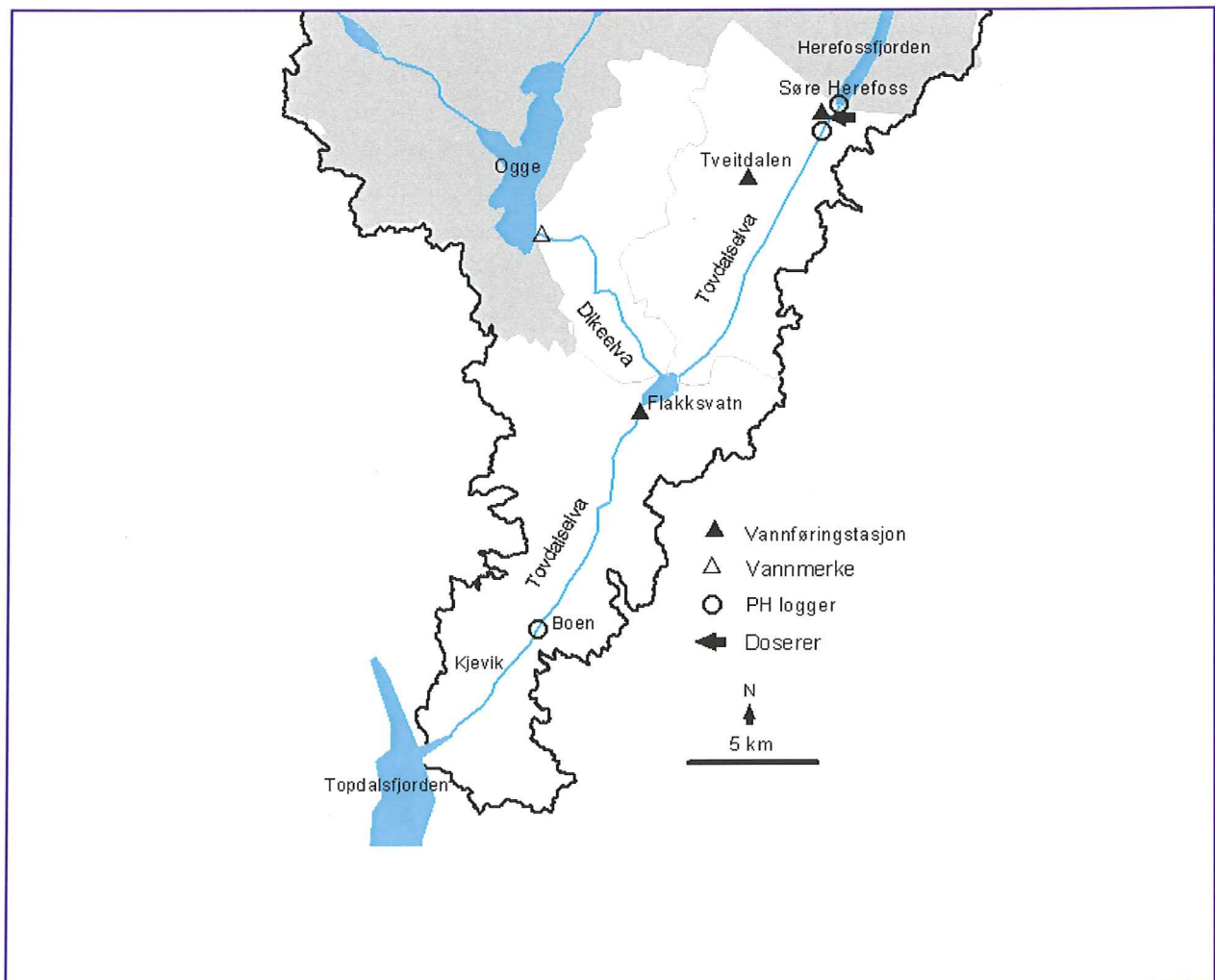


NIVA



RAPPORT LNR 4401-2001

Evaluering av kalkingsstrategien på lakseførende strekning i Tovdalselva ved hjelp av en vassdragsmodell og forslag til endringer i styringssystemet for kalkdosering



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

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

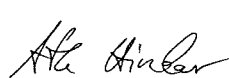
Tittel Evaluering av kalkingsstrategien på lakseførende strekning i Tovdalselva ved hjelp av en vassdragsmodell og forslag til endringer i styringssystemet for kalkdosering.	Løpenr. (for bestilling) 4401-2001	Dato Juni 2001
	Prosjektnr. Undemr. O-20236	Sider Pris 42
Forfatter(e) Atle Hindar Torulv Tjomsland	Fagområde Sur nedbør og kalking	Distribusjon
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Aust-Agder og Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse FMVA 02.04.01
--	------------------------------------

Sammendrag

Tovdalsvassdraget kalkes blant annet ved hjelp av fem store kalkdoserere. Et hovedmål er å legge forholdene til rette for reetablering av en ny laksestamme. Vannkjemiske overvåkingsresultater har vist at den kalkingsstrategien som ble valgt ikke sikrer tilstrekkelig god vannkvalitet på lakseførende strekning i perioder med spesielle avrenningsforhold. Prosjektet ble etablert for å finne fram til mulige endringer i kalkingsstrategien. I denne rapporten redegjør vi for resultatene av scenarier for vannkvalitetsutvikling ved forskjellige hydrologiske forhold og ved forskjellig form for kalkdosering og styring av doseringsanlegg. Hvis styring av kalkdoseringen, i tillegg til vannføring og pH i hovedvassdraget, også baseres på vannføring i et representativt sidevassdrag og 2-3 døgn prognoser for nedbør, kan en oppnå langt bedre vannkvalitet for laks i kritiske perioder. Ulike tekniske forhold må imidlertid avklares, men det anbefales å gå videre med denne muligheten.

Fire norske emneord 1. Sur nedbør 2. Kalking 3. Vassdrag 4. Modell	Fire engelske emneord 1. Acid Rain 2. Liming 3. Watercourse 4. Model
--	--





Atle Hindar
Prosjektleder

Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder
ISBN 82-577-4043-8

Nils Roar Sælthun
Forskningsjef

**Evaluering av kalkingsstrategien på lakseførende
strekning i Tovdalselva ved hjelp av en
vassdragsmodell og forslag til endringer i
styringssystemet for kalkdosering.**

Forord

Med bakgrunn i de vanskeligheter som er dokumentert med å opprettholde akseptabel vannkvalitet for laks i nedre del av Tovdalsvassdraget foreslo NIVA i prosjektforslag av 20.12.00 å gjennomføre en evaluering av kalkingsstrategien ved bruk av en vassdragsmodell.

Et foreløpig prosjektforslag ble akseptert av Fylkesmannen i Aust-Agder i e-post av 24.11.00. I brev av 2.4.01 og e-post av 7.5.01 bekrefter Fylkesmannen sin delfinansiering. Ved at det også er finansiert over Reetableringsprosjektets aktiviteter (e-post fra Fylkesmannen i Vest-Agder av 25.4.01) er Direktoratet for naturforvaltning også oppdragsgiver for prosjektet.

Modellarbeidet er gjennomført av forsker Torulv Tjomsland ved NIVA i Oslo. Datainnsamlingen er gjennomført av Rolf Høgberget ved NIVA Sørlandsavdelingen. Ansvarlig for prosjektet og for rapportskriving har vært avdelingsleder Atle Hindar.

Grimstad, 29.6.01

Atle Hindar

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn	7
2. Materiale og metoder	9
2.1 Vassdragsmodeller	9
2.2 Vassdrag og elveutforming	9
2.3 Hydrologi	13
2.4 Vannkjemi	15
2.5 Kalkdata	16
3. Modellkalibrering	17
4. Simuleringer	25
4.1 Transporttid	25
4.2 Surt lokalt tilsig	26
4.3 Kalkingsstrategier	31
4.3.1 Dosere i forhold til vannføringen ved Søre Herefoss	31
4.3.2 Dosere i forhold til vannføringen ved Søre Herefoss og lokalt tilsig	34
4.3.3 Hvordan dosere for å unngå en ekstrem sur episode	36
5. Konklusjoner og anbefalinger	40
6. Referanser	42
Vedlegg A.	42

Sammendrag

Tovdalsvassdraget kalkes blant annet ved hjelp av fem store kalkdoserere. Et hovedmål er å legge forholdene til rette for reetablering av en ny laksestamme. Vannkjemiske overvåkingsresultater har vist at den kalkingsstrategien som ble valgt ikke sikrer tilstrekkelig god vannkvalitet på lakseførende strekning i perioder med spesielle avrenningsforhold.

De mest kritiske perioder i nedre del av vassdraget er ved sterk lokal nedbør og lite avrenning fra vassdragets øvre del. Da domineres elva i stor grad av de lokale, sure vanntilførsle fra sidefelt nedstrøms Herefossfjorden. I slike perioder er det dokumentert at pH kan reduseres til verdier ned mot og under 5.5, som er under de pH-verdier (6.0-6.2 i dette vassdraget) en antar sikrer god vannkvalitet for laks. Frost og tele i bakken vil forsterke denne effekten ved at avrenningen lokalt blir enda raskere. I smoltifiseringsperioden for laks er dette særlig kritisk fordi laksesmolten er svært følsom for dårlig vannkvalitet.

Prosjektet ble etablert for å finne fram til eventuelle endringer i kalkingsstrategien som kan bedre vannkvaliteten under disse kritiske forholdene. I denne rapporten redegjør vi for resultatene av modellscenarier for vannkvalitetsutvikling ved forskjellige hydrologiske forhold og ved forskjellig form for kalkdosering og styring av doseringsanlegg.

Hvis styring av kalkdoseringen, i tillegg til vannføring og pH i hovedvassdraget, også baseres på vannføring i et representativt sidevassdrag og 2-3 døgns prognoser for nedbør, kan en oppnå langt bedre vannkvalitet for laks i kritiske perioder. Ulike tekniske forhold må imidlertid avklares, men det anbefales å gå videre med denne muligheten.

Summary

Title: Evaluation of liming strategy for the anadromous part of River Tovdalselva by use of a hydrological model, and recommendation of changes in the dose control system.

Year: 2001

Author: Atle Hindar and Torulv Tjomsland

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4043-8

River Tovdalselva is limed by use of five large dosers for limestone powder. A main goal for the liming operation is to reestablish a new Atlantic salmon population. Monitoring data for water chemistry have shown that the present liming strategy does not secure acceptable water quality during periods with special hydrological conditions.

The most critical periods in the lowermost part of the river is when heavy, local rainfall occurs simultaneously with low flow in the main river. The river is then dominated by acid runoff from the tributaries downstream of Lake Herefossfjorden. pH can be reduced to below pH 5.5, considerably below target pH of 6.0-6.2. Frost and frozen soils will strengthen this effect. During the smoltification period for salmon such episodes are especially critical due to the extreme sensitivity of smolts.

The project was established to look for possible changes in the liming strategy that would improve the water quality during critical periods. In this report we present results of model scenarios for water quality during different hydrological situations and at different lime doses and control criteria.

If control of lime doses, in addition to being controlled by water flow and pH in the main stream, is also controlled by water flow in a representative tributary and 2-3 days precipitation prognosis, far better water quality for Atlantic salmon may be achieved during these critical periods. A few technical problems have to be solved, however.

1. Bakgrunn

Tovdalsvassdraget er fullkalket siden oktober 1996 ved at det er satt i drift fem store kalkdoserere i vassdraget, **Figur 1**. Tiltaket er basert på alt. II i kalkingsplanen fra 1991 (Hindar 1991) med unntak av dosereren ved Klepsland i Uldalsvassdraget, som er plassert høyere oppe i sidevassdraget enn anbefalt, og at en doserer et stykke opp i Tovdalsgreina ble sløyfet.

I 1999 ble det etablert en uavhengig driftskontroll i vassdraget, se avviksrapport år 2000 (Høgberget 2000).

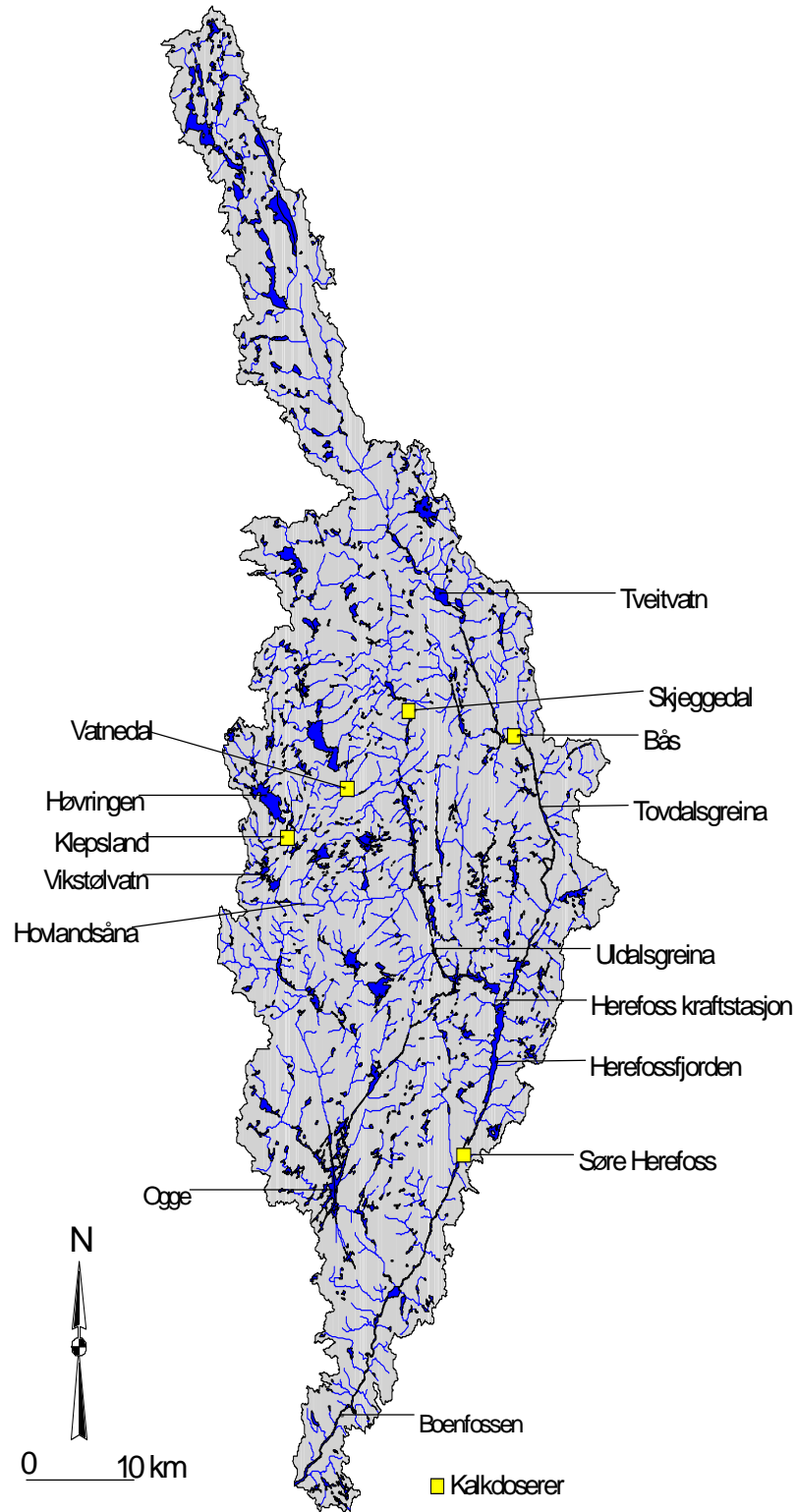
Etter to års kalking viste overvåkingsresultatene at vannkvaliteten ikke var akseptabel i øvre deler av vassdraget store deler av året. På bakgrunn av ovennevnte har NIVA evaluert kalkingsstrategien i Tovdalsvassdraget for å avklare behovet for forbedringer av effekt, drift og eventuell samkjøring av dosererne (Hindar et al. 2000).

De modellberegninger i øvre del av vassdraget som ble gjort i forbindelse med den siste gjennomgangen avdekket en del forhold vedrørende kalkingsstrategi, vannkvalitet og muligheter for kontroll med vannkjemien som trolig får konsekvenser. Det vil sannsynligvis bli satt opp ny kalkdoserer i Hovlandsåna og vannkvaliteten i Herefossfjorden må forbedres.

Vannkvaliteten i Herefossfjorden og kalkdoseringen i utløpet skal gi tilstrekkelig god vannkvalitet ned til sjøen. Dette er særlig viktig om våren i forbindelse med smoltifiseringen. Kontroll med vannkvaliteten i dette området er en forutsetning for reetablering av laks. Det er imidlertid avdekket at det ikke er god nok kontroll med vannkvaliteten på den anadrome strekningen. Det skyldes at vannkvaliteten i sidefelt i den nedre del er sur og aluminiumsholdig og at nedbør fører til raskere avrenning her enn i hovedvassdraget.

Tovdalsvassdraget er langt og det tar tid å transportere kalk nedover i vassdraget. Dosert kalk ved Søre Herefoss kan bruke flere dager på å nå utløpet i fjorden. Dersom det lokale tilsiget øker mye i løpet av f.eks. ett døgn, vil tilført kalk ved Søre Herefoss doseringsanlegg ikke nå fram tidsnok til å kompensere for dette. Det forholdet som her er påpekt kan forsterkes med tele i bakken fordi avrenningen fra lokalfeltet nedstrøms Herefossfjorden da blir spesielt rask (udempet). I utgangspunktet, det vil si med de eksisterende styringsmuligheter, vil det ikke være mulig å styre kalkdoseringsanlegget ved utløpet av Herefossfjorden etter slike forhold uten vesentlig kostnadsøkning.

I dette prosjektet har vi tatt sikte på å dokumentere om det finnes andre styringsprinsipper for kalkdosereren som kan gi tilstrekkelig kontroll med vannkvaliteten eller om andre kalkingsalternativer må vurderes, slik som en eller flere ekstra kalkdoserere eller terrengkalking. Styring etter vannføring/vannkvalitet i sidevassdrag og prognosebasert styring er vurdert.



Figur 1. Tovdalsvassdraget med de fem dosererne inntegnet.

2. Materiale og metoder

2.1 Vassdragsmodeller

Vi har benyttet matematiske modeller for å simulere kalktransport og pH på strekningen mellom Søre Herefoss og Topdalsfjorden. Modellene gir mulighet for å synliggjøre tenkte situasjoner slik at vi kan avdekke hva som kan føre til kritiske forhold og eventuelt hvordan slike episoder kan unngås. 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.

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.

I dette prosjektet har vi lagt spesiell vekt på å beregne hvordan tilførsler fra kalkdoseringsanlegget ved Søre Herefoss påvirker vannkvaliteten i vassdraget videre nedover fra Herefossfjorden med hensyn på kalsium og pH ved bruk av elvmodellen QUAL2E. Modellen ble først kalibrert/testet mot observerte verdier i Tovdalsvassdraget for å få kjennskap til hvor pålitelig simuleringene var. Deretter kjørte vi diverse scenarier for å få innsikt i ulike problemstillinger.

FINNECO ble benyttet spesielt for å studere hvordan Flakksvatn innvirker på kalktransporten i Tovdalselva og for å få kjennskap til i hvilken grad elvmodellen QUAL2E også kunne anvendes for Flakksvatn.

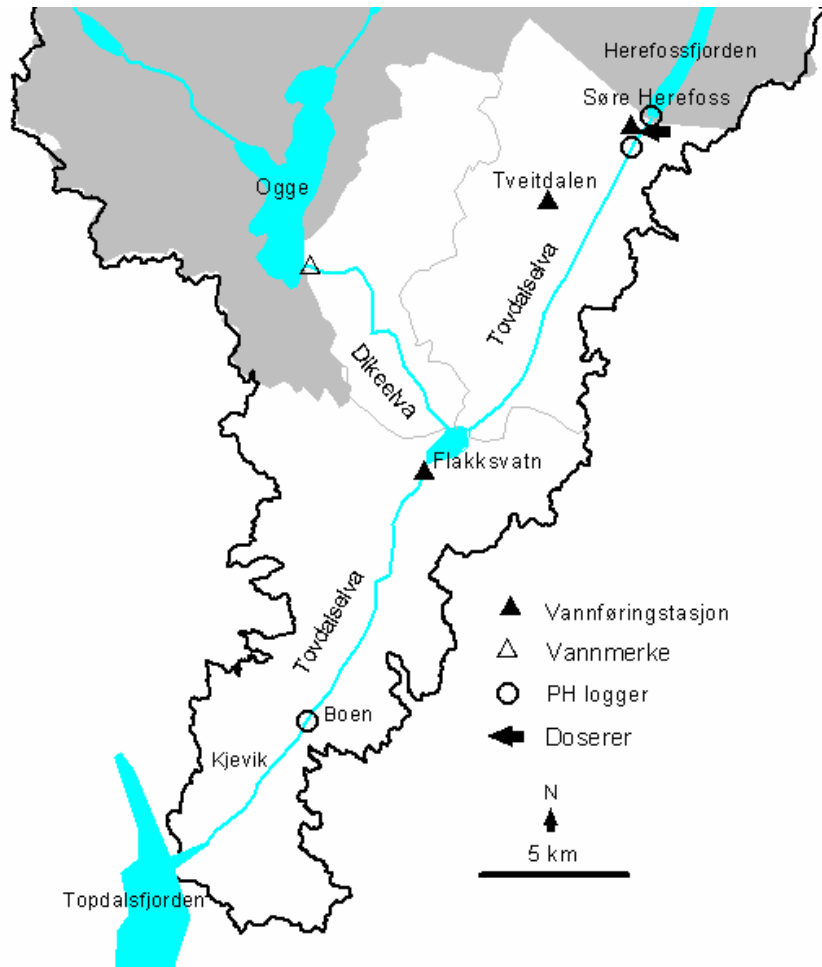
2.2 Vassdrag og elveutforming

Den nedre delen av Tovdalsvassdraget har et komplisert avrenningsmønster fordi innsjøen Ogge har utløp både mot nord (Rettåna) og mot Flakksvatn (Dikeelva), **Figur 2**. Det har derfor vært viktig for prosjektet å forsøke å finne fram til hvor stort nedbørfelt Dikeelva egentlig tilsvarer. Resultatet av en vannprøvetaking som ble gjennomført i januar 2001, se avsnitt 2.4, sammen med beregninger av arealene fra Ogge og ned til Flakksvatn ga oss muligheter til å beregne dette. Ved å summere transport av Ca, NO₃-N og Cl fra delfelt og sammenholde med totaltransporten ved utløpet av Dikeelva kom vi fram til at avrenningen fra Ogge representerte et areal på 50 km². Arealene for delfelt er gitt i **Tabell 1**.

Tabell 1. Arealer til de sidebekker som ble prøvetatt i januar 2001. Nedbørfeltet til Ogges utløp er beregnet, se tekst. Totalt areal for alle sidefelt ned til Boenfossen er gitt. Vesbekken renner ut mellom Boenfossen og utløpet ved Hamresanden.

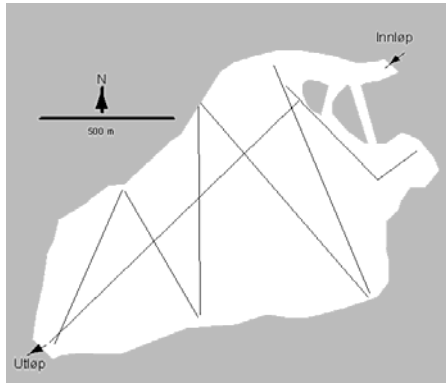
	Areal, km²
Lok. 7.30 Risdalsbekk	26
Lok. 7.31 Spjøtbekken	12,5
Lok. 7.32 Mosfjellbekken	12,5
Lok. 7.33 Ogge ut, sør	50
Lok. 7.34 Mørkelibekken	19
Lok. 7.35 Barkebekken	7
Lok. 7.36 Dikeelva	95,4
Lok. 7.37 Bersebekken	14
Lok. 7.38 Dalebekken	12
Lok. 7.39 Bjorbekken	5,5
SUM	253,9
Lok. 7.40 Vesbekken	15

Totalt areal for lokalfeltet mellom Herefossfjorden og Boenfossen er 253 km². Ved en spesifikk avrenning på 35 L/s/km² gir det en middelvannføring på ca. 9 m³/s. Ved kraftig flom og en faktor på 10-15 ganger middelvannføring kan vi forvente vannføringer opp mot 100-130 m³/s fra dette området. Middelvannføringen i Tovdalselva ved Flakksvatn (1794 km²) er til sammenlikning ca. 60 m³/s (NVE 1987).

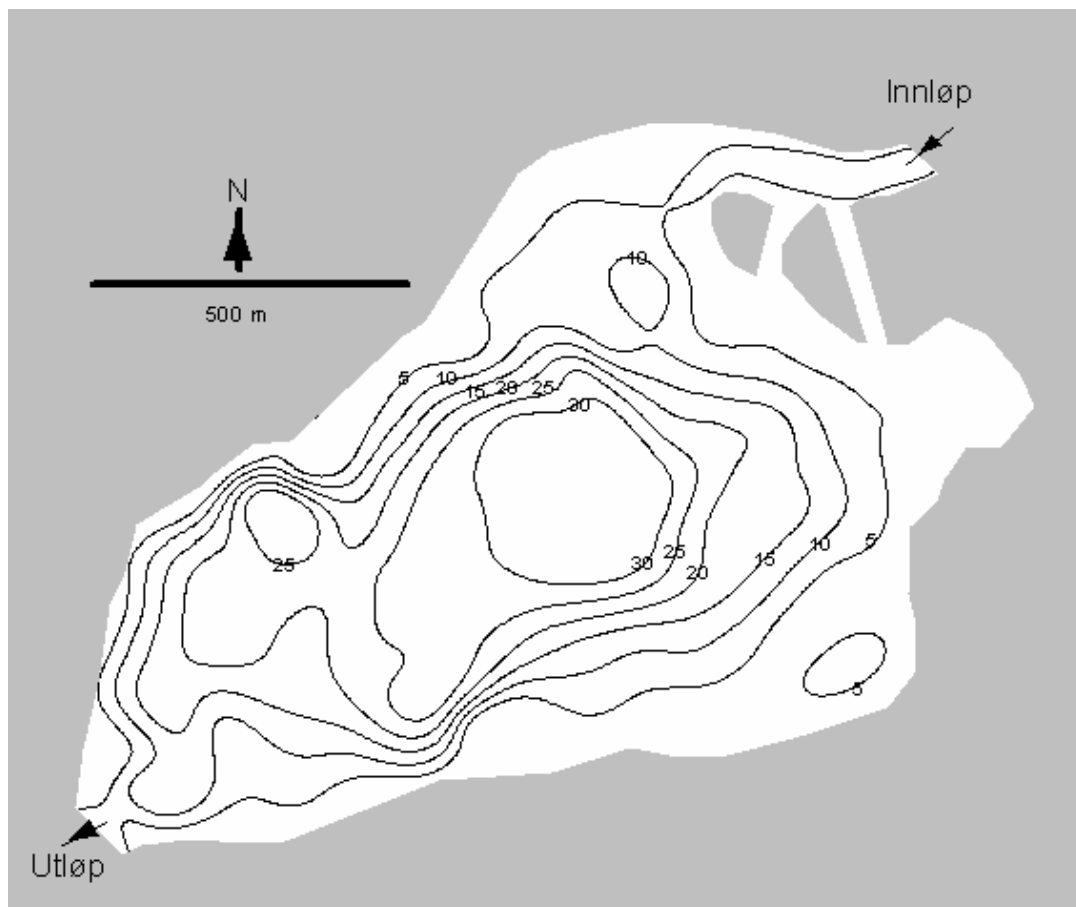


Figur 2. Oversiktskart over nedre del av Tovdalsvassdraget.

På bakgrunn av opplodding 3. mai 2001 ble det laget dybdekart over Flakksvatn. Kartet ble laget ved å kjøre med jevn fart med båt langs diverse profiler og og registrere dybdene med ekkolodd, **Figur 3**. Dybdekartet ble konstruert ved hjelp av GIS systemet Arcview (**Figur 4**). Flakksvatn har et areal på 1.2 km^2 , midlere dyp er 12 m og teoretisk oppholdstid (volum/middelvannføring) er 2.5 døgn.



Figur 3. Dybdekartet for Flakksvatn (**Figur 4**) ble laget på grunnlag av utskrift fra ekkolodd langs de skisserte profilene.



Figur 4. Dybdekart for Flakksvatn ved Birkeland i Tovdalsvassdraget.

2.3 Hydrologi

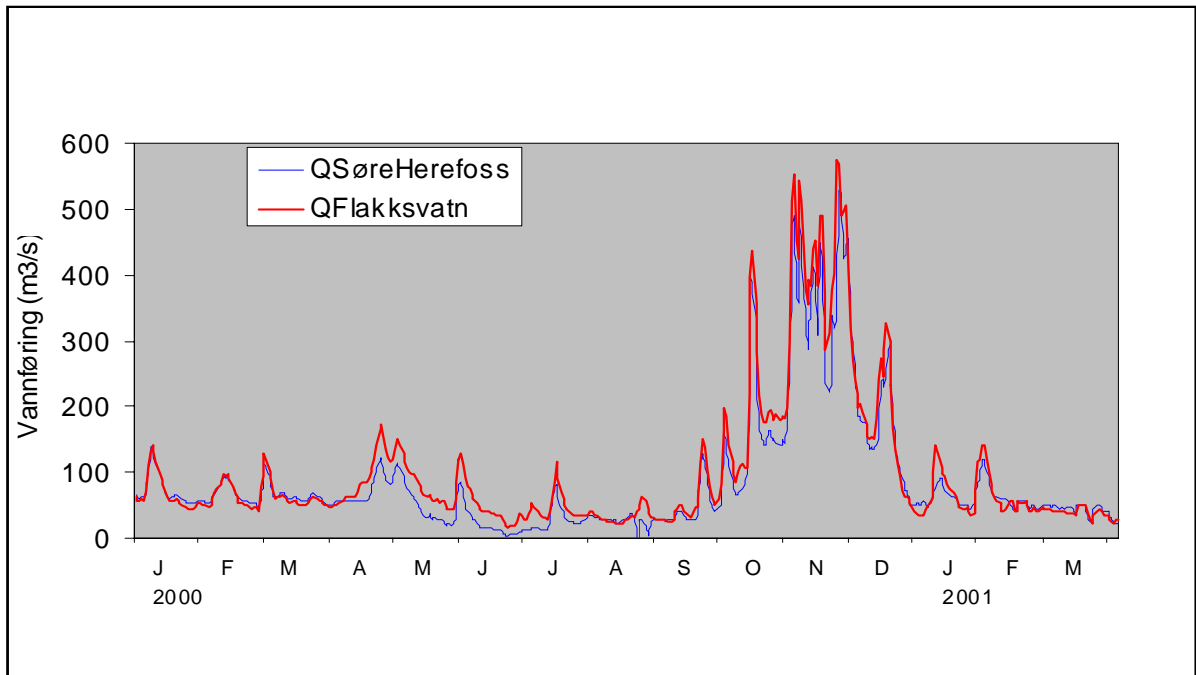
Det er opprettet en vannføringsstasjon i Tovdalselva ved Søre Herefoss i tilknytning til kalkdosereren. NVE har en vannføringsstasjon ved utløpet av Flakksvatn. Det er gjennomgående rimelig samsvar mellom de to vannføringsstasjonene, **Figur 5**. Ved enkelte anledninger har den øverste stasjonen større døgnmiddel enn den nedre. Dette kan forklares med at det er en naturlig eller regulert "flombølge" som brer seg nedover i vassdraget, men det er sannsynlig at det også skyldes feilregistreringer på grunn av usikker vannføringskurve, isoppstuvning, mekanisk feil m.m. Vannføringsstasjonen ved Søre Herefoss er ny og selv om det er utført en del vannføringsmålinger der ved forskjellige vannstander, er vannføringskurven neppe like pålitelig som for den veletablerte vannføringsstasjonen ved utløpet av Flakksvatn.

Middel vannføringen ved Søre Herefoss i perioden 1. januar 2000 – 31. mars 2001 var $85 \text{ m}^3/\text{s}$, men 2000 var et spesielt vannrikt år. Middelvannføringen ved utløpet av Flakksvatn 1960-1990 var $63.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

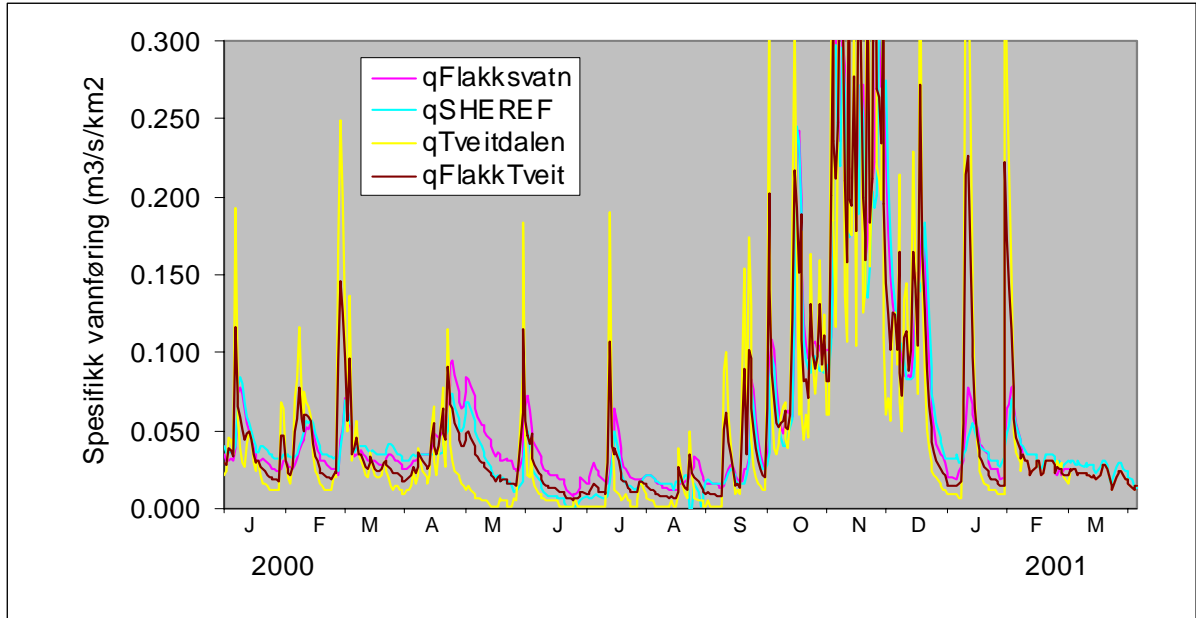
Vi hadde behov for å kjenne det lokale tilsiget nedstrøms Søre Herefoss. Forsøk med å beregne lokalt tilsig som differans mellom vannføringene ved Flakksvatn og Søre Herefoss ga misvisende resultater. Det blir registrert vannføringer i Tveitdalen, et lite felt på 0.41 km^2 , nær Søre Herefoss. Dette er det eneste vannmerket som utelukkende representerer det lokale tilsiget, **Figur 6**. Arealet er lite slik at det reagerer meget raskt på klimatiske endringer, formodentlig raskere enn det som er representativt for hele det lokale nedbørfeltet. Feltet er såpass lite at ujevnt fordelt nedbør og snømelting kan føre til misvisende resultater om de blir ekstrapolert uten videre. Vi lot derfor middelverdien av spesifikt avløp fra vannføringstasjonene Flakksvatn og Tveitdalen representere det lokale spesifikke tilsiget. Vi får dermed tatt hensyn til en lokal rask respons samtidig som det også tas hensyn til en langsommere respons fra Ogge og andre innsjøer samt grunnvannstilsig.

Hovedavløpet fra Ogge drenerer ut i nordenden av vatnet via Rettåna til Uldalsåna og videre til Herefossfjorden. En mindre del renner via Dikeelva til Flakksvatn. Det er usikkert hvor stor denne vannføringen er, se avsnitt 2.2. Det ble derfor opprettet et vannmerke under brua i Dikeelva ved utløpet av Ogge. Den 3. mai 2001 var vannføringen der $5.82 \text{ m}^3/\text{s}$ tilsvarende en vannstand på 0.815 m. På samme tid var vannføringen ved Søre Herefoss $172 \text{ m}^3/\text{s}$.

Det er typisk for Tovdalsvassdraget at høye vannføringer kan finne sted når som helst i løpet av året. Mildt klima kan føre til snømelting og nedbør i form av regn også om vinteren.



Figur 5. Registert vannføring ved Søre Herefoss og ved utløpet av Flakksvatn



Figur 6. Spesifikk vannføring i det lokale nedbørfeltet i Tveitdalen (0.41 km^2) reagerte langt raskere på nedbør enn spesifikk vannføring på vannføringstasjonene i hovedvassdraget.

2.4 Vannkjemi

Vannkjemidata, spesielt kalsium og pH, fra den generelle overvåkingen av vassdraget ble benyttet til å beregne bakgrunnsverdier og for kontroll av simuleringsresultatene.

I tillegg ble det samlet inn prøver fra 11 sidebekker på strekningen Herefossfjorden-sjøen den 25.1.2001 for å få et bilde av vannkvaliteten i dette store sidefeltet. Data er gitt i Vedlegg A.

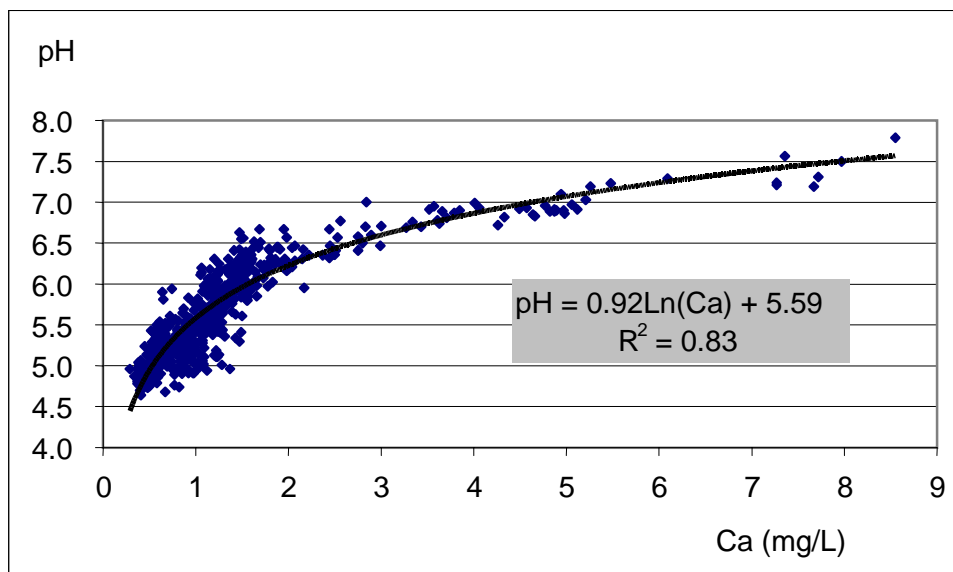
86% av kalksteinsmelet består av kalsiumkarbonat (CaCO_3) hvorav 40% består av kalsium (Ca), dvs at 34% av dosert kalksteinsmel blir oppløst i ellevannet som kalsium hvis vi antar 100% oppløsning. Ved å sammenholde alle overvåkingsverdiene av kalsium og pH fra hele Tovdalsvassdraget i perioden 1997-1999 (se **Figur 7**) fant vi en følgende sammenheng:

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

eller tilsvarende

$$\text{Ca} = 0.0023 \cdot \exp(\text{pH} \cdot 1.084)$$

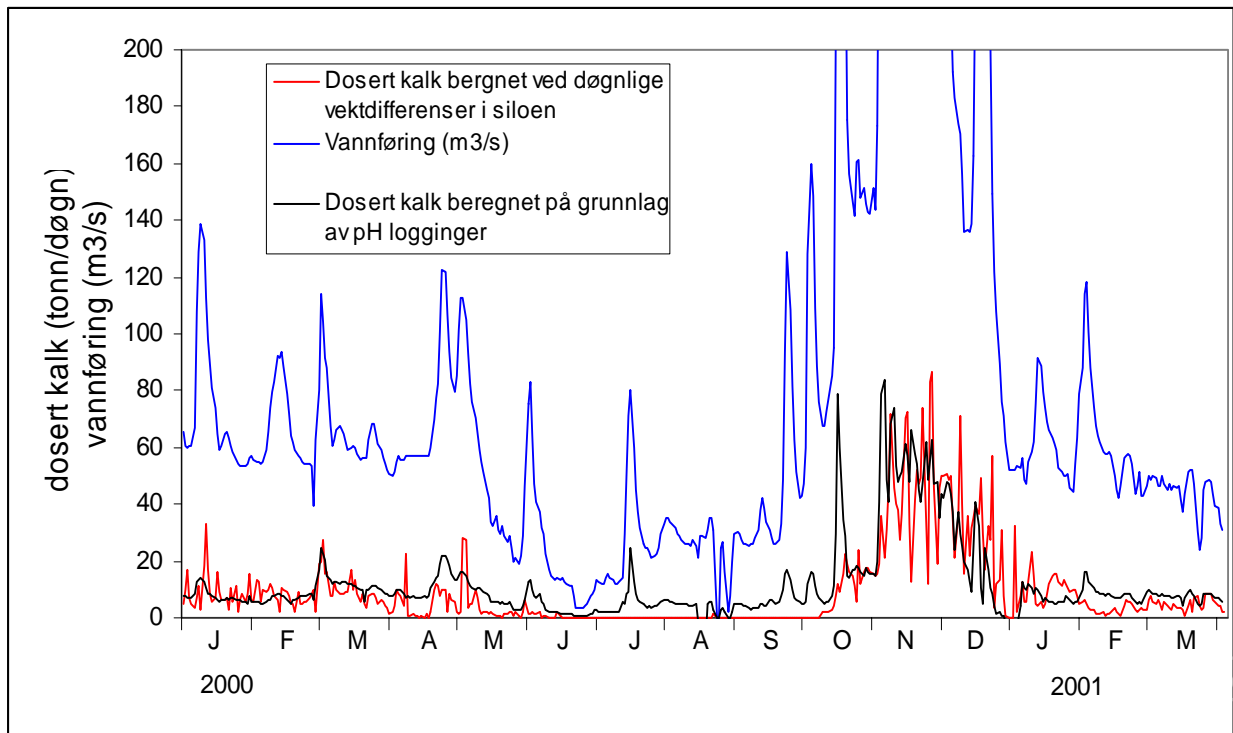
I modellen ble det beregnet Ca-konsentrasjoner i vassdraget ut fra bakgrunnskonsentrasjoner og kalkdosering. Dosert kalk kunne beregnes på grunnlag av pH loggingene ved Søre Herefoss. Simulerte Ca-konsentrasjoner i elva kunne deretter omregnes til pH-verdier for å sammenliknes med loggede verdier ved Boen nederst i vassdraget.



Figur 7. Sammenheng mellom kalsium og pH i Tovdalsvassdraget for alle overvåkingsdata i perioden 1997-1999.

2.5 Kalkdata

Det ble logget pH oppstrøms og nedstrøms doseringsanlegget ved Søre Herefoss. Det ble også registrert vekt av kalk i siloen hver time samt dato for påfylt kalksteinsmel. Dosert kalkmengde kunne følgelig beregnes både som vektdifferenser i siloen og som differens mellom beregnet kalk i elva oppstrøms og nedstrøms doseringsanlegget ved bruk av registrert vannføring og pH logging, se **Figur 8**. Forskjellene mellom de to beregningsmetodene vitner om en viss usikkerhet i anslaget av dosert kalkmengde. Beregningsmetoden ved bruk av pH loggere og vannføring viste naturlig nok best samvariasjon med vannføringen. Sum kalk ifølge ”vektdifferensmetoden” år 2000 var 3500 tonn, mens den andre metoden resulterte i 5% mindre mengde.



Figur 8. Dosert kalk beregnet ved å nytte pH loggingene ved Søre Herefoss viste bedre samvariasjon med vannføringsmålingene enn dosert kalk beregnet som vektdifferenser i siloen.

3. Modellkalibrering

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 da slike data i begrenset grad ble observert.

Dybdekartet som ble laget for Flakksvatn var viktig for å beregne hvor mye denne innsjøen forsinket kalktransporten. Det ble gjort en enkel opplodding av bassengene mellom Kjerestraumen og Hagen ca. 2-5 km nedstrøms doseringstedet. I tillegg ble det målt tverrprofiler på diverse steder nedstrøms Flakksvatn. Dybdemålingene ble benyttet for å kalibrere/teste at modellen beregnet riktig dybde/fart på vannet og dermed ga en realistisk transporttid nedover i vassdraget.

Vi benyttet observerte data av klima, vannføring og kalkdosering for perioden 1. januar 2000 til 31. mars 2001 som input til modellen og sammenlignet resultatene med observasjoner og automatiske målinger av pH og kalsium på ulike steder i vassdraget.

I modellen ble det dosert kalk slik at simuleringsresultatene stemte med observerte pH-verdier nedstrøms doseringsanlegget ved Søre Herefoss. Dette ga bedre samsvar med pH loggingene ved Boen, som ble benyttet som kontroll, enn bruk av beregnet dosering ved å nytte døgnlige vektdifferenser av lagret kalk i doseringsanleggets silo. Vannføringen ved Søre Herefoss ble satt lik den observerte.

I modellen har vi antatt at avløpet fra Ogge via Dikeelva er $1 \text{ m}^3/\text{s}$ + bidraget fra et areal lik 50 km^2 . Dette ble stipulert på bakgrunn av analyse av vannkjemi og den nevnte vannføringsmålingen, se avsnitt 2.2. Ytterligere vannføringsmålinger vil gi sikrere informasjon om dette.

Lokalt tilsig av vann fra området nedstrøms Søre Herefoss ble satt lik midlere spesifikt avløp observert ved vannmerkene Flakksvatn og Tveitdalen. Dette skulle ta hensyn til både raskt lokalt tilsig og mer langsomt tilsig fra grunnvann og fra Ogge og andre innsjøer. Tilsiget ble tilført vassdraget i samsvar med nedbørfeltets størrelse. Det lokale tilsiget mellom utløpet av Herefossfjorden og henholdsvis utløp Flakksvatn, Boen og Topdalsfjorden representerer arealer på hhv. 143, 210 og 243 km^2 pluss et usikkert bidrag fra Ogge, trolig 50 km^2 . Det vil si et totalt lokalt nedbørfelt på omkring 15 % av hele Tovdalselvas nedbørfelt på 1863 km^2 .

I Ogge antok vi en konstant pH-verdi lik 5.0. Dette representerer pH ut av innsjøen ved islegging, slik det ble målt 25.1.2001. Forøvrig ble pH-verdiene i det lokale tilsiget satt lik 4.8. Dette på bakgrunn av enkelte vannprøver fra sideelvene til Tovdalselva fra 25.1.2001.

På figurene er det en kurve som viser hva målsetningen/krav til pH er for vassdraget. Det er fastsatt av Direktoratet for naturforvaltning og er i perioden 15. februar-1. juni lik pH 6.2, ellers pH 6.0. De ”observerte” kalsiumkonsentrasjonene på figurene er beregnet ut fra observerte/loggede pH-verdier.

Figur 9 viser hvordan pH-verdien i elva oppstrøms dosereren ved Søre Herefoss jevnlig er under kravet. Etter dosering, **Figur 10**, blir pH-verdiene hevet til over kravet. Dette for å kompensere for lokalt tilsig nedstrøms. De simulerte pH-verdiene er de samme som de loggede. Kalsium konsentrasjonene er beregnet ut fra de loggede pH-verdiene.

Dikeelva ved Flakksvatnet gir et godt inntrykk av tilsiget nedstrøms Herefossfjorden som det må kalkes for ved Søre Herefoss, **Figur 11**.

Ved utløpet av Flakksvannet er det gjennomgående godt samsvar mellom observerte og simulerte vannføringer, **Figur 12**. Dette tyder på at den raske responsen på nedbør og snøsmelting i det lille nedbørfeltet i Tveitdalen (0.41 km²), bidrar til en riktig beskrivelse av det lokale tilsiget nedstrøms Herefossfjorden.

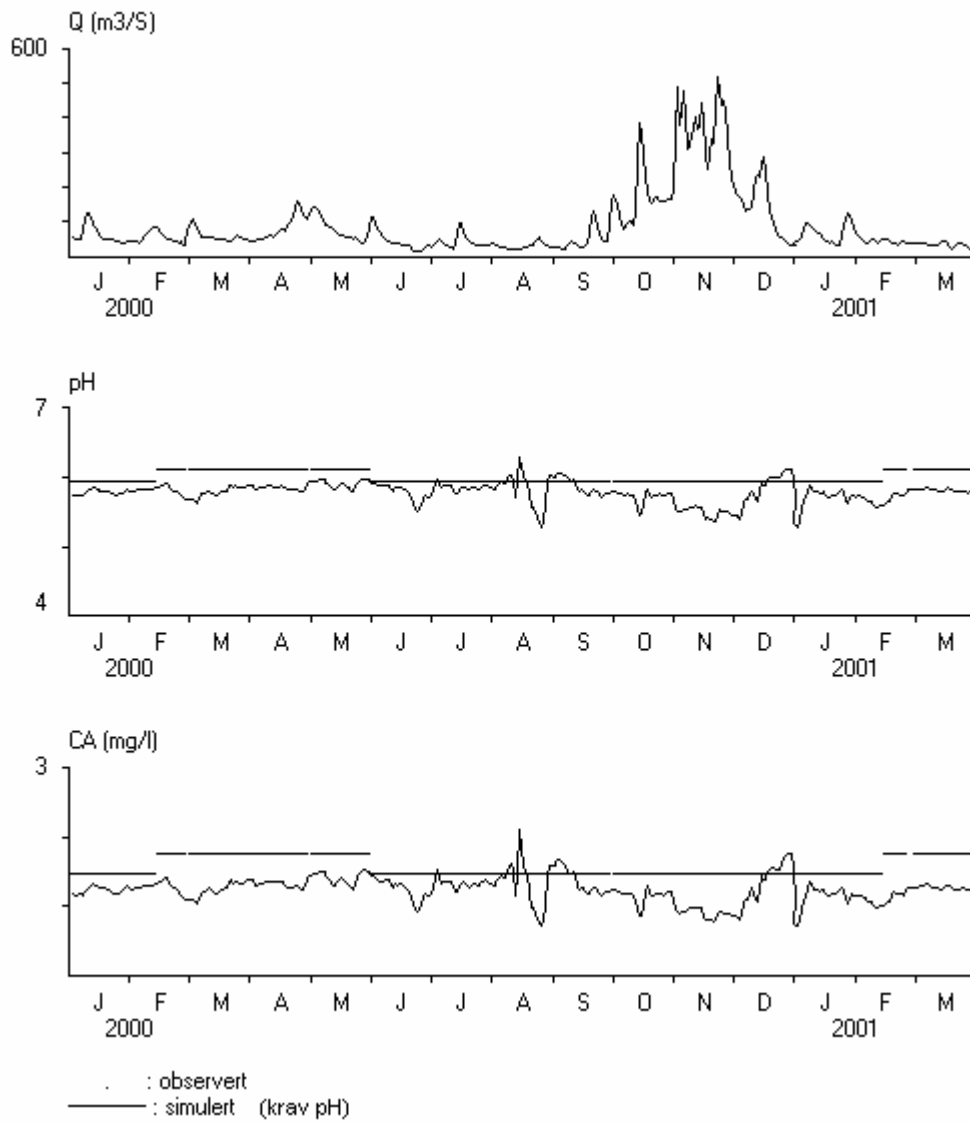
Det var varierende samsvar mellom simulerte og observerte pH-verdier ved Boen. Likevel tyder det på at modellen kunne gjengi virkeligheten på en pålitelig måte, **Figur 13**. Avvikene skyldtes i stor grad upålitelige observasjoner og input data til modellen.

I en periode sommeren 2000 viste pH loggen ved Boen klart lavere pH enn simulert. Perioden var såpass lang at det tyder på en systematisk feil. Vannføringene var realistiske. Sannsynligvis viste loggeren på Søre Herefoss nedenfor doseringsstedet for høy verdi slik at simulert kalkmengde ble større enn reelt, eller så viste loggeren ved Boen for lave verdier. Den ekstra kurven nederst på figuren viser simulerte verdier ved dosert kalk beregnet ved vektdifferensmetoden, **Figur 8**. I følge vektdifferensmetoden ble det nesten ikke dosert kalk i denne perioden slik at simulerte verdier viste klart lavere verdier enn de loggede. Dosert kalkmengde ved vektdifferensmetoden er klart misvisende for denne perioden.

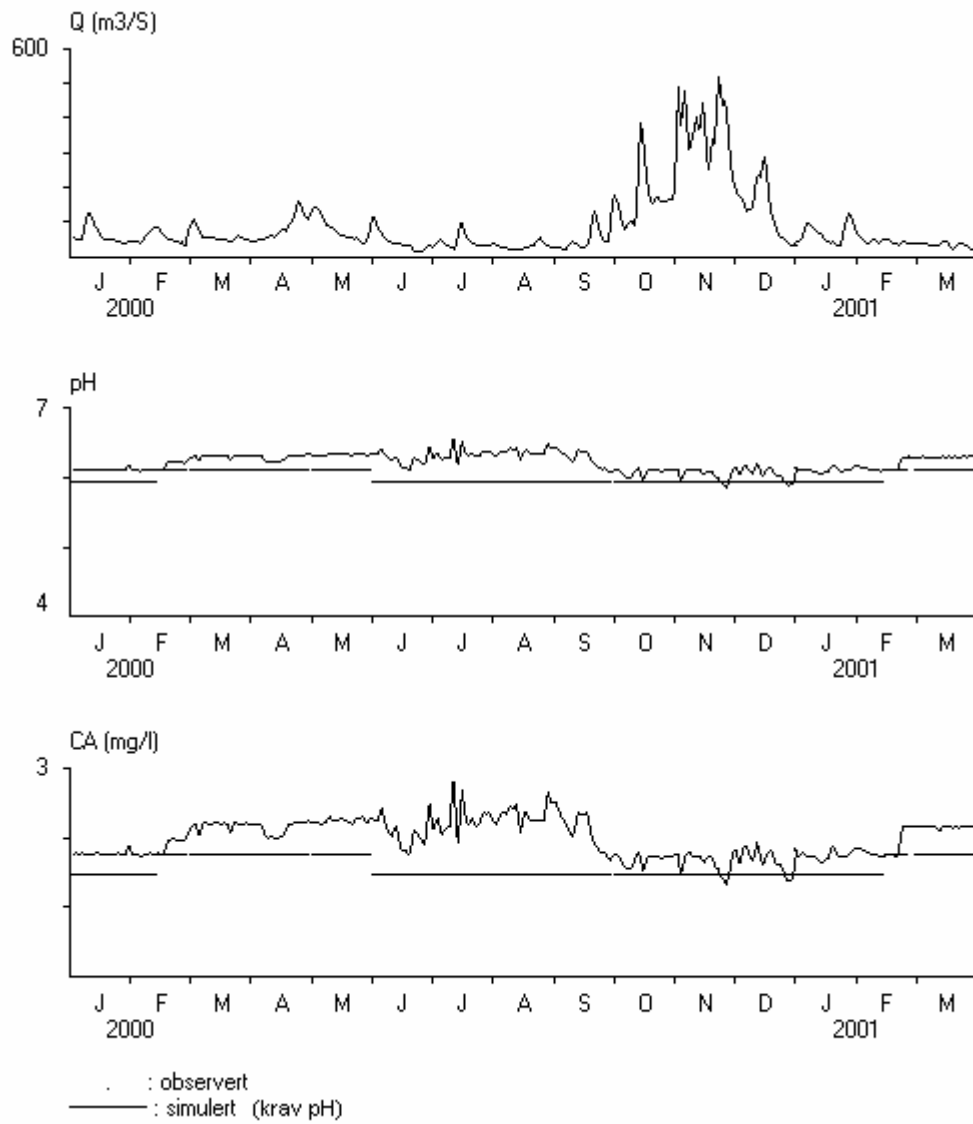
Avviket ved årskiftet 2000-2001 skyldes sannsynligvis også feil pH logging. Dersom vi i modellen hadde dosert etter vektdifferensmetoden, ville overensstemmelsen blitt betraktelig bedre og også nærmere kravet på pH 6.0. Forøvrig ble resultatene påvirket av usikkerhet i vannføringene ved Søre Herefoss, av usikkerhet i lokalt tilsig, at vi kun har benyttet konstante pH-verdier for det lokale tilsiget og den funksjonelle sammenhengen mellom kalsium og pH.

Tidspunktene for raske endringer ble godt gjengitt. Dette vitner om at modellen gir et realistisk anslag av den tiden det tar å transportere kalk nedover i vassdraget. Modellen bør være egnet til å lage scenarier som med en viss usikkerhet tatt i betrakning, kan danne grunnlag for beslutninger. Mye av avviket mellom simulerte verdier og logge-data kan også forklares med usikkerhet og feil i data som er logget.

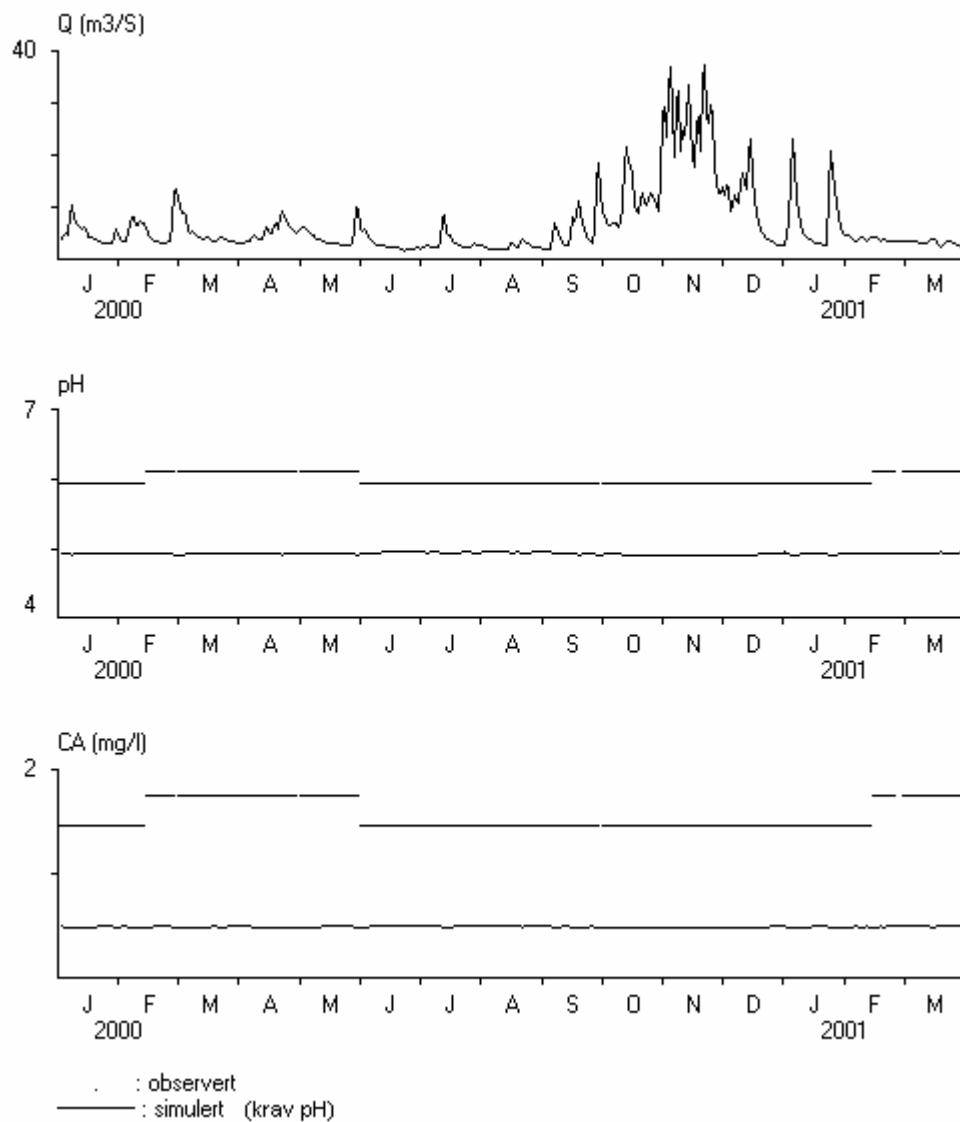
Selv om pH-verdiene jevnlig oppfylte kravet var det episoder med for lave verdier. Uten kalking ved Søre Herefoss ville pH-nivået gjennomgående ligget betydelig under kravet, **Figur 14**.



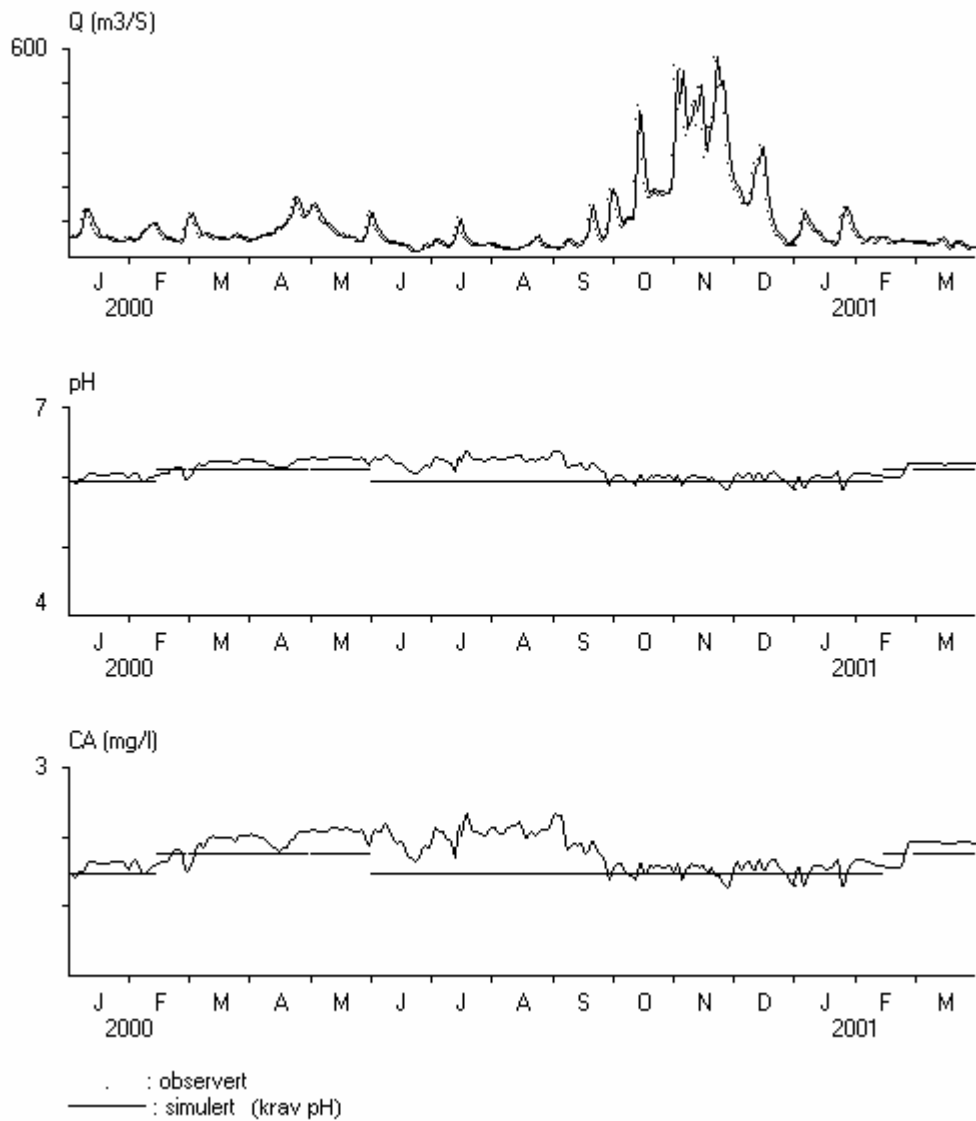
Figur 9. Søre Herefoss oppstrøms dosering. Selv om det er kalket oppstrøms Herefossfjorden, er det betydelig surere vann enn kravet.



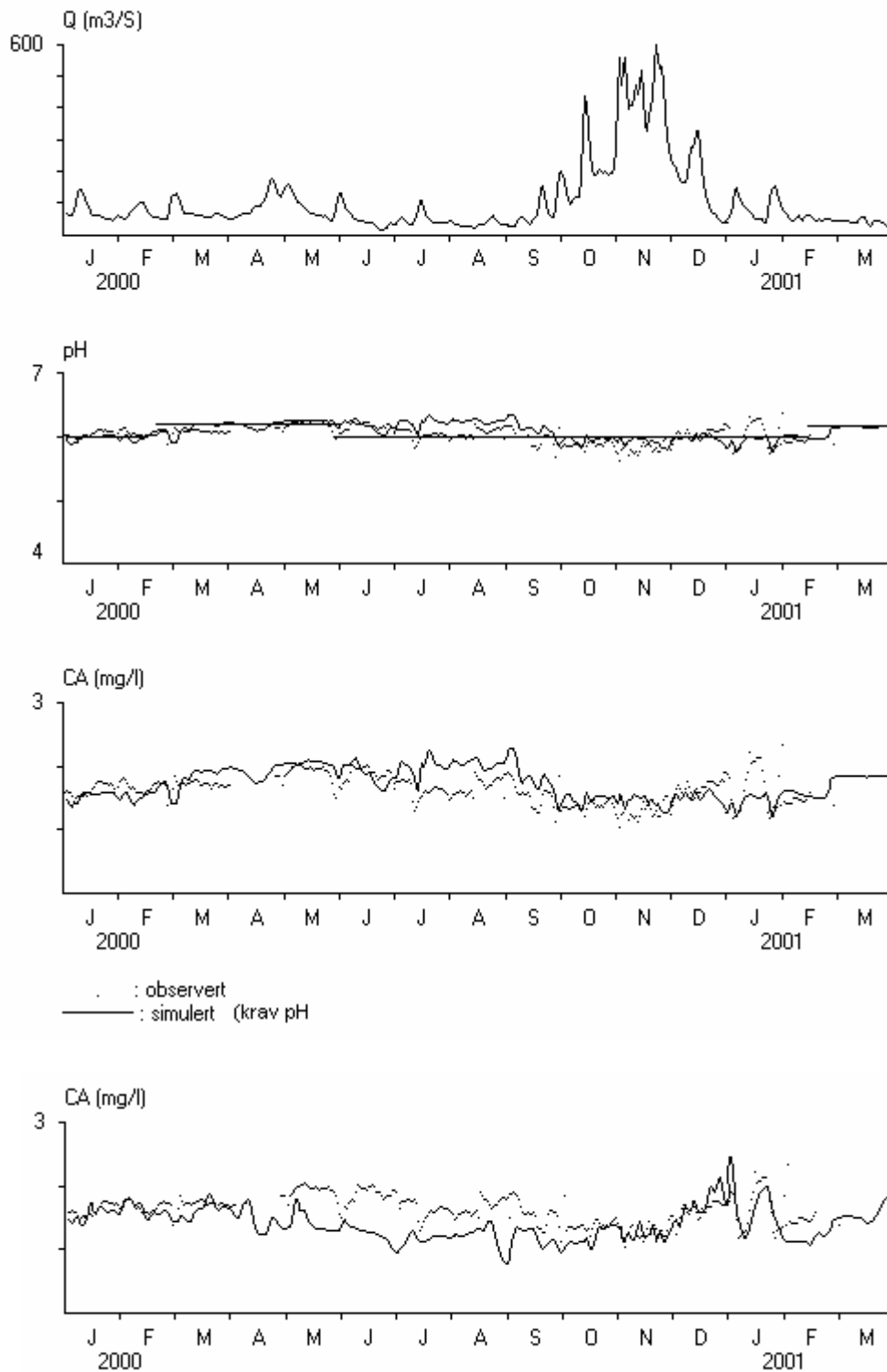
Figur 10. Søre Herefoss nedstrøms dosering. For å kompensere for surt tilsig nedstrøms ble det dosert til et nivå høyere enn kravet.



Figur 11. Dikeelva ved innløpet til Flakksvatn. Stasjonen er representativ for det lokale tilsiget, som er langt surere enn kravet.

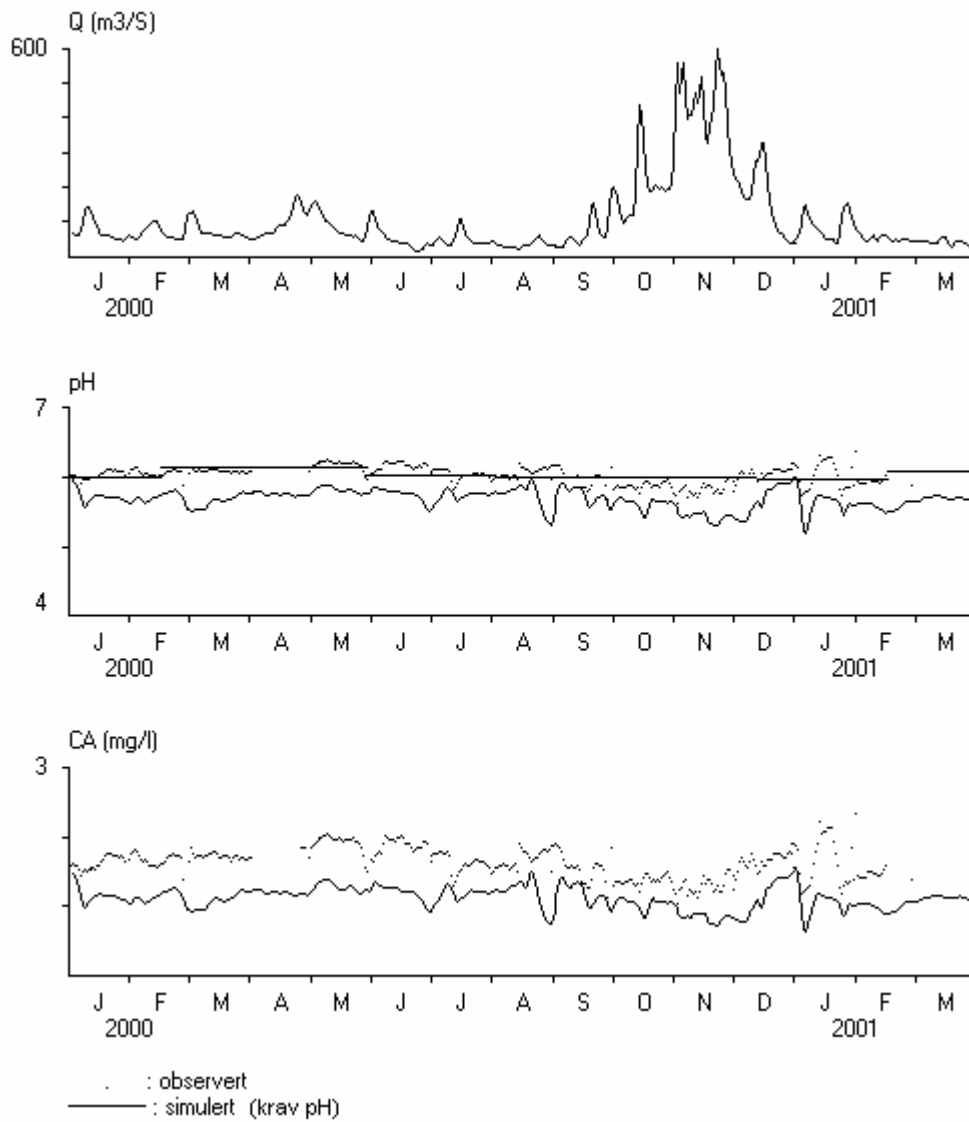


Figur 12. Utløp Flakksvatn. Godt samsvar mellom simulerte og observerte vannføringer tyder på at det lokale tilsiget er realistisk.



Simulerte verdier ved doseringmengde beregnet ved døgnlige vektdifferenser og påfyllingsdata

Figur 13. Boen. Det var overveiende bra samsvar mellom simulerte og observerte verdier. Ulike metoder for beregning av dosert kalkmengde viser at usikkerhet i loggedata påvirker resultatene. Selv om pH-verdiene jevnlig oppfylte kravet var det episoder med for lave verdier.



Figur 14. Boen. Uten kalkdosering ved Søre Herefoss.

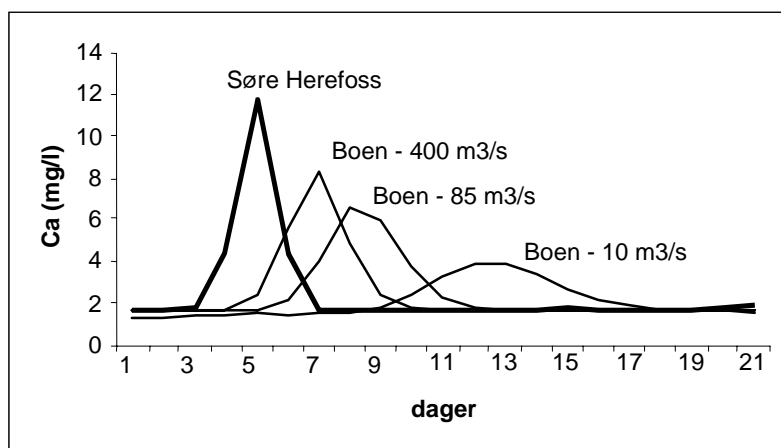
4. Simuleringer

Vi har benyttet vassdragsmodellen til å synliggjøre hvilke forhold som kan forårsake episoder med for surt vann og hvordan slike episoder eventuelt kan unngås. Transporttiden for vann og kalk er selvsagt en kritisk faktor. Sammen med mengden og kvaliteten av det sure, lokale tilsiget setter den rammer for hva en kan oppnå av vannkvaliteter på lakseførende strekning med eksisterende kalkdoserere i vassdraget.

4.1 Transporttid

Selv om pH-verdiene jevnlig oppfylte kravet til vannkvalitet, var det episoder med for lave pH-verdier. Dette har sammenheng med at det er vanskelig å ta tilstrekkelig hensyn til det lokale tilsiget. Transporttiden av vann og kalk fra Søre Herefoss til Boen er avhengig av vannføringen. Ved konstant vannføring ved Søre Herefoss lik $10 \text{ m}^3/\text{s}$, $85 \text{ m}^3/\text{s}$ og $400 \text{ m}^3/\text{s}$ og uten lokalt tilsig ble karakteristisk simulert transporttid hhv. 9, 4 og 2 døgn, se **Figur 15**. Desto lenger transporttid, desto mindre markert maksimum for Ca-konsentrasjonen. $85 \text{ m}^3/\text{s}$ tilsvarte middelvannføringen i simuleringperioden. $10 \text{ m}^3/\text{s}$ og $400 \text{ m}^3/\text{s}$ representerer en meget lav og en meget høy vannføring.

Flakksvatn forsinker kalktransporten i vassdraget, særlig ved lave vannføringer. Transporttiden varierer med temperaturforholdene. Ved sjiktede forhold strømmer elvevannet raskt igjennom i overflaten, mens det i sirkulasjonsperioder blir nær fullstendig blandet og bruker lengre tid. Transporttiden gjennom Flakksvatn ved vannføringene 10 , 85 og $400 \text{ m}^3/\text{s}$, kan for eksempel være omkring 2, 1 og $\frac{1}{4}$ døgn. I sirkulasjonsperioder kan teoretisk oppholdstid indikere transporttiden. Ved en vannføring på 10 , 85 , og $400 \text{ m}^3/\text{s}$ blir teoretisk oppholdstid hhv. 16, 1.8 og 0.4 døgn. Selv om en stor del av kalken følger hovedstrømmen gjennom Flakksvatn, vil en del følge en betydelig lenger transportvei via virvler og lune viker før det når utløpet. Transport gjennom Flakksvatn demper raske konsentrasjonsendringer i vassdraget.



Figur 15. Idealisert transport av kalsium fra Søre Herefoss til Boen ved lav, middels og høy vannføring.

Transporttiden og demping/utjevning nedover elva fører til at den kalkmengden som blir tilført ved Søre Herefoss ikke alltid er tilpasset tilsiget fra nedbørfeltet nedenfor. Selv om pH-verdiene er nær konstant etter doseringen ved Søre Herfoss, får vi en ujevn kurve ved Boen. Et typisk trekk er at pH-verdiene ved Boen avtar ved stigende vannføring og øker ved avtagende vannføring. Dette har sammenheng med transporttiden fra Søre Herefoss til Boen og at det lokale tilsiget både øker og avtar raskere enn vannet i hovedelva. Avløpet ved Søre Herefoss, i motsetning til det lokale tilsiget, har vært utsatt for en betydelig naturlig selvregulerende påvirkning fra et stort nedbørfelt med mange innsjøer i tillegg til kraftverksregulering i Uldalsgreina oppstrøms Herefossfjorden.

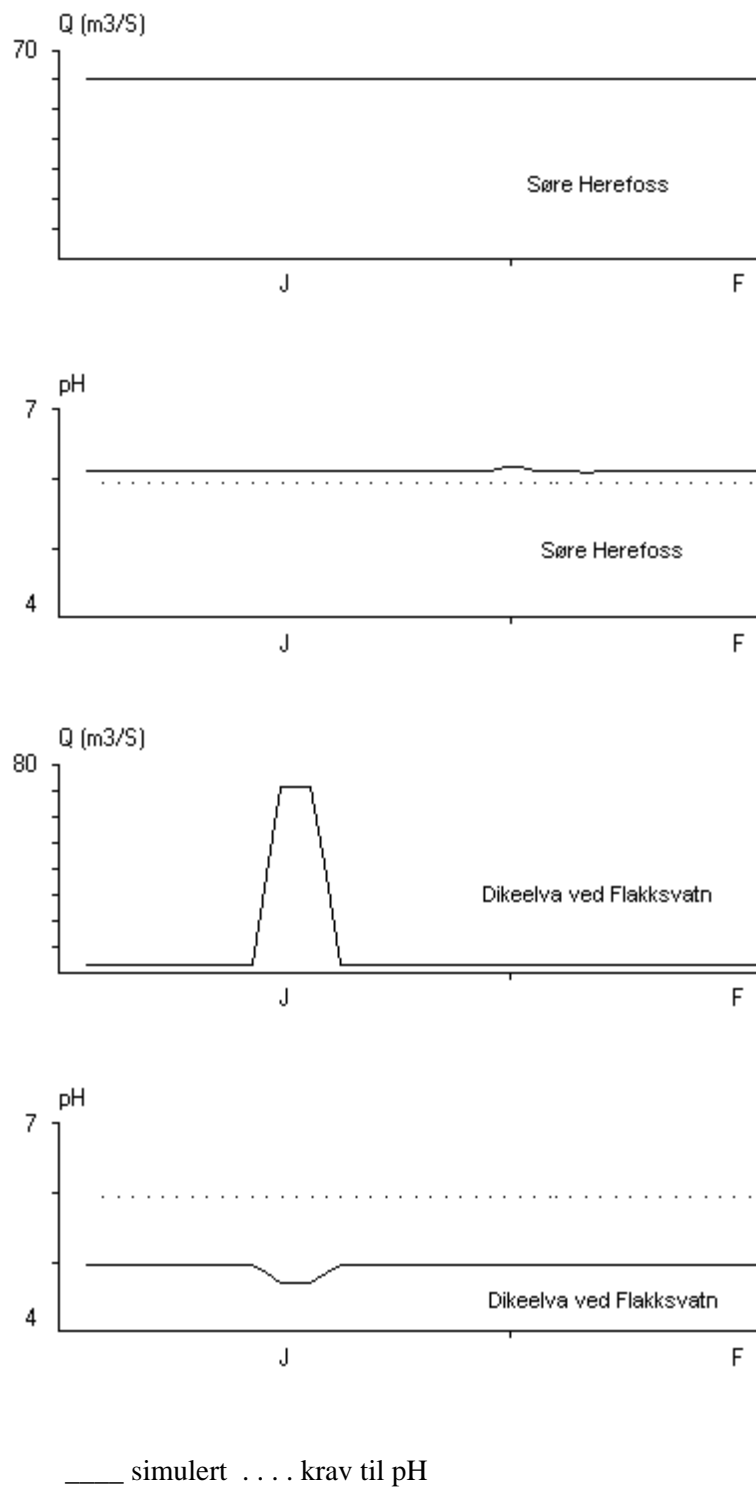
4.2 Surt lokalt tilsig

Vi antok så at vannføringen ved Søre Herfoss var konstant lik $60 \text{ m}^3/\text{s}$, hvilket er nær middelvannføringen. Det ble kalket for denne vannføringen som normalt, dvs til pH lik 6.2, som er 0.2 pH-enhet over kravet mesteparten av året. Vi antok videre at det lokale tilsiget økte kraftig i tre døgn (som i november 2000). Dette resulterte i en sur episode med pH-verdier under kravet nedover i elva. Effekten ble tydeligere lenger nedover i elva, se **Figur 17**. Effekten ble ytterligere forsterket ved lav vannføring ved Søre Herefoss, **Figur 18**.

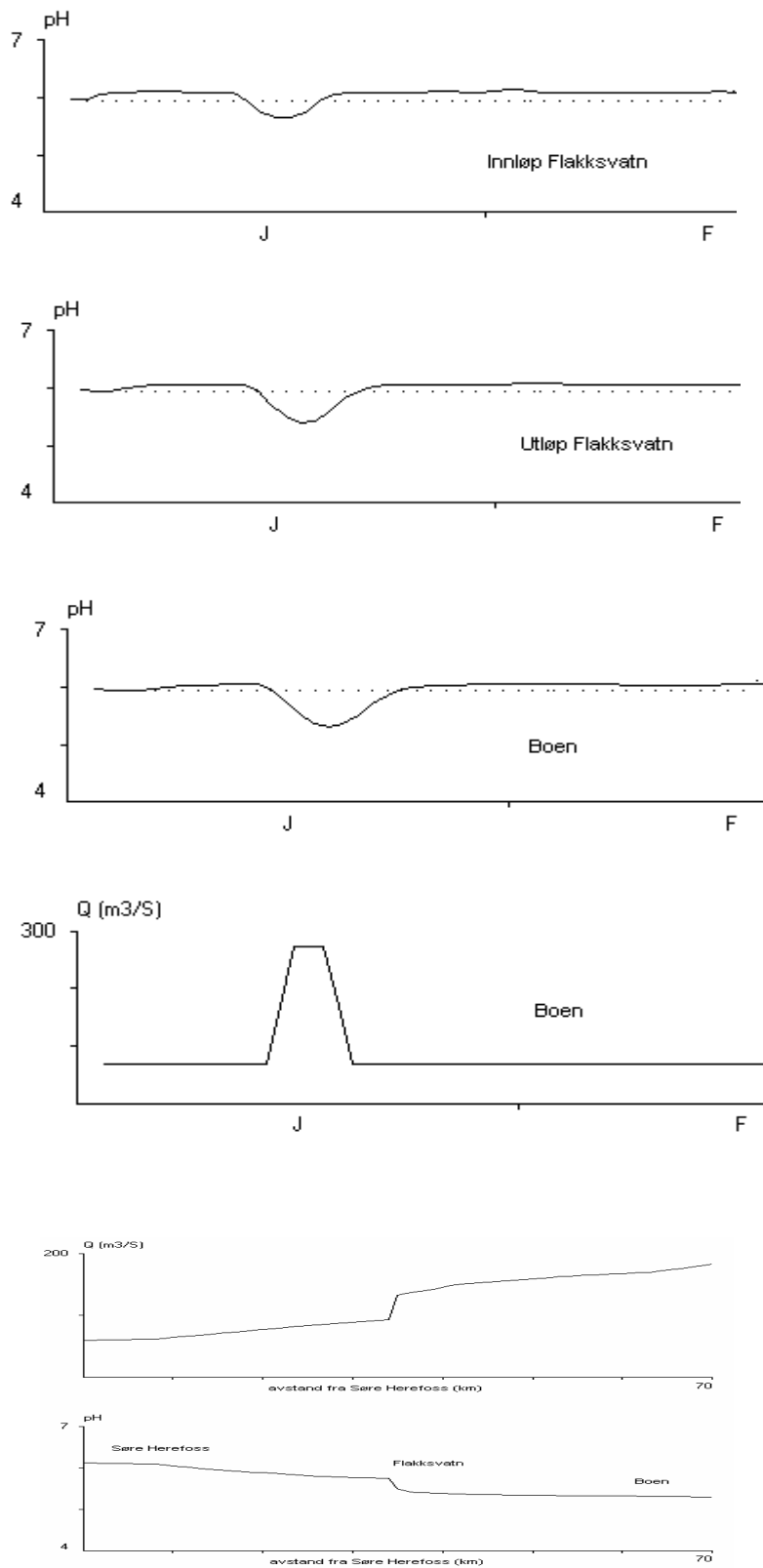
I det foregående eksempelet ble effekten av lokalt surt tilsig synliggjort ved et meget stort tilsig, dog innen det naturlige. Den neste simuleringen viser hvordan den naturlige lokale forsureffekten ville ha innvirket på vannkvaliteten i Tovdalselva dersom vannføringen ved Søre Herefoss hadde vært konstant hele året. Det vil si at simuleringene adskiller seg kun fra kalibreringene ved at vannføringen ved Søre Herefoss holdes konstant.

Ved midlere vannføringer ved Søre Herefoss ble pH-verdiene ofte lavere enn kravet. Ved lave vannføringer ble kravet jevnlig ikke tilfredsstillt, se **Figur 19**. Som nevnt var de simulerte verdiene trolig for høye sommeren 2000 slik at periodene med surt vann hadde lenger varighet enn vist på figuren.

I virkeligheten blir forholdene bedre enn disse scenariene viser, hvilket kalibreringsresultatene og data som ble logget viser. Dette har sammenheng med at vannføringen ut av Herefossfjorden også øker slik at doseringsmengden øker og at det doseres til det oppnås en pH-verdi noe over kravet ved Søre Herefoss. Dette "overskuddet" brukes til å kompensere for det lokale tilsiget nedstrøms.

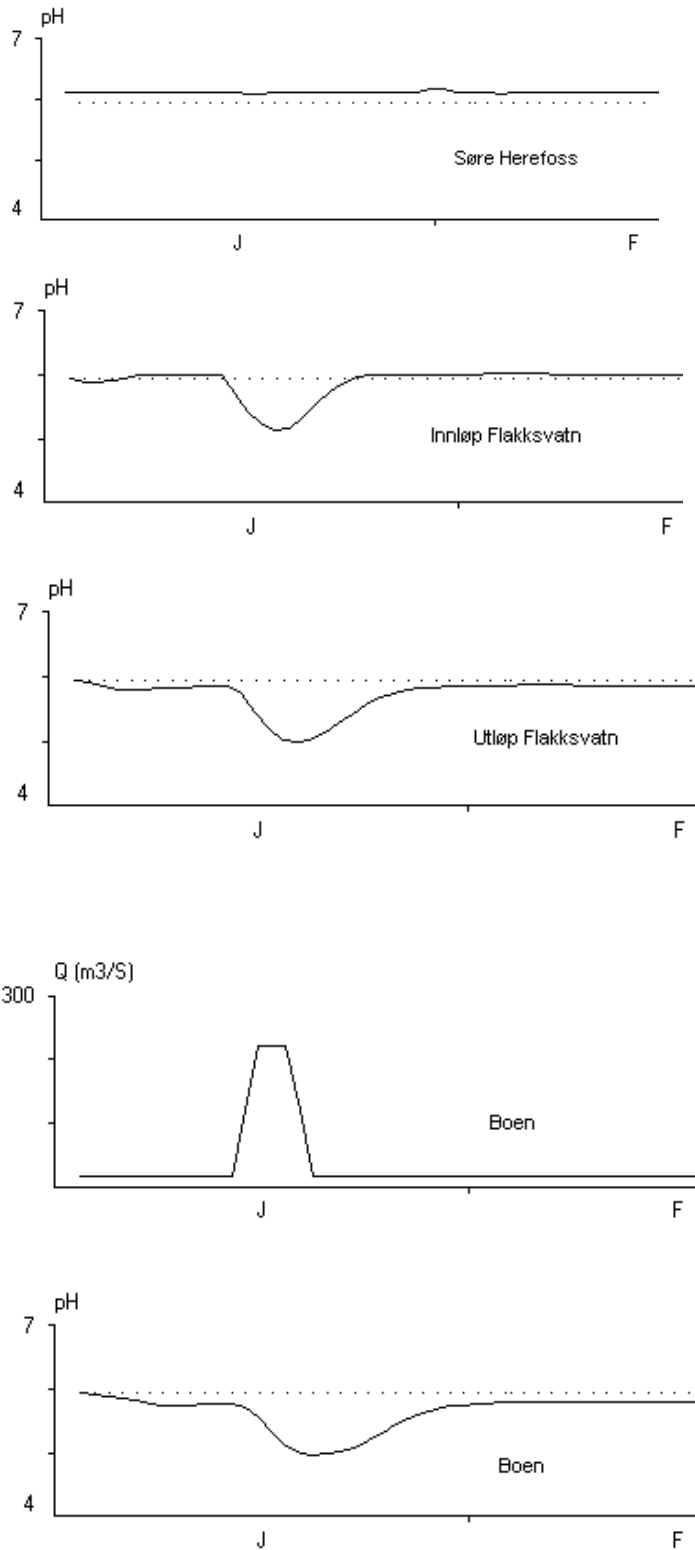


Figur 16. Ved Søre Herefoss er vannføringen konstant nær middelvannføringen ($60 \text{ m}^3/\text{s}$) og med tilfredsstillende pH-verdier, mens det lokale tilsiget nedstrøms øker, som representert ved Dikeelva.

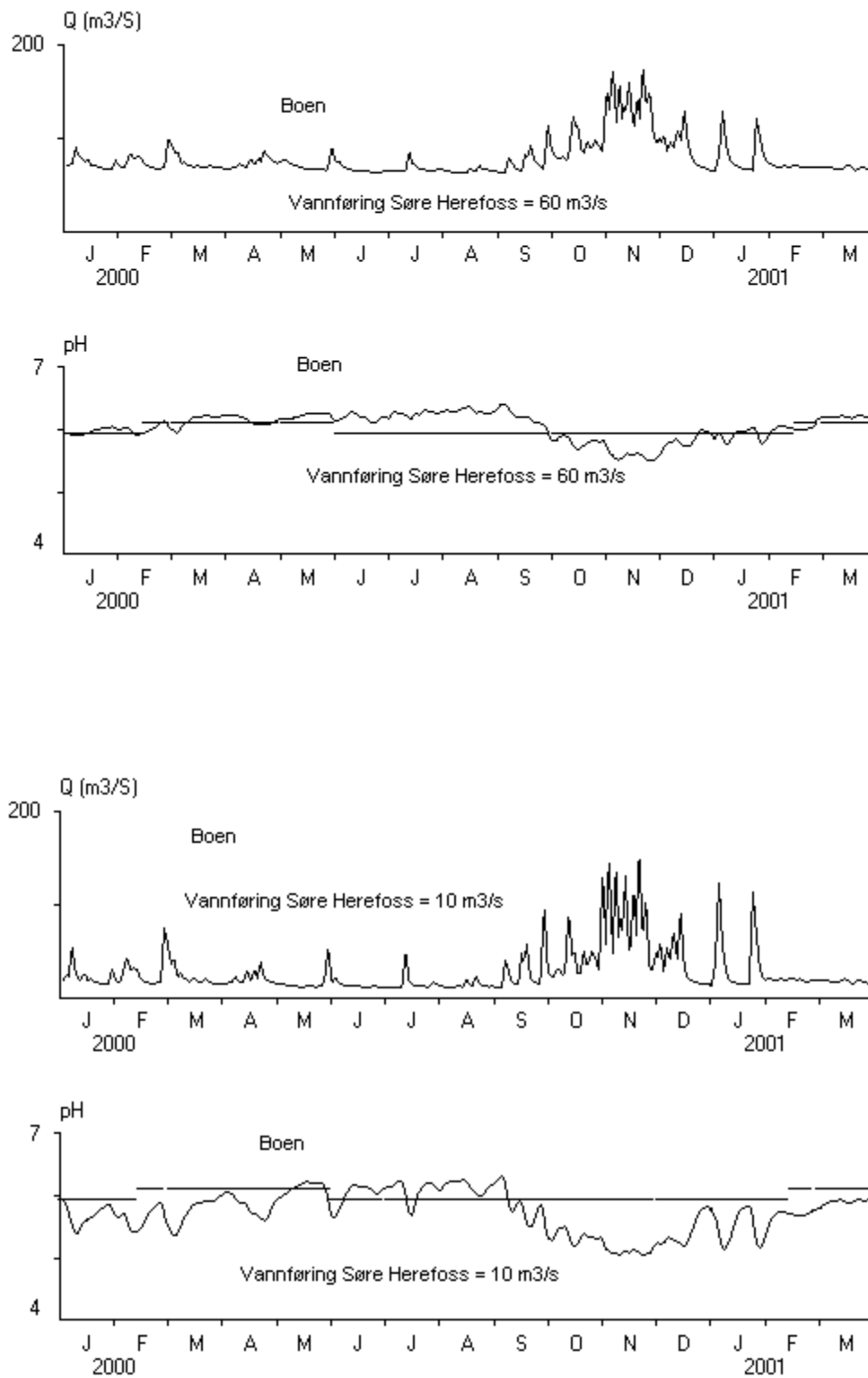


— simulert krav til pH

Figur 17. Normal dosering av kalk ved Søre Herefoss vil være for lite til å kompensere for en episode med surt lokalt tilsig.



Figur 18. Elva vil være mest følsom for en episode med lokalt tilsig av surt vann ved lave vannføringer.



Figur 19. Konstant lav vannføring i Tovdalselva ved Søre Herefoss med pH-verdier som tilsvarende normal kalking og naturlig lokalt tilsig nedstrøms Søre Herfoss. Tovdalselva er særlig utsatt for sure episoder ved lave vannføringer ved Søre Herefoss.

4.3 Kalkingsstrategier

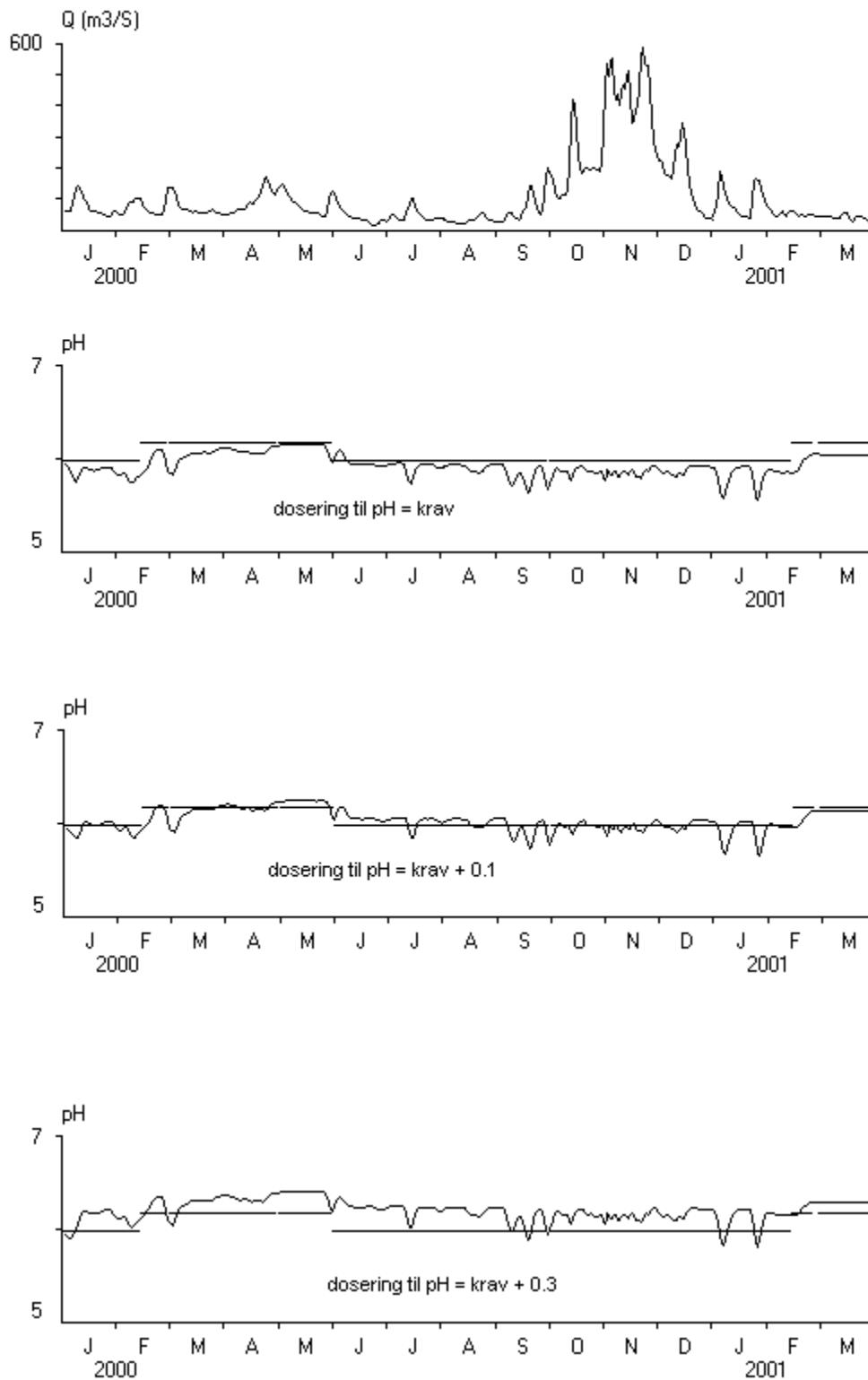
Den strategien som brukes idag går ut på å jevnlig dosere til noe over kravet ved Søre Herefoss. I simuleringsperioden var dette tillegget i gjennomsnitt nær 0.1 pH-enhet. I tillegg blir det skjønnsmessig dosert ekstra i perioder med forventet stor lokalt tilsig. Her vil vi se på eksisterende doseringsstrategi og alternative strategier.

4.3.1 Dosere i forhold til vannføringen ved Søre Herefoss

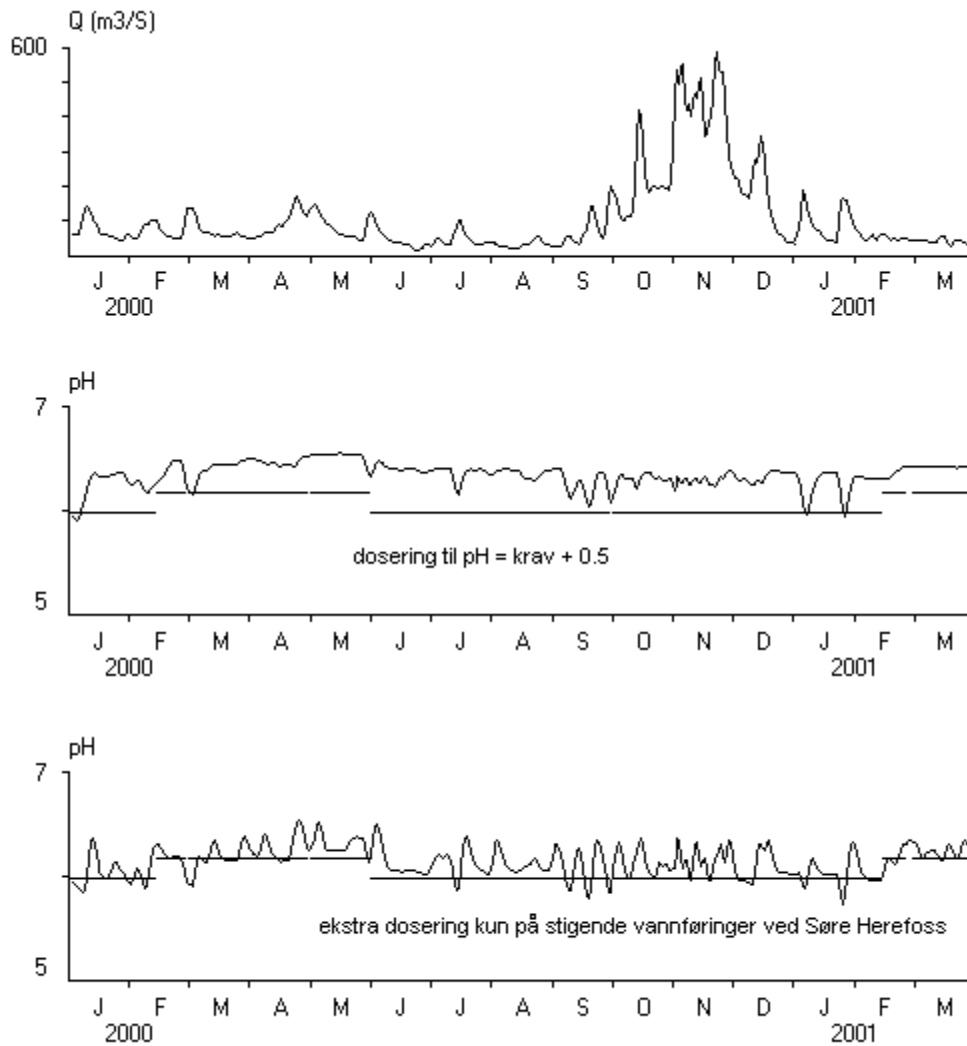
Ved kun å dosere til kravet, 15. februar-1. juni: pH6.2 ellers pH 6.0, ved Søre Herefoss vil pH-nivået ved Boen være konstant ikke tilfredsstillende, se **Figur 20**. Det er fordi det ikke blir tatt hensyn til det lokale tilsiget i det hele tatt. Denne kurven gir uttrykk for hvor stor betydning det lokale tilsiget hadde i simuleringsperioden. Ved å øke doseringen slik at vi oppnår 0.1 pH-enhet over kravet oppnås tilfredsstillende resultat i omtrent halvparten av tiden. Økende dosering ga redusert varighet av et pH-nivå under kravet. Ved dosering til 0.5 pH-enhet over kravet ble det konstant tilfredsstillende forhold, men kostnadene med så høy dosering er trolig store.

Det tar tid å transportere kalken nedover elva slik at kalken kommer for sent til å kompensere for raske lokale endringer, som igjen resulterer i avtagende pH-verdier på økende vannføringer. Desto raskere det lokale nedbørfeltet reagerer i forhold til vannføringsendringer ved Søre Herefoss, desto mer markert blir denne effekten. Ved å jevnlig dosere mer enn det som er "teoretisk" tilstrekkelig, slik som ble simulert i det foregående, vil det konstant være en "overdose" på vei nedover som kan nøytralisere et mulig raskt økende lokalt tilsig.

Da problemer med lav pH oppstår fortrinnsvis på stigende vannføringer, ble det i den neste simuleringen kun dosert til pH-nivå lik 0.5 enheter over kravet på stigende vannføring ellers 0.1 over kravet. Stigende vannføring ble definert som en økning siste døgn på mer en 1 l/s/km^2 , dvs $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ved Søre Herefoss. Dosert kalkmengde ble redusert betraktelig, men det forekom enkelte perioder med for lave pH-verdier, se **Figur 21**.



Figur 20. pH ved Boen ved dosering til et konstant pH-nivå ved Søre Herefoss.



Figur 21. Dosering til 0.5 pH-enhet over kravet ved Søre Herefoss ga tilfredsstillende vannkvalitet ved Boen. Imidlertid ble pH-nivået/kalkforbruket unødvendig høyt nesten hele tiden. Dosering på kun stigende vannføringer reduserte kalkmengden betraktelig på bekostning av sure episoder.

4.3.2 Dosere i forhold til vannføringen ved Søre Herefoss og lokalt tilsig

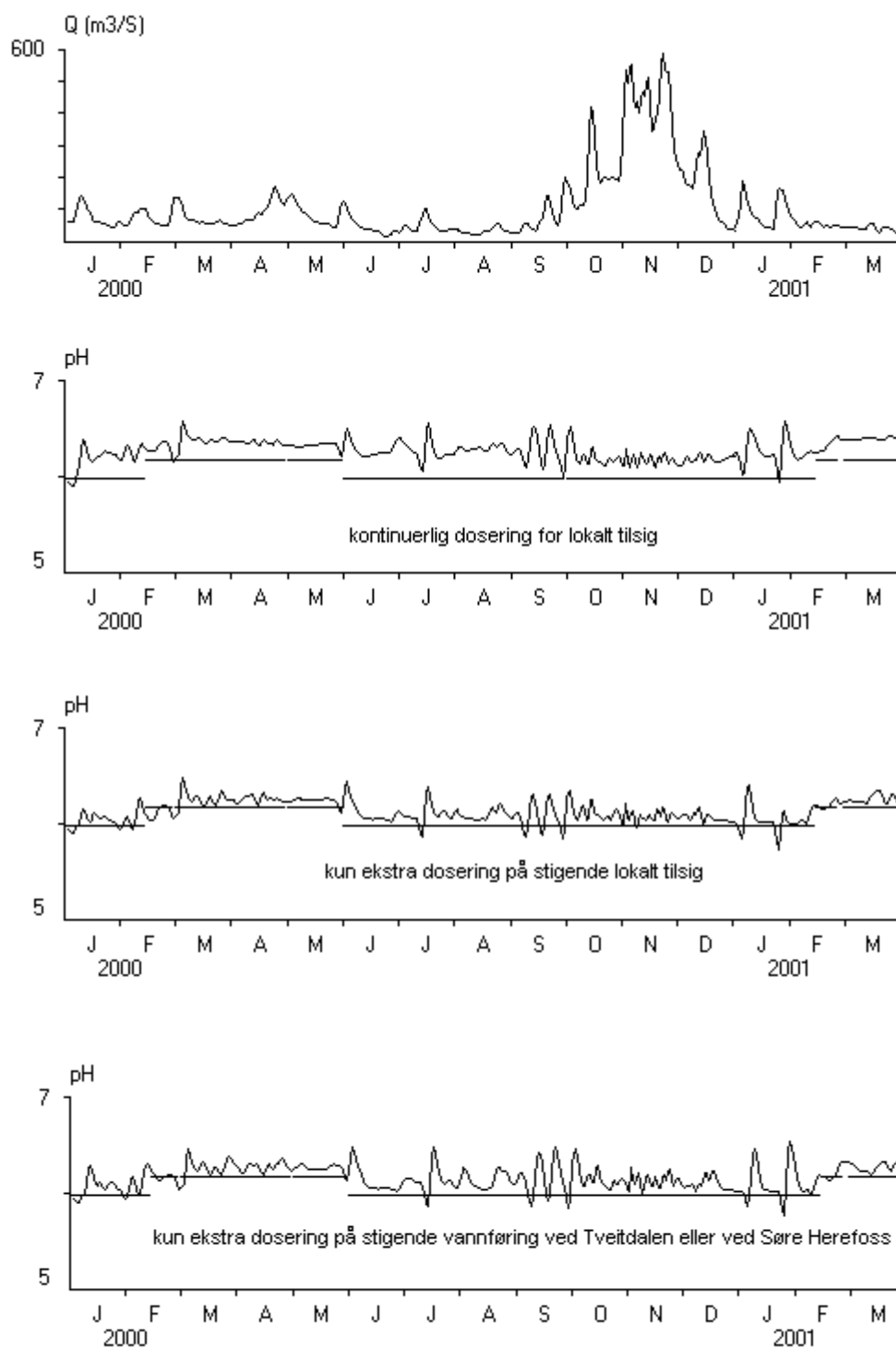
I november 2000 var det et meget stort lokalt tilsig og store og raske vannføringsendringer. Uten årvåkne folk med god innsikt, som økte doseringen til over vanlig nivå i denne perioden, ville resultatet ifølge simuleringene blitt pH-verdier nær 5.0 ved Boen.

I november 2000 hadde høstflommen pågått en viss tid og vannføringene var høye ved Søre Herefoss, slik at denne vannmengden var relativt stor i forhold til det lokale tilsiget. Ved lav vannføring ved Søre Herefoss og et meget høyt lokalt tilsig, ville pH-reduksjonen kunne blitt enda større. Vi kan tenke oss at dette særlig kan skje i tilknytning til episoder med kraftig lokalt regn og snøsmelting. Varmegrader i det lavereliggende lokale nedbørfeltet kan føre til at snøsmeltingen kan bli betydelig større der enn i de øvre delene. Resultatet kan bli et spesielt stort lokalt tilsig i forhold til vannføringen ved Søre Herefoss. Dette forholdet kan bli forsterket dersom smeltevannet er spesielt surt.

I den følgende simuleringen kalket vi spesielt for å ta hensyn til det lokale tilsiget. pH-nivået ble holdt lik kravet + 0.1 pH-enhet ved Søre Herefoss. I tillegg ble det kalket slik at vannet i det lokale tilsiget ved en teoretisk ideell blanding fikk hevet pH-verdien fra antatt 4.8 til 6.5. Dette resulterte i at pH-nivået ble tilfredsstillende i tilnærmet hele perioden. Imidlertid ble det unødvendig høye verdier med tilhørende unødvendig høyt kalkforbruk mesteparten av tiden, se **Figur 22**. Ved kun å dosere ekstra for lokalt tilsig dersom det lokale tilsiget ved Tveitdalen var stigende, ble kalkforbruket betraktelig redusert på bekostning av enkelte korte perioder med for lave verdier.

Bruk av lokal vannføring ga et bedre resultat enn om det kun ble tatt hensyn til vannføringen ved Søre Herefoss. Tveitdalen vannføringsstasjon har et nedbørfelt på kun 0.4 km² slik at det reagerer meget raskt på nedbør- og temperaturendringer. Stasjonen er følgelig ideell for på et tidlig tidspunkt å få et varsel om et kommende lokalt tilsig. Ulempen er at "flomtoppen" kulminerer raskt slik at vi får avtagende vannføringer på et tidligere tidspunkt enn store deler av det lokale nedbørfeltet forøvrig. Vi prøvde å ta hensyn til dette ved å fortsette doseringen inntil også vannføringen ved Søre Herefoss sank. Det ble liten synbar forbedring med hensyn til å redusere periodene med for lave pH-verdier. Dette tyder på at transporttiden nedover vassdraget i disse tilfellene var for lang til at kalk fra Søre Herefoss kunne nå Boen tidlig nok ved kun å reagere på samtidige hendelser. Vannføringsøkningen måtte enten prognoseres eller kompenseres med kontinuerlig "overdosering".

Det at Tveitdalens nedbørfelt er lite gjør at feltet ikke er representativt for hele det lokale nedbørfeltet dersom arealtilsiget er ujevnt fordelt. Av sikkerhetshensyn bør det derfor alltid kalkes til noe over kravet, f.eks. 0.1 pH-enhet som vi har benyttet i de viste scenariene, for den totale vannmengden som blir målt ved Søre Herefoss.



Figur 22. Dosering til 0.1 pH-enhet over kravet ved Søre Herefoss + ekstra dosering for å ta hensyn til målt lokalt tilsig. Ved kontinuerlig "ekstra" dosering ble pH-nivået unødvendig høyt mesteparten av tiden. Ved kun å dosere "ekstra" på stigende vannføring gikk kalkforbruket betraktelig ned, men kravet ble misligholdt i enkelte korte perioder.

4.3.3 Hvordan dosere for å unngå en ekstrem sur episode

De foregående simuleringene viser hvordan det normalt ville ha blitt i vassdraget ved ulike kalkingsstrategier i simuleringsperioden. Vi skal her se mer i detalj på hvordan virkningen av en episode med ekstremt stort lokalt tilsig av surt vann kan forventes å bli ved ulike kalkingsstrategier. Episoden er realistisk med hensyn til tilsigets størrelse og surhet. Den kan tenkes å inntreffe ved en kombinasjon av nedbør og snøsmelting.

Vi antar en meget lav vannføring ved Søre Herefoss, $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Det lokale tilsiget ble i løpet av ett døgn meget stort, fra 10 til 700 l/s/km^2 . Dette ble opprettholdt i tre døgn før det igjen ble redusert til det opprinnelige nivået i løpet av to døgn. Tilsigsvannet var meget surt, pH 4.5.

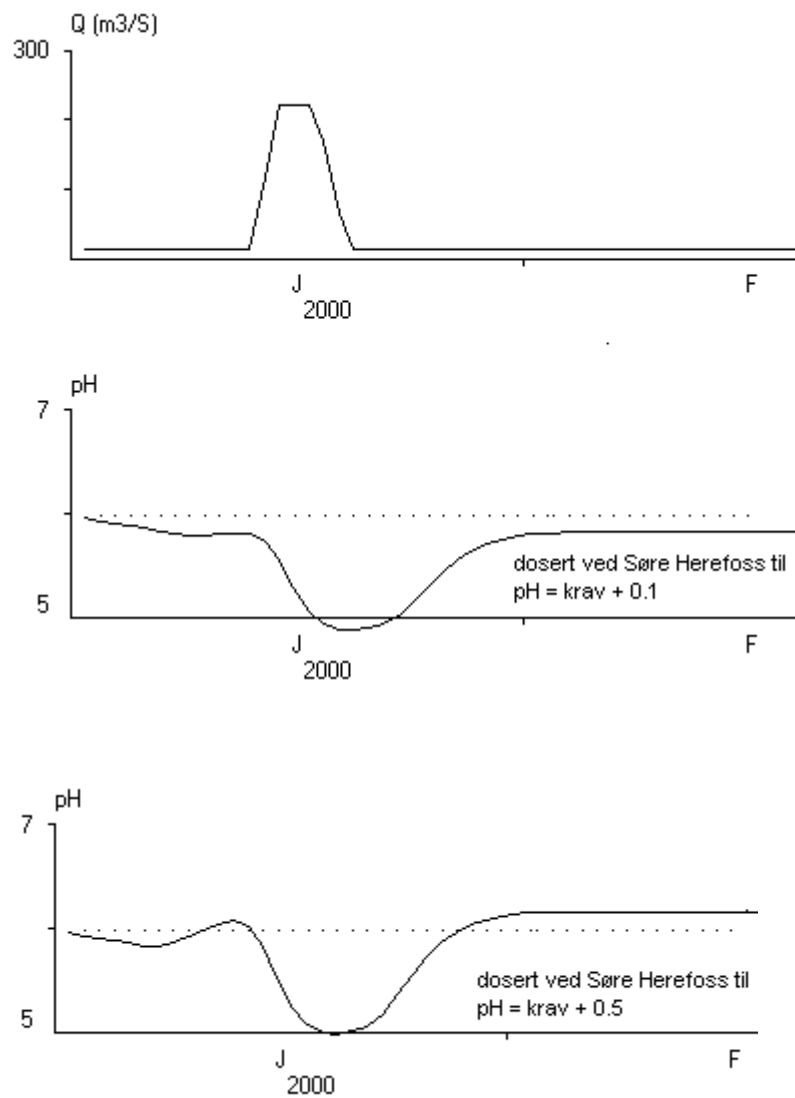
Ved kun å dosere i forhold til vannføringen på doseringsstedet (Søre Herefoss) ville det blitt over en uke med pH-verdier under 5.5 og med minimumsverdier under pH 5.0, se **Figur 23**. En dosering på 0.1 pH-enhet over kravet er i samsvar med middelverdien av loggede data ved Søre Herefoss. Dosering til et meget høyt konstant pH-nivå ved Søre Herefoss, 0.5 pH-enhet over kravet, medførte kun små forbedringer ved Boen i denne situasjonen.

Ved i tillegg også å dosere for det lokale tilsiget til 0.5 pH-enhet over kravet, ble resultatet betydelig forbedret, men likevel fortsatt med flere dager med verdier under pH 5.5 ved Boen, se **Figur 24**. Ved innløpet til Flakksvatn var verdiene under kravet et par dager. Ved å dosere ekstra ved utløpet av Flakksvatn ett døgn etter tilsigsperiodens start ble pH-nivået senket til under kravet i to døgn med en minimumsverdi på 0.2 pH-enhet under kravet. Om denne ekstra doseringen startet to døgn etter tilsigsepisodens start økte varigheten av lave verdier med ett døgn og minimumsverdien ble 0.5 pH-enhet under kravet.

Den ekstra doseringen hadde to døgn varighet og en dose tilsvarende høyning av det lokale tilsiget til 0.5 pH-enhet over kravet. Den ekstra doseringen tilsvarte ca. 100 tonn kalksteinsmel. Doseringen ved utløpet av Flakksvatn ble her brukt som en "nødhjelp" inntil kalk fra dosereren ved Søre Herefoss nådde fram.

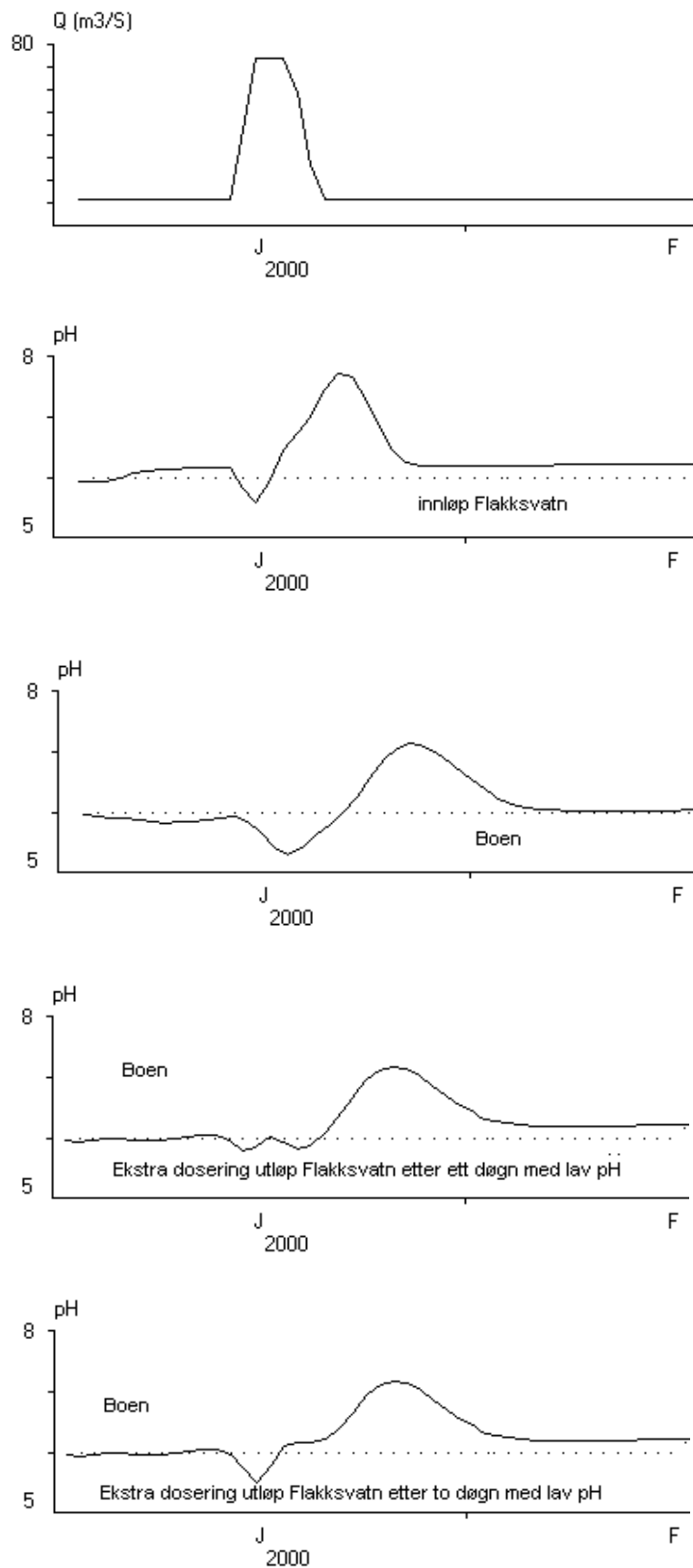
De neste simuleringene viser hvordan vi kunne ha dosert ved Søre Herefoss dersom vi hadde riktige prognoser for det lokale tilsiget. Vi tenkte oss fortsatt at det ble dosert for vannføringen ved Søre Herefoss til 0.1 pH-enhet over kravet. I tillegg ble det dosert for det lokale tilsiget henholdsvis 1, 2 og 3 dager før tilsigsepisodens start. Det ble fortsatt dosert for det lokale tilsiget inntil det reelt avtok. Dosering ifølge prognosert tilsig på ett døgn hadde god effekt ned til Flakksvatn, men hadde begrenset virkning ved Boen, **Figur 25**. Ved å nytte 2-døgn prognoser ble forholdene betydelig bedre og problemet syntes å opphøre ved å nytte 3-døgn prognose. Kalk som ble dosert på slutten av episoden, kom for sent fram til Boen og medførte unødvendig høye pH-verdier på lave vannføringer.

Som tidligere nevnt kan karakteristisk transporttid for kalk mellom Søre Herefoss og Boen bli 9, 4 og 2 dager ved vannføringer på hhv. 10, 85 og $400 \text{ m}^3/\text{s}$. En del av kalken vil transporteres raskere. Ved stort lokalt tilsig vil nødvendigvis også vannføringen i hovedelva øke etterhvert. Det vil si at om en betydelig sur episode er på gang vil vannføringen samtidig bli tilstrekkelig høy til at transporttiden blir redusert til noen få dager. Ved å dosere for målt vannføring ved Søre Herefoss og lokalt tilsig til noe over kravet vil det alltid være en kalkbølge på vei nedover som kan redusere virkningene av mulig raskt lokalt tilsig. Dette synes å gi tilfredsstillende vannkvalitet ned til Flakksvatn. Ved Boen, og nedstrøms Flakksvatn forøvrig, må vi regne med at det enkelte ganger vil inntreffe sure episoder dersom vi ikke tar spesielle hensyn som for eksempel å utnytte prognoser for lokalt tilsig eller bruke en "nøddoserer" ved utløpet av Flakksvatn.

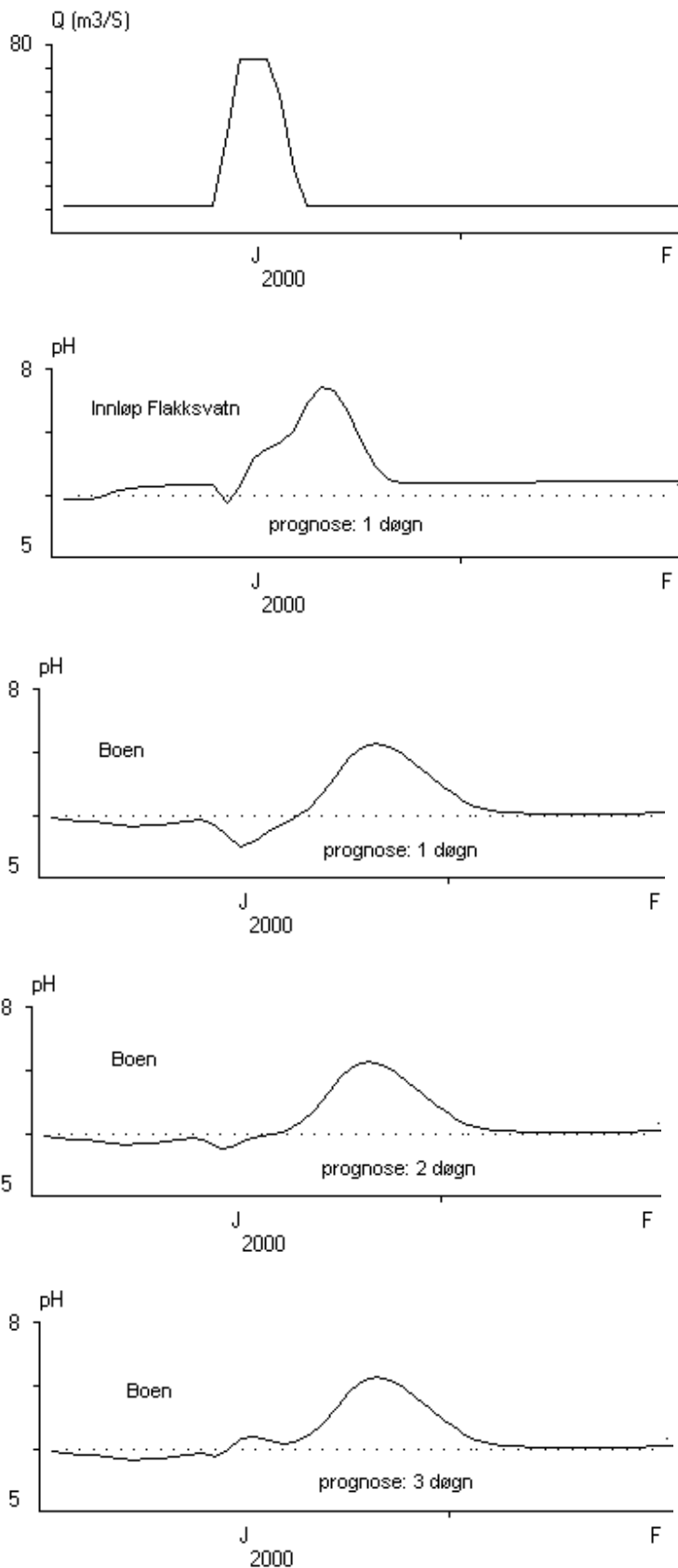


... krav til pH (en prikk pr. døgn)

Figur 23. pH ved Boen. Sur episode er simulert og det blir dosert for vannføring ved Søre Herefoss. Det var ikke tilstrekkelig å holde et konstant pH-nivå ved Søre Herefoss.



Figur 24. Sur episode er simulert og det er dosert for vannføring ved Søre Herefoss + lokalt tilsig. Selv om vi tok hensyn til lokalt tilsig ble det fortsatt for lave pH-verdier ved Boen. Ekstra dosering ved utløpet av Søre Herefoss ville ha hjulpet betydelig.



Figur 25. Sur episode er simulert og det er dosert for vannføring ved Søre Herefoss + prognosert lokalt tilsig. Forsuringsepisoden ved Boen kunne vært unngått om vi kunne ha startet doseringen 3 døgn før tilsigsepisoden begynte.

5. Konklusjoner og anbefalinger

Konklusjoner og anbefalinger er basert på modellsimuleringer, med de usikkerheter som er nevnt ved gjennomgangen av de ulike scenariene. Datagrunnlaget har imidlertid vært godt og vi mener simuleringene gir et tilstrekkelig grunnlag for å gi anbefalinger. Det er imidlertid enkelte forhold som ikke er vurdert i denne rapporten som også bør trekkes inn i en total vurdering. Enkelte av disse, f.eks. spørsmål knyttet til tekniske forhold ved etableringen av et nytt styringssystem og kalkoppløsning, kan undersøkes i forbindelse med iverksetting og testes ut i en prøveperiode.

Dersom det doseres kun etter informasjon om vannføring og pH i Tovdalselva ved Søre Herefoss, må det sannsynligvis jevnlig doseres til 0.5 pH-enhet over kravet, i det minste på stigende vannføringer. Dosering basert på slike sanntidsforhold vil ikke hindre problemer knyttet til sure episoder og vil medføre store ekstrakostnader.

Ved å dosere for vannføringen ved Søre Herefoss til 0.1 pH-enhet over kravet og i tillegg dosere for det lokale tilsiget, dersom dette er stigende, til 0.5 pH-enhet over kravet, vil vannkvaliteten ved Boen langt på vei være akseptabel. Doseringsmengden kan beregnes ved formelen i ramme under. Dersom doseringen startes i henhold til formelen to døgn tidligere ville effekten av den sure episoden være betraktelig redusert. Ved tre døgn korrekt prognose vil problemet trolig opphøre. For å prognosere avløpet må man ha tilgang på varsel om forventet nedbør og temperatur.

Formel for doseberegning:

$$\text{Dosert}_{\text{SøreHerefoss}} = 3.6/0.34 \cdot ((Q_{\text{SøreHerefoss}} \cdot (\text{Ca}(\text{pH}_{\text{krav}} + 0.1) - \text{Ca}(\text{pH}_{\text{SøreHerefoss}})) + q_{\text{Tveitdalen}} \cdot 260 \cdot (\text{Ca}(\text{pH}_{\text{krav}} + 0.5) - \text{Ca}(\text{pH}_{\text{lokal}})))$$

$\text{Dosert}_{\text{SøreHerefoss}}$ (kg/time) : dosert kalksteinmel ved Søre Herefoss

$\text{Ca}(\text{pH})$ (mg/l): formel som regner pH-verdi om til kalsium, f.eks. $\text{Ca}(\text{mg/l}) = 0.0023 \cdot e^{\text{pH} \cdot 1.084}$

$Q_{\text{SøreHerefoss}}$ (m^3/s) : vannføring ved Søre Herefoss

$q_{\text{Tveitdalen}}$ ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) : spesifikk vannføring i Tveitdalen (Birkenes) dersom denne er stigende
ellers = $0 \text{ m}^3/\text{s}$ – vannføringen representerer tilsiget mellom Søre Herefoss og Boen

$\text{pH}_{\text{SøreHerefoss}}$: pH-verdi oppstrøms dosereren ved Søre Herefoss

pH_{krav} : krav til pH ved Boen

pH_{lokal} : pH-verdi som representerer lokalt tilsig, f.eks. Tveitdalen

0.34 er andel kalsium i forhold til kalksteinmel (vekt Ca/ vekt kalksteinmel)

260 km^2 representerer arealet av det lokale nedbørfeltet mellom Søre Herefoss og Boen (210 km^2) + et usikkert bidrag fra Ogge på 50 km^2 .

Alle verdiene antas å være kontinuerlig tilgjengelig via automatiske loggere og overføringsanordninger

Et alternativ til prognosebasert dosering er å dosere kalk ved utløpet av Flakksvatn for det lokale tilsiget med en mengde tilsvarende 2. ledd i likningen, f.eks. etter ett døgn med avtakende pH ved Boen. Dette vil redusere virkningen av surt lokalt tilsig betraktelig. En slik ”nøddoserer” ved utløpet av Flakksvatn bør kunne nøytralisere vannet ned til Boen i et par døgn inntil økt kalkmengde fra Søre Herefoss når fram. Det kan være behov for å dosere 100 tonn kalksteinsmel for å nøytralisere en ekstremt sur episode. Den enkleste form for ”nøddoserer” kan være å legge forholdene til rette for at

en lastebil kan dumpe kalksteinsmel direkte i elva, men da sier det seg selv at doseberegningen blir unøyaktig.

Den enkleste metoden ved iverksetting av anbefalingen over er å beregne avløpstallene ved en enkel empirisk formel og sette dem inn i doseringsformelen.

En bedre og langt mer fleksibel metode er imidlertid å beregne vannføringene med en avløpsmodell, f.eks. HBV-modellen, som er spesielt utviklet for norske forhold, og deretter nytte modellen QUAL2E for å se hvordan pH-verdiene nedover i vassdraget kan forventes å bli i de kommende dagene ifølge prognosene. Dette kan utnyttes til å sette igang spesiell dosering. Kritiske situasjoner kan unngås, likeledes unødvendig overdosering. Modellene kan på forhånd klargjøres på en slik måte at driftsoperatøren kun legger inn karakteristiske observerte og prognoserte tall og dermed får ut resulterende pH-verdier nedover i vassdraget i de kommende dagene.

Bruk av modeller krever en ekstra innsats med hensyn til å tilrettelegge programmene og til fjernovervåking av data og fjernstyring av doseringsanlegget. Imidlertid vil fleksibiliteten øke betraktelig, sure episoder kan unngås ved å dosere ekstra og ikke minst kan kalkmengden tilpasses behovet.

Ved å prøve ut disse anbefalingene i 1-2 år kan en så ta stilling til om dette rent teknisk og operasjonelt er en mulig og akseptabel løsning.

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.
- Hindar, A. 1991. Kalkingsplan for Tovdalsvassdraget. O-91032, NIVA-Sørlandsavdelingen, Grimstad. 31 s.
- Hindar, A., Tjomsland, T. og Høgberget, R. 2000. Optimalisering av kalkingsstrategien i Tovdalsvassdraget. Rapport 4239-2000, NIVA. 70 s.
- Høgberget, R. 2000. Avviksrapport år 2000 fra driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Rapport 4276-2000, NIVA. 16 s.
- Kinnunen, K., Nyholm, B., Frisk, T., Kyla-Harukka and Kauranne, T. 1982. Water Quality Modelling of Finnish Water Bodies. Publications of the National Boards of Waters no 46, Helsinki.
- NVE 1987. Avrenningskart over Norge.
- 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.

Vedlegg A.

Vannkjemiske data fra sidebekker til Tovdalselva på strekningen Herefossfjorden-sjøen. Prøvene ble tatt 25.1.2001 og analysert etter standardmetoder på NIVA.

Lokalitet	pH	KOND	ALK-E	Tot-P/L	Tot-N/L	NO3-N	TOC	Cl	SO4	Al/R	Al/II	Ca	K	Mg	Na
	mS/m	µekv/L	µg/l P	µg/l N	µg/l N	mg/l C	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Lok. 7.30 Risdalsbekk	4,80	2,78	-2	16	640	355	5,4	3,0	2,7	193	119	0,77	0,31	0,26	2,16
Lok. 7.31 Spjotbekken	4,57	3,20	-18	12	665	290	6,7	3,3	2,5	189	134	0,52	0,26	0,24	2,30
Lok. 7.32 Mosfjellbekken	4,68	3,30	-14	11	720	370	5,1	3,6	3,1	189	125	0,71	0,34	0,32	2,52
Lok. 7.33 Ogge ut, sør	4,99	2,79	2	5	520	240	5,0	3,8	2,5	162	118	1,03	0,24	0,30	2,36
Lok. 7.34 Mørkelibekken	4,62	2,93	-14	5	575	290	4,9	3,1	2,3	168	117	0,42	0,21	0,25	2,16
Lok. 7.35 Barbekken	4,77	2,95	-5	8	585	305	4,8	3,4	2,8	187	125	0,67	0,34	0,32	2,31
Lok. 7.36 Dikeelva	4,87	2,92	-1	5	555	290	4,7	3,7	2,8	185	126	0,84	0,26	0,31	2,43
Lok. 7.37 Bersebekken	6,07	4,72	26	18	985	680	3,2	6,6	4,7	103	72	2,27	0,92	0,72	4,20
Lok. 7.38 Dalebekken	4,86	3,30	-2	9	860	510	4,0	3,8	3,4	227	134	0,81	0,43	0,36	2,65
Lok. 7.39 Bjorbekken	5,12	3,48	6	6	685	425	3,8	5,0	3,6	194	113	1,13	0,36	0,48	3,25
Lok. 7.40 Vesbekken	5,77	5,10	16	11	680	405	3,6	8,4	5,3	152	108	1,84	0,63	0,83	5,21

Ved befaring den 3. mai 2001 ble pH ved utløpet av Ogge, i Dikeelvas utløp til Flakksvatn, i Dalebekken og i Bjorbekken målt til hhv. 5.15, 5.03, 5.21 og 5.69.