

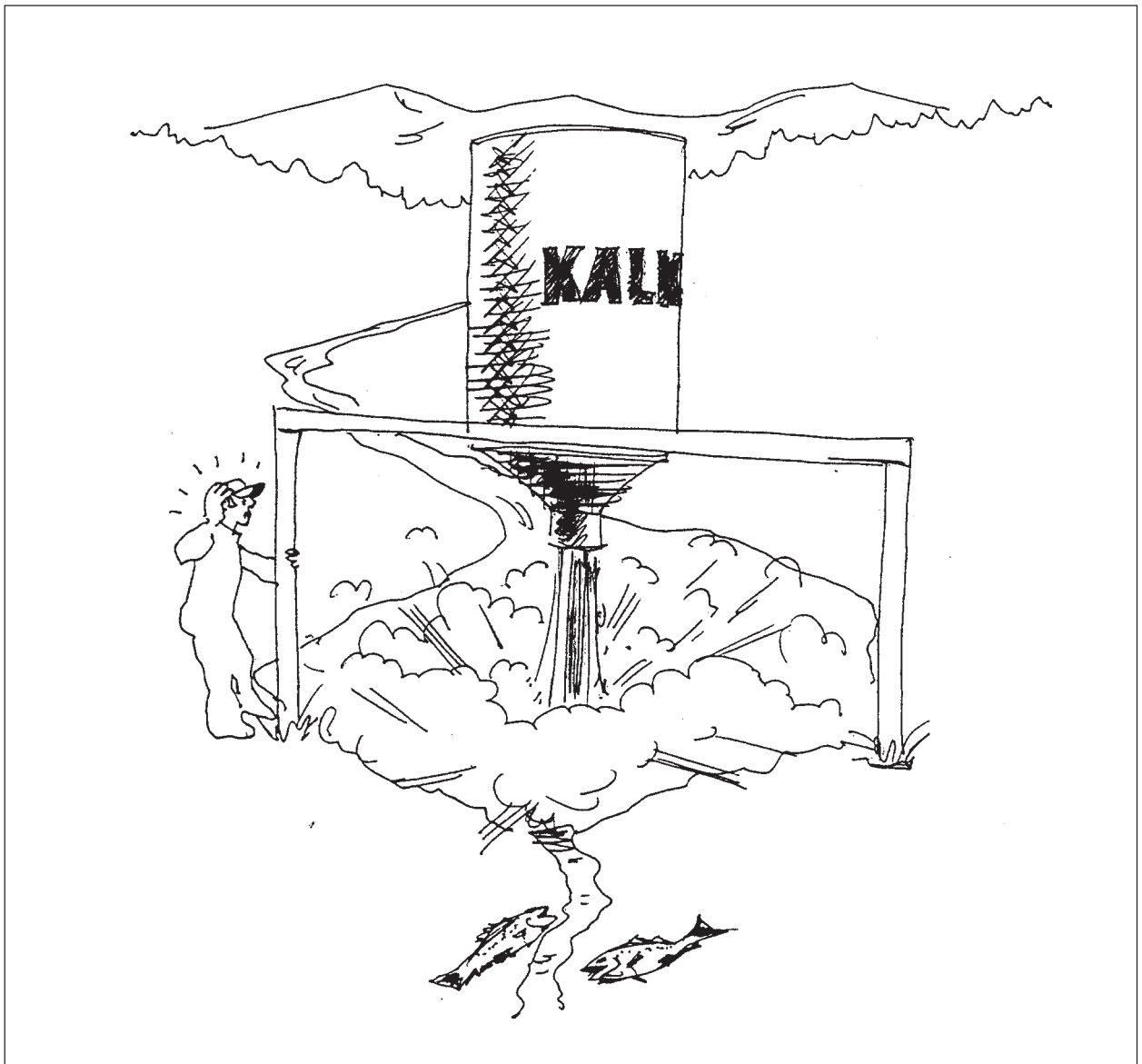
NIVA



RAPPORT LNR 4488-2002

**D**riftskontroll av  
kalkdoseringsanlegg i  
Mandalsvassdraget

Avviksrapport år 2001



**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 2001	Løpenr. (for bestilling) 4488-2002	Dato 19.02.2002
	Prosjektnr. Undernr. O-99049	Sider Pris 17
Forfatter(e) Rolf Høgberget	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 kalkdoseringsanlegg fungerte meget tilfredsstillende. Håverstad kalkdoseringsanlegg fungerte tilfredsstillende. Det bør nå etableres pH-styring på Håverstad som forutsatt i kalkingsplanen. Bjellandanlegget hadde fortsatt problemer med justering til rett pH nedstrøms anlegget. Problemene skyldes mangler ved pH-måling oppstrøms anlegget, delvis sammen med raske vannføringssvingninger som følge av kraftverksmanøvreringer. Forsøk med ekstra forhåndsdosering av kalk i forbindelse med forventet flom hadde varierende effekt. Det foreslås en hydrologisk undersøkelse for å utvikle en mal for hvor lang tid i forveien tiltak må iverksettes for å kunne forvente ønsket effekt ved forskjellige vannføringer. Det bør også vurderes om det kan gjennomføres tiltak for delvis å automatisere disse tiltakene.
--

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

# **Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg**

## **i Mandalsvassdraget**

Avviksrapport år 2001

## Forord

Erfaringer har vist at kalkdoseringsanlegg for dosering av kalksteinsmel i rennende vann ofte produserer tilfeldig kalkdose til vassdragene de betjener. Anleggene er kostnadskrevenne både i etablering og drift. Det er derfor avgjørende for et økonomisk forsvarlig resultat at driften er så optimal som overhodet mulig. Ideelt innebærer optimal dosering at driften er kontinuerlig, uten avbrekk av noe slag, og at dosen til enhver tid hverken er for lav eller for høy.

NIVA har utviklet et enkelt system for effektiv kontroll av driften av kalkdoseringsanlegg ved bruk av enkel sensorteknologi og effektiv informasjonsflyt.

Som et ledd i å bedre oversikten over den daglige driften ved anleggene og introdusere et ekstra hjelpeverktøy for operatører og annet personell i MANKALK, ble driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget etablert. Første rammeavtale for driftskontrollen ble kontraktsfestet i juni 1999. Rammeavtale av 15. mai 2001 inkluderer også ansvaret for pH-målingsutstyr som prosessverktøy i forbindelse med kalkdoseringsanleggene. Denne kontrakten avtales dokumentasjon ved en kortfattet avviksrapport hvert år.

Prosjektet er støttet av Miljøvern avdelingen hos Fylkesmannen i Vest-Agder, og oppdragsgiver er den interkommunale stiftelsen MANKALK, bestående av alle involverte kommuner i Mandalsvassdraget.

Grimstad, 19.02. 2002

*Rolf Høgberget*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Driften på anleggene</b>	<b>7</b>
2.1 Smeland	7
2.2 Håverstad	7
2.3 Bjelland	8
<b>3. Bjellandanlegget som verktøy i forsurepisoder</b>	<b>11</b>
3.1 To variabler for vellykket ekstradosering	13
3.1.1 Vannføringseffekten.	13
3.1.2 Tidsfaktoren.	13
<b>4. Tiltak</b>	<b>16</b>
4.1 Smeland	16
4.2 Håverstad	16
4.3 Bjelland	16
<b>5. Referanser</b>	<b>17</b>

---

## Sammendrag

Smeland kalkdoseringsanlegg har fortsatt meget høy driftssikkerhet. Det er ikke observert driftsstans på anlegget. Anlegget doserer feil ved meget stor vannføring fordi måleområdet for vannstandsmåling da overskrides. Dette bør utbedres.

Håverstad kalkdoseringsanlegg har høy driftssikkerhet. Enkelte driftsstopp er registrert i perioden. Manuell justering av dosen foretas ofte på anlegget. Tiltak bør iverksettes for å etablere styring etter pH-målinger nedstrøms anlegget. Dette vil bedre stabiliteten i pH inn mot Bjelland kalkdoseringsanlegg. Opprinnelig er dette en del av kalkingsstrategien for vassdraget. For å fullføre intensjonene bør denne delen nå ferdigstilles.

Bjellandanlegget hadde problemer med å justere til riktig pH ved flere anledninger i registreringsperioden. Problemene skyldtes vanskeligheter med plutselige variasjoner i vannføring og de tilstandene dette førte med seg. Årsakene var raske vannføringsendringer ved kraftverkene. pH-verdiene var i lange perioder ikke riktig justert. Det ble målt lavere pH nedstrøms enn oppstrøms anlegget. Dessuten var pH-elementene til tider mangelfullt kalibrerte.

Ekstra tiltak i forbindelse med forventet forsuring ved flom ble iverksatt tre ganger i løpet av høsten. To av tiltakene hadde positiv effekt på nedre deler av elva. Det er avgjørende at slike tiltak blir iverksatt tidsnok til å øke bufferevnen i nedre deler av elva før flommen fra sidevassdrag når elva. To forhold er avgjørende for vellykket resultat:

1. Man må vite tiden vannet bruker fra Bjelland til Kjølemo (utløp).
2. Man må anslå rett grad av innblanding mellom vannføringen fra Bjelland og tilførsler nedstrøms Bjelland av surt vann.

Det foreslås en hydrologisk undersøkelse av elva med det som mål at man utvikler en mal for hvor lang tid i forveien man må iverksette tiltak for å gi ønsket effekt ved forskjellige vannføringer. Det bør også vurderes om det kan gjennomføres tiltak for delvis å automatisere disse tiltakene.

# 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. 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 Hindar og Høgberget (1998). Bakgrunnen for utviklingen av dette systemet ligger i erfaringer med høyst forskjellige driftsresultater på de forskjellige kalkdoseringsanleggene.

I Mandalsvassdraget er det montert driftskontroll på de tre største kalkdoseringsanleggene; Smeland, Håverstad og Bjelland. Smelandanlegget er vannføringstyrt. Håverstadanlegget er i utgangspunktet et pH-nedstrømsstyrt anlegg, men grunnet vansker med pH-målingene, fungerer det for tiden som et vannføringsstyrt anlegg. Bjellandanlegget er styrt etter pH både oppstrøms og nedstrøms dosereren.

De vannføringsstyrte kalkdoseringsanleggene skal kalke med faste doser. Dosene beregnes på grunnlag av hvor stor del av nedbørfeltene som skal avsyres og en kalk/pH-titreringskurve for den aktuelle vannkvaliteten på hvert enkelt sted. Ved å sammenligne doseringsmålet med den faktiske dosering gitt av driftskontrollen vil en få et mål på effektiviteten til anleggene. Det følgende er en gjennomgang av driften ved hvert enkelt anlegg. Det er tidligere utgitt avviksrappporter fra oppstart av systemet til 1. juni 2000 (Høgberget 2000) og perioden 1. juni 2000 til 1. juli 2001 (Høgberget 2001). Denne rapporten omhandler perioden 1. juli 2001 til 1. januar 2002.

## 2. Driften på anleggene

### 2.1 Smeland

Dette kalkdoseringsanlegget er det øverste anlegget i Mandalsvassdraget. Den teoretiske kalkdosen anlegget skal gi er minst 1 g kalksteinsmel/m<sup>3</sup> vann. Anlegget er plassert nedstrøms et kraftverk som døgnregulerer vannføringen forbi anlegget. Normal situasjon er en fordobling av vannføringen på dagtid med maksimum vannføring om ettermiddagen. Da går det normalt ca 25 m<sup>3</sup>/s forbi anlegget. Tidlig om morgenen er vannføringen på et minimum.

Kalkdoseringsanlegget har meget stor driftssikkerhet. Det har ikke vært driftsstanser. Anlegget har vanligvis kalket over minstekravet for dosering. Likevel var doseringen lav noen ganger i løpet av rapporteringsperioden. Det er fortsatt stor forskjell mellom oppgitt dose og dosen som framkommer via driftskontrollen (Høgberget 2000).

Driftskontrolloggen var ute av drift tre ganger i løpet av perioden uten at årsakene til dette er klarlagt. Det var 28. november-2. desember, 8 timer den 20. desember og 29. desember-2. januar 2002. Det er ingen indikasjoner på at kalkdosereren sto stille i disse periodene.

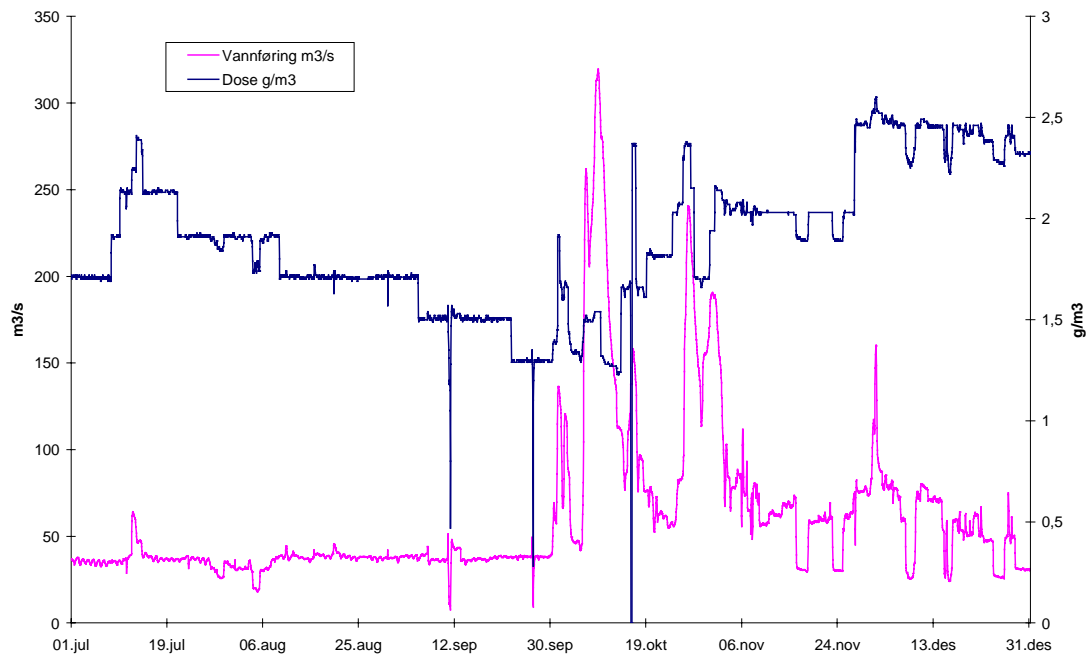
### 2.2 Håverstad

Håverstad kalkdoseringsanlegg er i utgangspunktet et pH nedstrømsstyrt anlegg. Anlegget er plassert ved utslagstunnelen fra Håverstad kraftverk på en tange mellom denne og det gamle elveløpet. På grunn av inntaksbrønnens plassering i forhold til lokale strømminger i elvevannet har det vist seg at vann til pH-måling ikke er upåvirket av utdosert kalk fra Håverstadanlegget. Bakevjeeffekter gjør at kalket vann trekker oppover det gamle elveløpet og passerer inntaksbrønnen oppstrøms doseringspunktet. For å unngå problemet har man satt pH til en fast verdi (pH 4.7). På denne måten overstyres pH-forandringene og elva får tilført en fast dosering i forhold til vannføringen. Man prøver å dosere slik at pH er i nærheten av målverdien for anadrome områder i elva allerede før evt. etterdosering ved Bjelland.

Det har vært få stopp ved anlegget. Tre stopp av varighet over 8 timer er registrert. Datoene for disse stoppene var 5. august, 7. og 11.-13. september 2001. Den siste stoppen varte i over to dager.

Dosen fra anlegget må jevnlig manuelt justeres for å gi optimale forhold før etterdosering ved Bjelland. Denne justeringen foretas etter operatørenens skjønn på basis av egne erfaringer og målinger ved Bjelland kalkdoseringsanlegg. Det er liten sammenheng mellom disse justeringene og vannføringsutvikling (**Figur 1**).



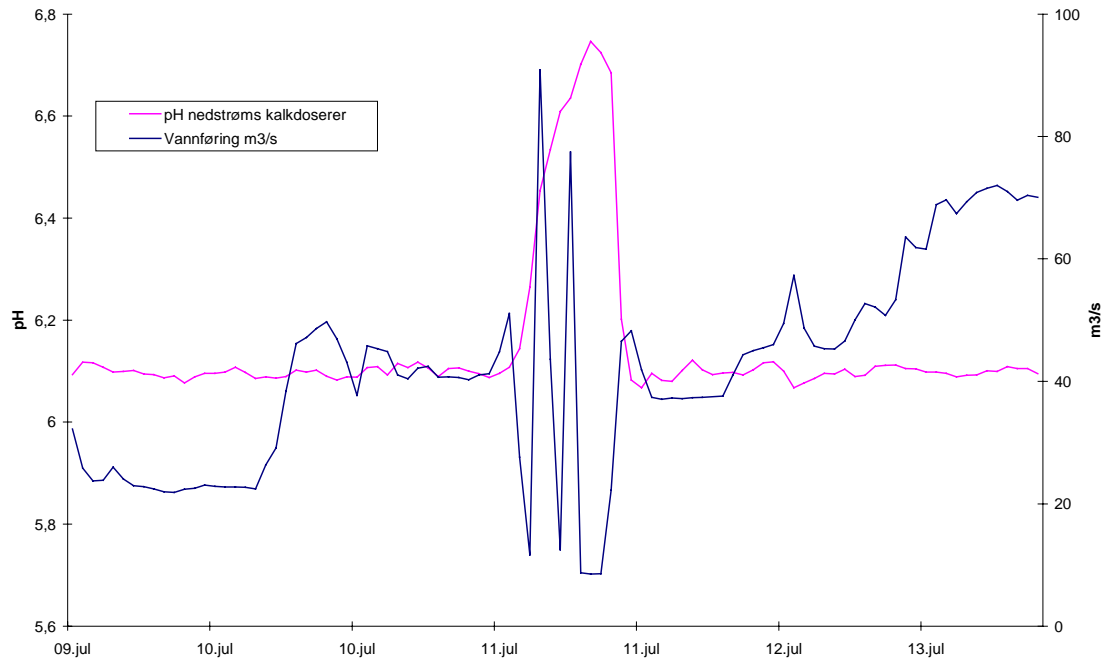


**Figur 1.** Dose og vannføring ved Håverstad kalkdoseringsanlegg siste halvår av 2001. Dosen justeres jevnlig manuelt for å regulere vannkvaliteten inn mot Bjellandanlegget. Vannkvaliteten forandres ofte med vannføringen, men dette påvirker ikke i særlig grad justeringsforløpet.

## 2.3 Bjelland

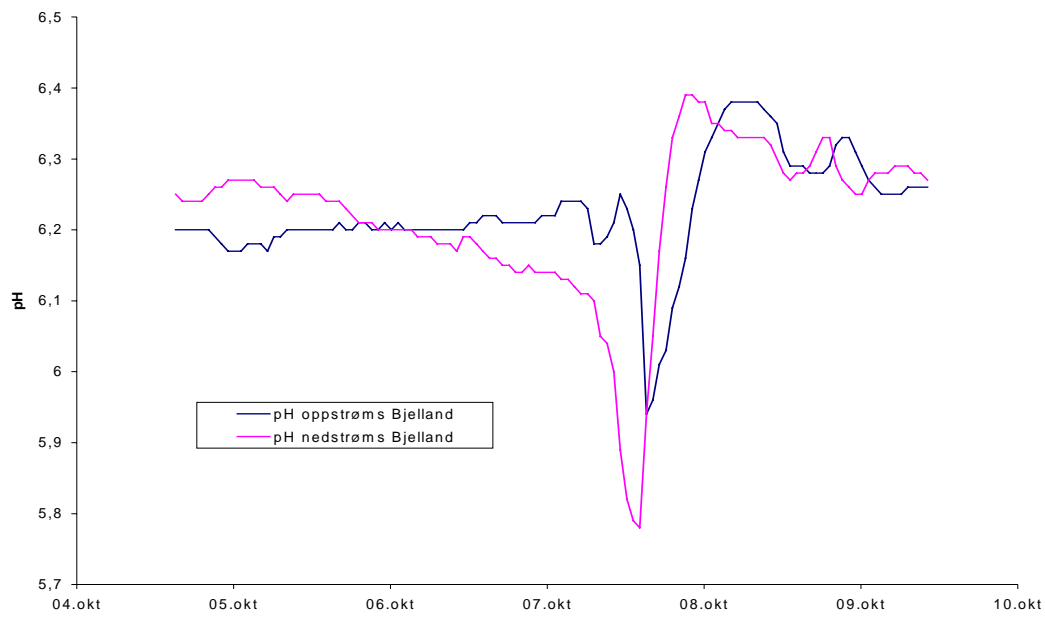
Bjelland kalkdoseringsanlegg styrer kalkdoseringen etter pH-verdiene både oppstrøms og nedstrøms dosereren. Bjellandanlegget benyttes for å etterjustere til den vannkvaliteten man ønsker i anadrom sone av Mandalsvassdraget. Det vil i praksis si fra Bjelland til Kjølamo, der NIVA har kontinuerlig pH-registrering. Ønsket vannkvalitet i denne forbindelse defineres som ønsket pH-verdi. Det er satt teoretiske grenseverdier for pH i anadrom sone av elva. Disse er pH 6,0 i tiden 1. juni -14. februar og 6,2 i tiden 15. februar- 31. mai. Generelt doserer denne pH-styrte kalkdosereren til et nivå noe over laveste pH-grense for anadrom sone i elva.

Kalkdosereren har dosert til pH 6,1-6,2 det meste av registreringsperioden. I forbindelse med ekstraordinær vannføringsvariasjon i elva ved Bjelland kraftstasjon ble det observert høy pH nedstrøms anlegget. Dette kan ha sammenheng med aktivering av sedimentert kalksteinsmel nedstrøms anlegget ved de kraftige flomstøtene, eller manglende vanngjennomstrømning i målekyvetta (**Figur 2**). Plutselige vannføringsforandringer som følge av kraftverksmanøvreringer førte til ustabilitet i pH-målingene ca 7 ganger i løpet av registreringsperioden.



**Figur 2.** Vannføring og pH nedstrøms Bjelland under en periode i 2001 med voldsomme vannføringsvariasjoner. Dataene viser kraftig økning i pH. Det er usikkert hva som er årsaken til denne pH-økningen, men oppvirvling av sedimentert kalksteinsmel kan være årsaken.

Fra 20. juli til 22. september ble det registrert lavere pH nedstrøms enn oppstrøms anlegget. Det er opplagt feil. Dette kan skyldes at vanninntaket for pH-måling oppstrøms anlegget ikke er plassert optimalt. Vannet influeres av grunnvann (Høgberget 2000). pH-verdiene stemte imidlertid mer overens etter vedlikehold foretatt 22. september. Fra 18. august til 22. september ble det også registrert tilsvarende forhold. pH-meterene reagerte imidlertid likt på vannkvalitetsforandringer. Et unntak var under forsuring av elva den 7. oktober. Da gav pH-meteret nedstrøms anlegget større utslag enn pH-meteret oppstrøms anlegget (**Figur 3**).

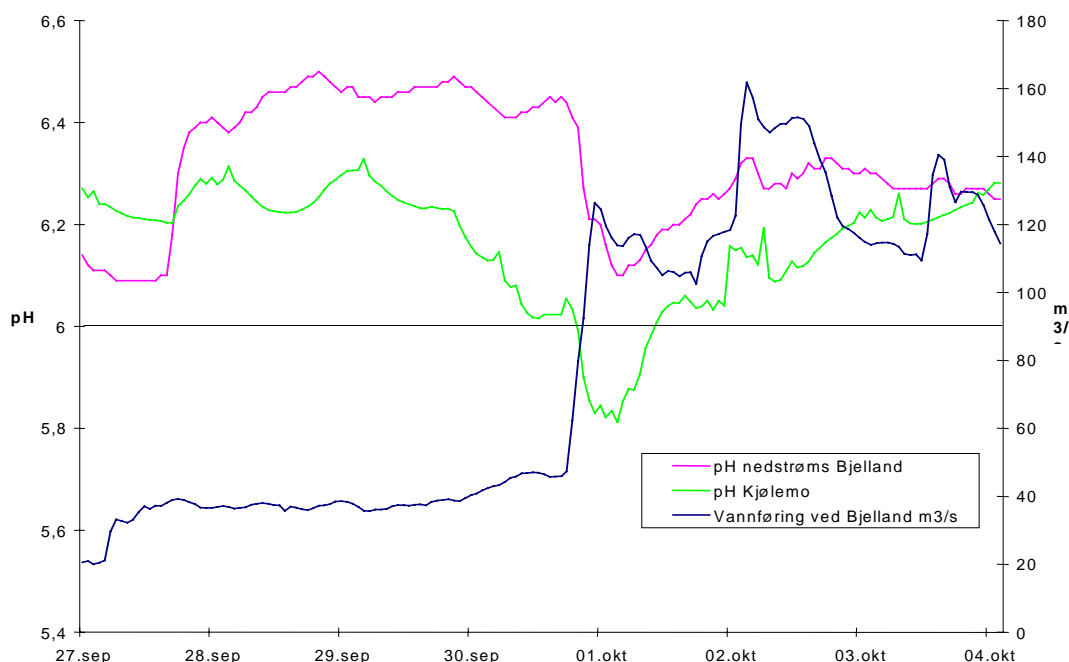


**Figur 3.** pH oppstrøms og nedstrøms Bjelland kalkdoseringsanlegg ved forsureningsepisode i 2001. Kurvene viser en tilstand der de to pH-meterene viser noenlunde likt, men metrene reagerer ulikt på forurening av ellevannet. pH oppstrøms anlegget er mer ufølsom i forhold til pH-reduksjonen

### 3. Bjellandanlegget som verktøy i forsureningsepisoder

Anlegget ble manuelt justert til høyere dosering tre ganger i forbindelse med forventet flom i elva. Datoene var 28. september, 24. oktober og 22. november 2001.

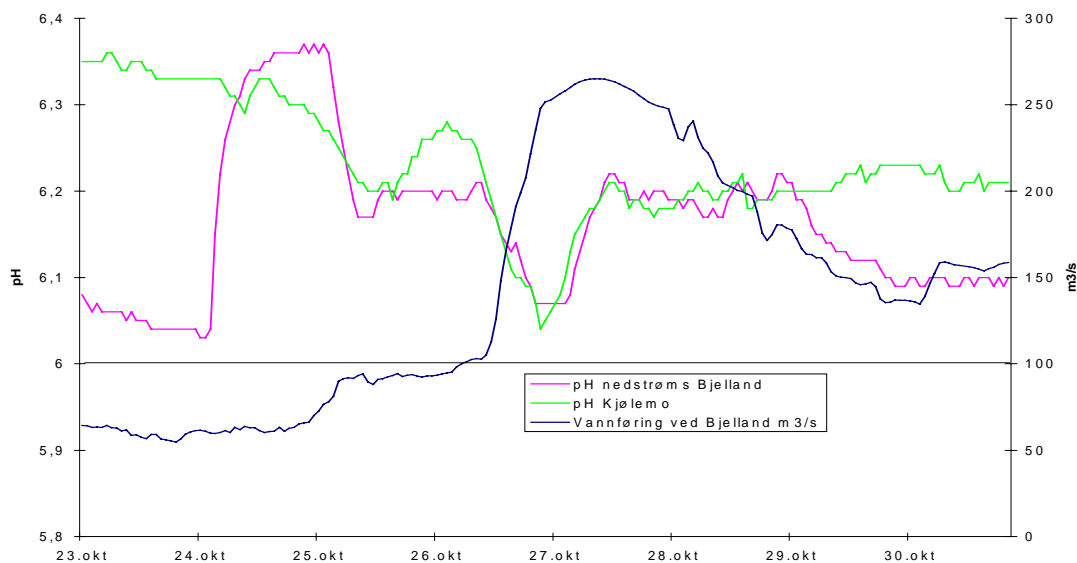
I september var det relativt liten vannføring (ca 40 m<sup>3</sup>/s) da tiltaket ble iverksatt. Dosen ble da satt til 2,5 g kalksteinsmel/m<sup>3</sup>. Det tok nøyaktig tre dager før flommen begynte. pH på Kjølamo sank da raskt til pH 5,8. Imidlertid var pH under målverdien (pH 6,0) kun 14 timer før det igjen var et akseptabelt nivå (**Figur 4**). Vannføringsmålinger ved Kjølamo (NVE-målestasjon) viser at det var stor vanntilførsel nedstrøms Bjelland. Vannføringen ble fordoblet på strekningen ned til Kjølamo.



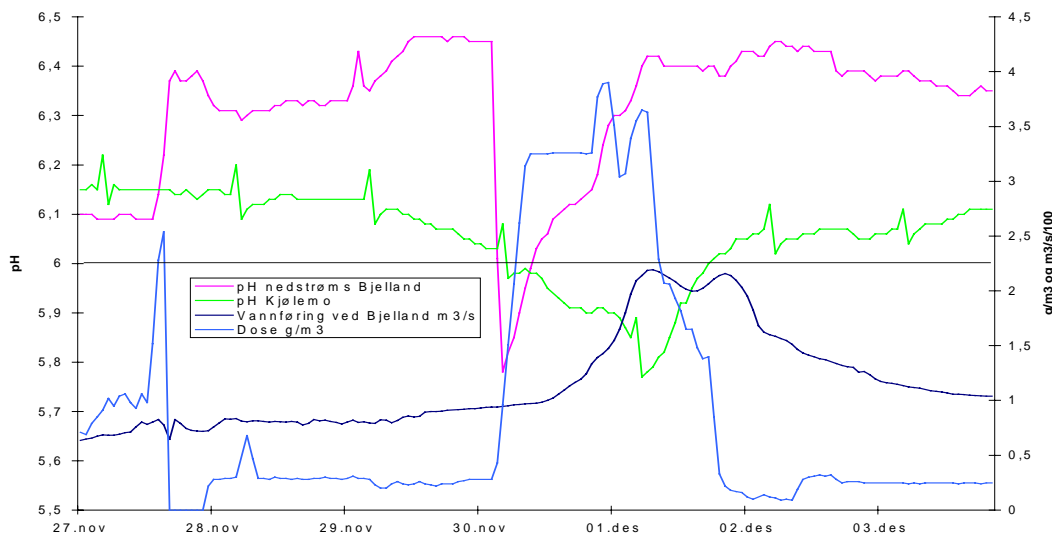
**Figur 4.** Vannføring og pH nedstrøms Bjelland og pH på Kjølamo i månedsskiftet september-oktober 2001. Akseptabelt minimumsnivå ved Kjølamo er pH 6. Dette er markert med horisontal greselinje. Ekstra doseringstiltak vises ved økt pH på Bjelland. Kurven fra Kjølamo viser at pH reduseres under akseptabelt nivå selv om det er foretatt manuell forhåndsoppjustering av kalkdosen fra anlegget.

Ved ekstra doseringstiltak foretatt i oktober var de hydrologiske tilstandene noe annerledes. Da ble dosen satt opp til 3,7 g/m<sup>3</sup> en dag før en vannføringsøkning fra 60 til 90 m<sup>3</sup>/s. Dette førte til en redusert effekt på pH fra pH 6,4 til pH 6,2. Ytterligere en dag senere ble det stor flom i elva. Vannføringen økte til 265 m<sup>3</sup>/s. Imidlertid var ekstra tilførsel av vann nedstrøms Bjelland beskjeden i forhold til vannføringen. pH sank aldri til verdier under pH 6 (**Figur 5**).

Før flommen i november var vannføringen ca 80 m<sup>3</sup>/s. pH ble justert til pH 6,4 ved kun kortvarig overdosering. 2,5 dager senere, under langsom økning av vannføringen, sank pH raskt til pH 5,8. Dosen økte da til 3,2 g/m<sup>3</sup>. Ved Kjølamo sank pH gradvis til pH 5,8 samtidig som flommen var på det høyeste (219 m<sup>3</sup>/s ved Bjelland). pH holdt seg under målverdien i 35 timer (**Figur 6**).



**Figur 5.** Vannføring og pH nedstrøms Bjelland og pH på Kjølemo i oktober 2001. Samme utgangsposisjon som figur 4, men vannføringen var høyere. Selv om det var kortere tid fra ekstra doseringstiltak til flomsituasjonen startet, uteble pH-verdier under pH 6 på Kjølemo. Årsaken ligger i at det var høyere vannføring i elva, og bidraget nedstrøms anlegget var beskjedent i forhold til flommen den 1. oktober 2001.



**Figur 6.** Vannføring, dose og pH nedstrøms Bjelland og pH på Kjølemo i månedsskiftet november desember 2001. Denne figuren viser en situasjon med enda høyere utgangsvannføring ved start av ekstradoseringen. Uheldigvis reagerte pH-meteret slik at dosen ble redusert etter kort tid. Antagelig ble det ikke bygget opp vesentlig bufferevne i elva. Ved flomstart falt pH momentant, med den reaksjon at dosen økte raskt til  $3,2 \text{ g/m}^3$ . Uheldigvis var dette for sent slik at pH på Kjølemo sank under pH 5,8 og forble under akseptabelt nivå i 35 timer.

### 3.1 To variabler for vellykket ekstradosering

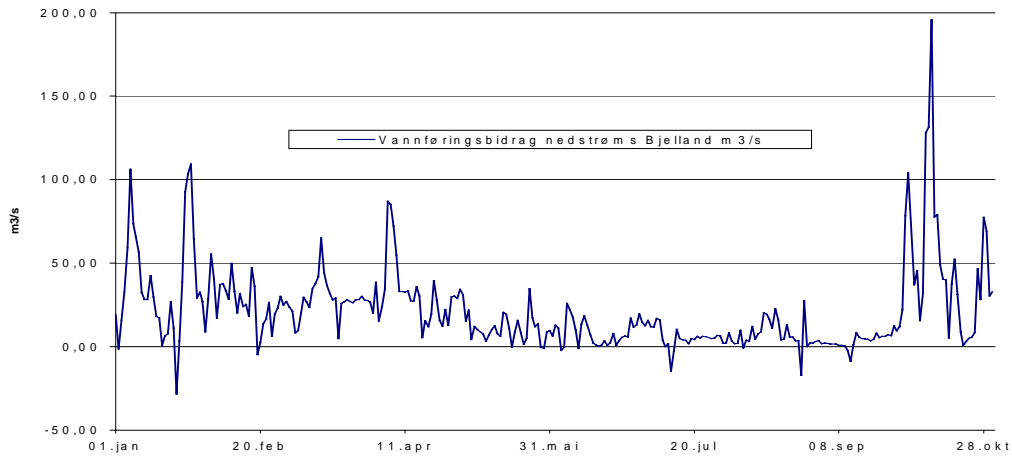
Når forsuringseffekter oppstår, er erfaringen at pH reduseres 0,4-0,7 enheter. Det er imidlertid ikke alltid at disse effektene oppstår, selv om det kommer store mengder nedbør. To variabler er avgjørende for gjennomføringen av eventuelle ekstra tiltak. Det er vannføringen og tiden fra dosering til effekt på ønsket sted.

#### 3.1.1 Vannføringseffekten.

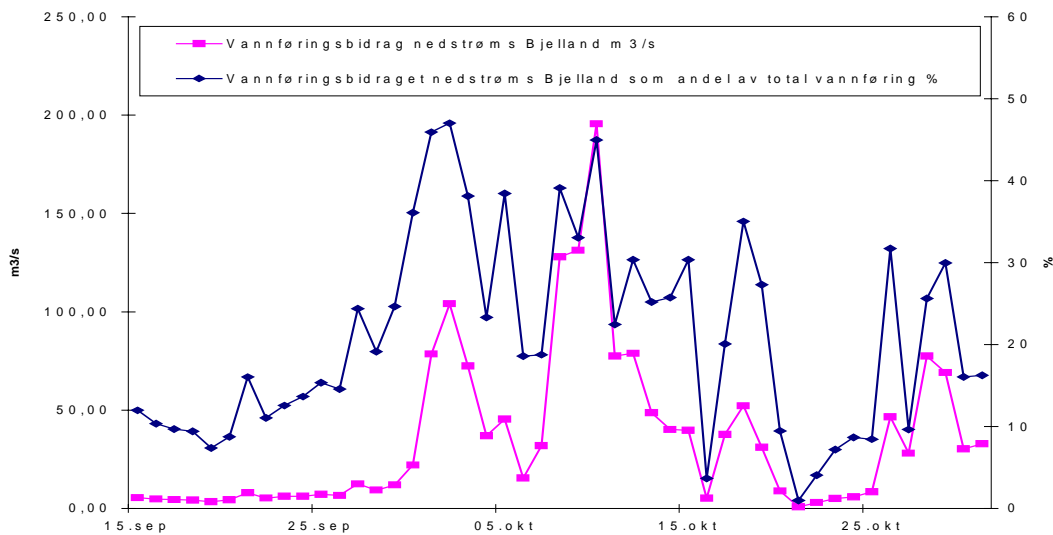
Dersom det er stor vannføring vil den ekstra dosen sørge for at bufferevnen blir stor i hovedelva ved innblanding av eventuelt surt vann fra sidevassdrag i nedre deler av elva. Da er det viktig å ha en formening om hvor stort dette vannføringsbidraget kan bli. På **Figur 7** er det gitt et eksempel på hvordan vannføringsbidraget nedstrøms Bjelland varierer over tid. Bidraget varierer betydelig. Kraftverksmanøvreringer på Bjelland og Laudal gjør at variasjonene kan være større enn blandingsforholdet mellom vann fra nærbørfelter og fra øvre deler av elva. **Figur 8** viser det prosentvise bidraget fra nærbørfelter i en periode om høsten da det var lite kraftverksmanipulering av vannføringen. Normalt utgjorde bidraget ca 10 % av total vannføring, men ved flomutviklig økte andelen enkelte ganger opp mot 50% av vannføringen. Det er i denne sammenheng viktig å ha informasjon om hvordan fordelingen av tilførselene vil bli. Ved allerede høy vannføring vil det lokale bidraget bli lite og behovet for ekstra kalkdosering liten eller ingen. Vannbevegelsen er da også så rask at eventuelle tiltak ikke behøver en så tidlig start. Er derimot vannføringen liten, vil det være stort behov for å øke bufferevnen i hele elveløpet tilstrekkelig til å avsyre store mengder surt vann fra lokale felter nedstrøms anlegget. Doseringskravet må settes høyt, og tiltaket må være iverksatt tidsnok til å gi effekt i hele målområdet.

#### 3.1.2 Tidsfaktoren.

Kjennskap til den tiden vannet bruker fra Bjelland til utløpet ved Kjølamo er liten. Ved høy vannføring må man anta at denne tiden er relativt kort. Det foreligger nå data som støtter en teori på at vi har et fastpunkt på en tid-vannføringstabell. Den 24. - 26. oktober kan man følge pH som en "tracer" gjennom systemet. **Figur 5** viser økning av pH i forbindelse med ekstradosering ved forventet flom. Dosen var 3,7 g/m<sup>3</sup>. Dosen var høy bare et døgn før den igjen ble satt ned. Effekten ble sett på Kjølamo før flommen satte inn. pH økte før den ble redusert. Tiden mellom høyeste oppnådde pH på Bjelland og Kjølamo var ca 1,5 dag. Vannføringen var økende fra 60 til 90 m<sup>3</sup>/s. Tilrenning fra nedbørfeltene nedstrøms Bjelland var bare 8,5 %.



**Figur 7.** Differensen mellom vannføringsmålingene på Kjølamo og Bjelland som døgnmiddeler i 2001. Denne del av vannføringen gir et bilde på hvor mye vann man må forvente blir tilført nedstrøms Bjelland. Vannføringsendringer ved Bjelland og Laudal kraftverk bidrar til at man ikke alltid kan se denne kurven som den andelen som blir tilført elva nedstrøms Bjelland. Særlig vinter- og vårverdiene tyder på raske vannføringsendringer. Høsten 2001 ble det likevel tilført opp mot 200 m<sup>3</sup>/s nedstrøms Bjelland.



**Figur 8.** Differensen mellom vannføringen på Kjølamo og Bjelland sammen med andelen som dette utgjør av totalvannføringen høsten 2001. Vannføringsendringer fra kraftverkene på Bjelland og Laudal gjør at % verdiene ikke er det samme som blandingsforholdet. Kurvene gir likevel et bilde på hvordan vannføringssammensetningen varierer.

Ved lav vannføring er behovet for ekstra tiltak størst. Episoder med ekstra kalkdosering ved lav vannføring har foreløpig ikke gitt øket pH ved Kjølemo før flom med surt avrenningsvann har påvirket pH-verdiene. Man må også forvente at eventuelle pH-effekter vil bli meget vanskelig å spore fordi maksimal effekt oppnås over lengre tidsintervall og med lavere pH-økning enn ved høy vannføring. Dette skyldes innblandingseffekter bl. a. i Manflåvatn som vil ligge som en demper i systemet. I teorien vil man nærme seg en grense der det ikke lenger er mulig å ”forhåndsparere” for kommende flomutvikling fordi værprognoser o.s.v. ikke kan gis i god nok tid.



## 4. Tiltak

### 4.1 Smeland

Fortsatt er det ufullstendig vannføringsregistrering på anlegget. Vannføringskurven er ekstrapolert til 3,5 m vannhøyde på målestaven, men fysiske forutsetninger mangler for å måle denne vannstanden (Høgberget 2001).

### 4.2 Håverstad

Anlegget styres fortsatt manuelt for å justere inn pH før endelig regulering på Bjelland. Denne justeringen er foretatt ca 30 ganger i løpet av registreringsperioden (**Figur 1**). Erfaringsmessig varierer pH likevel mye på Bjellandanlegget. Justeringsautomatikken på Bjelland fungerer ikke tilfredsstillende ved raske vannkvalitetsforandringer. Med mer konstant pH på vannet inn mot Bjelland vil dette anlegget ha enklere justeringsoppgaver. Det anbefales derfor at nødvendige tiltak blir iverksatt for pH-styring av Håverstadanlegget. Dette er tidligere foreslått (Høgberget 2000).

### 4.3 Bjelland

Anlegget har fortsatt ikke utbedret de svakheter som er påpekt ved pH-måling (Høgberget 2000) og vannføring (Høgberget 2001).

Med bakgrunn i forhold beskrevet i kapittel 3 foreslås det at man foretar en studie rundt hydrologiske forhold i Mandalselva. Hensikten må være å utvikle en mal for hvor lang tid i forveien man må iverksette tiltak ved forskjellige vannføringer. Det bør også vurderes om det kan gjennomføres tiltak for delvis å automatisere disse tiltakene. En slik utredning er tidligere gjort i Tovdalselva (Hindar og Tjomsland 2001).

## 5. Referanser

Hindar, A. og Tjomsland, T. 2001. Evaluering av kalkingsstrategien på lakseførende strekning i Tovdalselva ved hjelp av en vassdragsmodell og forslag til endringer i styringssystemet for kalkdosering. NIVA Rapport L.nr. 4401.

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

Høgberget, R. 2001. Avviksrapport år 2000-2001 fra driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. NIVA Rapport L. nr. 4415.

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