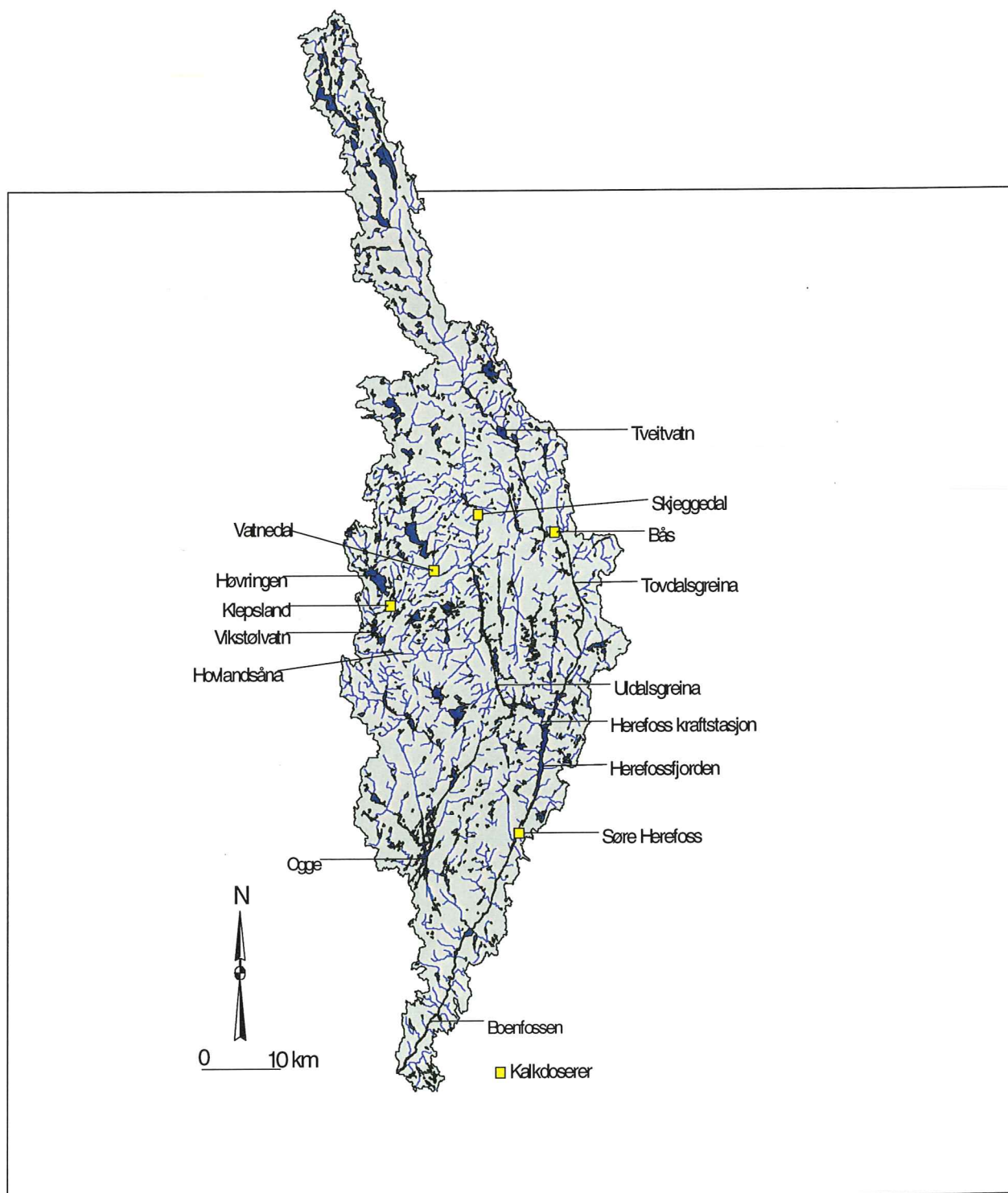


NIVA



RAPPORT LNR 4239-2000

# Optimalisering av kalkingsstrategien i Tovdalsvassdraget



**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  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

9015 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Optimalisering av kalkingsstrategien i Tovdalsvassdraget	Løpenr. (for bestilling) 4239-2000	Dato 06.06.00
	Prosjektnr. Undernr. O-99178	Sider Pris 70
Forfatter(e) A. Hindar, T. Tjomsland og R. Høgberget.	Fagområde Forsuring og kalking	Distribusjon
	Geografisk område Agder	Trykket NIVA

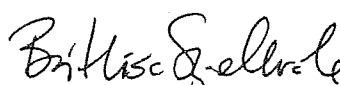
Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Aust-Agder	Oppdragsreferanse 1999/02167
---	---------------------------------


**Sammendrag**

Kalkingsstrategien i Tovdalsvassdraget er gjennomgått. Bakgrunnen for det er u hensiktsmessig plassering av ett av kalkdoseringsanleggene i vassdraget og problemer med drift av enkelte anlegg. Siden det er fem større anlegg i drift, har det også vært naturlig å se på hvordan disse kan utnyttes optimalt. Rapporten omhandler derfor et arbeid med kalibrering av to modeller som kan brukes for å simulere effekten av kalking ved ulike hydrologiske forhold i vassdraget. Resultatene som er framkommet viser at den driftskontrollen som ble innført for kalkdoseringsanleggene fra og med 1999 har gitt en god uavhengig kontroll med kalkingen. Dette reduserer driftsproblemene. Ved to anlegg bør en imidlertid gjennomføre tiltak. Doseringsanlegget i Hovlandsåna bør enten flyttes til nedstrøms Vikstølvatn eller det bør settes opp et nytt anlegg der. Modellarbeidet har gitt noen foreløpige resultater, og viser blant annet hvor viktig det er å produsere en god vannkvalitet oppstrøms Herefossfjorden hvis det skal opprettholdes en stabilt god vannkvalitet på den lakseførende strekningen.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Vassdrag</li> <li>Kalkdosering</li> <li>Optimalisering</li> <li>Modell</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Watercourse</li> <li>Limedosing</li> <li>Optimization</li> <li>Model</li> </ol>
---	---

  
Atle Hindar  
Project manager

  
Brit Lisa Skjeltvåle  
Research manager

  
Nils Roar Sælthun  
Head of research department

# **Optimalisering av kalkingsstrategien i Tovdalsvassdraget**

## Forord

NIVA utarbeidet i 1991 kalkingsplan for Tovdalsvassdraget. I oktober 1996 ble vassdraget fullkalket, og planen fra 1991 ble langt på vei fulgt. I tiden etter har det vist seg at uheldig plassering av ett av de fem kalkdoseringsanleggene og driftsavbrudd i flere av anleggene har ført til at vannkvaliteten ikke har vært fullgod. Problemet med plassering av det ene doseringsanlegget ble påpekt av NIVA i brev av 13.07.98 til Styringsgruppa for kalking av Tovdalsvassdraget. Driftsproblemene er påpekt i overvåkingsrapportene for 1997 og 1998, som utgis av Direktoratet for naturforvaltning.

I brev av 10.05.99 Fylkesmannen i Aust-Agder ble NIVA bedt om å foreslå et prosjekt som kunne belyse disse forholdene med tanke på endringer i strategi og drift. I NIVAs prosjektforslag av 30.07.99 ble det blant annet foreslått å bruke en vassdragsmodell til deler av dette arbeidet. Prosjektet ble bestilt i brev av 18.10.99 fra Fylkesmannen.

Grimstad, 06. juni 2000

*Atle Hindar*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>8</b>
<b>1. Bakgrunn</b>	<b>10</b>
<b>2. Tovdalsvassdraget</b>	<b>11</b>
2.1. Beskrivelse av vassdraget	11
2.2. Nedbør og hydrologiske forhold	13
2.3. Karakteristisk vannkjemi	13
2.4. Kalkingsstrategi og gjennomført kalking	19
2.4.1. Kalking i 1997	19
2.4.2. Kalking i 1998	20
2.4.3. Kalking i 1999	20
<b>3. Drift av doserere</b>	<b>20</b>
3.1. Beskrivelse av driftsforhold	21
3.1.1. Driftsforhold på Bås	21
3.1.2. Driftsforhold på Søre Herefoss	23
3.1.3. Driftsforhold på Klepsland	25
<b>4. Kalkingsstrategien i Uldalsgreina</b>	<b>26</b>
4.1. Konsekvenser ved nåværende kalkingsstrategi	27
4.2. Mulige endringer i strategi i Uldalsgreina	27
4.2.1. Flytting av Klepslanddoseren og kalking av Høvringsvatn.	28
4.2.2. Nytt anlegg i nedre del av Hovlandsåna	29
4.2.3. Nytt anlegg nederst i Uldalsgreina	29
4.3. Anbefalinger	30
<b>5. Modellering av vassdraget</b>	<b>31</b>
5.1. Metoder	31
5.2. Datagrunnlag	33
5.3. Kalibrering av modellene	36
5.4. Dosering for å oppfylle krav til pH	45
5.5. Transport av kalk gjennom Herefossfjorden	53
5.6. Status for og forslag til videreføring av modellarbeidet	55

---

<b>6. Referanser</b>	<b>56</b>
<b>Vedlegg A. Simulerte verdier for pH og Ca</b>	<b>57</b>
<b>Vedlegg B. Beregnet vannføring samt observerte og simulerte verdier for pH og kalsium.</b>	<b>64</b>
<b>Vedlegg C. Temperaturprofiler i Herefossfjorden</b>	<b>68</b>

## Sammendrag

NIVA utarbeidet i 1991 kalkingsplan for Tovdalsvassdraget. I planen ble det foreslått ulike alternativer, men hovedalternativet innebar at det ble satt opp kalkdoserere på seks ulike steder i vassdraget. Det ville beskytte innlandsfiskebestander i øvre del i tillegg til laks og sjøaure. I oktober 1996 ble vassdraget fullkalket, og planen fra 1991 ble langt på vei fulgt. Avviket fra planen var at et doseringsanlegg i øvre del av Tovdalsgreina (ved Austenå) ble sløyfet og at dosereren i Hovlandsåna ble satt opp helt oppe ved Høvringsvatn (Klepsland) og ikke i nedre del av dette sidevassdraget.

I tiden etter kalkingsstart har det vist seg at uheldig plassering av Klepslandanlegget og driftsavbrudd i flere av anleggene har ført til at vannkvaliteten i øvre deler ikke har vært fullgod (Hindar 1998; 1999). Det er blitt hevdet at belastningen på det nederste kalkdoseringsanlegget ville bli for stor hvis forholdene ikke ble rettet opp før pH-målet skulle økes til smoltkvalitet (pH 6.2-6.4).

I denne forbindelse ble mulighetene for å simulere konkrete situasjoner ved hjelp av en vassdragsmodell brakt på banen. Muligheten av å samkjøre dosererne for en enda mer optimal utnyttelse av kalken og dermed en lavest mulig kostnad ved kalkingstiltaket i vassdraget ville dermed være til stede.

Den foreliggende rapporten beskriver de problematiske driftsforholdene ved ulike doserere, alternative kalkingsstrategier i Uldalsgreina med Hovlandsåna og viser resultatet av det modellarbeidet som er gjort foreløpig.

### Driftsforhold

Etter innføring av driftskontroll for kalkdoseringsanleggene i vassdraget var det god kontroll med driften ved tre av de fem anleggene i 1999. Dette var anleggene ved Bås, Søre Herefoss og Klepsland. Det er avdekket at de reelle kalkdosene kan avvike betydelig fra de dosene anleggene er innstilt på. Siden det er mulig å rette på dette, kan kalkmengdene holdes på det nivået som skal til for at Herefossfjorden til enhver tid skal holde en tilstrekkelig god vannkvalitet. Dette er viktig for å hindre for stor belastning på anlegget i utløpet av denne innsjøen. Det kom også fram ved simuleringene som er utført.

Ved Klepslandanlegget er det imidlertid påvist betydelige driftsproblemer, noe som må rettes på. Siden anlegget er plassert for høyt oppe i vassdraget til å holde god vannkvalitet i Hovlandsåna helt ned til samløpet med resten av Uldalsgreina (se neste avsnitt), vil imidlertid en god drift ikke løse dette problemet.

Det er ikke tilstrekkelig med driftsdata til å beskrive forholdene ved kalkdoseringsanleggene i Vatnedalen og Skjeggedal. For den sistnevnte er det trolig store problemer med driften. Det viser de vannkjemiske overvåkingsdataene, og forholdene både i anlegget og driftsrutinene bør gås nøye gjennom.

### Kalkingsstrategi i Uldalsgreina

Det er avdekket betydelige variasjoner i vannkvalitet i Hovlandsåna. Det henger sammen med at Klepslandanlegget er plassert for høyt oppe i sidevassdraget. Simuleringene viser at en vesentlig forsterkende grunn til dette er at anlegget er oppstrøms det regulerte Vikstølvatnet. Dette kan i gitte situasjoner fange opp det kalkede vannet slik at bidraget videre nedover i vassdraget blir lite. I tillegg er det oppstrømsliggende Høvringsvatn også regulert, slik at vannføringen ved doseringsanlegget kan være atypisk for sidefeltet som helhet.

Det kan være et alternativ å kalke Høvringsvatn i kombinasjon med å flytte doseringsanlegget til nedstrøms Vikstølvatn eller å sette opp et nytt anlegg her. Men uansett må det plasseres et anlegg i den nedre elvestrekningen, og det gjør at alle andre tiltak blir unødvendige om målet kun er at vannkvaliteten i utløpet av dette sidevassdraget skal holde en god kvalitet. Det er gjort beregninger av nødvendige kalkmengder ved disse alternativene.

Et noe mer radikalt alternativ enn endringer i Hovlandsfeltet er å plassere det nye anlegget i utløpet av selve Uldalsgreina, f.eks. i tilknytning til Hanefossen kraftstasjon. Da vil en miste muligheten for å produsere en vedvarende god vannkvalitet i Hovlandselva, men kan til gjengjeld sikre en vedvarende god vannkvalitet inn i Herefossfjorden. Dette kan skje uavhengig av driften oppstrøms, og dermed gjøre at Herefossfjorden blir mindre utsatt på grunn av de driftsproblemene som er registrert hittil. Men forutsatt flytting av Klepslandanlegget (evt. nytt anlegg) til området ved Lisletveit i nedre del av Hovlandsåna og forsvarlig drift av doseringsanleggene, anser vi dette alternativet som mindre nødvendig.

#### Modellarbeidet

Det er nedlagt mye arbeid i å samle inn nødvendige data og kalibrere to ulike modeller. Begge modellene er egnet til å gjøre simuleringer av ulike forhold. De simuleringene som deretter er gjennomført er basert på et datasett av noe varierende kvalitet. Modellarbeidet har så langt bekreftet problemene med å ha et kalkdoseringsanlegg oppstrøms Vikstølvatn. Videre har modellresultatene vist at det ikke er realistisk å øke vannkvaliteten i utløpet av Herefossfjorden tilstrekkelig raskt ved å øke kalkdosene ved anleggene oppstrøms Herefossfjorden. Dette vil kunne ta flere uker og det er derfor helt nødvendig å holde en stabilt god vannkvalitet inn mot Herefossfjorden.

I perioder med lav vannføring vil det ta lang tid å kompensere for driftstans fordi kalken bruker lang tid på transporten nedover i vassdraget. Ved høy vannføring er det viktig å kjenne til elveutformingen for å kunne gjøre mer presise beregninger av transporttiden. Slike målinger bør derfor gjennomføres. Likeledes bør forholdene i vassdraget nedstrøms Herefossfjorden undersøkes nærmere med tanke på kalibrering av modellen. Det er usikkert om det er mulig å kompensere for økt lokal vannføring med overdosering ved anlegget på Søre Herefoss eller om det må settes opp et nytt anlegg for å hindre at sure episoder oppstår.

Modellen kan videreutvikles til en brukervennlig prognosemodell. Hvis en gjør det, vil en ha muligheten for å dosere kalk basert på nedbørvarsler og dermed ta høyde for problemer med å holde god vannkvalitet som skyldes tidsforsinkelser i vassdraget.



## Summary

Title: Optimization of liming strategy in the Tovdal watercourse.

Year: 2000

Author: A. Hindar, T. Tjomsland and R. Høgberget

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3863-8

A plan for liming of the Tovdalselva watercourse was produced by NIVA in 1991. Different liming alternatives were suggested, but a liming strategy which included upstream reaches was recommended. This would ensure good water quality for inland fish stocks in addition to Atlantic salmon. Liming of the river, mostly in accordance with the plan, was started in October 1996.

However, one lime doser was placed further upstream than recommended. This, together with technical problems for at least two of the dosers, resulted in large variations in water quality in the upper western part of the river system. Unsatisfying water quality there would eventually result in too large pressure on the lime doser upstream the salmon reaches of the river.

Also, the possibility of simulating different critical hydrological events was discussed. It was suggested that further work with models would result in a more optimal dosing, both according to water quality requirements and costs.

The report documents effects of unsatisfying operational conditions for the dosers, goes through alternative liming strategies in the upper western part of the river system and presents the calibration of two simulation models and the results of the first simulations.

### Operational conditions

A systematic control of the lime dosers, which was initiated and started up by NIVA in 1999, improves the possibility to reveal and adjust inaccurate lime dosing. This control, together with a chemical monitoring program in the river, showed major problems with lime dosing for at least two of the dosers. The technical quality of the dosers and probably also the routine inspection of the dosers should be improved.

### Liming strategy of the upper western part

Unappropriate placement of the Klepsland lime doser resulted in large variations in water quality in this part. This lime doser or a new one should be placed downstream Vikstølvatn, a regulated lake which is part of the Uldal regulation for the production of hydroelectric power. A combination with liming of lake Høvringsvatn may be possible, but a lime doser in the lower part of this subcatchment is nevertheless necessary.

### Status of the model work

Available data of runoff, water chemistry, liming and environmental data have been gathered and systematized for the calibration of two models. Both the QUAL2E model for rivers and the FINNECO model for lakes may be used for simulations, but the results have so far been limited by moderate quality of the input data.

The simulations confirm the problems with variable water quality due to the unappropriate placement of one of the lime dosers. They also show that too low pH of the output water from lake Herefossfjorden may not be compensated for during few weeks by increasing the lime dosing upstream the lake. Acceptable water quality (pH 6.0) of the upper parts of the river system is therefore

necessary. This puts additional emphasis on the importance of a change of liming strategy in the Uldal subcatchment.

The model may also be calibrated for more detailed simulations of the river downstream lake Herefossfjorden. This part, which represents the most important spawning area for Atlantic salmon, has experienced reduced water quality in periods of special hydrological conditions in conjunction with heavy local rain events during periods with frozen soil. It remains to see if this may be compensated for by increased dosing at Søre Herefoss.

The models may be developed further. By use of weather forecasts and knowledge of time delays for added limestone powder within the river system, more optimal lime dosing may be the result.

# 1. Bakgrunn

Tovdalselva var tidligere en meget god lakseelv, men var i mange år så påvirket av sur nedbør at laksebestanden etterhvert døde ut, slik tilfellet har vært i en rekke elver langs Sørlandskysten (Hesthagen og Hansen 1991).

NIVA utarbeidet i 1991 kalkingsplan for Tovdalsvassdraget (Hindar 1991). I planen ble det foreslått ulike alternativer, men hovedalternativet innebar at det ble satt opp kalkdoserere på seks ulike steder i vassdraget. Det ville beskytte fiskebestander i øvre deler i tillegg til laks og sjøaure. I oktober 1996 ble vassdraget fullkalket, og planen fra 1991 ble langt på vei fulgt. Avviket fra planen var at et doseringsanlegg i øvre del av Tovdalsgreina (ved Austenå) ble sløyfet og at dosereren i Hovlandsåna ble satt opp helt oppe ved Høvringsvatn (Klepsland) og ikke i nedre del av dette sidevassdraget.

Herefossfjorden ble ikke kalket opp fordi man mente vannkvaliteten relativt raskt ville bedre seg i denne innsjøen. Dette var en riktig vurdering fordi gjennomstrømningstiden er kort. Vannkvaliteten ville derfor bygge seg raskt opp i forhold til den tiden det tar å reetablere forsurende fiskebestander og andre utsatte organsimegrupper.

I tiden etter kalkingsstart har det vist seg at uheldig plassering av Klepslandanlegget og driftsavbrudd i flere av anleggene har ført til at vannkvaliteten i øvre deler ikke har vært fullgod (Hindar 1998; 1999). Det var ikke noe stort problem i nedre deler fordi det i denne perioden ikke var laksesmolt i vassdraget, men ville bli det etterhvert fordi smolten må ha høyere pH. Med så lav pH, og dermed mindre bufferkapasitet i vannet, er det også større fare for uakseptabelt lav pH ved uheldige hydrologiske forhold enn hvis pH i utgangspunktet er høyere. Mulighetene for overbelastning på det nederste kalkdoseringsanlegget ville være store hvis forholdene ikke ble rettet opp før pH-målet skulle økes til smoltkvalitet (pH 6.2-6.4).

Mulighetene for å simulere kalkingeffekter ved forskjellige hydrologiske situasjoner ved hjelp av en vassdragsmodell ble også brakt på banen. Resultatet av et slikt modellarbeid kan være en samkjøring av dosererne med henblikk på å oppnå enda mer optimal utnyttelse av kalken. Det kan gjøres ved å kalibrere en eksisterende modell til allerede målte hydrologiske og vannkjemiske forhold i vassdraget. Erfaring med slikt modellarbeid i forbindelse med vassdragskalking kan med relativt enkle grep brukes også i andre kalkede vassdrag med komplisert hydrologi og/eller flere kalkdoserere.

En annen fordel med bruk av en slik modell kan være å simulere endringer i kalkingsstrategi og kalkdosering som en antar bedring i forsuringssituasjonen vil medføre. Mindre sur nedbør og dermed mindre overskridelser av naturens tålegrenser kan få store konsekvenser for kalkbehovet i Tovdalsvassdraget (Hindar og Henriksen 1995; Hindar et al. 1998). Beregninger av slike scenarier må ta hensyn til den tidsforsinkelsen som langvarig forsuring medfører; selv om nedfallet blir mindre, vil det ta tid før naturen kommer i en ny likevekt. Vannkvalitetsforbedringen vil dermed kunne forsinkes, slik det er vist for både Vikedalselva og Tovdalsvassdraget ved bruk av forsuringmodellen MAGIC<sup>1</sup> (Wright og Henriksen 1999).

Det knytter seg en del usikkerhet til hvor godt egnet modeller kan være i denne sammenheng. Mange modeller krever et omfattende datagrunnlag for kalibrering og resultatet vil være avhengig av om slike data er tilgjengelig. Ved vassdragskalking samles vannkjemiske data som analyseres på laboratorium, i enkelte tilfeller kontinuerlige pH-data som måles i forbindelse med styring og kontroll av kalkdosering og i forbindelse med overvåking av vannkvalitet. Hydrologiske data samles ved doserer og i NVEs nett av målestasjoner. Data for doserte kalkmengder er samlet i varierende grad, og det kan være

---

<sup>1</sup> MAGIC står for Model of Acidification of Groundwater In Catchments

vanskelig å få tak i døgnverdier hvis ikke dette måles direkte med veieceller under kalksiloen. I vassdrag med innsjøer eller innsjøliknende utvidelser av elva vil sjiktningforholdene i disse bassengene avgjøre hvor mye vanntransporten forsinkes gjennom vassdraget. Slike forhold bør derfor være kjent.

Den foreliggende rapporten presenterer først vassdraget og de vannkjemiske resultater av kalkingen til og med 1999. Resultatet av det foreliggende prosjektet er tredelt, og først beskrives driftsforhold ved ulike doserere og behov for tiltak. Deretter blir det gitt en vurdering av kalkingsstrategien i Uldalsgreina med anbefalinger og siste del omfatter det modellarbeidet som er gjort foreløpig.

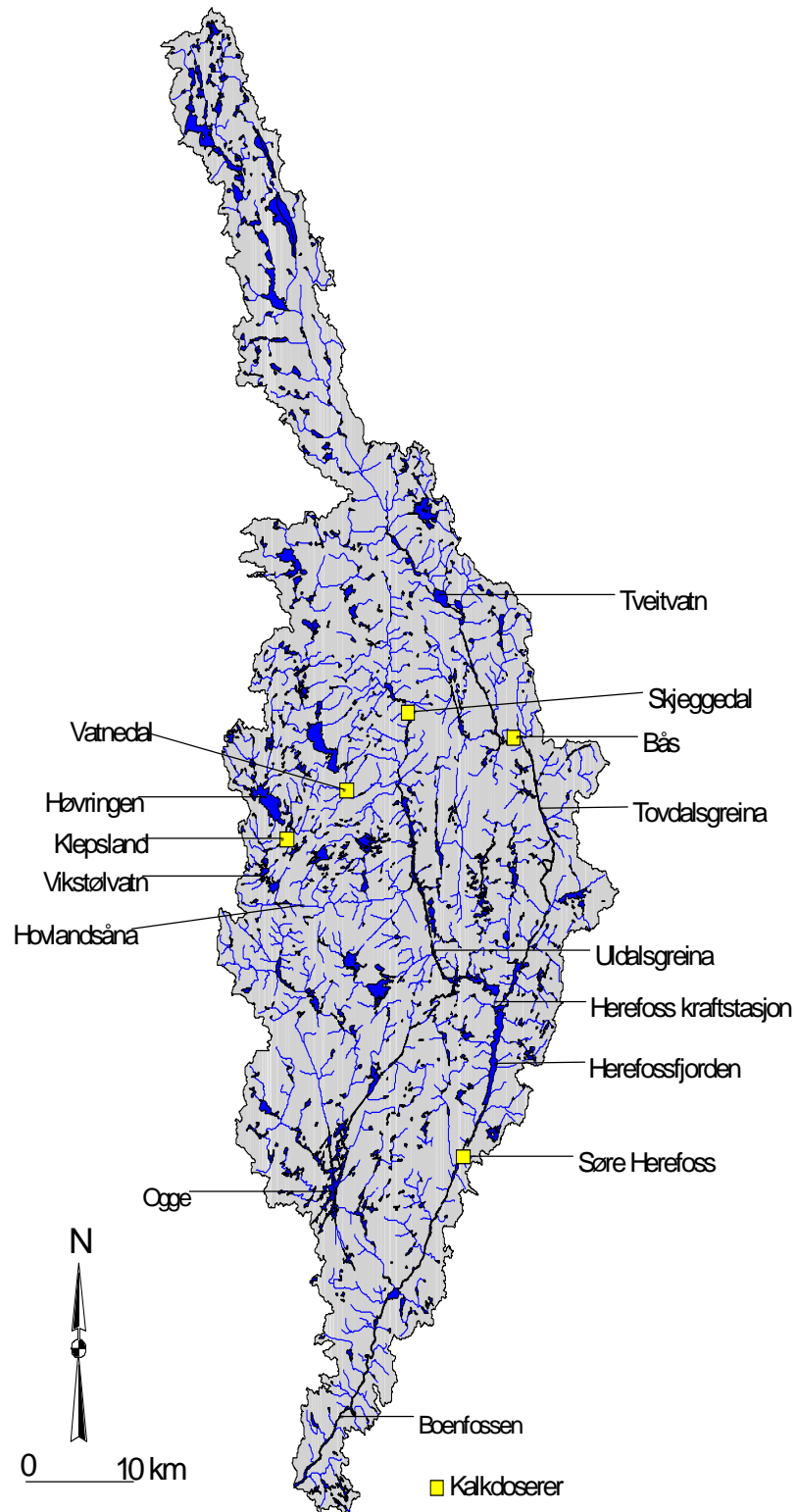
## 2. Tovdalsvassdraget

### 2.1. Beskrivelse av vassdraget

Tovdalsvassdragets nedbørfelt med plassering av kalkdoserere er vist i **Figur 1**. Vassdraget er todelt i øvre del, med Tovdalen i øst og Uldalsgreina i vest. Begge disse renner ut i Herefossfjordens nordre del. Karakteristiske data er gitt i **Tabell 1** og **Tabell 3**.

**Tabell 1.** Karakteristiske data for Tovdalsvassdraget.

<i>Vassdragsnr, fylke:</i>	020, Telemark, Aust-Agder og Vest-Agder
<i>Kartreferanse, utløp:</i>	4472-64525, kartblad 1511 II
<i>Areal, nedbørfelt:</i>	1885 km <sup>2</sup>
<i>Spesifikk avrenning:</i>	34.5 l/s/km <sup>2</sup>
<i>Middelvannføring:</i>	65 m <sup>3</sup> /s
<i>Regulering:</i>	Uldalsgreina i vest er regulert (Hanefossen kraftstasjon). Boenfossen er regulert til kraftproduksjon for Boen Bruk.
<i>Lakseførende strekning:</i>	Ca. 35 km til Herefossfjorden
<i>Kalking:</i>	Hovedprosjektet med doserere ble satt igang 24. oktober 1996. Ogge (areal 11.6 km <sup>2</sup> ) ble kalket i juli 1996 og september 1997



**Figur 1.** Tovdalsvassdraget med de fem dosererne inntegnet.

## 2.2. Nedbør og hydrologiske forhold

I dette avsnittet er nedbørforholdene i perioden 1997-1999 vist. **Figur 2** og data i **Tabell 2** viser at nedbørmengdene i de tre årene har vært svært variable, med lite nedbør i 1997, omlag normalt i 1998 og mye nedbør i 1999.

**Tabell 3** viser nedbørfeltarealer og spesifikk avrenning for de ulike delfelt i Tovdalsvassdraget. Oggeområdet, med en mindre kalkdoserer ved Kateråsåna og innsjøkalking i Ogge, representerer 306 km<sup>2</sup> eller 16.5 % av vassdraget. Området nedstrøms Herefossfjorden er omlag like stort. I øvre del er Tovdalsgreina (øvre Tovdal og Tovdal) noe større enn Uldalsgreina (Skjeggedal og Høvringen-Mjåland).

**Tabell 2.** Årsnedbør som mm/år og prosent av normal nedbør ved Herefoss meteorologiske stasjon.

År	Årsnedbør	% av normal nedbør
1997	1001	77
1998	1383	107
1999	1599	124

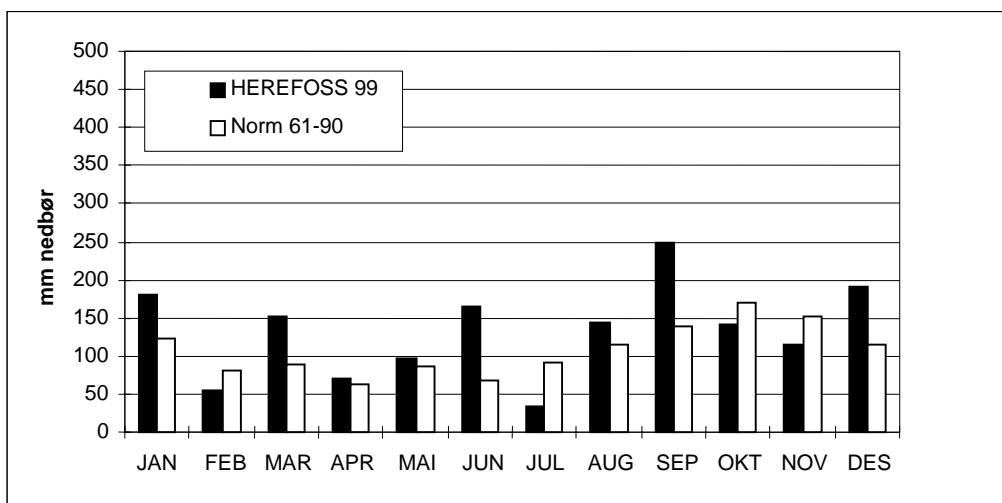
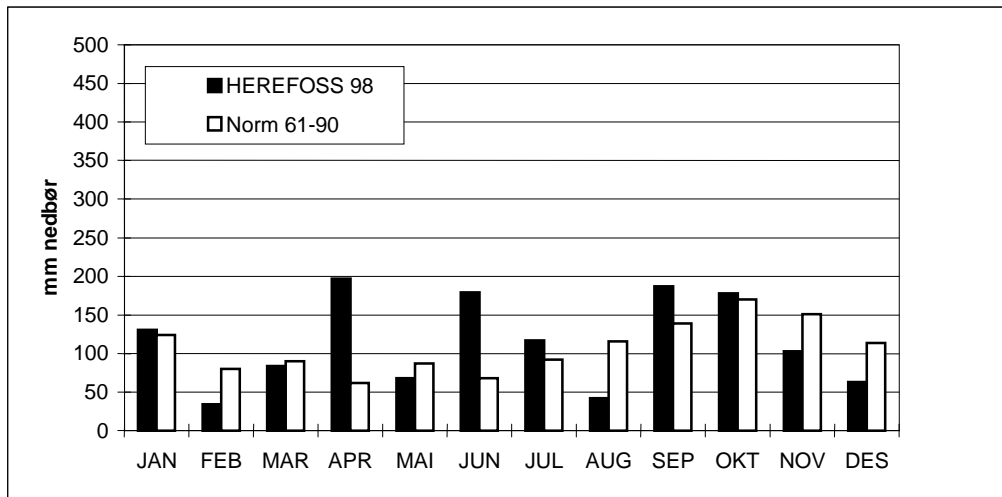
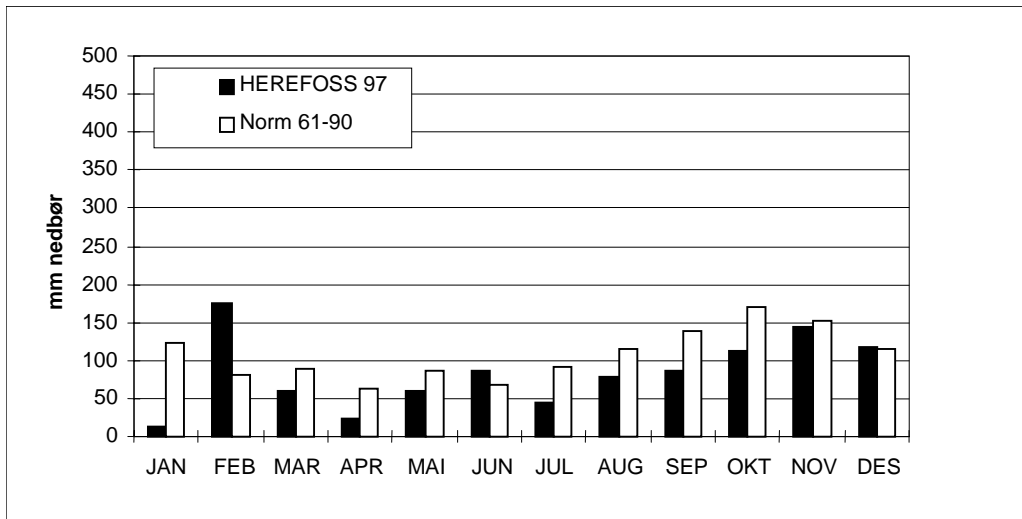
**Tabell 3.** Nedbørfeltareal og spesifikk avrenning i ulike vassdragsavsnitt.

	Areal km <sup>2</sup>	Spes. avr. l/s*km <sup>2</sup>
Øvre Tovdal	274	36.6
Tovdal	374	32.7
Skjeggedal	288	33.6
Høvringen-Mjåland	297	34.6
Ogge	306	37.6
Herefoss til sjøen	317	34.9
Sum hele vassdraget:	1856	35.0

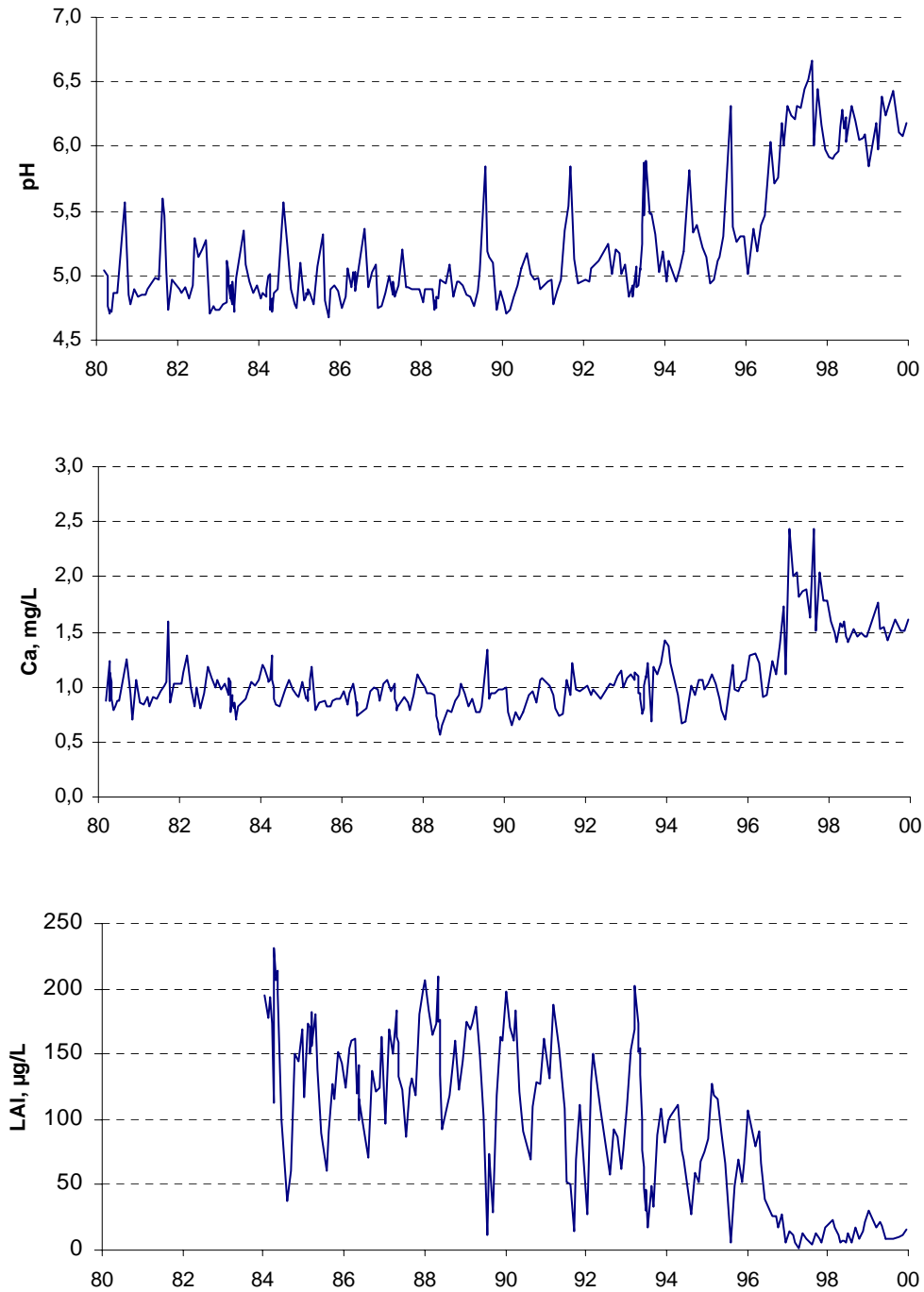
## 2.3. Karakteristisk vannkjemi

Vannkjemi ved Boenfossen fram til 2000 er vist i **Figur 3**, mens karakteristisk vannkjemi ved ulike stasjoner i prioden 1995-2000 er vist i **Figur 4** og **Figur 5**. I **Figur 6-Figur 8** er resultater fra kontinuerlig måling av pH ved tre ulike stasjoner i 1999 vist.

Figurene viser den generelle vannkvalitetsforbedringen som er skjedd i vassdraget fram til kalking og effektene av kalking fra høsten 1996. De viser også problemene med å oppnå god vannkvalitet i Uldalsgreina. De betydelige vannkvalitetsvariasjonene som er omtalt kommer tydelig fram i **Figur 8**.

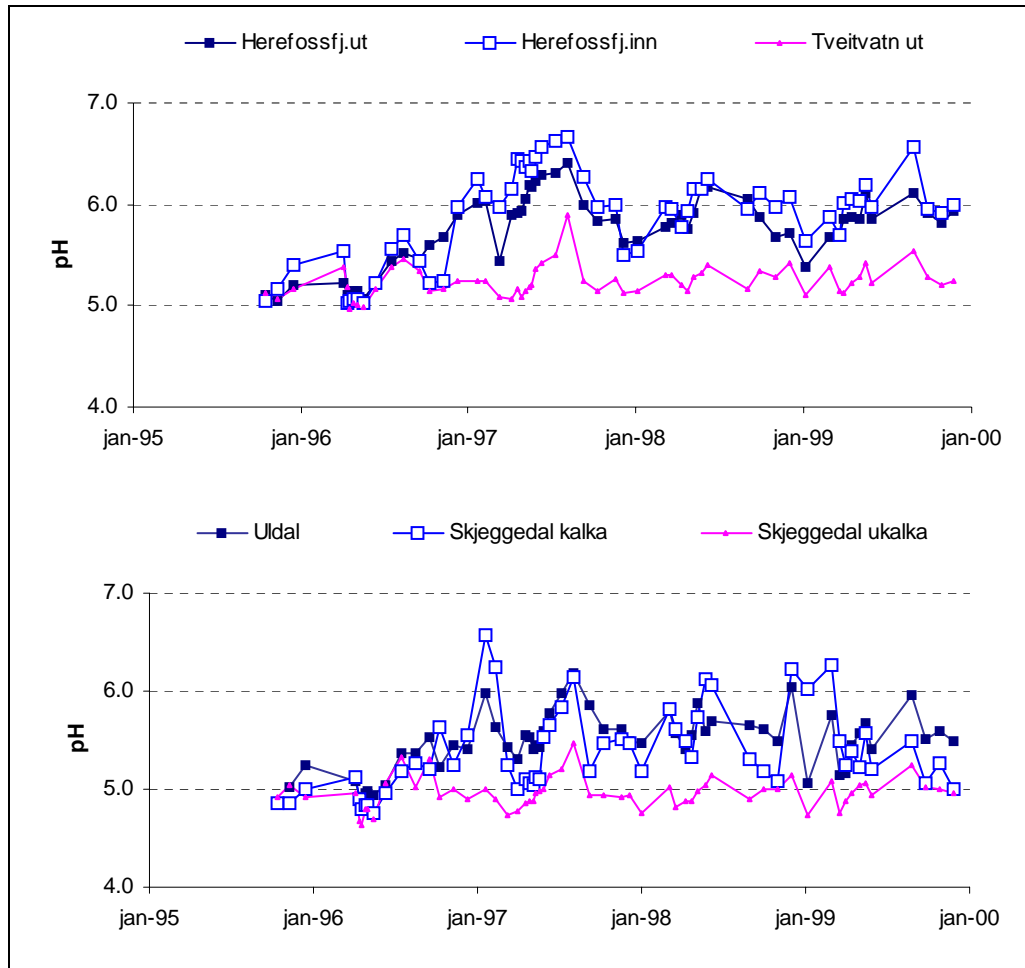


**Figur 2.** Månedlig nedbør i 1997, 1998 og 1999 ved meteorologisk stasjon Herefoss. Normal månedsnedbør for perioden 1961-1990 er angitt (DNMI 1998-2000).

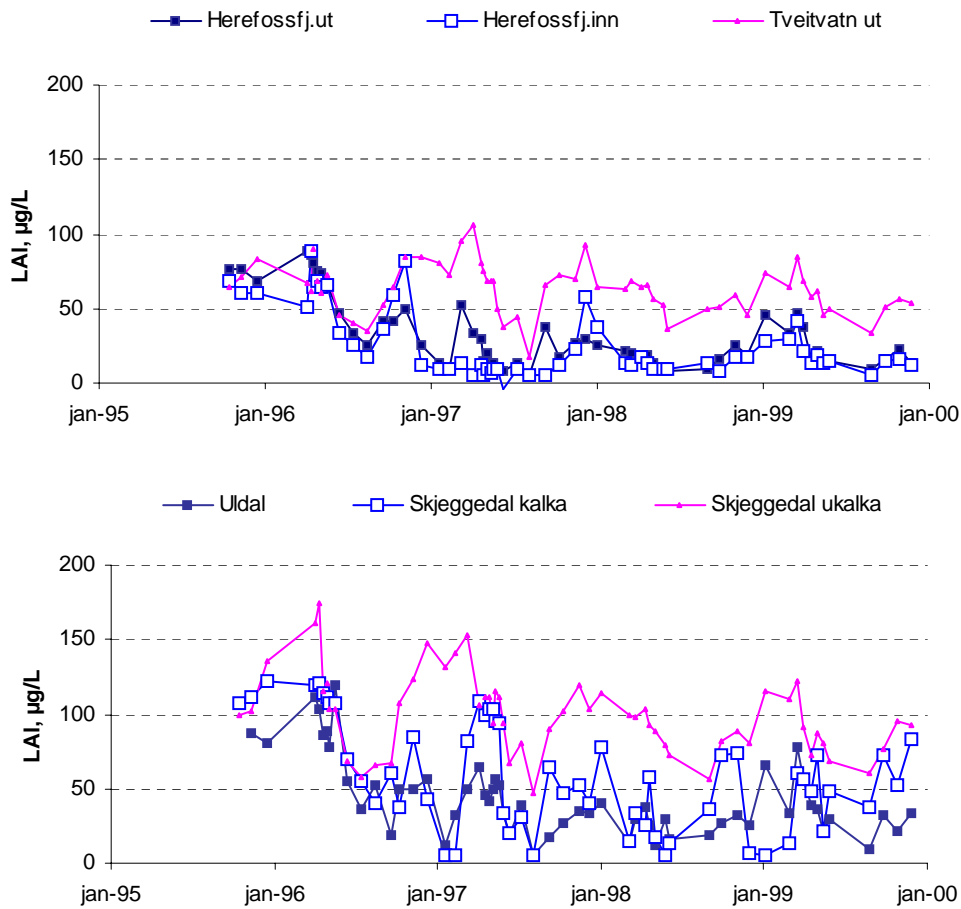


**Figur 3.** Utvikling i pH, kalsium og labilt aluminium i perioden før kalking (fram til oktober 1996) og i perioden etter kalking ved Boen bruk. Legg merke til vannkvalitetsforbedringen, med økning i pH og reduksjon i LAl, forut for kalking.

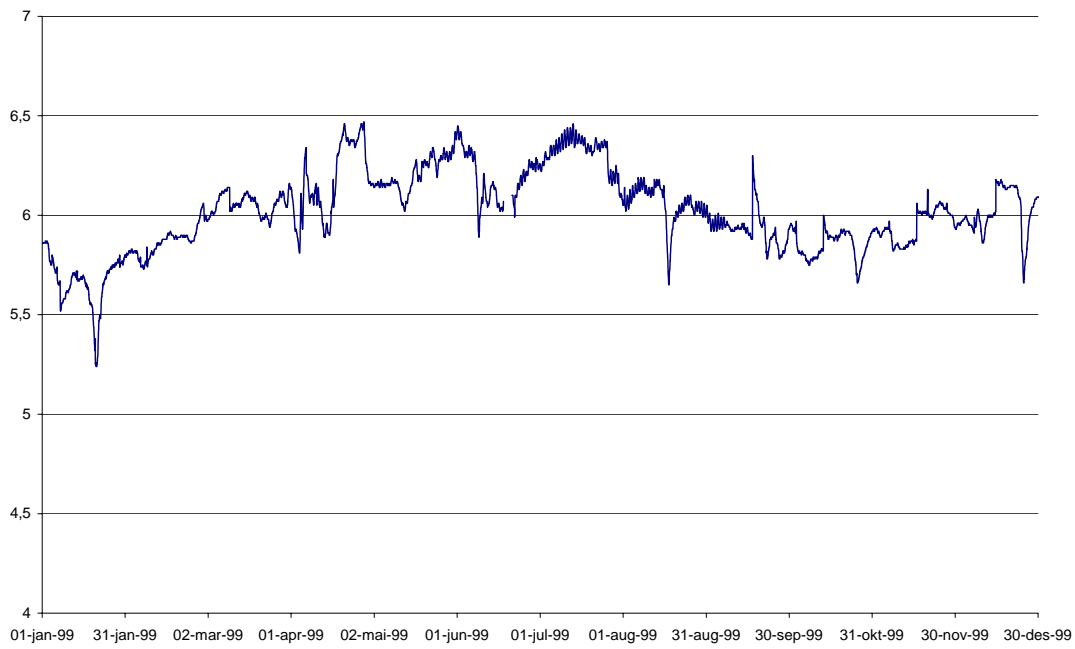




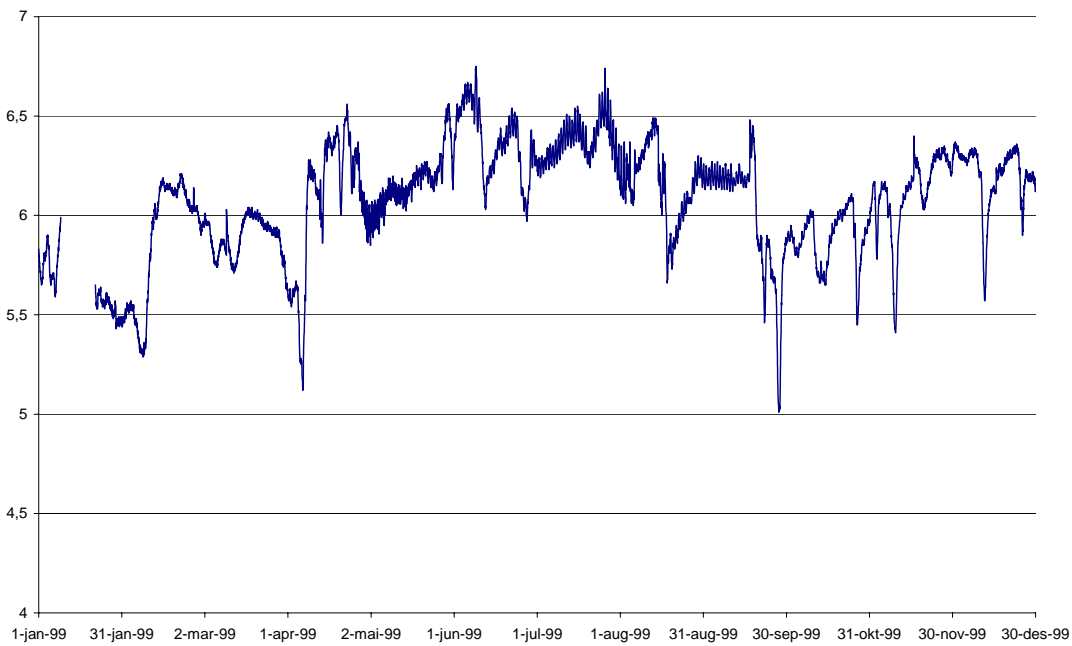
**Figur 4.** pH ved referansestasjonene Tveitvann-ut i østre del og Skjeggedal-ukalka i vestre del, samt Herefossfjorden-ut (tilløpet fra nordøst), utløpet av Herefossfjorden, Skjeggedal etter kalking og Uldalsgreina før samløpet med Rettåna fra Ogge. Kalking kom igang i oktober 1996.



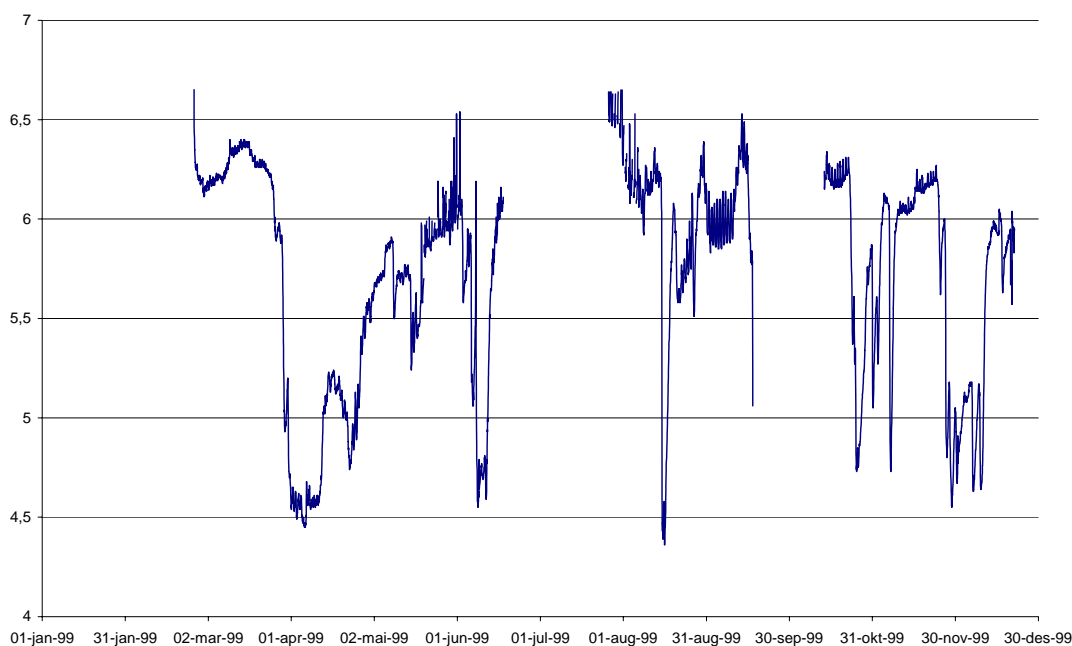
**Figur 5.** Labilt aluminium ved referansestasjonene Tveitvann-ut i østre del og Skjeggedal-ukalka i vestre del, samt Herefossfjorden-ut (tilløpet fra nordøst), utløpet av Herefossfjorden, Skjeggedal etter kalking og Uldalsgreina før samløpet med Rettåna fra Ogge. Kalking kom igang i oktober 1996.



**Figur 6.** Resultater fra kontinuerlig pH-måling ved Boen Bruk i 1999.



**Figur 7.** Resultater fra kontinuerlig pH-måling ved Gauslå i 1999.



**Figur 8.** Resultater fra kontinuerlig pH-måling i Hovlandsåna i 1999.

## 2.4. Kalkingsstrategi og gjennomført kalking

Kalkingsstrategien for Tovdalsvassdraget er beskrevet i kalkingsplanen (Hindar 1991). Prinsippene for oppstrøms og nedstrøms styring etter pH, slik det gjennomføres i Tovdalsvassdraget, er gjennomgått av Hindar og Henriksen (1992) for Vikedalselva.

Data for brukte kalkmengder har NIVA innhentet fra Fylkesmannen i Aust-Agder og framstillingen under er hentet fra NIVAs bidrag til DNs årsrapporter.

### 2.4.1. Kalking i 1997

I 1997 ble 10 innsjøer kalket med tilsammen 1879 tonn NK3 (86 %  $\text{CaCO}_3$ ) kalk, herav Ogge med 1500 tonn.

I tillegg ble det kalket fra følgende doserere:

Bås:	1585 tonn NK3
Skjeggedal:	171 tonn NK3
Vatnedalsheia:	238 tonn NK3
Kateråsåna:	56 tonn NK3
Kleplslandsåna:	466 tonn NK3
Søre Herefoss:	1226 tonn NK3

Total kalkmengde fra dosererne ble dermed 3742 tonn, hvorav 42 % ble dosert fra Bås. I følge kalkingsplanen (Hindar 1991) er det estimert et årlig kalkforbruk ved full måloppnåelse på 5480 tonn fra doserere, hvorav 40.5 % fra Bås. Det ble i 1997 brukt totalt 68 % av estimert midlere kalkmengde ved full måloppnåelse ved dosererne. Kostnaden for kalkdosering i 1997 var trolig omlag 1.65 mill. kroner, langt lavere enn beregnet i kalkingsplanen både pga lav tonnpris og redusert vannkvalitetsmål. Innsparingen var omlag 765.000 kroner ved en midlere kostnad (kalk, transport og moms) på kr. 440/tonn kalk (ref. kalkpris: Ståle Ellingsen, Miljøkalk).

### 2.4.2. Kalking i 1998

I 1998 ble 10 innsjøer kalket med tilsammen 264,3 tonn NK3 kalk (86 % CaCO<sub>3</sub>).

I tillegg ble det kalket fra følgende doserere:

Bås:	1320 tonn NK3
Skjeggedal:	235 tonn NK3
Vatnedalsheia:	267 tonn NK3
Klepslandsåna:	684 tonn NK3
Søre Herefoss:	302 tonn NK3
Kateråsåna:	106 tonn NK3

Total kalkmengde fra dosererne ble dermed 2914 tonn, mot 3742 tonn i 1997, hvorav 45 % ble dosert fra Bås (42 % i 1997). Dette til tross for større avrenning i 1998. Årsaken var kalking til lavere pH etter innkjøringsåret 1997. Andelen som ble dosert ved Bås i 1997 og 1998 (og vannkvalitetsdata) tyder på at det har skjedd en relativ underdosering i Uldalsgreina. Den store dosereren ved Søre Herefoss ga lite kalk fordi vannkvalitetsmålet var lavt i 1998.

### 2.4.3. Kalking i 1999

I 1999 ble 10 innsjøer kalket med tilsammen 1851 tonn NK3 kalk (86 % CaCO<sub>3</sub>). Av dette utgjorde kalkingen av Ogge 1600 tonn.

En oversikt over veiesedler fra Miljøkalk gir et totalt forbruk i 1999 på 5179 tonn, fordelt på følgende mengder:

Bås:	2019 tonn NK3
Skjeggedal:	167 tonn NK3
Vatnedalsheia:	200 tonn NK3
Klepslandsåna:	636 tonn NK3
Søre Herefoss:	2078 tonn NK3
Kateråsåna:	79 tonn NK3

Kalkmengden i 1999 var svært nær kalkingsplanens totale mengde (5480 tonn), men vannmengdene var nesten 25 % over normalen i 1999, se under hydrologi. Kalkmengden ved Søre Herefoss var atskillig større i 1999 enn tidligere år (302 tonn i 1998) fordi vannkvalitetsmålet (pH-målet) var høyere. Også ved Bås har doseringen vært vesentlig høyere, mens doseringen fra de tre dosererne i Uldalsgreina var 85 % av 1998-doseringen. Andelen som ble dosert fra Bås (39 %) var svært nær kalkingsplanens andel (40,5 %).

## 3. Drift av doserere

En forutsetning for bedret vannkvalitet for laks er at kalkdosererne går hele året og at de leverer en kalkdose som avsyrer et gitt vassdragsavsnitt. Erfaringene med kalkingen i Tovdalsvassdraget viser at driften i perioden 1997-1999 ikke har gitt tilstrekkelig god vannkvalitet. Spesielt gjelder dette Uldalsgreina, der tre av dosererne er plassert. Driftsproblemer kan skyldes tekniske forhold som er av en slik art at det egentlig kreves mere tilsyn og vedlikehold enn forutsatt. Det kan derfor ofte være en kombinasjon av teknisk og menneskelig svikt som ligger bak.

Det ble i 1996 og 1997 gjennomført et forsøk med driftskontroll på de fem store kalkdosererne. Driftskontrollen ble beskrevet av Høgberget og Hindar (1998). I mai 1999 ble det iverksatt ordinær driftskontroll etter avtale mellom Styringsgruppa for kalking av Tovdalsvassdraget, Fylkesmannen i Aust-Agder og NIVA. Gjennomgangen i dette kapittelet bygger særlig på den dokumentasjonen som er framkommet i 1999.

### **3.1. Beskrivelse av driftsforhold**

Det er gjennom driftskontrollen av kalkdoseringsanlegg mulig å følge driften av anleggene fra dag til dag. Systemet er basert på registrering av kalkforbruk som vektreduksjon i kalkdoseringsanleggets beholdningstank (veiceller er plassert under kalksiloen) og vannføringen ved kalkingspunktet. I tillegg registreres pH-verdiene ved pH-styrte anlegg. For detaljert informasjon om systemets oppbygging og virkemåte refereres til rapporten Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg (Høgberget og Hindar 1998).

I Tovdalselva er det montert driftskontroll på fire anlegg. Disse anleggene er Klepsland, Skjeggedal, Bås og Søre Herefoss. På grunn av defekte vekter på kalkdosereren i Skjeggedal mangler vi driftsdata fra denne dosereren. Kalkdoseringsanlegget på Søre Herefoss er et pH-styrt anlegg der pH måles både oppstrøms og nedstrøms dosereren.

De vannføgingsstyrte kalkdoseringsanleggene er satt til å dosere med faste kalkdoser. Disse dosene beregnes på grunnlag av hvor stor del av nedbørfeltene de skal avsyre og en kalk-pH titeringskurve for den aktuelle vannkvaliteten på hvert enkelt sted. Ved å sammenlikne dose målet med den faktiske dose som registreres via driftskontrollen får man et mål på effektiviteten til anleggene.

Siden oppstarten av kalkingstiltaket i 1996 har det vært flere driftsproblemer, men for å gi en mest mulig ajourført framstilling av forholdene har vi tatt utgangspunkt i driften i 1999. I dette året er det også best dokumentasjon på hvordan driften har vært. I det følgende gis en gjennomgang av tre anlegg med bakgrunn i driftskontrollen. Disse er anleggene ved Bås, Søre Herefoss og Klepsland.

For anlegget i Skjeggedal foreligger lite dokumentasjon om driftsforhold annet enn vannkjemiske data. Disse viser imidlertid betydelige problemer med driften helt siden starten, og det bør være et mål å endre denne situasjonen. Hvis problemene skyldes både selve anleggets utforming og driftsrutinene, bør begge deler rettes opp.

Det er lite informasjon om anlegget i Vatnedal og også liten vannkjemisk dokumentasjon. Det medfører at det er vanskelig å beskrive driften.

#### **3.1.1. Driftsforhold på Bås**

Dette kalkdoseringsanlegget står for 2/5 av all kalktilsetning til Tovdalsvassdraget. Det er derfor avgjørende at anlegget fungerer tilfredsstillende slik at det blir en optimal effekt av kalkingstiltakene i vassdraget. Anlegget er fullautomatisert og kalkdoseringen reguleres etter variasjonen i vannføring. Beregnet dose som anlegget skal gi har vært 4.7 g kalksteinsmel/m<sup>3</sup>.

For 1999 har vi en relativt god oversikt over hvordan Bås-dosereren har fungert. En logger har gjennom store deler av året registrert vekten av kalksteinsmel på anlegget og vannstanden i elva. På bakgrunn av disse dataene er daglig gjennomsnittlig dose beregnet. Dosen har gjennom vinter og vår vært 2-4 g kalk/m<sup>3</sup>. Anlegget hadde i denne perioden enkelte stopp. I begynnelsen av mars sto anlegget stille i fire dager, men dette skjedde på lav vannføring (6 m<sup>3</sup>/s) slik at svikten i kalkbidraget var minimal. Den 4. april stoppet anlegget igjen. Denne gangen var det stor vannføring (35 m<sup>3</sup>/s) slik

at ca. 20-25 tonn kalk ikke ble dosert i løpet av de 2.5 dagene stansen varte. Dette gjenfinnes i pH-kurven (lav pH) fra Gauslå (**Figur 7**).

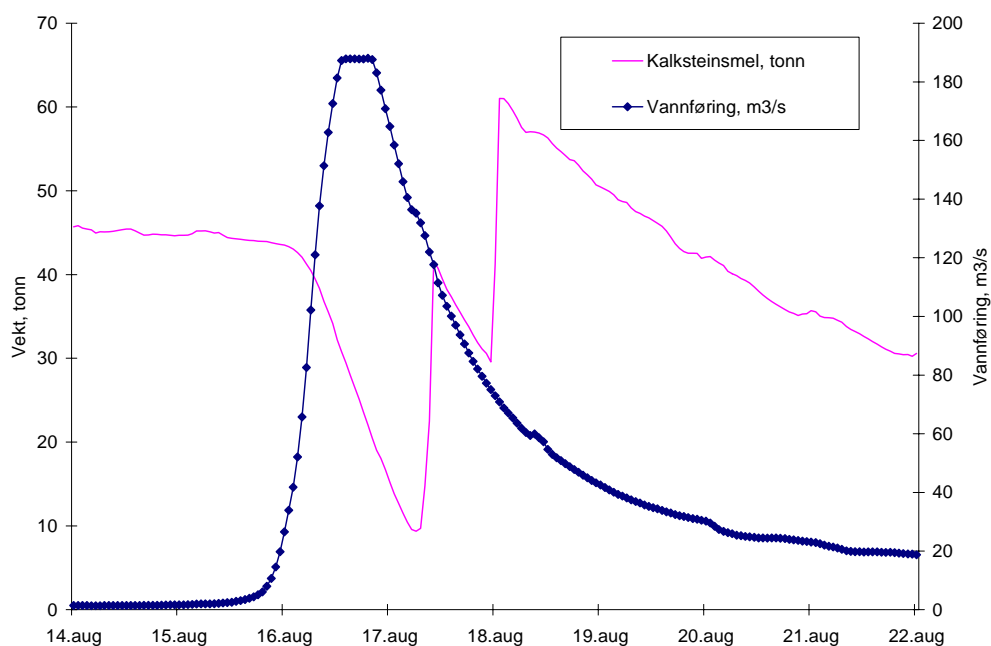
På denne tiden viste pH-data fra kalkdoseringsanlegget på Søre Herefoss at Herefossfjorden hadde urovekkende lav pH i overflatevannet. Utløpet av Herefossfjorden viste verdier under pH 5.5. Denne situasjonen kunne bli vanskelig fordi vårflom kombinert med høye pH-krav nedstrøms dosereren (pH 6.2) lett kunne føre til overskridelse av kapasiteten på anlegget. For om mulig å avhjelpe situasjonen ble det bestemt å bruke Bås-dosereren til ekstra kalkdosering i håp om at kalken derfra ville lagre seg inn i overflatevannet i Herefossfjorden og nå utløpet før vårflommen satte inn. I det øyeblikk innsjøen sirkulerte ville denne eventuelle effekten opphøre. Bås-dosereren ble satt til å dosere  $9 \text{ g/m}^3$  i denne perioden. Døgnmiddelverdiene viser at doseringen ikke har nådd dette målet. De tre siste ukene i april ble det allikevel gjennomsnittlig dosert  $5 \text{ g/m}^3$ , innbefattet ett døgn stopp på anlegget.

I mai utviklet det seg en feil i veiesystemet på kalkdosereren som medførte at vi mistet oversikten over doseringen. NIVA etablerte i mai 1999 permanent driftskontroll på kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. På grunn av ufullstendig vannføringstabell og feilen ved veiesystemet på Bås-anlegget ble imidlertid ikke driftskontrollen effektiv før medio juli.

Data fra driftskontrollen viser at anlegget i lange perioder ikke har gitt den dosen som var forutsatt. Det har også vært for lite utdosert kalk som følge av mekaniske feil og mangler. To lange stopp (20-27. juli og 30. juli-1. august) hadde liten praktisk konsekvens på grunn av lav vannføring ( $2\text{-}6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Anlegget ble da styrt med en dose på  $3.2 \text{ g/m}^3$ . Dette er forskjellig fra tilrådingen i kravspesifikasjonene fra anleggsperioden ( $4.7 \text{ g kalksteinsmel/m}^3$ ). Den faktiske dosen var også i området  $3 \text{ g/m}^3$  og noe lavere.

En voldsom flom under sommerens tørkeperiode medførte vannføringsøkning fra  $3.5$  til  $187 \text{ m}^3/\text{s}$  i løpet av ett døgn, se **Figur 9**. I denne perioden fungerte kalkdosereren tilfredsstillende. Det vises i figuren ved at vekten av kalksiloen først gikk kraftig ned for deretter å øke to ganger som resultat av ny påfylling av kalk.

Høstregnet begynte ca. 17. september, og under den første flommen var det en 30 timers stopp (29. september). Det medførte at 25 tonn kalk ikke ble dosert. Det var også flere mindre stopp i september uten at det påvirket mengden av totalt utdosert kalk i vesentlig grad. Den 8. oktober stoppet anlegget i 4 dager og ca. 21 tonn kalk ble ikke dosert ut.



**Figur 9.** Storflom ved Bås i august 1999. Vekten av kalksteinsmelet i siloen gjør et plutselig stort avtak som medfører fylling av siloen to ganger i løpet av episoden. Anlegget fungerte som det skulle. Vannføringskurven er flat i toppen fordi måleområdet overskrides.

Den 22. oktober ble styringssignalet på kalkdosereren forandret til ønsket dose på  $4.7 \text{ g/m}^3$ . Fordi denne dosen faktisk ikke ble oppnådd, ble styringssignalet øket enda en gang den 17. november til  $6 \text{ g/m}^3$ . I begynnelsen var utdosering ikke mer enn ca.  $4 \text{ g/m}^3$ . Senere økte den til  $5 \text{ g/m}^3$ . To stopp på ca. 1 døgn varighet ble registrert i perioden fra 22. oktober til nyttår. Reaksjoner på alle disse stoppene sees tydelig på pH-kurven fra Gauslå.

I år 2000 fortsatte doseringen etter et styresignal tilsvarende  $6 \text{ g/m}^3$ . Utover vinteren økte også den faktisk gitte dose til  $6 \text{ g/m}^3$ . Denne overdoseringen var ønsket fordi man ville tilføre Herefossfjorden større mengder kalk enn året før. Erfaringene var at kalkdosereren på Søre Herefoss kan bli overbelastet ved stor flom og lav pH.

Driftskontrollen for dette anlegget viser at det periodevis er problemer med å dosere den kalkdosen anlegget er innstilt for å dosere. Den uavhengige driftskontrollen, som blant annet er basert på reelt vekttap av kalk, viser hvor store avvik som forekommer. Denne kontrollen er derfor avgjørende for å gi en konstant kalkmengde til de nedenforliggende deler av vassdraget. At dette er nødvendig viser simuleringene i denne rapporten; å kompensere for underdosering av Herefossfjorden med økt kalktilførsel fra oppstrømsdoserere tar alt for lang tid til å hindre lav pH ut av Herefossfjorden.

### 3.1.2. Driftsforhold på Søre Herefoss

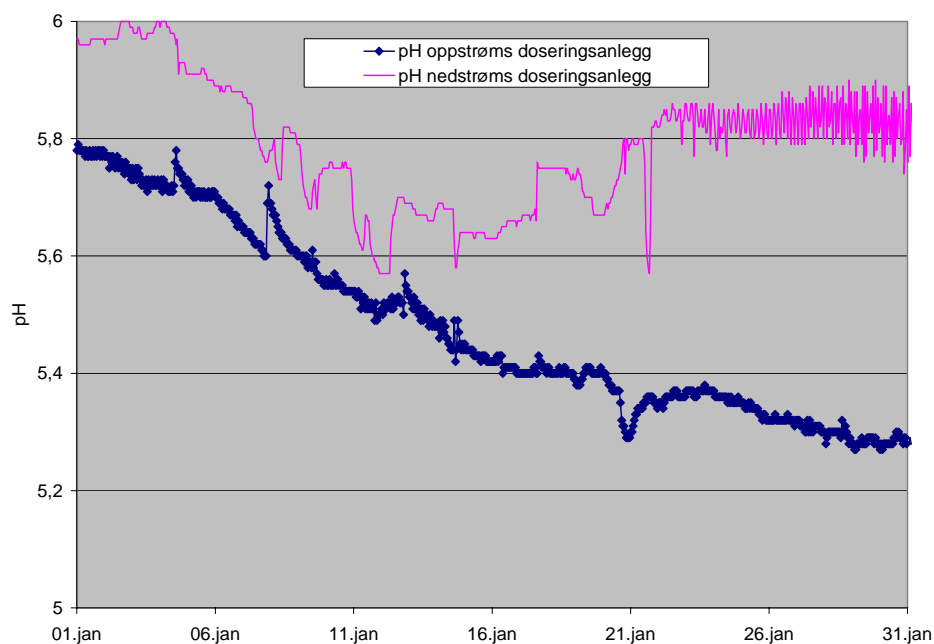
Søre Herefoss kalkdoseringsanlegg er et pH-styrt kalkdoseringsanlegg. Det vil si at anlegget tar hensyn til vannføring og pH på vannet både oppstrøms og nedstrøms dosereren. Kalkdoseringsanlegget kan således styres slik at en fast pH-verdi oppnås nedstrøms anlegget. Denne målestasjonen er plassert 800 m nedenfor kalkdoseringsanlegget og sender data kontinuerlig opp til anlegget i et feed-back system (Hindar og Henriksen 1992).

Før laksesmolt ble produsert i vassdraget nedstrøms Søre Herefoss var pH-målet for hele vassdraget pH 5.8. I begynnelsen var det en del innkjøringsproblemer ved programmering av riktige doseringer



og oppgraderingstider i forbindelse med styringen av anlegget. Toleranseavvikene var også slik at det ikke ble tatt spesielle hensyn under en episode i januar 1999, da pH på Boen (automatisk pH-overvåkingsstasjon) nederst i vassdraget sank til pH 5.3. Episoden blottla også det forhold at kalkingsstrategien for vassdraget ikke fanger opp plutselige forsureninger som følge av flom i nedre deler av vassdraget ved moderat tilførsel fra Herefossfjorden.

Episoden i 1999 førte til at det ble satt strammere grenser for både toleranseavvik og automatisk styringskommando på kalkdoseringsanlegget. Dette resulterte i jevnere mål-pH på målestasjonen nedstrøms kalkdoseringsanlegget, se **Figur 10**.



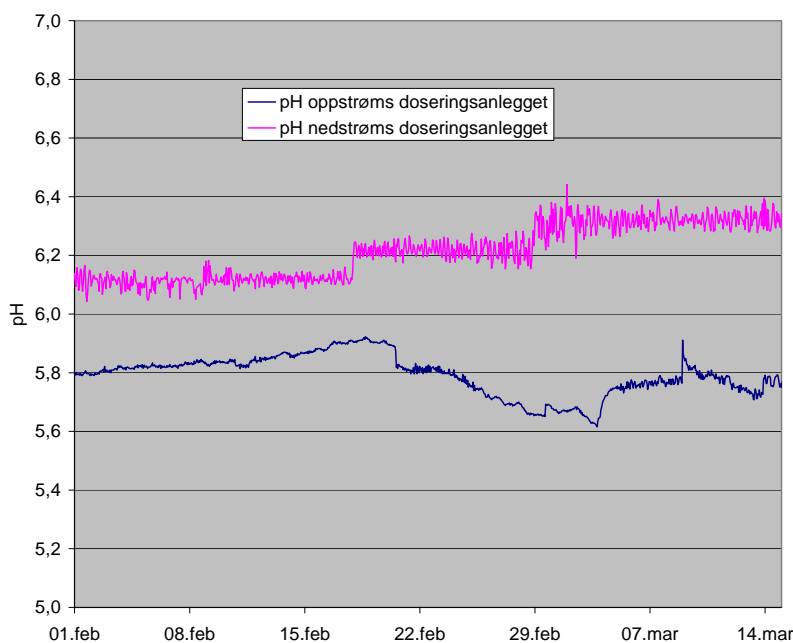
**Figur 10.** pH ved kalkdoseringsanlegget på Søre Herefoss i januar 1999. Doseringsanlegget ble justert inn slik at pH ble stabil nedstrøms anlegget.

Den 22. februar 1999 ble pH-kravet for anadrom strekning (nedstrøms Søre Herefoss) øket til pH 6.2. For å oppnå ønsket mål ved Boen ble mål-pH ved doseringsanlegget satt opp til pH 6.3, senere også til pH 6.4. Verdien ble forandret etter hvordan pH forandret seg på Boen gjennom vår og sommersituasjonen. Fra 1. juni var mål-pH i vassdraget 6.0 og den 4. juni ble mål-pH ved Søre Herefoss satt ned til pH 6.05.

Det viste seg at da stabil sommersituasjon oppstod i dette vassdragsavsnittet, økte pH nedstrøms kalkdoseringsanlegget til langt over målnivået på dagtid, mens nattverdiene lå på kravverdien. I denne perioden doserte ikke anlegget. Om høsten ble det igjen vanskelig å holde kravet ved Boen uten å øke mål-pH ved kalkdoseringsanlegget. pH nedstrøms anlegget ble satt til pH 6.1. pH-kurven for Boen, **Figur 6**, viser hvor vanskelig det var å nå pH-målet ved kun å benytte Søre Herefoss kalkdoseringsanlegg.

I de første delene av år 2000 fungerte anlegget meget tilfredsstillende, se **Figur 11**. Doseringen ble satt opp til mål-pH på 6.2 nedstrøms anlegget den 17. februar og pH 6.3 den 28. februar for å ta høyde for eventuell ytterligere forsurening nedstrøms kalkdoseringsanlegget.

Resultatene viser at det etterhvert er blitt god drift og god kontroll ved Søre Herefossanlegget. Det er imidlertid avdekket problemer med å produsere god vannkvalitet nedover mot Boenfossen fordi det ikke er kontroll over vanntilsiget nedstrøms anlegget. Vi mener det bør arbeides videre med dette, både med å kartlegge kvalitet og kvantitet av tilsiget og for å finne ut om det er mulig å håndtere dette ved en bedre styring av anlegget ved Søre Herefoss. Det kan tenkes at et ekstra doseringsanlegg bør settes opp på denne strekningen for å være helt sikker på at vannkvaliteten ikke kommer under de krav som er satt. Kalibrering av og simulering med den modellen som er brukt i denne rapporten kan trolig avdekke dette.

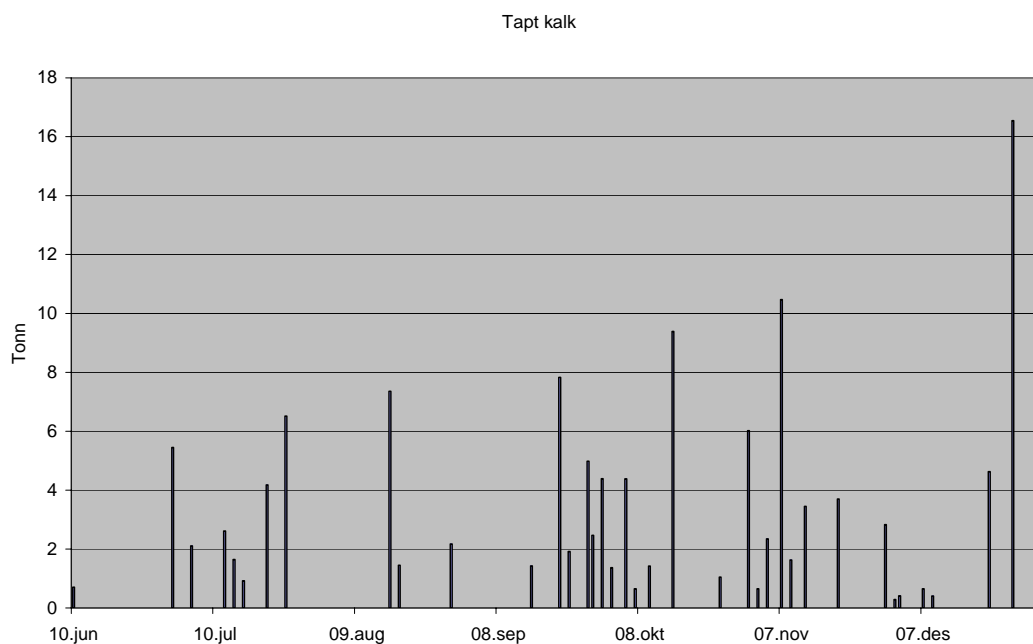


**Figur 11.** pH på Søre Herefoss. Styringen for tilsetning av kalksteinsmel er optimal. Kurven viser hvordan pH økte ved forandring av pH-kravet på anlegget.

### 3.1.3. Driftsforhold på Klepsland

Klepsland kalkdoseringsanlegg er et vannføringsstyrt anlegg som er plassert øverst i sidevassdraget ved Høvringsvatn. En tredel av det nedbørfeltet kalkdoseringsanlegget skal avsyre vann fra ligger oppstrøms kalkdoseringsanlegget. Anlegget skal derfor gi en høy dose (9 g kalk/m<sup>3</sup>).

Det ble satt igang driftskontroll av kalkdoseringsanlegget den 7. mai 1999. Anlegget doserte ønsket dose når alt virket som det skulle, men det var mange stopp på anlegget gjennom året. I de fleste tilfeller kom doseringen relativt raskt igang igjen etter en stopp. Uheldigvis syntes det å være et mønster i at doseringen opphørte ved store vannføringer. Derfor ble det relativt store kalkmengder som ikke kom ut i vassdraget. Totalt ble det i perioden 7. mai til 31. desember registrert 37 stopp på anlegget. Disse ga en samlet svikt i dosert kalkmengde på 130 tonn kalksteinsmel.



**Figur 12.** Diagrammet viser hvor mye kalksteinsmel som ikke ble dosert ved de forskjellige stoppene på kalkdoseringsanlegget ved Klepsland. Fordi en del av stoppene inntreffer ved høye vannføringer ble kalk"tapet" stort.

Resultatene herfra viser at det er stort behov for å utbedre kalkdosereren ved Klepsland. Om dette også inkluderer driftsrutinene bør gjennomgås nøye. I dette tilfellet kan det se ut som om driftsrutinene ikke har vært tilpasset den sviktende tekniske utformingen av anlegget.

Siden anlegget i tillegg til driftsproblemene, etter vår mening, er plassert for høyt oppe i sidevassdraget (se kapittel 4), blir effekten på vannkvaliteten ekstra stort. På den annen side vil neppe bedret drift løse problemene med dårlig vannkvalitet i perioder ved utløpet til Uldalsgreina.

## 4. Kalkingsstrategien i Uldalsgreina

Kalkingsstrategi omfatter valg av kalkingsteknikk (innsjø-, doserer- eller terengkalking), plassering og styring av doserere, valg av kalktype og kalkmengder. Kalkingsstrategien skal totalt sett gi det mest optimale resultatet, både økologisk og økonomisk. Drift av kalkdoserere faller utenfor dette, men når man skal evaluere kalkingsstrategien forutsettes normal drift. Hvis ikke, kan det være vanskelig å vite om det er strategien eller driften som er problemet hvis resultatet blir dårligere enn forventet. I dette kapitlet skal vi se på strategi, mens drift ble behandlet i det foregående.

Kalkingsplanen var basert på at vannkvaliteten skulle forbedres i store deler av vassdraget, ikke bare på anadrom strekning. Derfor ble det foreslått å sette opp kalkdoserere relativt høyt oppe i vassdraget. På to punkter ble dette ikke fulgt opp. Den foreslåtte dosereren i Hovlandsåna ble trukket helt opp til Klepsland, ikke langt fra Høvringsvatn, mens dosereren ved Austenå ble tatt ut. Dette siste fører bare til at øvre del ikke kalkes, mens Båsdosereren må kalke mer enn forutsatt.

## 4.1. Konsekvenser ved nåværende kalkingsstrategi

Kalkingen i Tovdalsvassdragets hoveddel, selve Tovdalen og videre sørover via Herefoss til Topdalsfjorden, gir forventet resultat. Det eneste problemet som vi har oppdaget med selve kalkingsstrategien her er at den vannkvaliteten som produseres ved utløpet av Herefossfjorden kan reduseres videre nedover mot Boenfossen i spesielle hydrologiske perioder. Slike perioder inntreffer når det er frost i bakken og avrenningen i lokalfeltet ved mye nedbør er rask. Dette fører til at mye surt vann transporteres ut i hovedvassdraget på strekningen fra Herefossfjorden og ned. En tilsvarende vannføringsøkning inntreffer ikke nødvendigvis i utløpet av Herefossfjorden, slik at kalktransporten blir økt.

I Uldalsgreina er det flere forhold som er undersøkt nærmere. Plasseringen av dosererer ved Klepsland fører til sterkt reduserte muligheter for å dosere tilstrekkelig for hele det sidevassdraget som kalles Hovlandsåna og at justering i forhold til endringer i avrenning ved utløpet (samløpet med Skjeggedalsgreina) blir vanskelig. Dette kommer klart fram både gjennom den regelmessige prøvetakingen av vannprøver i dette sidefeltet (se **Figur 4** og **Figur 5**) og gjennom den kontinuerlige målingen av pH som i perioder er gjort nederst i sidevassdraget (**Figur 8**). Dette er klart uheldig fordi kontrollen med vannkvaliteten i Herefossfjorden (oppstrøms nederste doseringsanlegg) blir borte. Hvis det hadde vært muligheter for samkjøring med anlegget i Tovdalsgeina, for å eventuelt kompensere for den lave kalktilførselen i Uldalsgreina, kunne situasjonen vært mindre kritisk. Men foreløpig eksisterer ikke den muligheten.

Årsaken til at dette problemet dukker opp er at nåværende kalking i dette sidevassdraget gir et areal oppstrøms doserereren på 31 % av hele Hovlandsfeltet. Siden det er et utjevneende (regulerings-)magasin (Høvringsvatn) oppstrøms, vil mye avrenning kunne fanges opp i magasinet og komme seinere ut i vassdraget. Det vil derfor bli et misforhold mellom den kalkmengden som doseres ut (på relativt liten vannføring) og den kraftige vannføringsøkningen som kan forekomme videre nedover i feltet. I tillegg ligger det regulerte Vikstølvatn nedstrøms doserereren, noe som forsterker problemet ytterligere.

I dag kalkes følgende større lokaliteter i Uldalsgreina:

Lokalitet	Vassdragsdel	Kalkmengde-98 (tonn NK3)
Haukomvatnet	Engelsåna	130
Kyllandsvatnet	Rettåna	15
Bellandstjønna	Skreerosåna	10
Førevatn	Tverråna (Hovland)	35
Flekevatn	Tveitåna	15

## 4.2. Mulige endringer i strategi i Uldalsgreina

Ideelt sett, dvs. i følge kalkingsplanen (Hindar 1991) skulle plasseringen av de tre kalkdosererne i Uldalsgreina og de to i Tovdalsgreina (Austenå og Bås) tilsammen gi en så god vannkvalitet inn mot Herefossfjorden at anlegget ved utløpet av Herefossfjorden bare skulle justere opp vannkvaliteten på den lakseførende strekningen til vannkvalitetsmålet. Resultatene viser at anlegget på Bås er tilstrekkelig til å gi den ønskede vannkvaliteten i Tovdalsgreina, men det kan være behov for oppjustering av kalkdosen i perioder.

I Uldalsgreina må det gjøres en endring hvis målet med kalkingen av denne delen skal bli oppfylt. Det er tre mulige løsninger på dette, og vi vil diskutere alle.

Det tilsynelatende mest iøynefallende er å flytte nåværende anlegg på Klepsland til nedre del av Hovlandsåna, der det opprinnelig ble foreslått plassert. Men det er problematisk av flere grunner. Klepslandanlegget ble etablert for å sikre god vannkvalitet i øvre deler av vassdraget. Hvis det flyttes kan de fiskebestander som er bygd opp få problemer på grunn av redusert vannkvalitet. Flytting bør derfor kombineres med tiltak som sikrer god vannkvalitet i øvre del. Kalking av Høvringsvatn og/eller innløpsbekker til dette reguleringsmagasinet er aktuelt. Men det kan også være aktuelt å bygge et nytt doseringsanlegg nederst i Hovlandsåna og beholde det nåværende Klepslandanlegget.

Det kan være andre løsninger (strategier) som også er interessante. Men det henger sammen med de mål for vannkvalitetsforbedringer som foreligger for kalkingen av Tovdalsvassdraget. Hans Kalleberg i Styringsgruppa for kalking av Tovdalsvassdraget har foreslått at en burde vurdere å sette opp et kalkdoseringsanlegg nederst i Uldalsvassdraget og beholde nåværende anlegg ved Klepsland.

I det nedenforstående blir de ulike alternativene gjennomgått og anbefalinger blir gitt.

#### **4.2.1. Flytting av Klepslanddosereren og kalking av Høvringsvatn.**

Dette vil følge alternativ III i kalkingsplanen fra 1991, med kalking av Høvringsvatn og kalkdoserer nederst i Hovlandsåna. Kalking av Høvringsvatn ble ikke utredet nærmere i kalkingsplanen, men det ble henvisning til at det på det tidspunktet var søkt om midler til nettopp denne innsjøkalkingen.

Som nevnt over, kan flytting av Klepslanddosereren vise seg å være problematisk. Det kan vise seg å være dyrt å flytte anlegget. Om kvaliteten av anlegget forringes, kan dette være en løsning som øker driftsproblemene, se forrige kapittel. Det kan da være aktuelt med nytt anlegg.

Høvringsvatn har et nedbørefeltareal på 38 km<sup>2</sup>, som er 24 % av Hovlandsånas areal. Overflatearealet er 3.8 km<sup>2</sup>, maksimaldypet er 62 m og middeldypet er 15 meter. Siden spesifikk avrenning i området er 37 L/s\*km<sup>2</sup>, er teoretisk oppholdstid 1.4 år. Innsjøen egner seg derfor til kalking, og det anbefales å kalke årlig hvis en bestemmer seg for at kalking skal gjennomføres.

For å kalke fra pH 5.3, som kan være et riktig utgangspunkt, til vannkvalitetsmålet, som settes til pH 5.9 for innsjøen, må Ca-konsentrasjonen øke med 0.35 mg/L. For å oppnå denne vannkvaliteten ett år etter kalking, må Ca-konsentrasjonen øke med 0.75 mg/L. Med et CaCO<sub>3</sub>-innhold på 86 % (NK 3) og en oppløsning på ett år på 70 %, blir total kalkmengde i denne innsjøen 180 tonn. Hvis tonnprisen ferdig spredt er kr. 800,-, vil kostnaden bli kr. 145.000,-.

Hvis kalkdoseringsanlegget skal flyttes, eller hvis en velger å sette opp et nytt anlegg, vil vi anbefale å plassere det ved Lisletveit. Dette er oppstrøms Tverråna, omlag seks kilometer oppstrøms Kolstraumfjorden. Det er også nedstrøms reguleringsmagasinet Vikstølvatn, noe som modellsimuleringene i denne rapporten viser er fornuftig.

Årlig kalkbehov for det 162 km<sup>2</sup> store Hovlandsånafeltet er 600 tonn. Det er basert på at middel-pH er 4.8 og at vannkvalitetsmålet er pH 6.0. Hvis det kalkes i Høvringen eller om det kalkes etter et alternativ som innebærer fortsatt kalkdosering ved Klepsland (se neste avsnitt), bør dette anlegget styres etter pH. Da vil det være mulig å ta hensyn til naturlig variasjon i pH over året og at det kalkes oppstrøms. Med denne muligheten kan kalkmengden ved denne dosereren reduseres med den kalkmengden som brukes høyere oppe i vassdraget eller i forhold til det arealet som da er kalket. Hvis årlig kalkforbruk ved Lisletveit er 350 tonn og tonnprisen er kr. 600, vil kostnaden være kr. 210.000.

Hvis kalkdoseringsanlegget plasseres så langt nede i vassdraget (80 % av feltet er oppstrøms), kan anlegget også dosere for et større areal enn eget felt uten at oppløsningen av kalken reduseres vesentlig. Det kan øke kontrollen med vannkvaliteten inn mot Herefossfjorden. Vi vil anbefale at denne dosereren, om den flyttes fra Klepsland eller om det bygges ny her, også doserer for det vannet

som kommer fra Tveitåna. Tveitåna renner ut i Kolstraumfjorden fra øst, men i samme område som Hovlandsåna. Feltet er 65 km<sup>2</sup> stort og vannkvaliteten er trolig den samme, med unntak av humusinnholdet, som kan være større pga myrlendt terreng.

Ved å innlemme Tveitåna i beregningsgrunnlaget øker kalkbehovet ved anlegget med 180 tonn. Flekevatn øverst i dette vassdraget kalkes med 15 tonn i året, og en tilsvarende reduksjon ved dosereren kan det tas hensyn til. Ved at dosereren er plassert ved Lisletveit vil det si at over halvparten av det totale nedbørfeltet er oppstrøms, og det er godt innenfor akseptable marginer for kalkoppløsning.

#### **4.2.2. Nytt anlegg i nedre del av Hovlandsåna**

Her forutsetter vi at Klepslanddosereren blir stående og at det ikke er aktuelt å kalke Høvringsvatn for å få til en god vannkvalitet i Hovlandsåna. Om Høvringsvatn likevel kalkes, kan en kombinere dette alternativet med de beregninger som er gjort for Høvringsvatn i avsnittet over.

Ved at det plasseres et nytt anlegg ved Lisletveit, gjelder beregninger for totale kalkmengder i avsnittet over. Vi vil anbefale at det også kalkes for nedbørfeltet til Tveitåna. Arealet oppstrøms nåværende anlegg ved Klepsland er ca. 51 km<sup>2</sup>. Anlegget må dosere kalk for dette feltet og restfeltet ned til Lisletveit, totalt 130 km<sup>2</sup>. 39 % av arealet er oppstrøms dosereren, og det er innenfor akseptable marginer for kalkoppløsning. Oppløsningsforholdene ved anlegget er gode på grunn av strykparter og turbulens i vannet.

Ved at årlig kalkmengde ved Klepslanddosereren er 470 tonn og totalbehovet for Hovlandsåna og Tveitåna er 780 tonn, blir kalkbehovet for den nye Lisletveitdosereren 310 tonn. Det er selvsagt mulig å endre dette forholdet ved å dosere mer kalk gjennom den nederste dosereren, men da kan vannkvaliteten oppstrøms Lisletveit forringes. Om en baserer seg på fortsatt kalking fra Klepsland, må en imidlertid være klar over de problemer en kan få med forskyvninger i avrenningsforholdene. Derfor er tallene over kun veiledende kalkmengder.

#### **4.2.3. Nytt anlegg nederst i Uldalsgreina**

Et anlegg plassert nederst i Uldalsgreina vil på mange måter gjøre kalkingen av Tovdalsvassdraget lik alternativ I i kalkingsplanen (Hindar 1991). I det alternativet ble et slikt anlegg tenkt plassert i Hanefoss kraftstasjon sammen med et anlegg på Dølemo og ett på Søre Herefoss. Slik sett er ikke forslaget nytt, men det kombinerer alternativ I og II i kalkingsplanen. I og med at Hanefossanlegget i kalkingsplanen ble ansett for å bli så stort at to anlegg kunne være aktuelle på dette stedet, er kombinasjonen med ett anlegg i Hanefossområdet og tre i øvre del ikke unaturlig.

Uldalsgreina er 745 km<sup>2</sup> stort om en inkluderer Oggefeltet. Ogge renner ut både nordover i Rettåna og sørover i Dikeelva. Forholdet mellom disse er ukjent, men vi antar her at alt går nordover. Siden Ogge kalkes, betyr denne forenklingen lite for beregningene fordi vi trekker fra Ogges nedbørfelt på 250 km<sup>2</sup>. Andre felt som trekkes fra i beregningen av kalkmengde er de kalkede feltene Skjeggedal-Vatnedal (267 km<sup>2</sup>), Klepslandfeltet (51 km<sup>2</sup>) og Haukomfeltet (18 km<sup>2</sup>). Restfeltet blir ca. 160 km<sup>2</sup>. Vi velger å innskrenke Klepslandfeltet til det arealet som er oppstrøms dosereren fordi målsettingen med denne kalkingen bør endres i dette alternativet. Det vil ikke kunne opprettholdes god vannkvalitet i Hovlandselva ved kun å kalke ved Klepsland, og da bør målsettingen revurderes.

Årlig kalkbehov i dette anlegget blir 580 tonn. Det må styres etter pH oppstrøms om en skal kunne ta hensyn til alle kalkingsaktiviteter oppstrøms. Styring etter pH nedstrøms er neppe aktuelt hvis anlegget skal plasseres i kraftstasjonen.

### 4.3. Anbefalinger

Vi vil anbefale at det gjennomføres tiltak som bedrer vannkvaliteten ved utløpet av Hovlandsåna. Det vil være fordelaktig for fisk og andre forsurningsfølsomme organismer i Uldalsgreina og være med å sikre en god vannkvalitet inn mot Herefossfjorden. Simuleringene i denne rapporten viser at det er nødvendig for å bedre forholdene for laks.

For å oppnå målsettingen over, må Klepslandanlegget flyttes til området ved Lisletveit i nedre del av dette sidevassdraget eller det må settes opp et nytt kalkdoseringsanlegg der.

Kalking av Høvringen kan gjennomføres, men det vil ikke være nødvendig for å oppnå målsettingen over. Likeledes kan dagens kalking ved Klepsland videreføres, men heller ikke det er nødvendig for å oppnå målsettingen. Denne kalkingen kan ikke sikre stabilt god vannkvalitet nedstrøms Vikstølvatn.

Hvis en velger å kalke Høvringen eller fortsette å kalke ved Klepsland sier det seg selv at nytt doseringsanlegg må skaffes ved Lisletveit. Dette bør utstyres med pH-styring fra nedstrøms målt pH.

Hvis det ikke er kalking av betydning oppstrøms Lisletveit, kan dosereren her styres kun etter vannføring og en kjent pH-Ca sammenheng.

En enda bedre kontroll med vannkvaliteten inn mot Herefossfjorden kan oppnås ved å sette opp en ny kalkdoserer ved Hanefoss kraftstasjon. Forutsatt at det plasseres en kalkdoserer ved Lisletveit i Hovlandsåna og at det blir forsvarlig drift ved denne og kalkdosererne i Skjeggedal og Vatnedal, anser vi imidlertid dette alternativet som mindre nødvendig.

## 5. Modelling av vassdraget

Tovdalsvassdraget er langt og det tar tid å transportere kalk nedover i vassdraget. Ved driftsforstyrrelser eller spesielle hydrologiske forhold kan man dermed risikere å få uforholdsmessig stor belastning på dosereren ved Søre Herefoss. Behovet er stort for å finne fram til hvordan denne dynamikken er under ulike forhold. Det er også behov for å finne ut hvordan den termiske sjikningen i Herefossfjorden, særlig under islegging, virker inn på transport av kalk gjennom innsjøen. I dagens situasjon vet vi lite om hvor kritisk avbrudd eller feildosering er under ulike hydrologiske forhold og ved ulike vannkvalitetsmål på anadrom strekning.

Det er derfor undersøkt hvorvidt modelleringsverktøy kan benyttes til å simulere effekter av kalking og til å optimalisere samkjøringen mellom doseringsanleggene. I tillegg er matematiske modeller benyttet til å beregne transporttiden for kalk gjennom Herefossfjorden.

Målet med dette arbeidet har vært å:

- finne en optimal samkjøring av de ulike doseringsanleggene. Dette kan gi en tilfredsstillende vannkvalitet i vassdraget med minimalt kalkforbruk til lavest mulige kostnader.
- studere virkningen fra hvert enkelt doseringsanlegg. Dette er nyttig fordi vi kan forutsi hvor mye kalk det må doseres fra et gitt anlegg for å oppnå en ønsket vannkvalitetsendring i de ulike delene av vassdraget, samt hvor lang tid det vil ta for å oppnå denne effekten.
- studere bestemte problematiske episoder som f.eks. skyldes flom, snøsmelting og islegging. Modellen er dermed til hjelp for å finne egnede tiltak og doseringsrutiner som kan utnyttes i framtida.

### 5.1. Metoder

For å undersøke muligheter for samkjøring av doserere og til testing av kritiske forhold ved dosering og fordeling av dose på de ulike dosererne kreves et hensiktsmessig modellverktøy. Vi har benyttet vannkvalitetsmodellen QUAL2E for elver og FINNECO for innsjøer.

QUAL2E er utviklet ved United States Environmental Protection Agency (EPA 1987) og videreutviklet ved NIVA (Tjomsland 1998). Modellen er laget for å foreta konsekvensanalyser, og den er egnet til å simulere ulike hydrologiske forhold etter kalibrering. Modellen simulerer vannkvalitet i et elvesystem som funksjon av vannføring og stofftilførsler. Modellen kan beregne vannstand, strømhastighet, temperatur, oksygen, biologisk oksygenforbruk, fosfor, nitrogen, klorofyll, bakterier, og selvvalgte konservative stoffer, stoffer med en viss nedbrytningstid og stoffer som reagerer med sedimentene. Den er dermed egnet til å studere tilførsel og fortykning av kalk.

Elvesystemet blir tilført vann og stoff i gitte punkter (ved dosererne der de er eller der de alternativt kan plasseres). Dette blir transportert nedover i vassdraget samtidig som det inngår i prosesser. Resultatene kan for eksempel presenteres gjennom en årssyklus med et tidsskritt ned til en time.

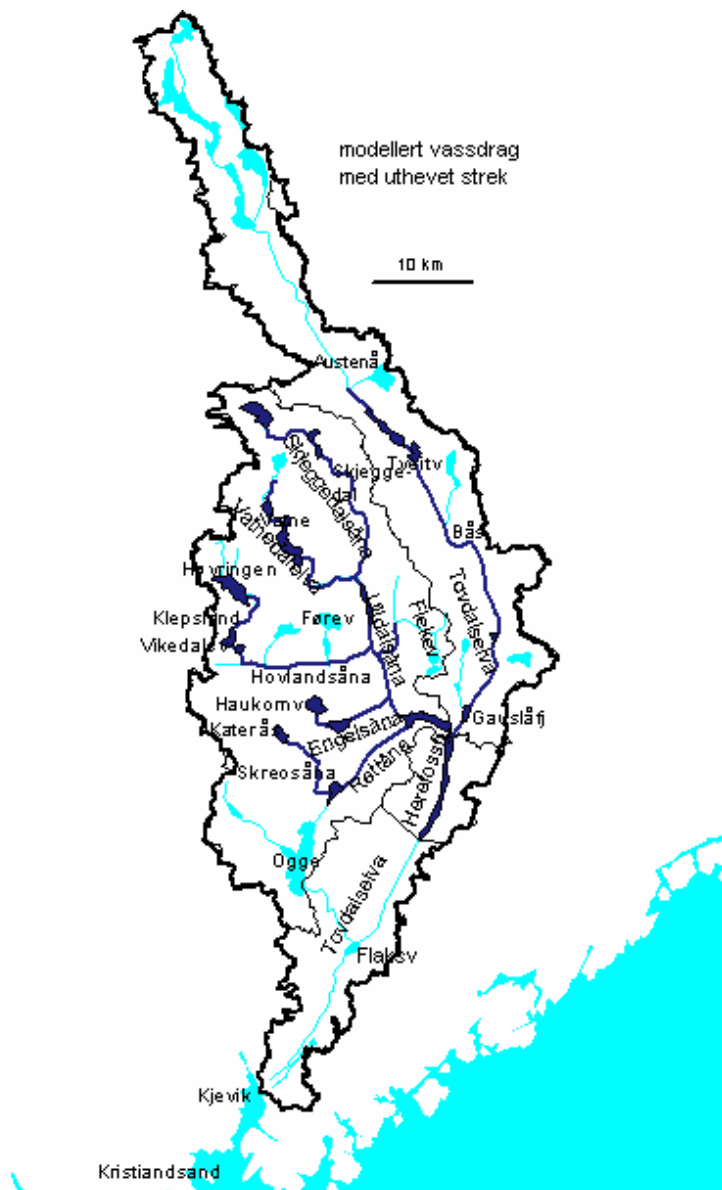
I dette prosjektet har vi lagt spesiell vekt på å beregne hvordan tilførsler fra kalkdoseringsanleggene påvirker vannkvaliteten i vassdraget videre nedover til Herfossfjorden med hensyn på kalsium og pH. Modellen ble først kalibrert/verifisert mot observerte verdier i Tovdalsvassdraget slik at vi vet hvor pålitelig simuleringene er. Derne st kjørte vi diverse scenarier for å få innsikt i ulike problemstillinger.



FINNECO er en vannkvalitetsmodell for innsjøer (Kinnunen 1982, Tjomsland 1988). Innsjøen blir delt inn i horisontale skiver. Vannet innen hver skive antas å være fullstendig blandet. Det vil si at modellen ikke beskriver horisontale variasjoner, kun vertikale. Modellen er egnet til å beskrive vertikale forskjeller i dype innsjøer, som f.eks. Herefossfjorden. Vann fra elvene som strømmer inn i innsjøen vil bli blandet med innsjøvannet, innlagret og transportert gjennom innsjøen i en dybde som er avhengig av vannføring og temperaturen i ellevannet og temperaturprofilen i innsjøen. For eksempel vil kaldt ellevann dykke ned i innsjøen og få andre transportforhold gjennom innsjøen enn om ellevannet var varmere og ble innlagret i overflaten.

FINNECO kan beregne fysiske, kjemiske og biologiske forhold omtrent som QUAL2E. Ved denne anledningen er beregningene avgrenset til beregning av vanntemperatur og transport av kalk.

FINNECO er benyttet for simuleringer i Herefossfjorden og QUAL2E for vassdragene oppstrøms, se vassdrag med uthevet type i **Figur 13**. Resultatene ble beregnet for hver kilometer nedover elven.



**Figur 13.** Nedbørfeltet til Tovdalsvassdraget. Elvestrekninger med uthevet type er modellert.

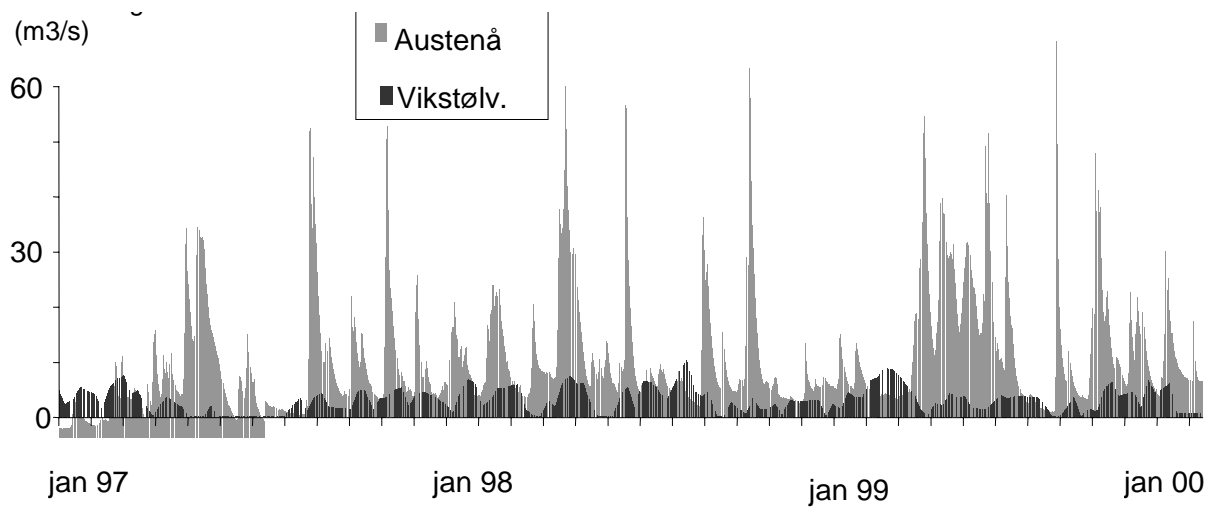
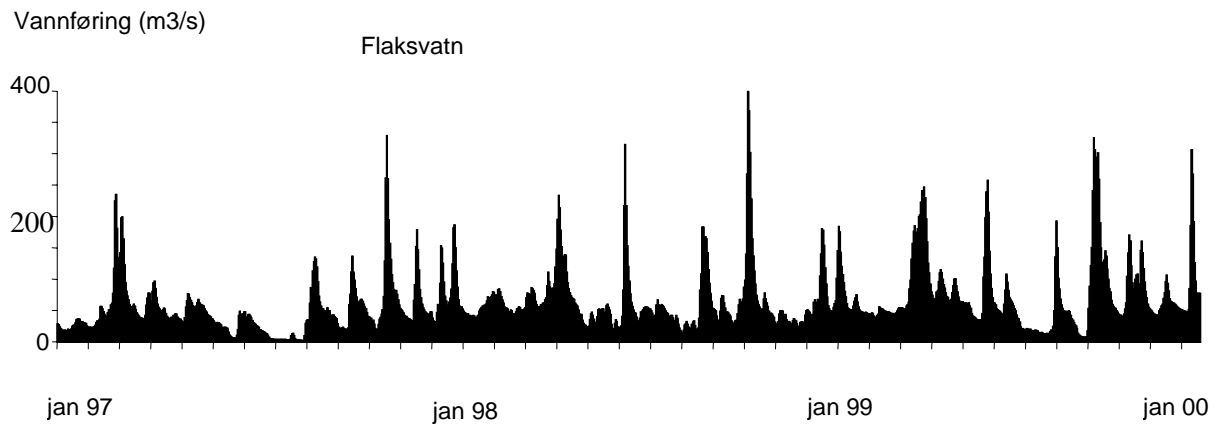
## 5.2. Datagrunnlag

Alle arealer som er benyttet er GIS beregnede verdier fra kart som beskriver Regine nedbørfelter.

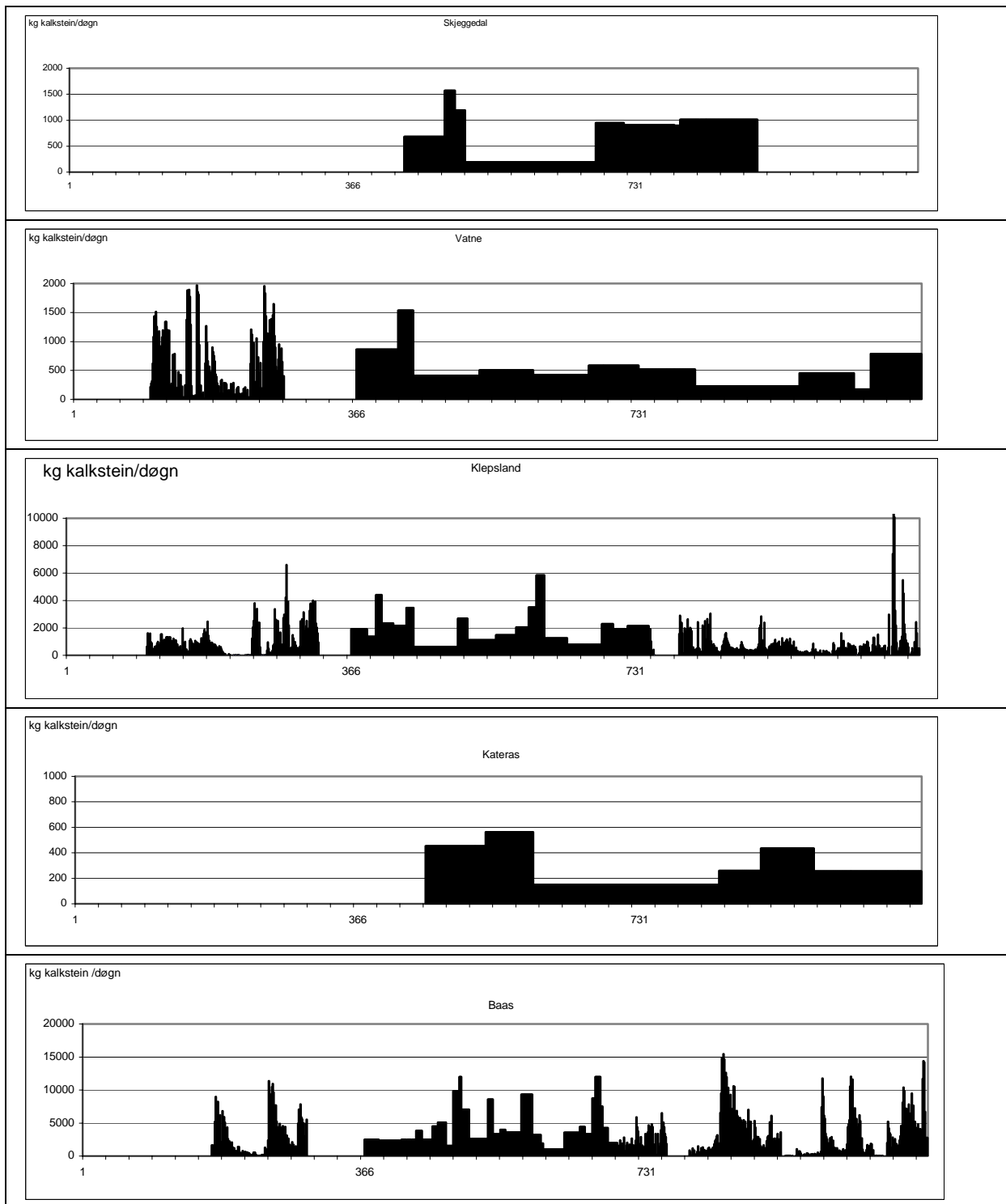
Vi har benyttet klimadata fra Kjevik flyplass (Det norske meteorologiske institutt); flere registreringer pr. døgn av lufttemperatur, duggpunkt, skydekke, vind og trykk. Dataene ble benyttet til å simulere vanntemperatur siden slike data finnes i begrenset grad.

Vi har også benyttet daglige vannføringer fra NVE fra stasjonene ved Austenå i øvre Tovdal og ved Flaksvatn nedstrøms Herefossfjorden. Vi benyttet ukesmidlede vannføringer fra utløpet av Vikestølvatn i Hovlandsvassdraget registrert av Aust Agder Energi Produksjon, se **Figur 14**. Vannføringverdiene ved Austenå ble i hovedsakelig benyttet til å beregne det lokale tilsiget oppstrøms Herefossfjorden.

Data om kalkdosering varierte mye, både med hensyn til tidsoppløsning og kvalitet. På enkelte stasjoner fantes det registreringer hver time mens det for andre stasjoner ikke fantes data i det hele tatt. Selv om det ble registrert data for hver time var selve målingene, dvs. veiing av restmagasinet, til dels meget unøyaktig. I mangel på data benyttet vi informasjon om mengde og tidspunkt for kalkleveranse til de enkelte anlegg og antok at massen ble jevnlig dosert fram til neste leveranse. Hvilken metode som er benyttet går fram av oppløsningen på grafene over dosering fra de enkelte anleggene, se **Figur 15**. I tillegg ble det tatt hensyn til innsjøkalkingen (se kapittel 2).



**Figur 14.** Vannføringsregistreringer 1997-1999 ved Flaksvatn, Austenå og Vikstølvatn.



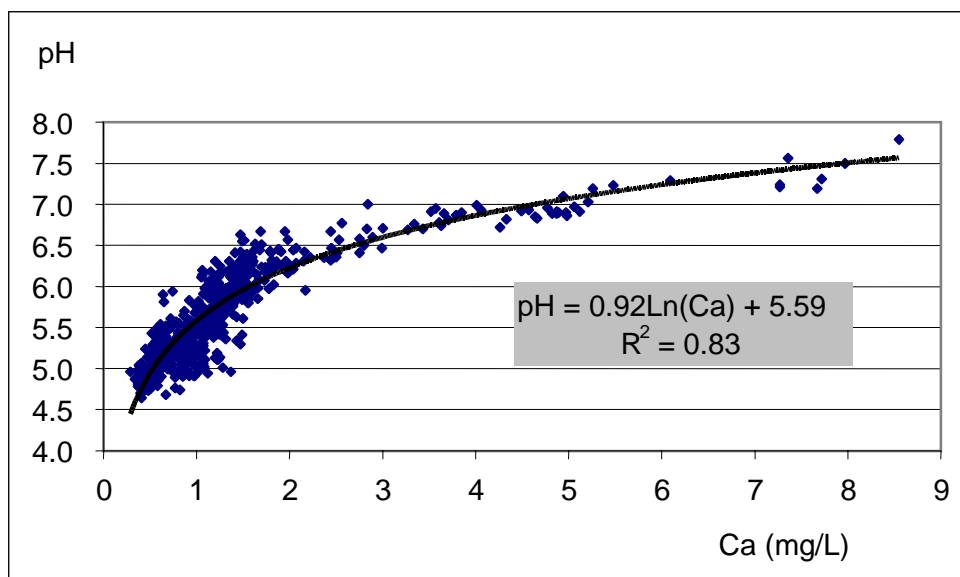
**Figur 15.** Dosering av kalk ved de fem kalkdosererne i perioden 1997-1999. Tidsaksen er her angitt i dager fra start av simuleringsperioden.

Vannkjemidata og da spesielt kalsium og pH verdier fra den generelle overvåkingen av vassdraget ble benyttet til å beregne bakgrunnverdier og for kontroll av simuleringsresultatene. Observerte kalsiumkonsentrasjoner ved Tveitvann, som ligger oppstrøms Bås doseringsanlegg i Tovdalselva, ble benyttet som naturlige bakgrunnsverdier videre nedstrøms. Verdier som ble målt oppstrøms doseringsanlegget ved Skjeggedalsåna ble brukt som bakgrunnverdier i Uldalsvassdraget. Bidraget til Rettåna fra innsjøen Ogge ble i modellen gitt som en punktkilde i samvar med overflatekonsentrasjonen i Ogge.

86% av kalksteinsmelet består av kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) hvorav 40% består av kalsium (Ca), dvs. at 34% av dosert kalksteinsmel blir oppløst i elvevannet som kalsium hvis vi antar 100% oppløsning. Ved å sammenholde alle overvåkingsverdiene av kalsium og pH fra hele Tovdalsvassdraget i perioder 1997-1999 (se **Figur 16**) fant vi en følgende sammenheng:

$$\text{pH} = 0.92 \ln(\text{Ca}) + 5.59, \quad r^2 = 0.82$$

I modellen ble det beregnet kalsiumkonsentrasjoner i vassdraget ut fra bakgrunnskonsentrasjoner og kalkdosering. Disse verdiene ble så regnet om til pH ifølge formelen ovenfor.

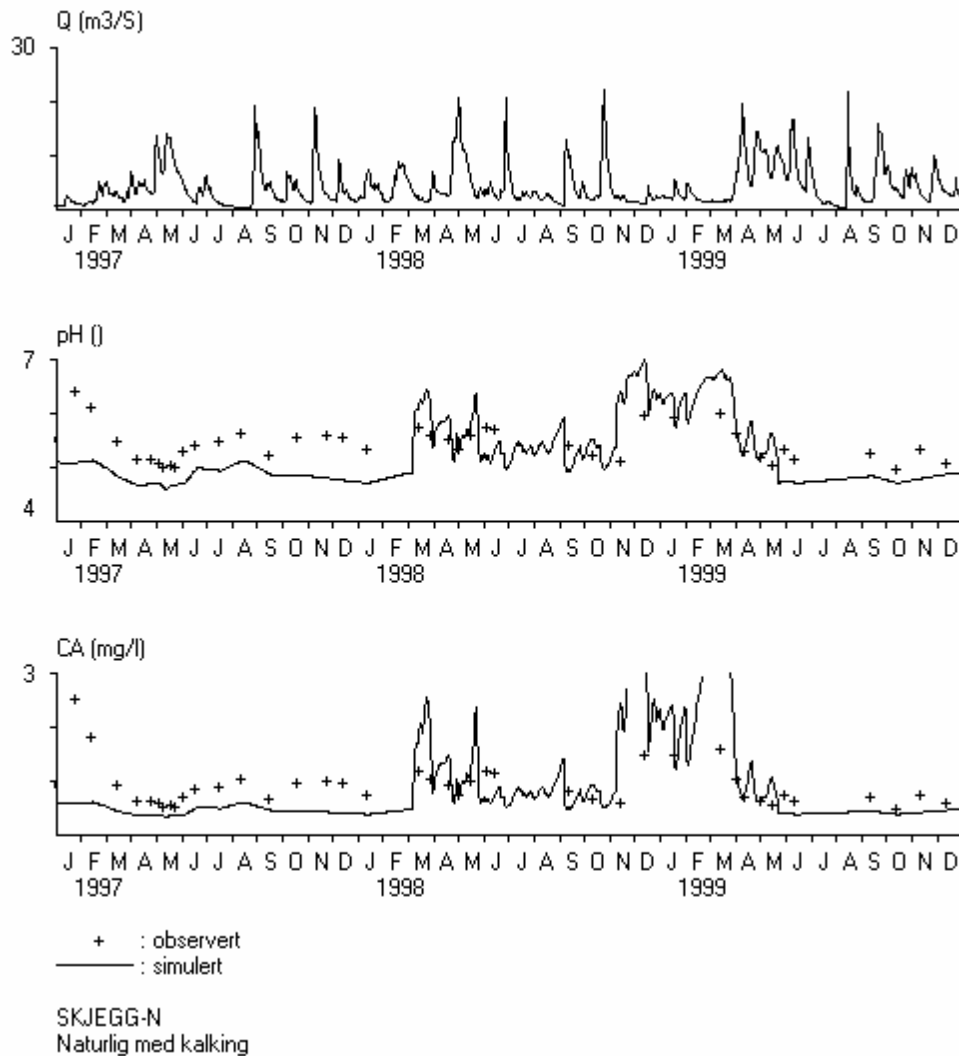


**Figur 16.** Sammenheng mellom kalsium og pH i Tovdalsvassdraget for alle overvåkingsdata i perioden 1997-1999.

### 5.3. Kalibrering av modellene

Vi benyttet observerte data av klima, vannføring og kalkdosering for perioden 1997-1999 som input til modellen og sammenlignet resultatene med observasjoner og automatiske målinger av pH og kalsium på ulike steder i vassdraget. Enkelte av resultatene er vist i figurer i teksten, mens andre resultater er vist i vedlegg B bak i rapporten.

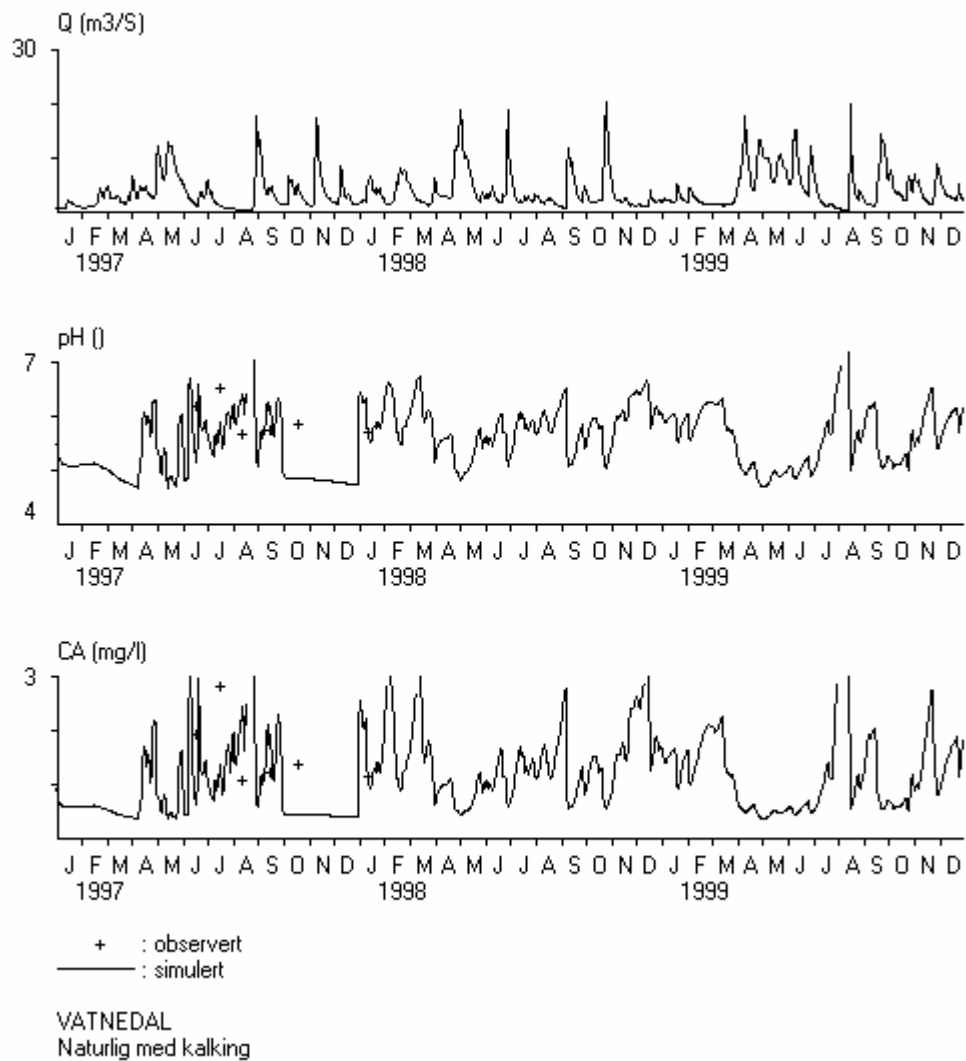
Observerte konsentrasjoner ved Skjeggedalsåna oppstrøms doseringsanlegget ble benyttet som naturlige tilsigsverdier for vassdraget nedstrøms, og modellen ble kalibrert mot disse verdiene. Vi har kun data for kalkdosering fra anlegget i Skjeggedal for 1998 og begynnelsen av 1999. På bakgrunn av at det kun fantes middelværdier for lengre perioder, blir simuleringsresultatene mindre tilfredsstillende (**Figur 17**).



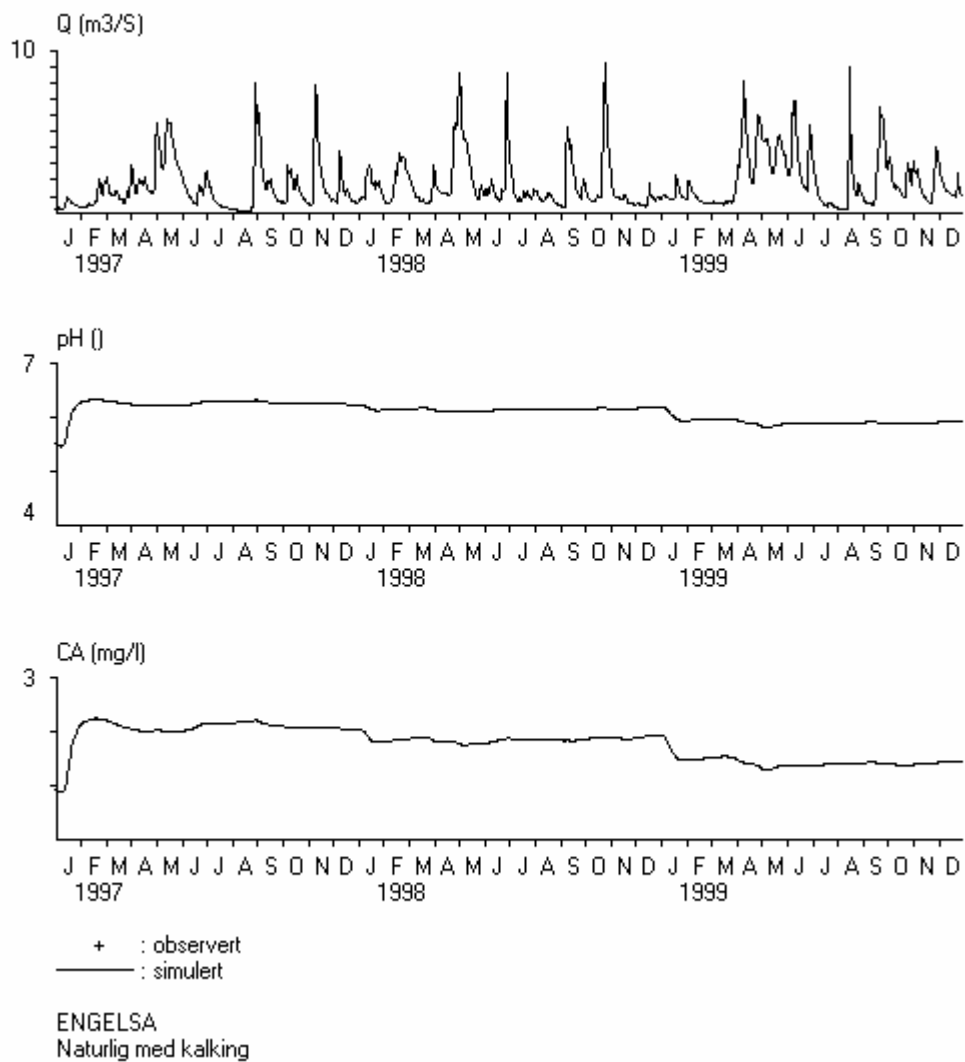
**Figur 17.** Beregnet vannføring samt observerte og simulerte verdier for pH og kalsium i Skjeggedalsåna.

I Vatnedal finnes svært lite vannkjemiske måleresultater og det blir derfor vanskelig å kontrollere simuleringsresultatet (**Figur 18**).

I Hovlandselva/Flatelandselva blir kalken dosert ved Klepsland oppstrøms Vikestølvatn. Problemene dette medfører er diskutert tidligere i rapporten og utdypes her. Konsentrasjonene ved utløpet til Skjeggedalsåna/Uldalsåna varierte mye, se Error! Reference source not found.. Dette har også sammenheng med midlede og usikre doseringsverdier og at vi kun har ukesmidlede vannføringer fra utløpet av Vikestølvatn. Vikestølvatn er regulert og avløpet derfra er følgelig helt avhengig av tappestrategien til regulanten. Avløpet avviker betraktelig fra tilsiget i området forøvrig, se **Figur 14**. Det vil si at i perioder med økt lokalt tilsig, med behov for tilsvarende økt kalkdosering, skjer det ofte at det slippes neglisjerbare vannmengder ut av Vikestølvatn. Vikestølvatn er forøvrig et dypt vann med lang gjennomstrømningstid slik at det blir lang transporttid fra doseringspunktet til utløpet i Skjeggedalsåna. Simuleringene ga konsentrasjoner av samme størrelse som de observerte verdiene, men stasjonen er lite egnet for en detaljert sammenlikning.



**Figur 18.** Beregnet vannføring samt observerte og simulerte verdier for pH og kalsium i Vatnedal ved utløpet i Skjeggedalsåna.



**Figur 19.** Beregnet vannføring samt observerte og simulerte verdier for pH og kalsium i Engelsåna ved Skjeggedalsåna/Uldalsåna. Innsjøkalking av Føresvatn ga jevnt avtakende kalsiumkonsentrasjoner.



Førevatn i Engelsånavassdraget ble i 1997-1999 kalket en gang pr. år med henholdsvis 150 , 130 og 90 tonn. En jevn årlig utstrømning ga avtagende pH fra over 7 til nær 6, se **Figur 19**.

I Skjeggedalåna/Uldalsåna oppstrøms Rettåna var det forholdsvis bra samsvar mellom observerte og simulerte verdier, se **Figur 20**. Vi må igjen være oppmerksom på midlede doseringsdata og perioder med manglende data.

I Rettåna før samløpet med Uldalsåna avtok pH verdiene fra nær 6.5 til under 6.0, se **Figur 21**. Dette hadde først og fremst sammenheng med bidraget fra innsjøkalkingen av Ogge og tildels også dosering ved Katerås i øvre deler av Skreråsåna.

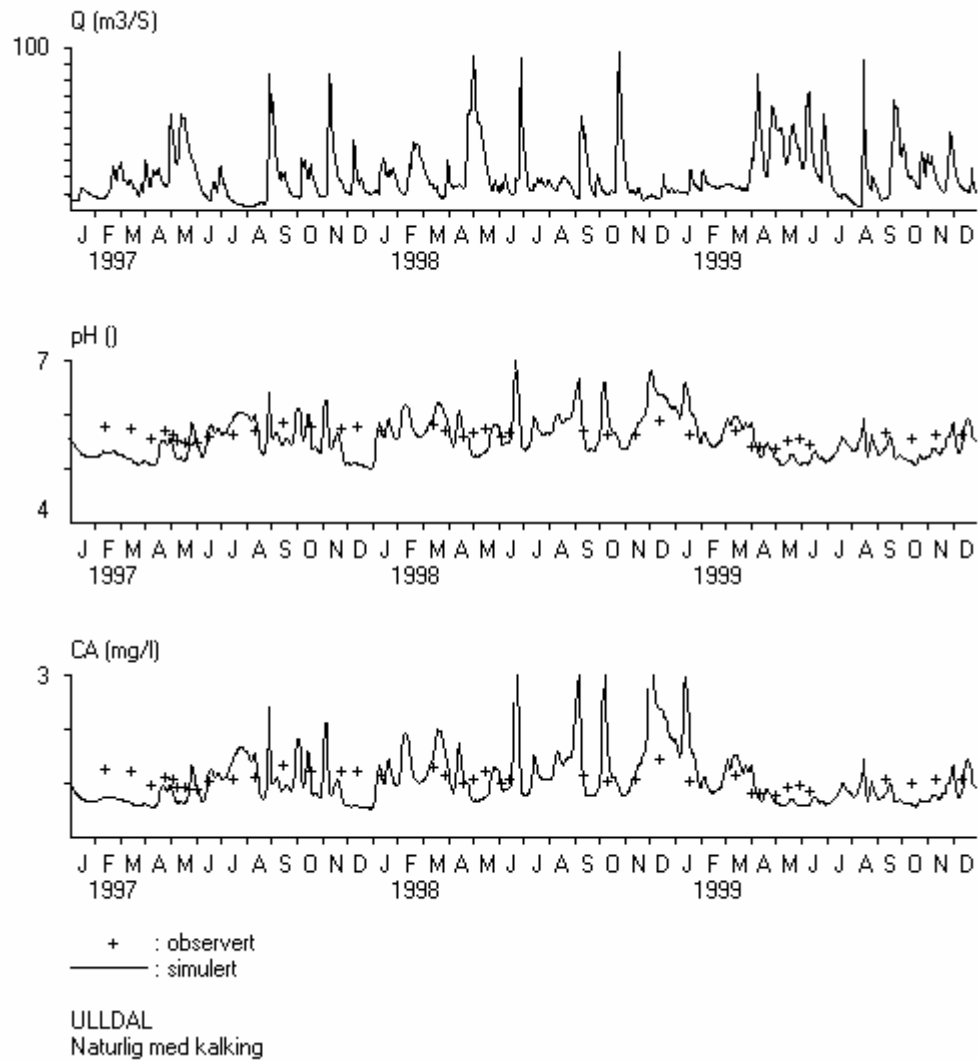
Simulerte pH verdier i Uldalsåna ved utløpet til Herefossfjorden varierte fra over 6.0 til under 5.5, se vedlegg B. På grunn av manglende doseringsdata må vi forvente at dette i enkelte perioder lå under de reelle verdiene. Men variasjonsområdet samsvarte med den mindre tilfredsstillende vannkvaliteten som er målt her, se **Figur 4** og **Figur 5**.

Observerte konsentrasjoner ved Tveitvatn i Tovdalselva, oppstrøms doseringsanlegget ved Bås, ble benyttet som naturlige tilsigsverdier for vassdraget nedstrøms. Med kalkdoseringen ved Bås prøver man å holde en konstant pH verdi. De simulerte verdiene varierer trolig mer enn de virkelige, se vedlegg B. Vi må forvente dette ut fra middelverdier av dosert kalk samt usikre tilførselsberegninger på grunn av usikre veiinger av restmagasinet.

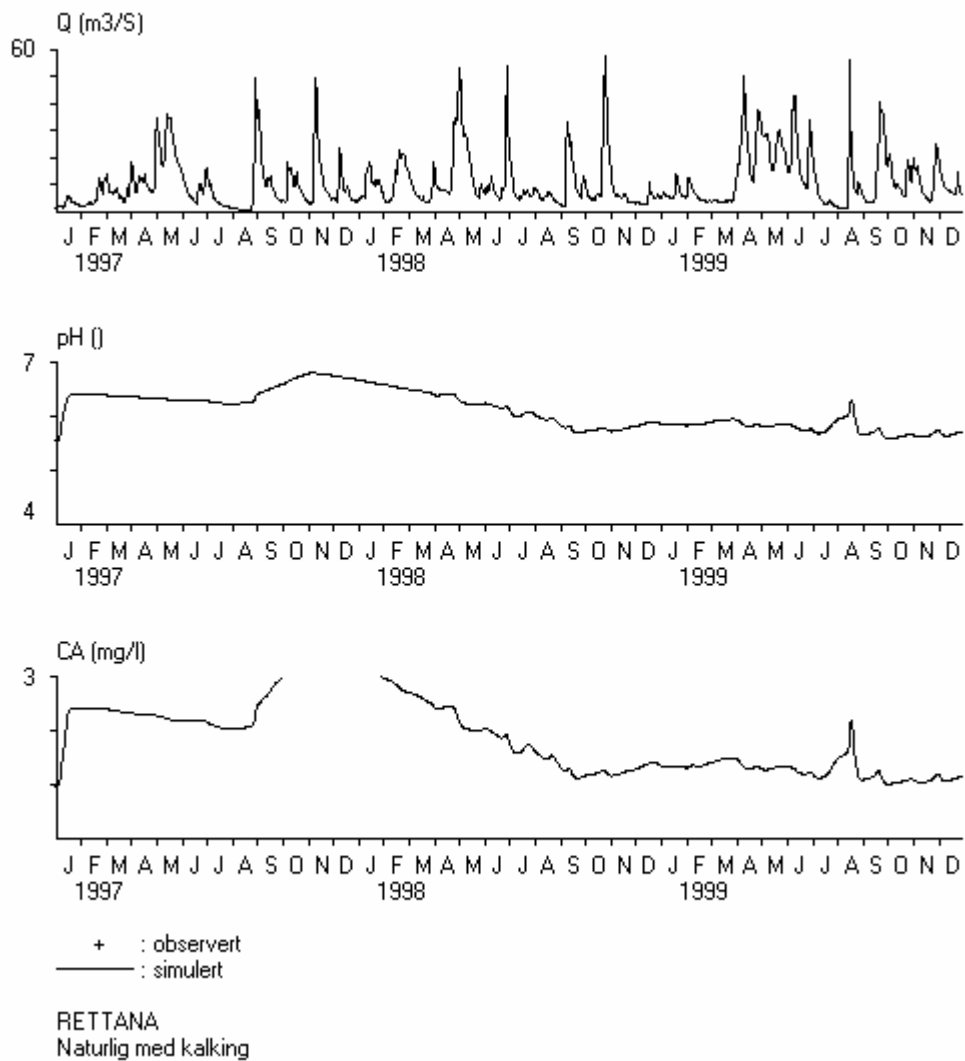
I Tovdalselva ved Gauslå ble simuleringene sammenliknet med kontinuerlig målt pH, se vedlegg B. Ved utløpet til Herefossfjorden og ved utløpet av Herefossfjorden var det også gode overvåkingsdata. I perioden med kjent dosering ved Bås i 1997 var det godt samsvar mellom observerte og simulerte verdier, se **Figur 22** og **Figur 23**. Tar vi hensyn til at det ble brukt midlede doseringsdata fra 1998 kan de simulerte verdiene også da være tilfredsstillende. Sommeren 1999 var de simulerte verdiene lavere enn de observerte. Gjennomgang av grunnlagsmaterialet viste at den doseringsmengden som ble anvendt i modellen var for liten i denne perioden. Riktig dosering ville medført høyere simulerte verdier.

Som konklusjon på kalibreringsarbeidet kan vi si at modellen gir så gode resultater som vi kan forvente ut fra det tilgjengelige datagrunnlaget. Simuleringsresultatene kunne helt sikkert blitt forbedret hvis det fantes mer detaljerte doseringsdata (døgnverdier). Driftskontrollen, som nå er opprettet i vassdraget, vil bidra med slike data. Vannføringene er fortrinnsvis beregnet ut fra vannføringsstasjonen ved Austenå. Ved bruk av foreliggende data fra doseringsstasjonene og eventuelt lokale vannføringsregistreringer ville resultatenes pålitelighet bli forbedret.

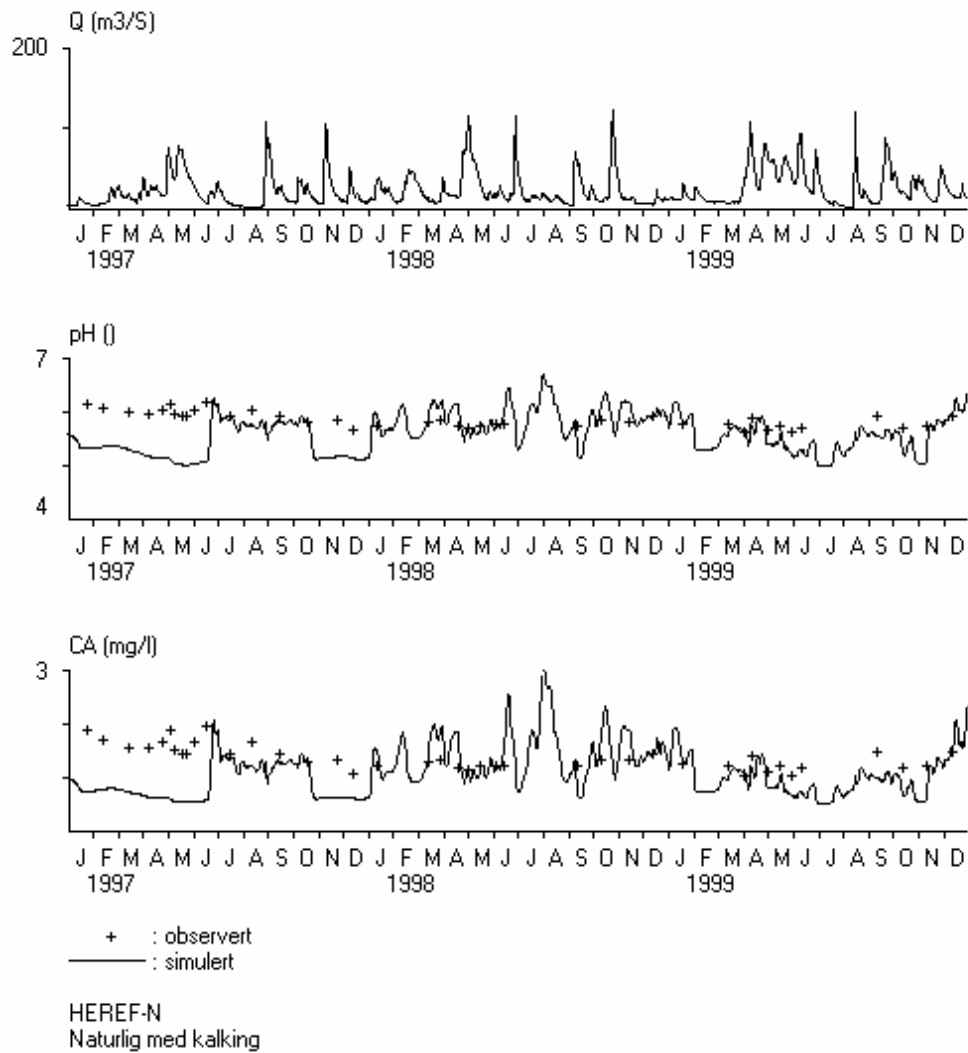
Hvor lang transporttid kalkmengden bruker nedover i vassdraget er blant annet avhengig av hvor mye vann som er i vassdraget. Med hensyn til modelleringen er det her viktig om en strekning kan betraktes som en elv eller innsjø. Dersom det er en terskel på strekningen vil vannstanden bli høyere enn ellers og transporttiden øke. Transporttiden betyr lite ved langsomme vannføringsendringer, men kan være viktig om man for eksempel vil simulere flomeffekten av en kortvarig intens nedbør periode. Det kan derfor være nødvendig med innhenting av data for elveutforming i visse områder hvis modellen skal gi mer presise resultater.



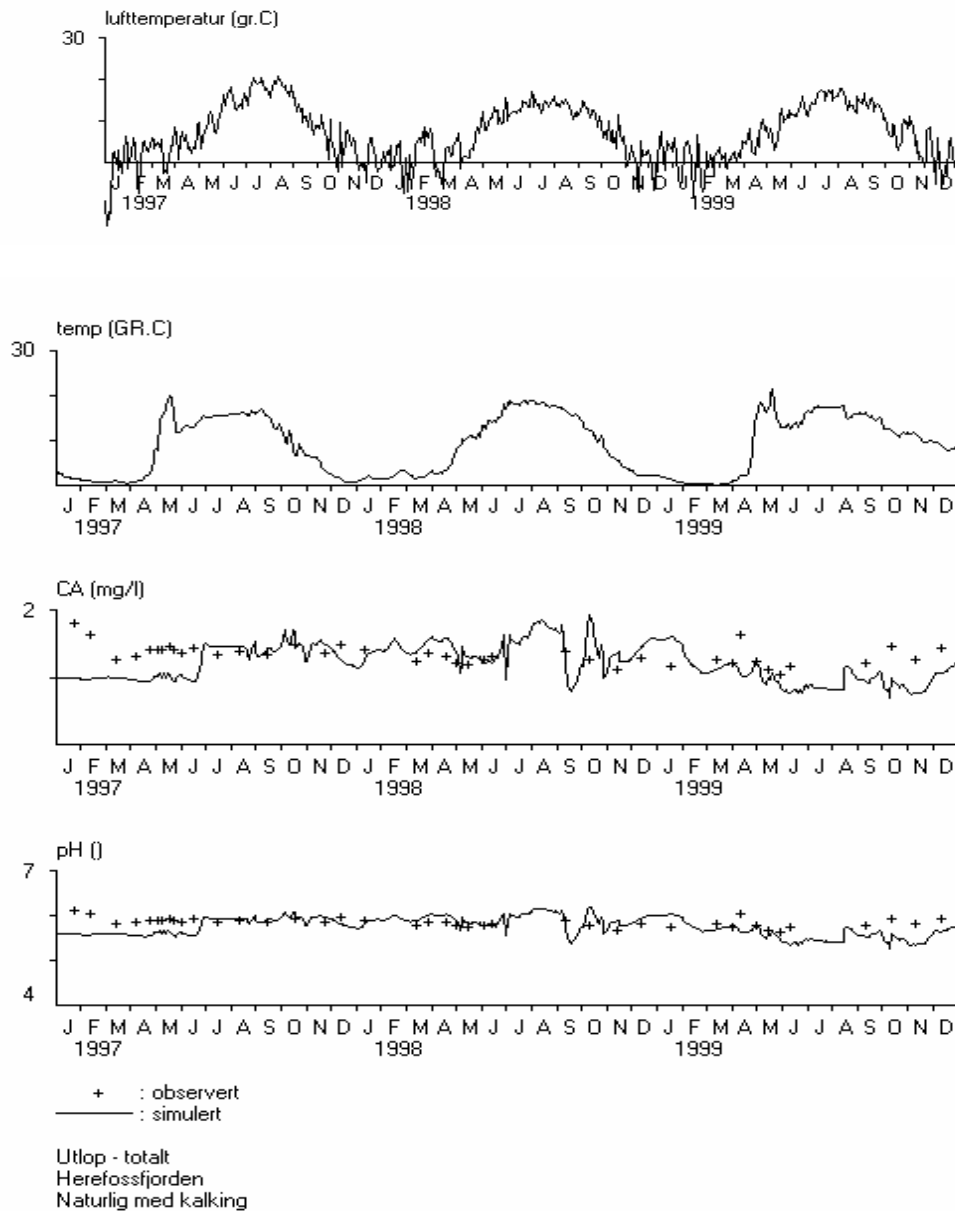
**Figur 20.** Beregnet vannføring samt observerte og simulerte verdier for pH og kalsium i Skjeggedalsåna/Uldalsåna oppstrøms Rettåna.



**Figur 21.** Beregnet vannføring samt observerte og simulerte verdier for pH og kalsium i Rettåna ved Skjeggedalsåna/Uldalsåna. Kalking av Ogge påvirket forløpet sterkt.



**Figur 22.** Beregnet vannføring samt observerte og simulerte verdier for pH og kalsium i Tovdalselva ved utløpet i Herefossfjorden.



**Figur 23.** Beregnet vannføring samt observert og simulerte verdier for pH og kalsium i utløpet av Herefossfjorden.

## 5.4. Dosering for å oppfylle krav til pH

Vi skal her benytte modellen til å finne en optimal dosering for å tilfredsstille gitte krav til pH. I tillegg skal vi se litt på transporttider og konsekvenser av dette.

Målsetningen er at det skal kalkes slik at pH verdiene i perioden 15. februar – 1. juni skal være 6.2 og i resten av året 6.0. pH verdier på 6.0 og 6.2 tilsvarer kalsiumkonsentrasjoner på 1.55 mg Ca/l og 1.95 mg Ca/l, **Figur 16**.

Vi har benyttet den samme plasseringen av doseringsanleggene som vi har idag med unntak av i Hovlandsåna hvor det ble plassert et anlegg nedstrøms Vikstølsvatn.

Først ble det dosert slik at kravet til pH ble tilfredsstilt for den delen av vassdraget som kun dekkes av dette anlegget, her kalt ”lokalt vassdrag”, f.eks. Skjeggedalsvassdraget oppstrøms Vatnedalselva. Deretter ble mengden økt slik at også vassdragene nedstrøms ”lokalt vassdrag” ble kalket opp til kravet. Det er flere måter å dekke kravet til dette ”fellesvassdraget” på.

Resultatene er vist i **Figur 24** og **Figur 25**, samt i vedlegg bak i rapporten

Ifølge simuleringene kan målet gjennomgående opprettholdes for hele vassdraget ved å kalke opp til en gitt pH-verdi ved hvert enkelt anlegg. Ved Bås var det nødvendig å kalke opp til en pH-verdi nær 0.3 pH enheter over kravet for å oppnå målsetningen ved utløpet til Herefossfjorden. I Uldalsvassdraget ble den tilsvarende økningen ved Skjeggedal doseringsanlegg nær 0.5 pH-enheter. Nederst i Vatnedalselva, Hovlandsåna/Flatlandsåna og Rettåna tilsvarte doseringen en konsentrasjonsøkning på ca. 0.2 pH-enheter over kravet.

På grunn av reguleringen av Vikstølsvatn og transporttiden ned til samløpet med Skjeggedalsåna, ble pH-verdiene der mer ujevne enn nedstrøms de øvrige doseringsanleggene, se **Figur 24**. Dette ville bedre seg om man flyttet anlegget ytterligere lenger ned. Ved kun å nytte doseringsanlegget ved Klepsland oppstrøms Vikstølsvatn, ble konsentrasjonene ved utløpet til Skjeggedalsåna/Uldalsåna nær tilfeldige. Dette på grunn av lang transporttid gjennom Vikstølsvatn og på grunn av at det regulerte avløpet fra Vikstølsvatn ofte avvek sterkt fra den naturlige avrenningen i nedbørfeltet som doseringen skulle kompensere for. Det var helt nødvendig å plassere et tenkt doseringsanlegg nedenfor Vikstølsvatn dersom anlegget skal inngå i nettverk for å kompensere for vannføringsvariasjonene nedstrøms.

Dette vil gi som resultat at det er mulig å oppnå en jevn og tilfredsstillende vannkvalitet ved utløpet av Herefossfjorden (**Figur 25**).

Ved lavt tilsig i nedbørfeltet kan påslipp av vann fra Vikstølsvatn dominere vannføringene nedstrøms (**Figur 26**). Ved slike anledninger vil det være nødvendig at vannet ut av Vikstølsvatn har god kvalitet eller at det kalkes opp til en gitt pH verdi nedenfor. **Figur 27** og **Figur 28** viser forløpet ved middels og høy vannføring.

Total årlig simulert dosering i henholdsvis Tovdalselva og Uldalsåna var 2740 tonn og 4485 tonn, se **Tabell 4**. I Tovdalselva ble all kalken dosert ved Bås. I Uldalsånas vassdrag ble 3685 tonn dosert fra doseringsanlegg med mulighet for kontinuerlige tilførsler og 800 tonn ble antatt å ha blitt tilført via innsjøkalking. Vi antok at innsjøkalkingen av både Oggevassdraget og Engelsåna sørget for tilfredsstillende pH verdier innen egne vassdrag.

**Tabell 4.** Simulert årlig kalkdosering for å oppfylle krav til pH på 6.2 fra 15. februar – 1. juni og pH 6.0 resten av året i hele vassdraget.

Vassdrag	Doserings lokalitet	Nedbørfelt som kun kan dekkes av kalking fra doseringsanlegg, "lokalt vassdrag" (km <sup>2</sup> )	Nedbørfelt som dekkes av doseringsanlegg, "lokalt- + felles vassdrag" (km <sup>2</sup> )	Kalk fra doseringsanlegg, tonn/år	Innsjøkalking, tonn/år	Sum kalk, tonn/år
Skjeggedalåna	Skjeggedal	153	203	1951	0	1951
Vatnedalselva	Vatne	113	150	598	0	598
Hovlandsåna	Klepsland+ ned. Vikstølsvatn	162	201	504		539
	Førevatn				35	
Tveitåna	Flekevatn			0	15	15
Engelsåna	Haukomvatn	48*	48*	0	100	100
Rettåna	Katerås	138	144	632		1282
	Oggevassdraget	151*	151*		650	
Sum Uldal		765	898	3685	800	4485
Tovdalselva	Bås	2740	2740	2740	0	2740

\* Nedbørfeltene antas å være innsjøkalket tilstrekkelig til å oppfylle kravet

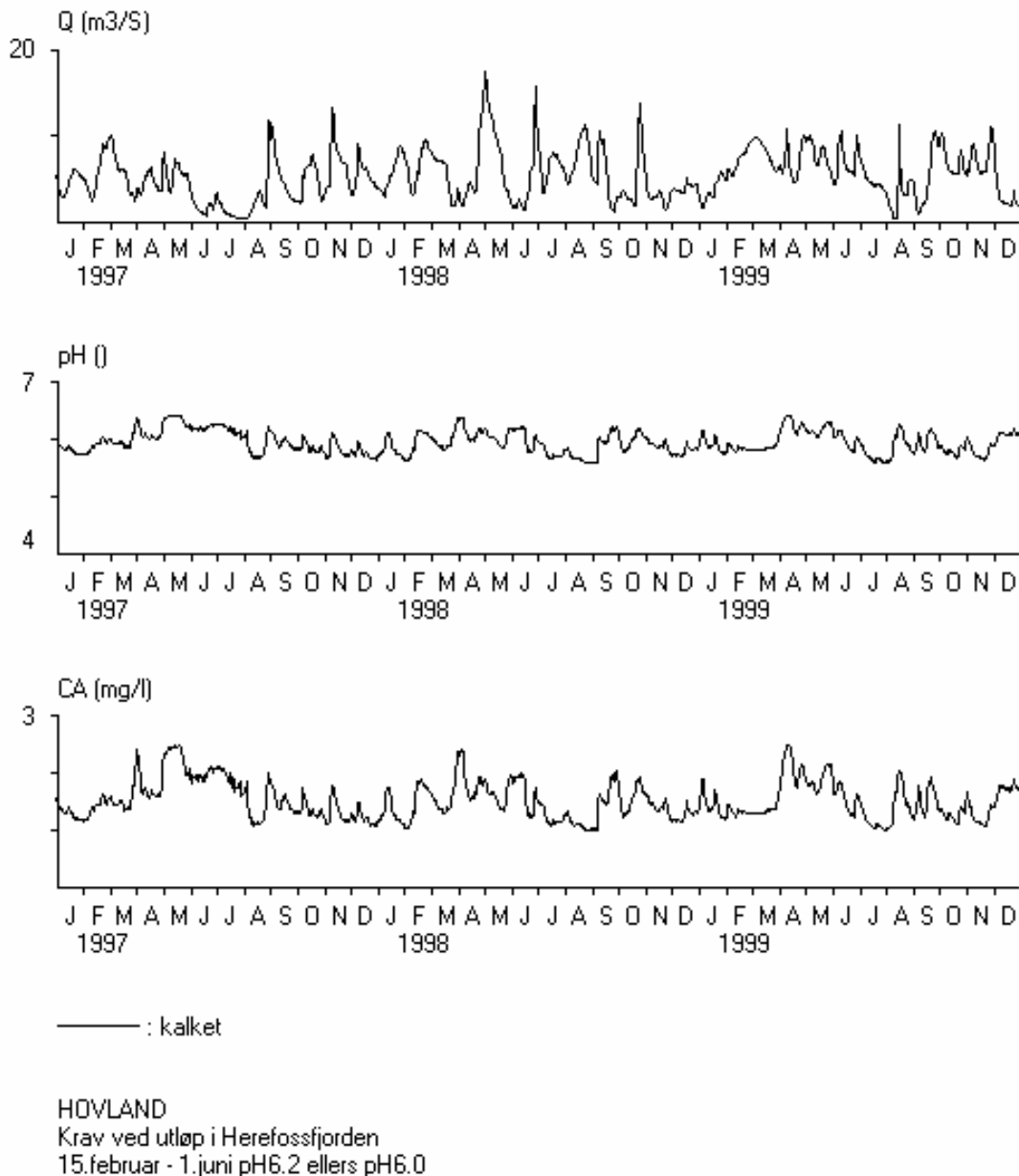
Ved utløpene til Herefossfjorden ga denne doseringen at kravet ble oppnådd i over 95% av tiden. Laveste simulerte pH verdi i Uldalselva (Heref-vest) og Tovdalselva (Heref-nord) ved Herefossfjorden var på henholdsvis pH 5.9 og pH 6.0, se **Figur 29**, nedre del. For å kalke den vannmengden som renner ut i Herefossfjorden i henhold til kravet ville det vært tilstrekkelig med en årlig dosering på 3750 tonn i Uldalsåna og 2260 tonn i Tovdalselva, hvilket utgjør en teoretisk minimal mengde tilført kalk. Forsøk på å simulere kalktilførsler nær denne teoretiske minimumsgrensen resulterte i lengere perioder hvor kravet ikke ble oppnådd ved utløpet i Herefossfjorden. Verdier under pH 6.0 ville ha funnet sted i omkring 50% av tiden, se **Figur 29**, øvre del. Forskjellene mellom disse to alternativene representerte en konsentrasjonsøkning på ca. 0.2 mg Ca/l ved Herefossfjorden.

Ved transport gjennom Herfossfjorden ble kalken fortynnet av det lokale tilsiget tilsvarende omkring 0.2 pH-enheter.

Simuleringene viser at det er nødvendig med en dosering over et teoretiske minimum for å oppnå tilfredstillende resultater. Dette har sammenheng med endret lokal vanntilførsel mens kalken transporteres nedover vassdraget. Kalken som er oppløst i vannet vil ta del i turbulente virvler langs elveløpets sider og bunn og følgelig transporteres mye langsommere enn vannets middelfart. Ifølge simuleringene kan det ved middels vannføringer ta en uke før kalk dosert ved Bås når fram til Herefossfjorden. Videre kan det ta ytterligere en uke før konsentrasjonene der er i likevekt med en konstant doseringsmengde. Transporttiden kan variere mye i forhold til vannføring og vannmengde i elveløp og innsjøer. Vi tenker oss at vannføringen øker til det dobbelte i hele vassdraget p.g.a. nedbør i løpet av et par dager. Det vil si at det er behov for dobbelt så mye kalk for å opprettholde samme konsentrasjon. En vannføringsproporsjonal kalkdoserer ved Bås vil riktignok tilføre dobbelt så mye kalk, med dette kan komme en uke for sent til å avhjelpe vannføringsøkningen ved Herefossfjorden. Jo lengere transporttid fra doseringsstedet, jo større "overdosering" vil være nødvendig som sikkerhet for å oppfylle kravet i tilstrekkelig stor andel av tiden.

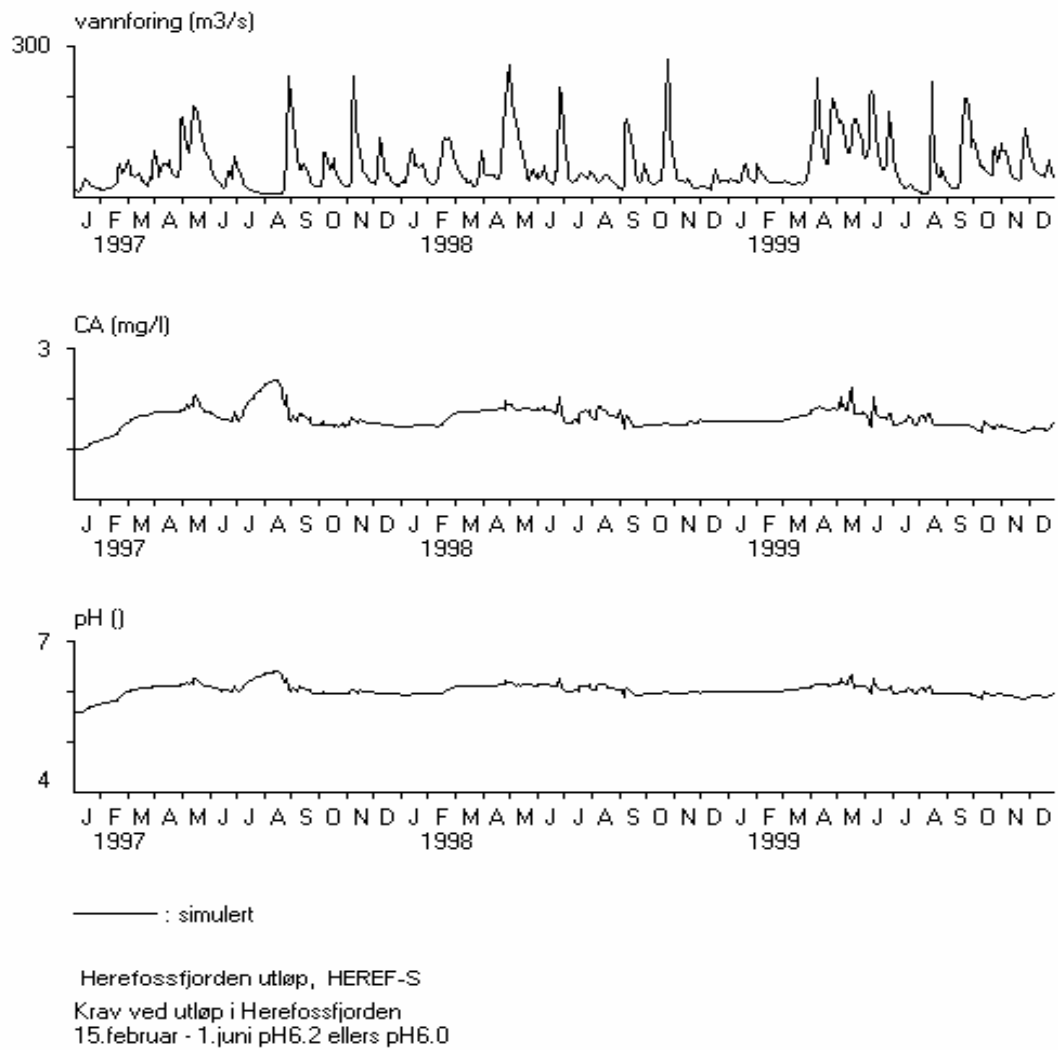
Ved langsomme vannføringsendringer skaper transporttiden små problemer. En moderat "overkalking" er tilstrekkelig for å oppfylle kravet nesten hele tiden.

I modellen har vi antatt at lokale tilførsler endres i samsvar med vannføringen i Tovdalselva ved Austenå. I virkeligheten vil disse vanntilførslene selvfølgelig variere regionalt. Dette vil resultere i at det forekommer flere dager med en vannkvalitet som er under kravet enn det simuleringene viser. Dersom vi skal kunne ta hensyn til ujevn regionalt tilsig og meget raske endringer, må vi nytte vannføringsobservasjoner i de ulike delene av vassdraget eller lage undermodeller som prognoserer disse.

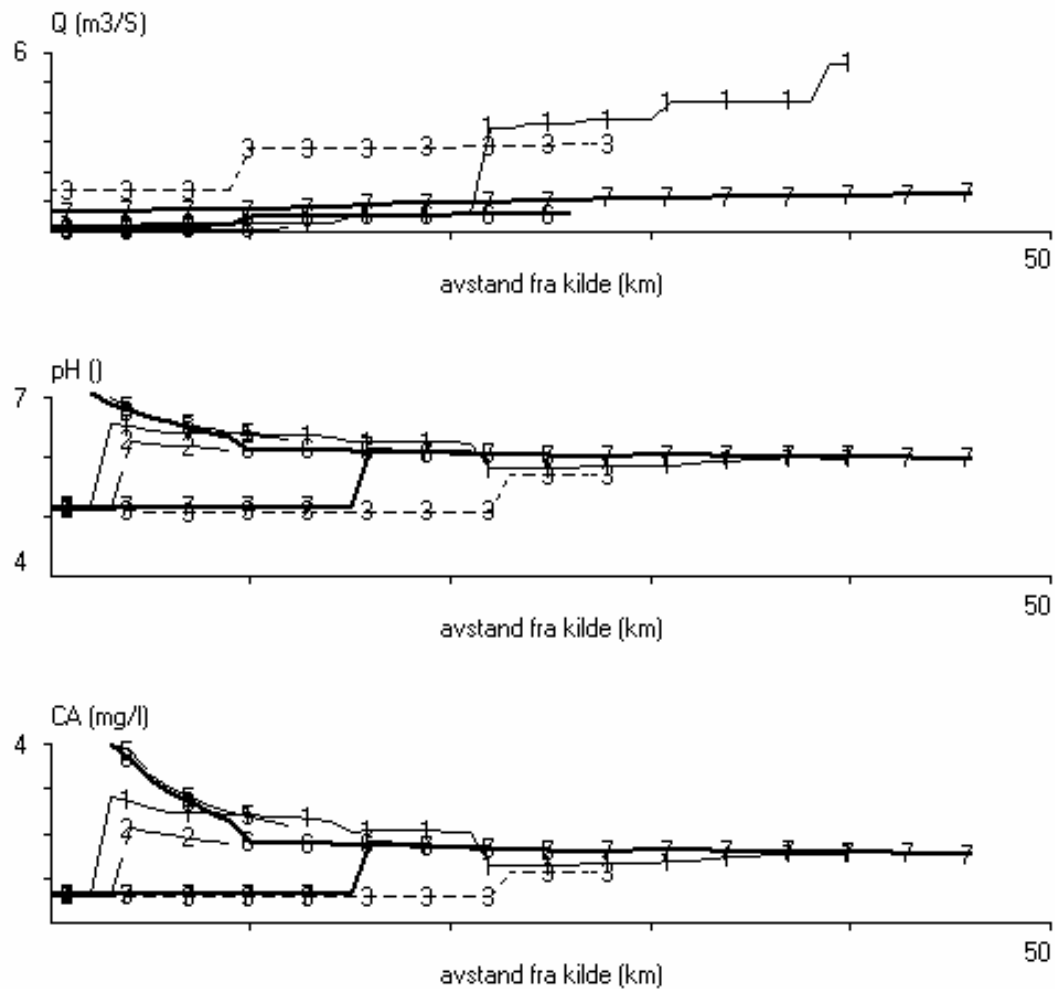


**Figur 24.** Beregnet vannføring, samt simulert pH og kalsiumkonsentrasjon i Hovlandselva/Flatelandsåna ved utløpet til Skjeggedalsåna/Uldalsåna.





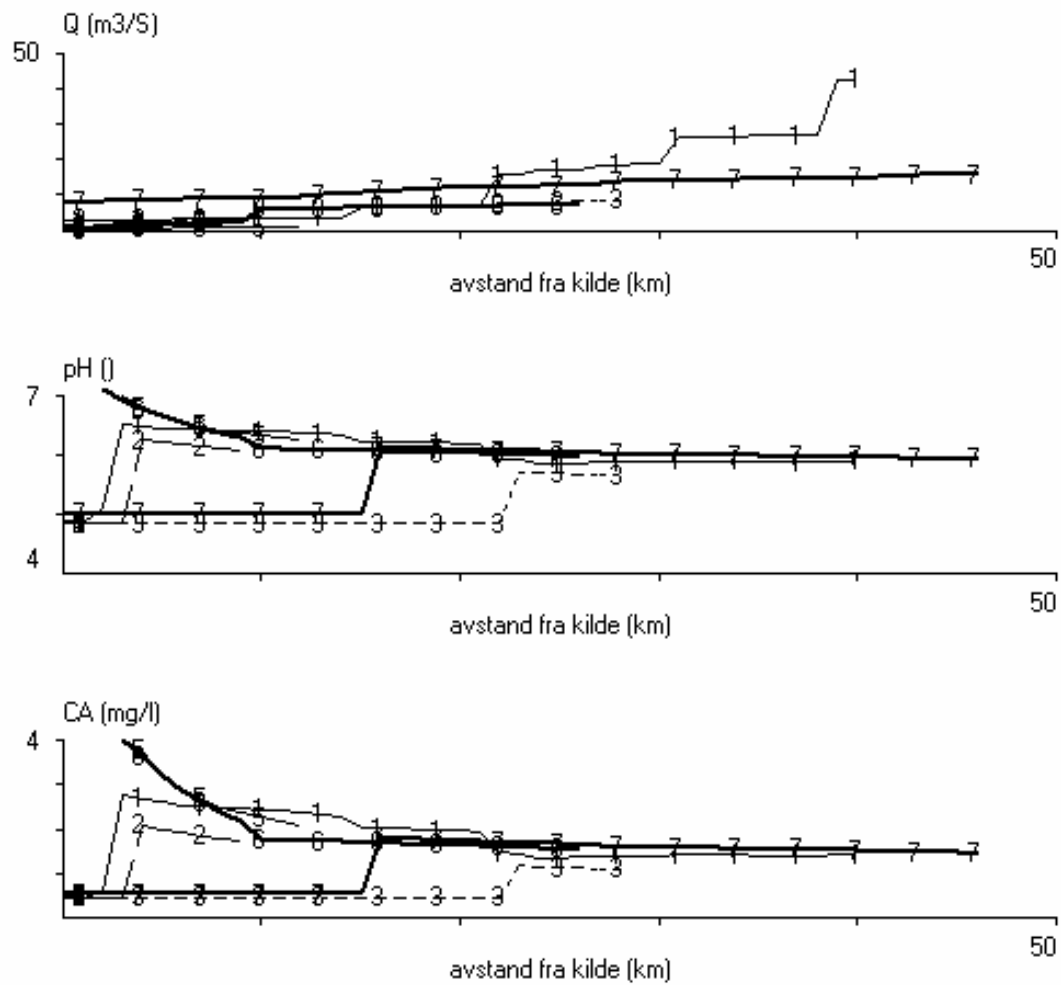
**Figur 25.** Beregnet vannføring, samt simulert pH og kalsiumkonsentrasjon i Tovdalselva ved utløpet av Herefossfjorden



DATO 970815. Lengdeprofil (se elvenr på kurven)  
 Krav ved utløp i Herefossfjorden  
 15.februar - 1.juni pH6.2 ellers pH6.0

- 1 Skjeggedalåna/Uldalsåna
- 2 Vatnedalselva
- 3 Hovlandsåna/Flatelandsåna
- 4 Engelsåna
- 6 Rettåna-Skreosåna
- 7 Tovdalselva

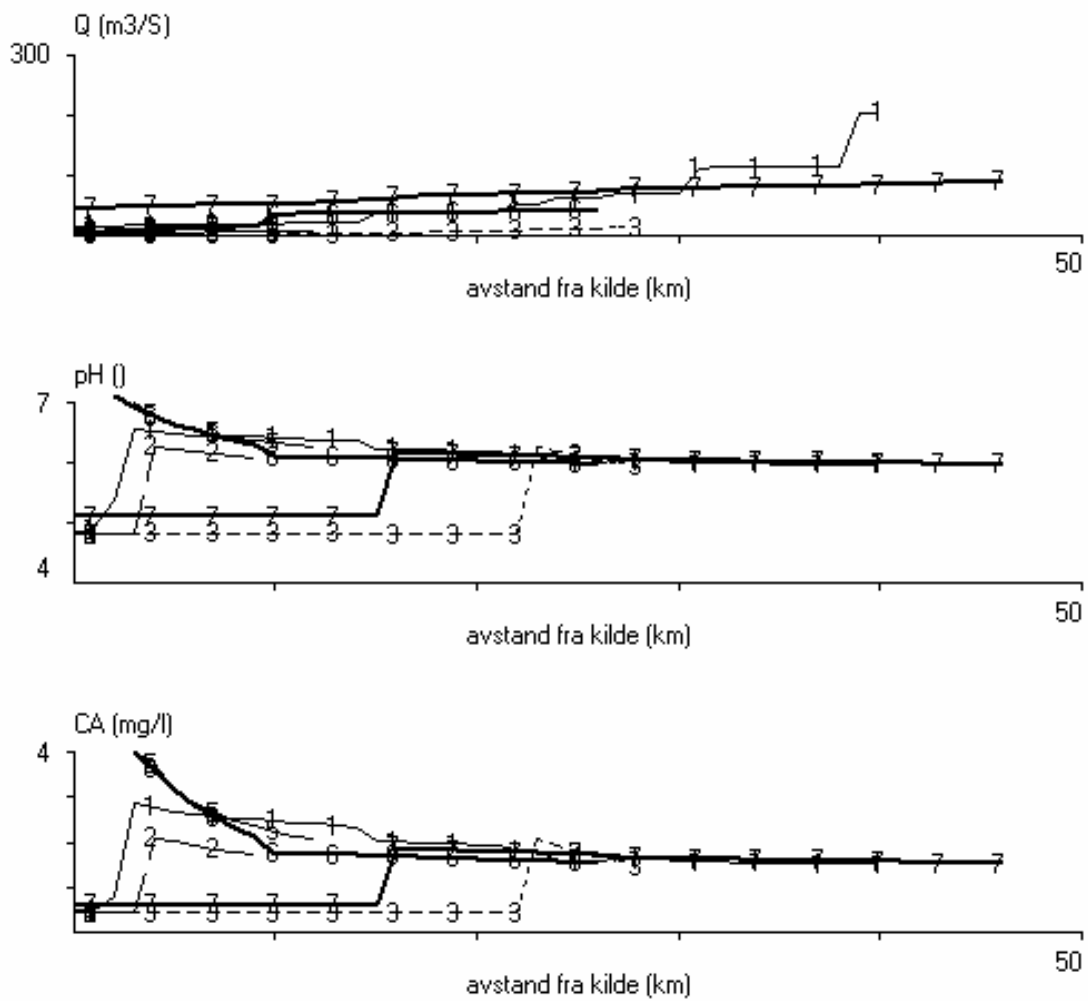
**Figur 26.** Simulerte resultater langs vassdragene ved lav vannføring



DATO 980720. Lengdeprofil (se elvenr på kurven)  
 Krav ved utløp i Herefossfjorden  
 15.februar - 1.juni pH6.2 eller pH6.0

- 1 Skjeggedalåna/Uldalsåna
- 2 Vatnedalselva
- 3 Hovlandsåna/Flatelandsåna
- 4 Engelsåna
- 6 Rettåna-Skreosåna
- 7 Tovdalselva

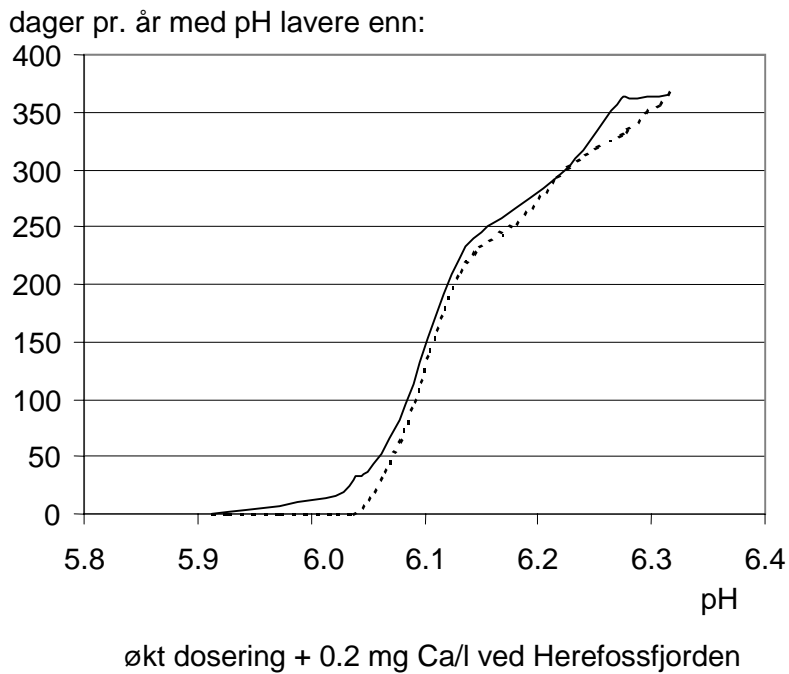
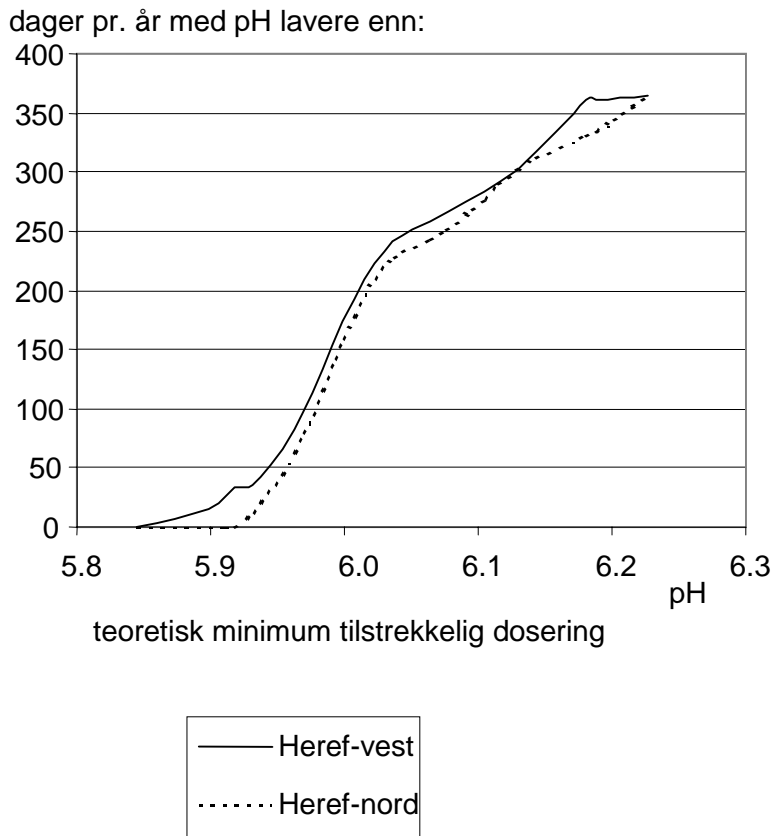
**Figur 27.** Simulerte resultater langs vassdragene ved "middels høy" vannføring



DATO 990921. Lengdeprofil (se elvenr på kurven)  
 Krav ved utløp i Herefossfjorden  
 15.februar - 1.juni pH6.2 eller pH6.0

- 1 Skjeggedalåna/Uldalsåna
- 2 Vatnedalselva
- 3 Hovlandsåna/Flatelandsåna
- 4 Engelsåna
- 6 Rettåna-Skreosåna
- 7 Tovdalselva

**Figur 28.** Simulerte resultater langs vassdragene ved høy vannføring



**Figur 29.** Dager pr. år med pH under ulike nivåer ved ulike doseringsstrategier, se tekst.

## 5.5. Transport av kalk gjennom Herefossfjorden

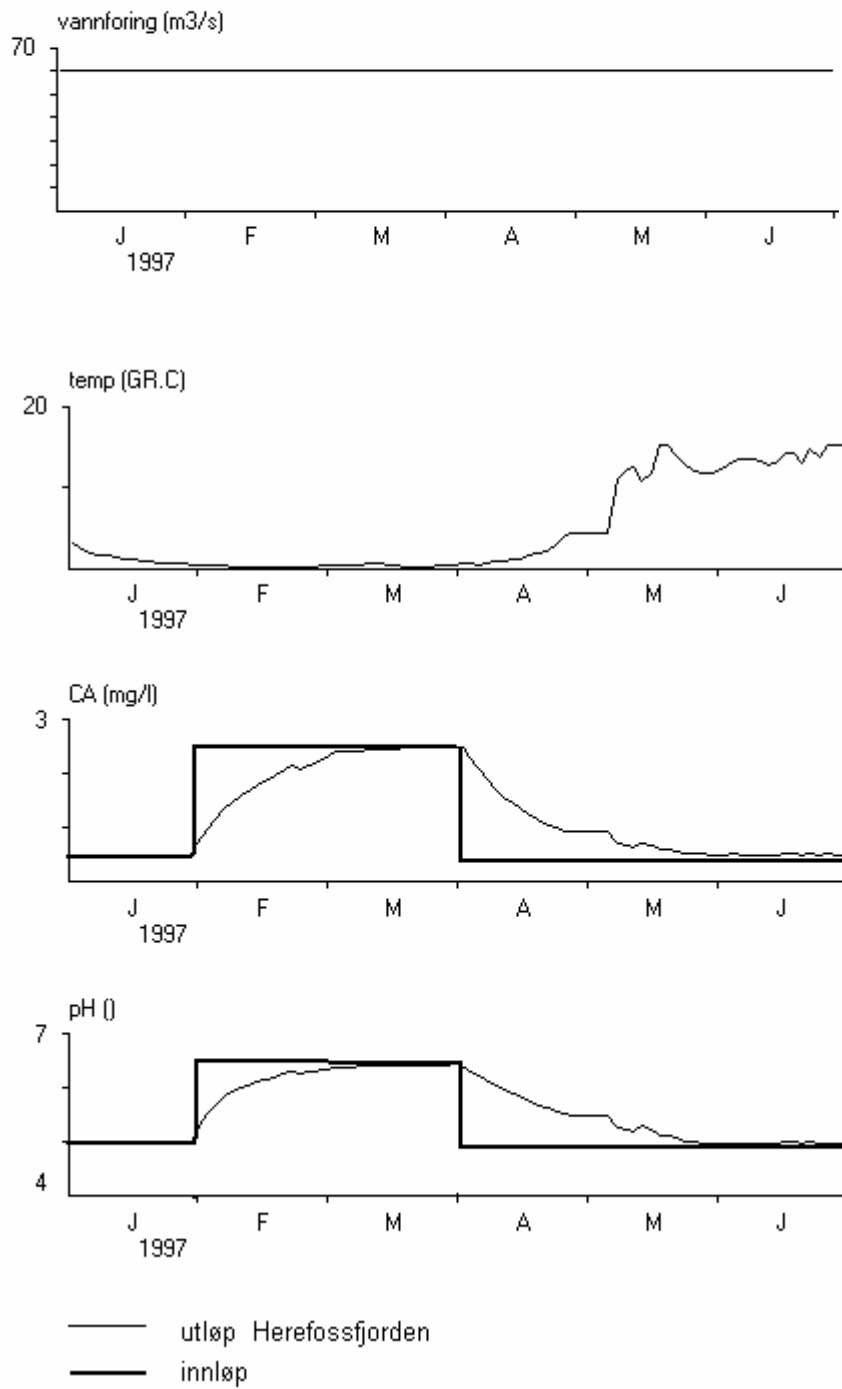
Herefossfjorden har et overflateareal på 3.6 km<sup>2</sup> og volum på 80 mill. m<sup>3</sup>. Middeldypet er 22 m, største dyp 54 m og største lengde og bredde er 6.5 km og 1 km. Midlere vannføring på noe over 50 m<sup>3</sup>/s gir en teoretisk oppholdstid på 18 døgn. Dominerende vanntilførsel kommer via Uldalsåna og Tovdalselva som har et nedbørfelt på henholdsvis 898 km<sup>2</sup> og 670 km<sup>2</sup>. Det lokale nedbørfeltet utgjør 72 km<sup>2</sup>.

Temperatur- og tetthetsprofilene i Herefossfjorden er i vesentlig grad bestemt av gjennomstrømning av vann fra de to hovedelvene. Dette gjelder særlig i den isfrie delen av året. Dersom det ikke hadde eksistert tilløpselver i det hele tatt, ville det ofte ha vært skarpe gradienter nær overflaten. Det vil si at overflatevannet er lettere og vannmassene stabile. Simulering av de virkelige temperaturforholdene viser langt mindre tetthetsgradienter og dermed mindre stabile vannmasser, vedlegg bak i rapporten. Det vil si at vann som strømmer inn i nordenden av Herefossfjorden transporteres gjennom innsjøen over en stor del av dybdeprofilen. Vannet blandes i en stor del av innsjøvolumet. I perioder med liten vannføring, blir klimaforholdene bestemmende for tetthetsprofilen slik at vi i større utstrekning kan få en raskere og mer konsentrert gjennomstrømning i overflaten.

**Figur 30** viser tenkt transport av kalsium gjennom Herefossfjorden. Vannføringen er konstant lik 60 m<sup>3</sup>/s, d.v.s. nær årlig middelværdi. Kalsiumkonsentrasjonene er i likevekt med de naturlige bakgrunnsverdiene på 0.5 mg Ca/L, tilsvarende en pH verdi på 5.0. Konsentrasjonene ble så økt til 2.5 mg Ca/L, tilsvarende ca. pH 6.5 i to måneder (januar-februar). Det tok omkring en måned (februar) før konsentrasjonene i utløpet steg til verdier av samme størrelse som de økte innløpskonsentrasjonene. Det tok to måneder (april-mai) før utløpsverdiene ble redusert til bakgrunnsverdiene igjen.

Vann fra tilløpselvene kommer fra de øverste meterene av innsjøene Gauslåfjorden og nederste del av Uldalsåna (Hanefossmagasinet) og vil derfor vanligvis blande seg med vannet i Herefossfjorden på tilsvarende dyp for siden å blandes med en stadig større del ved diffusjon og turbulens. Utløpet vil trekke mest vann fra den øverste delen av innsjøen. Dette gjør at Herefossfjorden virker som et utjevningsbasseng for kalk som tilføres. Jo lavere vannføring, jo lengere transporttid og større utjevnende effekt. I tillegg kommer vindpåvirkning. Denne kan virke i begge retninger. Sterk og vedvarende vind i lengderetningen kan føre til en raskere transport. Varierende vind i retning og styrke vil trolig føre til økt blanding og økt utjevning.

Det er flere forhold som modellen kunne ha utnyttet om de nødvendige data fantes. Vi har kun tatt hensyn til pH-endring som funksjon av kalsiumkonsentrasjon. Tilløpsvannføringene er beregnet ut fra registreringer ved Austenå. Det er ikke tatt hensyn til andre reguleringer enn i Vikestølvatn. Også andre prosesser enn kalking kan påvirke pH verdiene i Herefossfjorden. Innsjømodellen FINNECO kan også simulere slike forhold, men dette krever data om tilførsler av andre komponenter. Manglende observasjoner fra selve innsjøen gjorde at vi ikke fikk gjennomført en fullgod kalibrering og test av modellens pålitelighet. Vi tror imidlertid at dette ikke er avgjørende for de resultatene som er presentert og vurdert her.



**Figur 30.** Simulert transport av kalsium gjennom Herefossfjorden og beregnet pH-utvikling. Det kan ta mange uker å transportere kalk gjennom Herefossfjorden.

## 5.6. Status for og forslag til videreføring av modellarbeidet

Det er viktig å påpeke at simuleringsresultatene ikke kan bli bedre enn inngangsdataene som benyttes gir grunnlag for. Det som er avgjørende for elvemodellens resultater er dosert kalkmengde, vannføring og transporttid. De simulerte verdiene samsvarer i stor grad med observerte kontrollverdier. Dersom beregningenes pålitelighet skulle økes, ville det være nødvendig med mer detaljerte verdier av først og fremst kalkmengde (døgnverdier), dernest av observerte vannføringer som er representative for de ulike delene av nedbørfeltet. For å simulere forhold ved normalt langsomme vannføringsendringer vil gode opplysninger om dette trolig være tilstrekkelig.

Dersom det er viktig å unngå perioder med lave pH verdier i forbindelse med raske vannføringsendringer er det nødvendig med en sikker beregning av transporttiden. Transporttiden er avhengig av elveløpets form, gradient, ruhet m.m. Av dette er det trolig opplysninger om terskler i elveløpets lengdeprofil som er viktigst. Dersom det er en terskel kan elvestrekningen betraktes som en grunn innsjø og kalk som transporteres vil blande seg med mer vann og bruke lenger tid på å forflytte seg enn i en grunnere elv uten terskel. I Tovdalsvassdraget er det en rekke elvestrekninger som har innsjøkarakter. En mer pålitelig transporttid krever dybdemålinger langs vassdraget.

Bruk av simuleringsmodellen kan være til hjelp for å avpasse forholdet mellom doseringsmengde og respons i vassdraget. Dersom transporttiden fra doseringsstedet til et gitt sted i vassdraget er for lang til å kompensere for lokale vannføringsendringer, kan det være behov for å prognosere disse vannføringene for å kunne dosere passende mengde tilstrekkelig tidlig. En enkel form for prognose er å studere vannføringsendringene de siste dagene. For lave pH-verdier er fortrinnsvis knyttet til en rask vannføringsøkning. På stigende vannføring kunne man så dosere mer enn hva man ellers ville ha gjort. En mer avansert metode ville være å modellere den fremtidige vannføringen ut fra varslede temperatur- og nedbørforhold. Alternativt kan doseringsanleggene plasseres tettere, men det er neppe realistisk. Modellen vil være egnet til å kartlegge hvordan ulike strategier ville ha påvirket pH verdiene i løpet av året. I denne omgang var inngangsdataene for unøyaktige til å simulere transporttiden med tilstrekkelig nøyaktighet til at vi fant det hensiktsmessig å utdype virkningen av raske vannføringsendringer med å modellere ytterligere scenarier.

Med en reaksjonstid mellom tilløps- og utløpskonsentrasjoner på opp til flere uker i Herefossfjorden er det lite hensiktsmessig å dosere kalk fra anleggene oppstrøms Herefossfjorden til å avhjelpe akutt kritiske forhold nedstrøms. Utløpskonsentrasjonene kan i større grad betraktes som en "forhøyet bakgrunnskonsentrasjon".

Dersom det er viktig å unngå episoder med uheldig lave pH verdier, bør det også registreres vannføringer som representerer lokalt tilsig nedstrøms doseringsanleggene. Dette er trolig mest aktuelt nedstrøms Herefossfjorden.

For å verifisere innsjømodellen er det behov for kontrolldata fra Herefossfjorden. Dette kan i stor grad tilfredstilles ved måling av temperatur, pH og eventuelt også kalsiumkonsentrasjon i et dybdesnitt i midten av innsjøen minst en gang pr. måned i ett år.

Modellen bør testes også nedstrøms Herefossfjorden. På denne strekningen er det spesielt viktig å simulere riktig transporttid og lokalt tilsig for å studere i hvilken grad vi kan forvente episoder med fiskedød på grunn av lave pH verdier og hvilke muligheter vi har for å unngå slike episoder. Fordi slike episoder har forekommet, vil vi anbefale at videre modellarbeid i Tovdalsvassdraget inkluderer dette.



**Prognosemodell som driftsverktøy**

Modellen kan nyttes til prognoser. Dette krever et brukervenlig grensesnitt og tilstrekkelig rask oppdatering av tilstanden i utvalgte punkter i vassdraget. Alle de viktigste data, pH, temperatur i luft og vann og vannføring, kan registreres automatisk og dermed overføres til et valgt sted uten tap av tid.

Modellen må ha et brukergrensesnitt som gjør det mulig å bruke den uten inngående teknisk kjennskap til programmering m.m. Vi kan tenke oss grensesnittet som et kart med ikoner for doseringsstasjoner, vannføringsstasjoner, rikelig med punkter hvor resultatene kan presenteres m.m. Brukeren, som i dette tilfellet først og fremst vil være en driftsoperatør, kan så kjøre modellen fram til dags dato. Alternativt kan operatøren legge inn målte verdier via skjermbilder som dukker opp ved å klikke på ikonene på skjermen. Via andre menyer og skjermbilder kan det så bestilles ulike scenarier for vannføring og dosering i de kommende dagene og studere tilhørende simulerte resultater.

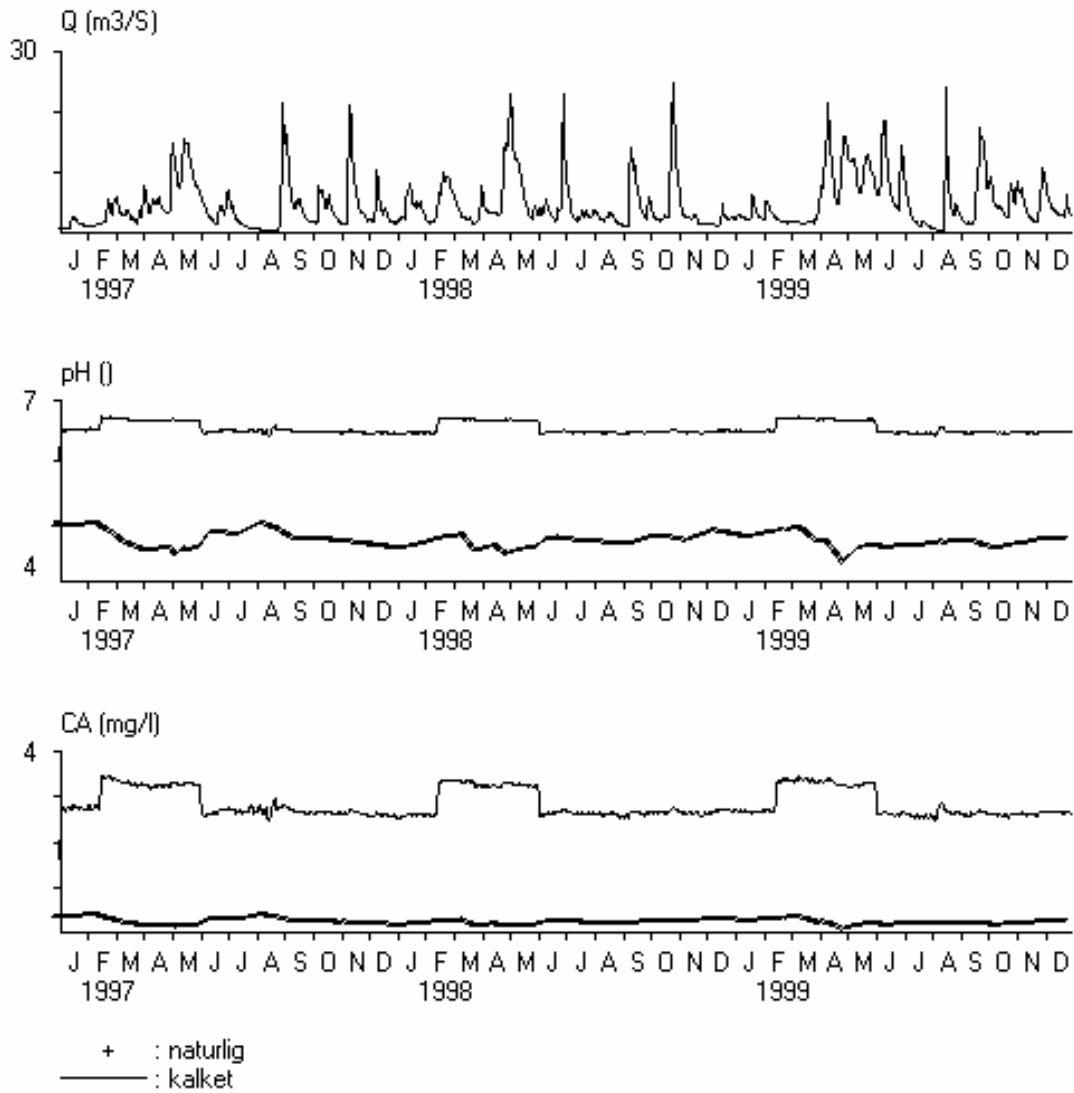
Ett eksempel: Hvis reaksjonstiden fra dosering til et gitt punkt i vassdraget er for lang til å bøte på en lokal vannføringsendring, kan dette eventuelt unngås ved på forhånd å dosere ekstra kalk. Vannføringsøkningen var i dette tilfellet kjent ved å benytte nedbørvarsler.

Ved videre arbeid kan andre modeller enn de som er benyttet her være aktuelle, ikke minst ut fra krav til brukervennlighet.

## 6. Referanser

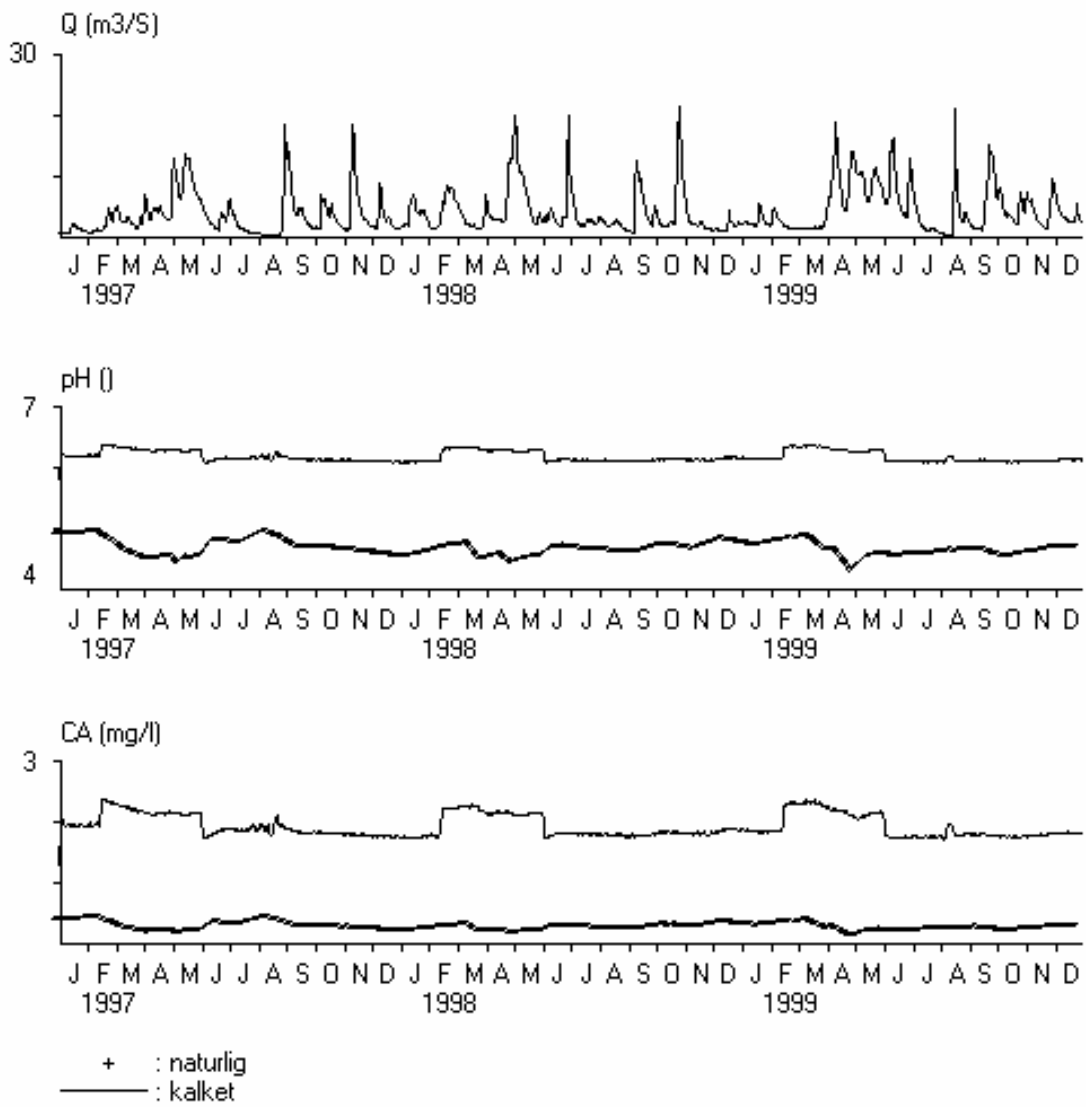
- EPA 1987. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Model. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, USA.
- Hesthagen, T. and Hansen, L. P. 1991. Estimates of the annual loss of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Norway due to acidification. *Aquacult. and Fish. Manage.* 22: 85–91.
- Hindar, A. 1991. Kalkingsplan for Tovdalsvassdraget. O-91032, NIVA-Sørlandsavdelingen, Grimstad. 31 s.
- Hindar, A. 1998. Tovdalsvassdraget. 2 Vannkjemi. I: Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 1997. DN-notat 1998-3: 83-85.
- Hindar, A. 1999. Tovdalsvassdraget. 2 Vannkjemi. I: Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 1998. DN-notat 1999-4: 83-87.
- Hindar, A. and Henriksen, A. 1992. Acidification trends, liming strategy and effects of liming for Tovdalselva, a Norwegian salmon river. *Vatten* 48: 54-58.
- Hindar, A. og Henriksen, A. 1995. Kalkingsstrategier for Tovdalsvassdraget basert på nåværende og framtidige overskridelser av naturens tålegrenser for sterk syre. O-93128, NIVA. 42 s.
- Hindar, A., Henriksen, A., Sandøy, S. and Romundstad, A.J. 1998. Critical load concept to set restoration goals for liming acidified Norwegian waters. *Restoration Ecology* 6 (4): 1-13.
- Høgberget, R. og Hindar, A. 1998. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg. Rapport 3824-98, NIVA. 37 s.
- Kinnunen, K., Nyholm, B., Frisk, T., Kyla-Harakka and Kauranne, T. 1982. Water Quality Modelling of Finnish Water Bodies. Publications of the National Boards of Waters no 46, Helsinki.
- Tjomsland, T. 1988. Simulering av økologiske forhold i Frøylandvatn ved bruk av modellen FINNECO. Rapport 2165-88, Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Tjomsland, T. 1998. Simulerte effekter av minstevannføringspåslipp på vannkvaliteten i Måna. Rapport 3831-98. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Wright, R.F. and Henriksen, A. 1999. Gap closure; use of MAGIC model to predict time required to achieve steady-state following implementation of the Oslo protocol. Naturens tålegrenser, rapport nr. 100. Rapport 4012-99, Norsk institutt for vannforskning, Oslo. 44 p.

## Vedlegg A. Simulerte verdier for pH og Ca



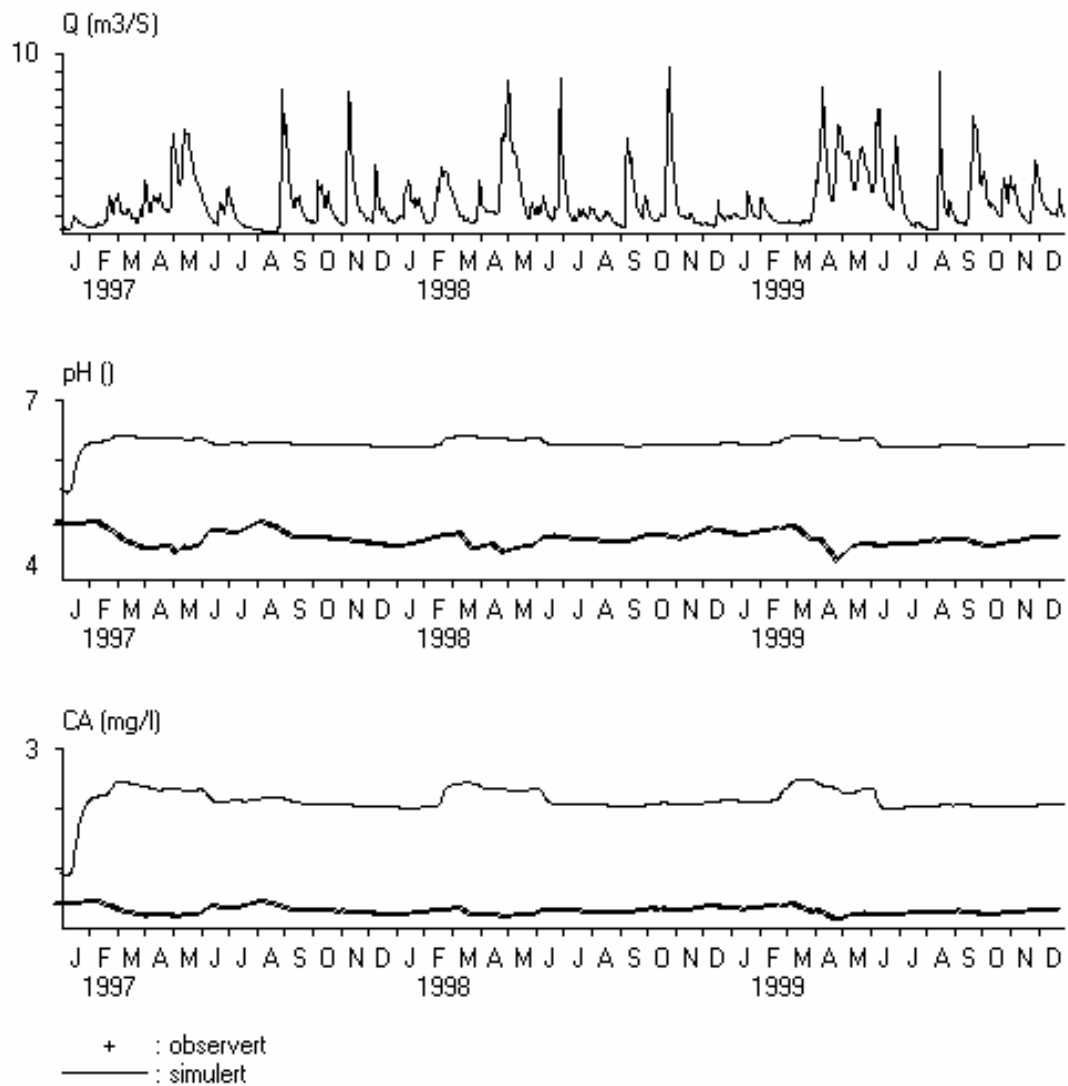
SKJEGG-N  
 Krav ved utløp i Herefossfjorden  
 15.februar - 1.juni pH6.2 ellers pH6.0

Skjeggdalsåna oppstrøms Vatnedalselva og nedstrøms doseringsanlegget.



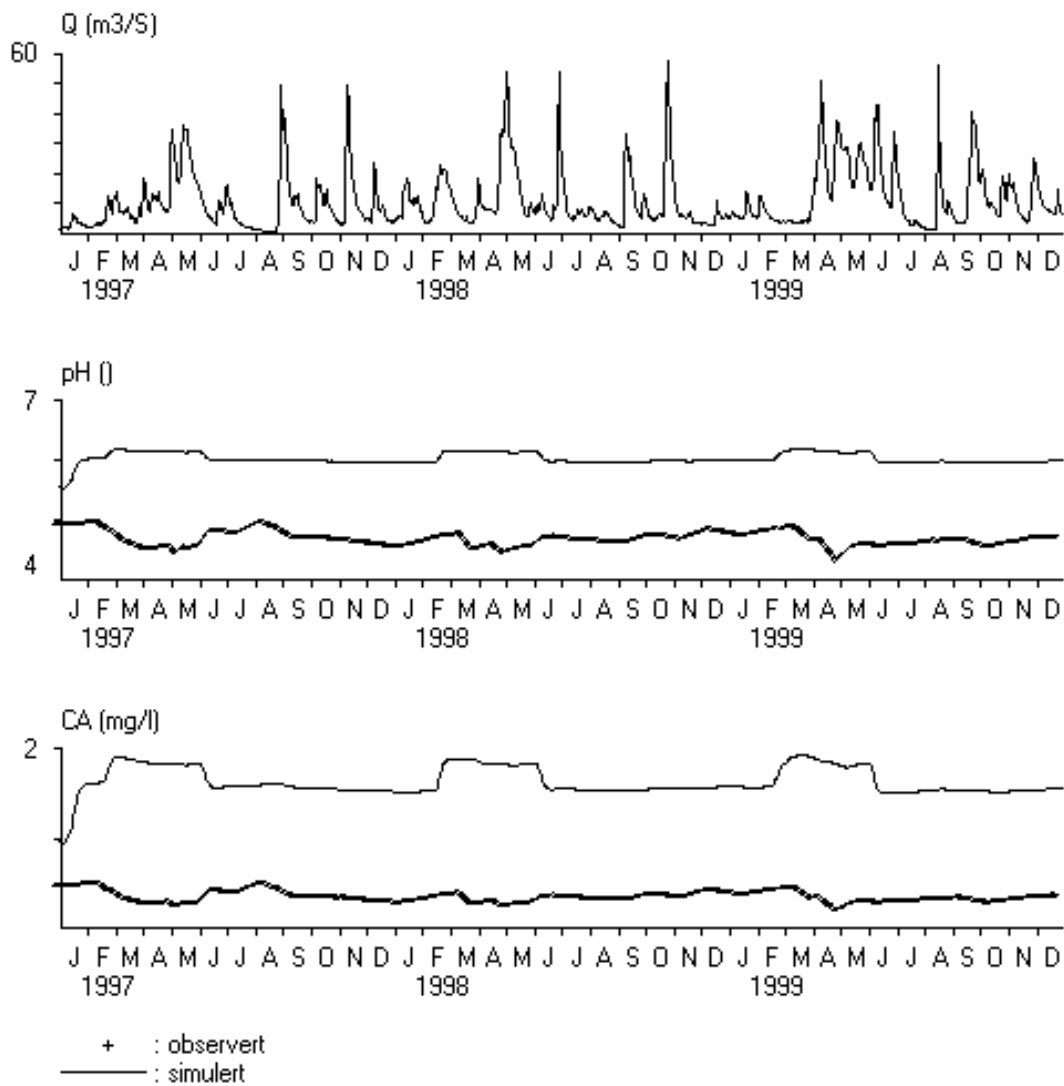
VATNEDAL  
 Krav ved utløp i Herefossfjorden  
 15.februar - 1.juni pH6.2 eller pH6.0

Vatnedalselva ved Skjeggedalåna



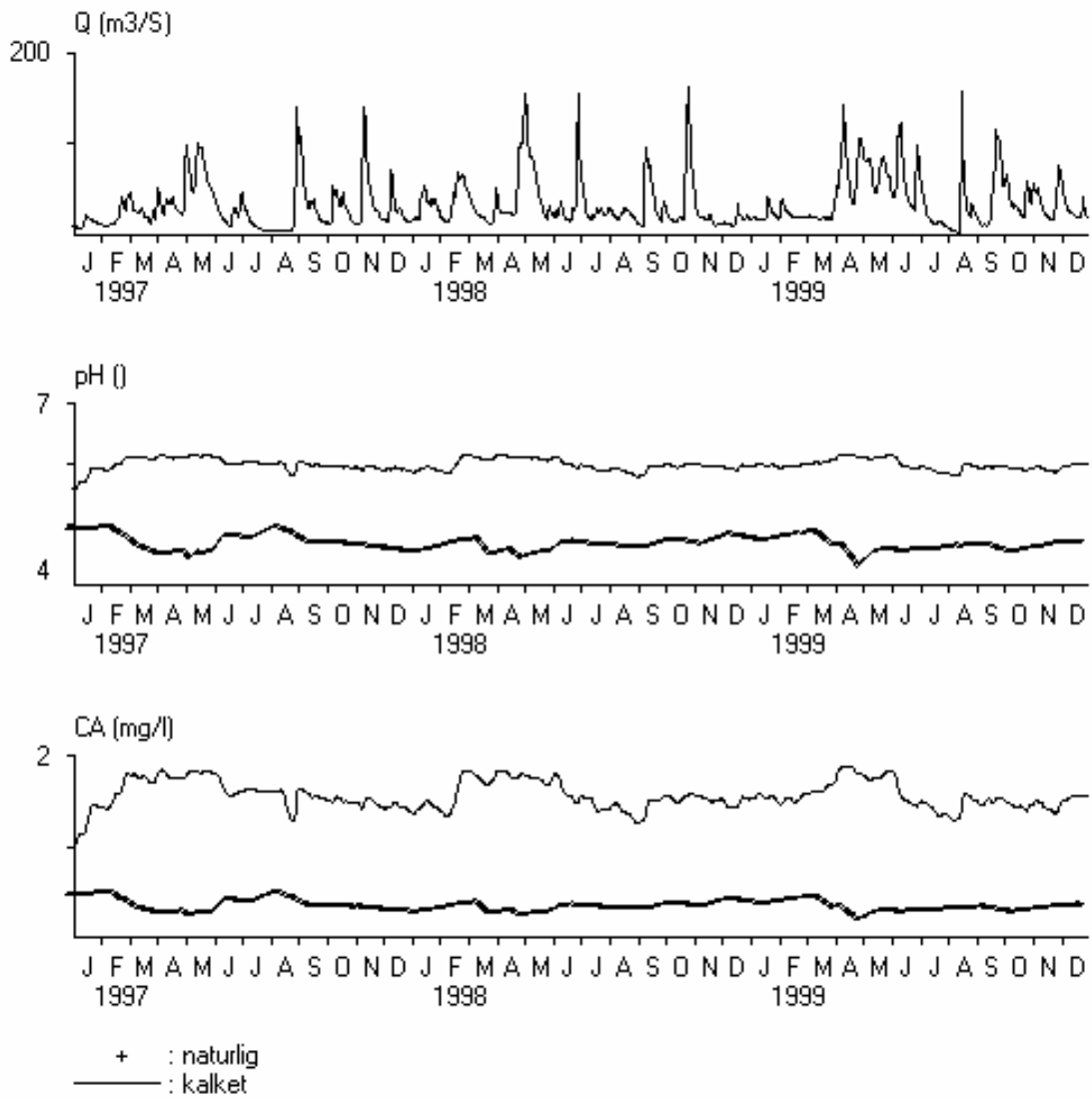
ENGELSA  
 Krav ved utløp i Herefossfjorden  
 15.februar - 1.juni pH6.2 ellers pH6.0

Krav til pH i Engelsåna ved Skjeggedalsåna/Uldalsåna opprettholdes ved årlig kalking av Haukomvatn.



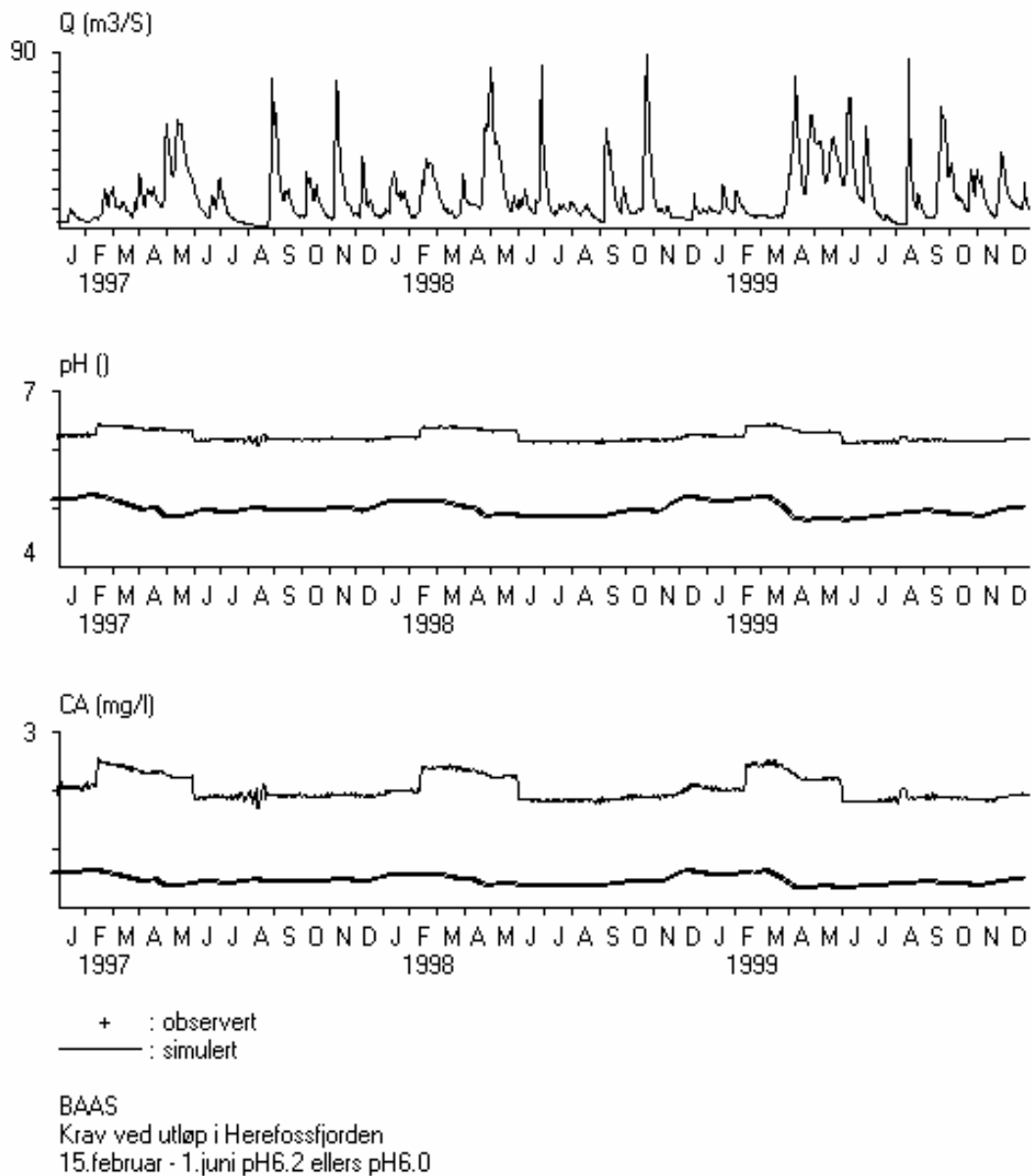
RETTANA  
Krav ved utløp i Herefossfjorden  
15.februar - 1.juni pH6.2 ellers pH6.0

Rettåna ved Skjeggadalsåna/Uldalåna. Kravet opprettholdes ved kalkdosering ved Katerås og "årlig" innsjøkalking i Oggevassdraget.

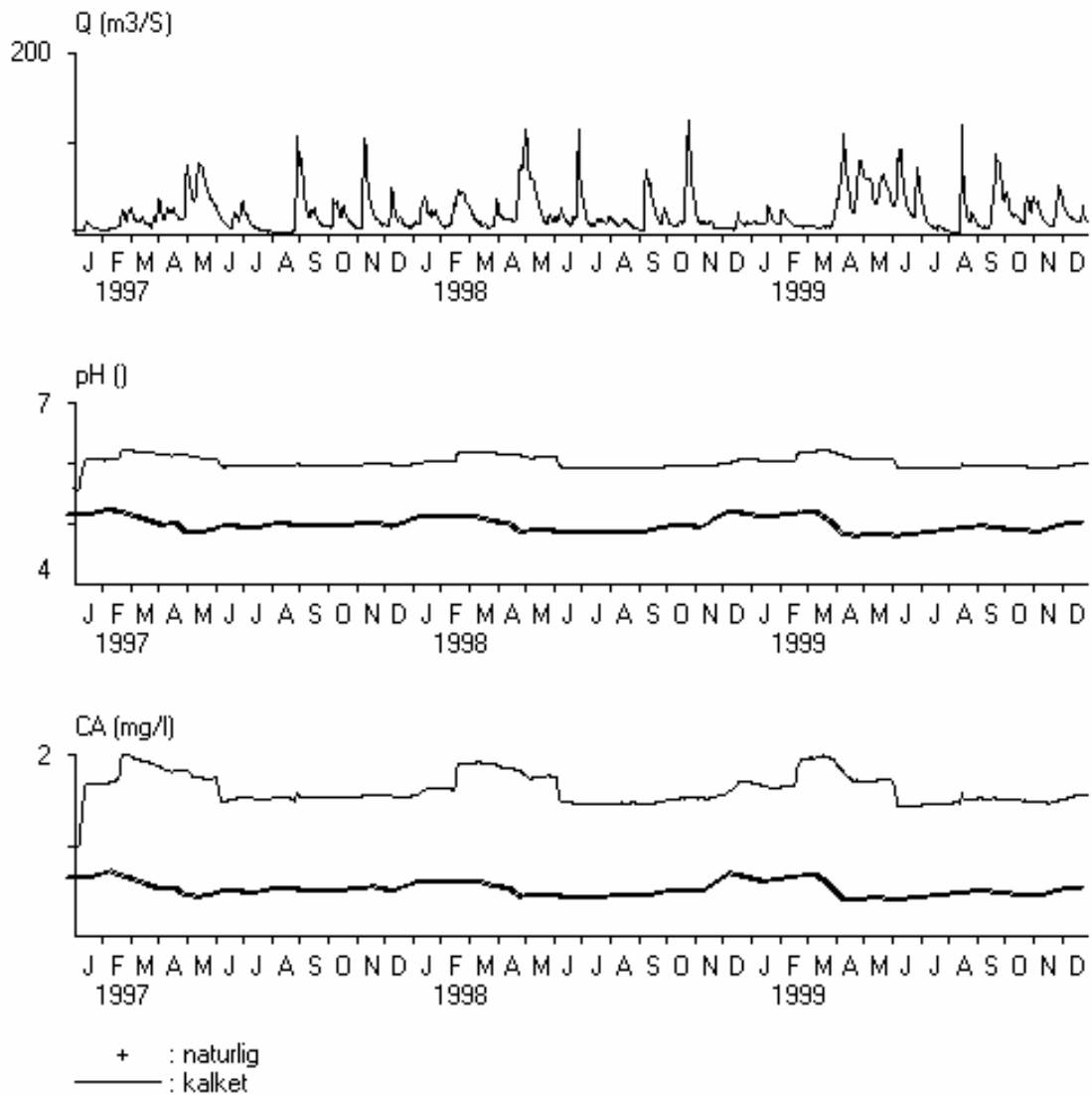


HEREF-V  
 Krav ved utløp i Herefossfjorden  
 15.februar - 1.juni pH6.2 ellers pH6.0

Uldalsåna ved Herefossfjorden.



Tovdalselva nedstrøms doseringsanlegget ved Bås.

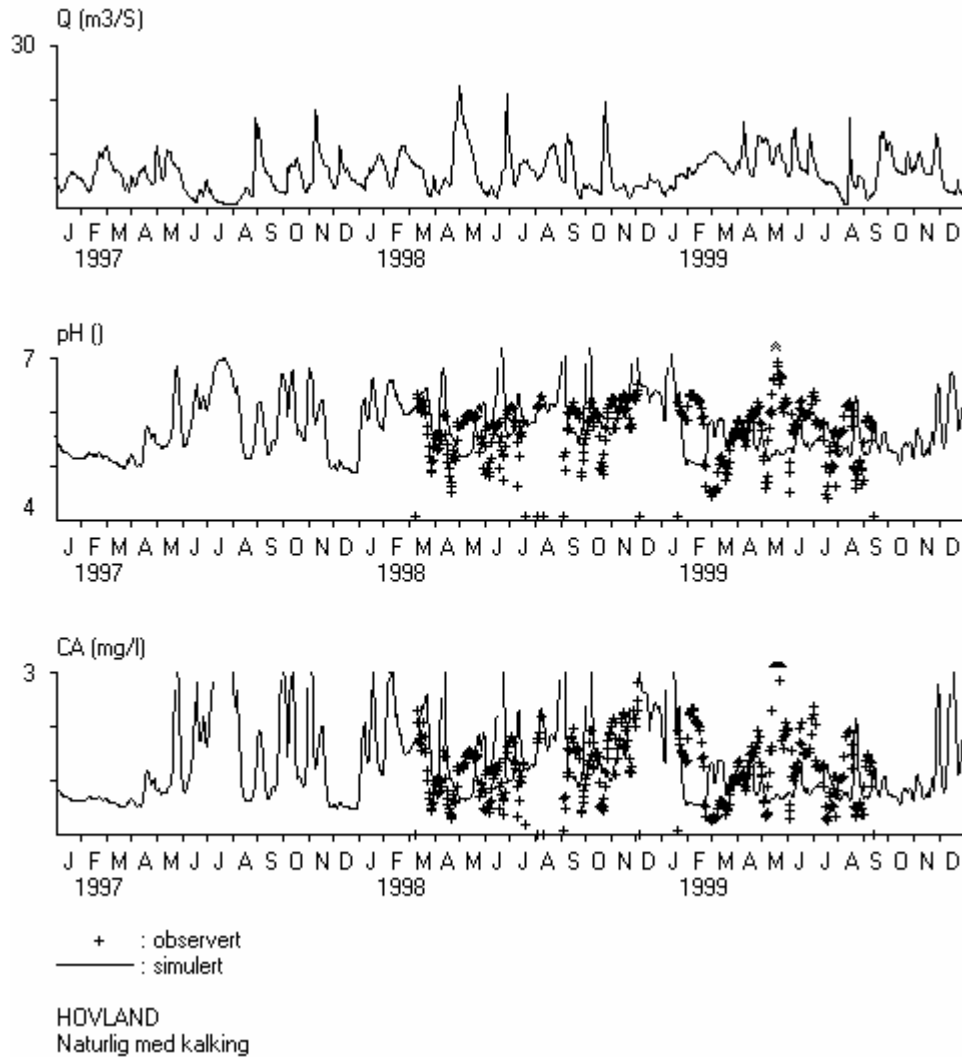


HEREF-N  
 Krav ved utløp i Herefossfjorden  
 15.februar - 1.juni pH6.2 eller pH6.0

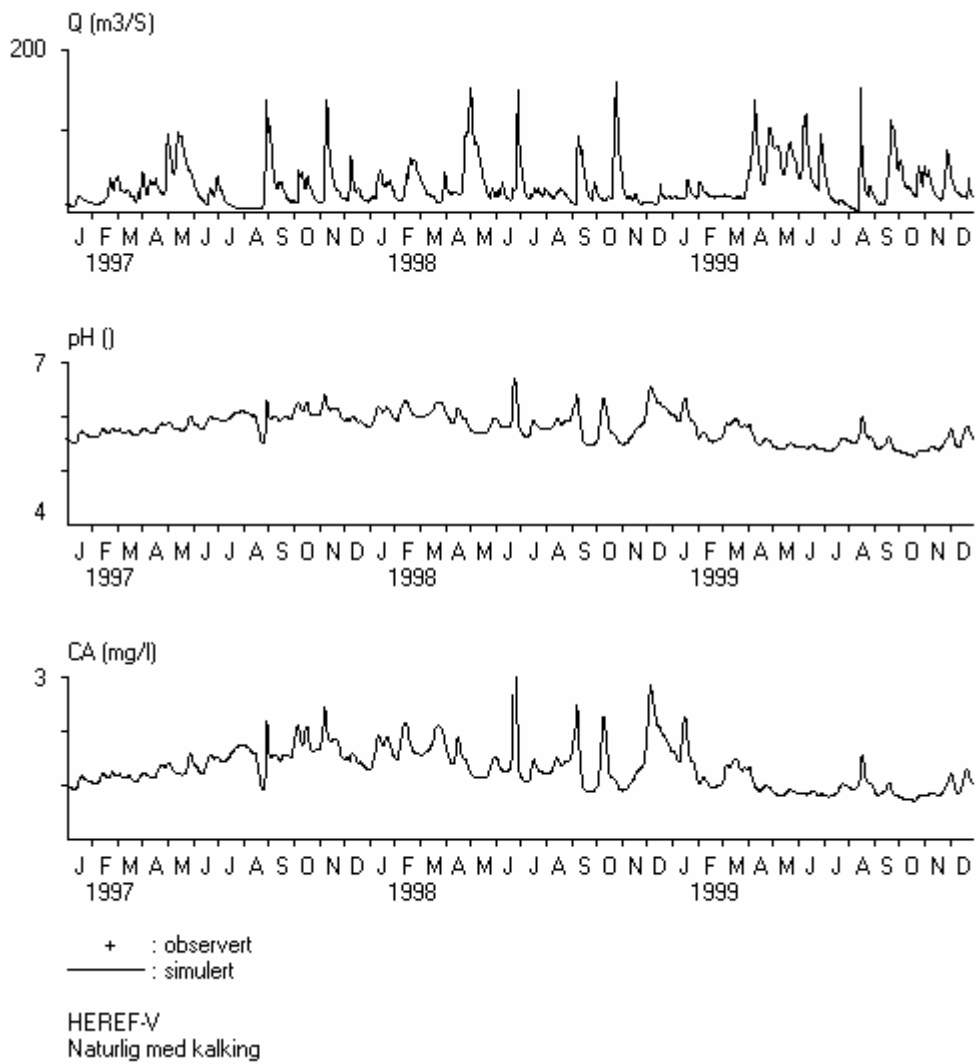
Tovdalselva ved Herefossfjorden



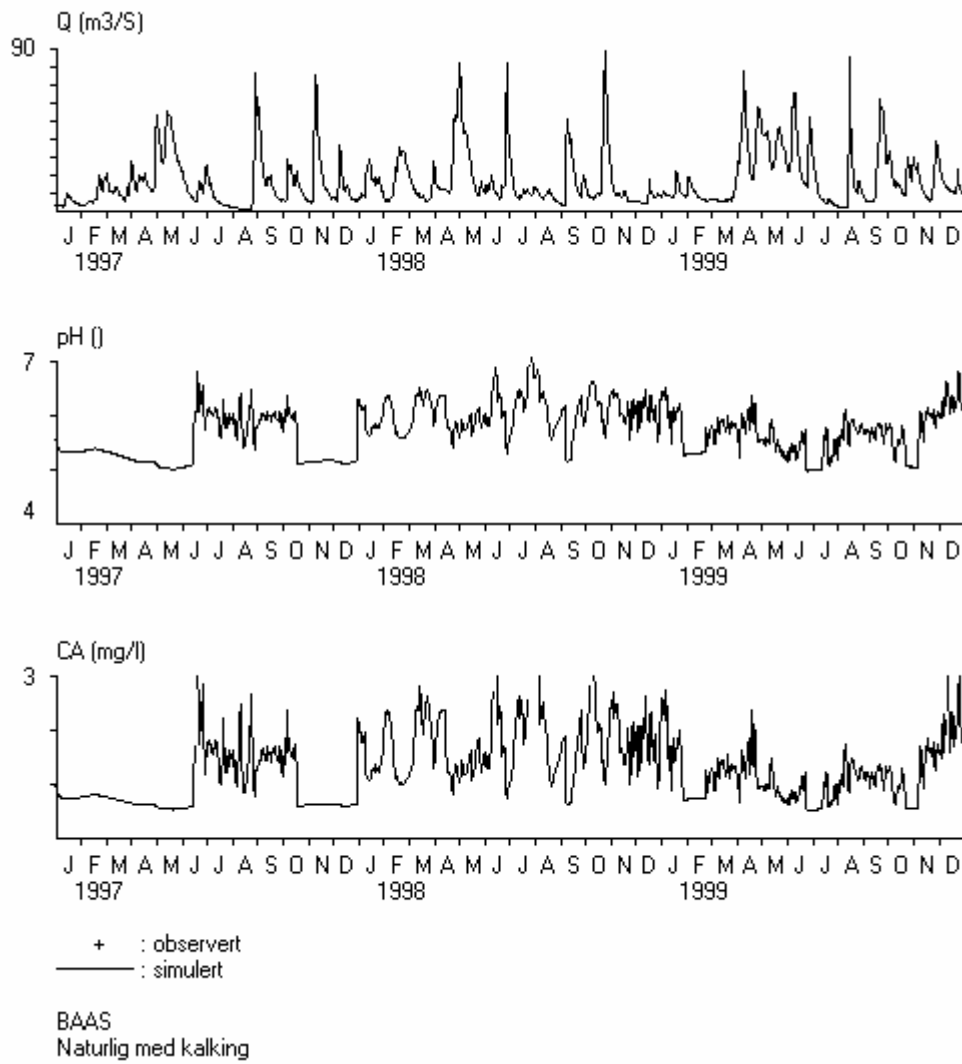
## Vedlegg B. Beregnet vannføring samt observerte og simulerte verdier for pH og kalsium.



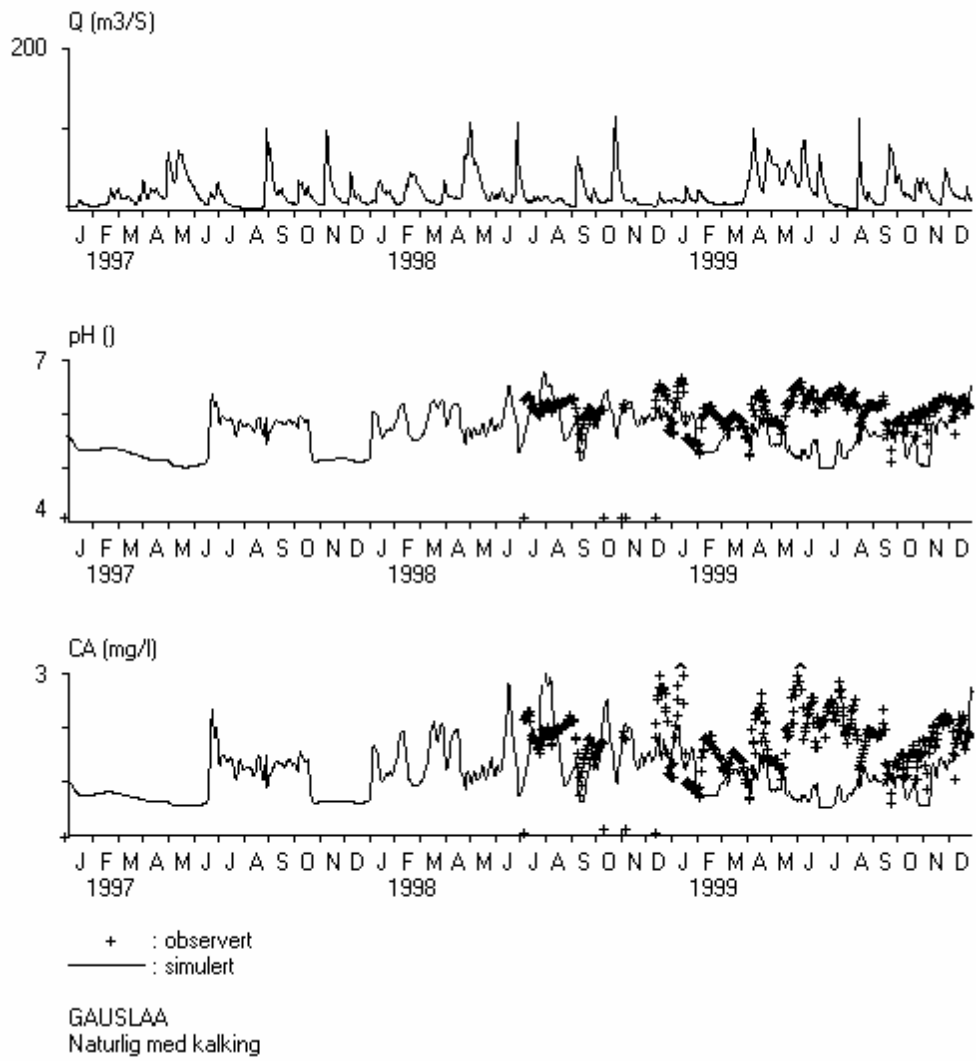
Hovlandselva/Flatlandsåna ved Skjeggedalsåna/Uldalsåna. Manglende detaljerte vannføring- og kalkdoseringsdata førte til sterkt varierende konsentrasjoner og upålitelige kalibreringsmuligheter.



Uldalsåna ved utløpet til Herefossfjorden.

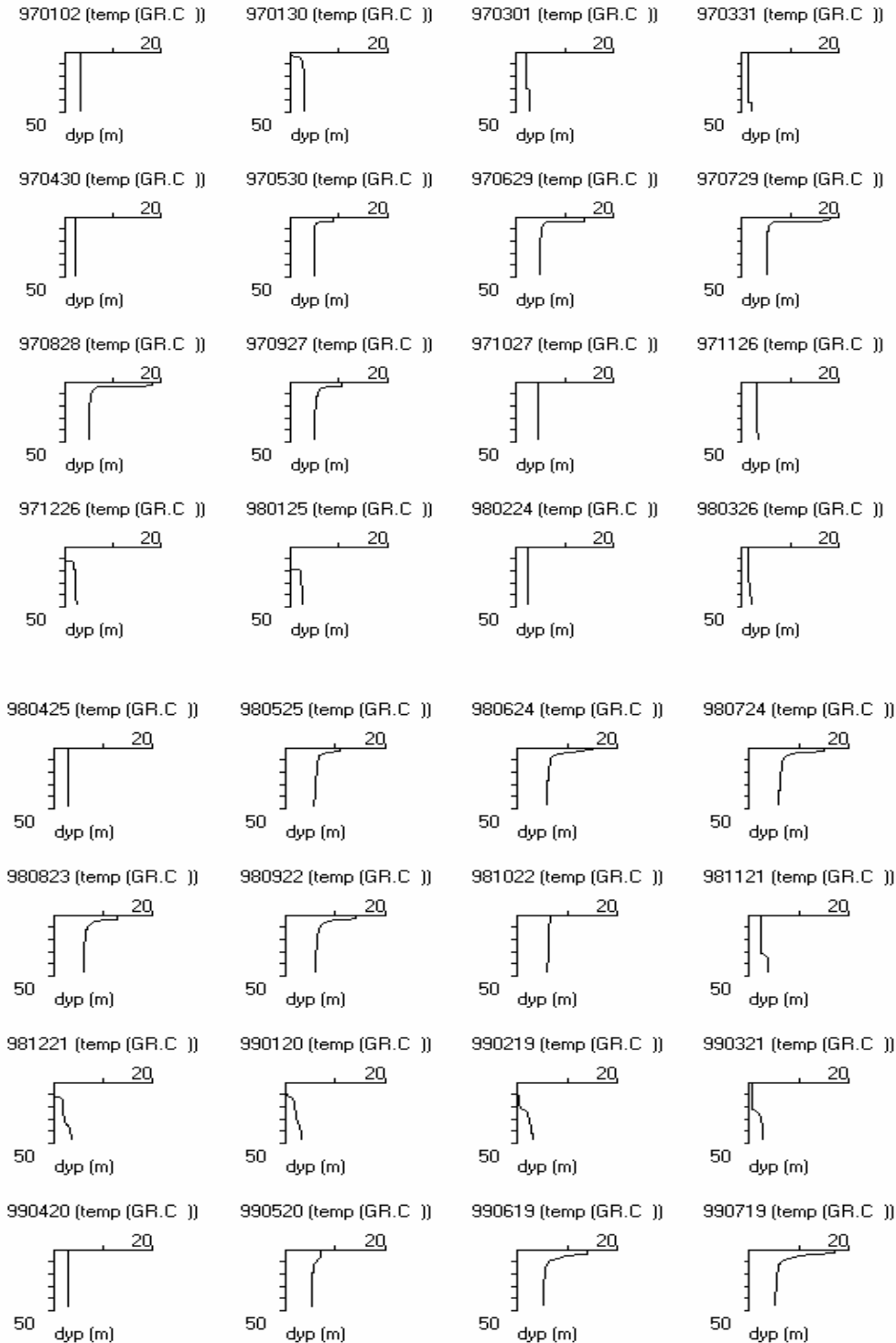


Tovdalselva nedstrøms doseringsanlegget ved Bås. Vannkjemidataene viste trolig for store variasjoner fordi kalkdoseringsverdier kun fantes som middelverdier for lengre perioder.

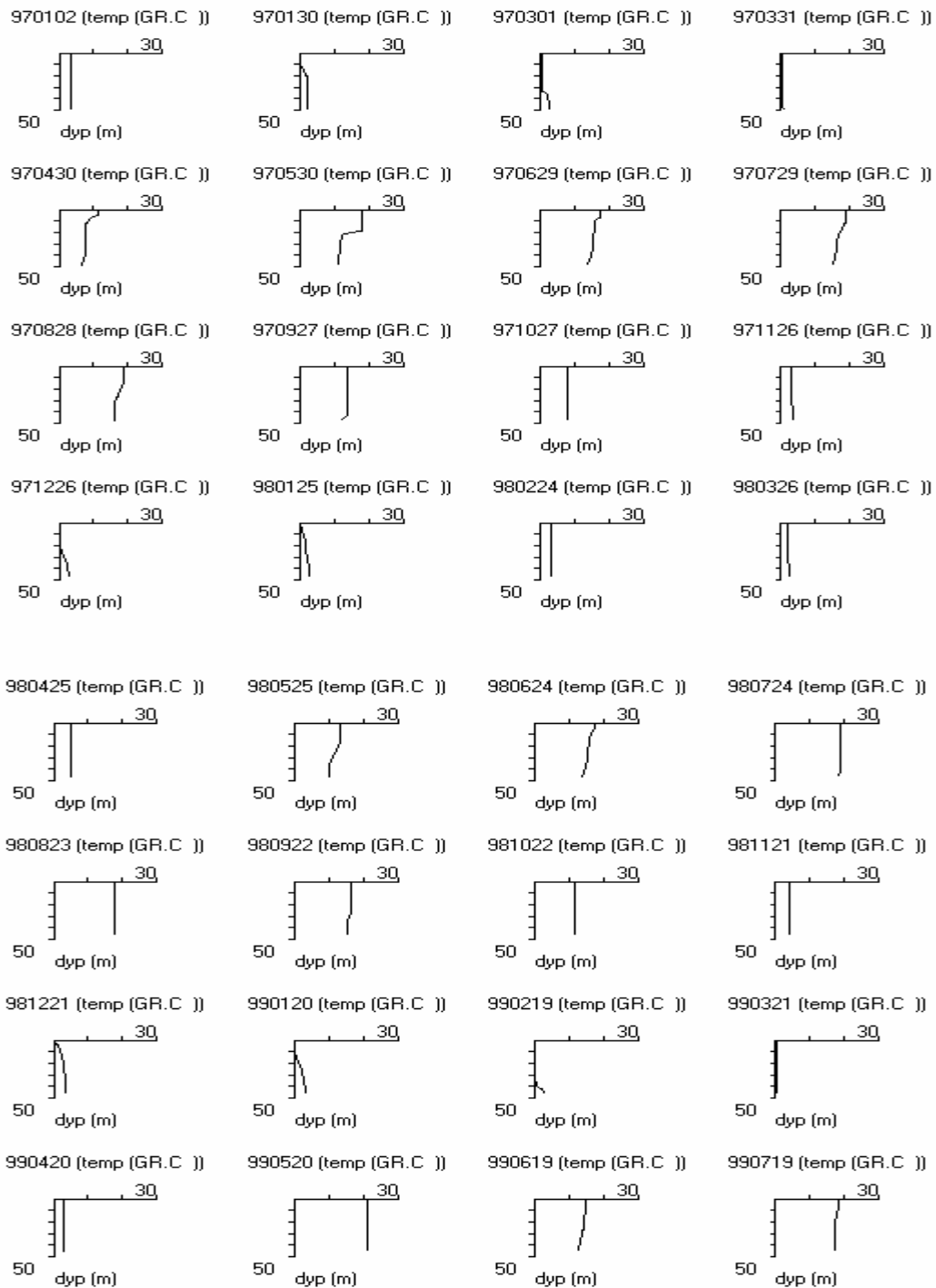


Tofdalselva ved Gauslå.

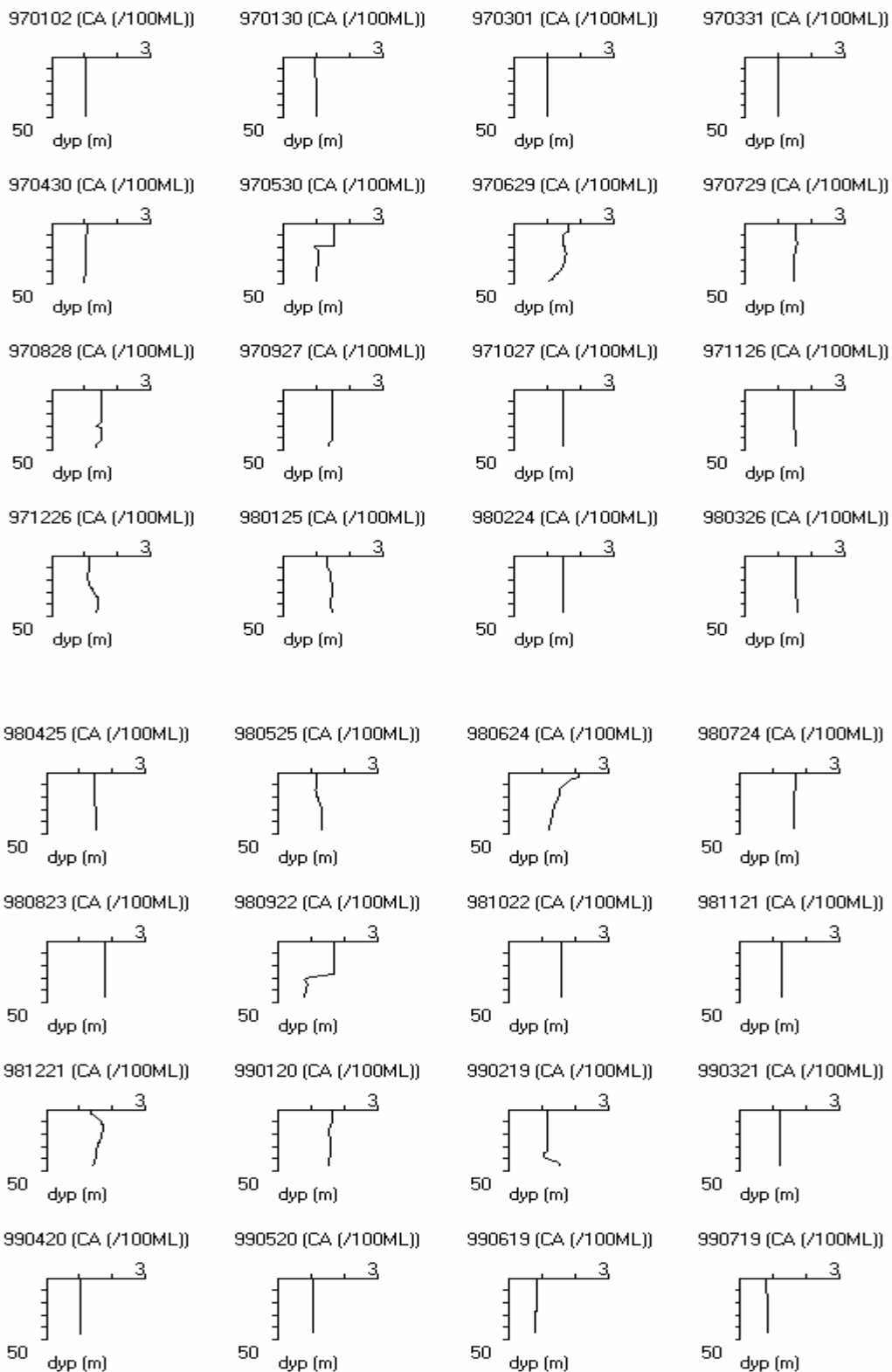
## Vedlegg C. Temperaturprofiler i Herefossfjorden



Simulerte dybdeprofiler av temperatur i Herefossfjorden **uten** vanngjennomstrømning.



Simulerte dybdeprofiler av temperatur 1997 - 1999



Simulerte dybdeprofiler av kalsium 1997 - 1999