannstandssignal for avlesing av korrekte vannstander under flom, er ikke gjennomført.

Logåna

- Det var gjennomgående god driftssikkerhet på anlegget før en episode i desember førte til stor sannsynlighet for skader på fisk, da anlegget ikke doserte silikat (vannglass) ved svært lav pH. Årsakene var stillstand i målekyvetta og omstendigheter omkring manuell styring av doseringen.
- Det var avbrudd i datarekkene i 11 uker fordi driftskontroll-loggeren ble koblet fra i forbindelse med ombygginger på anlegget. Denne utkoblingen ble foretatt uten forvarsel eller noen form for avtaler med NIVA. Forholdet oppsto i forbindelse med Mankalk sin ombygging til Norcon driftssystem. Det etterlyses bedre samarbeid omkring håndteringen av driftskontroll-data fra anlegget ved arbeider som kan føre til tap av loggedata.
- Etter ombyggingen ble to driftskontroll-parametere unnlatt koblet til loggeren, mens vannstand- og tanknivåsignaler ble koblet til, men var feil anpasset.
- Det etterlyses ny kalibrering av vannstandssignalet mot etablert fast målepunkt annet sted i elva.
- Det ble ikke automatisk iverksatt dosering ved strømstans i juni. Denne funksjonen bør være aktiv, da det i de fleste tilfeller vil være behov for dosering på grunn av flom med surt vann.

- Det var mange stopp i vanngjennomstrømmingen i pH-målekyveta. Det foreslås etablert pH-målinger både oppstrøms og nedstrøm anlegget. Disse målingene må gjøres med måleelementet direkte i ellevannet slik at pumping av vann unngås.
- Det foreslås etablert et pH-nedstrømsstyrt system slik at usikkerheter omkring forhøyet dosering ved is-stuvning og unøyaktig dosering ved lavt doseringsbehov elimineres. Det er flere tenkelige løsninger på hvordan pH-stasjoner og doseringspunkt bør plasseres.
- Det var god leveransesikkerhet av vannglass til anlegget. Ingen tilfeller ble registrert der manglende vannglassbeholdning medførte stopp i doseringen.

Summary

Title: Operation Report from lime dosers in Mandal river. Non-conformance report 2012.

Year: 2013

Author: Rolf Hoegberget

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 987-82-577- 6260-5

NIVA has developed methods permitting an efficient control of lime dosers. The control involves simple sensor technology and an efficient information flow. This system is used in limed rivers to improve on and ensure a cost efficient liming. The information generated is an aid to the operators, management and is extensively used in quality control.

This report summarizes discrepancies detected during the last year.

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 og til dels lite tilfredsstillende 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, får man 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 knyttet til anlegget på Håverstad ikke har fungert optimalt (Høgberget 2000). Derfor styres anlegget som et vannføringsstyrt anlegg. Anlegget på Bjelland er styrt etter pH, både oppstrøms- og nedstrøms kalkdoseringsanlegget. Logåna-anlegget er pH-styrt etter verdiene oppstrøms anlegget. Grunnlaget for driftskontrollen i Logåna avviker minimalt fra de andre anleggene ved at det er volumberegning av beholdningstank og ikke vekt som er utgangspunktet for doseberegninger. Plasseringen av de fire doseringsanleggene i Mandalsvassdraget som er omtalt i denne rapporten, er vist på kartet (*Figur 1*).

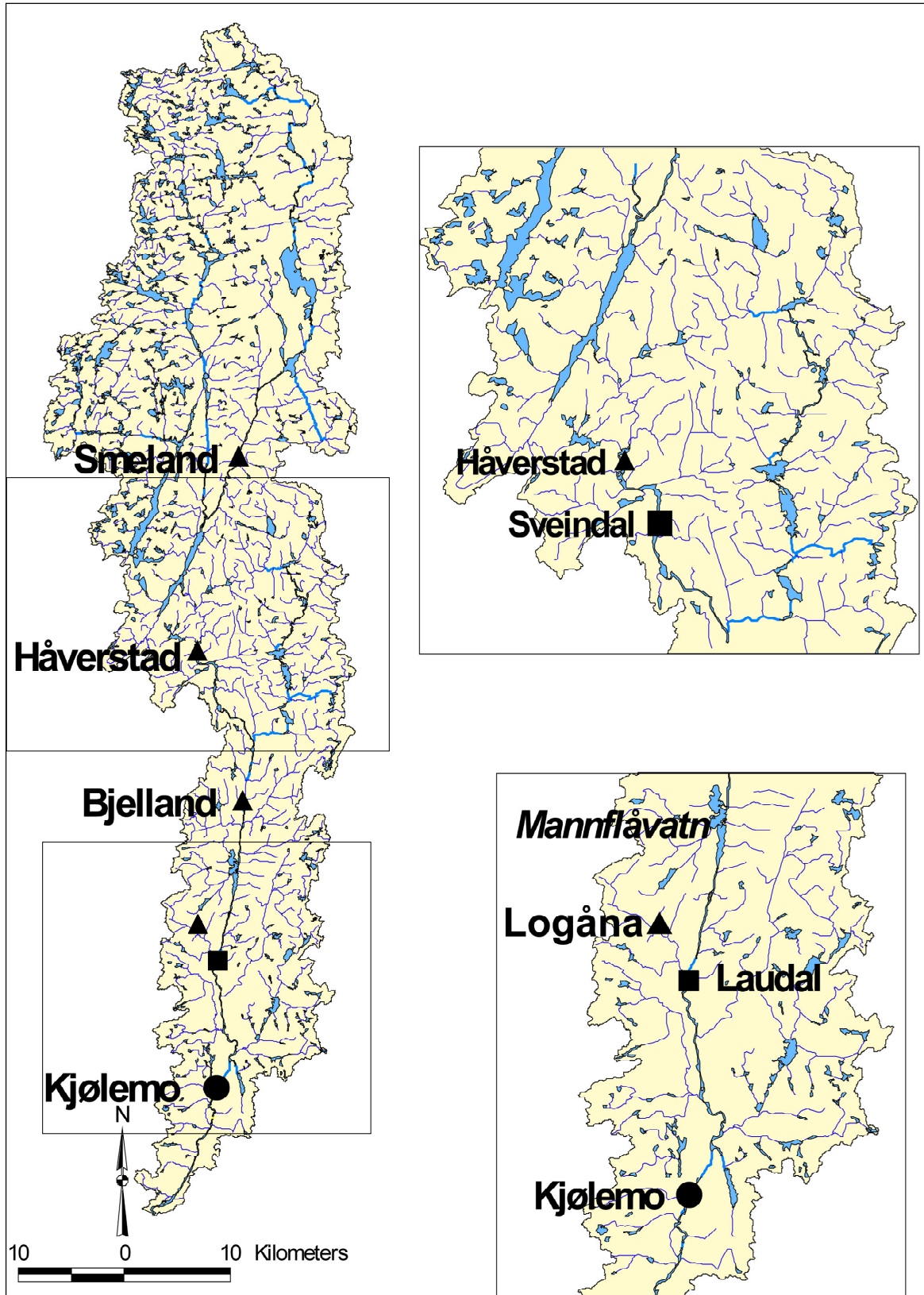
Det er tidligere utgitt følgende avvikrappporter for Mandalsvassdraget:

- 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, Skancke og Håvardstun 2003)
- 1. januar 2003 – 31. desember 2003 (Høgberget 2004)
- 1. januar 2004 – 31. desember 2004 (Høgberget og Håvardstun 2005)
- 1. januar 2005 – 31. desember 2005 (Høgberget, Håvardstun og Tveiten 2006)
- 1. januar 2006 – 31. desember 2006 (Høgberget og Håvardstun 2007)
- 1. januar 2007 – 31. desember 2007 (Høgberget og Håvardstun 2008)
- 1. januar 2008 – 31. desember 2008 (Høgberget og Håvardstun 2009)
- 1. januar 2009 – 31. desember 2009 (Høgberget 2010)
- 1. januar 2010 – 31. desember 2010 (Høgberget og Tveiten 2011)
- 1. januar 2011 – 31. desember 2011 (Høgberget 2012)

Denne avvikrapporten for Mandalsvassdraget omhandler perioden 1. januar - 31. desember 2012.

Ord og uttrykk: Det forekommer en del ord og uttrykk i rapporten som kan være vanskelig å forstå betydningen av. For å lette leserens forståelse av innholdet presenteres her en liste med ord og uttrykk som vanligvis benyttes i rapporteringen:

Ord/uttrykk	Forklaring
Dosering	Brukes om generell tilsetning av kalk, men den egentlige betydningen er tilsetning av kalk per tidsenhet. I rapporten benyttes oftest g/s, dosering per sekund.
Dose	Dosering av kalk per volum vann. Den vanligste enheten er g/m ³ , gram kalksteinsmel per m ³ vann i elva.
PLS-dose, Styringsdose	Styringssignalet (g/s) som benyttes av doseringsanlegget for tilsetning av kalk dividert på vannføringen forbi anlegget (m ³ /s). Dette er den dosen anlegget "tror" den gir til elva. Enheten er g/m ³ .
Driftskontroll-dose	Den kalkdosen som er beregnet levert elva på grunnlag av kalkvektsreduksjon i beholdningstank/kalksilo per tidsenhet dividert på akkumulert vannmengde forbi doseringsanlegget i samme tidsrom.
Timesdose	Den driftskontroll-dosen som er levert i løpet av en time. Verdien er gjennomsnittet av aktuelle times doser til elva. For eksempel vil en vektreduksjon på 0,9 tonn i løpet av en time gi en timesdose på 5 g/m ³ ved vannføring 50 m ³ /s, (akkumulert vannmengde er da 180000 m ³).
Langtidsdose	Den gjennomsnittlige driftskontroll-dosen som er levert elva siden siste påfylling av kalk i beholdningstank/kalksilo. På kurvene som vises i rapporten kan det være store utslag. Dette oppstår i forbindelse med begynnende utregning fra ny beholdning. Årsaken er stor unøyaktighet i veieutstyret. Derfor settes en begrensning i når regneverket får lov å begynne med doseberegninger. I denne tiden vises siste gjeldende verdi som en horisontal strek.
pH-mål	Den til enhver tid gjeldende verdi for hvor høy man ønsker at pH skal være i elva. Verdien blir ofte fastsatt av Fylkesmannens miljøvernavdeling i samarbeid med kalkingsstiftelsen for vedkommende kalkingsprosjekt.
pH-krav	Det pH-kravet som blir satt i styringsautomatikken ved et pH-styrt doseringsanlegg med pH-nedstrøms anlegget som styringssignal. pH-kravet er ofte høyere enn pH-målet for elveavsnittet.
PLS	"Programmerbar logisk styring". Forkortelsen er ofte benyttet som betegnelse på styringsautomatikken på kalkdoseringsanlegg.
UPS	"Uninterruptible power supply". Forkortelse på ekstra energikilde (strømkilde) som benyttes når nettspenningen uteblir.
Kyvette, pH-/målekyvette	Beholder som pH-elektroder og termometer er plassert i. Det skal være kontinuerlig gjennomstrømmende vann i målekyvetta for å få riktige pH- og termometermålinger.
Vannmerke	Vertikal stav med avmerkinger som viser vannstanden i meterriske enheter (meterstav). Vannmerket er satt opp i forhold til et 0-punkt på stedet som avmerking i "fast fjell" eller i forhold til m.o.h. (meter over havet).
Beholdning	Lageret av kalk eller annet avsyngsmiddel på kalkdoseringsanlegget.
Prosesskalibrering	Sette en kjent pH-verdi som avlesingsverdi i et pH-meter. Det har da alltid vært gjennomført en tidligere 2 pkt. kalibrering på meteret (kalibrering mot bufferne pH 4 og 7)



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

2. Driften på anleggene

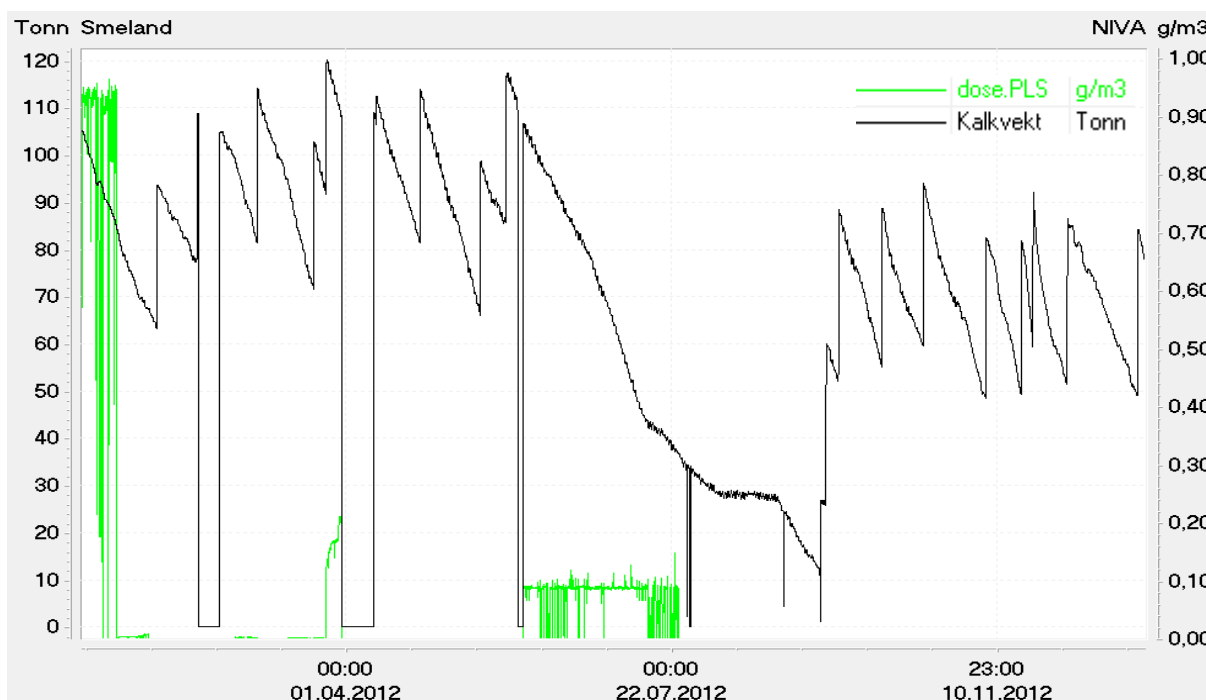
2.1 Smeland

Øverst i Mandalsvassdraget ligger kalkdoseringsanlegget på Smeland (**Figur 1**). Dette anlegget er et vannføringsstyrt kalkdoseringsanlegg. Et slikt anlegg skal kalke med fast dose. Det teoretiske kalkdosemålet 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 kalkingspunktet. Kalkdoseringsanlegget er plassert nedstrøms et kraftverk som døgnregulerer vannføringen forbi doseringsanlegget. Vanlig utvikling gjennom et døgn er lavest vannføring tidlig på morgenen, deretter en fordobling utover dagen. Maksimum vannføring nås om ettermiddagen da det normalt passerer ca. $25 \text{ m}^3/\text{s}$ forbi kalkdoseringsanlegget.

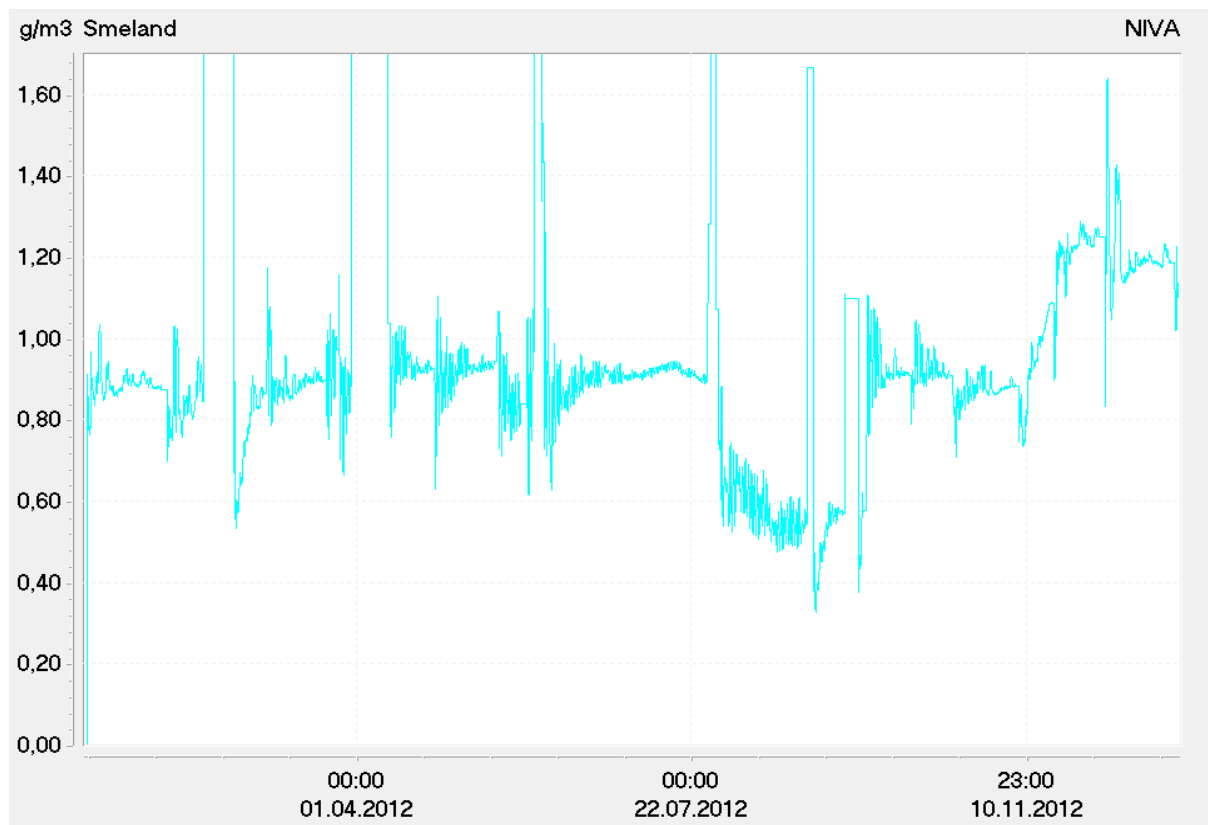
Det var flere perioder da driftskontrolldata ikke ble registrert på loggeren. Det var 7 dager fra 10. februar, 11 dager fra 30. mars og 1,5 dag fra 28. juli. Doseringssignalet var ut over dette også utilgjengelig i lange perioder gjennom året (**Figur 2**).

Det ble ikke registrert langvarige doseringsstopp på anlegget (stopp over 8 timer).

Den gjennomsnittlige doseringen uttrykt som langtidsdose viser at doseringen ofte var rundt $0,9 \text{ g/m}^3$. Dette er noe lavere enn uttrykt dosemaal (1 g/m^3). Fra august til midt i september var dosene ca. $0,5 \text{ g/m}^3$. I denne tiden var det ingen døgnstyring på Smeland kraftverk. Vannføringen var da stabilt lav på ca. $1,5\text{-}2 \text{ m}^3/\text{s}$. Midt i oktober økte dosene til ca. $1,2 \text{ g/m}^3$ (**Figur 3**).



Figur 2. Kalkvekt og styringsdose (dose PLS) på Smeland doseringsanlegg i 2012. Dose-signalet var ikke tilgjengelig store deler av året. Doseringen forløp imidlertid kontinuerlig. Dette vises tydelig ved den kontinuerlige reduksjonen i kalkvekta.



Figur 3. Langtidsdosen fra Smeland doseringsanlegg i hele 2012. Det var stor stabilitet i doseringen.

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 oppstrøms kalkingsanlegget styrer doseringen av kalk. Imidlertid har det vist seg at det oppstår bakevjeeffekter i ellevannet 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. Det er derfor uegnet som styringsverktøy for kalkdoseringen. For å unngå problemet fungerer nå anlegget som et vannføringsstyrt doseringsanlegg, med dosering av fast dose i forhold til vannføringen.

Det var ingen avbrudd i driftskontrolloggingen i hele perioden.

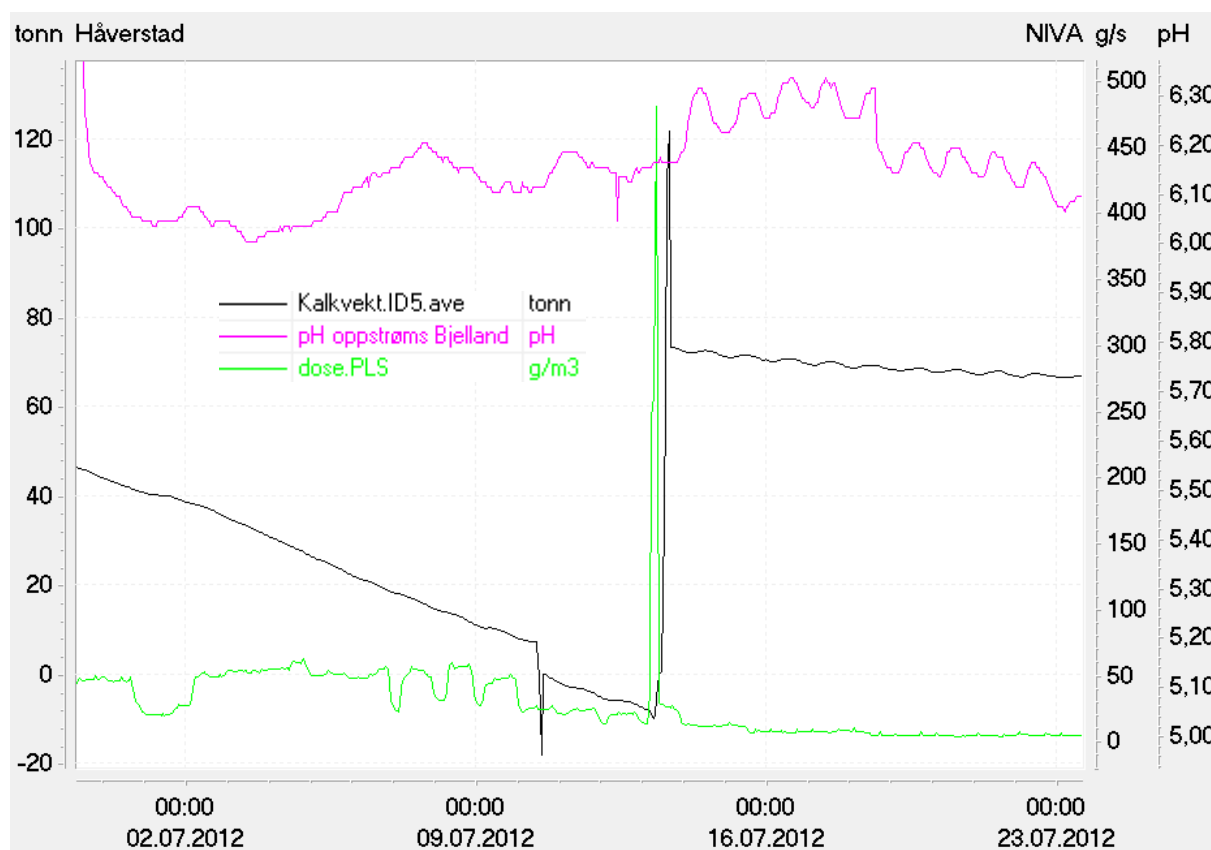
Det var ingen langvarige sviktende veie-, dose- eller vannstandssignal. Veiesignalet viste periodevis ulogiske verdier i tiden 10.-13. juli. Dette hadde sammenheng med at kalksiloen ble tømt og service utført på veieelektronikken (**Figur 4**).

Anlegget hadde bare fem stopp med varighet over 8 timer. Til sammen utgjorde dette litt over 3 dager uten dosering (**Tabell 1**).

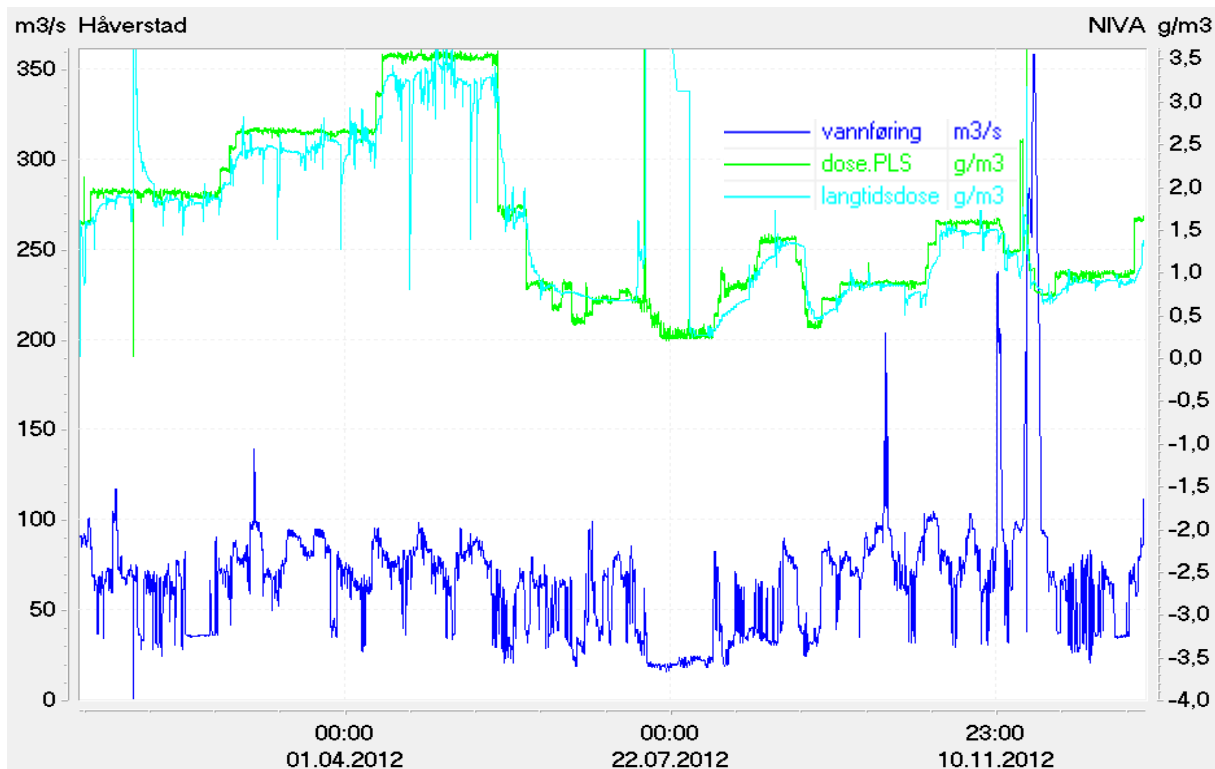
Tabell 1. Stillstand i over 8 timer på Håverstad doseringsanlegg i 2012. Det var få tilfeller av stillstand på anlegget.

Dato	Dager uten dosering	Merknad
01.01.2012	0,8	
23.04.2012	0,4	
27.08.2012	0,4	
28.10.2012	0,4	
18.11.2012	1,2	Delvis stopp

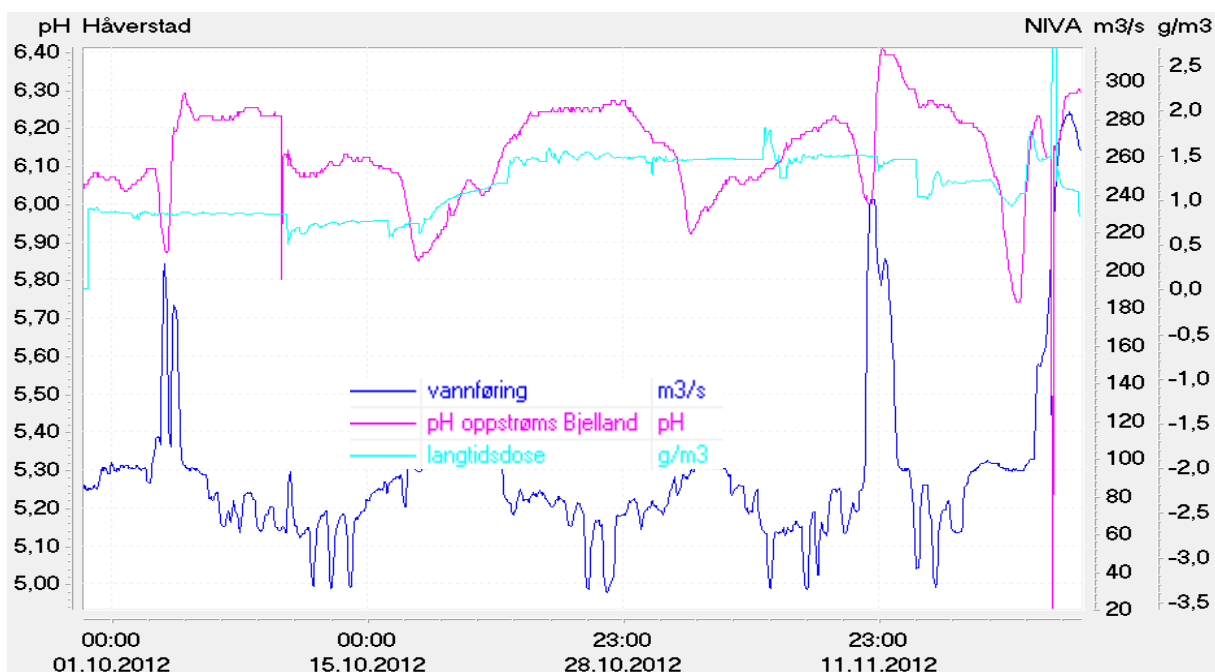
Dosene som ble levert fra anlegget varierte gjennom rapporteringsperioden. I tiden før øket pH-mål i lakseførende strekning, ble dosene på Håverstad satt til ca. 2 g/m^3 . I tiden med pH-mål 6,2 var dosene ca. $2,5 \text{ g/m}^3$, mens de økte til ca. $3,3 \text{ g/m}^3$ ved det høyeste pH-målet (pH 6,4). Dosene ble mye lavere i sommerhalvåret, med verdier ned mot $0,5 \text{ g/m}^3$ i en lang periode på tre uker fra midten av juli. Om høsten vekslet dosene fra under 1 g/m^3 til $1,5 \text{ g/m}^3$ (**Figur 5**). **Figur 6** viser ingen klar sammenheng mellom variasjoner av dosene som ble gitt om høsten og pH på Bjelland oppstrøms doseringspunktet på anlegget.



Figur 4. Kalkvekt og dosering ved Håverstad doseringsanlegg sammen med pH oppstrøms Bjelland. Anlegget ble tømt for kalk 13. juli for å kunne gjennomføre vedlikehold. Det ble da dosert 14 g/m^3 uten at dette kunne synes på pH ved Bjelland. Utblandingen på 18 km elvestrekning var for stor til at pH-økningen ble målbar.



Figur 5. Vannføring, PLS-dose og langtidsdose ved Håverstad doseringsanlegg i 2012. Dosene varierte mye gjennom året. De var spesielt høye i perioder med øket pH-mål i lakseførende strekning av elva.



Figur 6. Vannføring og langtidsdose på Håverstad sammen med pH i elva oppstrøms Bjelland doseringsanlegg ca. 18 km nedenfor Håverstad. Figuren viser ingen god sammenheng mellom de dosene som ble gitt og effekten som øket pH. Derimot vises reduksjon i pH ved flommer i elva.

2.3 Bjelland

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

Fylkesmannens miljøvernnavdeling i Vest-Agder har fastsatt pH-mål gjennom året (teoretiske grenseverdier for pH) for lakseførende strekning i Mandalsvassdraget. Disse målene ble sist revidert 24. april 2006, og er som følger: 15/2-14/4: pH 6,2, 15/4-31/5: pH 6,4 og pH 6,0 resten av året. 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 derfor ofte satt høyere enn pH-målet for elva.

Driftskontroll-loggen er komplett i hele 2012.

Det ble ikke registrert langvarig sviktende veie- og vannstandssignal ved anlegget i 2012 (over 8 timers varighet). Vannstanden økte imidlertid over maksimum registrerbar grense i 12 timer den 23. november.

pH-signalet oppstrøms anlegget fungerte kontinuerlig gjennom hele perioden. Bare ett brudd på 3 timer ble registrert den 21. november.

pH-signalet fra stasjonen nedstrøms anlegget fungerte tilfredsstillende til siste uke i april. Da begynte avlest pH å vandre mot økende verdier slik at det ble vanskelig å kalibrere pH. Den 9. mai ble det sendt et nytt sett elektroder for montering. Problemene omkring ustabil pH-registrering fortsatte imidlertid selv om elektrodene ble skiftet ut. Elektronikken i pH-metret ble da utskiftet. Bare transformator delen ble stående igjen i instrumentet. Selv om signalbehandlingsdelen i instrumentet ble skiftet, fortsatte problemene. I et nytt forsøk på å bedre forholdene, ble elektrodekablene skiftet ut. Dette var heller ikke løsningen på problemet. I august ble det satt inn et helt nytt pH-meter på stasjonen. Heller ikke dette løste problemene. Den 17. august ble det gjort ekstra tiltak for eventuelt å kunne dempe effekter av jordingsfeil utenfor pH-stasjonen som kunne påvirke pH-metret. Det ble montert ekstra væskejordledning til instrumenthuset, tilkoblingene ble forandret på pH- og referansekabler og instrumentet ble programmert om til DIN 09 (pH-bufferstandard med pH 4 og 7). Avslutningsvis ble pH-metret topunktskalibrert mot pH-buffer 4 og 7. Dette førte til at pH-signalene ble rolige og pålitelige. Imidlertid fortsatte problemene med å få registrert pH, da instrumentasjonen på doseringsanlegget ikke fungerte slik den skulle. pH ble ikke tilgjengelig på driftskontroll-loggen før reparasjoner på anlegget ble gjennomført 9. november. Hele årets logg av pH nedstrøms anlegget er gjengitt i *Figur 8*.

I den tiden pH nedstrøms anlegget ble registrert, var det bare tre tilfeller med stillstand i pH-kyvetta. Det var 1,8 dager fra 16. januar, da vannpumpa ble ødelagt og måtte erstattes, 2,2 dager fra 11. november og 2,3 dager fra 22. november. pH-stasjonen oppstrøms anlegget hadde nærmest kontinuerlig gjennomstrømming av kyvetta hele året (*Tabell 2*).

Tabell 2. Dato og varighet med stillstand i målekyvettene for pH-målinger ved Bjelland doseringsanlegg i 2012. Bare tilfeller med stillstand over 8 timer er med i oversikten.

Startdato	Dager uten gjennomstrømming i målekyvetta	
	Oppstrøms doserer	Nedstrøms doserer
16.01.2012		1,8
23.02.2012	0,5	
29.06.2012	0,3	
11.11.2012		2,2
22.11.2012		2,3

Det var noen tilfeller der pH oppstrøms anlegget ble målt høyere enn nedstrøms anlegget. De fleste tilfellene oppsto om høsten etter at pH-stasjonen nedstrøms anlegget var reparert. Totalt var det 10 dager med slike pH-målinger. **Tabell 3** viser når og i hvor lang tid slike forhold oppsto. Det var også tilfeller der dosering fra anlegget ikke påvirket pH-avlesingen nedstrøms anlegget. Spesielt var dette tilfellet i tiden etter at pH oppstrøms anlegget ble målt høyere enn nedstrøms anlegget sent i november. **Figur 7** viser hvordan pH oppstrøms og nedstrøms anlegget ble registrert om høsten etter at pH-stasjonen nedstrøms anlegget igjen var i drift.

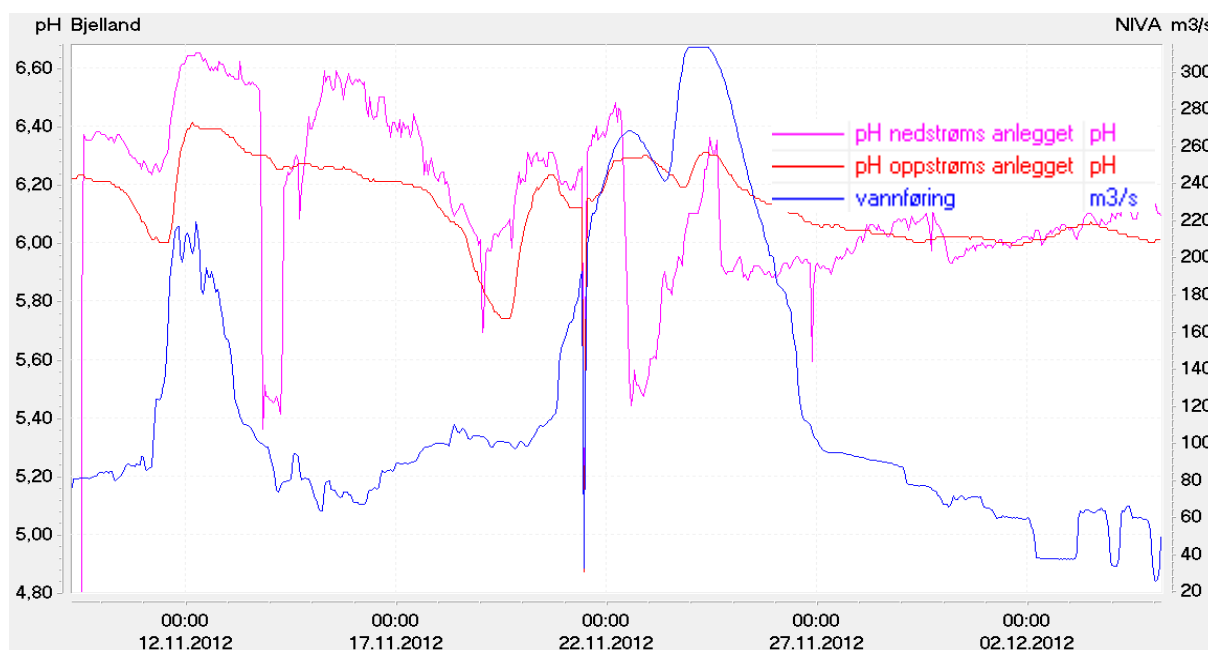
Det ble registrert en del tilfeller der pH i lakseførende strekning ble målt lavere enn pH-målet for elva (**Tabell 4**). De fleste av disse tilfellene var svært marginale, og oppsto i en tid med lave pH-mål. Det antas at et råd om reduserte pH-krav ved lave pH-mål (Høgberget 2012) var gjennomført på anlegget, og at dette derfor økte frekvensen av svakt underskredet pH. Det ble imidlertid avlest meget lav pH i forbindelse med økende vannføring under en stor flom 22. november hvor høyeste vannføring var høyere enn høyeste målbare verdi (313 m³/s). pH oppstrøms anlegget viste i tilsvarende periode ingen antydninger til pH-dropp. Det er derfor usikkert om forholdet har vært reelt. Kurver som viser pH-utviklingen gjennom året sammenholdt med vannføringen er gjengitt i **Figur 8**.

Tabell 3. Tilfeller i 2012 da pH oppstrøms viste høyere verdier enn nedstrøms anlegget. Det ble ikke registrert mange tilfeller. Noe av årsaken kan være at pH nedstrøms anlegget var ute av drift i en lang periode slik at denne sammenlikningen ikke er relevant før etter 9. november.

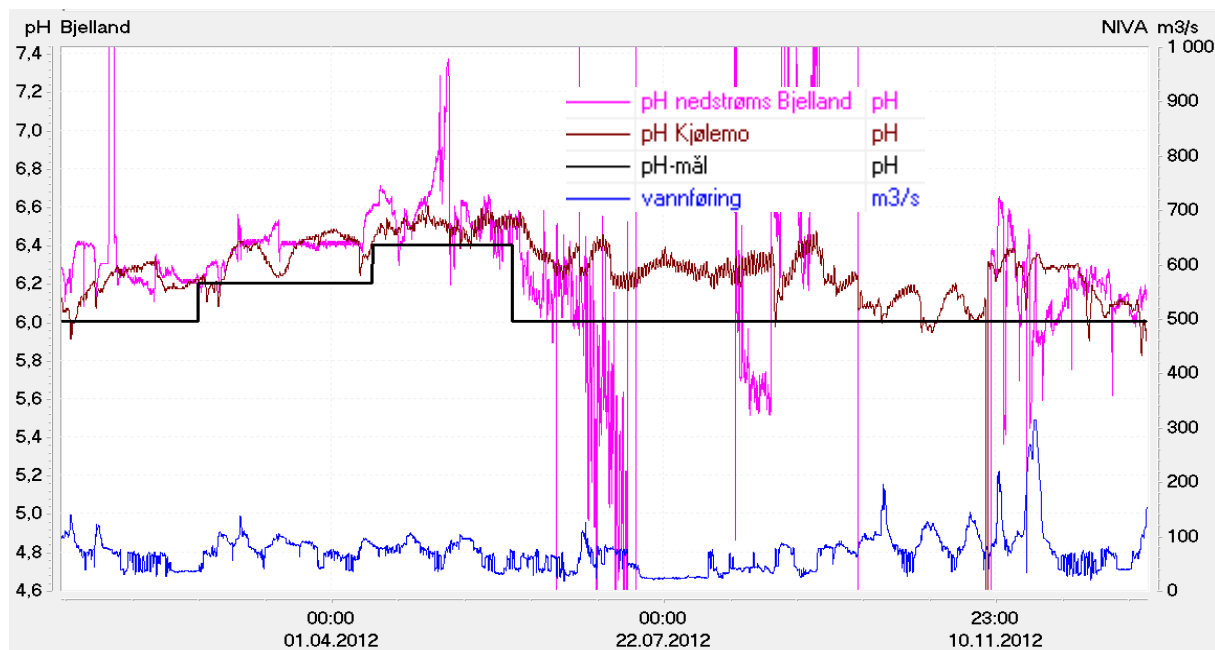
Startdato	Dager
13.11.2012	0,5
22.11.2012	5,8
30.11.2012	1,5
26.12.2012	2,4

Tabell 4. Oversikt over de tilfeller i 2012 da pH i elva var lavere enn de årstidsavhengige pH-målene for elva.

Dato	Antall timer under pH-målet i elva		pH-Avvik	Merknad
	Bjelland	Kjølemo		
03.01.2012		8	0,1	
04.01.2012		4	0,1	
18.02.2012		20	0,1	
22.02.2012		19	0,1	
23.02.2012	5		0,1	
23.04.2012	8		0,1	
17.10.2012		4	0,1	
20.10.2012		12	0,1	
22.11.2012	27		0,6	Usikkert
24.11.2012	70		0,1	Usikkert
29.12.2012		19	0,2	
31.12.2012		6	0,1	



Figur 7. pH oppstrøms og nedstrøms anlegget sammen med vannføringen ved Bjelland doseringsanlegg i siste del av november 2012. Lave pH-verdier nedstrøms anlegget ble registrert i forbindelse med økende flom. Imidlertid ble ikke tilsvarende reduksjon påvist oppstrøms anlegget. Den egentlige pH-statusen var usikker. Det ble kalket fra anlegget gjennom hele perioden, men pH nedstrøms ble ikke høyere enn oppstrøms anlegget før i desember. Lav pH nedstrøms anlegget 13. november skyldtes effekter av 2 punkts kalibrering av pH. pH blir da ofte lav inntil ny prosessverdi blir satt.



Figur 8. pH i lakseførende strekning av Mandalselva ved Bjelland og Kjølemo sammen med vannføring ved Bjelland i 2012. pH-målene for elva er også inntegnet. pH nedstrøms Bjelland er ikke reell kurve fra siste uke i april til 9. november på grunn av problemer med pH-meteret og pH-registreringene i styringsautomatikken på doseringsanlegget.

2.4 Logåna

Logåna er en periodisk sur sideelv til Mandalselva. Den er laks- og sjørrettførende, men på grunn av store variasjoner i surhetsgraden, har det vært vanskelig å vedlikeholde en stabil fiskebestand. Det har også tidligere forekommet massiv fiskedød flere ganger i forbindelse med ekstreme forsurende episoder. Elva var før 2002 kalket ved hjelp av kalkdoseringsanlegg.

Høsten 2002 ble Logåna doseringsanlegg for vannglass (SiO_2) etablert. Det er et pH-styrt anlegg. pH-meteret har etter januar 2005 vært plassert oppstrøms doseringspunktet. For beskrivelse av prinsipp, se Høgerberget, Håvardstun og Tveiten 2006. Vannføringssignalet er tilkoblet styringsautomatikken 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 doseringen for å oppnå et valgt pH-krav ved forsurende episoder. pH-kravet for Logåna doseringsanlegg var satt til pH 5,9.

Det var to avbrudd i loggingen fra anlegget i denne rapporteringsperioden. Det første avbruddet startet 17. januar og varte i 11 uker. Årsaken var at driftskontroll-loggeren ble koblet fra i forbindelse med ombygginger på anlegget. Denne utkoblingen ble foretatt uten forvarsel eller noen form for avtaler med NIVA. Forholdet oppsto i forbindelse med Mankalk sin ombygging til Norcon driftssystem. Dette systemet benyttes av Mankalk for styring og overvåking av flere doseringsanlegg i Mandalselva. Det andre bruddet oppsto 4. juni og varte i tre dager. Årsaken til manglende signaler til loggeren var antagelig tordenvær.

Etter ombyggingen på anlegget forsvant registreringene av silikatdoseringen. Vannføringssignalet ble også utilgjengelig, men dette har ikke så stor betydning, da vannføringen også regnes ut i ettertid på grunnlag av vannstandsmålingene. Vannføringssignalet benyttes imidlertid til beregning av doseringssignal. Signalet er dermed en del av tilsynet med at dosene beregnes riktig.

Vannstandsmålingene var i perioder ikke helt stabile. Det er mulig dette har ført til for lav dosering (**Figur 9**). Det var også en tid om høsten da isdannelser førte til urealistiske målinger. Tidligere år ble det aldri registrert vannføringer opp mot 17 m³/s. I 2012 ble det registrert høyere vannføringer enn dette fire ganger. Dette tyder på at vannstandsmålingene ikke ble riktig kalibrert etter ombyggingen.

Silikatbeholdningsloggen er komplett i den tiden loggeren ikke var satt ut av drift ved Mankalk-ombyggingen. Beholdningsnivåene ble imidlertid ikke vist riktig etter ombyggingen (**Figur 12**).

Ved stans i strømtilførselen 4. juni ble ikke nød-doseringen effektuert. Dette kan ha sammenheng med at anlegget var manuelt avslått, eller at den automatiske nød-doseringen ikke virket. Ingen reelle signaler var tilgjengelig for driftskontroll-loggeren under strømstansen (**Figur 10**).

Det var en del tilfeller der vanngjennomstrømmingen i målekyvetta stanset. Til sammen var det 16 tilfeller der stopp i vanngjennomstrømmingen varte i mer en 8 timer. Det var få langvarige stopp. Alle tilfellene er listet i **Tabell 5**.

Det var bare et tilfelle der anlegget gikk tom for vannglass under en doseringsperiode. Det var 14. mai. Tilfellet har sannsynligvis minimal betydning, da tilstanden bare vedvarte i 4 timer. Foruten dette tilfellet ble det registrert fire episoder med manglende eller for lav dosering. Den alvorligste episoden oppsto 16. desember, da en ispropp forstyrret vannstandsmålingene og stoppet vanntilførselen til pH-kyvetta. Anlegget ble da stående i ca. et døgn uten å dosere. Da isen ble fjernet, viste pH etter kort tid meget lave verdier (pH 5,15). Da pH-senkningen ikke ble vist umiddelbart, ble anlegget imidlertid forlatt manuelt avslått. NIVA minnet operatøren om situasjonen neste morgen, og ba ham oppsøke anlegget og starte dosering så fort som mulig. Dette ble gjort. Siden isdemmingen i elva forstyrret vannføringsmålingene slik at automatisk dosering ikke kunne benyttes, ble dosen i samråd med NIVA manuelt satt til 7,5g/m³. Forløpet er vist i **Figur 11**.

Det er sannsynlig at fiskebestanden ble påført skader som følge av lang tid med alt for surt elvevann (Kroglund og Rosseland 2004). Fylkesmannen ble informert om tilfellet. Alle tilfellene med manglende eller for lav dosering er listet i **Tabell 6**.

Også i 2012 var det tilfeller der doseringen ble avsluttet for tidlig i forhold til den grensen som er satt (pH 5,9). De laveste registreringene var omkring pH 5,7 (**Figur 13**).

Selv om langtidsdosen antagelig blir beregnet til under halvparten av reell verdi på grunn av feil registret vannglassbeholdning og vannføring, var det mulig å registrere for lave doser. Dette var tilfellet 27. desember. Lav dosering ble da registrert gjennom en hel doseringssekvens (**Figur 14**).

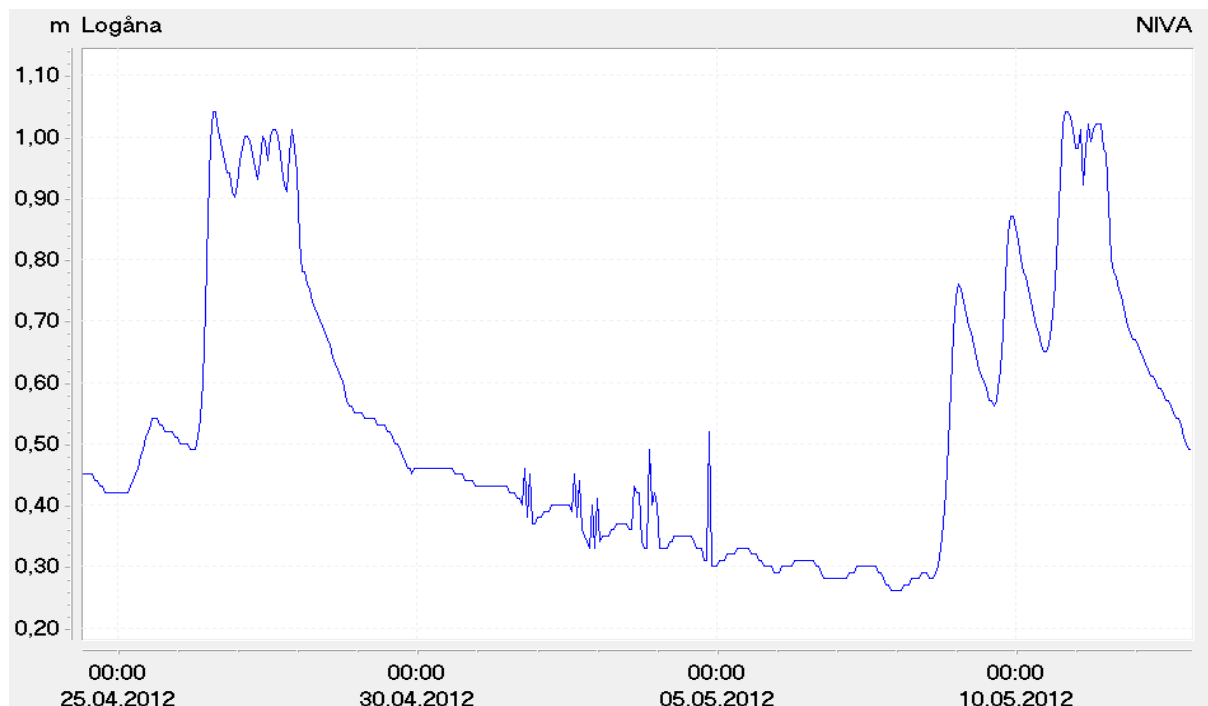
pH, vannføring og vannglassforbruk som beholdning gjennom hele året er gjengitt i **Figur 12**.

Tabell 5. Dato og varighet for stopp i vannstrømmingen gjennom målekyveta for pH på Logåna doseringsanlegg i 2012. Til sammen utgjorde dette 20 dager.

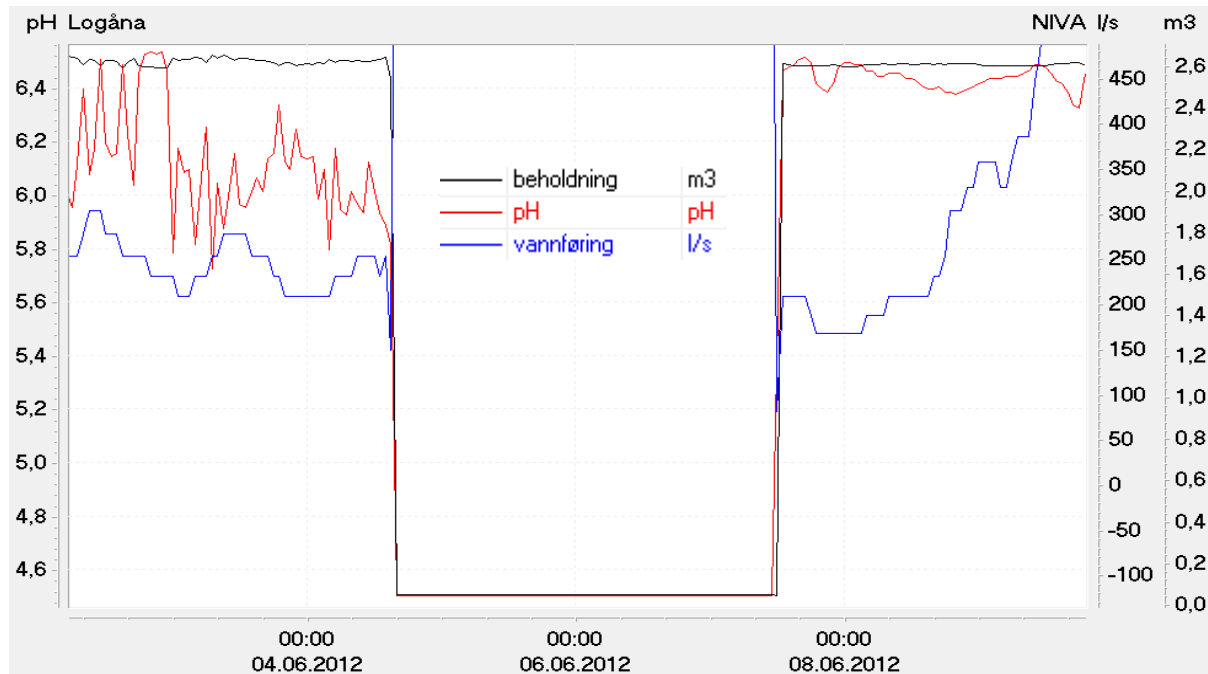
Startdato	Dager	Merknad
03.01.2012	0,4	
13.01.2012	1,4	
12.05.2012	0,7	
09.06.2012	0,7	
18.06.2012	0,9	
15.09.2012	0,6	
17.09.2012	0,4	
01.10.2012	0,6	
02.10.2012	0,8	
03.10.2012	0,8	
20.10.2012	0,7	
21.11.2012	0,7	
23.11.2012	0,8	
11.12.2012	5	Isdannelser
18.12.2012	1	
27.12.2012	4,7	

Tabell 6. Tilfeller med for lav eller ingen dosering i forhold til behovet ved Logåna doseringsanlegg i 2012.

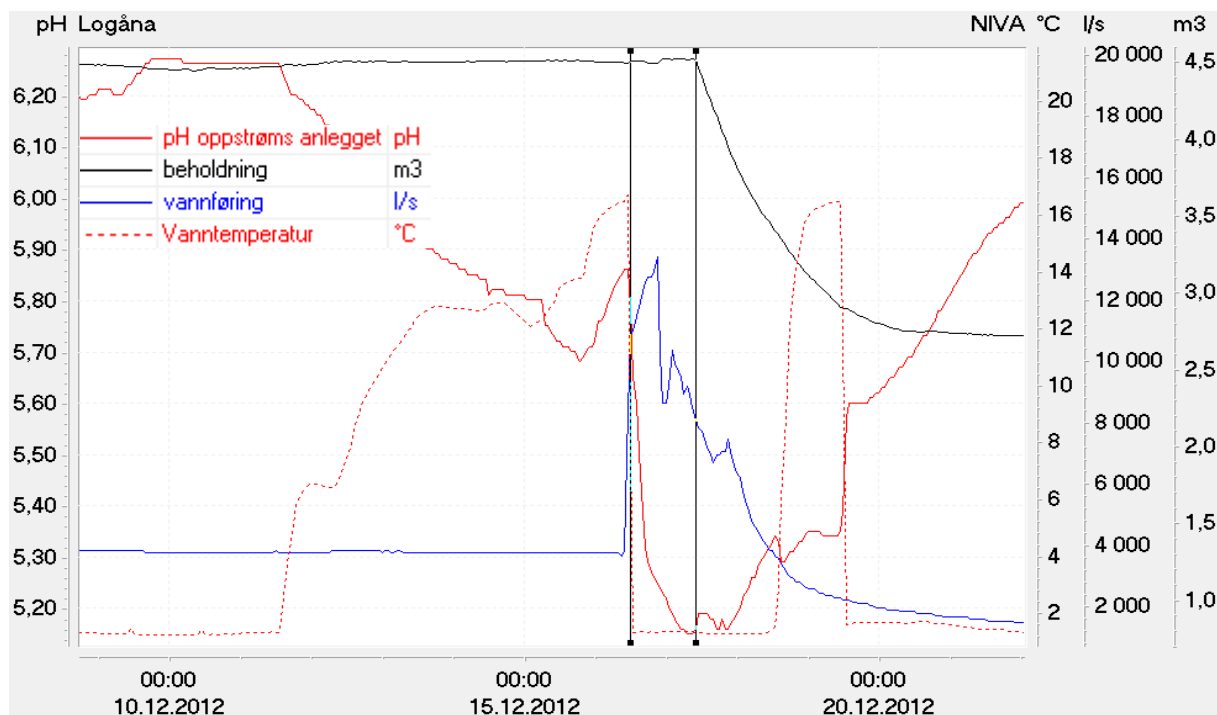
Dato	Timer	Merknad
14.05.2012	4	Beholdningstanken tom
15.06.2012	26	Ustabil lav pH ingen dosering
19.08.2012	17	For tidlig stopp
16.12.2012	24	
27.12.2012	108	For lav dosering



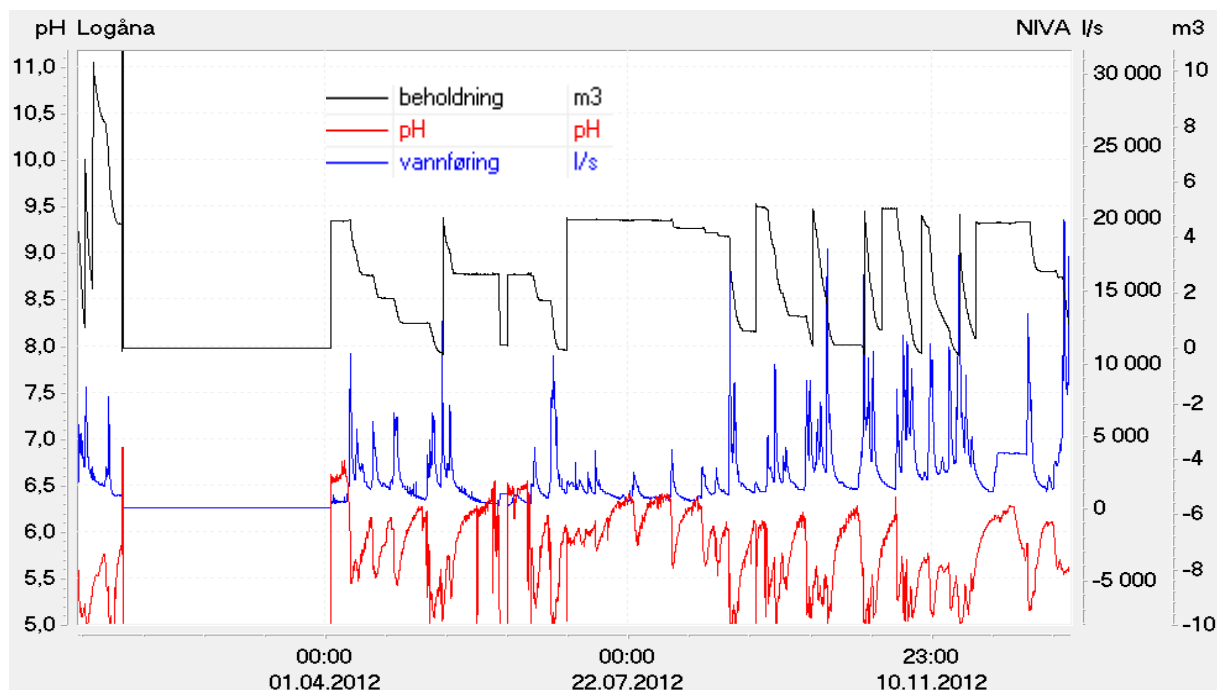
Figur 9. Eksempel på vannstandsmålinger ved Logåna doseringsanlegg i 2012. Det var til tider ustabile verdier. Det er usikkert om vannstandstoppene i dette tilfellet ble målt korrekt. Dersom vannføringen i realiteten var høyere, ble det i tilfellet dosert for lite vannglass i flomtoppene.



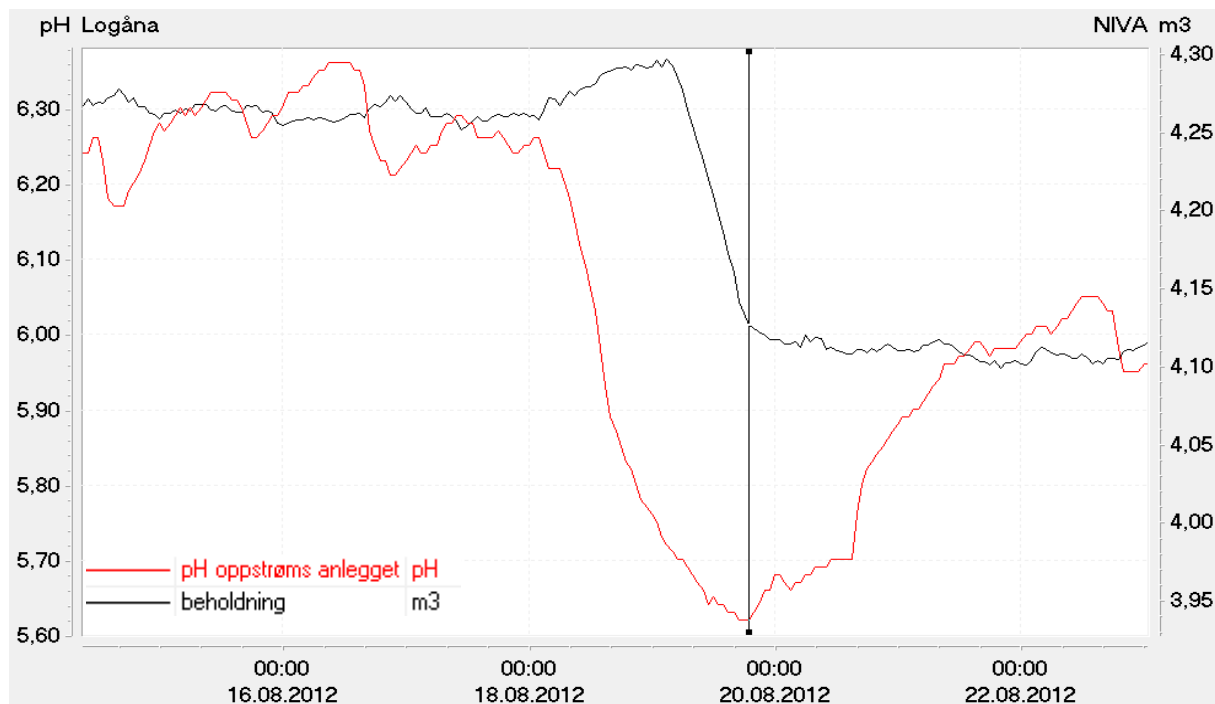
Figur 10. Vannføring, vannglassbeholdning og pH oppstrøms Logåna doseringsanlegg ved strømstans i juni 2012. Alle signaler uteble ved strømstansen. Før ombyggingen vinteren 2012 var disse tilgjengelig, unntatt pH som reagerte på strømstans ved å vise pH 4,5. Dette utløste en vannføringsavhengig nød-dosering. Dersom dette systemet hadde vært operativt i dette tilfellet, ville det blitt dosert ca. 450 ltr vannglass gjennom perioden uten strømtilførsel. Det har ikke skjedd.



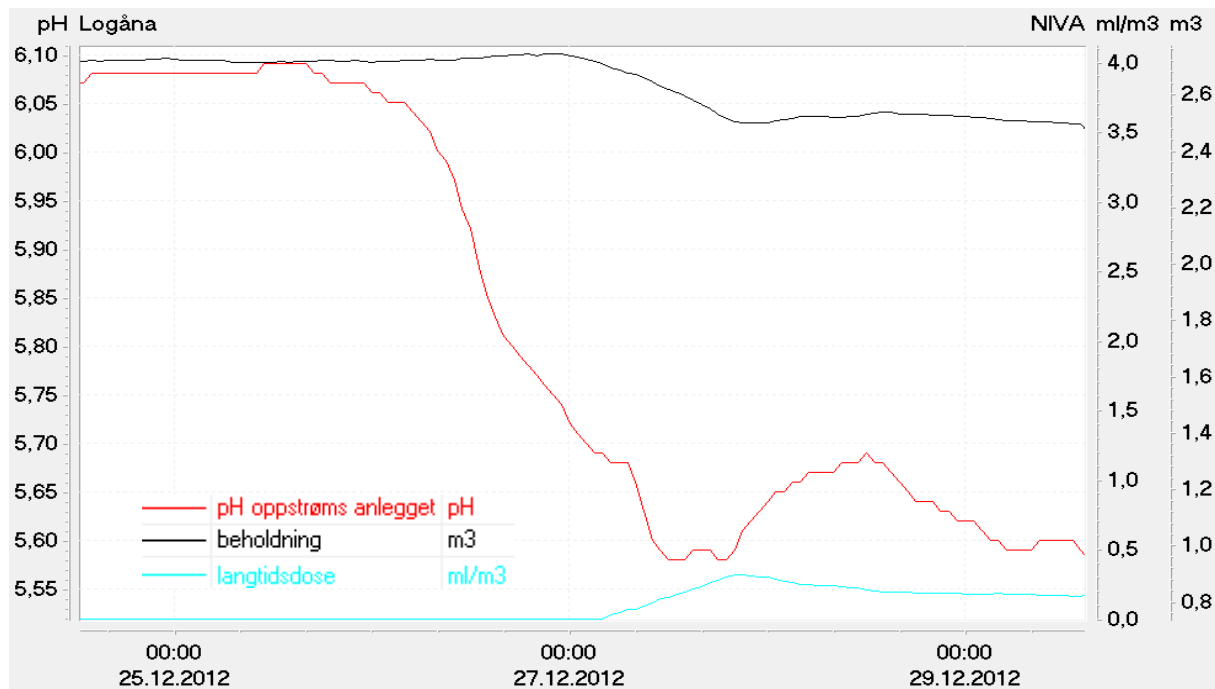
Figur 11. Vannføring, vannglassbeholdning, temperatur og pH oppstrøms Logåna doseringsanlegg ved is-stuving i desember 2012. Omstendigheter førte til manglende dosering i ca. et døgn, markert med to vertikale linjer. Det var da meget surt vann i elva.



Figur 12. pH, vannflassbeholdning og vannføring ved Logåna doseringsanlegg i hele 2012. Store deler av vinter og vår ble driftskontroll-loggeren satt ut av drift i forbindelse med ombygging på anlegget. Både vannføring og beholdning ble feil registrert etter ombyggingen. Legg merke til forandringen i avlest beholdning etter ombyggingen.



Figur 13. Vannglassbeholdning og pH ved Logåna midt i august 2012. Doseringen fra anlegget vises ved avtak i beholdningen. Den vertikale linjen markerer da doseringen sluttet. Da var pH 5,6. Dette var for tidlig avslutning.



Figur 14. Vannglassbeholdning, pH og langtidsdose ved Logåna doseringsanlegg i deler av desember 2012. Dosene fra anlegget skulle vært mye høyere enn registrert. Avsyringsbehovet til pH 5,9 er 4,2 ml/m³. Det ble dosert betydelig mindre, men den eksakte doseringen var ikke mulig å registrere på grunn av feil i de måleverdiene som danner grunnlaget for langtidsdosen (vannføring og beholdning).

3. Forslag til tiltak

3.1 Smeland

Driftssikkerheten var meget god i 2012. Anlegget kalket noe lavere enn dose målet unntatt fra midt i november og ut året. Nye kalkingskrav for Smelandsanlegget er tidligere etterlyst flere ganger av NIVA. Det etterlyses en ny beskrivelse av hvordan Smelandsanlegget skal fungere i kalkingsstrategien for elva. Mankalk sine annonserte prøveperioder med doseringsstopp fra anlegget er ikke gjennomført.

3.2 Bjelland

På grunnlag av tidligere forslag om tiltak for å avdekke eventuelle ulikheter i pH på tvers av elva og i ulike dyp ved Bjelland bru (Høgberget og Tveiten 2010), ble det i møte om kalkingsanleggene 23. mai 2012 med Fylkesmannen i Vest-Agder bestemt at Mankalk skulle ta en del vannprøver under flom for eventuelt avdekke problemene. Dette er ennå ikke gjennomført.

På det samme møtet ble det bestemt etablert et nytt målepunkt for vannstand for å kunne detektere de høyeste flommene ved anlegget. En trykksensor skulle monteres av Mankalk på bunnen av elva. Dette er ikke gjennomført.

3.3 Logåna

Det etterlyses bedre samarbeid omkring handteringen av driftskontroll-data fra anlegget. Det er ikke akseptabelt at signalene fjernes fra loggerinngangen, slik situasjonen var vinteren 2012, uten forvarsel eller annen form for samarbeid.

Etter ombygging ble de fleste signalene igjen koblet til loggeren. Imidlertid forble både doseringssignalet og vannføringssignalet utilgjengelig. Begge signalene bør tilkobles.

Vannstand og tanknivå (vannglassbeholdning) ble ikke anpasset identisk med oppsettet før ombyggingen. Tanknivået må igjen settes slik at det viser samme nivå som i stigerøret ved tanken. Vannstandsmålingene var sannsynligvis også ukorrekte før ombyggingen. Dette skyldes at elvebunnen består av løsmasser som beveger seg noe over tid. Det anbefales derfor å kalibrere målingene mot det faste målepunktet ved brua 500 m nedenfor anlegget. Denne kalibreringen er tidligere gjennomført i 2005 (Høgberget, Håvardstun og Tveiten 2006). Elvebunnen kan ha forandret seg mye i løpet av 7 år. Det er derfor på tide å kalibrere vannføringen på nytt.

Hver gang det oppstår strømstans ved anlegget, skal det iverksettes en grunddosering som styres etter den reelle vannføringen og en satt pH. Dette tiltaket er ment som et krisetiltak fordi strømbrudd vanligvis oppstår ved uvær og flom. Funksjonen var ikke aktiv ved strømbrudd i juni 2012. Dersom dette har sammenheng med de nye installasjonene etter ombyggingen, bør forholdet rettes opp.

Stans i gjennomstrømming i målekyvetta er et stort problem på Logåna doseringsanlegg. Det har også tidligere ført til manglende dosering og fare for skader på fisk (Høgberget og Håvardstun 2009) (Høgberget 2012). Årsakene har stort sett vært isingsproblemer i den kalde årstida og rusk som tetter vannstrømmen under flom. Det er tidligere foreslått tiltak for å sikre kontinuerlig drift av pH-stasjonen. I den sammenheng er det vist til Bjodland doseringsanlegg for vannglass, Litleåna i Lygna, der man har god erfaring med bruk av alternativ måleteknologi som muliggjør elektrodeplassering ute i elva (Høgberget 2012). Det foreslås etablert pH-måling med elementplassering i elva. Et element med nødvendig utstyr plasseres på flottør i et vertikalt rør med frostsikringsutstyr slik at vanngjennomstrømming i bunnen av røret sikres også ved streng kulde.

Når den automatiske doseringen styres etter pH oppstrøms anlegget er det pH og vannføring som benyttes til å regne ut dosene. Med dette systemet er det imidlertid vanskelig å ta høyde for isdemming i elva. Resultatet blir da at doseringen blir alt for høy. Anlegget må, i slike tilfeller, styres manuelt slik at en fast dosering blir levert. Dette innebærer ekstra oppfølging og båndlegging av tid for operatøren. En annen svakhet ved dagens anlegg er at doseringen tenderer til å avsluttes for tidlig. Disse forholdene er årsaken til at det foreslås omgjøring av styringsautomatikken til et pH-nedstrømsstyrt anlegg. Dette er et system som bedre ivaretar korrekt dosering fra anlegget selv om vannføringsverdiene skulle være feil og pumpen unøyaktig. Systemet er tidligere benyttet, men pH-målingene nedstrøms doseringen ble den gangen målt på en usikker måte, da ekstra silikatpåvirket vann noen ganger påvirket og ødela pH-elektroden.

pH-oppstrøms anlegget bør fortsatt være en støtteparameter i driften av anlegget. Denne pH-stasjonen bør også, på lik linje som pH nedstrøms anlegget, bestå av pH-måling direkte i elvevannet uten pumping av vann til en målekyvete.

Det bør diskuteres alternativer til doseringspunkt og pH-målingspunkter. Et alternativ til doseringspunkt er det opprinnelige utløpet ca. 80 m oppstrøms eksisterende inntaksbrønn. Dersom dette blir benyttet, bør det etableres et nytt pH-målingspunkt oppstrøms doseringspunktet. Da vil eksisterende brønn fungere som vannstands- og pH-målingspunkt. Et annet alternativ er å benytte eksisterende doseringspunkt, og etablere et pH-målingspunkt nedstrøms brønnen, for eksempel ved Sveinall bru, 100 m fra anlegget, eller enda lenger nede i elva. Da kan pH oppstrøms anlegget måles på eksisterende punkt (i brønnen). Et tredje alternativ er å ikke benytte brønnen til pH-måling eller dosering, bare de to ytterpunktene oppstrøms og nedstrøms anlegget.

Tidligere års problemer med for sene tilførsler av vannglass synes å ha bedret seg vesentlig. Det var i 2012 ingen langvarige stopp i doseringen som følge av manglende vannglassbeholdning.

4. Referanser

- 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. 2004. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2003. NIVA rapport L. nr. 4904.
- Høgberget, R. 2010. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2009. NIVA rapport L. nr. 5959.
- Høgberget, R. 2012. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2011. NIVA rapport L. nr. 6370.
- Høgberget, R. og Hindar, A. 1998. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg. NIVA rapport L. nr. 3824.
- Høgberget, R. og Håvardstun, J. 2005. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2004. NIVA rapport L. nr. 5050.
- Høgberget, R. Skancke L. B. og Håvardstun, J. 2003. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2002. NIVA rapport L. nr. 4697.
- Høgberget, R. Håvardstun, J. og Tveiten, L. 2006. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2005. NIVA rapport L. nr. 5210.
- Høgberget, R. og Håvardstun, J. 2007. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2006. NIVA rapport L. nr. 5461.
- Høgberget, R. og Håvardstun, J. 2008. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2007. NIVA rapport L. nr. 5618.
- Høgberget, R. og Håvardstun, J. 2009. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2008. NIVA rapport L. nr. 5787.
- Høgberget, R. og Tveiten, L. 2011. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2010. NIVA rapport L. nr. 6171.
- Kroglund, F. og Rosseland, B.O. 2004. Effekter av episoder på parr og smoltkvalitet til laks. NIVA rapport L. nr. 4797.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

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