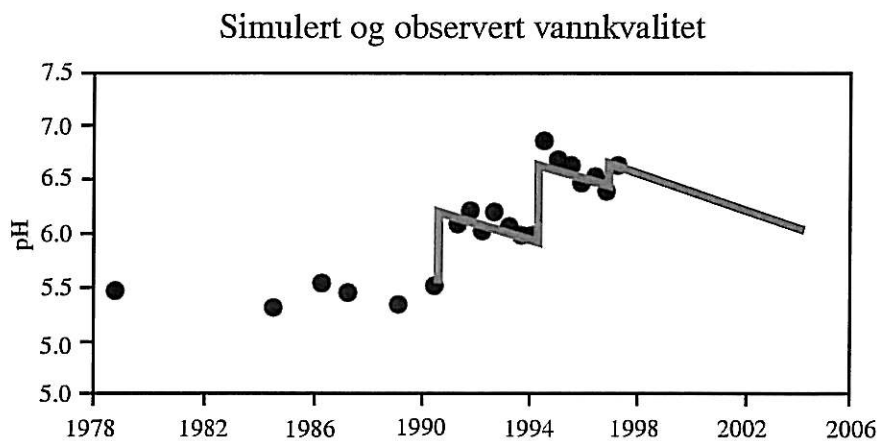


# Evaluering av kalkingsstrategien for store innsjøkalkings- prosjekter i Norge



**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 Evaluering av kalkingsstrategien for store innsjøkalkingsprosjekter i Norge	Løpenr. (for bestilling) 4034-99	Dato 13.4.1999
	Prosjektnr. Undernr. O-98033	Sider Pris 61
Forfatter(e) Atle Hindar, NIVA og Espen Enge	Fagområde Kalking	Distribusjon
	Geografisk område Sør-Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse 98040046
-------------------------------------------------------	-------------------------------

**Sammenheng**

Den statlig finansierte kalkingsvirksomheten omfatter bl.a. en rekke større innsjøkalkingsprosjekter. Noen av dem er med i et omfattende overvåkingsprogram, mens andre er del av den ordinære kalkingsvirksomheten og den oppfølgingen dette har i regi av Fylkesmannen. Det har vært et ønske å se nærmere på om de store prosjektene i den siste gruppen gjennomføres på en optimal måte. Simuleringsmodeller basert på enkle vannkjemiske analyser og nødvendige data for innsjø, nedbørfelt og hydrologi har vist seg å være nyttige for å optimalisere kalkingen. Denne rapporten er basert på simuleringer med dataprogrammet TPKALK, utført med grunnlag i et datamateriale som er innhentet fra "kalkings"-fylkene. For de innsjøene som inngår i undersøkelsen, og som det har vært mulig å gjøre simuleringer for, tyder resultatene på at kalkkostnadene kan reduseres med 32 %, tilsvarende 1.5 millioner kroner. Systematisk feildosering, effekt av avvik fra normale hydrologiske forhold og den generelle bedringen i forsuringssituasjonen bør fanges opp av en mer nyansert tilnærming og bedre tilpasset vannkjemisk oppfølging. Det er også gitt andre anbefalinger som kan optimalisere kalkingen av den enkelte lokalitet.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalking</li> <li>2. Innsjøer</li> <li>3. Strategi</li> <li>4. Evaluering</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Liming</li> <li>2. Lakes</li> <li>3. Strategies</li> <li>4. Evaluation</li> </ol>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

  
Atle Hindar  
Prosjektleder

  
Brit Lisa Skjellvåle  
Forskningsleder

  
Nils Roar Sæltun  
Forskningsjef

# **Evaluering av kalkingsstrategien for store innsjøkalkingsprosjekter i Norge**

## Forord

Direktoratet for naturforvaltning (DN) ba i brev av 22.01.98 NIVA om å komme med et prosjektforslag for evaluering av de største innsjøkalkingsprosjektene i fylkene. Spørsmålet om kalkingsstrategien og brukt kalkmengde/- type er optimal i forhold til kjemiske og biologiske mål var sentralt. Dette skulle bl.a. ses i lys av den positive endringen i forsureningssituasjonen de siste årene. NIVA leverte prosjektforslag den 12.02.98 og kontrakt ble oversendt fra DN 03.04.98.

På grunn av behovet for rask framdrift sendte DN brev til Fylkesmannen i "kalkings"-fylkene allerede den 21.01.98 om innsending av grunnlagsdata for innsjøene, vannkjemi (før og etter kalking), kalkmengde/-type. Frist for innsending av ble satt til 16.02.98. Fylkesmannen i ett fylke leverte ikke data, mens et annet fylke ikke leverte i tide i forhold til framdriften i prosjektet (mottatt i juli 1998).

Arbeidet ble lagt opp som et samarbeid med Espen Enge. Han har gjennomført simuleringer av kalking og vannkvalitetsutvikling basert på datamaterialet fra fylkene. I prosjektperioden har Enge vært tilknyttet Fylkesmannen i Rogaland, men hans deltakelse i prosjektet er håndtert via firmaet Espen Enge. NIVA har stått for kvalitetsikring av det tilsendte materialet og simuleringene. NIVA har også hatt hovedansvar for rapporteringen.

Parallelt med, og delvis som resultat av, det foreliggende arbeidet har Fylkesmannen i flere av fylkene rapportert om at brukte kalkmengder i innsjøene i 1998 er justert. Det avviket som framkommer mellom utførte kalkinger og resultatet av simuleringene, kan derfor allerede være minimalisert.

Vi takker Fylkesmannens miljøvernavdeling i fylkene for datamaterialet og bistand med tilleggsinformasjon underveis. Vår kontaktperson i DN har vært Roy Langåker.

Grimstad, 13. april 1999

*Atle Hindar*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
<b>2. Materiale og metoder</b>	<b>10</b>
2.1 Vurdering av innhentet datamateriale	10
2.2 Innsjøene	11
2.3 Kalkingsmål og kalkingsstrategi	13
2.4 Simuleringer	13
<b>3. Resultater</b>	<b>15</b>
3.1 Hedmark	15
3.1.1 Dølisjøen og Rokosjøen	15
3.1.2 Digern	15
3.1.3 Skasen	16
3.1.4 Hvebergsjøen	19
3.2 Oppland	19
3.2.1 Ognilla (m.fl.)	19
3.2.2 St. Sandungen (m.fl.)	21
3.3 Østfold	22
3.3.1 Kløsa	22
3.3.2 Frønessjøen	23
3.3.3 Ertevann	24
3.3.4 Store Erte	24
3.3.5 Ørsjøen	25
3.3.6 N. Boksjø	26
3.4 Vestfold	27
3.4.1 Kopa	27
3.4.2 Langevann/Svartevann/Breivann	27
3.4.3 Damvann/Jeskovann	27
3.4.4 Langevann	27
3.4.5 St. Surte	27
3.5 Buskerud	28
3.5.1 Sørkje	28
3.5.2 Breivatn	29
3.5.3 Fagervatn	29
3.5.4 Langevatn	30
3.5.5 Store Stølevatn	31
3.6 Telemark	32
3.6.1 Øyusvatn	32
3.6.2 Sønstevatn	33
3.6.3 Birtevatn	33
3.6.4 Holmevatn	35

---

3.6.5 Bjårvatn	35
3.7 Aust-Agder	39
3.7.1 Svart	39
3.7.2 Tønnesølvatn	40
3.7.3 Haukomvatn	41
3.7.4 Mjåvatn	41
3.7.5 Førevatn	43
3.8 Vest-Agder	43
3.8.1 Hellevatn	43
3.8.2 Storevatn	44
3.8.3 Langevatn	44
3.8.4 Selura	44
3.8.5 Sandvatn	44
3.9 Rogaland	46
3.9.1 Sandvatn	46
3.9.2 Orrestadvatn	47
3.9.3 Guddalsvatn	48
3.9.4 Heigravatn	48
3.9.5 Eiavatn	49
3.10 Sogn og Fjordane	50
3.10.1 Heldalsvatn	50
3.10.2 Skilbreida	52
3.10.3 Svardalsvatn	53
3.10.4 Guddal (Sandavatn)	54
3.10.5 Storaker/Lihesten	54
3.11 Fylkesoversikt for brukte og anbefalte kalkmengder	56
<b>4. Diskusjon</b>	<b>57</b>
4.1 Målet med kalkingen og kalkingsstrategi	57
4.2 Datakvalitet og simulering	58
4.3 Behov og muligheter for endring av kalkingsstrategi	59
<b>5. Anbefalinger</b>	<b>60</b>
<b>6. Referanser</b>	<b>61</b>

---

## Sammendrag

Den statlig finansierte kalkingsvirksomheten omfatter bl.a. en rekke større innsjøkalkingsprosjekter. Noen av dem er med i et omfattende program for overvåking og undersøkelser (FoU-virksomheten), mens andre i all hovedsak er del av den ordinære kalkingsvirksomheten og den oppfølgingen dette har i regi av Fylkesmannen. Det har vært et ønske å se nærmere på om de store prosjektene som ikke omfattes av FoU-virksomheten gjennomføres på en optimal måte.

Simuleringsmodeller basert på enkle vannkjemiske analyser og nødvendige data for innsjø, nedbørfelt og hydrologi har vist seg å være nyttige for å optimalisere kalkingen. Det er fordi de vil vise en forventet vannkvalitetsutvikling basert på innsjødata, ulike kalkmengder og kalkingsintervaller. Optimalisering kan foretas med modellkjøringer slik at best mulig effekt oppnås til lavest mulig kostnad. Denne rapporten er basert på simuleringer ved hjelp av TPKALK (Håøya et al. 1996), og er utført med grunnlag i et datamateriale som er innhentet fra "kalkings"-fylkene.

Datamaterialet og simuleringene gir grunnlag for å vurdere om kalkingstiltakene utføres optimalt. I de tilfeller det har vært behov for det, og mulig å vurdere basert på tilgjengelige data, er det foreslått endringer i kalkmengder og kalkingsintervall for enkeltinnsjøer.

I de innsjøene som inngår i denne undersøkelsen, og som det har vært mulig å gjøre beregninger for, kan de faktiske kostnadene til kalk trolig reduseres med 32 %, tilsvarende 1.5 millioner kroner. De store innsparingsmulighetene som, til tross for usikkerhet i flere av beregningene, er dokumentert viser at en blant annet bør legge mer ressurser i den vannkjemiske oppfølgingen av kalkingstiltakene.

Det er gitt følgende anbefalinger:

- Det er behov for en mer nyansert og målrettet håndtering av de enkelte innsjølokaliteter. Vannkjemiske mål, kalkingsstrategi og kontrollundersøkelser må stå i forhold til de fiskebestander og øvrige forsurningsutsatte organismegrupper en ønsker å beskytte samt viktige innsjøkarakteristika som vannkjemi, størrelse og oppholdstid.
- Data for innsjø, arealer, hydrologi, vannkjemi og kalk bør foreligge i et slikt omfang og på en slik form at de lett kan framskaffes for den enkelte lokalitet og slik at de lett kan brukes med tanke på kontroll og justeringer av kalkingen.
- Vannprøver må samles inn i forhold til behovet for kontroll av utført kalking, kontroll av vannkvalitetsutviklingen og muligheten for å fastslå omkalkingstidspunkt og justeringer i kalkmengde. Det kan bety at prøvetakingshyppigheten må endres for å bli bedre tilpasset avrenningsforholdene; hyppigere prøver ved kort oppholdstid.
- Simulering av kalkoppløsning og gjenforsurningsforløpet bør ligge til grunn for beregninger og vurdering av kalkingsstrategi (oppstrøms lokaliteter, mengder, hyppighet) der kostnaden og/eller kompleksiteten er betydelig.
- Alle kalkingstiltak bør være gjenstand for regelmessig (minst hvert tredje år) justering i forhold til feildosering, avvik pga uforutsette hydrologiske forhold og endring i forsurningssituasjonen.
- Det bør utvikles metodikk for å endre kalkingstiltakene etter forhold som er nevnt over, for eksempel ved at en dynamisk forsurningsmodell, slik som MAGIC<sup>1</sup>, koples mot TPKALK. På den måten kan refsurningsforløp etter kalking og endring i forsurningssituasjonen beregnes samtidig og dermed gjøre langtidsplanleggingen mer pålitelig.
- En bør komme fram til et kriteriesett for å kunne avgjøre når kalkingen kan avsluttes.

---

<sup>1</sup> MAGIC står for **M**odel of **A**cidification of **G**roundwater **I**n **C**atchments

## Summary

Title: Evaluation of liming strategy for large lake liming projects in Norway

Year: 1999

Author: Atle Hindar, NIVA and Espen Enge

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3636-8

The Norwegian liming programme is comprised of many large lake liming projects. Some of them are part of the national monitoring programme, whereas others are part of the county-based monitoring. A central goal of this project has been to evaluate the liming strategy for the last group of lakes by use of a dataprogram for simulation of liming operations.

Use of the simulation model TPKALK (Håøya et al. 1996) are based on relatively simple input data for water chemistry, lake characteristics, catchment, hydrology, and liming material. It has proven valuable for optimization of liming operations. This is partly because of its ability to show water quality development based on variations in amount of applied limestone and liming frequency. In this way optimized liming operation, in terms of water quality and costs, is possible. This report is based on data from the county administrations and nearly 10.000 simulations.

Changes in present liming strategy for single lakes are recommended based on the available data. Suggestions of changes are mainly related to amount of limestone material, liming frequency and the advantage of upstream situated limed lakes.

The liming costs for the group of lakes with adequate data for simulations may be reduced by 32 %, corresponding to 1.5 mill. NOK (0.2 mill. USD), if the liming practice is optimized. This should be a sufficient argument for a more qualified liming monitoring of these lakes and surely also of other lakes within the national liming programme. Systematic errors in dose calculations, effects of deviating runoff and effects of the general improvements of water quality due to reduced acidification should be detected by the monitoring programme.

The large potential savings that have been documented points at several ways of improving present practice. A more nuanced approach and increased efforts in terms of data sampling and use of water chemistry data, may optimize the liming operations. Reduced overall costs of the liming operation by optimizing lime doses will more than compensate for increased costs and labour related to increased emphasis on monitoring and a more close examination of liming results.



# 1. Innledning

Den statlig finansierte kalkingsvirksomheten omfatter bl.a. en rekke større innsjøkalkingsprosjekter. Noen av dem er med i et omfattende program for overvåking og undersøkelser (FoU-virksomheten), mens andre i all hovedsak er del av den ordinære kalkingsvirksomheten og den oppfølgingen dette har i regi av Fylkesmannen. Det har vært et ønske å se nærmere på om de store prosjektene som ikke omfattes av FoU-virksomheten gjennomføres på en optimal måte.

Utgangspunktet for å vurdere om en lokalitet kalkes optimalt er forholdet mellom de kjemiske og biologiske mål for tiltaket, de beregninger som ligger til grunn for kalkingen og effekten av kalkingen på vannkjemi og biologi. Fordi man er relativt godt kjent med forholdet mellom vannkjemi og biologi, vil vannkjemiske undersøkelser langt på vei kunne gi svar på om kalkingen er optimal. Det forutsetter imidlertid at vannprøver er representative og kan gi grunnlag for modellering av utviklingen eller at tas på de steder og de tidspunkt som er mest kritiske for fiskebestanden eller den organismegruppen en er interessert i å beskytte.

Det er flere forhold som er avgjørende for om en innsjø kalkes optimalt eller ikke. Vannkvaliteten før kalking er selvsagt viktig fordi kalkingen har til hensikt å endre vannkvaliteten fra et for dårlig til et akseptabelt nivå. Hvis forurensingssituasjonen bedres vil denne bakgrunns-vannkvaliteten også kunne endres slik at kalkmengdene kan justeres. Det er gjort regionale beregninger for Norge som viser at kalkmengden kan endres radikalt i lys av de forurensningsbegrensende tiltak som er gjort og er planlagt gjennomført i Europa (Henriksen et al. 1996; Hindar et al. 1998 a). I noen områder, f.eks. på Østlandet, må en også være forberedt på at vannkvaliteten stedvis kan bli så god at kalking etterhvert kan opphøre.

Det er den totale vannmengden som skal avsyres som dimensjonerer et kalkingstiltak. Det er derfor viktig å ha gode opplysninger om hydrologi. Men riktig kalkingsfrekvens avgjør om vannkvaliteten blir stabil, og da er forholdet mellom vannmengden fra hele nedbørfeltet og vannmengden i innsjøen avgjørende. Gode data for innsjøvolumet er en forutsetning for å bedømme innsjøens oppholdstid og dermed kalkingshyppigheten.

Innsjøkalking blir gjennomført på bakgrunn av beregnet kalkbehov. En enkel beregning basert på tommelfingerregler eller forenklede forutsetninger kan gi for god eller for dårlig vannkvalitet fram til neste kalking. Det vanlige er imidlertid at det legges inn betydelige sikkerhetsmarginer ved slike enkle beregninger, og etterhvert kan derfor vannkvaliteten bli ”for god”. I beregningene i Kalkingshåndboka (DN 1990), som enkelte fylker benytter seg av, er det lagt inn betydelige sikkerhetsmarginer. Det er derfor viktig å skaffe informasjon om vannkvalitetsutviklingen etter at tiltaket er gjennomført. På den måten kan tiltaket justeres. For større innsjøer forventes imidlertid en mer raffinert beregningsmetode fordi feil i beregningene kan gi store utslag på kostnadene.

Beregningene i simuleringsmodellen TPKALK er basert på enkle vannkjemiske analyser og nødvendige data for innsjø, nedbørfelt, hydrologi og kalk. Modellen har vist seg å være nyttige for å optimalisere kalkingen. Det er fordi den kan vise en forventet oppløsning av ulike kalktyper og forventet vannkvalitetsutvikling basert på kalkmengder, kalkingsintervall, vannkjemi og hydrologi. Optimalisering av kalkmengder og -frekvens kan foretas med modellkjøringer slik at best mulig effekt kan bli oppnådd til lavest mulig kostnad.

Beregningene skal i utgangspunktet være tilpasset et middelår for vannkvalitet og avrenning. Beregningen kan imidlertid være justert for å ta hensyn til at avrenningen kan være større eller vannkvaliteten dårligere enn det gjennomsnittlige. Oppjusteringen av kalkmengden kan da betraktes

som en sikkerhetsmargin. Etter noen år med både lite avrenning og bedret vannkvalitet kan resultatet av nye innsjøkalkinger vise seg å gi et resultat som ligger langt over det vannkvalitetsmålet som er satt. Dette kan skje selv om en bruker de mest raffinerte metoder for beregning av kalkbehov og reforsuring fram til omkalking. Hvis vannkvalitetsutviklingen ikke følges godt nok og kalkmengden ikke justeres etter det som faktisk skjer ute i naturen, vil kalkingen ikke lenger være optimal.

For å fastslå om kalkingen er optimal bør målet med tiltaket være godt definert, og det må avklares hvilken variasjon i vannkvalitet som kan aksepteres over tid og også i selve innsjøen mellom to utførte kalkinger. Hvis fisk og andre forsuringsfølsomme organismer opplever en vannkvalitet under deres tåleevne i en viss periode kan det være avgjørende. Hvor grensene går kan være usikkert og bør ideelt sett baseres på en vurdering av den totale vannkjemien (konsentrasjon av aluminium, organisk stoff og kalsium) og de enkeltorganismer som lever i lokaliteten. Innsjøer blir termisk sjiktet mens isen ligger. Det vil som regel også gi en kjemisk sjiktning som kan reforsure hele strandsonen om vinteren fram til isgang. Negative biologiske konsekvenser av dette er blant annet dokumentert for innsjøgytende aure (Barlaup et al. 1998). Slike forhold blir i liten grad tillagt vekt ved valg av kalkingsstrategi.

Av fylkene er det først og fremst Rogaland som har benyttet simuleringsmodeller i sin kalkingsplanlegging og i forbindelse med beregning av kalkbehov for enkeltinnsjøer. Et stort innsparingspotensiale er registrert, og det har vært et mål for DN at også andre fylker skal optimalisere kalkingen av innsjøer tilsvarende.

Denne rapporten er basert på et datamateriale som er innhentet fra de ulike "kalkings"-fylkene og omlag 10.000 simuleringer utført med programmet TPKALK. I den grad det har vært behov for det, og mulig å vurdere basert på de innsamlede data, er det foreslått endringer i dagens kalkingspraksis for enkeltinnsjøer.

## 2. Materiale og metoder

### 2.1 Vurdering av innhentet datamateriale

Alt datamateriale er innhentet fra Fylkesmannens miljøvernavdeling i flere fylker, se forordet. Det omfatter innsjødata og vannkjemiske data for både hovedinnsjøen, dvs. den innsjøen som inngår i prosjektet, og for oppstrøms beliggende innsjøer. Prosjektet omfatter derfor over 200 innsjøer, hvorav 48 er hovedlokaliteter.

Vannkjemiske analyser er utført av ulike laboratorier, både Næringsmiddeltilsynet i ulike kommuner (Vestfold) og de mer tradisjonelle fylkeslaboratorier eller private laboratorier. Presisjonen i analysene er trolig variabel, men har ikke vært mulig å kontrollere innenfor prosjektet. Konsentrasjonen av kalsium er unntaksvis oppgitt i hele mg/L, en oppløsning som langt fra er tilfredsstillende som grunnlag for optimaliseringsberegninger.

Kvalitetsikring av materialet er foretatt på en slik måte at klare feil, utilstrekkelige datamengder eller at data ikke finnes er påpekt og om mulig korrigert. Mindre avvik for vannkjemiske data og målinger/beregninger av data for innsjø, areal og hydrologi kan forekomme uten at det er oppdaget. I forbindelse med kvalitetsikringen er det avdekket ulike forhold som begrenser kvaliteten på enkelte simuleringer. Dette er håndtert summarisk her og, hvis nødvendig, nevnt spesielt ved gjennomgang av de ulike innsjøene i resultatdelen. **Tabell 1** viser en samlet vurdering av datamaterialet.

**Tabell 1.** Oversikt over datamaterialet for innsjø, kjemi og kalking som er innsendt fra Fylkesmannens miljøvernavdeling. Mengde og kvalitet er vurdert i en skal fra 0 til 3, hvor 0=mangler/ubrukelig/feil; 1= lite dokumentert; 2= akseptabelt; 3= godt. I sammentrekningen (de to nederste linjene i tabellen) er hhv. 0+1 og 2+3 slått sammen og gitt samlekarakteristikkene "for dårlig" og akseptabelt. En vurdering av simuleringskvaliteten ("sim." i tabellen) er også gitt.

MENNGDE/ KVALITET	Hovedlokalitet/mållokalitet					Oppstrømslokalitet(er), kalk./ukalk.					sim.
	innsjø- data	dyp	kjemi før	kjemi etter	kalking	innsjø- data	dyp	kjemi før	kjemi etter	kalking	
0	2	4	10	0	2	3	6	9	3	4	13
1	0	8	16	17	1	1	8	5	3	0	10
2	1	11	11	17	24	5	8	7	10	11	17
3	45	25	11	14	21	15	2	3	4	5	8
2 og 3	96%	75%	46%	65%	94%	83%	42%	42%	70%	80%	52%
0 og 1	4%	25%	54%	35%	6%	17%	58%	58%	30%	20%	48%

Det framkommer av tabellen at datagrunnlaget har vært svært ujevnt og til dels mangelfullt. Feil og mangler ved datamaterialet er av følgende art:

- manglende definisjon av mål-lokalitet
- manglende definisjon av mål-pH
- manglende vannkjemiske data, særlig fra før kalking
- manglende/usikre innsjøvolum
- manglende opplysninger om brukte kalktyper
- manglende kildehenvisninger og dokumentasjon av foreliggende data
- feil i data pga lagring/arkivering/behandling
- lite tilgjengelige dataformat

For enkelte innsjøer har så viktige opplysninger som kjemidata før kalking vært vanskelige å få fram. Det vil si at den vannkjemiske dokumentasjonen i disse lokalitetene på at kalking var nødvendig ikke er god nok eller kan framskaffes. Dokumentasjon på biologiske skader kan selvsagt finnes, og det kan tenkes at disse har erstattet vannkjemiske vurderinger av forsureingssituasjonen i lokaliteten. Men for å være mest mulig sikker på at vannet er skadelig og for å kunne beregne kalkbehov er det likevel nødvendig å kjenne til den vannkjemiske førsituasjonen.

Prøvetakingshyppigheten er ofte ikke tilpasset innsjøenes oppholdstid, noe som gjør at kalkingsforløpet vanskelig kan dokumenteres tilstrekkelig. Våre vurderinger er gjort med bakgrunn i kravene til gode data for simuleringer, og kan av den grunn gi en noe streng bedømming. På den annen side benytter modellen data som i all hovedsak må forventes å foreligge for de fleste kalkede innsjøer. Det er også eksempler på at data sannsynligvis finnes (Selura i Vest-Agder), men at de ikke er gjort tilgjengelige for Fylkesmannen.

## 2.2 Innsjøene

I **Tabell 2** er ulike karakteristiske data for innsjøene oppgitt. Av plasshensyn er kartframstillinger over nedbørfelt og dybdekart ikke tatt med i denne rapporten. Det går fram av tabellen i hvilken grad slikt materiale foreligger. De karakteristiske data er i liten grad dokumentert, og i noen tilfeller kan det virke som en så viktig faktor som middeldyp er fastsatt etter skjønn og ikke etter målinger og beregninger. Avledete data, som f.eks. teoretisk oppholdstid, kan da være feil.

**Tabell 2.** Oversikt over innsjøene ordnet fylkesvis fra øst mot vest. Data for innsjøareal, middeldyp, nedbørfeltareal, oppholdstid og hoh er oppgitt. Det er krysset av i de høyre kolonnene hvis nedbørfeltkart og/eller dybdekart foreligger.

Innsjø	Nedbørfeltareal km <sup>2</sup>	Middeldyp m	Innsjøareal km <sup>2</sup>	Opph.-tid år	Hoh m	Kart over nedbørfelt	Dybdekart
<b>Hedmark</b>							
Skasen	73.3	12.8	13.4	5.3		X	X
Hvebergsj.	12.5	10.4	0.325	0.7		X	X
Dølisjøen	27.5	6.5	1.48	0.9		X	X
Rokosjøen	96.0	6.3	4.02	0.7		X	
Digern	48.0	17.5	2.54	2.1		X	X
<b>Oppland</b>							
Ognilla	22.5	6.2	0.47	0.22			
Sandungen	11.4	8.3	0.49	0.64			
<b>Østfold</b>							
Kløsa	5.55	6.6	0.83	1.95	172	X	
Frønnessjøen	7.0	13	0.55	2.02		X	
St. Erte	55	10	4.37	1.58	109	X	X
Ertevann	3.5	14.3	0.8	2.27*	245		
Ørsjøen	52.5	12	6.35	2.88	142	X	X
N.Boksjø	15.7	8.3	2.04	2.14	173	X	X

Tabell 2, forts.

Innsjø	Nedbør- feltareal km <sup>2</sup>	Middel- dyp m	Innsjø- areal km <sup>2</sup>	Opph.-tid år	Hoh m	Kart over nedbørfelt	Dybde- kart
<b>Vestfold</b>							
Kopa	10.4	5	0.684	0.4	431	X	X
Breivatn	4.2	5	0.42	0.63		X	X
Damvann	2.9	13	0.3	1.5**		X	X
Langevann	0.7	8.5	0.05	0.8		X	X
St.Surte	2.7	12	0.078	0.5		X	X
<b>Buskerud</b>							
St. Stølevat.	8.9	10	1.2	1.71			
Langevatn	6.6	10/6	0.87				
Breivatn	38.6	5	1.04	0.25			
Fagervatn	4.1	8	0.7	1.73			
Sørkje	17.4	14	3.27	3.33			
<b>Telemark</b>							
Øyusvatn	18.3	9.5	3.18	1.49	748		
Sønstevatn	18.0	7	2.6	2.14	317		
Birtevatn	42	10.4	4.0	0.9	611		
Holmevatn	6.95	7	2.38	2.53	674		
Bjårvatn	455	36.3	3.11	0.29	78		
<b>Aust-Agder</b>							
Svart	13.25	29.3	2.19	5.7	90	X	X
Tønnesølv.	11.7	10	0.793	0.75	92	X	
Haukomv.	18.5	16.9	1.48	1.13	265	X	
Mjåvatn***	12.9/11.8	19.1	1.64/1.29	(2.21)	764	X	
Førevatn	10.7	6.0	1.404	0.74	414	X	
<b>Vest-Agder</b>							
Selura	45	15	5.7	1.26	32	X	X
Storevatn	15.0	13.8	1.24	0.56	960		X
Langevatn	8.3	15	0.43	0.47		X	X
Sandv.***	11	5.3/4.7	0.98	0.3	420	X	X
Hellevatn	9	5	1.1	0.43	271	X	
<b>Rogaland</b>							
Guddalsv.	9.3	20.7	0.96	1.03	176	X	X
Orrestadv.	29.9	47.4	0.80	0.55	174	X	X
Eiavatn	87.1	16.2	4.47	0.49	139	X	X
Heigravatn	16.4	10	1.75	0.66	145	X	(X)****
Sandvatn	20.5	19.8	5.4	2.2	612	X	X
<b>Sogn og F.</b>							
Heldalsvatn	1.4	12	0.251	0.91	395	X	
Skilbreida	4.5	10	0.687	0.61	521	X	
Svardalsv.	8.9	20	0.76	0.64	29	X	X
Sandavatn	10.3	15	0.55	0.34		X	
Storevatn	8.1	8.0	0.1	0.05	240	X	X

\*) 6.5 år basert på oppgitte data.

\*\*) 2.13 år basert på oppgitte data.

\*\*\*) oppgitte tall til venstre for skillelinjene synes ikke å stemme

\*\*\*\*\*) loddet opp, men ikke tegnet

## 2.3 Kalkingsmål og kalkingsstrategi

Det generelle målet med kalkingsvirksomheten er å bevare eksisterende fiskebestander og å gjøre forholdene akseptable i fisketomme vann slik at reetablering kan skje. Bevaring av biologisk mangfold inngår også i de generelle målene, slik det er formulert i handlingsplanen til Direktoratet for naturforvaltning. Det kom fram av det tilsendte materialet at det i svært liten grad foreligger spesifikke kalkingsmål for de undersøkte innsjøene. I prosjektets slutfase er dette bildet blitt noe mer nyansert og forsøkt innarbeidet.

I følge Kalkingshåndboka (DN 1990) bør omkalking ikke skje ved lavere pH enn 5.6-5.8. Vi antar derfor at dette er retningsgivende for de kalkingstiltak som gjennomføres innenfor tilskuddsordningen. Økt oppmerksomhet om biologisk mangfold og økt kunnskap om vannkvalitetskrav kan imidlertid endre dette generelle målet, eventuelt nyansere det for hver enkelt lokalitet. Spesielt mangfoldkriteriet innebærer at vannkvaliteten må være god i hele innsjøen med tilløpsbekker hele året, noe som det i mange tilfeller ikke blir tatt konsekvensen av.

På basis av ovenstående og med de sikkerhetsmarginer en bør forvente er lagt inn for den praktiske gjennomføringen, antas at det vannkjemiske målet for innsjøkalking er å øke pH til over 5.8-6.0 i hele innsjøen hele året. Dette innebærer at den giftige fraksjonen av aluminium blir redusert til akseptable nivåer fordi aluminium ved pH 6.0 stort sett foreligger på ikke-giftige former. Imidlertid vil stadig tilførsel av surt, aluminiumsholdig vann kunne endre dette i spesielle områder av innsjøen og i spesielle perioder fordi overgangsformer av aluminium ved økende pH er giftig for fisk (Rosseland og Hindar 1991).

Kalkingsstrategien er i all hovedsak innsjøkalking alene i de lokalitetene som fylkene selv har valgt ut. Dette er naturlig siden det er innsjøkalking som skal evalueres. I noen tilfeller er tilløpsbekker kalket med skjellsand eller kalksteinsgrus. I mange tilfeller er oppstrøms beliggende innsjøer også kalket.

## 2.4 Simuleringer

Det er gjort beregninger (simuleringer) av kalkbehov ved ulike kalkingsstrategier vha beregningsprogrammet TPKALK (ver. 1.12). Det vises til manualen for 1.11-versjonen (Håøya et al. 1996) for en beskrivelse av de ulike beregninger som inngår og hvordan dette blir organisert i programmet. For de fleste systemer er gamle kalkinger også tatt med. Grunnen er at disse i mange tilfeller er nødvendige i videre beregninger, og at de kan brukes til å kalibrere og kontrollere simuleringene.

pH ved omkalking er satt til omlag 6.0 for simuleringene. Selv om pH 6.0 gjøres gjeldende som omkalkings-pH, vil mange innsjøer trolig reforsures ytterligere før omkalking, spesielt i strandsonen. Med andre forsuringsfølsomme organismer som målgruppe og med krav om beskyttelse av strandsonen hele året, bør kalkingstiltakene som velges være tilpasset disse kravene. I denne rapporten er det imidlertid tatt utgangspunkt i innsjøkalking alene for å optimalisere denne delen av kalkingsstrategien.

I noen lokaliteter avviker omkalkings-pH fra det generelle. De høyeste verdiene (pH 6.2) er satt i lokaliteter i lakseførende vassdrag eller der det er andre grunner til å ha høyere pH-verdi. Laveste målverdier (pH 5.8) er satt i enkelte lokaliteter hvor det vesentlig kalkes for aure. Dette har skjedd i samråd med Fylkesmannen.

Oppstrømsliggende innsjøer inngår i simuleringene, og en kan gå ut fra at bruk av simuleringsprogram er særlig godt egnet i kalkingsplanleggingen for slike systemer. Data for oppstrøms-innsjøene er imidlertid ofte mangelfulle og gjør beregningene unødig usikre. Generelt er oppstrøms-innsjøene i simuleringene kalket til pH 6.2. I noen tilfeller, der oppstrømsliggende innsjø er stor og har svært lang oppholdstid, er omkalkings-pH satt til over 6.2 for å gi tilstrekkelig effekt nedstrøms.

Sammenhengen mellom pH og kalsium (Ca) brukes i modellen for å beregne pH-effekten av kalktilsetning og reforsuring. Kalsium utgjør som kjent en vesentlig del av kalken. Der hvor gode pH- og Ca-data fra både før og etter kalking var tilgjengelige er det laget slike sammenhenger. Der datagrunnlaget var for dårlig er sammenhengen mellom pH og Ca basert på et datasett for en rekke innsjøer, der også effekten av humus (fargetallet) inngår.

Et større utvalg kalktyper er benyttet i de forskjellige fylkene fra kalkingsstart og fram til i dag. Ofte er samme type kalk benyttet innenfor samme fylke, mens kalktypene varierer mellom fylkene pga fylkesvise innkjøp og lokale leverandører. For lokaliteter som er kalket over flere år kan kalktypen ha endret seg. Noen av kalktypene er lagt inn i TPKALK, slik at simuleringene kan utføres direkte. Der dette ikke er tilfellet, er tilnærminger gjort. I simuleringer framover i tid (fra og med 1998) er samme kalktype som ved tidligere kalking forsøkt lagt inn. På den måten er det lettere å sammenlikne og dermed foreslå justeringer i forhold til dagens praksis.

De fleste prosjektene er rene innsjøkalkinger, men i noen inngår skjellsandkalking og bruk av kalksteinsgrus. Skjellsand- eller kalksteinsgrusmengdene er ofte små og er lagt til det som er brukt i innsjøen.

**Tabell 1** i begynnelsen på dette kapittelet viser at kvaliteten på simuleringene, som følge av den variable kvaliteten på de innsamlede data, fordeler seg omlag likt på "akseptabel" og "for dårlig". Av 48 hovedinnsjøer var det ikke mulig med simuleringer i 13 av dem, mens 10 ble vurdert som usikre. I det siste tilfellet vil det si at det er lagt inn forutsetninger ved beregningene som ikke kan dokumenteres. Bare i åtte lokaliteter er simuleringene vurdert som gode.

## 3. Resultater

Her presenteres resultatet av simuleringer for enkeltinnsjøer og forslag til eventuelle endringer i kalkingstiltaket basert på simuleringene. Innsjøene er ordnet fylkesvis. Totalt er det gjennomført omlag 10.000 simuleringer, hvorav 1.100 er lagret elektronisk. I denne rapporten vises de viktigste simuleringene, mens fullstendige simuleringer i figur- og tabellform oversendes Fylkesmannen i de respektive fylkene sammen med rapporten.

For Skasen i Hedmark (som første relevante lokalitet i oversikten) er det tatt med et eksempel på de empiriske sammenhengene mellom pH og Ca som er brukt som grunnlag for simuleringene, se **Figur 1**. Det er også vist et eksempel på datautskrift fra TPKALK, se **Tabell 3**. For de andre lokalitetene finnes slike figurer og utskrifter kun i det materialet som er oversendt fylkene. For enkelte innsjøer er det for oversiktens skyld tatt med tabell som viser fordeling av kalk i oppstrøms-innsjøer. For enkelte fylker innledes det med opplysninger om karakteristiske trekk ved kalkingen i fylket.

### 3.1 Hedmark

#### 3.1.1 Dølisjøen og Rokosjøen

Det er ikke gjort beregninger for Dølisjøen og Rokosjøen, da disse hadde god vannkvalitet i utgangspunktet (pH > 6). I slike innsjøer vil bakgrunns-vannkvaliteten kunne være bedre enn kalkingsmålet, og simuleringene blir derfor ikke mulige å gjennomføre.

Det bør avklares om disse innsjøene fortsatt skal inngå i kalkingsprogrammet, spesielt sett i lys av den generelle vannkvalitetsforbedringen en har sett de siste årene som følge av redusert syrenedfall.

#### 3.1.2 Digern

For perioden etter kalking var de tilsendte pH-verdiene i denne innsjøen negativt korrelert til Ca (ikke signifikant). Dette umuliggjør beregning av empirisk pH-Ca-kurve. Opplysningene om kalkingen er imidlertid i samsvar med målt vannkvalitet etter kalking i 1994, slik den framkommer i Hindar et al. (1998 b):

Før kalking:	pH	≈	5.9
	Ca	≈	1.6 mg/l
Tilført kalk (1994):	150 t med 89% CaCO <sub>3</sub>		

Med et volum på 45 Mm<sup>3</sup> og 76% momentanoppløsning (Hindar et al. 1998 b), tilsvarer dette en Ca-økning på 0.9 mg/L og skulle gi målte konsentrasjoner på 2.5 mg/l i perioden etter kalkingen. De målte verdier oppgitt i Hindar et al. (1998 b) er i dette området.

Det måles årlige vannkvalitetsvariasjoner i utløpet som trolig ikke er representative for innsjøens hovedvannmasse.

Vannkvalitetsutviklingen i perioden 1994-1996 viser at det brukes for mye kalk etter kriterier benyttet i denne rapporten. I denne lokaliteten er det imidlertid kreps, noe som skulle tilsi høyere mål-pH fordi vannkvalitetsbedring for kreps er hovedmål med tiltaket (Taugbøl et al. 1996). I 1996 var pH-verdiene i området 6.5-7.0 og Ca var 3-4 mg/L. Dette er trolig i overkant av hva som er nødvendig for kreps.



**Vurdering:** Pga. høy pH før kalking er det ikke mulig å utføre simuleringer, men den vannkjemiske oppfølgingen det er referert til tyder på at innsjøen bør kalkes med omlag 100 t/år (89% CaCO<sub>3</sub>) for å stabilisere pH og Ca-konsentrasjon på et noe lavere nivå, hvilket er lavere kalkmengde enn tidligere (120-130 tonn/år).

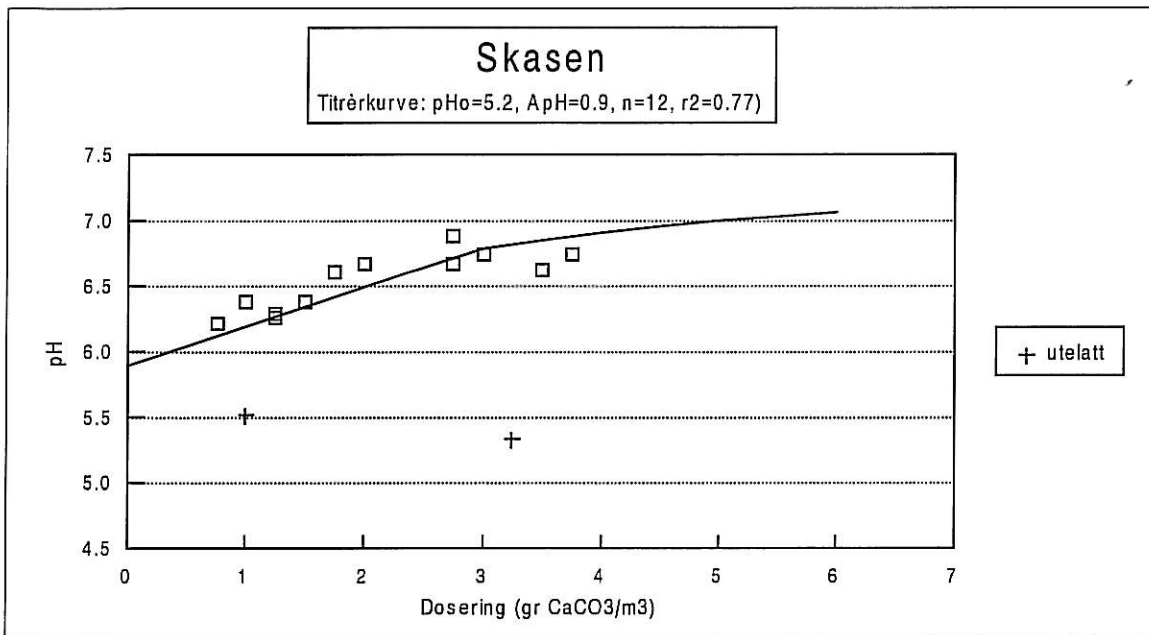
### 3.1.3 Skasen

Den empiriske sammenhengen mellom pH og Ca (CaCO<sub>3</sub> i figuren) er vist i **Figur 1**.

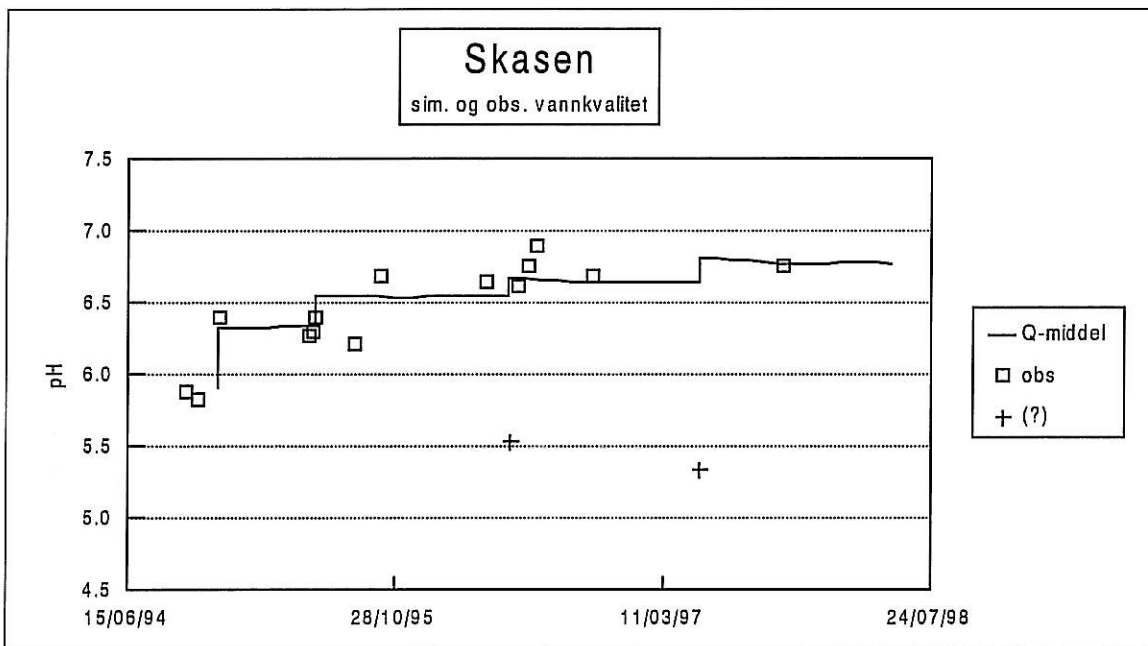
Skasen har meget lang oppholdstid (5.3 år), noe som bl.a. gir svært lav gjenforsuringshastighet. Tilførselene av kalsium etter kalkingene, både som resultat av momentan- og langtidsoopløsning, har vært større enn mengden kalk som har forlatt innsjøen. Det har medført jevnt økende pH, alkalitet og Ca-konsentrasjon (**Figur 2**).

Dersom kalkingen fortsetter med omtrent samme kalkmengder som i dag, vil pH-verdiene fortsette å øke med et par hundredeler de neste 10 år. Antagelig vil det oppnås likevekt ved pH ca. 7.1. Dersom kalkingen gjør et opphold, vil det i forhold til 1997-kalkingen ta anslagsvis 8 år til pH er nede på ca. 6.2 (år 2005). Deler av denne beregningen er vist i **Tabell 3**, som inneholder en utskrift fra TPKALK. I år 2005 er ventelig forsuringssituasjonen endret ytterligere. Med utgangspunkt i dagens vannkvalitet, og en innsjø i kalkingslikevekt (like mye kalk inn som ut over tid), vil en årlig mengde på 65 t NK3/år alltid holde pH over 6.25.

**Vurdering:** I dag er pH-verdiene ca. 6.7, hvilket i de fleste sammenhenger må oppfattes som høyt. Før evt. neste kalking bør det bestemmes hvilken pH-verdi som er målet. I tillegg bør en såpass stor innsjø overvåkes tettere mhp. vannkvalitet enn i dag. Det bør tas utløpsprøver hyppigere enn i dag, og det bør to ganger i året tas prøver i forskjellige dyp. Disse bør analyseres mhp. minst pH, Ca og ALK. Inntil videre trenger Skasen ikke kalkes.



**Figur 1.** Sammenhengen mellom pH og oppløst CaCO<sub>3</sub>. Beregningen av tilsatt mengde CaCO<sub>3</sub> er gjort på grunnlag av Ca-data for innsjøen. Forklaring av kurvekarakteristika (pH<sub>o</sub> og A<sub>pH</sub>) er gitt i Håøya et al. (1996). Målinger som sannsynligvis er feil analysert eller ikke representative for vannkvalitetsutviklingen er vist med symbolet +.



**Figur 2.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Skasen. Målinger som kan være feil analysert eller ikke representative for vannkvalitetsutviklingen er vist med symbolet +.

**Tabell 3. Simulering av Skasen, 1994-kalkingen. Her vises diverse data som er lagt inn i simuleringprogrammet og resultater av simuleringen. I tilfellet Skasen er oppholdstiden så lang at variasjonen i den beregnede tidsperioden (1080 dager) er svært liten.**

```

----- SIMULERING AV KALKING: TPKALK v 1.12 -----
NVE-nummer: .....
Innsjnsnavn: ..... Skasen
UTM-koordinater: .....
Kartblad (M711): .....
Evt. transportavstand (km) ..... 0.0
Beregnet dato: ..... Lørdag 28.03.1998
-----

----- OPPLYSNINGER OM KALKINGEN -----
Spredning (alt. 1: baat, 2: helikopterkalking): ..... 1
Kalkingsmaaned (jan.=1, febr.=2 osv.): ..... 11
Avrenningstype (1: Fjell, 2/3: Innland, 4: Kyst): ..... 5
Evt. kalk-dosering i bekk/elv (tonn): ..... 0.0
-----

----- DIV. DATA FRA KALKINGS-LOKALITETEN -----
Areal (km2): ..... 13.400   Middeldyp (m): ..... 12.8
Normalavr. (m3/s): .. 1.026   Sikkerhetsfaktor: ..... 1.00
pH 1ste kalking: ..... 5.90   pH v. denne kalkingen: 5.90
Ca (mg/l) "-" : ..... 1.50   Titrerkurve: pH=5.2 aph=0.9
-----

----- KALKDATA -----
Kalktype nummer: ..... 3   Mengde (tonn): ..... 450.0
Momentanoppl. (%) : ..... 56   Virkningsgrad (%): ..... 74
Oppl. fra bunn ..... 0.40   Kalkingsintervall (aar) 0.0
B (denne kalkingen) .. 0.135   B (forrige kalking) .. 0.000
-----

----- KALKET AVRENNING INN -----
Andel (%) av avrenningen inn som kalkes: ..... 0.0
Tid (aar): 0.00 0.25 0.50 1.00 1.25 1.50 2.00 2.25 2.50 3.00
gr/m3:      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
-----

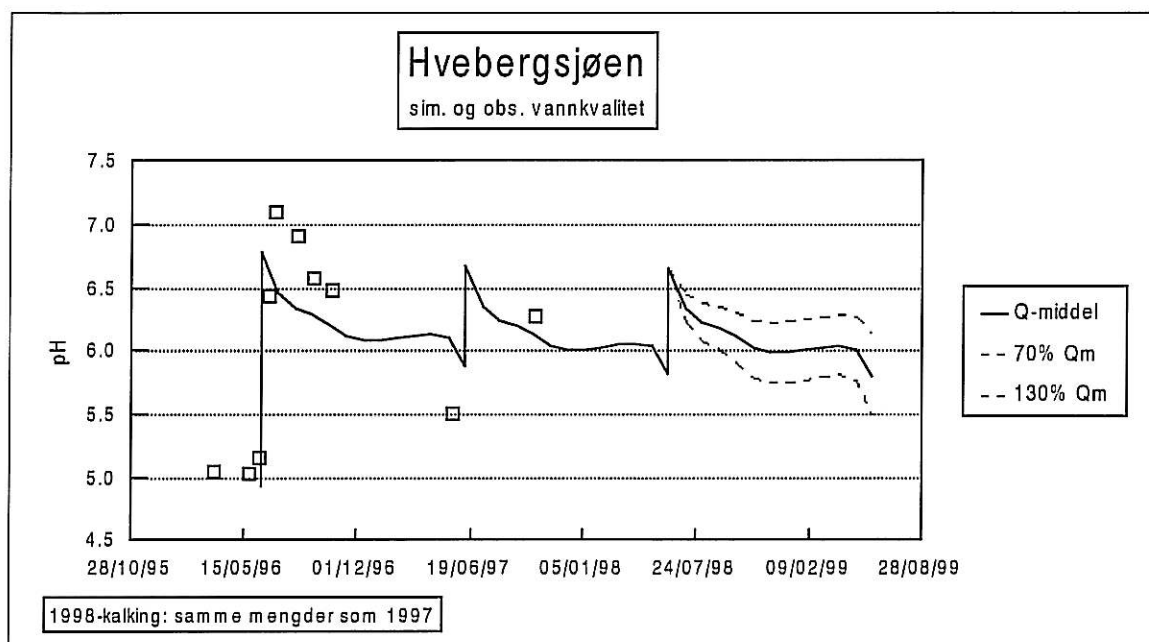
----- RESULTATER -----
tid      CaCO3      Ca      pH
dager   gr/m3       mg/l
-----
0        1.4         2.0     6.31
30       1.4         2.0     6.31
60       1.4         2.0     6.32
90       1.4         2.0     6.32
120      1.4         2.0     6.33
150      1.4         2.0     6.33
180      1.4         2.0     6.33
210      1.5         2.0     6.34
240      1.4         2.0     6.33
270      1.4         2.0     6.33
300      1.4         2.0     6.33
330      1.4         2.0     6.32
360      1.4         2.0     6.32
390      1.4         2.0     6.32
420      1.4         2.0     6.32
450      1.4         2.0     6.32
480      1.4         2.0     6.32
510      1.4         2.0     6.33
540      1.4         2.0     6.33
570      1.4         2.0     6.32
600      1.4         2.0     6.32
630      1.4         2.0     6.32
660      1.4         2.0     6.31
690      1.4         2.0     6.31
720      1.3         2.0     6.30
750      1.3         2.0     6.30
780      1.3         2.0     6.30
810      1.3         2.0     6.30
840      1.3         2.0     6.30
870      1.3         2.0     6.30
900      1.3         2.0     6.30
930      1.3         2.0     6.30
960      1.3         2.0     6.29
990      1.3         2.0     6.29
1020     1.3         2.0     6.28
1050     1.2         2.0     6.27
1080     1.2         2.0     6.27
-----
1=N5    2=MIC   3=SK2   4=BIO   5=PH2   6=NRK   7=DOL
-----

```

### 3.1.4 Hvebergsjøen

Hvebergsjøen var den sureste av de simulerte innsjøene i Hedmark, med pH ca. 5.0 før første kalking.

Det er simulert på de to utførte kalkinger (1996 og 1997), og forutsatt kalking i 1998 (50 t VK3). Dette ga pH 6.6, avtakende til 5.8 for 1998-kalkingen. Imidlertid kan pH gå ned imot 5.5 i nedbørsrike år (Figur 3). Det må imidlertid påpekes at det er visse usikkerheter i simuleringene, jfr. simulert og målt vannkvalitet for de to første kalkingene. Sannsynlige årsaker til dette kan være bedre langtidsoppløsning de første månedene etter kalking (gir høyere pH) og utløpsprøver som ikke er representative for hele innsjøvolumet (gir lavere pH).



**Figur 3.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på allerede foretatte kalkinger og forslag til 1998-kalking. For 1998-kalkingen er simuleringen gjort på tre måter; med normalavrenning og avrenning som er enten 70 (gir høyere pH) eller 130 (gir lavere pH) prosent av normalavrenningen.

**Vurdering:** I 1998 kan det kalkes med 50 t VK3, dvs. omtrent samme mengde/type som i 1997. Dersom pH-verdier på 5.8 (kan variere innenfor pH 5.5-6.1 ved avvik fra normalavrenningen) ved omkalking vurderes som for lavt, kan større kalkmengder vurderes. En kalkmengde på ca. 65 t gir omkalkings-pH på 6.0, forutsatt normalnedbør.

## 3.2 Oppland

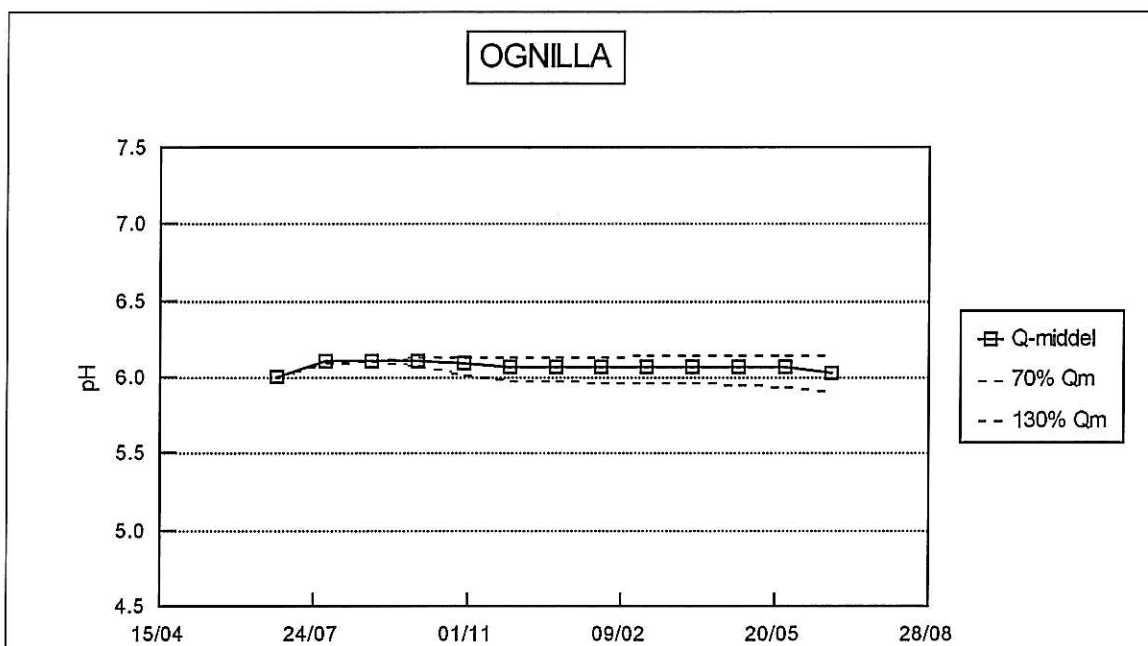
For Oppland er det ikke angitt hvilke kalkmengder som er benyttet. Systemene er derfor først simulert som nykalking, og deretter omkalket. Mengden ved omkalking antas å tilsvare en årlig kalkmengde for innsjøene. Det er antatt helikopteralking.

### 3.2.1 Ognilla (m.fl.)

Ved "første gangs kalking" som grunnlag for simulering er det forsøkt med helikopteralking og kalk tilsvarende 74 t NK3. Ved omkalking etter ett år ble den totale mengden 38 t, og dette antas å representere årlig kalkmengde for systemet. Mengdene som er benyttet i de forskjellige innsjøene ved omkalking er vist i **Tabell 4**. Virkningene av denne kalkingen er en stabil pH på omlag 6 (**Figur 4**).

**Tabell 4.** Kalkmengder som er brukt i de forskjellige innsjøene i Ognillas nedborfelt.

Lokalitet	NK3 tonn/år
Grønsjøen	9.0
Slettangen	1.5
Fjellsjøhandkledet	2.5
Fjellsjøen	1.0
Malsjøen	24.0
Ognilla	0.0
<b>sum</b>	<b>38.0</b>



**Figur 4.** Vannkvalitetsutviklingen i Ognilla ved simulert omkalking (hel linje med firkanter; annen gangs kalking med totalt 38 tonn). 70 % av normal avrenning gir et forløp med høyere pH, mens 130 % gir lavere pH enn ved normal avrenning (Q-middel).

Grunnen til den nær konstante pH-verdien er innsjøenes lange oppholdstider, samt systemets gunstige form mhp. fordrøying av kalk. Enkelte av de større innsjøene er også vurdert mhp. lenger kalkingsintervaller, men dette gav dårligere økonomi. Velges en pH-verdi ved omkalking på ca. 5.8, reduseres kalkmengden med ca. 30-35%.

Mangelen på kalkingsdata til å kontrollere simuleringene gjør resultatene usikre. Det kan se ut som om målingene varierer mer enn hva som skulle forventes utfra simuleringene. Dette kan skyldes faktorer som kalkmengder og fordeling på de forskjellige innsjøene, eller at utløpsprøven ikke alltid er representativ for hele innsjøvolumet (sjiktning).

**Vurdering:** Systemet bør forsøkes kalket med kalk tilsv. ca. 40 t NK3/år. Dersom dette avviker vesentlig fra hva som benyttes i dag, eller det ønskes høyere pH-verdier, bør systemet simuleres på ny, hvor det tas med effektene av foretatt kalking og virkningene av denne.

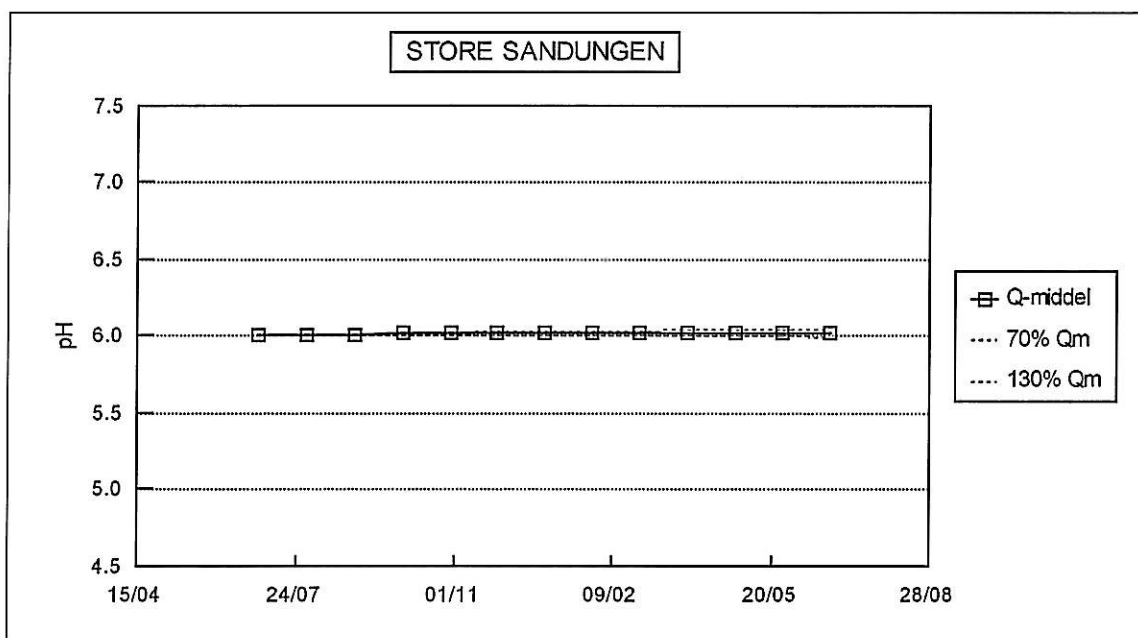
### 3.2.2 St. Sandungen (m.fl.)

For St. Sandungen gjelder det samme som er anført under "Ognilla". Forskjellen på systemene ligger i vesentlig lenger oppholdstider for Sandungen-systemet, noe som gir konstant vannkvalitet etter kalking (Figur 5). Ved første gangs kalking ble det benyttet i alt ca. 100 t NK3. Kalkmengdene ved omkalking er vist i Tabell 5.

Tabell 5. Kalkmengder som er brukt i de forskjellige innsjøene i Ognillas nedborfelt.

Lokalitet	NK3 tonn/år
V. Sørvann	1.5
S. Sørvann	4.0
Selsjøen	10.0
St. Sandungen	0.0
<b>sum</b>	<b>15.5</b>

Systemet er også vurdert mhp. lenger kalkingsintervaller (2 år), men dette gav dårligere økonomi; ca. 1.8 ganger høyere årlig kalkforbruk. Velges en pH-verdi på ca. 5.8, reduseres kalkmengden med ca. 25%. Mangelen på kalkingsdata til å kontrollere simuleringene gjør resultatene noe usikre. Det kan se ut som om målingene også her varierer noe mer enn hva som skulle forventes utfra simuleringene, antagelig av samme grunner som nevnt under "Ognilla".



Figur 5. Vannkvalitetsutviklingen i St. Sandungen ved normal avrenning (hel linje med firkanter; annen gangs kalking med 15.5 tonn kalk totalt) og ved 70 og 130 % av normalavrenning.

**Vurdering:** Systemet bør forsøkes kalket med kalk tilsv. ca. 15 t NK3/år. Dersom dette avviker vesentlig fra hva som benyttes i dag, eller det ønskes høyere pH-verdier, bør systemet simuleres på nytt, hvor effektene av allerede foretatt kalking tas med. Datagrunnlaget bør forbedres.

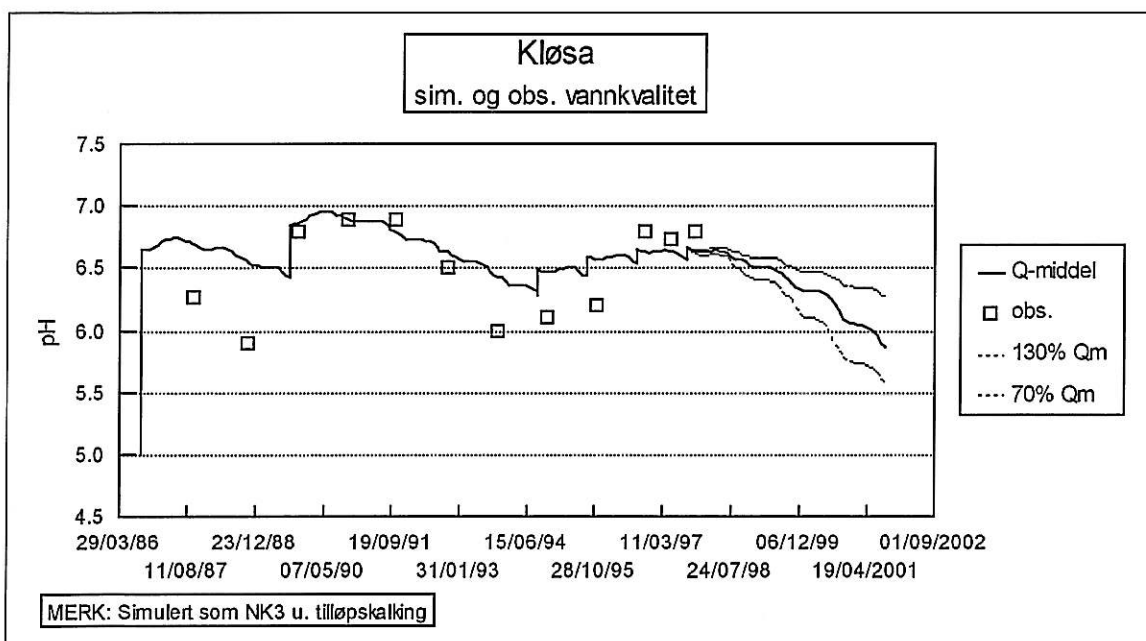
### 3.3 Østfold

I Østfold benyttes mye kalktypen FF3. Denne er ikke lagt inn i simuleringprogrammet TPKALK, fordi oppløsningsdata fra laboratorieforsøk ikke foreligger. Simuleringene er derfor utført som NK3-kalk. På bakgrunn av kornfordelingskurver for de to kalktypene antas denne kalktypen å ha omtrent samme løselighet som FF3, men noe høyere karbonat-innhold. Det er derfor gjort reduksjoner i FF3-mengden i simuleringene for å kompensere for dette. Måten dette er gjort på er angitt under de forskjellige innsjøene.

#### 3.3.1 Kløsa

I tillegg til oppgitt vannkvalitet fra og med 1987 (etter kalking) er vannprøver fra 1970-tallet samlet i regi av SNSF-prosjektet (Wright et al. 1977). Middelerverdier for pH og Ca fra SNSF-prosjektet (før kalking) er 5.0 og 2.3 mg/l.

Oppstrøms Kløsa ligger en liten innsjø, Langetjern. Den utgjør 7% av Kløsa-feltets avløp, og kalkmengdene er ca. 5% av total mengde. Pga. lav andel av totalavløpet i tillegg til liten tonnasje, er "seriekalkings"-effekten av Langetjern liten. Ved simuleringene på allerede foretatte kalkinger, er Langetjern derfor tatt ut. Dette reduserer mengdene med 5%, og vil derfor kompensere for at simuleringene er utført med NK3, og ikke FF3, som ble brukt.



**Figur 6.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Kløsa. For 1998-simuleringen gir 130 % av normal avrenning markert lavere pH enn ved normal avrenning (Q-middel), mens 70 % gir høyere pH.

Simulering av utførte kalkinger og målinger av vannkvalitet stemte relativt bra overens (Figur 6). Det må bemerkes at variasjoner i årsavløp ikke er tatt hensyn til. Dette kan til en viss grad forklare avvikene mellom simulert og målt vannkvalitet. Simuleringer fra 1998 og framover viser at forløpet vil variere sterkt med avrenningsforholdene. I tillegg er antagelig sjøen sjiktet i perioder, noe som medfører at utløpsprøven ikke alltid er representativ for hele innsjøvolumet.

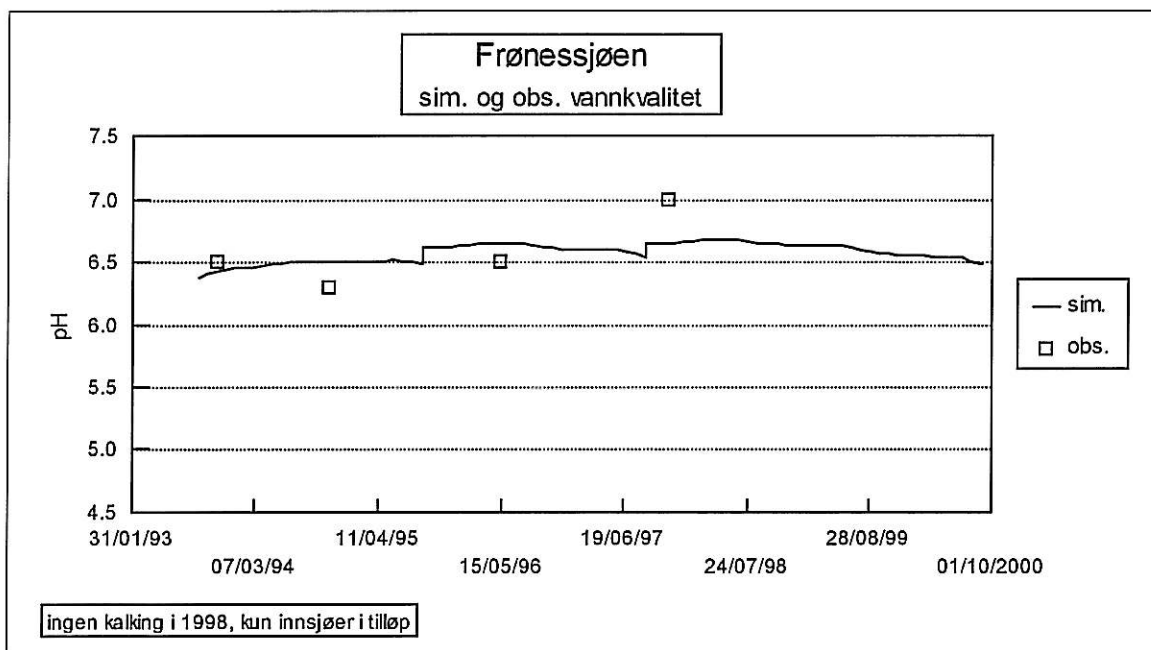
Generelt var pH-verdiene i Kløsa høye. Det kan spares betydelige kalkmengder ved å legge pH noe lavere. Simuleres videre på 1997-kalkingen, så holder denne til år 2000 dersom det godtas at pH synker til 6.2 før omkalking. Årlig kalkmengde etter dette vil være ca. 10 t NK3/år.

**Vurdering:** Den vannkjemiske overvåkingen bør også omfatte prøver i flere dyp. pH-verdiene kan gjerne legges en del lavere enn i dag. Dersom pH-verdier over året på 6.2-6.4 er akseptabelt, blir neste kalking i år 2000 med ca. 10 t NK3. Godtas lavere pH-verdier reduseres kalkmengdene ytterligere. Langetjern bør kalkes årlig med ca. 0.5 tonn kalk. Det må imidlertid understrekes at simuleringsresultatene må oppfattes som veiledende. Som vist i fig. 1 er det en del avvik mellom simuleringer og målinger. Den vannkjemiske oppfølgingen bør være avgjørende for valg av neste kalkingsår.

### 3.3.2 Frønessjøen

For Frønessjøen manglet Ca-målinger før kalking, slik at empirisk pH-Ca-kurve ikke kunne lages. Med utgangspunkt i pH og farge er det benyttet tabellverdier (basert på en rekke innsjøer) for å beskrive kurven. For Frønessjøen er all kalk omregnet fra FF3 til NK3. Følgende omregningsfaktor er benyttet:  $NK3 = FF3 * 0.93$ .

Simuleringer og målinger stemte godt overens (**Figur 7**). Det må imidlertid påpekes at materialet er begrenset. Det er ikke simulert på variasjoner i årsavløp på grunn av langt kalkingsintervall, seriekalking og relativt lange oppholdstider for enkelte av innsjøene.



**Figur 7.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Frønessjøen 1993-2001. Det er kun forutsatt kalking av innsjøene oppstrøms f.o.m. 1998.

Kalkingen oppstrøms Frønessjøen forutsettes utført årlig med 8.5 t/år (Vardetj. 1 t, Lomtj. 2t, Svarttj. 1.5 t og Lilangen 4 t NK3/år). Frønessjøen trenger en ikke å kalke. I Frønessjøen vil dette etterhvert gi en nær konstant pH på 6.1-6.2. Godtas lavere pH-verdier, kan ytterligere innsparinger gjøres.



**Vurdering:** Frønessjøen hadde en pH-verdi som var relativt høy. Ved å avslutte kalkingen i selve Frønessjøen kan pH-verdiene bringes ned i ca. 6.2, noe som reduserer tonnasjen for systemet vesentlig. Årlig kalkmengde blir 8.5 t  $\text{NK}_3/\text{år}$ , hvilket er omlag 1/3 av kalkmengdene som tidligere er benyttet.

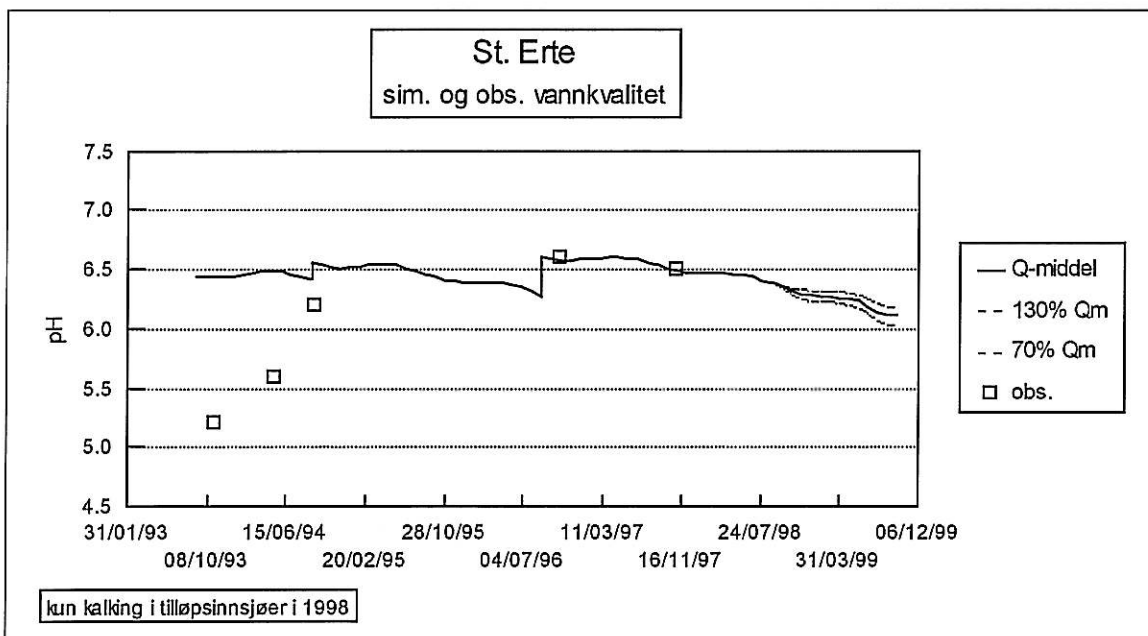
### 3.3.3 Erte vann

Innsjøen ble kalket i 1991 med ukjent mengde. Udokumentert kalking ser også ut til å ha skjedd i 1993. I 1995 og -96 ble vannet kalket med 13 t FF3. Innsjøen kan ha meget lang oppholdstid (ca. 6.5 år). Det betyr lang varighet av kalkingen, noe som igjen indikerer at en vesentlig del av dagens kalkingseffekt kan tilskrives de tidligere udokumenterte kalkingene i 1991 og 1993. Det knytter seg betydelig usikkerhet til innsjødata, se oversikten i kapittel 2.

**Vurdering:** Det mangler data fra de første kalkingene. Disse kalkingene har effekt enda, og påvirker antagelig vannkvaliteten sterkt. Pga manglende og usikre data er innsjøen ikke mulig å simulere.

### 3.3.4 Store Erte

Også for Store Erte manglet Ca-data fra før kalking, slik at tabellverdier for pH-Ca-kurve måtte benyttes.



**Figur 8.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Store Erte. Bemerk de lave pH-målingene først i perioden. Dette kan delvis skyldes sjiktningseffekter (mai-prøven i 1994). I 1998 forutsettes kun kalking av tilløpsinnsjøer.

For begynnelsen av perioden var det store forskjeller mellom simulert og målt vannkvalitet (Figur 8). Tilsvarende ble også funnet for Kløsa. Dette skyldes antagelig sjiktningseffekter, og at utløpsprøven ikke er representativ for hele innsjøvolumet. En annen mulighet kan være at avløpet disse årene har vært høyere enn normalen (simuleringene er utført med normal-nedbør i hele perioden). Imidlertid vil dette neppe gi utslag i denne størrelsesorden, jfr. simuleringene på 1998-kalkingen med forskjellig årsavløp/nedbør.

pH-verdiene er relativt høye, og det kan spares mye kalk ved å legge pH på et lavere nivå. Dagens nivå (pH ca. 6.5) tilsvarer et årlig kalkforbruk tilsv. 107 t  $\text{NK}_3/\text{år}$ .

Følgende kalking foreslås: Kverntjern 5 t/år, Ørdalstjern 2 t/år, og St. Erte 30 t i 1999 og deretter 45 t/år. Dette gir pH-verdier på ca. 6.0-6.2 i St. Erte og årlig kalkforbruk på 52 t/år etter år 2000. Dette tilsvarer i underkant av halvparten av dagens mengder.

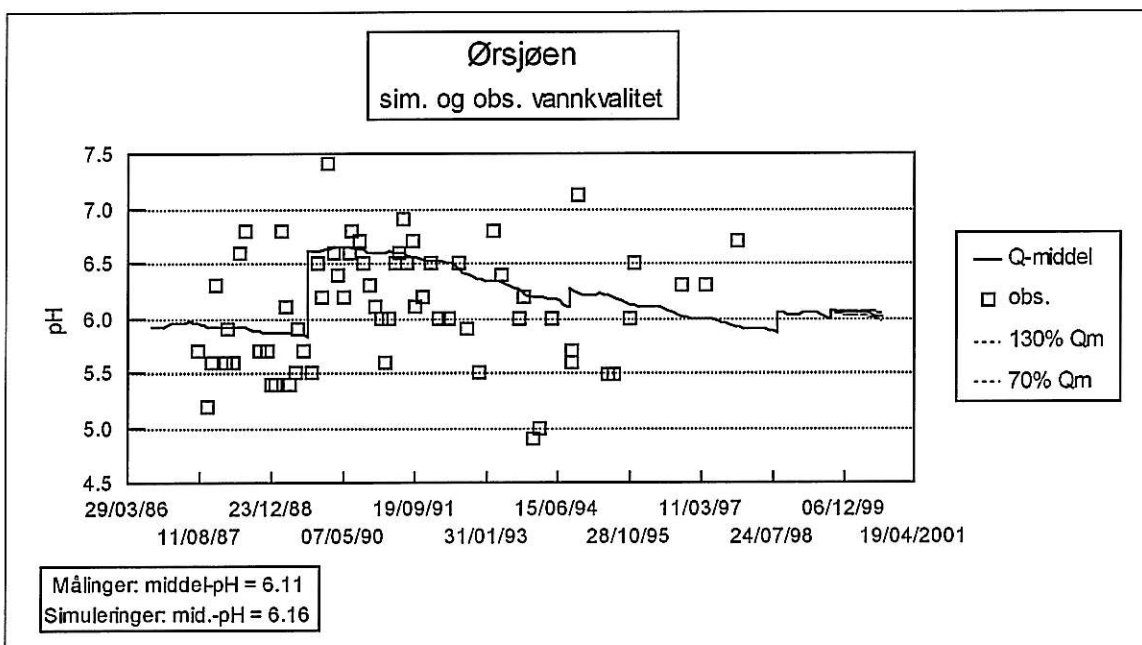
Det er også simulert på kalking av samtlige innsjøer oppstrøms (ca. 20) i 1998, 1999 og 2000. Dette gav ubetydelige innsparinger, anslagsvis et par t/år. Grunnen til dette er antagelig at St. Erte har relativt lang oppholdstid, og at den fordrøyningen av kalken som tilløpskalking representerer er av mindre betydning. I tillegg vil tyngden av kalkingen forskyves fra båt til helikopter, noe som øker tonnprisen.

**Vurdering:** pH-verdiene kan legges lavere enn i dag, med halvering av kalkmengden som resultat. Foreliggende data tyder på at det er liten gevinst å hente ved å foreta kalking i tilløpsinnsjøene. Dette er imidlertid ikke til hinder for at disse kan kalkes hvis det er behov for det.

### 3.3.5 Ørsjøen

Heller ikke for Ørsjøen forelå Ca-målinger fra før første kalking, og tabellverdier for pH-Ca-kurve måtte benyttes. Kalking av Ørsjøen har vært høyst varierende både mhp. intervall og mengder. Det er samlet en rekke pH-data, men dessverre lite Ca-data. Med en oppholdstid på ca. 3 år er det nærmest utelukket at den målte variasjonen i pH kan være representative for innsjøvolumet. Antagelig skyldes spredningen analysefeil og/eller at vannkvaliteten i utløpsprøver kan variere sterkt gjennom året. Simuleringen representerer en "trend-linje" i punkt-skyen av enkeltmålinger (**Figur 9**).

Med utgangspunkt i målingene er det vanskelig å fastslå tidspunkt for omkalking. Ved bruk av simuleringer, helst sammen med innsjøprøver i flere dyp, kan dette fastslås med større sikkerhet.



**Figur 9.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Ørsjøen. Bemerk den store spredningen i pH-målingene, se teksten. Den innlagte variasjonen i avrenning hadde ingen betydning for simuleringsforløpet.

Der er også vurdert kalking av andre innsjøer i nedbørfeltet. For økonomien i systemet under ett er dette av liten betydning pga. lang oppholdstid i Ørsjøen. Et flertall av innsjøene har også for kort

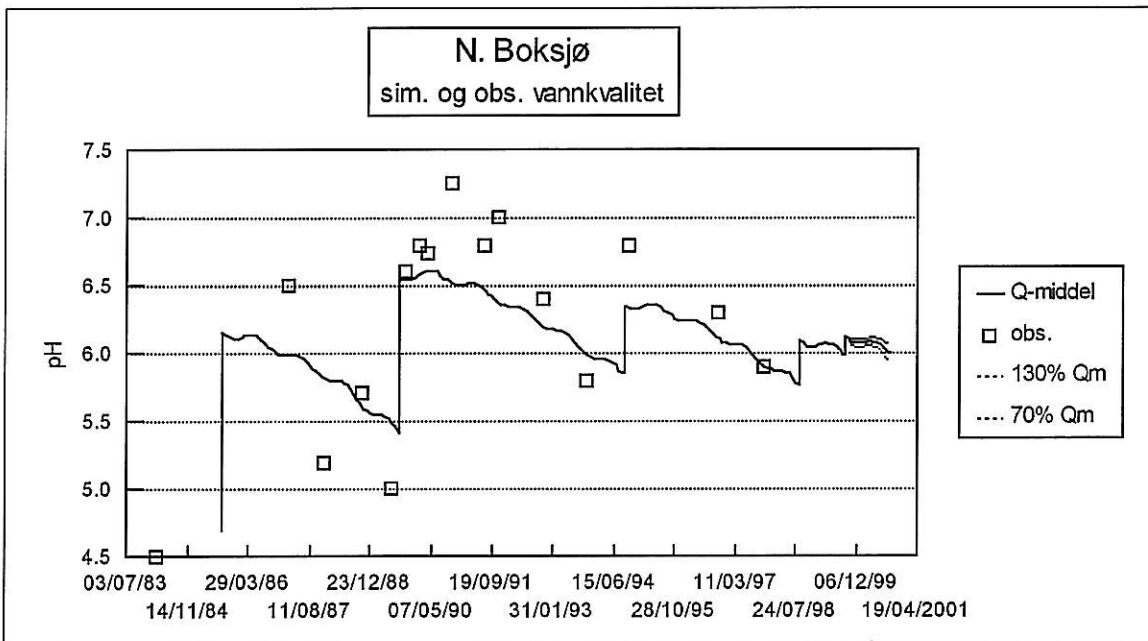
oppholdstid til å kunne kalkes. Det er også vurdert lenger kalkingsintervaller. Kalking annet hvert år gir samme årlige kalkmengde. For 1999-kalkingen er det også simulert på effekter av endringer i årsavløp. Ved omkalking i år 2000 varierte pH kun med  $\pm 0.04$  pH-enheter for endringer på  $\pm 30\%$  i årsavløp.

**Vurdering:** Ørsjøen bør kalkes med 75 t NK3 i 1998, evt. ekvivalent mengde av annen kalktype. F.o.m. 1999 kan innsjøen kalkes årlig med 30 t/år, eller annethvert år med 60 t/år. Ellefsrødtjern forutsettes kalket slik som tidligere. Resultatet blir en nesten konstant vannkvalitet på pH ca. 6. Den vannkjemiske overvåkingen bør også omfatte prøver i flere dyp.

### 3.3.6 N. Boksjø

Heller ikke for N. Boksjø forelå Ca fra før første kalking i det tilsendte materialet, og tabellverdier for pH-Ca-kurve måtte benyttes.

Som for “naboinnsjøen” Ørsjøen syntes det å være stor spredning på de målte pH-verdiene (Figur 10).



**Figur 10.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i N. Boksjø. Det er gjort simulering av omkalking i både 1998 og 1999, i 1999 også med varierende avrenning. Bemerk den store spredningen på målingene. Dette indikerer at utløpsprøven ikke alltid er representativ for innsjøvolumet.

Innsjøen har vært kalket i 12 år med total kalkmengde tilsvarende 477 t NK3 (40 t/år). Neste kalking bør skje i 1998 med kalk tilsv. 60 t NK3. F.o.m. 1999 blir kalkmengden 30 t/år, hvilket er ca. 75% av tidligere. Laveste årlige kalkmengde oppnås ved årlig kalking, men også intervaller på 2 og 3 år kan benyttes. Kalking av tilløpsinnsjøer kan redusere kalkmengdene noe. Dette er det imidlertid ikke regnet på, da aktuelle tilløpsinnsjøer bare utgjorde ca. 14% av feltets totalavløp. Tilløpskalkingen vil således ikke ha noen avgjørende innvirkning på kalkingsøkonomien.

For 1999-kalkingen er det også simulert på effekter av endringer i årsavløp. Ved omkalking i år 2000 varierte pH kun med  $\pm 0.07$  pH-enheter for endringer på  $\pm 30\%$  i årsavløp.

**Vurdering:** N. Boksjø bør kalkes med 60 t NK3 i 1998, evt. ekvivalent mengde av annen type. F.o.m. 1999 kan innsjøen kalkes årlig med 30 t/år. Den vannkjemiske overvåkingen bør også omfatte prøver i flere dyp.

### 3.4 Vestfold

Datamaterialet fra Vestfold er, som det framgår for de enkelte innsjøene, svært mangelfullt.

#### 3.4.1 Kopa

Innsjøen ble første gang kalket i 1985. Med unntak av en udatert pH-måling er vannkvaliteten fra før kalking ikke dokumentert. Data for vannkvalitet fra før første kalking er en forutsetning for å kunne utføre simuleringer.

Mangelen på Ca-data fra før første kalking gjør at det heller ikke kan lages empirisk pH-Ca-kurve. Lite og udaterte vannkjemiske data for perioden etter kalking gjør at simuleringene heller ikke lar seg kontrollere/kalibrere.

**Vurdering:** Datamaterialet er for mangelfullt til å kunne utføre simuleringer. Mye av de foreliggende vannkjemiske data synes å være udatert, og foreligger kun som "sist målte", "lavest målte" osv.

#### 3.4.2 Langevann/Svartevann/Breivann

Datagrunnlaget var mangelfullt. Det ble likevel gjort forsøk med simuleringer. I mangel av gode før-data er det er forsøkt benyttet en "ukalket" vannprøve fra Bråtabekken som vannkvalitet "før første kalking" (pH=4.9, Ca=1.2 mg/l). Dette, sammen med analyser fra etter kalking, ga en pH-Ca-kurve med følgende karakteristika:  $pH_0=2.4$ ,  $A_{pH}=1.8$  ( $n=7$ ,  $r^2=0.89$ ), se Håøya et al. (1996) for forklaring på  $pH_0$  og  $A_{pH}$ .

Med utgangspunkt i dette ble det forsøkt å utføre simuleringer på systemet. Med de gitte kalkmengder var det ikke mulig å oppnå en vannkvalitet i nærheten av den målte. Simuleringene gav pH-verdier på ca. 6, mens målingene tydet på pH omkring 6.5. Konklusjonen er derfor at grunnlagsmaterialet heller ikke her var tilstrekkelig.

#### 3.4.3 Damvann/Jeskovann

Utilstrekkelig datagrunnlag.

#### 3.4.4 Langevann

Utilstrekkelig datagrunnlag.

#### 3.4.5 St. Surte

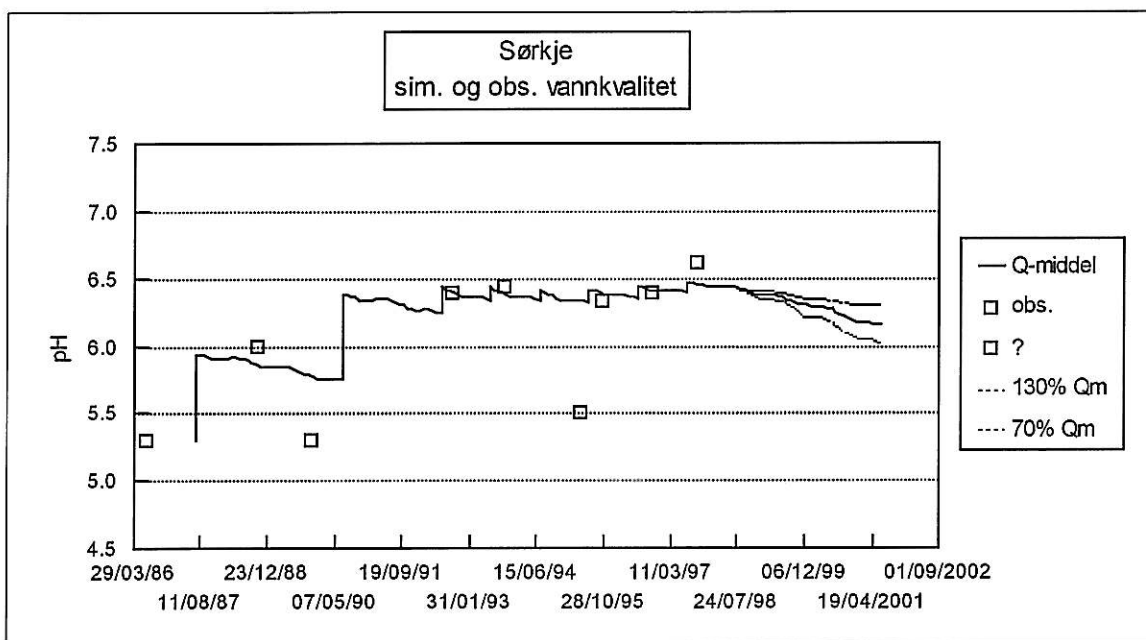
Utilstrekkelig datagrunnlag.

### 3.5 Buskerud

I Buskerud benyttes vesentlig høyere vannkvalitetsmål i kalkede innsjøer enn i de andre fylkene. pH skal være 6.5 om høsten eller hele året. I det største prosjektet, Sørkje, har pH ligget nær 6.4, hvilket må anses som høyt. Årsaken til høye vannkvalitetsmål er blant annet ønsket om å beskytte utløpsgytende aurebestander, forsuringsutsatte krepsdyrgrupper og (i Breivattn) elveperlemusling. Dersom såpass høy vannkvalitet fortsatt er ønskelig, kan kalkingen fortsette som før. I beregningene legges imidlertid de generelle kriterier til grunn, slik som for de andre fylkene, i og med at de refererte vannkvalitetsmålene ble oppgitt på et sent tidspunkt i dette arbeidet. Dette forklarer det store avviket i kalkmengde mellom gjennomført og simulert kalking i **Tabell 10**. oppsummeringen bak. Alle simuleringer i Buskerud er utført med SK2-kalk.

#### 3.5.1 Sørkje

Sørkje er det største prosjektet i Buskerud. Oppholdstiden er lang, ca. 3 år, så vannet ble kalket med hhv. 3 og 2 års intervaller ved 1. og 2. kalking. Dette gav tilsynelatende ganske variabel vannkvalitet. Seinere er innsjøen kalket årlig, og pH-verdiene har vært nærmest konstante (**Figur 11**).



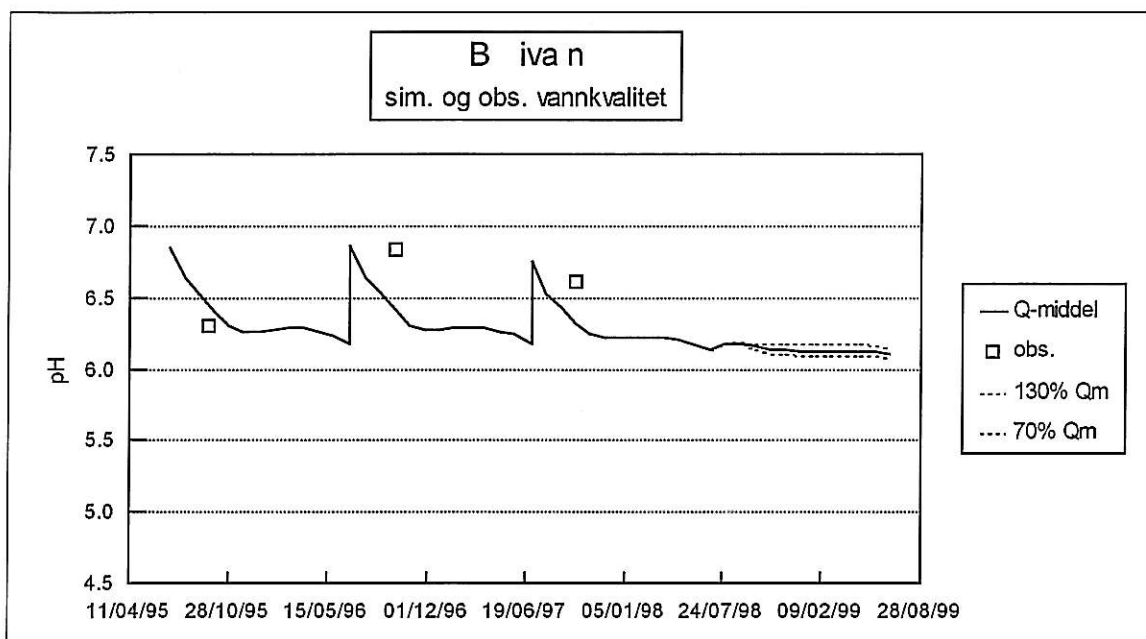
**Figur 11.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Sørkje. Simuleringer med 130 og 70 % av normal avrenning er lagt inn. 130 % av normal avrenning gir de laveste pH-verdiene. Etter at kalkingsintervallet ble redusert til ett år, har pH vært nærmest konstant lik 6.4. To avvikende pH-verdier etter kalking er vinterverdier (ca. 5.3 i 1990 og 5.5 i 1995).

Systemet er simulert uten kalk i 1998. Resultatene viser at pH-verdiene vil holde seg over 6 i ca. 4 år framover. pH i de oppstrøms beliggende (og kalkede) Nysetertjørnene vil imidlertid relativt raskt synke til under 6.0 pga. kort oppholdstid.

**Vurdering:** Det bør vurderes å senke pH-verdiene i Sørkje. En pH-senkning fra ca. 6.4 til 6.0 vil halvere kalkbehovet. Selv en halvering av dette igjen (25% av opprinnelig) vil fortsatt gi vannkvaliteter som tilfredsstillende kalkingshåndbokas krav. Nysetertjørnene bør kalkes årlig.

### 3.5.2 Breivatn

Breivatn har meget kort oppholdstid (0.25 år), hvilket gir hurtig gjenforsuring. Simuleringene tyder på at pH-verdiene er over 6.5 (Figur 12) kun de første månedene etter kalking. Fram mot omkalking er pH-verdiene nesten nede på nivået fra før kalking (pH>6.0). Derfor er gode data for vannkvaliteten fra før første kalking av avgjørende betydning for kvaliteten av simuleringene. For Breivatn vurderes denne datakvaliteten som lite tilfredsstillende, noe som gjør at simuleringene er forbundet med stor usikkerhet. Høy pH før kalking fører til at simuleringene ikke vil ha ønsket presisjon. Datamaterialet for perioden etter kalking er også sparsomt.



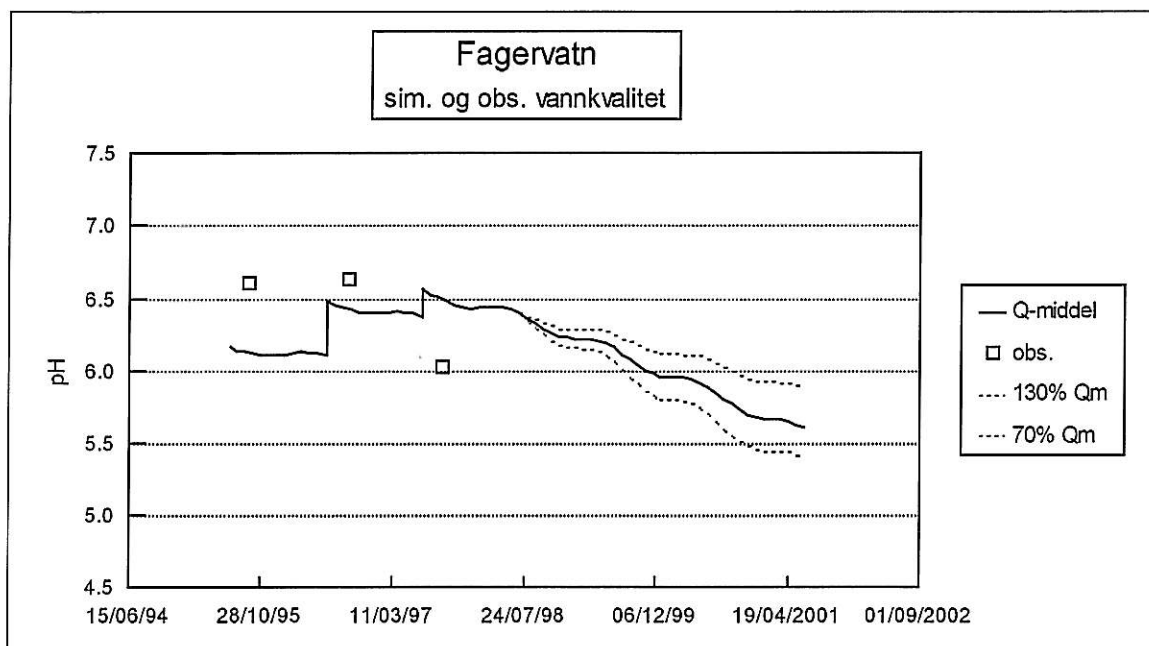
**Figur 12.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Breivatn. Merk hurtig gjenforsuring ned til pH noe over 6.0, som var pH før kalking. pH-forløpet er nesten uavhengig av avvikende avrenning, men det skyldes delvis at en raskt etter kalking kommer ned mot pH-verdiene fra før kalking.

I innsjøer med kort oppholdstid er det av stor betydning å finne velegnede kalkingslokaliteter oppstrøms. Oppstrøms Breivatn er Svarttjørn eneste lokalitet av en viss størrelse, og er derfor forsøkt simulert med 20 t kalk i 1998. Effekten av dette var en pH-økning på ca. 0.1-0.2 pH-enheter. Figur 12 viser resultatene av denne kalkingen i Breivatn. Det er ikke forutsatt kalking i selve Breivatn.

**Vurdering:** Pga. usikkerhetene i simuleringene er det vanskelig å gi noen anbefalinger for Breivatn. Rent generelt bør slike innsjøer kalkes fra oppstrømslokaliteter. I tillegg til Svarttjørn, bør også andre mindre lokaliteter i dette feltet vurderes, evt. dosererkalking.

### 3.5.3 Fagervatn

I tillegg til Fagervatn kalkes også et mindre tjern i tilløp (Tråkleivvatn). Middeldypet er oppgitt å være forbundet med stor usikkerhet. Feil i beregnet middeldyp kan være en av årsakene til avvikene mellom simuleringer og målinger (Figur 13).



**Figur 13.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Fagervatn. Simuleringer med 130 og 70 % av normal avrenning ga klare utslag, med lavere pH ved 130 % av normal avrenning.

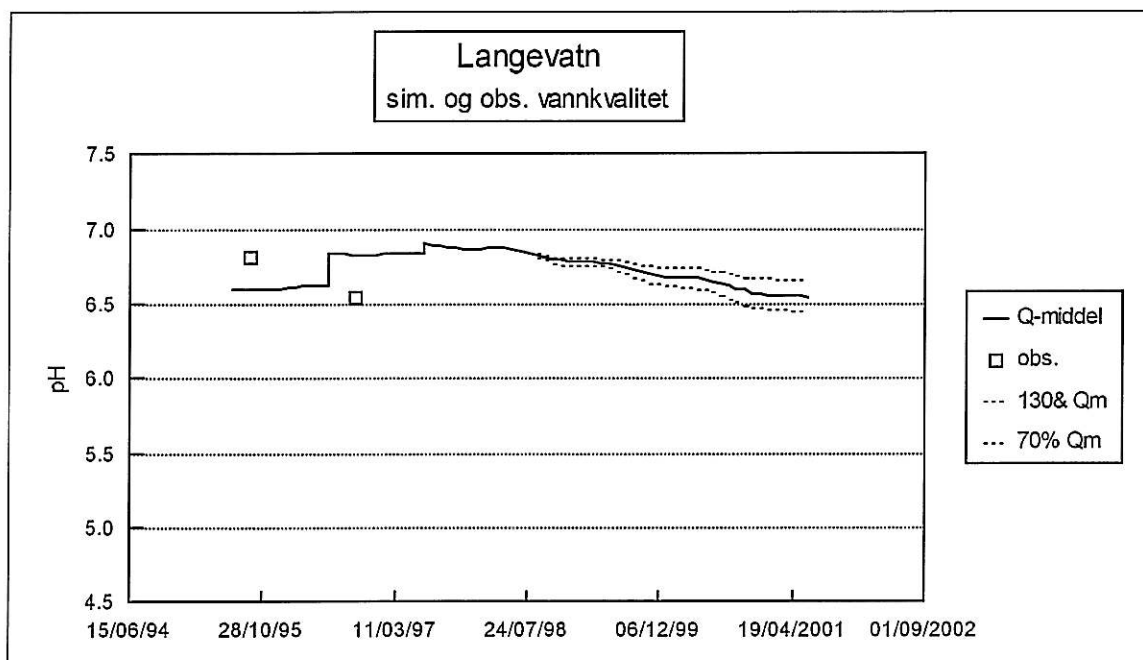
Kalking i 1998 er simulert uten kalking i Fagervatn og med 1.5 t SK2 i Tråkleivvatn. Dette viste at omkalking bør skje i 1999. Det er ikke regnet på denne kalkingen.

**Vurdering:** Det er ikke nødvendig å kalke Fagervatn i 1998. Tråkleivvatn forutsettes kalket årlig, som før. Det må bemerkes at simuleringene er forbundet med relativt stor usikkerhet.

### 3.5.4 Langevatn

For Langevatn/Rødvatn foreligger ikke vannkvalitet fra før første kalking, noe som i utgangspunktet gjør simuleringene usikre. Etter kalking synes pH-verdiene å være høye. Begge innsjøene er simulert uten kalk i 1998 (**Figur 14**). For Langevatn nås da pH=6.0 i år 2004-2005.

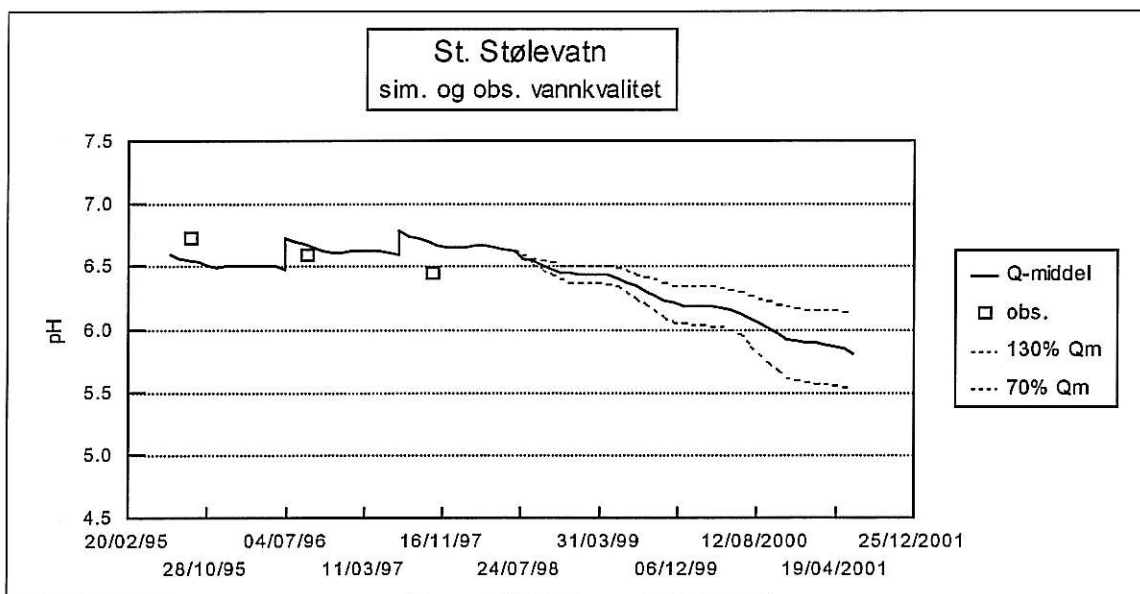
**Vurdering:** Datamaterialet er sparsomt, særlig mhp. vannkjemi, så sikre konklusjoner kan ikke trekkes. Det kan likevel antydes at innsjøene ikke trenger kalk på flere år.



**Figur 14.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Langevatn. Det er gjort simulering uten kalking i 1998. Varierende avrenning ga lite utslag i pH.

### 3.5.5 Store Stølevatn

Også i Store Stølevatn er pH-verdiene etter kalking generelt høye (**Figur 15**), og det kan vinnes mye på å gå ned til lavere verdier. Det forutsetter imidlertid at de vannkjemiske målene for innsjøkalkingen endres.



**Figur 15.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Store Stølevatn. 130 % av normal avrenning ga lavere pH-verdier, mens 70 % ga høyere verdier enn ved normal avrenning.



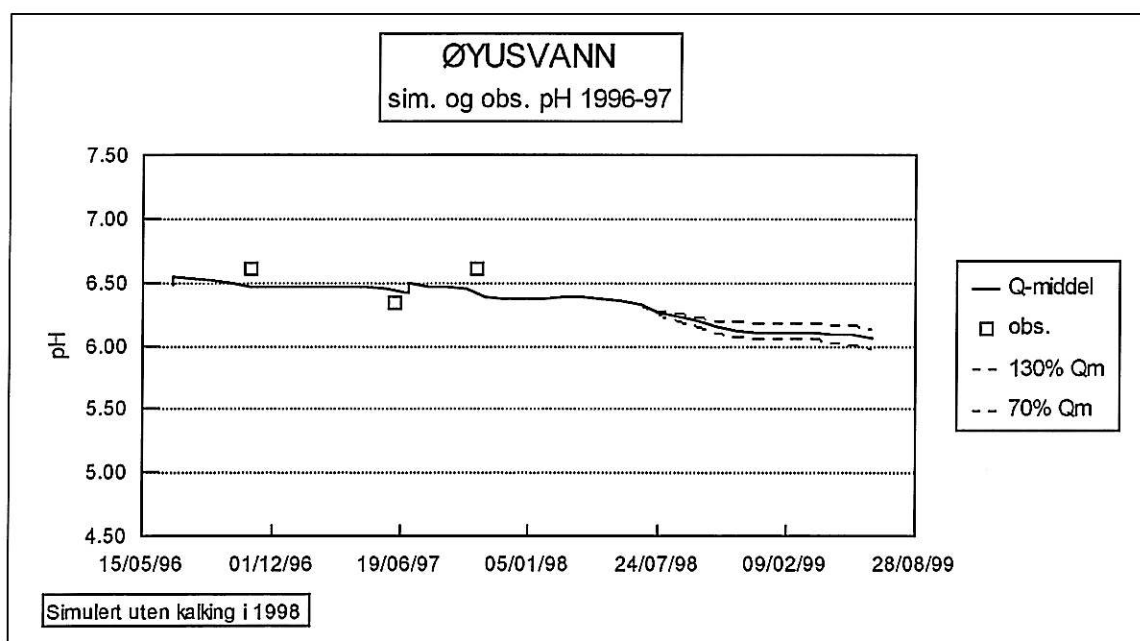
Innsjøen er simulert uten kalking i 1998. Dersom pH-verdier på rundt 6.0 kan aksepteres, trenger en ikke å kalke innsjøen igjen før sommeren 2000. Imidlertid må det også her påpekes at det vannkjemiske datagrunnlaget er lite, slik at simuleringene er forbundet med usikkerhet.

**Vurdering:** Store Stølevatn trenger antagelig ikke å kalkes igjen før i år 2000, men det forutsetter at vannkvalitetsmålet ved omkalking om høsten reduseres. En slik reduksjon i kombinasjon med større vektlegging på kalking av den svært sure tilløpsbekken (Stølebekken) kan trolig være gunstig. Dette kan hindre en uønsket forsuring av utløpsbekken og dermed gjøre forholdene bedre for den utløpsgytende aurebestanden.

## 3.6 Telemark

### 3.6.1 Øyusvatn

Før kalking forelå en vannprøve, trolig fra 1970-tallet (ukjent dato-format). I tillegg er det funnet 4 prøver fra 1974 og 1976 (Wright et al. 1977). Middel for alle disse var pH=5.2 og Ca=0.8 mg/l. Da det har foregått en vesentlig vannkvalitetsforbedring siden 70-tallet, er det valgt å regne med 5.5 som "pH før første kalking". Ved de første kalkinger tidlig på 1990-tallet ble det brukt flere hundre tonn kalk, mens mengdene de siste år har vært 40-50 tonn. Kalkingsintervallene er redusert fra 3 år til 1 år. Oppholdstiden er 1.5 år, hvilket gir relativt lav gjenforsuringshastighet og stabil vannkvalitet (Figur 16).



**Figur 16.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Øyusvann. Lang oppholdstid gir stabil vannkvalitet og liten innvirkning av varierende avrenning.

Da innsjøen synes å være kalket relativt høye pH-verdier, er det forsøkt simulert uten kalk i 1998. Dette ga pH-verdier ved omkalking i 1999 på ca. 6.0-6.1 for nedbørsmengder på 70-130% av

normalnedbør. Dersom dette er akseptabel omkalkings-pH (ca. 6.0), vil det på sikt gi et årlig kalkforbruk på ca. 40 tonn, forutsatt årlig kalking med NK3-kalk. Forsøkes kalkingsintervall på to år, vil årsforbruket øke med ca. 20%. Dette innvinnes neppe i lavere tonnpris pga. øket tonnasje, så innsjøen bør kalkes årlig.

**Vurdering:** Det er ikke nødvendig å kalke i 1998, forutsatt at pH 6.0 er akseptabel omkalkings-pH. Utover dette kan innsjøen kalkes slik som det er lagt opp til de siste år; årlig kalking med kalk tilsv. 40 t NK3. Det må imidlertid understrekes at datamaterialet mhp. vannkjemi er sparsomt, så dette må det tas hensyn til mhp. tolkningen av simuleringresultatene.

### 3.6.2 Sønstevatn

Denne innsjøen kalkes for å bedre forholdene for kreps. Før første kalking (1996) forelå kun to vannprøver, en fra 1974 (pH=6.80) og en fra 1986 (pH=6.29). Vannkvaliteten kan ha forbedret seg noe fra 1986 til 1996. I slike innsjøer vil bakgrunns-vannkvaliteten kunne være bedre enn kalkingsmålet, og simuleringene blir derfor ikke mulige å gjennomføre.

Det var ikke samsvar mellom tilført kalk og målt vannkvalitet etter kalking. I 1996 ble det kalket med 27 t (86% CaCO<sub>3</sub>). Volumet er 18 Mm<sup>3</sup> og momentanoppløsningen blir ca. 35%. Dette tilsvarer 0.45 gr CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> (0.2 mg Ca/l, 9 µekv./l ALK). Dersom det som eksempel regnes med 100% momentanoppløsning tilsvarer dette 1.29 gr CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> (0.5 mg Ca/l, 26 µekv./l ALK). Med en bakgrunnsverdi på 2.7 mg/l er det selv ikke med denne oppløsningen mulig å oppnå de målte Ca-verdier etter kalking (3.3-3.9 mg/l). En mulig årsak til dette kan være at utløpsprøvene ikke er representative for hele vannvolumet i sjøen.

Det var dårlig samsvar mellom Ca-konsentrasjoner og ALK; høyeste Ca ble målt ved laveste ALK.

**Vurdering:** Flere forhold gjorde at simuleringer ikke kunne gjennomføres. Tettere vannkemisk oppfølging er nødvendig.

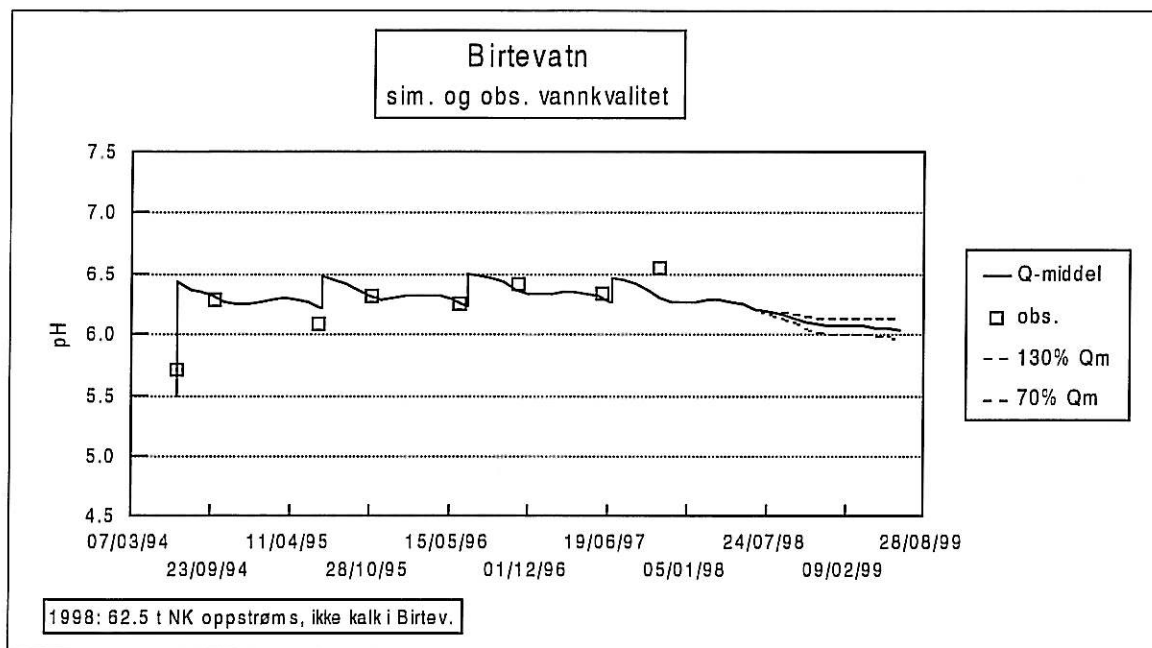
### 3.6.3 Birtevatn

Birtevatn var moderat surt (pH=5.5) før første kalking. Før kalking i selve Birtevatn (1994) ble et par mindre tjern øverst i nedbørfeltet også kalket (1992), men denne kalkingen er avsluttet. Oppstrøms Birtevatn ligger også to større tjern som foreløpig ikke er kalket. Disse antas å være sure, og vil likevel bli tatt med her som en del av strategien videre, da kalking oppstrøms Birtevatn vil redusere det totale kalkforbruket.

Birtevatn er forutsatt å være "mål-lokaliteten" i dette systemet, selvom også virkningen nedstrøms (Nesvatn) er av en viss betydning. Simuleringene viste at Birtevatn ikke trenger kalk i 1998 (**Figur 17**), forutsatt at det kalkes i innsjøene i tilløp med til sammen 62.5 tonn (**Tabell 6**). Dette vil gi en omkalkings-pH på 6.0. Dersom det ønskes samme vannkvalitet som ved tidligere omkalkinger, dvs. pH=6.2, trenges i tillegg ca. 50 t i selve Birtevatn.

I 1999 vil kalkmengden øke noe igjen, til ca. 75-80 t. Dette vil bli årlig kalkmengde for systemet fra og med 1999. Dette vil gi en nærmest konstant pH på ca. 6.0-6.2 i Birtevatn.

Da en større andel av kalken tilføres i øvre deler av systemet, vil pH-verdiene generelt bli høyere her enn i dag (**Tabell 7**). I 1998 vil pH rett etter kalking i de forskjellige oppstrømslokalitetene bli 6.2-6.6, og pH etter ett år 6.0-6.4. Griddalstjørn er et unntak, med pH=5.2 etter ett år, pga. kort oppholdstid (T=0.1 år). Her er ikke innsjøkalking tilstrekkelig til å sikre en stabil og god vannkvalitet. Tilløpskalking (f.eks. skjellsand) bør vurderes.



**Figur 17.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel), både for utført og planlagt (1998) kalking i Birtevatn. Vatnet trenger ikke kalk i 1998, forutsatt kalking av de fleste innsjøene i tilløp med tilsammen 62.5 t NK-kalk.

**Tabell 6.** Kalkmengder for utførte og planlagte (for 1998) kalkinger i Birtevatn og oppstrøms.

Lokalitet	1994 t NK	1995 t NK	1996 t NK	1997 t NK	1998 t NK	1999 t NK
Birtevatn	210	100	100	64	-	30
Kviptetjørn	-	10	7	5	8	8
Griddalstjørn	-	-	11	15	15	15
Stemmetjørn	-	5	3	1	3.5	3.5
Kråkestøltjørn	-	-	-	-	20	10
Yretjørn	-	-	-	-	8	3
Fisketjørn	-	-	3	5	8	8
sum	210	115	124	90	62.5	77.5

**Tabell 7.** pH i oppstrømslokalteter i 1998 ved kalking som angitt i tab. 2.

Lokalitet	pH:	0 år	1/4 år	1/2 år	3/4 år	1 år
Yretjørn		6.19	6.20	6.21	6.28	<b>6.24</b>
Kråkestøltjørn		6.58	6.50	6.47	6.50	<b>6.38</b>
Fisketjørn		6.64	6.43	6.36	6.48	<b>6.26</b>
Kviptetjørn		6.54	6.40	6.34	6.40	<b>6.28</b>
Stemmetjørn		6.35	6.26	6.22	6.26	<b>6.19</b>
Griddalstjørn		6.51	5.52	5.49	5.80	<b>5.18</b>

**Vurdering:** Den foreslåtte strategi vil redusere kalkmengdene for systemet med 20-30%, og stabilisere vannkvaliteten i Birtevatn på noe over 6. Innsjøene oppstrøms vil generelt få høyere pH-verdier enn i dag.

### 3.6.4 Holmevatn

Innsjøen er regulert og ligger i den sør-vestre delen av Bjårvatn-feltet, se neste avsnitt. Før kalking forelå en vannprøve, trolig fra 1980-tallet (ukjent dato-format). I tillegg er det funnet åtte prøver fra 1974-77 (Wright et al. 1977). Middell for de siste prøvene var pH=4.7 og Ca=0.4 mg/l. Siden det sannsynligvis har foregått en vannkvalitetsforbedring siden 1980-tallet, er det valgt å regne med pH=4.8 som "pH før første kalking".

Materialet for perioden etter kalking er meget sparsomt, med kun en prøve. Det er derfor ikke mulig å lage noen empirisk pH-Ca-kurve for innsjøen, og det er benyttet en gjennomsnittskurve for hele Bjårvatn-systemet ( $pH_0=4.1$ ,  $A_{pH}=1.2$ ; se Håøya et al. 1996). Det er oppgitt et middeldyp på 7 m, uten at det er opplyst om dette er loddet eller antatt. I tillegg er Holmevatn regulert, noe som vil innvirke på både volum og avrenning.

Med disse begrensningene må simuleringer på Holmevatn betraktes som omtrentlige. Det er nødvendig med både kvalitetssikring av middeldyp og mer vannkjemiske data. I tillegg trengs det opplysninger om reguleringen. Holmevatn kan betraktes som en enkeltstående innsjø, eller som en del av et større system, med Bjårvatn som mållokalitet. Disse utgangspunktene leder til forskjellig kalkingsstrategi:

Hvis Holmevatn er mål-lokalitet, bestemmes mengde/strategi slik at vannkvaliteten blir mest mulig optimal for denne sjøen, mens kalkmengde og strategi for et større system i stor grad vil bestemmes av ønsket vannkvalitet nedstrøms. Ved kalking av innsjøen "alene" trengs 20 t/år. Dette vil gi en konstant vannkvalitet; pH=6.0 og Ca=1.3 mg/l.

I et system ("serie") av innsjøer vil strategien være å tilføre en så stor andel av kalken som mulig i øvre deler. Dette vil kunne redusere de totale kalkmengdene vesentlig. I Bjårvatn-feltet er innsjøene stort sett små og med korte oppholdstider (53% < 0.3 år). Holmevatn er et unntak. Innsjøarealet er 2.4 km<sup>2</sup> og oppholdstiden er anslått til hele 2.5 år. Det er derfor av stor betydning å benytte dette volumet til å kalke for nedstrømsinnsjøene. Med dette utgangspunktet er det forutsatt kalking med 45 t NK3/år. Dette vil gi Holmevatn en nærmest konstant vannkvalitet, med pH=6.5 og Ca=2.5 mg/l. Det er valgt å ikke gå høyere for å unngå en altfor unaturlig vannkvalitet.

**Vurdering:** Hvis Holmevatn er mållokalitet, er kalkbehovet 20 t/år, men som del av et større system (Bjårvatn er mållokalitet, se neste avsnitt) kan/bør mengdene økes til 45 t/år. Det må understrekes at datamaterialet er mangelfullt, og ytterligere datainnsamling er nødvendig.

### 3.6.5 Bjårvatn

Bjårvatn-systemet omfatter i alt ca. 80 innsjøer av varierende størrelse. Bjårvatn er den nederste og største innsjøen. Bjårvatn er forutsatt å være "mål-lokalitet". Datagrunnlaget for dette systemet er høyst varierende både mhp. kvalitet og kvantitet. Bl.a. synes dybdeforholdene i de fleste innsjøene å være anslått, ikke beregnet. I tillegg er det sparsomt med vannkjemi for en del av innsjøene. Dette medfører en del begrensninger i mulighetene for å simulere systemet.

Innsjøene i tilløp utgjør i utgangspunktet kun 39% av Bjårvatn-feltets totale avrenning. Dette betyr at innsjøene i tilløp må ha relativt høye kalkdoser dersom Bjårvatn kun skal kalkes opp via tilløpsinnsjøene. Det er et mål at pH i Bjårvatn aldri skal gå under 6.0. For et avløp på 39% av det totale, tilsvarer dette en kalktilførsel på 5.1 gr CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> og pH=6.5. Det er neppe realistisk å kalke

tilløpsinnsjøene til en jevn pH i denne størrelsesorden. Dette viser at en ikke kommer utenom kalking i selve Bjårvatn. Dette er da også dagens strategi.

Det er utført simuleringer på første, andre og tredjegangs kalking for hele systemet. Første og andre kalking er utført med avløpsfordeling "fjell" (nr. 1, se Håøya et al. 1996), mens tredje kalking er utført med nr. 5, som forutsetter at vårfloppen renner av på overflaten uten å føre kalk ut av innsjøene. De vannkjemiske forutsetninger som ble gjort var omkalkings-pH på 6.2 (Bjårvatn pH=6.0), om mulig uten overdosering. I store innsjøer med lang oppholdstid ble omkalkings-pH hevet til ca. 6.5 (se Holmevatn).

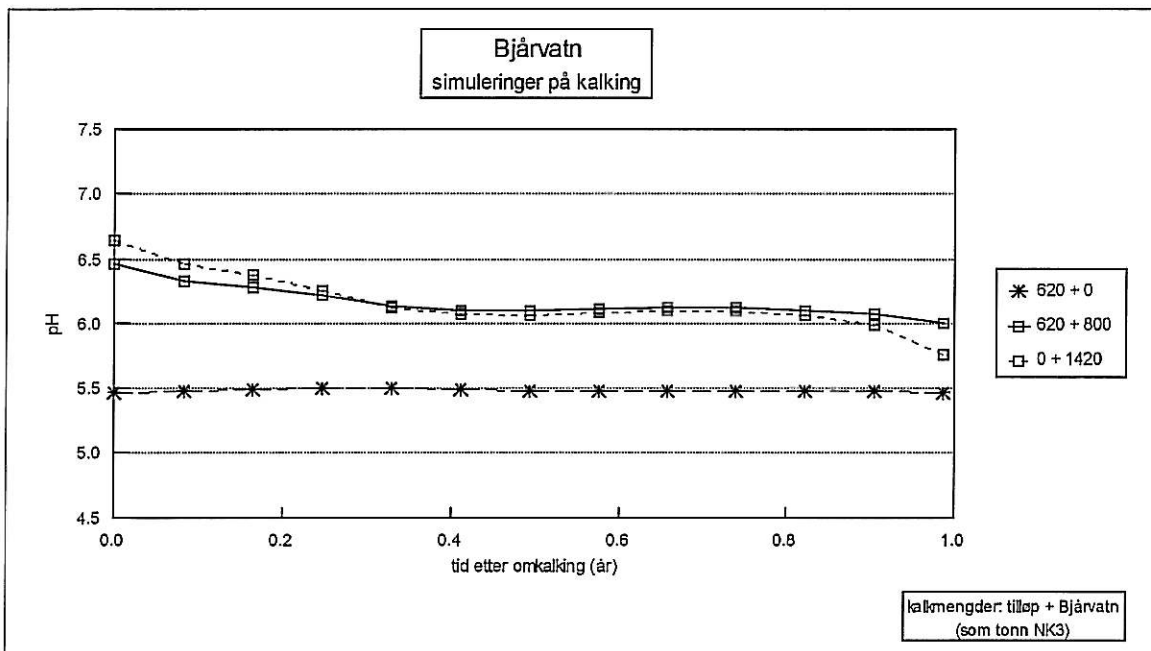
Simuleringene på innsjøene oppstrøms Bjårvatn ble lagt inn i "tilløp" i Bjårvatn-simuleringen. Denne ble utført i tre alternativer.

- 1) kun kalking av innsjøer i tilløp (sum kalkmengde = 620 t NK3)
- 2) tilløpsinnsjøer + kalking i Bjårvatn til omkalkings-pH=6.0 (620 + 800 t NK3)
- 3) kalken i tilløpsinnsjøene forsøkes i stedet tilført i selve Bjårvatn (1420 t NK3)

Simuleringene viste at kun kalking av tilløpsinnsjøer (620 t NK3/år) ga en konstant pH-verdi på 5.5 i Bjårvatn (**Figur 18**). Med ønsket mål-vannkvalitet (pH ca.6.0) trengte en i tillegg 800 t i selve Bjårvatn. Dette er noe over de benyttede kalkmengder (1997: 770 t i tilløp + 570 t i Bjårvatn). Simuleringene viste også tydelig gevinsten av å kalke oppstrøms. Dersom all kalken fra alt. 2 ble benyttet i selve Bjårvatn (= alt. 3), gav dette en omkalkings-pH på ca. 5.7-5.8, hvilket er ca. 0.25 enheter under målet. Med utgangspunkt i alt. 3 må kalkmengden økes til 1735 t/år for å oppnå samme omkalkings-pH. Dette viser at 1 tonn kalk i selve Bjårvatn kan erstattes med 0.66 t i tilløpsinnsjøene. Fullstendig oversikt over tilløpsinnsjøene er vist i **Tabell 8**.

Simuleringene gir noe dårligere vannkvalitet enn det som er målt. Dette skyldes antagelig at simuleringene er utført med utilstrekkelige bakgrunnsdata. Imidlertid antas de relative forhold mellom kalkmengder ved forskjellige strategier å stemme.

**Vurdering:** Kalking av kun tilløpsinnsjøer er ikke nok til å oppnå mål-vannkvalitet i Bjårvatn. Det må i tillegg kalkes i selve Bjårvatn. Inntil mer data foreligger, og systemet kan simuleres på ny, bør kalkmengdene fra 1997 benyttes i 1998. Evt. kan noe flyttes til tilløpsinnsjøer, fortrinnsvis ukalkede.



**Figur 18.** Simuleringer av ulike alternativer for kalking av Bjårvatn. Alternativ 1 (gir pH ca. 5.5), 2 (heltrukken linje) og 3 (1420 tonn kalk i Bjårvatn), nevnt i teksten er vist.

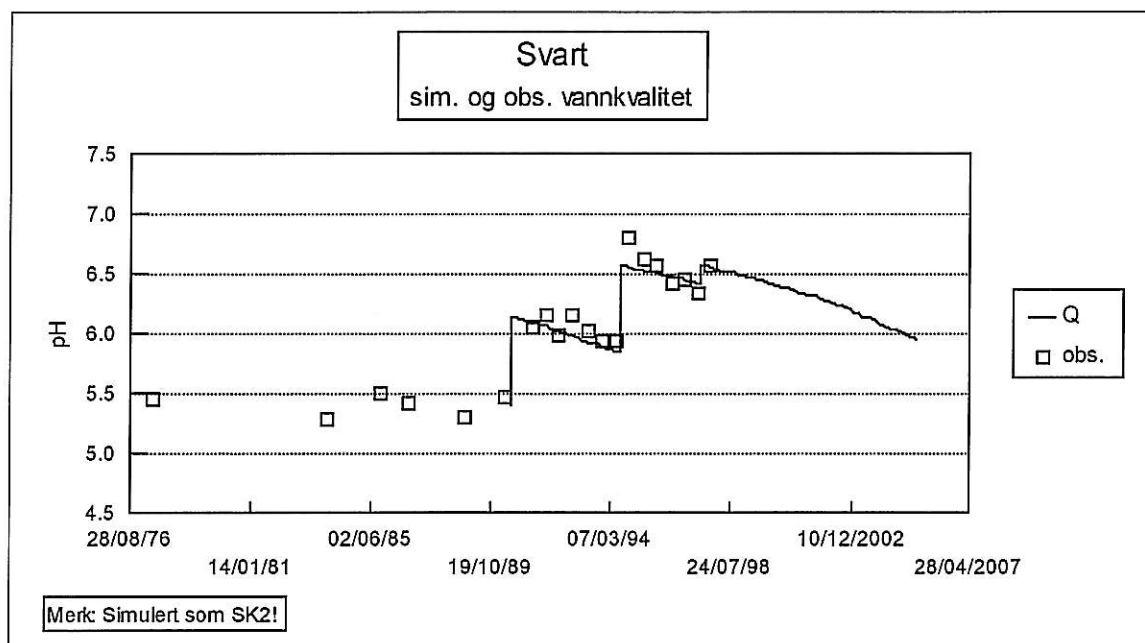
**Tabell 8.** Resultater av simuleringer på Bjåvatn-kalkingen. Tabellen viser kalkmengder og virkninger for kalking av tilløps-innsjøene til Bjårvatn.

Innsjø	spred.	kalk tørn NEG	pH etter (år)				
			0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Hellersvatn (533)	H	30	6.77	6.36	6.32	6.43	6.20
Austsjø	H	3	6.90	6.01	6.04	6.27	5.42
Sjøportjø	H	1	6.66	6.22	6.12	6.32	5.63
Holmevatn (574)	B	45	6.59	6.52	6.50	6.51	6.49
Hornjø (735)	H	1.5	6.50	6.34	6.27	6.32	6.20
Ervjø	H	1	6.67	5.78	5.75	6.10	5.32
Langjø	H	2	6.66	6.26	6.14	6.29	5.69
Syltjø	H	2	6.67	6.18	6.10	6.26	5.79
Huvejø	H	10	6.64	6.46	6.39	6.47	6.23
Breivåtn	B	25	6.43	6.43	6.41	6.42	6.39
Kjempåsvatn	H	0	6.24	6.34	6.31	6.32	6.31
Svinosundvatn	H	0	6.28	6.31	6.28	6.28	6.28
Blivatn	H	1	6.43	6.28	6.27	6.27	6.26
Bensvatn	H	11	6.35	6.29	6.29	6.27	6.24
Sandvatn	H	30	6.60	6.38	6.32	6.40	6.24
Dugundstjø	H	1	6.41	6.33	6.28	6.30	6.25
Krossvassstjø	H	0.5	6.47	6.36	6.31	6.35	6.29
Hellersvatn (565)	H	0	6.12	6.41	6.31	6.34	6.28
Krossvatn	H	0	6.15	6.37	6.29	6.30	6.26
Djupvatn	H	2	6.35	6.25	6.24	6.24	6.20
Hegsetstjø	H	2	6.52	6.37	6.30	6.35	6.24
Størvatn	H	22	6.73	6.27	6.31	6.38	6.18
Hestetjø	H	4	6.45	6.34	6.29	6.32	6.25
Grunnetjø	H	0.5	6.37	6.44	6.31	6.38	6.30
Kaldstjø	H	10	6.62	6.28	6.23	6.41	5.96
Vråsvatn	H	3	6.30	6.32	6.27	6.28	6.24
Sveggvatn	H	5	6.37	6.29	6.24	6.25	6.20
Mørketjø	H	2	6.74	5.48	5.53	5.64	5.31
Steintjø	H	1	6.54	6.40	6.34	6.39	6.29
Ø. Grandstjø	H	2	6.60	6.37	6.31	6.36	6.29
N. Grandstjø	H	2	6.48	6.37	6.30	6.33	6.24
Bjårvatn	B	25	6.73	6.43	6.33	6.41	6.22
Skålvatn	H	10	6.65	6.40	6.28	6.33	6.24
Sandvatn (399)	B	13	6.37	6.30	6.28	6.27	6.23
Fiskevatn	H	1	6.39	6.42	6.25	6.29	6.25
Skiltjø	H	1	6.42	6.33	6.29	6.32	6.29
Hauktjø	H	1	6.61	6.54	6.52	6.58	6.49
Hyttjø	H	1	6.64	6.53	6.49	6.54	6.44
Holmetjø	H	1	6.40	6.34	6.30	6.32	6.27
Brattsbjø	H	3	6.69	6.27	6.19	6.33	6.03
Bløtjø	H	1	6.51	6.40	6.35	6.39	6.31
Langmyrtjø	H	1	6.45	5.49	5.43	5.56	5.30
Bjårvatn	B	0	6.28	6.38	6.29	6.27	6.22
Stortjø	H	1	6.50	6.38	6.30	6.35	6.24
Mjonevatn	H	60	6.65	6.39	6.32	6.42	6.21
S. Øyvatn	H	4	6.41	6.30	6.25	6.26	6.21
Størvatn	H	90	6.69	6.33	6.22	6.33	6.09
Hellersvatn (375)	H	10	6.29	6.29	6.27	6.27	6.24
Bjørtjø	H	2	6.50	6.34	6.27	6.32	6.21
N. Oterstjø	H	7	6.59	6.29	6.18	6.31	6.09
Ø. Oterstjø	H	3	6.64	5.94	5.97	6.19	5.51
Holmevatn (391)	H	0	6.19	6.29	6.25	6.25	6.24
Frovatn	H	3	6.50	6.37	6.31	6.35	6.25
Nystølvatn	H	6	6.45	6.34	6.28	6.31	6.22
Drangane	H	5	6.69	6.25	6.23	6.32	6.06
Skartjø	H	1	6.58	6.38	6.32	6.42	6.23
Molundstjø	H	2.5	6.56	6.39	6.31	6.39	6.23
Hegnevatn	H	5	6.69	6.25	6.21	6.34	6.04
Kyrvatn	H	3	6.28	6.29	6.25	6.29	6.23
Skardstjø	H	1	6.97	6.30	6.29	6.31	6.23
Skiltjø (669)	H	3	6.41	6.34	6.29	6.30	6.24
Måvatn (665)	H	14	6.33	6.28	6.29	6.27	6.24
Steinbøtjø	H	30	6.65	6.18	6.15	6.27	5.65
Kleppsvatn	B	15	6.30	6.31	6.27	6.27	6.24
N. Urdstjø	H	20	6.60	6.11	6.13	6.33	5.62
Haukefjø	H	1	6.67	5.78	5.75	6.10	5.32
L. Øyvatn	H	1	6.44	6.38	6.32	6.33	6.29
L. Bandstjø	H	0.1	6.57	6.49	6.45	6.48	6.43
Måvatn (535)	H	6	6.23	6.29	6.24	6.25	6.24
Kattjø	H	1	6.57	6.42	6.36	6.43	6.30
S. Bandstjø	H	0.5	6.50	6.36	6.32	6.35	6.27
L. Bånetjø	H	1	6.69	5.24	5.36	5.91	5.04
S. Bånetjø	H	10	6.67	6.06	5.96	6.18	5.51
Stentjø	H	1	6.57	6.42	6.36	6.43	6.30
Høgjø	H	2	6.77	5.94	6.02	6.25	5.38
Størvatn	H	6	6.36	6.31	6.27	6.29	6.24
Flåstjø	H	1	6.58	6.43	6.36	6.43	6.30
Trytetjø	H	3	6.58	6.38	6.31	6.39	6.22
Hesthornstjø	H	2	6.67	5.76	5.72	6.06	5.30
Hornjø (735)	H	2	6.43	6.33	6.28	6.30	6.23
Nystølstjø	H	4	6.72	6.24	6.23	6.37	6.03
Stentjø	H	8	6.59	6.37	6.29	6.37	6.22
Urdstjø	H	3	6.51	6.35	6.28	6.34	6.22
SUMMIDDEL		618	6.52	6.27	6.22	6.30	6.10

### 3.7 Aust-Agder

#### 3.7.1 Svart

Svart er en ganske stor innsjø med svært lang oppholdstid (5.7 år). Dette resulterer i langsom gjenforsuring. Det er foretatt simuleringer på foretatte kalkinger, og dette er sammenholdt med målinger. Simuleringene er foretatt uten noen form for tilløpskalking, da denne inntil nylig har vært av lite omfang. Tilløpskalkingen har omfattet noe skjellsand, hvilket i utgangspunktet er vanskelig simulerbart. Simuleringene er foretatt med SK2-kalk.



**Figur 19.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Svart, Aust-Agder. Merk tidsskalaen; pH-avtaket etter kalkingen i 1997 går svært sakte.

Generelt var det svært god overensstemmelse mellom simuleringer og målinger (**Figur 19**), hvilket betyr at simuleringer gir et godt bilde av vannkvalitetsutviklingen i innsjøen. Simuleringene viser at det ikke er oppnådd likevekt mellom kalk inn/ut av systemet. Dette har gjort at pH-verdiene har vist en økende trend gjennom hele perioden vannet er kalket. Videre simuleringer på allerede foretatte kalkinger (sist 1997) viser at pH vil nå 6.0 i år 2005 og 5.8 i 2008. Det er da ikke tatt hensyn til at Røyvatn skal kalkes fra 1998. Dette vil redusere gjenforsurings hastigheten i Svart noe.

Det er ikke simulert på variasjoner i årsavløp. Grunnen til dette er at årsvariasjoner i avløp betyr lite ved så lange oppholdstider.

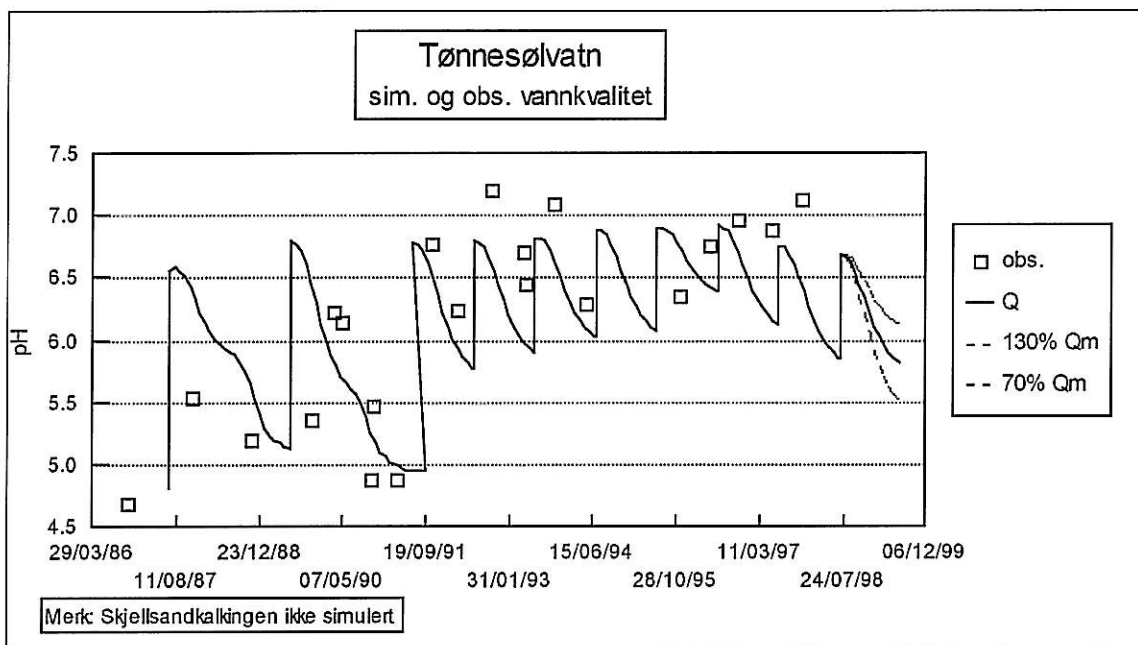
**Vurdering:** Det er ikke behov for å kalk Svart inntil videre. Dersom det tas hensyn til forventede utslippsreduksjoner for svovel og den lange oppholdstiden, kan det være at Svart ikke trenger å kalkes mer. Dette bør følges ved vannkjemisk prøvetaking.



### 3.7.2 Tønnesølvatn

Tønnesølvatn ble første gang kalket med dolomitt (Microdol). Pga. for lange kalkingsintervaller var pH-verdiene de første årene for lave ved omkalking (ca. 5). Seinere har vannet blitt kalket årlig, og pH-verdiene har stort sett vært 6-7.

Kalkingen er kun simulert som innsjøkalking. Dette underestimerer vannkvaliteten, da det også er benyttet en del skjellsand i tilløpsbekk.



**Figur 20.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Tønnesølvatn, Aust-Agder. Kort oppholdstid fører til at avvik i avrenning (som vist med 130 % av normal avrenning) kan gi lave pH-verdier. På den annen side vil liten avrenning kunne gi relativt høy omkalkings-pH.

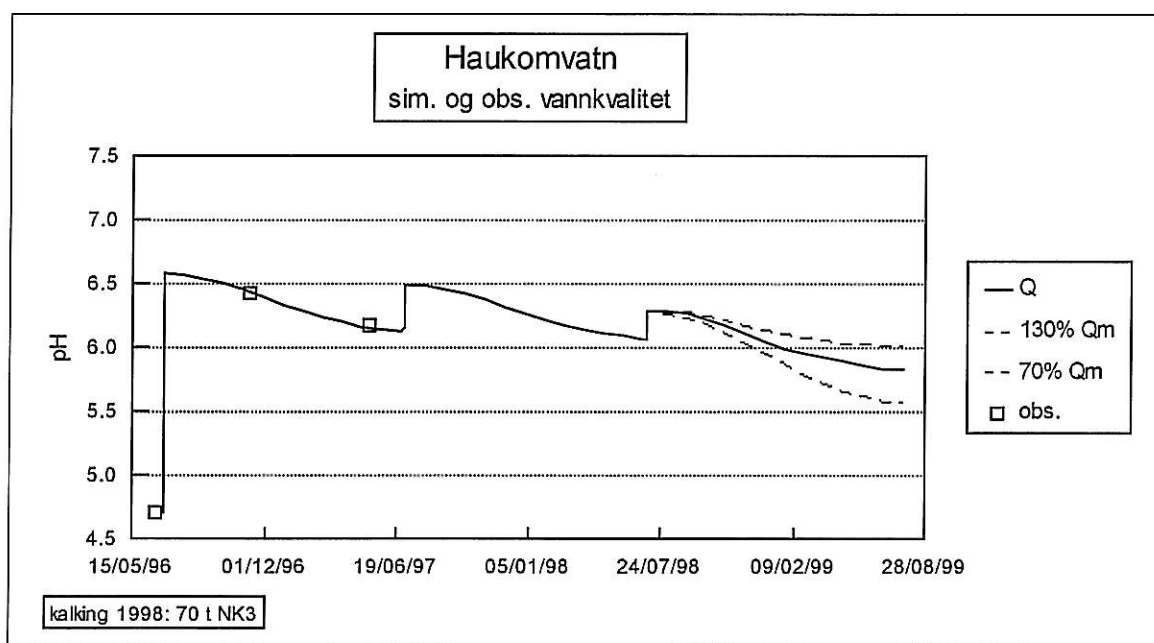
Simuleringene stemte bra overens med målingene (Figur 20). På slutten av perioden er det tegn på at målingene lå i overkant av simuleringene, antagelig pga. skjellsandkalking og lite avrenning i 1997.

For 1998-kalkingen er det benyttet 99 t NK3-kalk, hvilket ga en omkalkings-pH på 5.8 i 1999. Variasjoner i årsavløp på  $\pm 30\%$  gav utslag på  $\pm 0.3$  pH-enheter ved omkalkingstidspunktet. Dette vurderes av Fylkesmannen som akseptabelt (Jan-Henrik Simonsen pers.medd.). Det må imidlertid påpekes at skjellsandkalkingen ikke er medregnet, slik at de simulerte verdier er å betrakte som minimumsestimater.

**Vurdering:** Tønnesølvatn bør kalkes med kalk tilsv. 99 tonn NK3 i 1998.

### 3.7.3 Haukomvatn

I simuleringene ble det gjort forsøk med å kalke Grønvatna i tillegg til Haukomvatn. Pga. antatt svært kort oppholdstid, ga dette liten effekt. Det var ikke mulig å holde stabil vannkvalitet i Grønvatna, og kalkmengden i Haukomvatn ble kun redusert med 1 tonn/år. Simuleringene viste godt samsvar med målingene (**Figur 21**), men det må påpekes at materialet er meget sparsomt.



**Figur 21.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Haukomvatn, Aust-Agder. Kun få målinger av pH finnes.

Kalking med 70 t NK3 i 1998 gir en omkalkings-pH i 1999 på 5.8. Variasjoner i årsavløp på  $\pm 30\%$  gav utslag på  $\pm 0.2$  pH-enheter. For aure vurderes dette som tilstrekkelig sikkerhet.

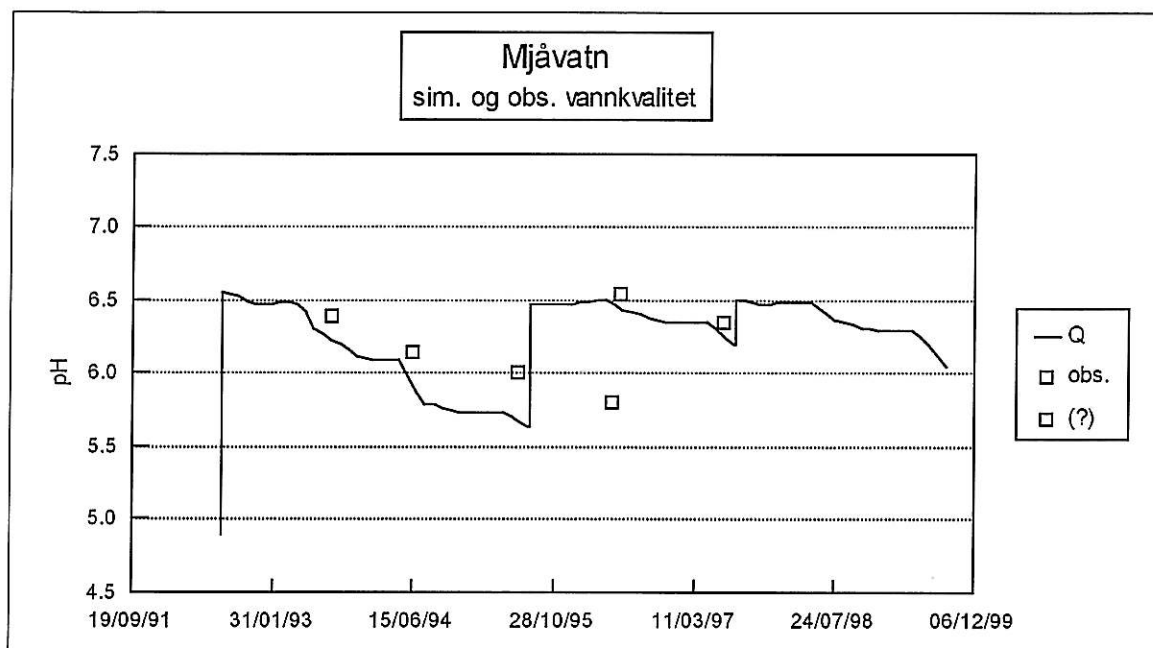
**Vurdering:** Haukomvatn bør kalkes med kalk tilsvarende 70 t NK3 i 1998. Innsjøkalking i Grønvatna anses ikke som aktuelt. Vannprøvetakingen bør intensiveres.

### 3.7.4 Mjåvatn

Det var i de første beregningene store problemer med å få simuleringene til å stemme med målingene. En gjennomgang av datamaterialet viste imidlertid at innsjøareal, og til dels også nedbørfelt, var overestimert. Det er derfor korrigert for dette. Dette fjernet mye av forskjellene mellom simuleringer og målinger, men ikke alt. Også for Fiskeløys var det problemer med å få tallene til å stemme, uten at det syntes å være noen åpenbare feil i innsjødata, såvidt det var mulig å kontrollere. Det er derfor nødvendig med en gjennomgang av innsjødata for dette systemet.

Etter justering av innsjødata stemte simuleringer og målinger relativt bra overens (**Figur 22**). En vannprøve skilte seg imidlertid ut. Kilden til denne målingen er imidlertid uklar.

Simuleringene viste at for Mjåvatn alene er det ikke nødvendig å kalke verken i 1998 eller 1999, forutsatt at omkalking ved pH=5.8 i år 2000 er akseptabelt. Ønskes høyere omkalkings-pH kan det kalkes i år 1999, ved pH=6.1.



**Figur 22.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Mjåvatn. En observasjon (pH ca. 5.8 i 1996) skiller seg ut og er ikke tatt med i datagrunnlaget. Det er tatt hensyn til kalking oppstrøms. Det er ikke simulert på avvikende avrenning pga. systemets lange oppholdstid.

Imidlertid holder ikke vannkvaliteten i enkelte av innsjøene høyere oppe i systemet så lenge, og de må derfor kalkes oftere. Hustjørn bør kalkes årlig (4 t NK3/år), og Oksetjørn bør omkalkes i 1999 (7 t). Lisløktjørn bør også tas med i 1999 (9 t). Fra og med år 2000 bør innsjøene kalkes årlig, med mengder som angitt i **Tabell 9**, dvs. 49 t/år. I Mjåvatn vil dette gi en nær konstant pH-verdi på ca. 6.0.

**Tabell 9.** Kalkmengder for planlagte kalkinger i Mjåvatn og oppstrøms.

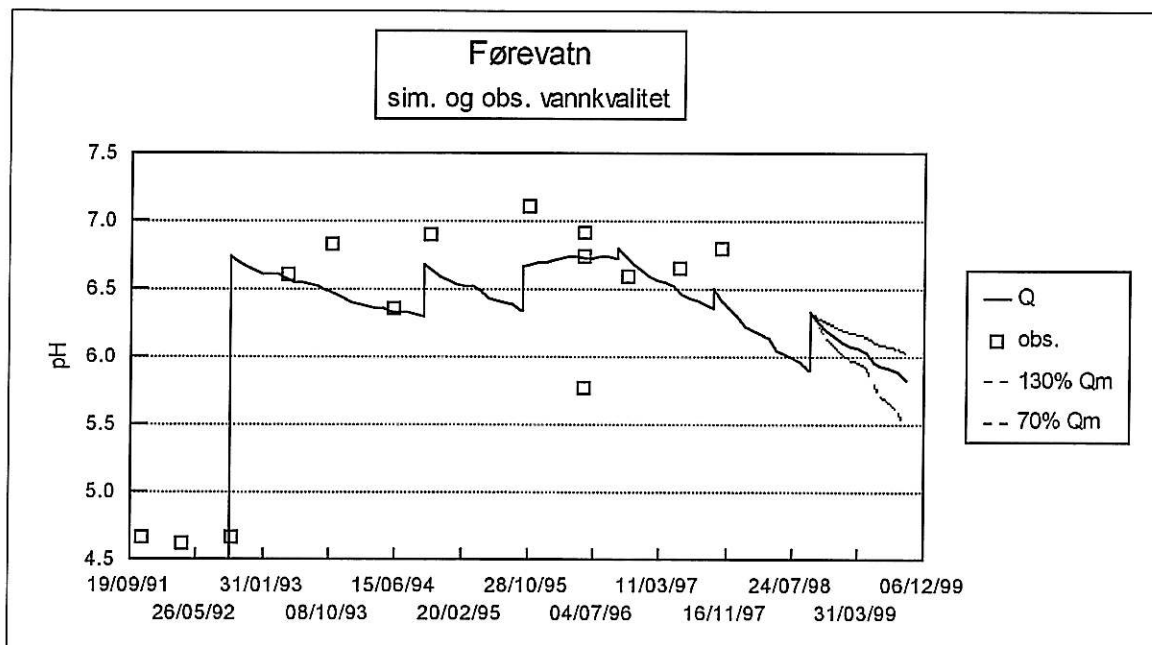
Lokalitet	kalkmengde	
Lisløktjørn	6	t NK3/år
Okstjørn	3	-"
Fiskeløys	15	-"
Hustjørn	5	-"
Mjåvatn	20	-"
<b>sum</b>	<b>49</b>	<b>t NK3/år</b>

Da det har vært visse problemer med å få simuleringene til å stemme med målingene, må disse tallene betraktes som veiledende. Dersom overvåkingen skulle gi resultater som avviker vesentlig fra simuleringene, må systemet gjennomgås på nytt.

**Vurdering:** Først av alt må innsjødata gjennomgås på ny. Deretter må kalkingen komme inn i et visst "mønster". I 1998 og 1999 bør det kun foretas kalking i Hustjørn og Okstjørn. F.o.m. 2000 bør alle innsjøene kalkes årlig. I tillegg bør det tas vannprøver i flere dyp, iallfall i Mjåvatn, og helst også i Fiskeløys.

### 3.7.5 Førevatn

Pga. stor andel skjellsandkalking er det forsøkt å inkludere denne i simuleringene. Simuleringene stemte relativt bra overens med målingene (Figur 23). Det må imidlertid påpekes at målingene (her: utløpsprøver) viste meget stor spredning. Det er trolig at sjiktning gjør at utløpsprøven ikke alltid er representativ for hele innsjøvolumet, og at dette er årsaken til spredningen. Generelt er pH-verdiene i Førevatn høye (6.5-7), så det er åpenbart et innsparingspotensiale. Gjennomsnittlige kalkmengder i perioden innsjøen har vært kalket er 78 t kalksteinsmel + 26 t skjellsand/bekkekalk pr. år.



**Figur 23.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Førevatn. Simulering av 1998-kalkingen viser at pH kan reduseres ned mot 5.5 ved 130 % av normal avrenning.

Kalking med 60 t NK3 i 1998 ga en omkalkings-pH på 5.8 i 1999. Variasjoner i årsavløp på  $\pm 30\%$  gav utslag på  $\pm 0.2-0.3$  pH-enheter. Det er ikke lagt inn bekkekalking i 1998-simuleringen, fordi det ikke er oppgitt at slik kalking fant sted i 1997. Velges likevel å benytte bekkekalking, kan mengden i innsjøen reduseres.

**Vurdering:** Innsjøen kan kalkes med 60 t NK3 i 1998. Noe av dette kan evt. erstattes med skjellsand, men det er usikkert med hvor mye.

## 3.8 Vest-Agder

### 3.8.1 Hellevatn

Innsjøen kalkes i dag kun med skjellsand i innløpsbakk, hvilket i liten grad er simulerbart. I tillegg mangler dybdemålinger, hvilket gjør simuleringer usikre. Det er derfor ikke foretatt noen full gjennomgang av innsjøen. Dersom det antatte middeldyp er riktig og dersom en forutsetter båtkalking med VK3, kan det antydes at en årlig kalkmengde på 70 t/år vil gi pH 6.7 etter kalking og 5.8 ved omkalking.

**Vurdering:** Simuleringer kan ikke gjøres med det foreliggende datagrunnlaget. Kalkingseffekten ved bruk av skjellsand er i seg selv så usikker at simuleringer blir lite interessante. Dette kalkingstiltaket bør gjennomgås med tanke på mål, kalkingsteknikk og dokumentasjon.

### 3.8.2 Storevatn

For Storevatn/Taumevassdraget foreligger kalkingsplan fra 1996 med simuleringer på vannkvaliteten i Taumevassdraget ved kalking av Storevatn. Det ble forutsatt benyttet 210 t FH2 (=VK3) første gang og 165 t ved omkalking. Dette skulle holde pH over 6.0 i Storevatn. Målt vannkvalitet i Holmevatn etter kalking av Storevatn stemmer meget godt overens med de simulerte verdiene fra kalkingsplanen. Det er derfor ingen grunn til å endre på anbefalingene i kalkingsplanen.

**Vurdering:** Kalking som forutsatt i planen; 165 t VK3/år ved omkalking i 1998.

### 3.8.3 Langevatn

Det foreligger kun en vannprøve fra Langevatn etter kalking og ingen før.

**Vurdering:** For sparsomt med data til at simulering vil ha noen mening.

### 3.8.4 Selura

For vannkvalitet fra før første kalking er det kun funnet en prøve fra SNSF-perioden (Sevaldrud og Muniz 1980). Denne var fra 18.11.74 og viste pH=5.03. I mangel av flere oppgitte målinger fra Fylkesmannen er denne pH-verdien benyttet. For Ca mangler før-data, men minst en publikasjon (Andersen et al. 1984) tyder på at målinger foreligger. Fra perioden etter kalking foreligger seks vannprøver (1995-97).

Det er forsøkt simulert på 1995-97-kalkingene i Selura med gitte kalkmengder ved forskjellige bakgrunnskonsentrasjoner av Ca, uten at dette gav vannkvaliteter i nærheten av målte verdier. En nærmere studie av dybdekartet viste at oppgitt middeldyp (15 m) åpenbart var feil. Mye av innsjøen er dypere enn 50 m, og en del er dypere enn 100 m dyp, så middeldypet må være betydelig større enn 15 m.

**Vurdering:** Det mangler bl.a. Ca-målinger fra før første kalking i det tilsendte materialet, noe som er helt sentralt for beregningene. Dersom det tilsendte materialet utgjør alt som finnes av vannkjemi, er det å betrakte som svært sparsomt for en så stor innsjø. Tilløpene synes imidlertid å være godt dekket med pH-målinger. Det bør imidlertid tas utløpsprøver oftere, i tillegg til prøver fra flere dyp et par ganger i året. Grunnen til at simuleringene i liten grad stemte, skyldes både feil middeldyp, og antagelig også vannkjemiske gradienter i innsjøen, slik at utløpsprøven ikke alltid er representativ for innsjøvolumet (sjiktning). Konklusjon: Foreliggende datamaterialet er for sparsomt til at sjøen er simulerbar.

### 3.8.5 Sandvatn

Sandvatn har relativt kort oppholdstid (0.3 år) hvilket gir betydelige variasjoner i vannkvalitet. pH-verdiene har variert fra 5.5 til over 7.0 (**Figur 24**).

Middeldypet synes å være beregnet som middelvei av antatt jevnt fordelte dybdemålinger. Resultatet er oppgitt til 5.3 m. Beregninger på bakgrunn av middel av målinger har i praksis vist seg å overestimere middeldypet. For Sandvatn er det derfor laget et enkelt dybdekart, som er volumberegnet. Resultatet var et middeldyp på 4.7 m. Selv om dette kun er beregnet på grunnlag av en grov skisse av

dybdeforholdene, antas dette tallet å være riktigere enn den oppgitte verdi (5.3 m) og er derfor benyttet i de videre beregninger.

Utfra kartet kan det stilles spørsmål ved om Mjåvatnfeltet drenerer direkte til utløpsbekken eller renner inn i Sandvatn. Dette bør avklares. De oppgitte tall for nedbørfeltet til Sandvatn tyder på at dette feltet ikke er del av Sandvatnfeltet.

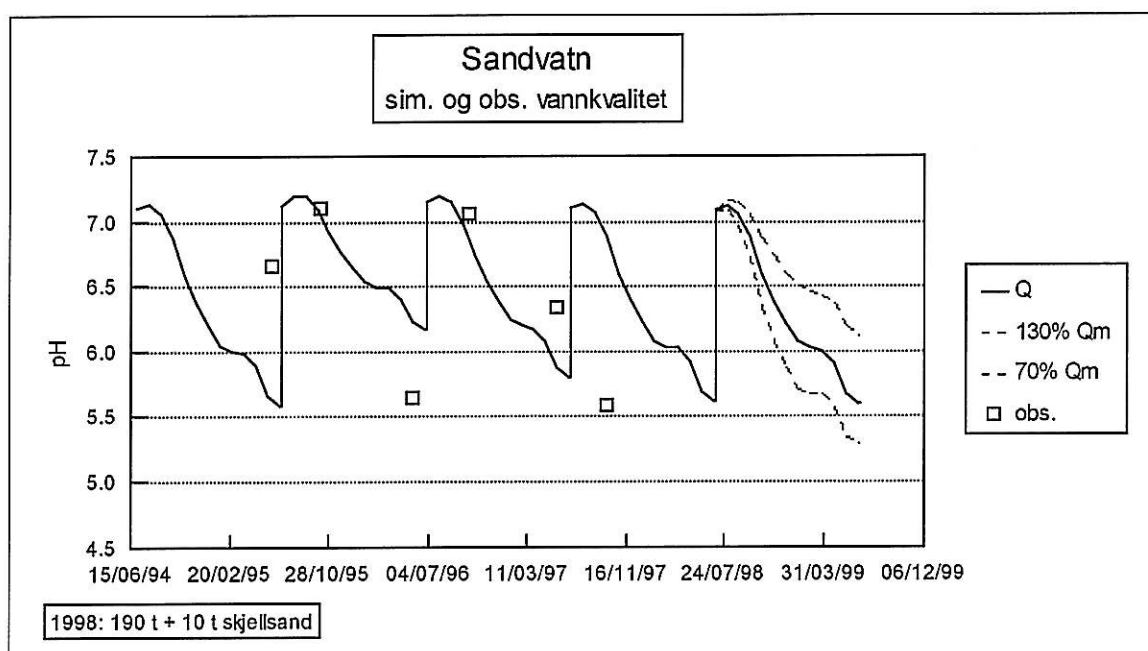
Beregninger på foretatt kalking stemte bra overens med målinger av vannkvalitet (fig.1). De avvik som forekommer antas å skyldes fire forhold:

- **Sjiktning:** Utløpsprøver som ikke er representative for hele innsjøvolumet.
- **Flommer:** Pga. kort oppholdstid vil kraftige flommer raskt, og ofte midlertidig, kunne senke pH betydelig.
- **Kalkingstidspunkt:** Ikke oppgitt. Kan gi store pH-avvik rundt kalkingstidspunkt dersom feil tidspunkt er simulert.
- **Skjellsandkalking:** Det skjellsandkalkes noe i tilløp. Skjellsandkalking er lite simulerbart med den kunnskapen en har om oppløsning.

Det er foretatt simuleringer på 1998-kalking med samme mengde som i 1997 (190 t NK3). Som tidligere år gav dette en svært variabel vannkvalitet. Variasjoner i årsavløp på  $\pm 30\%$  ga  $\pm 0.3-0.4$  pH-enheter etter ett år (**Figur 24**).

**Vurdering:** Sandvatn har for kort oppholdstid til at innsjøkalking kan sikre en noenlunde stabil vannkvalitet. Kalkingen bør derfor dreies over mot kalking i tilløp. Dersom Mjåvatn-feltene drenerer mot Sandvatn er dette aktuelle kalkingsobjekter. Tilsvarende gjelder Buråstjørn i øst. Imidlertid har antagelig disse innsjøene for kort oppholdstid til at vannkvaliteten kan bli stabil i dem. Kalking må derfor i hovedsak begrunnes med ønske om stabilisering av vannkvaliteten i Sandvatn.

Den mest ideelle endringen i kalkingsstrategien vil være en liten kalkdoserer i tilløpet til Sandvatn. En nærmest konstant pH på 5.8-5.9 kan oppnås med dosering av 50 t NK3/år. Dette representerer ca. 25% av dagens kalkmengde.



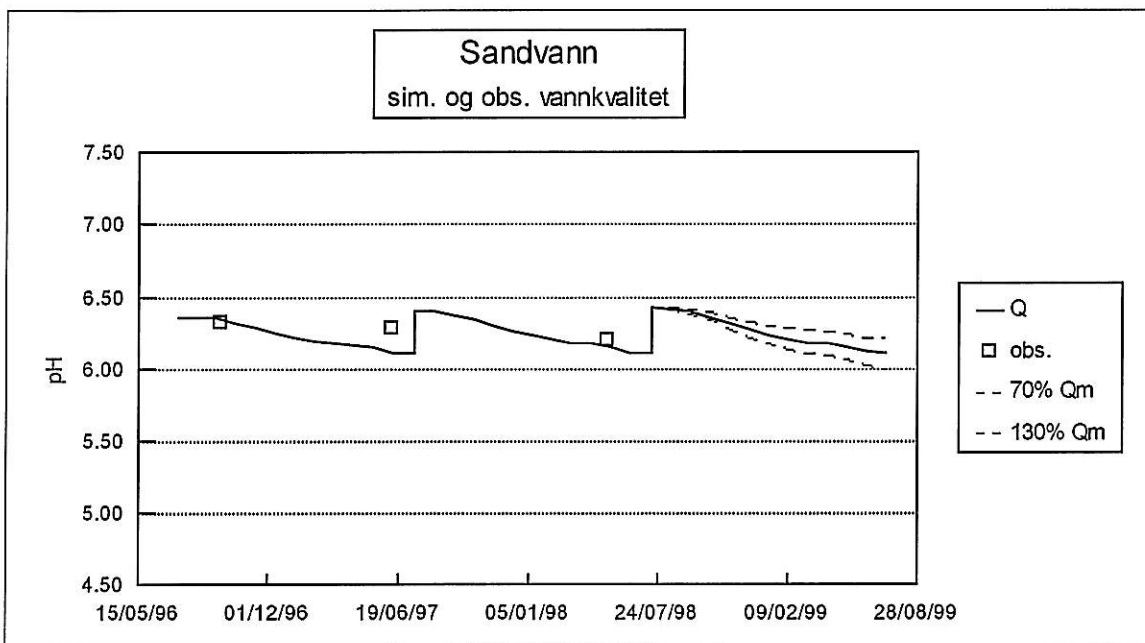
**Figur 24.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Sandvatn. Kort oppholdstid gir raskt pH-avtak etter simulert innsjøkalking i 1998 med 190 t kalk. Høyere avrenning enn normalt gir raskt utslag i ytterligere redusert pH.

### 3.9 Rogaland

Alle de største innsjøene i Rogaland ligger i laksevasdrag, og kalkes derfor til høyere pH-verdier enn mange andre innsjøprosjekter i fylket.

#### 3.9.1 Sandvatn

Sandvatn er den eneste av de beregnede innsjøer i Rogaland som ikke ligger i Søkndalsvassdraget. Sandvatn drenerer til Nes-greinen av Årdalsvassdraget. Innsjøen er relativt nykalket, og har vært kalket kun i 1996 og 1997 med hhv. 300 og 105 t VK3 med båtkalking. Dette har gitt pH-verdier på 6.1-6.4 (Figur 25).



**Figur 25.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Sandvatn, Årdalsvassdraget. 130 % av normal vannføring kan gi reforsuring til pH 6.0 før omkalking.

For 1998 er det forsøkt simulert med 115 t VK3, hvilket gav en omkalkings-pH i 1999 på 6.1. Da innsjøen drenerer til en forsuret lakseelv er det valgt å legge pH-verdiene på et høyere nivå enn for vanlig innsjøkalking i Rogaland.

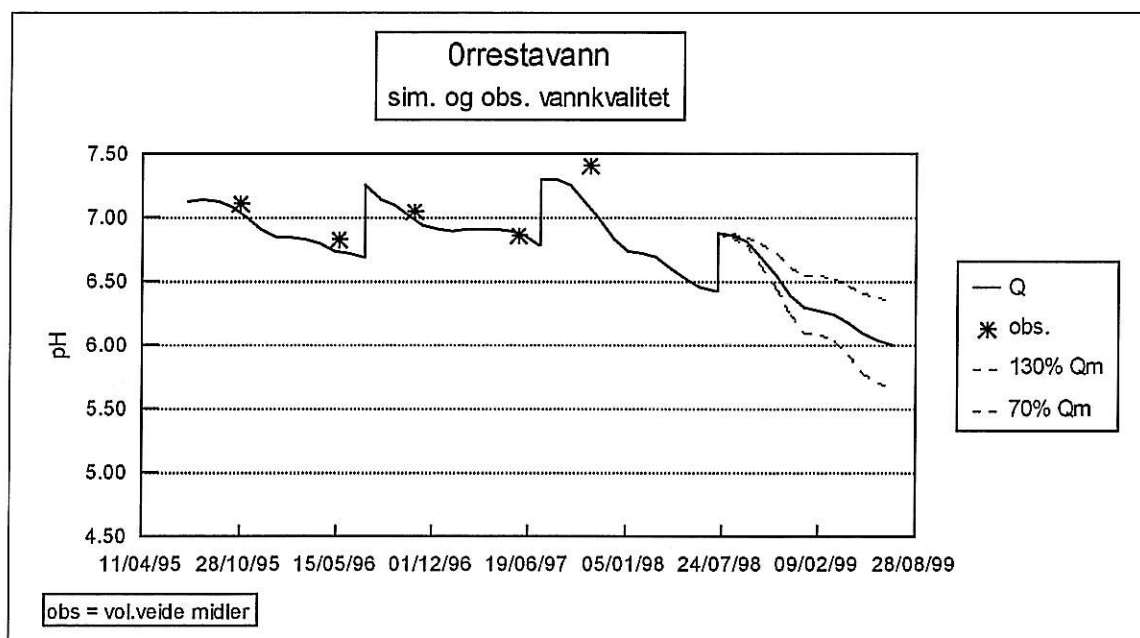
**Vurdering:** Innsjøen bør kalkes med 115 t VK3 i 1998. Det bør sikres en bedre dokumentasjon med hyppigere vannprøvetakinger enn en prøve pr. år.

### 3.9.2 Orrestadvatn

Orrestadvatn har i alle år blitt kalket med ca. 500 t/år, samt kalking av noen innsjøer i tilløp. Dette har gitt pH-verdier på ca. 6.5-7. I de seinere år har imidlertid pH-verdiene vist en økende trend, uten at kalkmengdene er endret. Særlig Ca-verdiene i 1997 var høye. Dette synes å ha to årsaker:

1) Tidligere har innsjøen i liten grad vært sjiktet, og er simulert som en homogent blandet innsjø. De seinere år synes det å ha vært en viss sjiktning, slik at mye vann har rent av i de øvre vannlag, uten å ta med seg kalk av betydning. Dette har medført ekstrem-verdier for Ca i dypere lag av innsjøen (24.10.97 - 60 m: Ca=8.9 mg/l), mens øvre vannlag hadde moderate verdier (24.10.97 - 8 m: Ca=2.7 mg/l).

2) En sjøsalt-episode vinteren 1997 medførte forhøyde Ca-verdier på en del overvåkningsstasjoner. I Frafjord, som bare ble moderat påvirket av denne episoden, viste Ca-verdiene økninger på ca. 0.5 - 1 mg/l. Ca-økningen har antagelig vært større i områder som ble hardere påvirket. Dette støttes av at differansen  $Ca_{obs} - Ca_{sim}$  i kalkede innsjøer i Rogaland avtok signifikant ( $T=-5.90$ ,  $n=170$ ) med økende høyde over havet i denne perioden. Effektene av en slik sjøsaltepisode på simuleringene, er først og fremst for høye Ca-verdier ved en gitt pH-verdi (evt. for lav pH ved en gitt Ca-verdi).



**Figur 26.** Målt pH (stjerner) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Orrestadvatn. 130 % av normal avrenning kan gi pH ned mot 5.7 før omkalking. Merk at målingene er volumveide middelverdier for innsjøen.

I 1997 ble systemet kalket med i alt 595 t VK3, hvorav 500 t i selve Orrestadvatn. Pga. akkumuleringen av kalk de seinere år er mengdene i 1998 foreslått redusert til 278 t, hvorav 215 t i Orrestadvatn. Dette vil holde pH over 6.0 hele året (**Figur 26**).

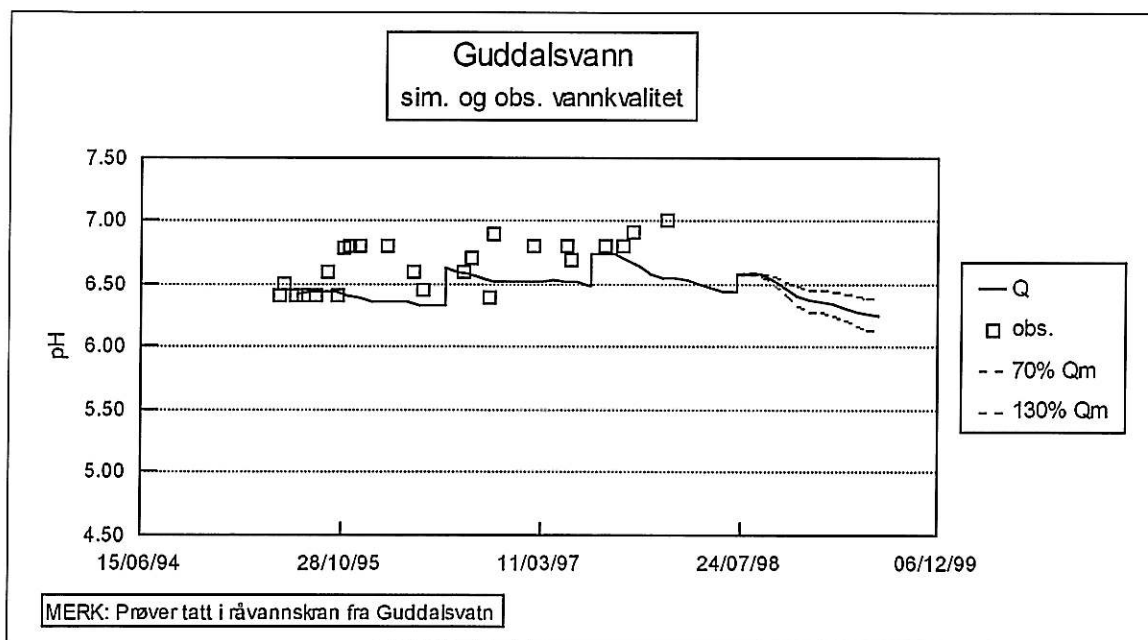
**Vurdering:** Orrestadvatn-systemet bør i 1998 kalkes med 278 t VK3. Det antas at reduksjonen i kalkmengde er midlertidig. Det kan neppe forventes at nåværende sjiktningmønster vil vedvare.



### 3.9.3 Guddalsvatn

Guddalsvatn er drikkevann for tettstedet Hauge i Dalane. De vannkjemiske data fra dette vannet stammer vesentlig fra en "råvannskran" i Hauge. Vannet herfra representerer bunnvann (dyp=20-25 m) i Guddalsvatn.

Simuleringene gir systematisk for dårlig vannkvalitet (**Figur 27**). Dette antas å skyldes at vannprøvene ikke er helt representative pga. prøvetagingssted og -dyp (jfr. forrige avsnitt). Oppløsning av kalk nær bunnen kan gi høyere Ca-konsentrasjon enn i resten av vannmassen og eventuelt også høyere pH hvis det ikke er betydelig overmetning med CO<sub>2</sub>.



**Figur 27.** Målt pH (firkanter; råvann fra 20-25 meters dyp) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Guddalsvatn.

For Guddalsvatn gjelder samme betraktninger om sjiktning/sjøsalt som for Orrestadvatn. Også her har pH og Ca-verdiene vært høyere de siste 2-3 år enn årene før, til tross for kalkmengder i samme størrelsesorden.

Det er forutsatt kalking i 1998 med 90 t VK3. Dette vil gi en pH-verdi på ca. 6.2 ved omkalking i 1999. Også her er pH ved omkalking lagt høyt av hensyn til laksen i Sokndalsvassdraget.

**Vurdering:** Guddalsvatn bør i 1998 kalkes med 90 t VK3. Som for Orrestadvatn må det antas at kalkmengdereduksjonene er midlertidige.

### 3.9.4 Heigravatn

Heigravatn er først og fremst kalket for å sikre vannkvaliteten i Eiavatn rett nedstrøms. Selve Heigravatn er sterkt regulert (6 m), og både volum og avrenning er derfor i betydelig grad årstidsavhengig. Magasinvolumentet utgjør alene ca. 40% av et årsavløp. Dette gjør at simuleringene i utgangspunktet er forbundet med usikkerhet.

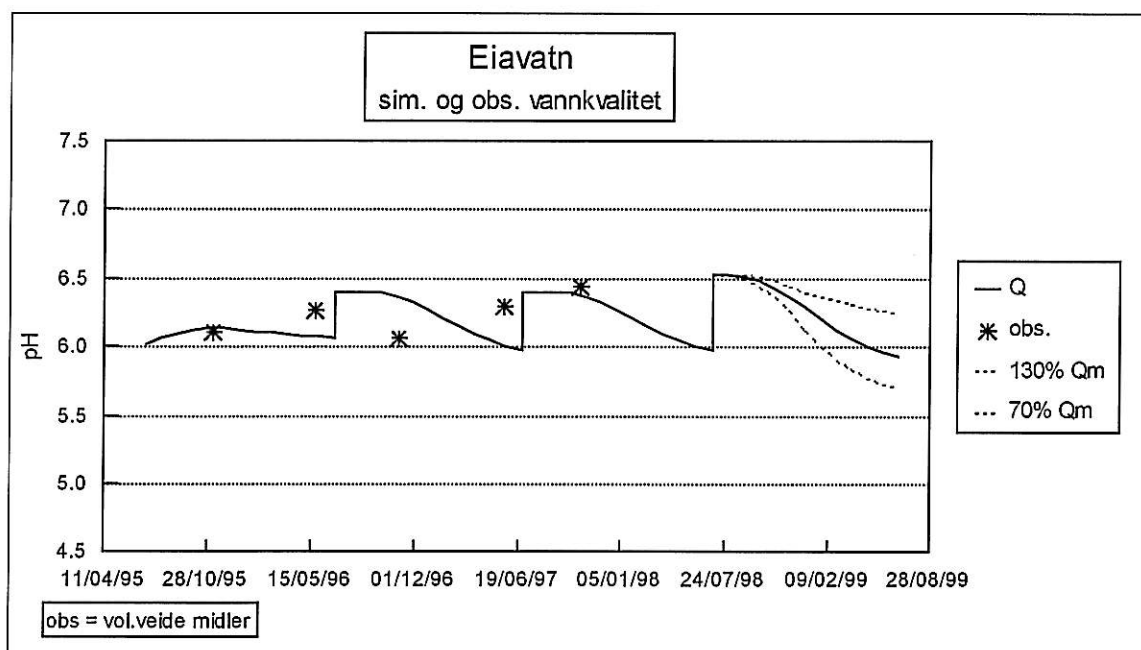
Heigravatn er opploddet, men volumet er ikke beregnet. Opploddingen ble gjort ved høyeste regulerte vannstand (HRV). Store områder av innsjøen var 10-15 m dype, og største dyp var ca. 30 m. I vinterhalvåret tappes innsjøen ned mot LRV. Det er derfor benyttet et "middeldyp over året" på 10 m.

Innsjøen er simulert for at resultatet kan legges inn i simuleringen for Eiavatn, som er mål-lokaliteten i dette systemet. Det foreligger sparsomt med vannkjemiske data fra Heigravatn, men simuleringer og målinger antyder pH-verdier på 6-7.

**Vurdering:** Innsjøen bør fortsatt kalkes med kalk tilsv. 250 t VK3/år.

### 3.9.5 Eiavatn

I tillegg til noe kalking av tilløp, ble Eiavatn de første år kalket direkte. Dette ga imidlertid ustabil vannkvalitet, og tyngden av kalkingen ble derfor flyttet til Heigravatn, se foregående avsnitt. Etter 1995 har derfor vannkvaliteten i Eiavatn holdt seg på et relativt høyt og stabilt nivå (**Figur 28**).



**Figur 28.** Målt pH (stjerner) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Eiavatn. 130 % av normal avrenning kan gi 0.2-0.3 enheter lavere pH ved omkalking.

I 1998 er kalkmengdene i oppstrømslokalitetene forutsatt å bli som tidligere. I selve Eiavatn måtte mengden økes til 200 t VK3 for å få pH=6.0 etter ett år. Endringer i årsavløp på  $\pm 30\%$  gir pH-endringer på  $\pm 0.2-0.3$  pH-enheter etter ett år (**Figur 28**). Grunnen til at mengdene må økes for å holde samme vannkvalitet som tidligere, er at totalt avløp disse årene har vært en del under normalen (1995: 58% og 1996: 95%).

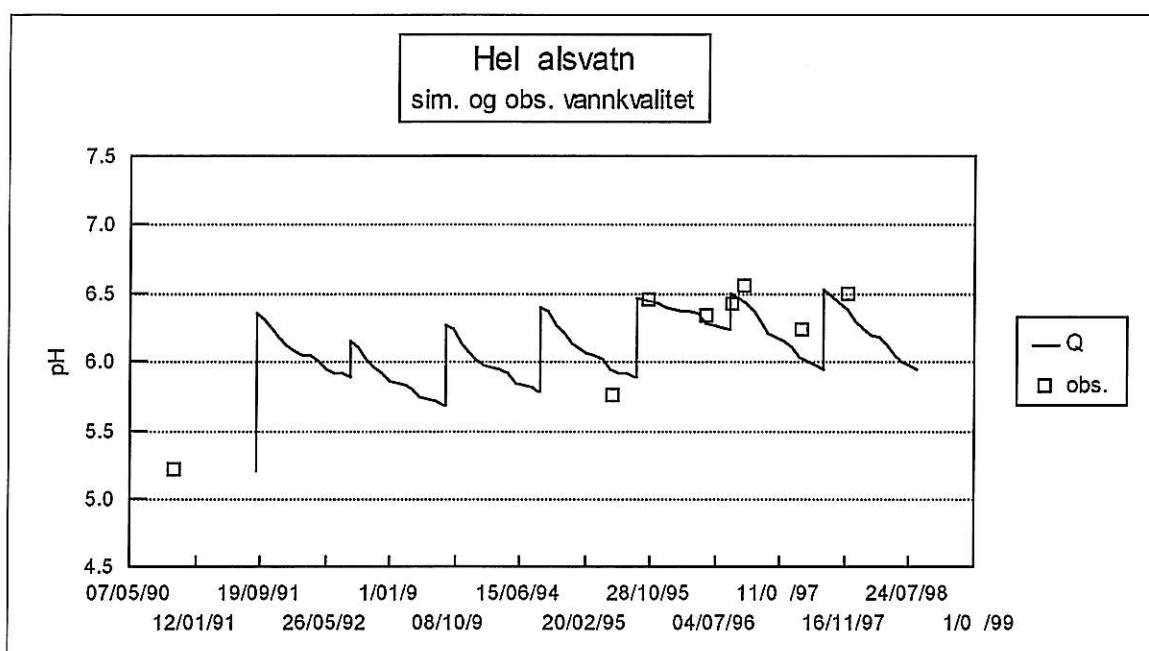
**Vurdering:** I 1998 foreslås at kalkmengden er som tidligere i lokalitetene oppstrøms, men øket til 200 t i selve Eiavatn.

### 3.10 Sogn og Fjordane

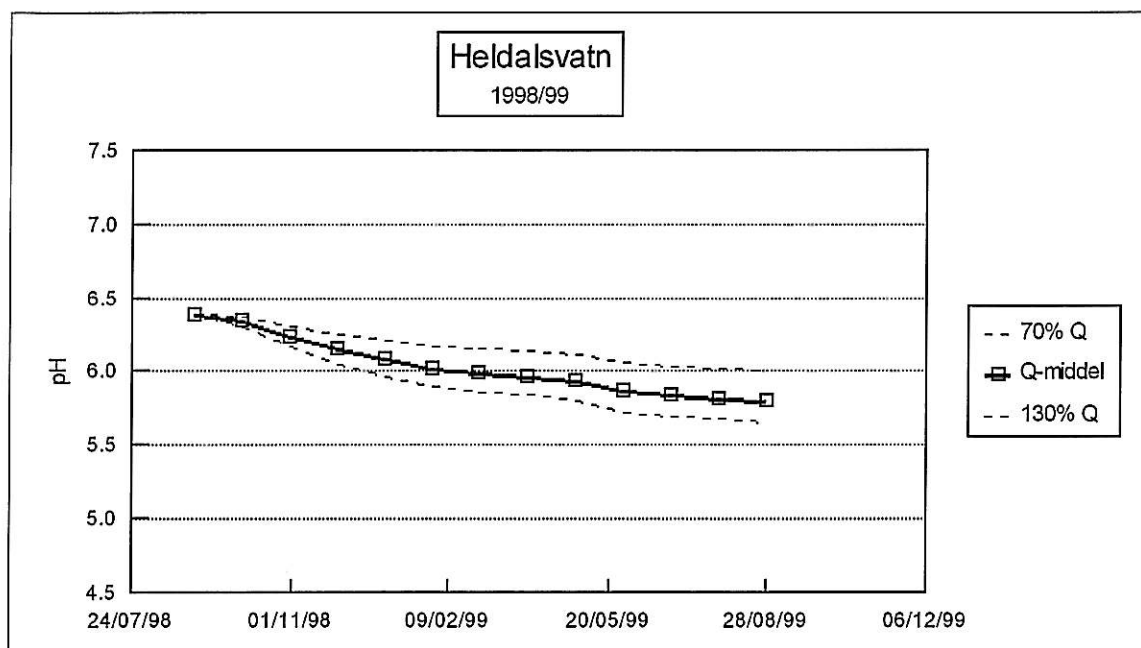
I Sogn og Fjordane har de fleste av innsjøene meget kort oppholdstid, i tillegg til at de som oftest bare har vært kalket noen få år. Dette gjør at det er av mindre betydning for de videre kalkinger å simulere "kalkingshistorien" for de forskjellige innsjøene. Dette er kun gjort for Heldalsvatn for å kontrollere simuleringene. I simuleringene er systemene førstegangskalket, og deretter omkalket etter ett år. Det antas at omkalkings-mengdene tilsvarer omtrent årlige mengder og kan benyttes fra og med 1998.

#### 3.10.1 Heldalsvatn

Heldalsvatn er kalket med dugnadskalking (manuell spredning av tørr kalk fra båt) siden 1991. Innsjøen er simulert som "helikopteralking" da denne spredningen i stor grad vil tilsvare "dugnadskalking" mhp. kalkopløsning (tørrespredning). Simuleringer på tidligere kalkinger har vist at vannkvaliteten har bedret seg fra ca. 5.6-6.4 ved de første kalkinger, til 6.0-6.5 ved de seinere års kalkinger (**Figur 29**).



**Figur 29.** Målt pH (firkanter) og simulert pH-utvikling (hel linje) på basis av midlere avrenning (Q-middel) i Heldalsvatn fram til 1998 (1998-kalkingen er vist i **Figur 30**).



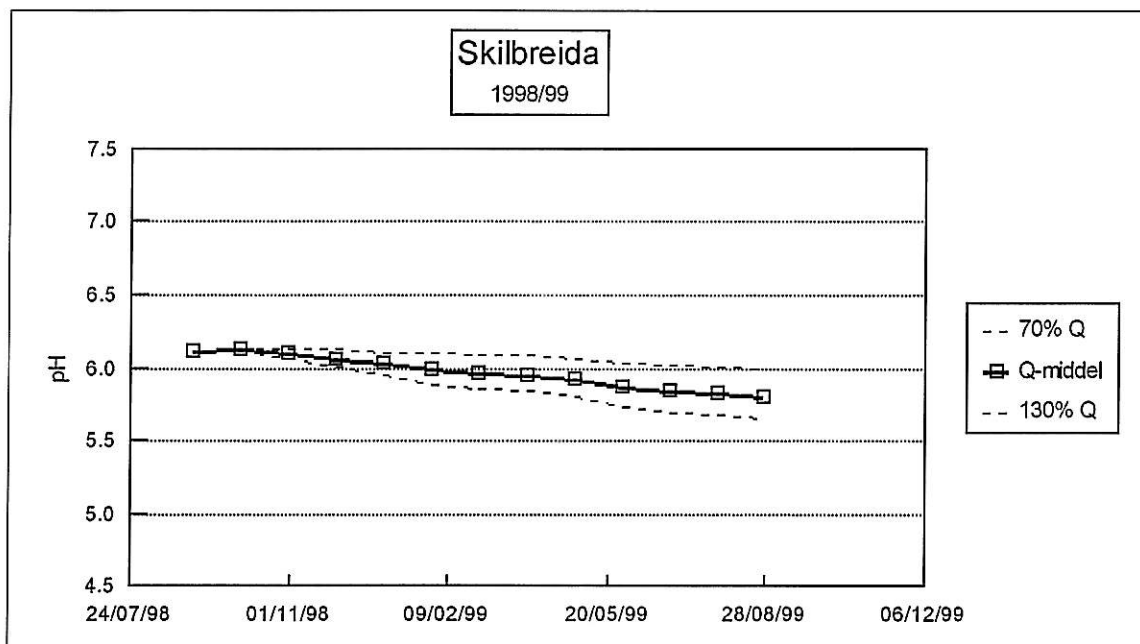
**Figur 30.** Simuleringer av forutsatt kalking i Heldalsvatn i 1998. 130 % av normal avrenning gir noe lavere pH ved omkalking, mens 70 % gir noe høyere.

Ved omkalking i 1998 er det forutsatt brukt kalk tilsvarende 6 t VK3, hvilket vil gi pH=5.8 ved omkalking etter ett år (Figur 30). Det kan nevnes at 10 t vil gi pH=6.0 etter ett år.

**Vurdering:** I Sogn og Fjordane ønskes pH=5.8 ved omkalking (Merete Farstad pers. medd.). Dette gir en kalkmengde for Heldalsvatn på 6 t VK3/år. Systemet er relativt stabilt mhp. variasjoner i nedbør fra år til år. En variasjon i årsnedbør på  $\pm 30\%$  tilsvarer  $\pm 0.2$  pH-enheter ved omkalking etter ett år. Grunnen til dette er lang oppholdstid.

### 3.10.2 Skilbreida

Også Skilbreida har relativt lang oppholdstid, hvilket gir muligheter for stabil vannkvalitet. I tillegg ligger tre tjern i tilløp, som utfra et kalkingsøkonomisk synspunkt bør være med i strategien. Det er forutsatt omkalking ved  $\text{pH}=5.8$  i Skilbreida, hvilket gir en samlet kalkmengde for systemet på 24.5 t VK3/år fra og med 1998.

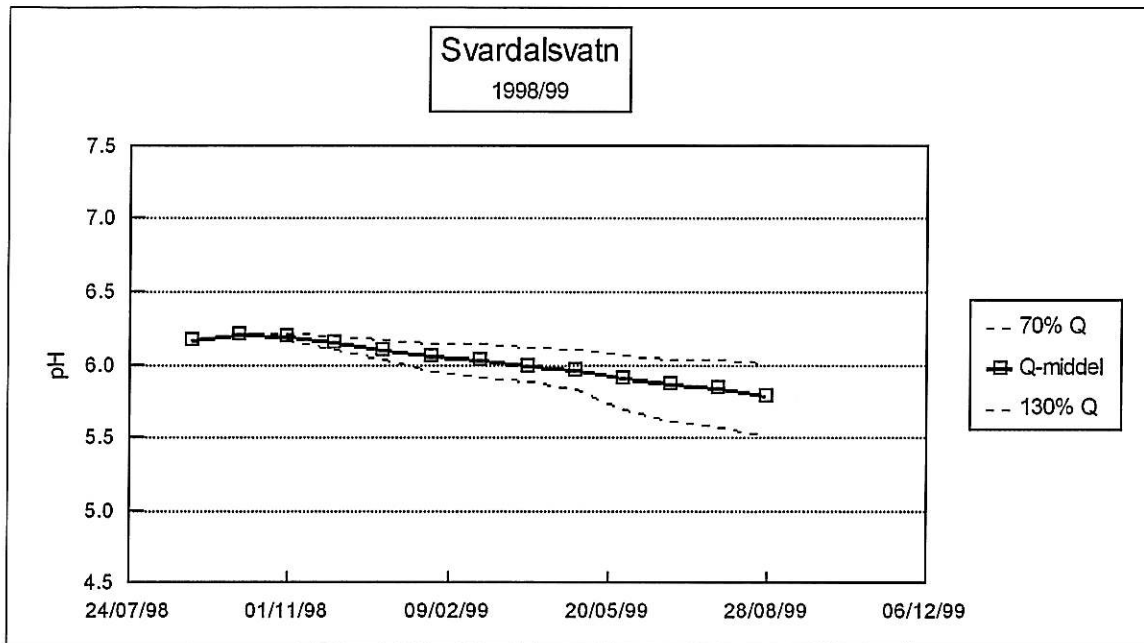


**Figur 31.** Simuleringer på forutsatt kalking i 1998. 130 % av normal avrenning gir noe lavere pH ved omkalking, mens 70 % gir noe høyere.

**Vurdering:** En samlet kalkmengde på 24.5 t/år vil gi pH-verdier på 5.8-6.4 (**Figur 31**) i Skilbreida, og 6.2-7.0 i tjernene i tilløpet. Systemet er relativt stabilt mhp. variasjoner i nedbør fra år til år. En variasjon i årsnedbør på  $\pm 30\%$  tilsvarer også her  $\pm 0.2$  pH-enheter ved omkalking etter 1 år.

### 3.10.3 Svardalsvatn

Svardalsvatn er et relativt stort vann, med kun noen mindre tjern lenger oppe i feltet. Også disse er imidlertid tatt med i beregningene. Det trenges i alt 109 t VK3/år, hvorav 45 t i selve Svardalsvatn, for å oppnå pH=5.8 ved omkalking etter ett år. En del av tjernene i tilløpet har kort oppholdstid, noe som gir ustabil vannkvalitet og hurtig gjenforsuring. Kalking her er likevel av betydning for selve Svardalsvatn både mhp. kalkforbruk og stabilitet av vannkvaliteten.



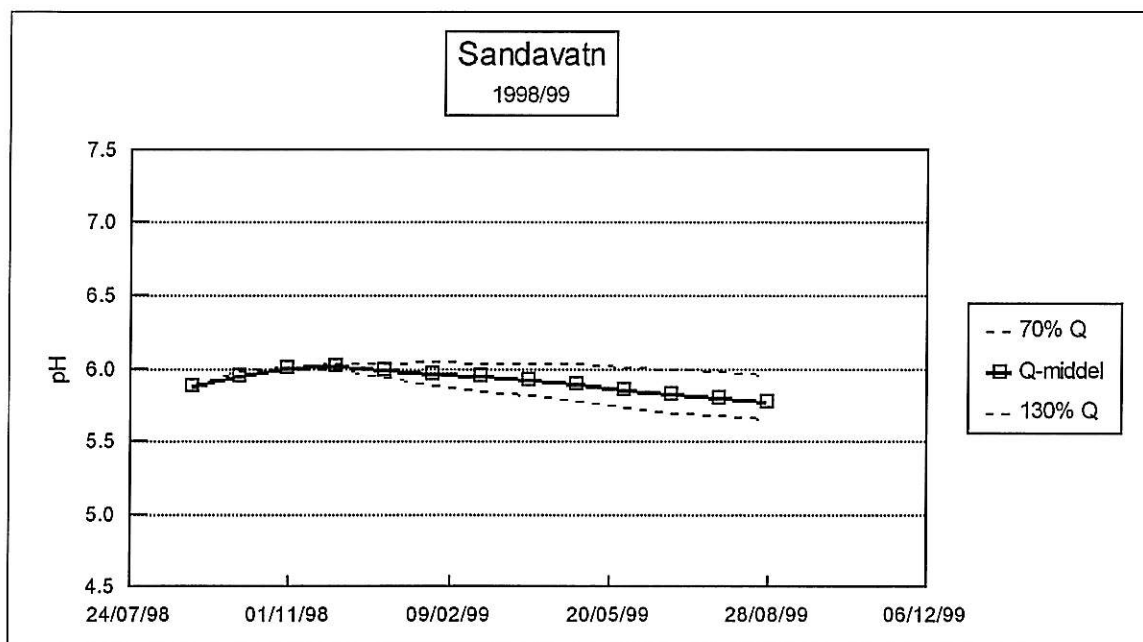
**Figur 32.** Simuleringer av forutsatt kalking av Svardalsvatn i 1998. 130 % av normal avrenning gir pH-reduksjon ned mot 5.5 i perioden.

**Vurdering:** Den forutsatte kalking vil gi en meget stabil vannkvalitet i Svardalsvatn. pH-verdiene vil variere mellom 5.8 og 6.2 (**Figur 32**). Systemet er imidlertid noe mindre robust mhp. variasjoner i årsnedbør enn de ovennevnte. En variasjon i årsnedbør på  $\pm 30\%$  tilsvarer  $\pm 0.2-0.3$  pH-enheter ved omkalking etter ett år.

### 3.10.4 Guddal (Sandavatn)

Denne delen av Guddalsvassdraget har innsjøer med relativt korte oppholdstider (ca. 0.3 år), men de ligger i serie slik at det likevel kan oppnås en relativt stabil vannkvalitet i systemet. En pH ved omkalking (Sandavatn) på 5.8 gir et samlet kalkforbruk på 43 t VK3/år.

**Vurdering:** Kalkingen vi gi en nærmest konstant vannkvalitet på pH ca. 5.9 i Sandavatn (**Figur 33**). For vatna i tilløp vil pH-verdiene variere fra ca. 6.2-7.0 over året. Systemet er meget robust, og en variasjon i årsnedbør på  $\pm 30\%$  tilsvarer kun  $\pm 0.1-0.2$  pH-enheter ved omkalking etter ett år.

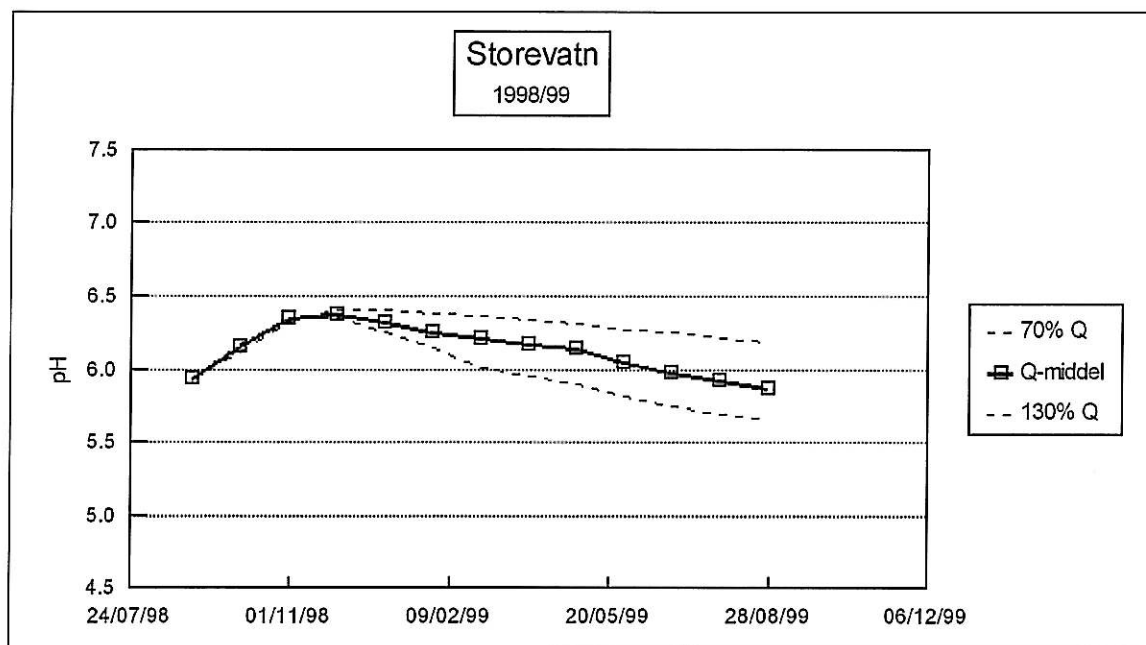


**Figur 33.** Simuleringer av forutsatt kalking av Sandavatn i 1998. 130 % av normal avrenning gir noe lavere pH ved omkalking.

### 3.10.5 Storaker/Lihesten

Storaker/Lihesten er det største av de beregnede systemer, og dagens kalking omfatter i alt ni tjern/vatn av varierende størrelse. Totalt 25 vann inngår imidlertid i nedbørfeltet (tabell). Oppholdstidene er relativt korte (0.03-0.40 år), men systemet lar seg likevel "serie-kalkes". Totalt blir kalkforbruket 72 t VK3/år for hele systemet, hvorav 40 t i Ø. Trollebotvatn.

**Vurdering:** Omkalkings-pH er lagt noe høyere i dette systemet (pH=5.9) pga. korte oppholdstider (**Figur 34**). Mange av innsjøene oppe i feltet har store vannkvalitetsvariasjoner over året, men de er tatt med for å redusere de totale kalkmengdene, samt å stabilisere vannkvaliteten i nedre deler. Systemet er noe mindre robust enn de andre, og en variasjon i årsnedbør på  $\pm 30\%$  tilsvarer  $\pm 0.2-0.3$  pH-enheter ved omkalking etter ett år.



**Figur 34.** Simuleringer på forutsatt kalking av Storevatn i 1998, se tekst. 130 % av normal avrenning kan gi noe lavere pH ved omkalking.



### 3.11 Fylkesoversikt for brukte og anbefalte kalkmengder

Beregninger for de innsjølokaliteter i denne undersøkelsen som med rimelig grad av sikkerhet kunne simuleres viser at det var mulig å redusere kalkmengdene med 32 % i 1998 basert på resultater av gjennomført kalking i 1996/97 og omkalking ved pH 6.0 (Tabell 10). Tabellen viser det antallet innsjøer i hvert fylke som ligger til grunn for beregningen. Både hovedlokalitet og oppstrøms beliggende innsjøer er med i denne beregningen. Det høye antallet for Telemark skyldes at ca. 80 innsjøer ligger oppstrøms Bjårvatn.

**Tabell 10.** Oversikt over brukte (1996, 1997 og middelet for 1996 og 1997) og anbefalte (simulert 1998) kalkmengder i innsjølokaliteter omfattet av denne rapporten. Kun lokaliteter som kan simuleres med rimelig grad av sikkerhet er inkludert her. Alle kalkmengder er gitt som tonn VK 3-kalk for sammenliknbarhetens skyld.

Fylke	Antall innsjøer	Brukt kalk, 1996	Brukt kalk, 1997	Brukt kalk, md -96/97	Anbefalt kalk (1998)
Hedmark	2	282	256	269	50
Oppland					
Østfold	40	226	55	141	140
Vestfold					
Buskerud	10	226	174	200	28
Telemark	93	2018	1319	1668	1250
Aust-Agder	10	331	511	421	213
Vest-Agder	5	190	400	295	215
Rogaland	13	1447	1287	1367	945
Sogn og F.	25	193	228	211	255
<b>Totalt</b>	<b>198</b>	<b>4913</b>	<b>4230</b>	<b>4572</b>	<b>3095</b>

Det er valgt å bruke et middel for 1996/1997 som årlig kalkmengde før simulering (1998-kalkingen). På den måten har en tatt hensyn til de justeringer av kalkmengder en eventuelt har gjort de siste årene. I enkelte tilfeller, spesielt for innsjøer med svært lang oppholdstid etter norske forhold, kan dette likevel gi et feilaktig bilde av de gjennomsnittlige årlige kalkmengder. Ved kalking hvert tredje år, som et tenkt eksempel, kan en kalking ha skjedd i 1995, mens ingen kalking ble utført i de to årene 1996 og 1997. Dette gir da null kalk mens lokaliteten i virkeligheten kalkes. For hele materialet antas det imidlertid at usikkerheten ved bruk av denne metoden ikke er avgjørende.

All kalk er beregnet som VK3 kalk, slik det er redegjort for. Denne omregningen er beheftet med noe, men ikke stor, usikkerhet.

## 4. Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres først en del forhold omkring mål og strategier ved innsjøkalking. Deretter diskuteres datakvalitet og begrensninger ved bruk av simuleringer. Til sist går vi inn på behov for og muligheter til å endre dagens kalkingspraksis, og vi gir en del anbefalinger som kan gi en ytterligere optimalisering av kalkingsarbeidet i fylkene.

### 4.1 Målet med kalkingen og kalkingsstrategi

Generelle mål med kalkingstiltak er å bevare eksisterende fiskebestander, gjøre forholdene akseptable i fisketomme vann slik at reetablering kan skje og å bevare det biologiske mangfoldet.

Det bør knyttes vannkjemiske mål (pH-mål) til de spesifikke biologiske målsettingene i hver enkelt lokalitet. Spesifikke kjemisk-biologiske målsettinger er imidlertid i svært liten grad gitt eller de er redegjort for på et så sent stadium i gjennomføringen av dette arbeidet at det har vært vanskelig å ta tilstrekkelig hensyn til det i beregningene. Vi har derfor valgt å legge de generelle retningslinjer fra Direktoratet for naturforvaltning (DN) til grunn, slik de er gjengitt i kalkingshåndboka (DN 1990), men har spesifisert pH-målene i forbindelse med simuleringene. I noen tilfeller er disse generelle målene fraveket, men da er det forklart i teksten.

Flere forhold kan ligge til grunn for å fastsette vannkvalitetsmål. Det er derfor behov for å nyansere de generelle målene og gjøre dem operative for enkeltlokaliteter, også i forhold til langsiktige endringer i forsurenings situasjonen. Vi vil nevne noen momenter som har betydning.

De aller fleste norske innsjøer har lang isleggingsperiode (Økland 1983), og gjenforsuring under isen pga termiske sjiktning (Barlaup et al. 1998) er sannsynligvis svært utbredt. Bekker og innsjøer som ligger nedstrøms islagte innsjøer vil forsures under regn og snøsmelting ved at det sure smeltevannet renner videre nedover i vassdraget. Dette er blant annet et relevant problem for flere av de innsjøene i Buskerud som inngår i denne undersøkelsen pga utløpsgytende aurebestander. Alternative kalkingsstrategier enn kun innsjøkalking kan være bedre enn å legge ekstra store kalkmengder i selve innsjøen. For innsjøer med kort isleggingsperiode langs kysten av Sørvest- og Vestlandet vil effekten være mindre dramatisk.

Innsjøer med kort oppholdstid vil også i mange tilfeller representere et ustabil vannkjemisk miljø for forsuringfølsomme organismer også etter kalking fordi gjenforsuring kan skje raskt under kraftige flomsituasjoner. Simuleringene for de innsjøene som har kort oppholdstid viser at de også er mer utsatt for avvikende avrenning. 130 % av normal avrenning gir i flere tilfeller beregnede pH-forskjeller på flere tideler ved omkalkingstidspunktet.

På grunn av mulighetene for ustabil vannkvalitet etter kalking av innsjøer med kort oppholdstid og fordi selv en godt kalket innsjø som regel vil gjenforsures i strandsonen i løpet av den islagte perioden, bør oppmerksomheten omkring mål og strategier økes (Hindar 1997).

Redusert svovelnedfall over hele Sør-Norge de senere år har medført 40-55 % nedgang i sulfatkonsentrasjonen fra 1980 og en påfølgende vannkvalitetsforbedring (Lükewille et al. 1998; SFT 1998). Eksempelvis er middel-pH i referanselokaliteten Lille Hovvatn økt fra 4.5 til 4.8 de siste 10 årene, og konsentrasjonen av labilt aluminium (den giftige fraksjonen) er redusert med nesten 50 %. En kan forvente at kalkbehovet allerede er sterkt redusert, og i noen områder ikke lenger til stede

(Henriksen et al. 1996; Hindar et al. 1998 a). Kalkingsstrategien må ta hensyn til dette. En kan for eksempel tenke seg at antall innsjøer som er kalket i serie kan reduseres nedefra, at hyppigheten kan reduseres fordi gjenforsuringen skjer seinere og at kalkmengdene reduseres. Slike endringer vil føre til reduserte kostnader i igangsatte prosjekter slik at nye tiltak kan igangsettes om det er ønskelig. Kunnskapen om denne generelle utviklingen er noe av grunnlaget for gjennomføring av denne undersøkelsen, men for å ta hensyn til en generell bedring av vannkvaliteten må en også ha tilstrekkelig kjennskap til vannkvaliteten i den enkelte lokalitet.

Det er ikke utviklet noen form for metodikk eller kriteriesett for å vurdere når kalking bør avsluttes. Men et godt vannkjemisk overvåkingsprogram for den enkelte lokalitet vil vise om kalkingstiltaket kan endres som følge av redusert forsuring eller feildosering. Datakvaliteten i det foreliggende materialet gjør sitt til at endringer i kalkingstiltaket som følge av endringer i forsuringssituasjonen vanskelig kan dokumenteres. Det skyldes flere forhold, som er belyst i neste avsnitt.

## 4.2 Datakvalitet og simulering

For å gjennomføre pålitelige simuleringer må en ha et tilsvarende godt datamateriale for ulike forhold. Det som kjennetegner dataprogrammet TPKALK er at det kreves et minimum av slike data. pH og kalsium er eneste vannkjemiske parametre. I tillegg kreves data for vannføring, arealer, innsjødyp, samt kalkkvalitet og kalkmengder. Alt dette er data som en uansett må ha for å beregne kalkbehovet eller som skal registreres likevel i forbindelse med søknad om kalkingstilskudd.

Kvaliteten på bakgrunnsdata for innsjø og kalking, samt innsamlede vannkjemiske data er svært variabel, se kapittel 2. Det er flere eksempler på at nødvendige data ikke kan framskaffes. Det er betenkelig fordi de utvalgte innsjøene er valgt ut blant fylkenes større prosjekter. En kan frykte at kvaliteten er dårligere i tiltak som er mindre enn disse og som ikke kom med i utvalget. Det er imidlertid også eksempler på at oppfølging og datahåndtering er oversiktlig, at vannprøver samles inn og brukes på en nyttig måte og at kalkingstiltakene er nær optimale.

Fordi praksis, men også innsjøkarakteristika, ser ut til å være ulik i fylkene, kan det være behov for en gjennomgang av både rutiner og prøvetakingsstrategi. En vurdering av innsjølokalitetenes størrelse, oppholdstid og betydning kan gi grunnlag for ulikt parametervalg og prøvetakingshyppighet. Analysekvalitet, datalagring og bruk av de innsamlede data kan trolig bedres. Data om innsjøen, spesielt dybdeberegninger, må kvalitetssikres fordi de er essensielle for pålitelige beregninger av kalkdose og kalkingshyppighet. En slik gjennomgang bør gjøres med bakgrunn i det behovet en har for å korrigere kalkingstiltaket i forhold til redusert forsuring, systematisk feildosering og hydrologiske forløp som avviker fra normalsituasjonen.

En økt innsats på dette området, dvs. flere analyser og mer systematisk bruk av data, kan isolert sett øke kostnadene. På den annen side kan kostnader forbundet med selve kalkingstiltaket reduseres tilsvarende og sikkert enda mer ved at det kalkes med bedre tilpassede kalkdoser.

Også et simuleringsprogram har svakheter. Det gjøres forenklinger og det tas utgangspunkt i forhold som forventes å inntreffe i framtida. Noen av svakhetene og usikkerhetene nevnes her.

Ulike klimatiske forhold mellom deler av landet kan gi ulike gjenforsuringsforløp for innsjøer av samme volum og nedbørfeltareal. Dette kan simuleringsprogrammet til en viss grad ta hensyn til ved at vårsmeltingen eller deler av den kan tas vekk fra gjenforsuringsberegningen for lokaliteter med lang isleggingsperiode. I slike lokaliteter vil en del av smeltevannet renne som en elv oppunder isen uten å

fortynne det kalkede vannet under. Denne korreksjonen er forbundet med en vanskelig kvantifiserbar usikkerhet.

Langtidsoppløsning av kalk etter innsjøkalking, det vil si oppløsning av den kalken som i første omgang synker ned på innsjøbunnen, avhenger av vannkvalitet ved kalkingstidspunktet, innsjødyp og oppholdstid. Det er gjort lite systematiske forsøk på å finne ut hvordan de ulike faktorene påvirker denne langtidsoppløsningen. Videre er kalkoppløsning og vannkvalitetseffekter i sterkt humøse lokaliteter er beheftet med mere usikkerhet enn i klarvannslokaliteter fordi programmet først og fremst er brukt for den sistnevnte gruppen av innsjøer.

Summen av usikkerhet forbundet med de forenklinger som gjøres og at forutsetninger ikke er oppfylt kan være større eller mindre og vanskelig å kvantifisere. Med tilstrekkelige data minimaliseres imidlertid usikkerheten til det en må regne med ved beregninger for framtidige forhold. Programmet kan kalibreres mot eksisterende data og med gode dataserier kan en del forhold justeres eller feil oppdages. Dette er gjort i denne undersøkelsen der det har vært grunnlag for det. Resultatet av simuleringen kan likevel avvike fra den faktiske utviklingen i innsjøen. Det er blant annet fordi hydrologiske forhold varierer sterkt fra år til år og at avrenningsmønsteret er mer komplisert enn det en enkel fortynningsmodell kan ta hensyn til.

Det er viktig å være klar over at bruken av slike beregningsprogrammer er et hjelpemiddel for å komme fram til en best mulig beregning av kalkdose og hyppighet. Alternativet med bruk av enklere hjelpemidler vil som regel være at det legges inn unødige store sikkerhetsmarginer for at feilberegning ikke skal skje. Bruk av de beregningene som Kalkingshåndboka (DN 1990) anbefaler vil i større lokaliteter sannsynligvis gi for store kalkmengder. Kalkdose i forhold til pH før kalking, kalkmengde i forhold til oppholdstid (overdoseringsfaktoren), effekt av langtidsoppløsning og kalkingshyppighet er faktorer som bør nyanseres. Enkelte fylker bruker håndboka eller enda enklere hjelpemidler til beregningene. Det kan forklare en del av den innsparingen som det er mulig å gjøre.

### **4.3 Behov og muligheter for endring av kalkingsstrategi**

Det er et generelt inntrykk at det har skjedd en utstrakt overkalking i mange innsjøer. Årsakene til dette er sikkert flere, og en del forhold er allerede påpekt. De simuleringene som er gjennomført viser at en i mange tilfeller kan endre kalkdosene og hyppigheten ved innsjøkalking. I enkelte tilfeller kan kalkingen avbrytes for en periode eller reduseres drastisk i en overgangsfase for at vannkvaliteten kan justeres ned til det som er tilstrekkelig, men heller ikke mer. Deretter kan en legge seg på et anbefalt optimalt nivå, som framkommer ved hjelp av simuleringene.

I de innsjøene som inngår i denne undersøkelsen, og som det med akseptabel grad av sikkerhet har vært mulig å gjøre simuleringer for, kan de faktiske kostnadene til kalk reduseres betydelig. Hvis en legger materialet i **Tabell 10** til grunn, tilsvarer dette 1.5 millioner kroner i året hvis tonnprisen er 1000 kr. Betydelig usikkerhet knytter seg til dette tallet, men undersøkelsen viser at det heller kalkes for mye enn for lite i de enkelte lokaliteter.

Om overkalking skyldes en systematisk feildosering, vedvarende overkalking pga avvikende hydrologiske forhold eller at vannkvaliteten generelt er bedret, er ikke lett å beregne seg fram til. Det er likevel grunn til å tro at alle de tre momentene kan ha gjort seg gjeldende. Tidligere erfaringer med bruk av TPKALK tilsier at kalkmengder som framkommer ved bruk av anbefalte beregninger i kalkingshåndboka kan være vesentlig større enn det optimale, se også avsnittet over. Det kan gi grunnlag for systematisk feildosering. Avvikende hydrologiske forhold kan inntreffe i perioder og gi over- eller underkalking, men vil jevne seg ut over flere år. Det kan imidlertid være at kalkmengden

endres hvis et år med stor avrenning har gitt for dårlig vannkvalitet slik at det året etter skjer overkalking. Å justere for en generell bedring i vannkvalitet krever et tilstrekkelig datagrunnlag fra innsjøen eller referanselokaliteter, noe som i flere tilfeller ikke synes å foreligge.

Mange av de undersøkte innsjøene er del av relativt komplekse systemer, der mange oppstrøms beliggende lokaliteter kalkes hvert år. Det er nesten umulig å foreta en riktig fordeling av kalk uten bruk av et beregningsprogram fordi det håndterer flere lokaliteter samtidig. I slike tilfeller kan en nøyere gjennomgang ved hjelp av TPKALK eller tilsvarende være nødvendig, men må da være basert på et tilstrekkelig datagrunnlag for de oppstrøms beliggende lokalitetene.

Undersøkelsen omhandler innsjølokaliteter som i de fleste tilfeller kun kalkes ved hjelp av innsjøkalking. For flere av dem kalkes det i tillegg med skjellsand eller kalksteinsgrus. Det er grunn til å tro at denne strategien i mange tilfeller er utilstrekkelig hvis strandsonen og utløpsbekken også bør ha en god vannkvalitet gjennom hele året. For enkelte innsjøer er slike forhold omtalt, men en fullstendig evaluering av kalkingsstrategien har ikke vært målsettingen med dette arbeidet. Vi vil likevel oppfordre til en gjennomgang av dette også.

Mulighetene for justering av kalkingen kan skje ved en kombinasjon av forbedrede beregninger som er basert på gode grunnlagsdata og tilstrekkelige vannkjemiske kontrollundersøkelser i lokaliteten. En mer nyansert og målrettet tilnærming bør innarbeides for å få dette til, se også anbefalingene i neste kapittel.

## 5. Anbefalinger

Resultatene fra dette prosjektet kan gi grunnlag for følgende anbefalinger:

- Det er behov for en mer nyansert og målrettet håndtering av de enkelte innsjølokaliteter. Vannkjemiske mål, kalkingsstrategi og kontrollundersøkelser må stå i forhold til de fiskebestander og øvrige forsuringsutsatte organismegrupper en ønsker å beskytte samt viktige innsjøkarakteristika som vannkjemisk, størrelse og oppholdstid.
- Data for innsjø, arealer, hydrologi, vannkjemisk og kalk bør foreligge i et slikt omfang og på en slik form at de lett kan framskaffes for den enkelte lokalitet og slik at de lett kan brukes med tanke på kontroll og justeringer av kalkingen.
- Vannprøver må samles inn i forhold til behovet for kontroll av utført kalking, kontroll av vannkvalitetsutviklingen og muligheten for å fastslå omkalkingstidspunkt og justeringer i kalkmengde. Det kan bety at prøvetakingshyppigheten må endres for å bli bedre tilpasset avrenningsforholdene; hyppigere prøver ved kort oppholdstid.
- Simulering av kalkopløsning og gjenforsuringsforløpet bør ligge til grunn for beregninger og vurdering av kalkingsstrategi (oppstrøms lokaliteter, mengder, hyppighet) der kostnaden og/eller kompleksiteten er betydelig.
- Alle kalkingstiltak bør være gjenstand for regelmessig (minst hvert tredje år) justering i forhold til feildosering, avvik pga uforutsette hydrologiske forhold og endring i forsurings situasjonen.
- Det bør utvikles metodikk for å endre kalkingstiltakene etter forhold som er nevnt over, for eksempel ved at en dynamisk forsuringsmodell, slik som MAGIC<sup>2</sup>, koples mot TPKALK. På den måten kan reforsuringsforløp etter kalking og endring i forsurings situasjonen beregnes samtidig og dermed gjøre langtidsplanleggingen mer pålitelig.
- En bør komme fram til et kriteriesett for å kunne avgjøre når kalkingen kan avsluttes.

---

<sup>2</sup> MAGIC står for **M**odel of **A**cidification of **G**roundwater **I**n **C**atchments

## 6. Referanser

- Andersen, R., Muniz, I.P. and Skurdal, J. 1984. Effects of acidification on age class composition in Arctic char (*Salvelinus alpinus* (L.)) and brown trout (*Salmo trutta* L.) in a coastal area, SW Norway. Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 61: 5-15.
- Barlaup, B.T., Hindar, A., Kleiven, E. and Høgberget, R. 1998. Incomplete mixing of limed water and acidic runoff restricts recruitment of lake spawning brown trout in Hovvatn, southern Norway. Environ. Biol. Fish. 53: 47-63.
- DN 1990. Håndbok i kalking av surt vann. Direktoratet for naturforvaltning. 2. utgave. DN-håndbok nr 1. 52 s.
- Henriksen, A., Hindar, A., Styve, E., Fjeld, E. og Lien, L. 1996. Forsuring av overflatevann - beregningsmetodikk, trender og mottiltak. Rapport 3528-96, NIVA, Oslo. 46 s.
- Hindar, A. 1997. Liming of acidified surface waters- strategies and effects. Thesis. Universitet i Oslo. 42 s. + Appendix.
- Hindar, A., Henriksen, A., Sandøy, S. and Romundstad, A.J. 1998 a. Critical load concept to set restoration goals for liming of acidified Norwegian waters. Restoration Ecology 6 (4): 353-363.
- Hindar, A., Skiple, A. og Høgberget, R. 1998 b. Digeren og Øyungen – grensevassdrag mellom Norge og Sverige, s. 180-185. I: Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 1995. DN-notat 1998-1.
- Håøya, A.-O., Hindar, A., Skiple, A. og Enge, E. 1996. Optimalisert vassdragskalking-brukermanual til programmet TPKALK 1.11. Rapport 3412-96, NIVA, Oslo. 32 s.
- Lükewille, A., Manø, S. og Tørseth, K. 1998. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1997. Statlig program for forurensningsovervåking, NILU/SFT, rapport 736/98. 182 s.
- Rosseland, B.O. and Hindar, A. 1991. Mixing zones - a fishery management problem? In: International lake and watershed liming practices. Terrene Inst., Washington, DC, pp. 161-172.
- Sevaldrud, I.H. og Muniz, I.P. 1980. Sure vatn og innlandsfisket i Norge. Resultater fra intervjuundersøkelsene 1974-1979. SNSF-prosjektet, rapoort IR 77/80. 201 s.
- SFT 1998. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Overvåking av skogskader. Sammendrag av årsrapporter 1997. Statlig program for forurensningsovervåking. Statens forurensningstilsyn, rapport 735/98.
- Taugbøl, T., Wærvågen, S. B. og Linløkken, A.N. 1996. Kreps i kalkede vann: Re-etablering og utvikling av eksisterende bestander – Årsrapporter 1995. Østlandsforskning, notat 08/1996. 62 s.
- Wright, R.F., Dale, T., Henriksen, A., Hendrey, G.R., Gjessing, E.T., Johannessen, M., Lysholm, C. and Støren, E. 1977. Regional surveys of small Norwegian lakes October 1974, March 1975, March 1976 and March 1977. SNSF-project, report IR 33/77. 153 p.
- Økland, J. 1983. Ferskvannets verden 1. Miljø og prosesser i innsjø og elv. Universitetsforlaget, Oslo. 203 s.