

NIVA



RAPPORT LNR 4728-2003

Oppdaterte
tålegrenseoverskridelser
og prognoser for
forsuringsutvikling og
kalkbehov i
Tovdalsvassdraget

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

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

Tittel Oppdaterte tålegrenseoverskridelser og prognoser for forsuringsutvikling og kalkbehov i Tovdalsvassdraget	Løpenr. (for bestilling) 4728-2003	Dato 27.10.2003
	Prosjektnr. Undernr. O-23344	Sider Pris 14
Forfatter(e) Larssen, Thorjørn Hindar, Atle Høgåsen, Tore	Fagområde Kalking	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for Naturforvaltning	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Sammendrag

Norge har et forsuringsproblem i vann og vassdrag, og vil sannsynligvis ha det i overskuelig framtid. Imidlertid har nedfallet av forsurende komponenter gått betydelig ned, og det er behov for å beregne kalkbehov slik at det kan tilpasses en endret forsurings situasjon. I denne rapporten tar vi i bruk dynamisk forsuringsmodellering for å beregne endringer i kalkbehov for Tovdalsvassdraget i framtiden som respons på redusert syrenedfall som følge av internasjonale avtaler (bl.a. Gøteborgprotokollen). Vi presenterer også oppdaterte tålegrensekart for Tovdalsvassdraget og overskridelser på ulike tidspunkt, inkludert dagens nedfall og i 2010 forutsatt gjennomføring av Gøteborgprotokollen. Beregningene viser at tålegrensene i Tovdalsvassdraget fortsatt vil være overskredet i 2010.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tålegrenser 2. Kalking 3. Kalkbehov 4. Prognoser 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Critical loads 2. Liming 3. Liming requirements 4. Predictions
---	---


Thorjørn Larssen
Prosjektleder


Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder
ISBN 82-577-4399-2


Nils Roar Sæthun
Forskningsdirektør

**Oppdaterte tålegrenseoverskridelser og prognoser
for forsuringsutvikling og kalkbehov i
Tovdalsvassdraget**

Forord

Rapporten er skrevet som bakgrunnsdokument i forbindelse med utarbeidelse av ny nasjonal kalkingsplan. Tovdalsvassdraget brukes som eksempel for å beskrive forsuringutviklingen, endringer i kalkbehov og muligheter for å beregne kalkbehov i framtiden.

Oppdragsgiver har vært Direktoratet for naturforvaltning. Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært Roy Langåker.

Oslo, 1. oktober 2003

Thorjørn Larssen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn	7
1.1 Tilnærming	7
1.2 Ørret eller laks?	8
1.3 Tovdalsvassdraget som eksempel	8
2. Tålegrenser og overskridelser	8
3. Kalkforbruk i Tovdalsvassdraget	10
3.1.1 Tovdal; beregnet kalkbehov	10
4. Modellert vannkjemiutvikling i framtiden	11
5. Modellert kalkbehov i framtiden	12
Referanser	14

Sammendrag

Norge har et forsuringsproblem i vann og vassdrag, og vil sannsynligvis ha det i overskuelig framtid. Imidlertid har nedfallet av forsurende komponenter gått betydelig ned, og ytterligere nedgang kan forventes i framtiden som følge av implementering av internasjonale avtaler om utslippsreduksjon. Det er derfor behov for å beregne framtidig kalkbehov i en endret forsuringsituasjon.

I denne rapporten tar vi i bruk dynamisk forsuringsmodellering (MAGIC) for å beregne endringer i kalkbehov for Tovdalsvassdraget i framtiden som respons på redusert syrenedfall som følge av internasjonale avtaler (bl.a. Gøteborgprotokollen).

Vi presenterer også oppdaterte tålegrensekart for Tovdalsvassdraget og overskridelser på ulike tidspunkt, inkludert dagens nedfall og i 2010 forutsatt gjennomføring av Gøteborgprotokollen. Beregningene viser at tålegrensene i Tovdalsvassdraget vil fortsatt være overskredet i 2010.

Summary

Title: Updated critical loads exceedances and predictions for acidification development and liming requirements in the Tovdal watershed, southern Norway.

Year: 2003

Authors: Larssen, T., Hindar, A., Høgåsen, T.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4399-2

Surface water acidification is a large problem in Norway, and is likely to be also in the future. The deposition of acidifying compounds has decreased substantially and is likely to decrease further in the future as response to implementation of international emission reductions agreements.

In this report we use dynamic acidification modelling (MAGIC) to calculate changes in liming requirements for the Tovdal watershed in the future, as response to reduced acidification pressure.

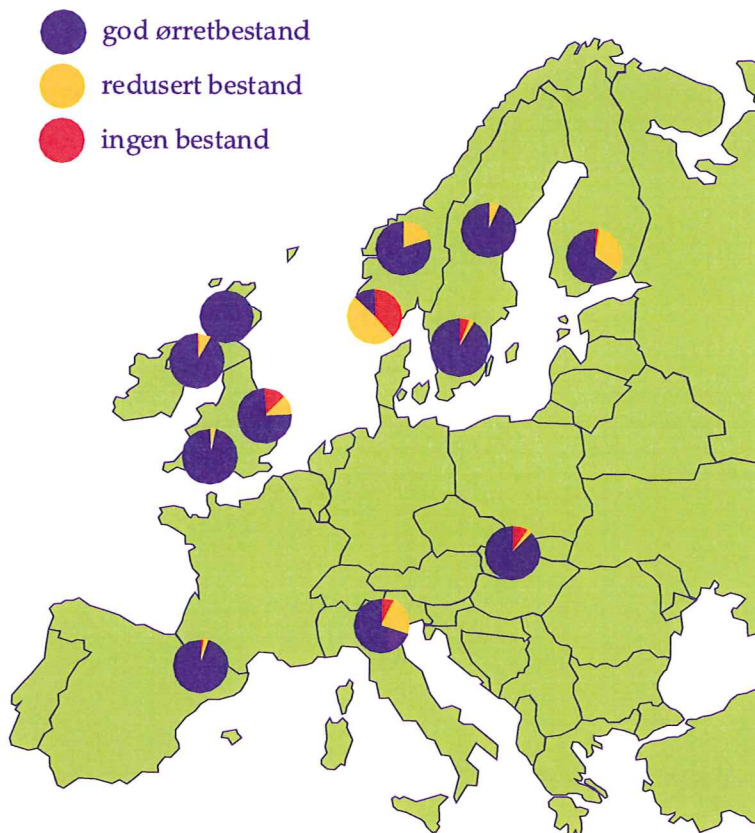
We also present updated critical loads maps for the Tovdal watershed and exceedances at different points in time, including present day and 2010, given implementation of the Gothenburg protocol. The calculations suggest the critical loads still to be exceeded in the Tovdal watershed in 2010.

1. Bakgrunn

Norge har et forsuringsproblem i vann og vassdrag, og vil sannsynligvis ha det i uoverskuelig framtid. Det skyldes først og fremst nærhet til utslippskilder i Europa og at vår natur er ekstremt følsom for surt nedfall. For andre land i Europa er problemet mer eller mindre løst i nærmeste framtid. Slik sett er vi et annerledesland i Europa (jfr. Figur 1), uansett politisk tilknytning, og bør tenke langsiktig på hvilken strategi vi skal ha for å håndtere denne situasjonen.

1.1 Tilnærming

Det er et behov for en oppdatert, faglig begrunnet beregning av framtidig kalkbehov, gitt de mest realistiske utslippsscenarioer. Det kan gjøres på flere måter, men felles for alle tilnærminger bør være at de predikerer en mest mulig reell utvikling i vannkvalitet. Dynamiske forsuringsmodeller gir det beste utgangspunkt fordi de er prosessorienterte og kalibreres mot eksisterende data. På den måten tas det hensyn til hva som faktisk skjer i naturen. På basis av dette kan vi beregne framtidig utvikling ved hjelp av MAGIC-modellen. Det mest realistiske scenariet er basert på at Gøteborgprotokollen fra 1999 realiseres innen 2010 sammen med andre planlagte tiltak i Europa (bl.a. EUs Takt direktiv). Vi har tidligere også gjort beregninger basert på at best tilgjengelig renseteknologi benyttes (Larssen et al. 2002). Dette gir ytterligere forbedring, men scenariet er mindre realistisk. Ved alle disse utslippsscenarioene er det en tidsforsinkelse mellom reduksjoner i utslipp/nedfall og vannkjemisk respons.



Figur 1. Kartet viser beregnet forsuringsstatus i år 2016 i forsuringsfølsomme områder i Europa. Kakediagrammene viser hvor stor andel av innsjøene i hvert område hvor ørretbestander kan forventes (blått), kanskje kan forventes (gult) og ikke kan forventes (rødt). Beregningene er basert på at Gøteborgprotokollen gjennomføres. Resultatene er hentet fra prosjektet RECOVER: 2010 (Jenkins et al. 2004).

1.2 Ørret eller laks?

De undersøkelser som finnes over sammenhengen mellom vannkvalitet og fiskebestand er først og fremst basert på ANC og ørret. ANC er syrenøytraliserende kapasitet og beregnes på basis av ioneinnholdet i vannet. Ved $ANC > 20 \mu\text{ekv/L}$ er sannsynligheten stor for en god bestand, mens det motsatte er tilfellet ved $ANC < 0 \mu\text{ekv/L}$. Mellom disse to verdiene vil det med ulik grad av sannsynlighet være tynne/skadde bestander av ørret (Lien et al. 1996).

Laksen er ekstremt sensitiv overfor uorganisk aluminium i surt vann, og målte konsentrasjoner $> 10\text{--}20 \mu\text{g/L}$ kan være et problem. Det er også funnet en sammenheng mellom laks og ANC, og det er foreslått en ANC-grense på $30 \mu\text{ekv/L}$ for å skille mellom skadde og ikke skadde laksebestander (Kroglund et al. 2002). Det innebærer at laksen har større krav til vannkvalitet enn ørret. Basert på disse forskjellene tror vi det er naturlig å behandle laksevassdragene for seg.

1.3 Tovdalsvassdraget som eksempel

Tovdalsvassdraget brukes som eksempel for å illustrere tilnæringsmåter for vurdering av framtidig forurensingstrykk og dermed framtidig kalkbehov. Tovdalsvassdraget er velegnet som eksempel siden det er et vassdrag typisk for den sørlige delen av Norge, samtidig som det finnes data fra tidligere undersøkelser og tidligere beregninger av tålegrenser (Hindar and Henriksen 1995) og forurensningsutvikling i framtiden ved bruk av MAGIC modellen (Wright and Henriksen 1999). Vassdraget har vært fullkalket siden 1997 og det reelle kalkforbruket er derfor kjent.

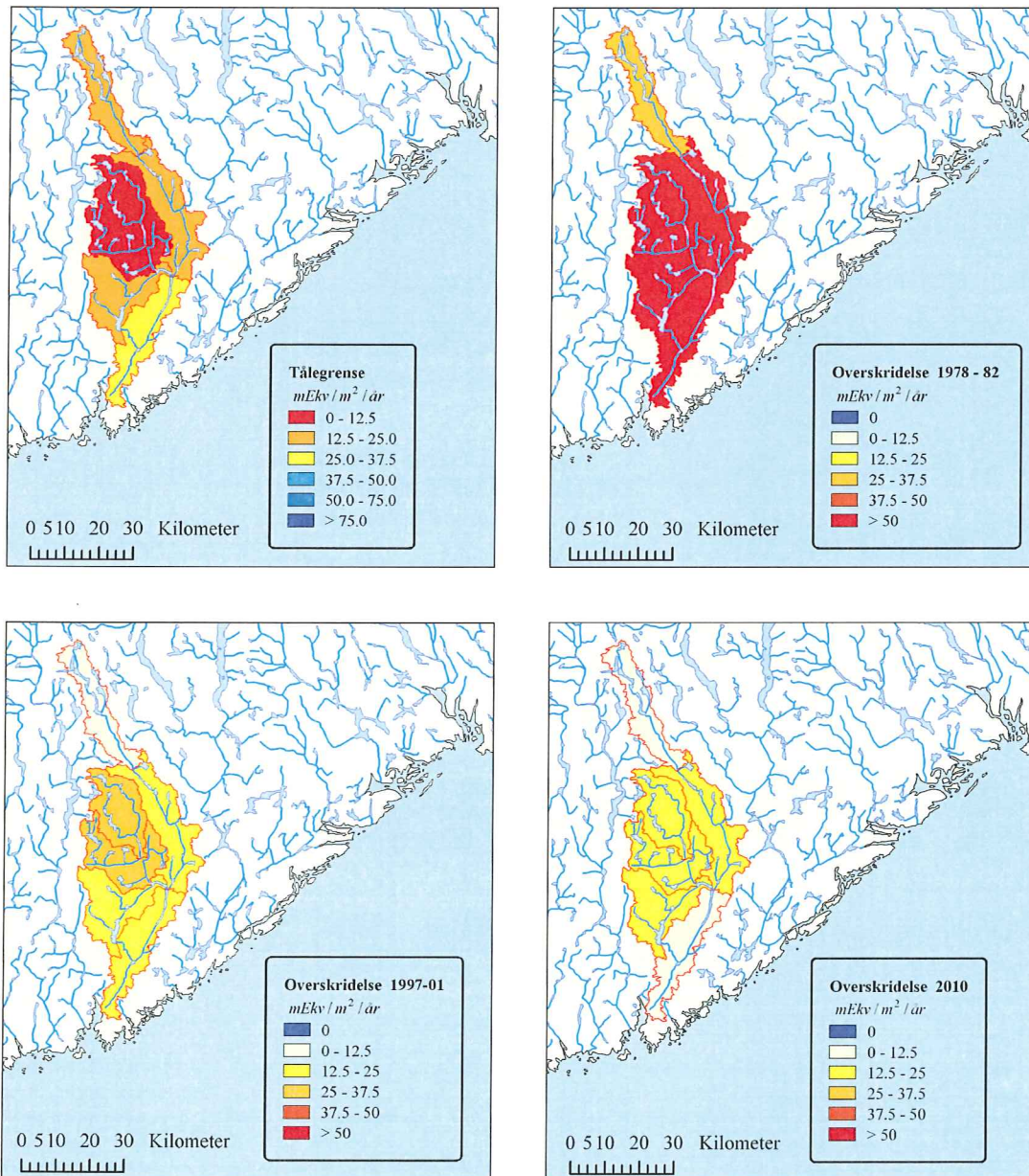
2. Tålegrenser og overskridelser

Grunnlaget for tålegrenseberegningene i denne rapporten er det samme som i forrige rapport om tålegrenser i Tovdalsvassdraget (Hindar and Henriksen 1995). Det ble funnet to feil i innsjødatasettet benyttet i den forrige rapporten og kartene er oppdatert i forhold til dette. Det er også gjort mindre endringer i standardmetoden for beregning av tålegrenser, bl.a. er antagelsene om naturlig bakgrunnsulfat endret til lavere verider enn tidligere (se Posch et al. 2003a). Forøvrig er samme metodikk benyttet som forrige gang (Hindar and Henriksen 1995). Den kritiske grenseverdien som er benyttet er $ANC=20 \mu\text{eq L}^{-1}$, som altså brukes som grenseverdi for ørret. Med laks som målorganisme må en høyere ANC benyttes som grenseverdi.

Tålegrensene er vist for seks nedbørfelt som utgjør hele Tovdalsvassdraget (Tabell 1, Figur 2). Tålegrenseoverskridelsene med dagens nedfall (beregnet fra målinger i perioden 1997-2001, Hole og Tørseth 2002) viser at tålegrensene fortsatt er overskredet med $7\text{--}32 \text{ mekv m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Prognosen for 2010 foreslår at overskridelsene er redusert til $1\text{--}24 \text{ mekv m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Tålegrenseoverskridelser må derfor forventes i vassdraget selv etter implementering av Gøteborgprotokollen.

Tabell 1. Tålegrenser og overskridelser for hvert av seks nedbørfelt i Tovdalsvassdraget.

Vassdragsområde	Tålegrense (mekv/m ² /år)	Overskridelser i 1978-1982 (mekv/m ² /år)	Overskridelser i 1997-2001 (mekv/m ² /år)	Beregnete overskridelser i 2010 (mekv/m ² /år)
Øvre Tovdal	21	35	7	1
Tovdal	14	56	22	14
Skjeggedal	7	67	32	24
Høvringen-Mjåland	12	62	27	19
Ogge	20	63	24	15
Herefoss	27	60	19	8



Figur 2. Kart over tålegrenser og overskridelser i seks delfelt i Tovdalsvassdraget. Tre ulike kart er vist med overskridelser: ett basert på nedfall i perioden 1978-82, ett med dagens nedfall (data fra 1997-2001, se Hole and Tørseth 2002) og ett med forventet nedfall i 2010 dersom Gøteborgprotokollen gjennomføres (framskrivningene er gjort i henhold til Posch et al. 2003b).

3. Kalkforbruk i Tovdalsvassdraget

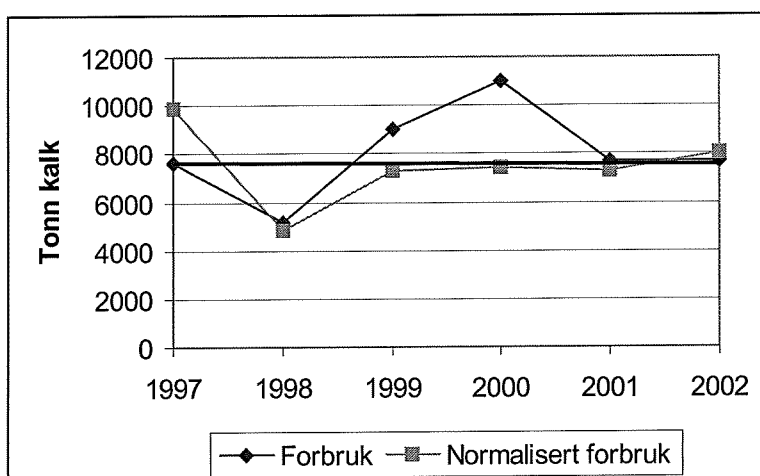
3.1.1 Tovdal; beregnet kalkbehov

I kalkingsplanen fra 1991 ble kalkbehovet for vassdraget beregnet til 6700-7200 tonn per år (Hindar 1991). Senere ble kalkbehovet for kun å avsyre tålegrenseoverskridelsen (ANC opp til 20 $\mu\text{ekv/L}$) beregnet til 7300 tonn for perioden 1988-1992 og 1300 tonn for år 2010 (Hindar and Henriksen 1995). Med en ekstra bufferkapasitet på 30 $\mu\text{ekv/L}$ ble tallene hhv. 12100 og 4000 tonn per år.

Fullkalking av Tovdalsvassdraget ble startet i oktober 1996. For årene 1997-2002 har vi sammenstilt data for kalkforbruk i de fem store dosererne og en doserer ved Ogge (tabell 2). Kalkforbruket i 2000 var spesielt høyt fordi høsten var preget av vedvarende høy vannføring. Vi har normalisert forbruket mot årsnedbøren på Herefoss og finner da at et gjennomsnittlig årlig forbruk på ca. 7500 tonn kalk omkring år 2000 gir et riktig bilde (Figur 3). I de fire årene 1999-2002 var normalisert forbruk svært nær denne mengden.

Tabell 2. Kalkforbruk i Tovdalsvassdraget. Nedbør (%) betyr prosent årsnedbør i forhold til normalen. "Normalisert" betyr kalkforbruk normalisert etter årlig nedbørmengde.

Doserer	Vassdrags-avsnitt	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Bås	Tovdal, øvre	1585	1320	2019	3580	1676	2002
Skjeggedal	Uldalsgreina	171	235	167	502	689	563
Vatnedalsåna	Uldalsgreina	238	267	200	125	119	204
Klepplandsåna	Uldalsgreina	466	684	636	1025	478	412
Søre Herefoss	anadrom sone	1226	302	2078	3439	1535	1230
Kateråsåna	ved Ogge	56	106	79	131	70	69
Ogge		1500		1600		850	750
Andre innsjøer		380	264	251	182	253	487
TOTALT		7619	5176	9029	10984	7671	7719
nedbør (%)		77	107	124	148	105	96
normalisert		9895	4837	7281	7422	7306	8041



Kalkbuffer og sikkerhetsmargin

Kalking av surt vann har til hensikt å hindre at det skapes en vannkjemi som ødelegger betingelsene for livskraftige bestander av fisk og andre forsuringsfølsomme organismer. Beregningen av riktig kalkmengde er derfor viktig.

Ved sterk syrebelastning vil variasjonen i kalkbehov gjennom året være større enn ved liten syrebelastning. Det samme er tilfellet med effekten av sjøsaltnedfall; redusert syrebelastning gir reduksjon i sjøsalteffekt. Variasjon i avrenningsvolum vil imidlertid påvirke kalkbehovet direkte.

I tillegg kommer sikkerhetsmarginer som må innarbeides ved beregning av kalkmengder for den enkelte lokalitet. Innsjøer med rask vanngjennomstrømming må kalkes med mer kalk per liter vann enn innsjøer med lang oppholdstid for å gi god vannkvalitet fram til rekalking. Kalkdosering i elver gjøres ved å bruke en så stor dose at sur tilrenning videre nedover i vassdraget avsyres. Jo større avstand mellom dosering og målområde, jo større sikkerhetsmargin må inn. Ved terrengkalking må dosen være tilstrekkelig høy til at en er temmelig sikker på god effekt i mange år. Sikkerhetsmarginen imidlertid her være liten i og med at rekalking med mer kalk ikke er særlig mer kostnadskrevende enn en gangs kalking med større dose.

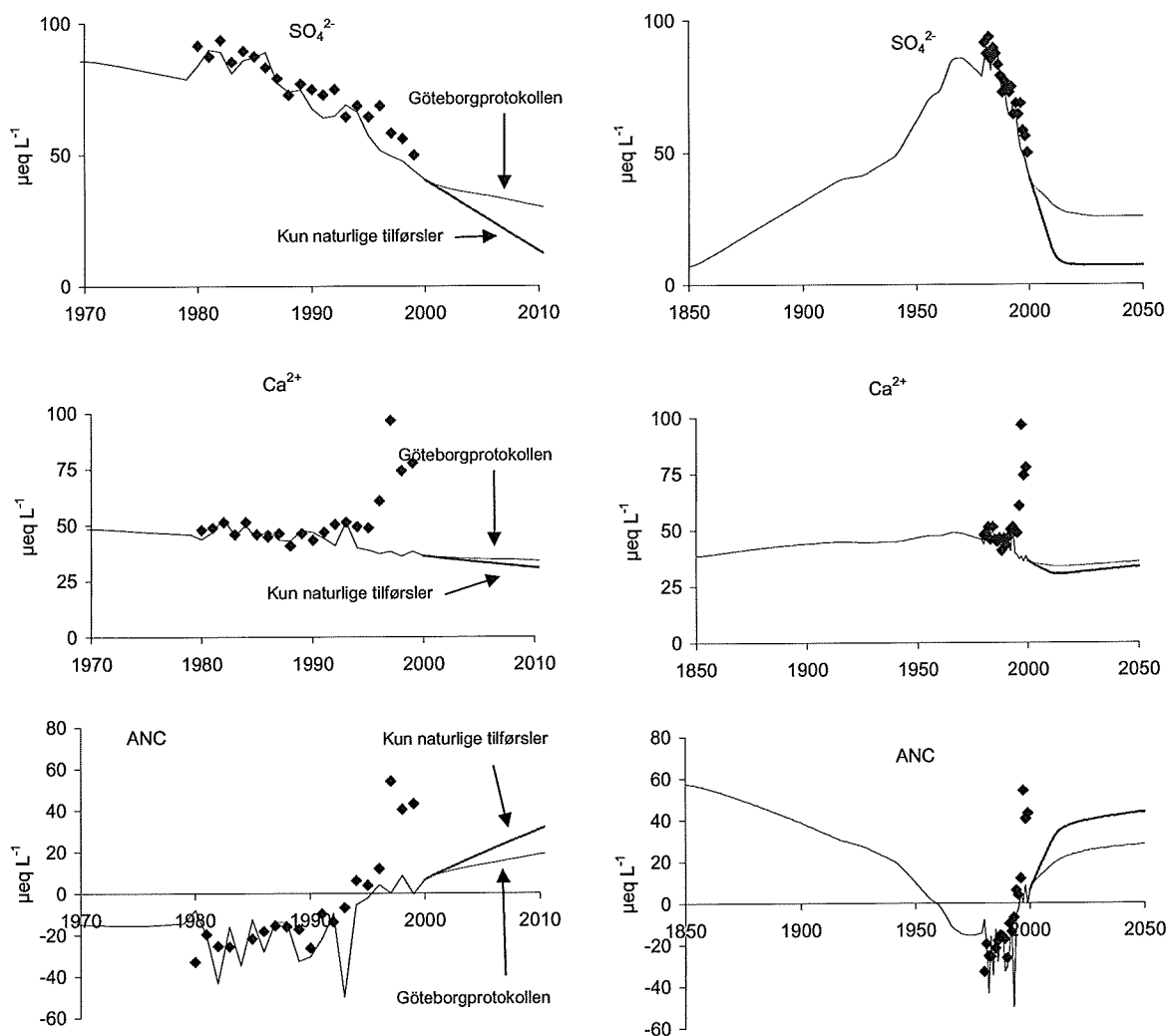
Av dette kan vi slutte at vi i dag og i framtida trenger en mindre sikkerhetsmargin enn tidligere for å oppnå god vannkvalitet. Den reelle sikkerhetsmarginen vil kunne variere fra lokalitet til lokalitet, og regionalt baserte beregninger kan derfor bli noe forskjellig fra de vassdragsspesifikke.

Figur 3. Kalkforbruk i Tovdalsvassdraget i perioden 1997-2002. Figuren viser også normalisert kalkforbruk og midlere normalisert kalkforbruk (linje).

Kalkdoseringen i Tovdalsvassdraget er svært optimalisert fordi det er flere doserere i vassdraget og fordi det er pH-styrt dosering oppstrøms anadrom sone. Denne dosereren kan dermed ta hensyn til korttidsoppløsning og den mer langsiktige oppløsningen av sedimentert kalk høyere oppe i vassdraget. Vi tror derfor at kalkforbruket ligger nær det en kan beregne for kun å hindre tålegrenseoverskridelse. Det er på denne bakgrunn interessant å merke seg at kalkbehovet i perioden omkring 1990 både i kalkingsplanen fra 1991 og det tidligere arbeidet med tålegrenseoverskridelser ble beregnet til omlag 7000 tonn per år, og at det faktiske kalkforbruket 10 år etter var 7500 tonn per år. Her kommer selvsagt en god del usikkerhet inn, men i tillegg har man kalket for laks som medfører høyere kalkforbruk.

4. Modellert vannkjemiutvikling i framtiden

Den dynamiske forsuringsmodellen MAGIC er benyttet for å modellere effekten på vannkvaliteten av redusert svovelavsetning i framtiden. Kalibrering av modellen er gjort på samme måte som rapportert tidligere (Wright and Henriksen 1999). To ulike scenarier for framtiden er benyttet, ett hvor implementering av Gøteborgprotokollen legges til grunn (jfr. Posch et al. 2003b) og ett hvor alle antropogene tilførsler er fjernet. Resultatene er vist i Figur 4.



Figur 4. Observert og modellert forureningsutvikling. Punktene viser årlig gjennomsnittsverdier fra observasjoner. Linjene viser modellert utvikling. Figurene i venstre kolonne viser perioden 1970-2010, mens høyre kolonne viser perioden 1850-2050. For framtiden er det benyttet to scenarier: ett hvor gjennomføring av Göteborgprotokollen ligger til grunn og ett hvor alle menneskeskapte tilførsler av forurende komponenter er fjernet. Avvikene mellom modellert og observert de siste årene skyldes at kalkingen ikke er tatt med i modellen.

5. Modellert kalkbehov i framtiden

Ved å kombinere kalkforbruket i Tovdalsvassdraget de siste årene og modellert vannkjemi dersom vassdraget ikke var kalket kan vi estimere framtidig kalkbehov og endring i kalkbehovet over tid. En faktor som er bestemmende for beregningene er hvor stor buffer som skal tas inn. Framgangsmåten benyttet her baserer seg på faktisk målte ANC-verdier etter kalking og det observerte kalkforbruket og gjenspeiler derfor et realistisk kalkforbruk ved dagens driftsrutiner.

Tidsforsinkelser: fra nedfall til effekt

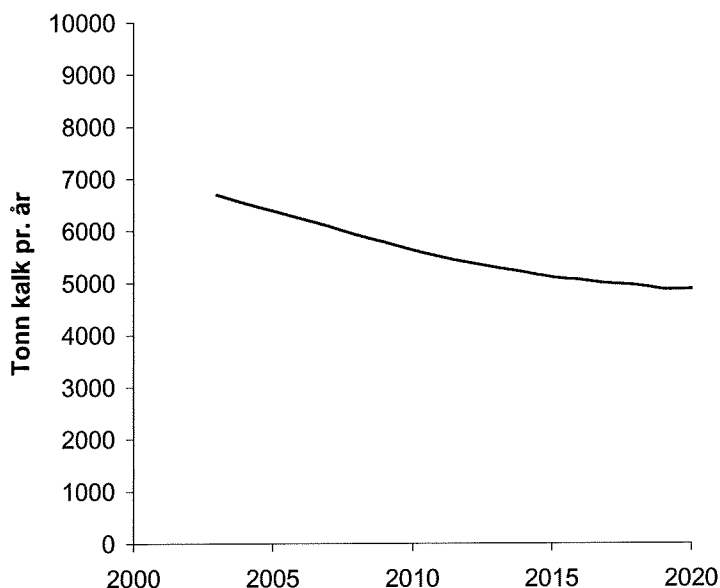
I dose-respons kjeden fra avsetning av sur nedbør til effekter på organismer vil det oppstå vesentlige tidsforsinkelser.

Den første typen forsinkelse er av kjemisk karakter forårsaket av prosesser i jordsmonnet. For skrint og fattig jordsmonn, som er typisk for Norge, vil tidsforsinkelsen for sulfat fra det avsettes i nedbørfeltet til det renner ut i vann og vassdrag vanligvis bare være 1-5 år. Redusert sulfatavsetning vil derfor raskt gi redusert konsentrasjon av sulfat i vann. Dette vil så gi økning i pH og reduksjon i konsentrasjon av kationer, inkludert aluminium, som er giftig for fisk. Her er det altså en rask respons. I tillegg kommer langsomme endringer i jordsmonnets lager av basekationer (blant annet kalsium og magnesium), som utarmes ved langvarig avsetning av sur nedbør. Dette lageret av basekationer bygges opp igjen når tålegrensen ikke lenger er overskredet ved forvitring av mineraler i jordsmonnet. Det kan ta svært lang tid å bygge opp igjen lageret av basekationer når forsuringen avtar. Modellberegninger viser at det kan ta flere hundre år før man er tilbake på det nivå som fantes før forsuring startet. Denne tidsforsinkelsen er altså meget langsom og resulterer i at det vil ta svært lang tid å få opprinnelig vannkvalitet tilbake.

Den andre type tidsforsinkelse er av biologisk karakter og er forårsaket av tilpasninger i vannøkosystemet. Fiskearter som for eksempel ørret kan bruke 10 år for å bygge opp en levedyktig selvreproduserende bestand etter at forsuring har avtatt til under tålegrensen. For laks kan det ta enda lenger tid, kanskje så mye som 20 år.

Vi beregnet gjennomsnittlig årlig ANC etter kalking i perioden 1999-2002 ($55,6 \mu\text{ekv L}^{-1}$). Dette ble sammenlignet med gjennomsnittlig modellert ANC uten kalking for samme periode ($6,5 \mu\text{eq L}^{-1}$). Det gjennomsnittlige årlige veiete kalkforbruket var 7513 tonn. Det betyr at for denne perioden bidro 7513 tonn kalk til en heving av ANC på $49 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Ut fra dette kan vi beregne kalkbehov i framtiden forutsatt at Gøteborgprotokollen gjennomføres. F.eks. er beregnet kalkbehov i 2010 ut fra denne framgangsmåten 5630 tonn.

Dersom kalkingsmålet i form av ANC endres vil kalkbehovet endres, men fasongen på kurven vil forbli det samme.



Figur 5. Beregnet framtidig kalkbehov for Tovdalsvassdraget

Referanser

- Hindar, A. 1991. Kalkingsplan for Tovdalsvassdraget. 2653-1991, NIVA, Oslo. 31 pp.
- Hindar, A. and Henriksen, A. 1995. Kalkingsstrategier for Tovdalsvassdraget basert på nåværende og framtidige overskridelser av naturens tålegrenser for sterk syre. NIVA Report 3211, NIVA, Oslo. 42 pp.
- Hole, L. R. and Tørseth, K. 2002. Deposition of major inorganic compounds in Norway 1978-1982 and 1997-2001: status and trends. Naturens tålegrenser 115 OR 61/2002, NILU, Kjeller. 72 pp.
- Kroglund, F., Wright, R. F., and Burchart, C. 2002. Acidification and Atlantic salmon: critical limits for Norwegian rivers. Naturens Tålegrenser Fagrapport 111, Norwegian Institute for Water Research, Oslo. 61 pp.
- Larssen, T., Clarke, N., Tørseth, K., and Skjelkvåle, B. L. 2002. Prognoses for future acidification recovery of water, soils and forests: dynamic modeling of Norwegian data from ICP Forests, ICP IM and ICP Waters. SNO 4577-2002, Norwegian Institute for Water Research, Oslo. 38 pp.
- Lien, L., Raddum, G. G., Fjellheim, A., and Henriksen, A. 1996. A critical limit for acid neutralizing capacity in Norwegian surface waters, based on new analyses of fish and invertebrate responses. *Sci.Tot.Environ.* 177: 173-193.
- Posch, M., Hettelingh, J. P., Slootweg, J., and Downing, R. J. 2003a. Modelling and Mapping of Critical Thresholds in Europe: CCE Status Report 2003. 259101013/2003, RIVM, Bilthoven. 132 pp.
- Posch, M., Schöpp, W., Johanson, M, and Mylona, S. 2003b. 150 Years of Sulphur and Nitrogen Deposition in Europe (1880-2030). IIASA, Laxenburg, Austria.
- Wright, R. F. and Henriksen, A. 1999. Gap closure; use of MAGIC model to predict time required to achieve steady-state following implementation of the Oslo protocol. Naturens Tålegrenser Fagrapport 100, Norwegian Institute for Water Research, Oslo. 44 pp.