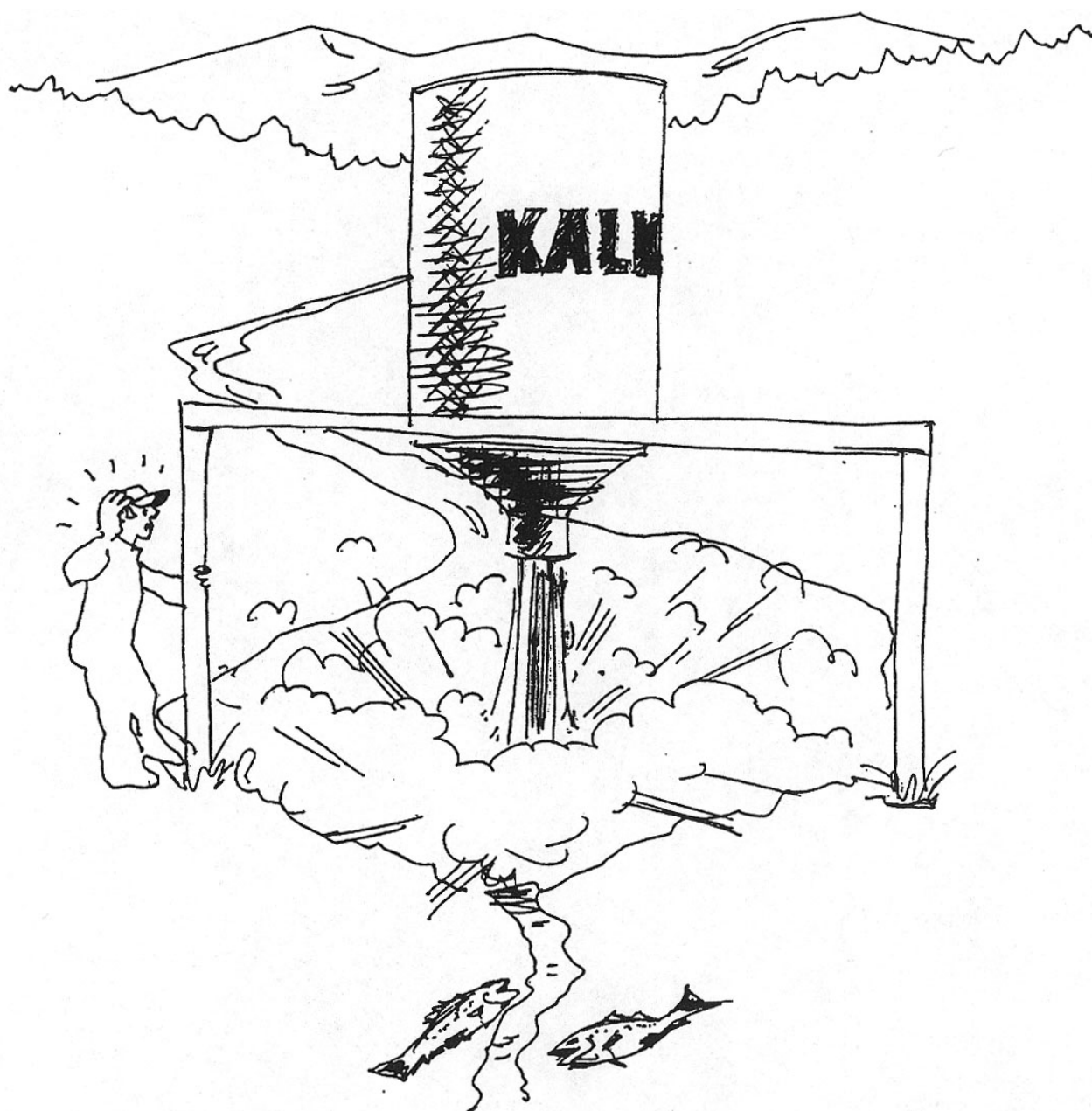


Driftskontroll av  
kalkdoseringsanlegg i  
Tovdalsvassdraget  
Avviksrapport 2008



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
Postboks 2026  
5817 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 23 24 95

**NIVA Midt-Norge**

Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget Avviksrapport 2008	Løpenr. (for bestilling) 5789-2009	Dato 21. april 2009
	Prosjektnr. Undernr. 29034	Sider Pris 24
Forfatter(e) Rolf Høgberget Jarle Håvardstun	Fagområde Overvåking	Distribusjon Fri
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Styringsgruppa for kalking av Tovdalsvassdraget	Oppdragsreferanse
---	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Driftskontroll av kalkdoseringsanleggene i Tovdalselva er et verktøy for å få bedre innsyn i kalkingen fra anleggene. Avviksrapporten er en sammenfatning av hendelser i rapporteringsperioden (2008). Det foreslås tiltak for optimalisering av rutiner, installasjoner og kalkingsstrategi. Båe doseringsanlegg hadde mange avbrudd i doseringen. Det var også stor unøyaktighet i utdosering av kalk første del av året. Etter service på anlegget ble forholdene bedre. Skjeggedal doseringsanlegg er fortsatt uten daglig kommunikasjonsmulighet. Det var nok så mange avbrudd i doseringen fra anlegget. Det ble alltid dosert med fast dosering (g/s). Dermed ble kravet til fast dose (g/m<sup>3</sup>) fra anlegget aldri oppnådd. Skåre doseringsanlegg ble også driftet mye på fast innstilt dosering. Anlegget ble satt ut av drift nesten hele sommerhalvåret på grunn av redusert behov for kalk i Herefossfjorden og utvidelse av doseringskapasitet ved anlegget. Det ble gjennomført justering av styringsautomatikk senhøstes. Dette økte dosene fra anlegget. Anlegget på Søre Herefoss fungerte meget tilfredsstillende. Det var ingen alvorlige hendelser som kunne påvirke laksefisk nedstrøms anlegget.</p> <p>Ny kalkingsstrategi er vurdert for Ulldalsgreina. Dette innebærer nedleggelse av doseringsanlegget på Vatne og etablering av nytt anlegg på Risdal.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Vassdrag</li> <li>Kalkdosering</li> <li>Overvåking</li> <li>Måleteknikk</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> </ol>
--	---



Rolf Høgberget  
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle  
Forskningsleder



Jarle Nygard  
Fag- og markedsdirektør

**Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i  
Tovdalsvassdraget**

Avviksrapport 2008

## Forord

Erfaringer har vist at anlegg for dosering av kalksteinsmel i rennende vann ofte ikke produserer riktig kalkdose til vassdraget. Anleggene er kostnadskrevenne både i etablering og drift. Det er derfor avgjørende for et økonomisk forsvarlig resultat at driften er så optimal som mulig. Ideelt innebærer optimal dosering at driften er kontinuerlig, uten avbrekk av noe slag, og at dosen til enhver tid er riktig.

NIVA har utviklet et enkelt system for effektiv kontroll av driften av kalk-doseringsanlegg 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 kalkingsprosjektet, ble driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget etablert. Første rammeavtale for driftskontrollen ble kontraktsfestet i mai 1999. Rammeavtale av 27. februar 2001 inkluderer også ansvaret for pH-målingsutstyr som prosessverktøy i forbindelse med kalkdoseringsanleggene. Denne kontrakten avtalefester dokumentasjon ved en kortfattet avviksrapport hvert år.

Den daglige driften av driftskontrollsystemet utføres av fast personell på NIVA som i 2008 besto av Lise Tveiten, Liv Bente Skancke, Øyvind Kaste og Jarle Håvardstun.

Prosjektet er støttet av Miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Aust-Agder, og oppdragsgiver er den interkommunale stiftelsen Styringsgruppa for kalking av Tovdalsvassdraget (Tovdalskalk), bestående av alle involverte kommuner i Tovdalsvassdraget.

Grimstad, 21.04.09

*Rolf Høgberget*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Driften av anleggene</b>	<b>8</b>
2.1 Bås	8
2.2 Skjeggedal	10
2.3 Skåre	12
2.4 Søre Herefoss	15
<b>3. Tiltak</b>	<b>19</b>
3.1 Bås	19
3.2 Skjeggedal	19
3.3 Skåre	19
3.4 Søre Herefoss	19
<b>4. Ny kalkingsstrategi for Uldalsgreina</b>	<b>20</b>
4.1 Bakgrunn	20
4.2 Strategier	21
4.3 Anbefalinger	22
4.4 Risikovurderinger og tiltak	22
<b>5. Referanser</b>	<b>24</b>

---

## Sammendrag

Driftskontroll av kalkdoseringsanleggene i Tovdalselva er et verktøy for å få bedre innsyn i kalkingen fra anleggene. Avviksrapporten er en sammenfatning av hendelser i rapporteringsperioden (1.1.-31.12.2008)

### Bås

- Det var til tider meget unøyaktige avlesinger av kalkvekten. Dette medførte tidvis ubrukelig kvalitet på driftskontrollens doseberegninger.
- Det var noen tilfeller av langvarig doseringssvikt på anlegget. Til sammen utgjorde dette 25 dager uten dosering.
- Anlegget gikk flere ganger tom for kalk før ny forsyning ble tilkjørt.
- Dosene som ble levert fra anlegget var første del av året høyere enn innstilte doser. Dette bedret seg etter service på anlegget. Siste halvår var reelle doser mer i samsvar med innstilte doser.
- Dosene på anlegget ble aktivt justert i forhold til ønsket pH-mål for Herefossfjorden. Dette medførte meget lave doser i deler av sommeren, men doseringen ble aldri stoppet helt.

### Skjeggedal

- På grunn av manglende telekommunikasjonsforhold i området er det fortsatt ingen automatisk overføring av data fra anlegget. Dette resulterte i at over to måneder med data gikk tapt da stopp i loggingen ikke ble oppdaget.
- Doseringsanlegget sluttet å fungere til sammen 13 ganger i perioden. Dette utgjorde 24 dager uten dosering.
- På grunn av at anlegget ble driftet med fast dosering, ble det levert meget variable doser til elva. Dosene var også i 2008 til tider ekstremt høye. Anlegget fylte dermed ikke oppgaven den er satt til å gjøre (fast dose på 6,7 g/m<sup>3</sup>).

### Skåre

- Det var i en periode om våren sviktende stabilitet i vannstandssignalet. Dette førte til at anlegget da måtte gå på fast innstilt dosering.
- Da anlegget behøvde oppgradering for å kunne dosere på lavere vannstander i elva, ble det stoppet for ombygging i sommerhalvåret. Anlegget sto da stille i til sammen 140 døgn. Denne tiden sammenfalt med høy pH i Herefossfjorden.
- Anlegget doserte vanligvis for lite i forhold til ønsket nivå. Imidlertid var det periodevis også noe overdosering på grunn av fast innstilt dosering ved lave vannføringer. Forholdet ble rettet etter justering av styringsautomatikken slik at denne kunne settes operativ sent på høsten.

### Søre Herefoss

- Det var svært få tilfeller av sviktende signaltilgang eller feil pH-målinger ved anlegget. Unntaket var ustabil pH målt oppstrøms anlegget om våren. Dette ble utbedret ved bytte av elektroder. Totalt sett fungerte anlegget meget tilfredsstillende. Ingen episoder med forsurening av vannkvaliteten oppsto som følge av sviktende dosering.

I denne rapporten er det vurdert ny kalkingsstrategi for deler av Uldalsgreina. Dette innebærer nedleggelse av Skjeggedal og Vatnedal doseringsanlegg og opprettelse av et nytt på Risdal for dosering med fast dose etter vannføring både i Vatnedalsåna og Skjeggedalsåna. Denne vurderingen vil også bli utgitt som eget NIVA-notat.

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

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.

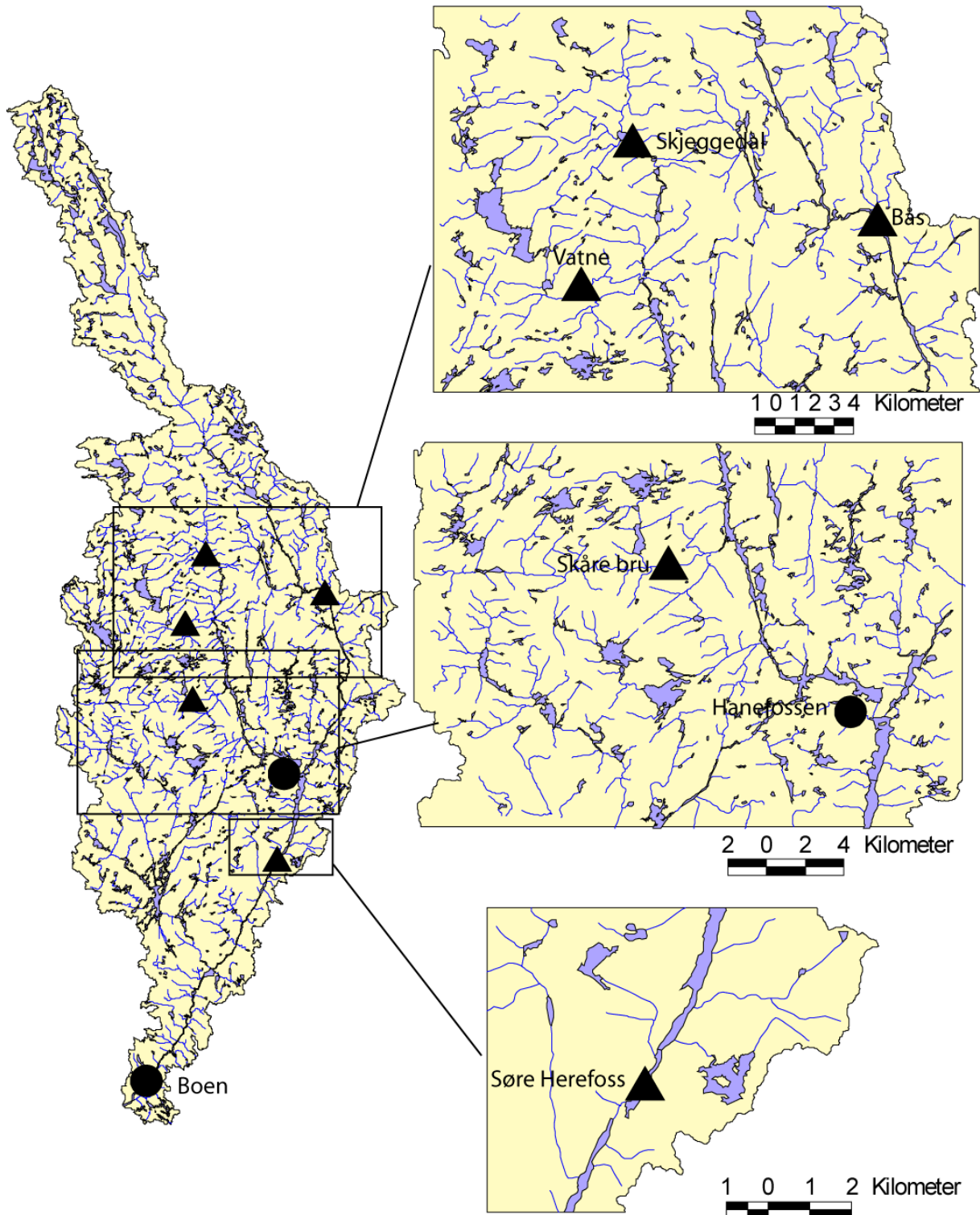
**pH-styring:** pH-verdier som blir målt i elva nær kalkingsanlegget er koblet til doseringen av kalk slik at disse overstyrer signalene fra vannføringsstyringen. Ved å sammenligne det fastsatte pH-målet for den aktuelle strekningen i elva med de faktisk målte pH-verdiene vises effektiviteten til anlegget.

I Tovdalsvassdraget er det montert driftskontroll på fire store kalkdoseringsanlegg; Bås, Skjeggedal, Skåre og Søre Herefoss (**Figur 1**). Anleggene på Bås, Skjeggedal og Skåre er vannføringsstyrte anlegg. Anlegget på Søre Herefoss er styrt etter pH både oppstrøms og nedstrøms dosereren.

Det er tidligere utgitt følgende avviksrappporter for Tovdalsvassdraget:

- oppstart av systemet - 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 og Håvardstun 2003)
- 1. januar 2003 - 31. desember 2003 (Høgberget og Håvardstun 2005 a)
- 1. januar 2004 - 31. desember 2004 (Høgberget og Håvardstun 2005 b)
- 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)

Denne rapporten omhandler perioden 1. januar til 31. desember 2008.



**Figur 1.** Kart over nedbørfeltet til Tovdalselva med utsnitt av tre områder i stor målestokk som viser plasseringen av kalkdoseringsanleggene (triangler) og pH-målestasjoner (sirkler).



## 2. Driften av anleggene

### 2.1 Bås

Bås-anlegget står for 2/5 av all kalktilsetning i Tovdalsvassdraget. Det er derfor avgjørende at anlegget fungerer tilfredsstillende slik at man får en optimal effekt av kalkingstiltakene i vassdraget. Kalkdoseringsanlegget er fullautomatisert, og kalkdoseringen reguleres etter variasjonen i vannføringen. Beregnet dose som anlegget skal gi er 4,7 g kalksteinsmel/m<sup>3</sup>.

Det var ingen avbrudd i driftskontrolloggen for 2008.

Vannstandssignalet ble logget kontinuerlig hele året, med unntak 19. juli. Da uteble signalet i 3 dager. Vektloggen var også tilnærmet komplett unntatt 23. januar, da disse registreringene falt bort i 2 dager. Imidlertid var det ekstra ustabile veiesignaler i en lang periode fra 25. januar til 5. juli. Årsaken var en feil som oppsto ved bortfallet av veiesignalet. Feilen ble midlertidig delvis rettet inntil full reparasjon kunne gjennomføres. I denne tiden varierte vektangivelsen med opp til 10 tonn over døgnet.

Driftskontrollens doseberegninger ble da enkelte ganger ubrukelige (**Figur 2**).

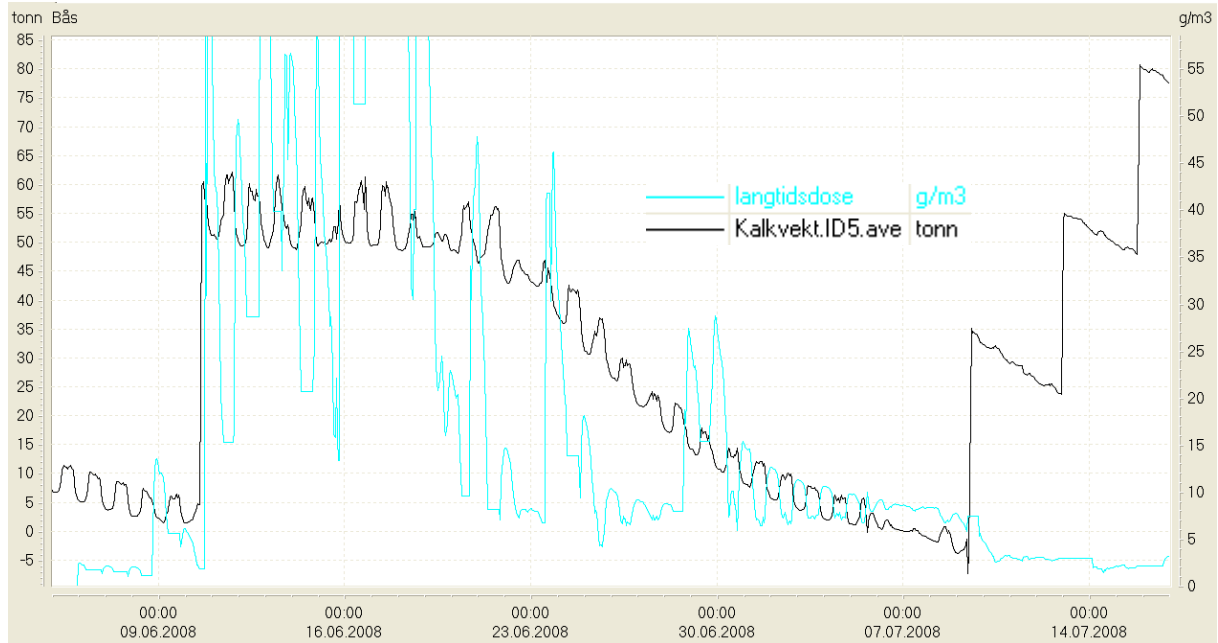
Vekta overskred maksimalt avlesingsnivå to ganger. Dette utgjorde til sammen 7 døgn uten lesbare veiedata, og dermed ingen langtidsdose.

Det ble registrert 7 tilfeller der anlegget stoppet i mer enn 8 timer. Til sammen utgjorde dette 14 dager uten dosering. Det var meget stort kalkforbruk i forbindelse med flom i april. Da ble det levert kalk på anlegget ca 25 ganger, se **Figur 3**.

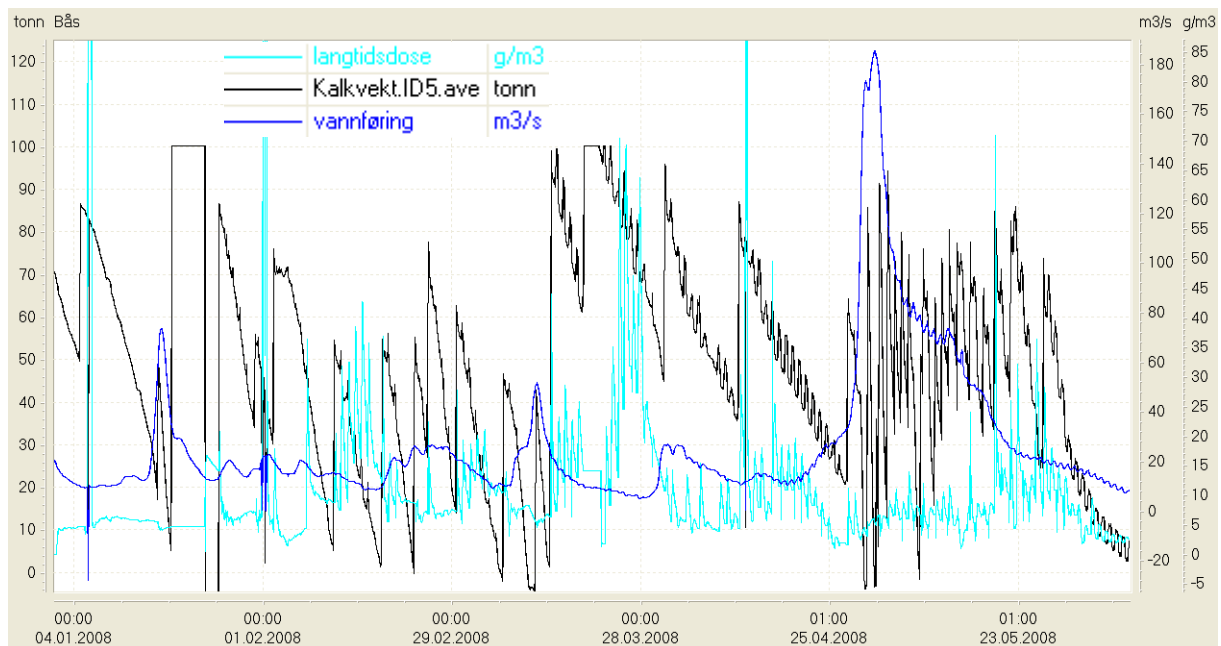
Dosene som ble levert fra anlegget første halvår var preget av stor variasjon og de lå gjennomgående høyere enn doseringssignalet skulle tilsi (**Figur 3**). Ofte var reell dose dobbelt så høy som innstilt, noen ganger også vesentlig høyere enn dette. De høye dosene ble rapportert til ansvarlig operatør som da satte ned doseringen (30. mai). En uke etter dette ble doseringen satt til nær null. Den meget lave sommerdoseringen ble opprettholdt til anlegget ingen begynte å dosere 21.juni. Siste halvår var dosene mer i samsvar med innstilte doser. Doseringen begynte da med lav doseinnstilling (3 g/m<sup>3</sup>) for siden (21. oktober) å økes til det dobbelte (**Figur 4**). Da Herefossfjorden normalt har høy ”sommer-pH”, er lave doser om sommeren avtalt med styringsgruppa for Toldalskalking. Dette blir gjort for å økonomisere med kalk. pH-utviklingen i Herefossfjorden er gjengitt i **Figur 9**.

**Tabell 1.** Antall stopp på Bås doseringsanlegg i 2008. Mange av disse stoppene skyltes at beholdningstanken gikk tom for kalk før ny forsyning ble tilkjørt.

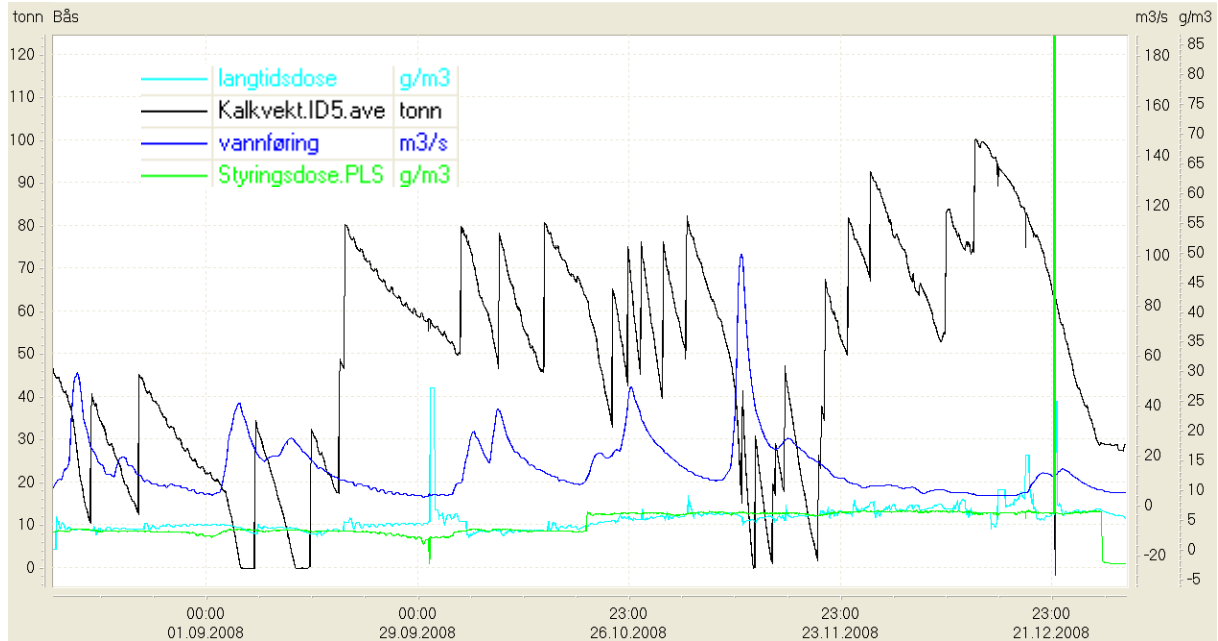
Dato	Antall dager uten dosering	Kommentar
03.02.2008	1,5	
11.03.2008	1	Tom beholdning
30.04.2008	0,3	Flom
01.05.2008	0,3	Flom
19.07.2008	3,2	
05.09.2008	1,9	Tom beholdning
12.09.2008	1,9	Tom beholdning
28.12.2008	3,4	



**Figur 2.** Driftskontrollens dose over tid (langtidsdose) og kalkvekt på Bås kalkdoserer i juni og juli 2008. Figuren viser at vektavlesingene var så unøyaktige at de utregnede doser ble urealistiske og ubrukelige.



**Figur 3.** Vannføring, langtidsdose og kalkvekt på Bås doseringsanlegg de fem første måneder av 2008. Figuren viser en stor variasjon i dosene som ble levert fra anlegget. De var også tidvis meget høye. Imidlertid er noen tall for langtidsdoser urealistiske, se **Figur 2**. Av figuren går det fram at beholdningstanken gikk tom for kalk to ganger i løpet av flommen som oppsto siste uka i april.



**Figur 4.** Vannføring, langtidsdose, styringsdose og kalkvekt på Bås doseringsanlegg de fem siste månedene av 2008. Det var økende doser fra anlegget mot høst og vinter. Langtidssdosene var stabile etter at veiesignalene ble reparert, og var i samsvar med styringsdosene på anlegget.

## 2.2 Skjeggedal

Skjeggedal kalkdoseringsanlegg er et vannføringsstyrt anlegg. Det har til oppgave å avsyre bidraget fra Skjeggedalselva til "Uldalsgreina". Målet for doseringen er  $6,7 \text{ g/m}^3$  vann.

Avgjørelse om det skal etableres kommunikasjonsutstyr for overføring av loggedata er ennå ikke foretatt. Det har vært umulig å opprette kommunikasjon med anlegget siden NMT-moblitefon ble nedlagt. Forholdene er beskrevet i Høgberget, Håvardstun og Tveiten 2006. En situasjonsbeskrivelse ble levert til Tovdalskalk for dokumentasjon om kommunikasjonsforholdene i november 2006. Da det ikke er mulig å overføre data via telelinjene, må loggeren tappes manuelt. Dette skjer et fåtalls ganger i løpet av året.

Driftskontrolldata har gått tapt en lang periode fra 13. mai til 4. august fordi det lå data for bare 7 dager da manuell overføring ble foretatt 11. august. Det er ingen god forklaring på dette. Teoretisk er slik tap av data bare mulig ved manuell restart av loggeren. Loggen er intakt for resten av året.

Det var sviktende veiesignal med varighet over 8 timer tre ganger i løpet av året. Dette var 3.-6. januar, 1.-5. februar og 13.-15. april. Vannstandssignalet sviktet 13 ganger. Datoer og varighet er gjengitt i **Tabell 2**.

Det var sviktende dosering fra anlegget til sammen 24 dager i den delen av året det finnes oversikt over. Datoer og tidsrom for driftsstansene er gjengitt i **Tabell 2**.

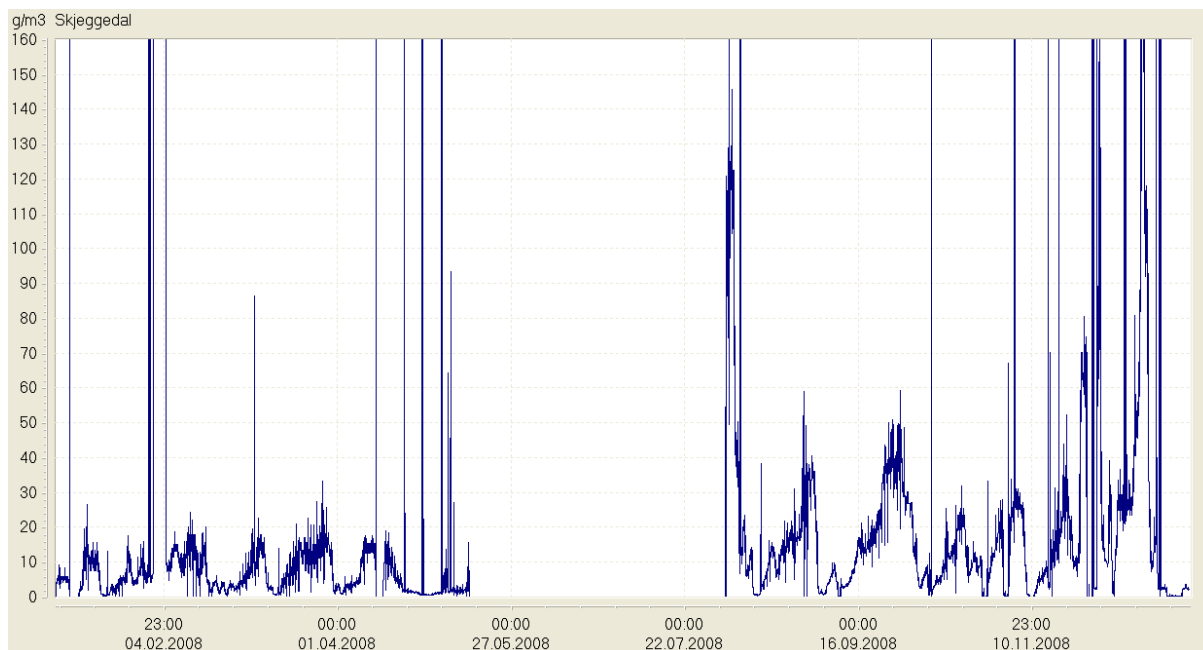
**Tabell 2.** *Sviktende vannstandssignal ved Skjeggedal doseringsanlegg i 2008.*

Dato	Dager uten vannstandssignal
05.01.2008	3,2
17.01.2008	0,5
14.03.2008	0,7
13.04.2008	2,3
05.05.2008	0,7
06.05.2008	0,7
07.05.2008	0,5
09.10.2008	0,8
27.10.2008	0,5
11.11.2008	0,5
16.11.2008	0,8
01.12.2008	1
21.12.2008	10

**Tabell 3.** *Driftsstans på Skjeggedal doseringsanlegg i 2008. Tallene er mangelfulle fordi det ikke finnes oversikt over 3 måneder om våren og sommeren.*

Dato	Dager uten dosering
05.01.2008	3,1
01.02.2008	4,1
13.04.2008	2,4
09.09.2008	1,7
26.10.2008	1,5
01.11.2008	1,2
10.11.2008	1,3
25.11.2008	0,5
28.11.2008	1,9
06.12.2008	1
24.12.2008	5,2

Det ble dosert med fast innstilt dosering fra anlegget gjennom hele perioden. Dette medførte store variasjoner i tilførte kalkdoser til elva. I store deler av tiden var tilførte doser langt høyere enn målet. Landtidsdoser over 36 g/m<sup>3</sup> ble målt. Driftskontrollens doser på timesbasis var tidvis enda høyere. De er gjengitt i **Figur 5**



**Figur 5.** Driftskontrollens kalkdoser på timesbasis ved Skjeggedal doseringsanlegg i 2008. Figuren viser en voldsom variasjon i doser. Det var gjennomgående større doser siste halvår. Høyeste timesdoser ble målt 5.-7. august. De lå da på ca  $120 \text{ g/m}^3$ .

## 2.3 Skåre

Skåre kalkdoseringsanlegg er et vannføringsstyrt anlegg. Det har til oppgave å avsyre bidraget fra Hovlandsåna til "Uldalsgreina". Doseringen fra anlegget ble først bestemt til en dose på  $2,6 \text{ g/m}^3$ . Dette er identisk med teoretisk doseringskrav. Imidlertid ble kravet satt opp til  $3,9$  høsten 2005. Det var et ønske om ytterligere økning av dosen. Dette er foreløpig ikke gjennomført.

Driftskontroll-loggeren fungerte gjennom hele perioden.

Det var ingen svikt i vektsignalene i 2008. Vannstandssignalet var kontinuerlig med unntak av en lang periode på tre uker fra 29. mai. Da var signalet meget ustabil og viste periodevis alt for høy vannstand. Dette påvirket doseringssignalet slik at det samtidig ble gitt signal om full dosering. De samme problemene oppsto en kort periode på to dager fra 3. juli. Anlegget ble kjørt på manuelt faste innstillinger ved disse tilfellene. Den første perioden er vist i **Figur 6**.

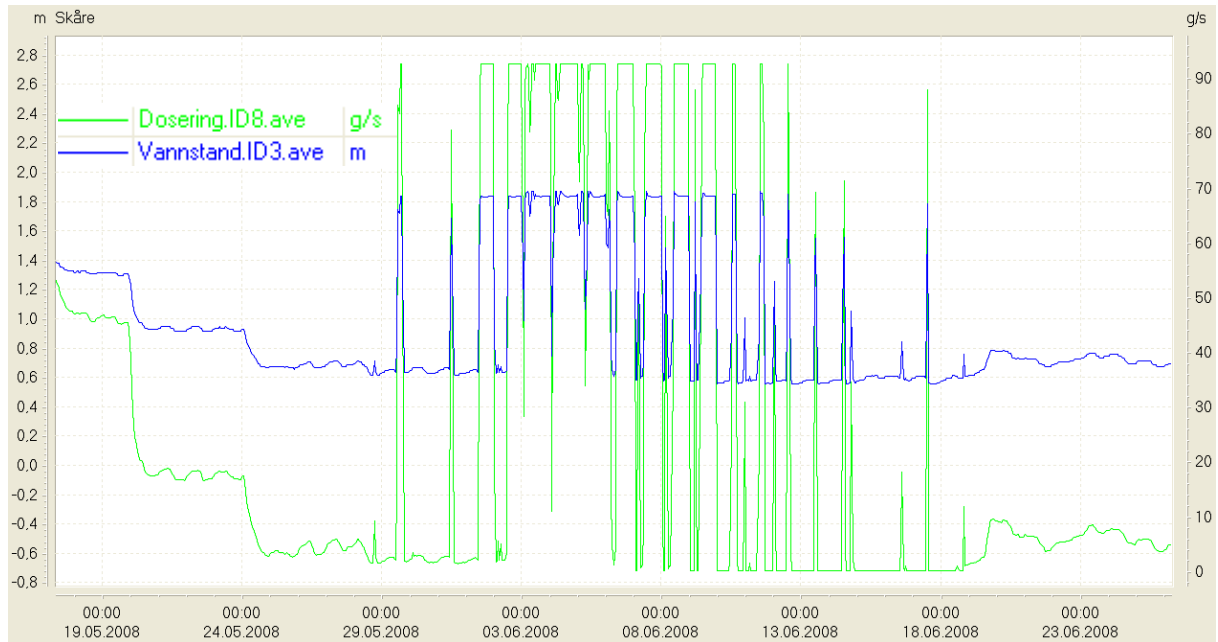
Det var tidvis store problemer med kontinuerlig dosering. Størst var problemene første halvår. Anlegget ble stoppet på grunn av for lite vann i inntaksbrønnen ved lav vannføring 5. juni. Det ble ikke satt i gang igjen før 9. september. Årsaken var ombygginger i anlegget slik at det kunne dosere også ved lave vannføringer, og manglende behov for kalktilførsel til Herefossfjorden om sommeren, se **Figur 9**. Til sammen 140 dager av året ble det ikke dosert fra anlegget, se **Tabell 4**.

Et problem ved anlegget var for sen levering av ny kalk da anlegget gikk tomt. Det er registrert 8 tilfeller da kalk ikke ble tidsnok tilkjørt. Dette utgjorde 9 dager uten dosering. Ved et tilfelle (28. april) ble det doseringsstopp ved ekstra stor flom i elva. Ca 26 tonn med kalk ble da ikke dosert slik det skulle (**Figur 7**).

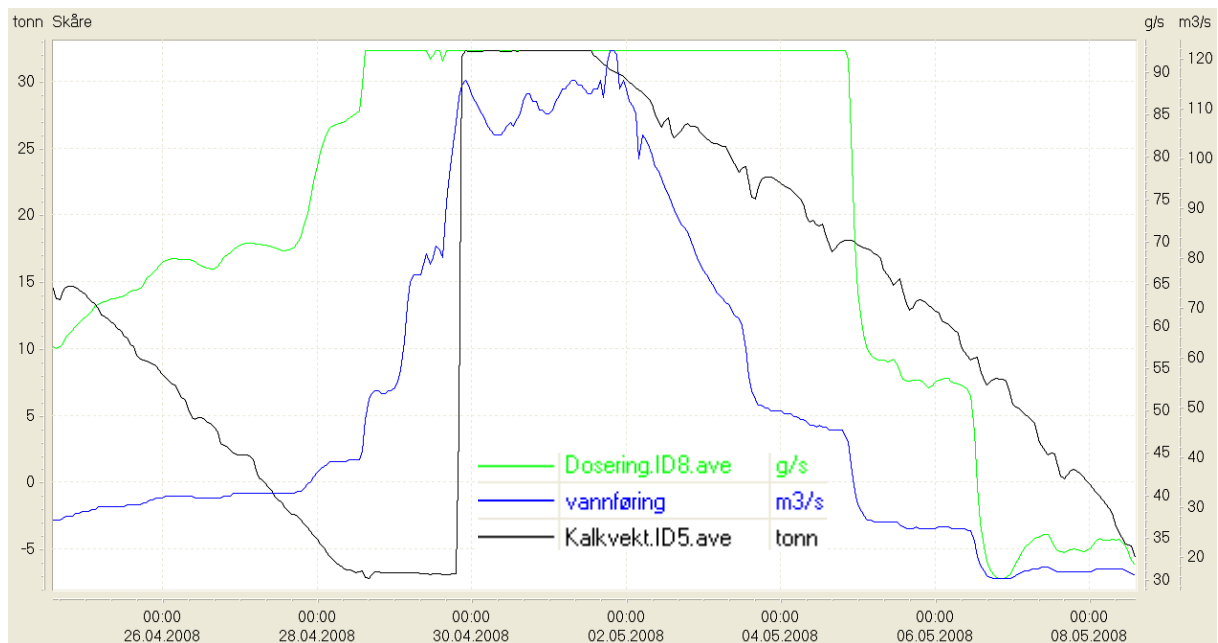
**Tabell 4.** Dato og tid uten dosering fra Skåre doseringsanlegg i 2008. Anlegget sto stille i 3 måneder i forbindelse med en utbedring av anlegget og lite behov for kalktilførsel til Herefossfjorden.

Dato	Antall dager uten dosering	Merknad
01.01.2008	2,5	Manuelt stoppet på grunn av is
29.01.2008	1,2	
10.02.2008	1,4	Tom beholdning
18.02.2008	1,2	
20.03.2008	2,2	
20.04.2008	1	Tom beholdning
28.04.2008	3,1	Først tom, siden ingen dosering
08.05.2008	0,6	Tom beholdning
05.06.2008	96	Ombygging og sommerstengning
09.11.2008	0,7	
11.11.2008	0,4	Tom beholdning
17.11.2008	0,9	
23.11.2008	2,5	Tom beholdning
30.11.2008	1,1	Tom beholdning
08.12.2008	0,5	Tom beholdning
24.12.2008	26	

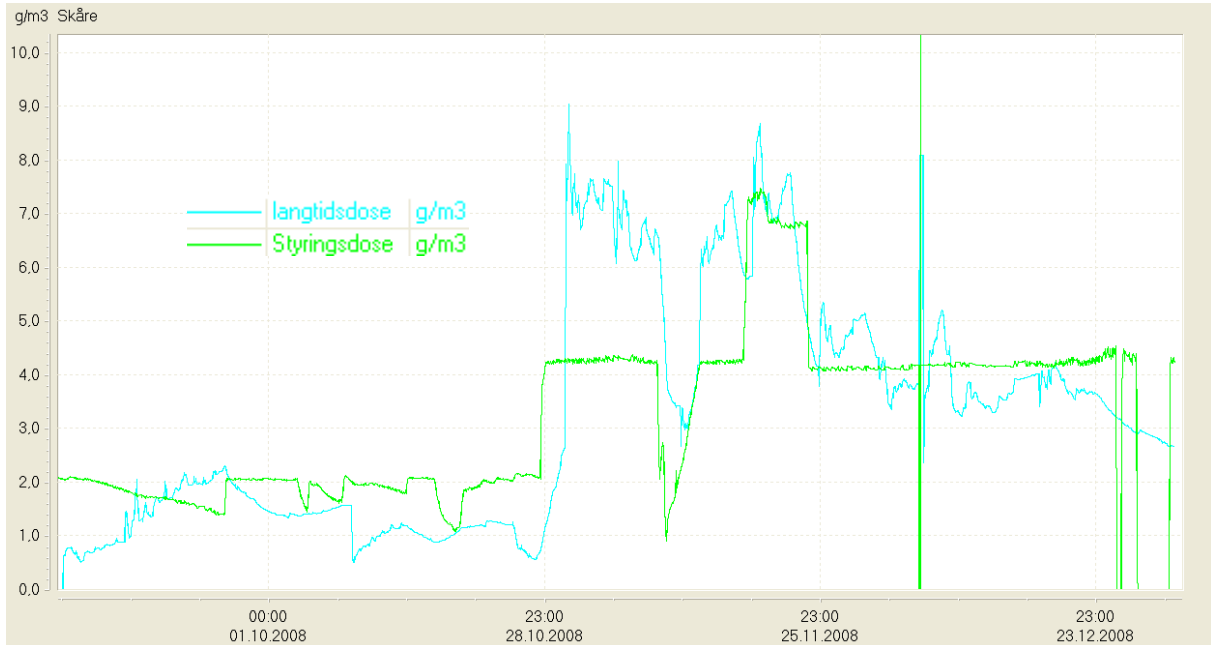
Tall fra driftskontrollen viser at anlegget vanligvis doserte ca 2 g/m<sup>3</sup> første del av året. Dosene varierte fordi det ble dosert med fast dosering. Dosene økte noe i mai, og viste opp mot 7 g/m<sup>3</sup> i slutten av mai. Det ble da varslet om høye doser til driftoperatøren. De høye dosene hadde sammenheng med dårlig forhold mellom dosering og vannføring ved ekstra lave vannføringer. Anlegget gikk på manuelt innstilt dosering. Anlegget ble slått av etter ca en uke. Vannføringen var da så lav at forsvarlig drift ikke var mulig. Etter at anlegget ble satt i drift igjen i september, fortsatte dosene på 0,5- 2 g/m<sup>3</sup> til automatikken ble satt i drift den 28. oktober. Da ble dosene vesentlig høyere. Først doserte anlegget da for mye kalk, siden ble dosene i overensstemmelse med nytt justert styringssignal. Fra 24. november var det god overensstemmelse med faktiske doser fra driftskontrollen og styringsdosene på anlegget. Styringsdosen var da på ca 4,2 g/m<sup>3</sup>. Dette varte til anlegget fikk driftsstans 24. desember. Hele doseforløpet etter oppstart i september er gjengitt i **Figur 8**.



**Figur 6.** Vannstand og doseringssignal ved Skåre doseringsanlegg første del av juni 2008. Vannstandssignalet ble ustabil og viste periodevis maksimalverdier. Dette førte til at doseringssignalet ikke kunne benyttes til å styre doseringspumpa.



**Figur 7.** Vannføring, dosering og kalkvekt ved Skåre doseringsanlegg i månedsstiftet mai/juni 2008. Doseringsignalet viser full dosering, men anlegget stoppet opp omtrent samtidig med at det ble gitt maksimalt doseringssignal. Dette var en stor flom ( $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Mye kalk skulle vært tilført elva under denne flommen.



**Figur 8.** Landtidsdose og styringsdose ved Skåre doseringsanlegg fra oktober og ut året i 2008. Dosene varierte en del før automatikken ble satt i drift 28. oktober. Styringsdosen var ikke aktiv før automatisk styring ble iverksatt. Langtidsdosen viste imidlertid doser som varierte mellom 0,5 og 2 g/m<sup>3</sup>. Anlegget doserte en tid mer enn styringsdosene skulle tilsi. Dette ble rettet ved justeringer i forhold til dosererkapasitet den 24. november. Etter dette var det mer samsvar mellom faktiske doser og doseringssignalet som dosesignal. Reduserte doser 10. november skyldes to forhold: En stor flom medførte overskridelser av dosererens kapasitet og anlegget stoppet to ganger i løpet av flommen.

## 2.4 Søre Herefoss

Søre Herefoss kalkdoseringsanlegg er et pH-styrt anlegg. Det vil si at anlegget styres etter vannføring og pH på vannet både oppstrøms og nedstrøms dosereren. Kalkdoseringsanlegget kan således styres slik at en fast pH-verdi oppnås nedstrøms anlegget. Denne måles 800 m nedenfor kalkdoseringsanlegget, der en målestasjon sender sine data kontinuerlig opp til anlegget.

pH-målet i lakseførende strekning av elva var i 2008 pH 6,2 i perioden 15. februar - 30. april, pH 6,4 i perioden 1. mai - 30. juni og pH 6,0 resten av året. Søre Herefoss kalkdoseringsanlegg styrer etter pH-krav nedstrøms anlegget som er tilstrekkelig for å oppnå pH-målet for hele den lakseførende strekningen. Dette kravet er vanligvis noe høyere enn pH-målet for å ha noe bufferkapasitet å tære på ved raske pH-svingninger i elva.

Et mål på pH 6,0 er også satt for Herefossfjorden oppstrøms anlegget. Dette er gjort for å sikre seg mot katastrofal effekt på laks- og sjøaurebestanden i elva dersom det skulle oppstå langvarig svikt i doseringen fra anlegget. pH i Herefossfjorden er gjengitt i **Figur 9**.

Driftskontroll-loggen er komplett for hele året.

Verdier fra vannstandsmåler og kalkvekt uteble ved noen tilfeller gjennom året. Vannstands- og vektmålinger forsvant 8 timer 5. januar, vektmålinger 8 dager fra 30. juni (lynedslag),

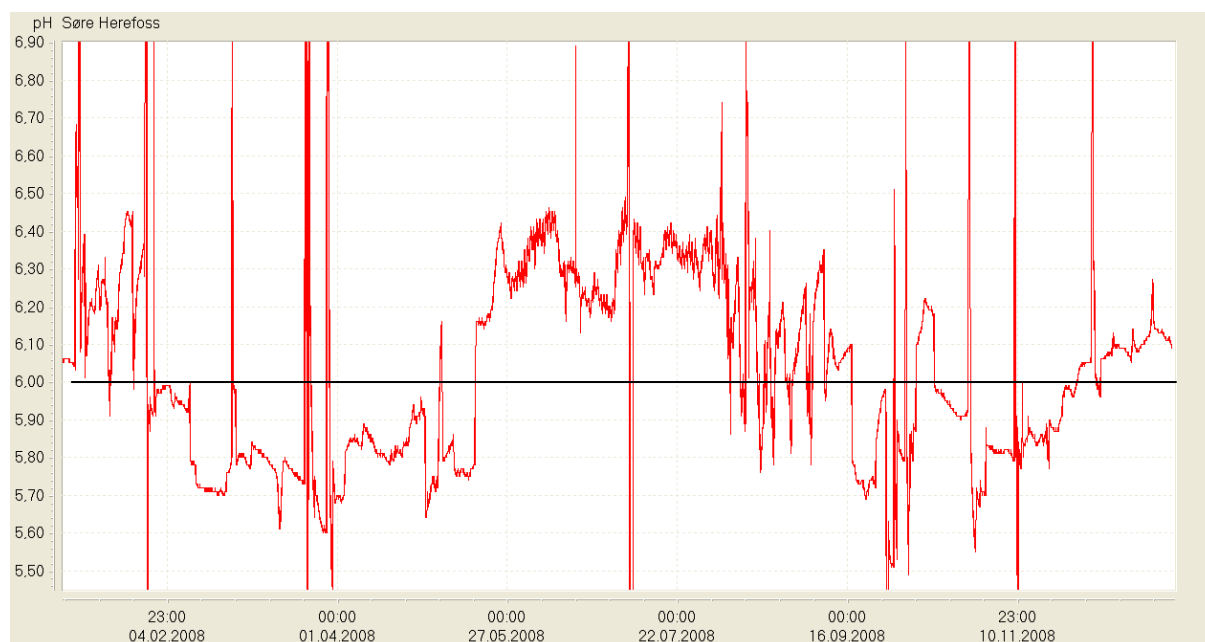


vannstandsmålinger 1,5 dager fra 5. juli og vannstands- og vektmålinger 8 timer 5. desember. Vekta ble kalibrert 8. oktober. Da viste den 13 tonn for mye.

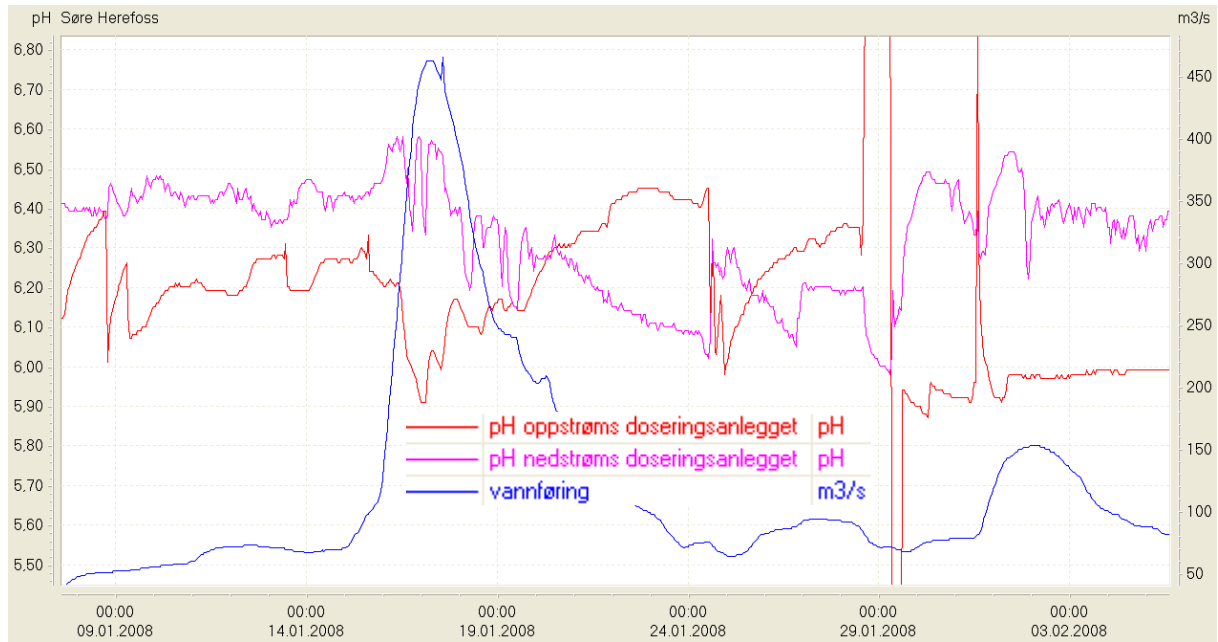
Det ble registrert svært få tilfeller av svikt i vanngjennomstrømmingen til pH-målingskyvetta. Oppstrøms anlegget var det et tilfelle der stillstanden varte i 25 timer den 5. januar. Nedstrøms anlegget var det stillstand 9 timer 28. mars. Et lynnedslag ved anlegget 6. juli førte til bortfall av pH-målinger både oppstrøms og nedstrøms anlegget ca en dag.

I begynnelsen av året var det problemer med å kalibrere pH. pH-verdiene vandret og var ufølsomme. Dette førte til at pH oppstrøms anlegget i perioder ble målt til høyere verdier enn nedstrøms anlegget. Disse forholdene bedret seg etter at det ble montert nye elektroder på pH-meteret oppstrøms anlegget. Det ble også målt høye verdier i forkant av flom som oppsto 17. januar. Alle disse forhold er gjengitt i **Figur 10**. Ved strømbrudd 28. mars ble anlegget kjørt med manuelt innstilt dosering i 1-2 døgn. pH øket da til 6,6 på grunn av høye kalkdoser (**Figur 11**).

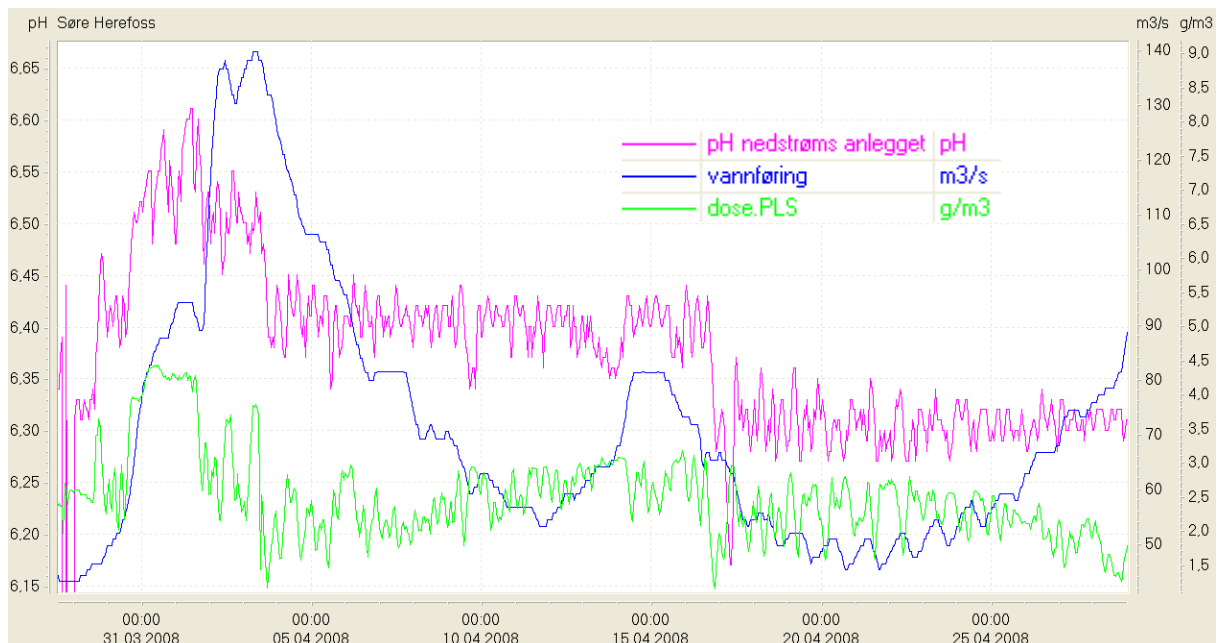
Det ble kun registrert to tilfeller der pH var under målet i mer enn 8 timer i lakseførende strekning av elva. Dette var en dag (15. januar) og 8 timer 16. september. Begge tilfellene ble målt på Boen (automatisk pH-overvåkingsstasjon i målområdet for kalkingen av Tovdalselva) og avviket var bare 0,1 pH-enheter. pH i lakseførende strekning av elva gjennom året er gjengitt i **Figur 12**.



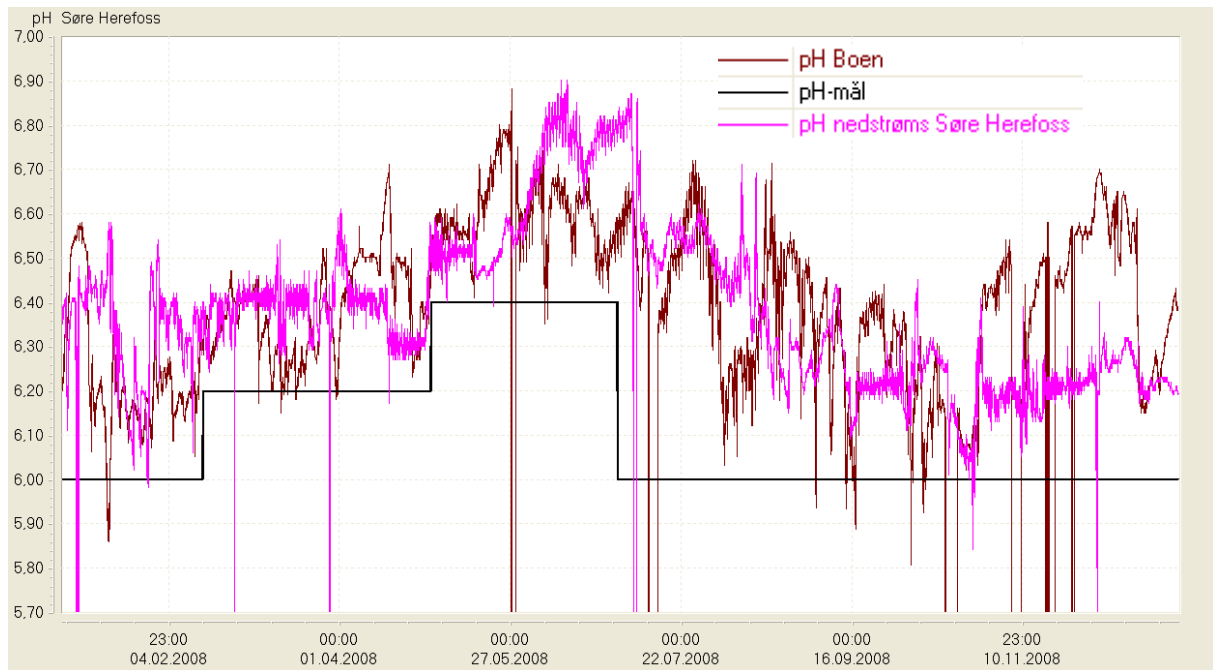
**Figur 9.** pH oppstrøms Søre Herefoss doseringsanlegg gjennom hele 2008. Disse målingene representerer pH i utløpet av Herefossfjorden. pH-målet på 6,0 for Herefossfjorden var ikke oppfylt store deler av året. Om sommeren ble imidlertid pH langt høyere enn målverdien. De høye verdiene i begynnelsen av året var ikke reelle.



**Figur 10.** Vannføring og pH oppstrøms og nedstrøms doseringsanlegget på Søre Herefoss i januar 2008. pH ble målt opp mot 6,6 i begynnelsen av flommen. Årsaken er ekstra dosering for å øke bufferkapasiteten i elva før flommen. pH oppstrøms anlegget lot seg ikke justere til stabile verdier, men økte kontinuerlig etter kalibrering. Dette førte til at verdier periodevis ble målt over verdiene nedstrøms anlegget. Forholdet rettet seg etter at nye elektroder ble montert.



**Figur 11.** Styringsdose (dose pls), vannføring og pH nedstrøms Søre Herefoss doseringsanlegg i april 2008. I begynnelsen av perioden ble anlegget manuelt styrt. Da ble det dosert mye kalk, og pH økte til 6,6. Det ble flom samtidig med at anlegget ble satt til automatisk dosering. pH-kravet ved automatisk dosering var da 6,4. Dette ble senere redusert til 6,3.



**Figur 12.** pH gjennom hele året fra Boen og nedstrøms anlegget på Søre Herefoss sammenholdt med pH-målet for lakseførende strekning av elva. pH var lavere enn målet bare ved noen få kortvarige episoder. Alle vertikale dropp ned mot pH 5,7 er ikke reelle, men skyldes elektroniske forstyrrelser og visning mot nullpunktet ved bortfall av signal.

## 3. Tiltak

### 3.1 Bås

I 2008 ble det gjennomgående dosert høye doser første halvår. Dette var imidlertid ikke tilstrekkelig til å unngå pH-verdier under målet i Herefossfjorden fra midt i februar til midt i mai. Service på anlegget førte til langt bedre doseringsforhold siste halvår. Dette innebar at dosene holdt stabile nivåer selv om vannføringen varierte mye. Høye og stabile doser vil sikre en god transport i flomsituasjoner. I arbeidet med å opprettholde pH-målet for Herefossfjorden, er nettopp flomsituasjonene viktige for transport av tilstrekkelig mengde kalk ut i innsjøen.

Det er flere ganger tidligere påpekt at det bør gjøres tiltak for å eliminere støvproblemene i elektrorommet. Forslaget har gått ut på å montere en liten vifte i kontrollrommet (Høgberget og Håvardstun 2007). I følge operatøren er blanderommet for kalk meget tett. Det er derfor mulig at bare en ventil i veggen kan være tilstrekkelig til å forhindre støvinnretning i elektrorommet (naborommet).

### 3.2 Skjeggedal

Doseringsanlegget har dosert på fast dosering i hele perioden. Dette er en så enkel form for dosering, at anlegget ikke har fylt den oppgaven den er satt til å gjøre. Det er satt opp dosemaal på  $6,7 \text{ g/m}^3$  for å sikre at det blir transportert tilstrekkelig kalk til Vågsdalsfjorden under alle vannføringsforhold. Med doseringsregimet som nå gjelder, bidrar doseringen mer til å slemme igjen elva nedstrøms anlegget ved lave vannføringer. Det er foreslått forandringer i kalkingsstrategi for å bedre situasjonen (kap. 4).

### 3.3 Skåre

Anlegget har gjennomgått en oppgradering slik at dosene som ble levert fra anlegget mot slutten av året var mer i overensstemmelse med dosemalet som gjelder for anlegget. Ytterligere doseøkninger frarådes inntil effektene av oppgraderingen vises på lengre sikt. Det vises for øvrig til kap. 4. Anlegget ble også forbedret ved at det nå kan pumpes vann til blandekaret for kalk også ved meget lave vannføringer.

### 3.4 Søre Herefoss

Anlegget hadde meget god drift i 2008. Problemene omkring drift av veiesignalet om sommeren påvirket ikke driften på anlegget.

## 4. Ny kalkingsstrategi for Uldalsgreina

### 4.1 Bakgrunn

Ved oppstart av kalkingsprosjektet i Tovdalselva ble kalkdosererne i Uldalsgreina etablert etter anbefalinger gitt i kalkingsplan for Tovdalsvassdraget (Hindar 1991). Unntaket var foreslått doserer i Håvlandsåna. Denne ble imidlertid satt opp på Klepsland 14 km oppstrøms foreslåtte punkt (Lisletveit). Som følge av mangelfull effekt av kalkingstiltaket i denne delen av vassdraget, ble Klepsland dosereren flyttet etter anbefalinger gitt i forslag til optimalisering av kalkingsstrategien i Tovdalsvassdraget (Hindar mfl. 2000). Anlegget ble da flyttet til et punkt ved Skåre, ca 2 km nedstrøms Lisletveit. Anlegget har, etter forbedringer foretatt høsten 2008, potensialet til å kunne dosere med en fast dose på 4 g/m<sup>3</sup> ved vannføringer under 34 m<sup>3</sup>/s. Anbefalingene som den gang ble gitt, forutsatte at driften også på Vatne og Skjeggedal doseringsanlegg gjennomføres forsvarlig.

Doseringsanlegget på Vatne er ikke en del av driftskontrollen som NIVA gjennomfører. Det finnes derfor ingen nøyaktig dokumentasjon over driftssikkerheten. Det årlige kalkforbruket har, siden oppstart av anlegget i 1997, variert mellom 35 og 267 tonn kalk. Kalkforbruket har med årene blitt betydelig redusert. Forbruket gjennom alle år er gjengitt i **Tabell 5**.

**Tabell 5.** Antall tonn kalksteinsmel som ble tilkjørt anleggene ved Vatne og Skjeggedal fram til 2008. Det var en tendens til lavere forbruk med tiden på Vatne. Skjeggedalsdosereren ble vesentlig mer effektiv etter oppstartsproblemer.

År	Vatnedalen tonn	Skjeggedal tonn
1997	238	171
1998	267	235
1999	200	636
2000	157	601
2001	120	689
2002	204	563
2003	162	325
2004	156	442
2005	35	585
2006	202	632
2007	150	459

Skjeggedal doseringsanlegg hadde en tid etter oppstart i 1997 dårlig effektivitet som førte til lite utdosert kalk. Fra 1999 til i år har anlegget vært mer driftssikkert, og dosert kalk har de fleste årene ligget på ca 5-600 tonn. Anlegget skal dosere med fast kalkdose til elva. Imidlertid har denne styringsformen vært vanskelig å gjennomføre på grunn av tekniske problemer og et meget ufølsomt vannføringssignal. Årsaken til dette er at anlegget er plassert på et sted der tverrprofilen i elva er svært grunt og vidt. Derfor vil små forandringer i vannstandsmålingene utgjøre store vannføringsvariasjoner. Riktig doseringssignal i forhold til vannføring er dermed vanskelig å oppnå. Følgene av disse forholdene er at anlegget de siste årene har dosert på fast innstilt dosering, noe som medfører meget varierende doser avhengig av vannføringsforhold.

Det ugunstige kalkingsregimet har ført til stor sedimentering av kalksteinsmel i elva. Under flom vil mye av denne kalken virvles opp i vannmassene igjen, men totalt sett er sedimentering betydelig i

områdene nedstrøms dosereren uten at det finnes dokumenterte tall på sedimenteringen. Hele elvestrekningen mellom dosereren og Bjorvatn (3,8 km) har lite fall. Lav vannhastighet, særlig ved moderate vannføringer, fører til varierende grad av sedimentering av uoppløst kalk i hele elvestrekket.

I områdene fra Bjorvatn til fossefallene ved Risdal er hydrologien preget av flere innsjøer og store fløyter. Disse områdene forsinker effekten av kalkingen vesentlig. Innlagringsforhold i innsjøene kan også føre til endret kjemisk sammensetning mellom inn- og utløp av innsjøene. Rask effekt av kalkingen ved Skjeggedal doseringsanlegg på vannkvaliteten i Mjåvassfjorden er derfor umulig å oppnå.

Skjeggedalsåna er, i likhet med alle andre vassdrag i landsdelen, sterkt påvirket av sur nedbør fra industriområdene i Europa. Vannkvaliteten har vært giftig for mange vannlevende organismer inkludert fisk. Den spesielt motstandsdyktige canadiske bekkerøyen ble satt ut i 1970-årene og etablerte seg i vassdraget. Denne arten finnes ennå i øvre deler av elva. Imidlertid ble aure introdusert i forbindelse med kalkingsprosjektet og etableringen av kalkdosereren i 1997. Arten er nå tallrik også oppstrøms dosereren helt opp til Høgefoss. Vannkvaliteten oppstrøms dosereren har blitt forbedret siden oppstart av kalkingen. Andelen giftig aluminium (labilt aluminium, IAL) ble redusert fra akutt giftig nivå for fisk til ca 60 µg/l fra 1995 til 2006 (**Figur 13**). Siden har dette konsentrasjonsnivået vært stabilt (DN-notat 2008). Et slikt labilt aluminiums nivå er ikke lenger akutt giftig for ferskvannsaure, men det er ca 80 % sjanse for skadelige effekter på bestanden (Hesthagen mfl. 2008). Individuelle forskjeller på hardførhet mellom bestander og forskjell på evne til formering er faktorer som da bestemmer bestandsutviklingen.

## 4.2 Strategier

En viktig del av kalkingsstrategien for Tovdalselva, er å opprettholde en god nok vannkvalitet for laks i de nedre delene av elva. Søre Herefoss doseringsanlegg er den kalkdosereren som benyttes til å opprettholde de til enhver tid gjeldene pH-mål for lakseførende strekning. Denne strategien er avhengig av at anlegget fungerer kontinuerlig uten lange driftsavbrudd. Svakheten er at dersom det er for surt vann oppstrøms dosereren, vil ufrivillig doseringsstopp over lengre tid føre til laksedød. Ved å unngå forsuring av Herefossfjorden, vil slike akutte tilstander ikke oppstå, selv ved lang tids driftsstans. Derfor er det fastsatt pH-mål for fjorden (pH over 6,0).

De to innløpselvene til Herefossfjorden, Tovdalselva og Uldalsgreina, skal hver sørge for tilstrekkelig godt kalket vann til å oppnå dette kravet. Dokumentasjoner gjennom en årrekke har vist at Uldalsgreina ikke i samme grad som Tovdalselva bidrar til å nå dette målet. (DN-notat). I en anbefaling om flytting av Klepslandsdosereren gitt i 2000 (Hindar mfl. 2000) konkluderes det med at en flytting av anlegget nærmere utløpet ville være med på å sikre en god vannkvalitet inn mot Herefossfjorden. Etter at anlegget ble flyttet, viste også pH-overvåkingsstasjonen på Hanefossen en forbedring av forholdene. Årsaken til forbedringen var at fjordsystemet som ender i Vågsdalsfjorden fikk tilført bedre vannkvalitet. Ved ytterligere å forbedre kalkingen inn mot denne fjorden, vil vannkvaliteten bli enda bedre. Nøkkelen til bedre vannkvalitet i fjorden er å tilføre stabile doser. Dosene i Håvlandsåna ble mer stabile da anlegget ble flyttet til Skåre. Dersom doseringspunktet i Skjeggedalsåna også blir flyttet nærmere utløpet til denne fjorden, (i nordenden kalt Mjåvassfjorden) vil dette ytterligere styrke stabiliteten i bufringsnivået (kalkinnholdet).

Ideelt sett vil det aller gunstigste være en doserer ved Hanefossen for å ivareta kalkingsbehovet mot Herefossfjorden. Dette vil sikre mest nøyaktige doser inn i fjorden. Anlegget vil da være nedstrøms alle sidevassdrag som eventuelt bidrar med surt vann inn i nedre deler av Uldalsgreina.

### 4.3 Anbefalinger

Et kalkdoseringsanlegg i området Hanefossen vil by på store driftsmessige utfordringer på grunn av vanskelige hydrologiske forhold. Fossestryket er bare unntaksvis vannførende i flom. Eneste vannvei er normalt gjennom kraftverket. Kraftverket kjøres også uregelmessig, ofte på døgnbasis. Når det ikke kjøres vann gjennom kraftverket, lagres det normalt i Hanefossmagasinet. Oppstrøms Hanefossen er det over 9 km til nærmeste fossetryk med gunstige innblandingsforhold for kalksteinsmel. Denne plassen er lokalisert i et område uten verken vei eller nettstrøm (Kiløyna). Fokuset må derfor stå på området oppstrøms Kiløyna. Dette er en sammenhengende smal fjord med 4 forskjellige navn: Kolstraumfjorden, Vågsdalsfjorden, Nystølfjorden og Mjåvassfjorden hvor Mjåvassfjorden er den nordligste.

Tre doseringsanlegg har utløp i Mjåvass- Kolstraumfjorden: Skåre, Vatnedal og Skjeggedal doseringsanlegg. To av disse anleggene leverer i dag tilfeldige doser til fjorden; Vatnedals- og Skjeggedalsanlegget. Anlegget i Vatnedalen bidrar på årsbasis med ca 1/3 av Skjeggedalsanlegget (**Tabell 5**). Istedet for drifting av disse to anleggene, bør det etableres et doseringsanlegg ved fossefallene ned mot Risdal. Dette vil sikre faste kalkdoser tilført Mjåvassfjorden. Anlegget kan dimensjoneres slik at det kan levere doser tilsvarende de som i dag leveres fra begge eksisterende anlegg.

Vassfossen kraftverk i Vatnedalen regulerer vannføringen ut av Eptevatn. Vannføringen i Vatnedalsåna vil derfor variere i utakt med den naturlige avrenningen i området. Det foreslås derfor etablert et vannføringssignal fra Vatnedalsåna til Risdalsanlegget slik at kalkdosene kan beregnes med grunnlag i vannføringer både fra Skjeggedalsåna og Vatnedalsåna.

Et sted ca 1 km nord for Risdal egner seg svært godt til formålet. Området er befart og utmerker seg fordi det inneholder ca 500 m med strie stryk og fossefall. En ideell plassering vil være umiddelbart nedstrøms Klova, siste store lone før fossefallene. Et utløp på toppen av fossefallene vil sikre meget god oppløsning av kalksteinsmel. Vannføringsmåling som styringssignal vil også være enkelt å etablere, da det finnes flere steder med naturlig trange elveprofiler som kan benyttes for nøyaktige vannstandsmålinger.

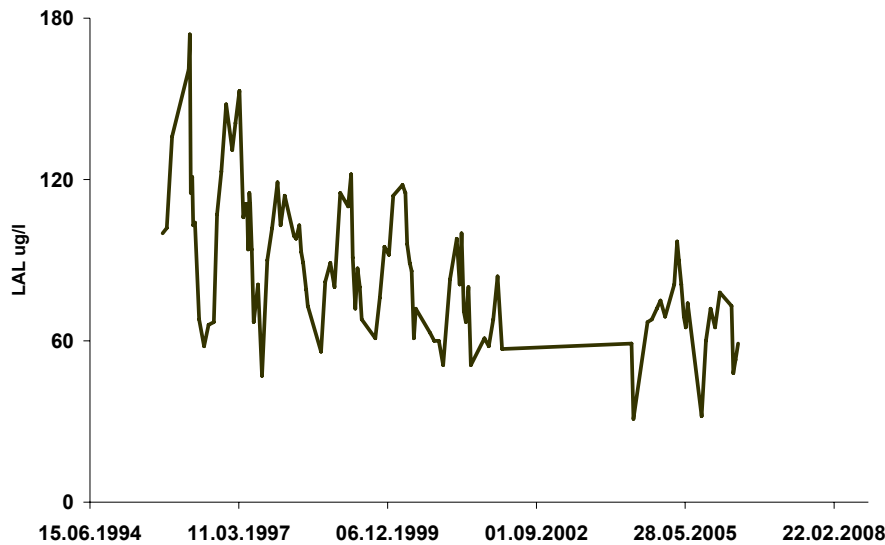
### 4.4 Risikovurderinger og tiltak

Skåre og Risdal kalkdoseringsanlegg vil ha forutsetninger til sammen å kunne betjene nødvendig oppkalking av Uldalsåna nedstrøms Mjåvass- Kolstraumfjorden. Imidlertid tilføres det i dette området betydelig vannføring fra sidefelter. Den største er Rettåna fra Ogge. Ogge er innsjøkalket, men generelle hydrologiske innsjøforhold her vil teoretisk periodevis føre til sur avrenning i Rettåna. Dette kan gi negative effekter på vannkvaliteten i området. Effekten av den totale kalkingsvirksomheten i Uldalsgreina ble tidligere overvåket med en pH-stasjon ved Hanefossen. Denne ble nedlagt ved utgangen av året 2005. Det anbefales at en slik stasjon igjen blir etablert med kontinuerlig drift over året. Denne vil avdekke eventuelle svakheter ved kalkingsstrategien fra Uldalsgreina inn mot Herefossfjorden.

En nedleggelse av Skjeggedal og Vatnedal doseringsanlegg vil føre til konsekvenser for aurebestanden nedstrøms anleggene. Det er grunn til å anta at bakgrunnskjemien er nokså likeverdige i de to elvene. Forholdene beskrevet i 4.1 vil dermed gjelde begge steder. Sannsynlig utvikling vil være at kalksteinsmel opplagret gjennom mange år i sedimenter, vil oppløses langsomt og påvirke vannkvalitetene i lang tid. Dette vil dermed i noen grad sikre aurebestanden. Etter hvert som denne effekten uteblir, kan dette føre til manglede fiskerekuttering og sannsynligvis bortfall av andre forsuringfølsomme vannlevende organismer som eventuelt har etablert seg i vassdaget. Disse effektene må overvåkes.

Det anbefales at anlegget i Skjeggedal ikke fjernes, men foreløpig bare avstenges. Årsaken er usikkerheten omkring den biologiske utviklingen. Ved behov kan dermed vassdagsavsnittet Skjeggedal-Risdal periodevis kalkes ved hjelp av anlegget på en enkel måte. Dersom målet kun er å oppsetholde en fiskebestand god nok for sportsfiskeformål (stor fisk), er det mulig at behovet bortfaller.

Samme forhold som i Skjeggedal vil gjelde for Vatnedalsåna, men siden skadevirkningene vil opptre i et rekreasjonsmessig mindre viktig område på 5,5 km elvestrekning uten innsjøer, vil dette ikke rettferdiggjøre lagring av doseringsanlegget for mulig framtidig bruk.



**Figur 13.** Labilt aluminiumsinnhold (LAL) i vannprøver fra Skjeggedalsåna oppstrøms kalkdoseringsanlegget på Skjeggedal gjennom 11 år. Figuren viser sterk reduksjon i LAL til et nivå som kretser rundt 60 µg/l.



## 5. Referanser

- Høgberget, R. 2000. Avviksrapport år 2000 fra driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. NIVA Rapport L. nr. 4276.
- Høgberget, R. 2001. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Avviksrapport år 2000-2001. NIVA Rapport L. nr. 4422.
- Høgberget, R. 2002. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Avviksrapport år 2001. NIVA Rapport L. nr. 4511.
- Høgberget, R. og Hindar, A. 1998. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg. NIVA Rapport L.nr. 3824.
- Høgberget, R og Håvardstun, J. 2003. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Avviksrapport år 2002. NIVA Rapport L. nr. 4750.
- Høgberget, R og Håvardstun, J. 2005a. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Avviksrapport år 2003. NIVA Rapport L. nr. 4990.
- Høgberget, R og Håvardstun, J. 2005b. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Avviksrapport år 2004. NIVA Rapport L. nr. 5051.
- Høgberget, R. Håvardstun, J. Tveiten, L. 2006. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Avviksrapport år 2005. NIVA Rapport L.nr. 5235.
- Høgberget, R og Håvardstun, J. 2007. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Avviksrapport år 2006. NIVA Rapport L.nr. 5462.
- Høgberget, R og Håvardstun, J. 2007. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Avviksrapport år 2007. NIVA Rapport L.nr. 5601.
- Hesthagen, T. Fiske, P. og Skjelkvåle, B.L. 2008 Critical limits for acid neutralizing capacity of brown trout (*Salmo trutta*) in Norwegian lakes differing in organic carbon concentrations. *Aquat Ecol* 42:307-316.
- DN 2008. Kalking i laksevassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2007. DN-Notat 2008-2.
- Hindar, A. 1991. Kalkingsplan for Tovdalsvassdraget. NIVA Rapport L.nr. 2653.
- Hindar, A. og Tjomsland, T. og Høgberget, R. 2000. Optimalisering av kalkingsstrategien i Tovdalsvassdraget. NIVA rapport L.nr.. 4239.
- 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.

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](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)