

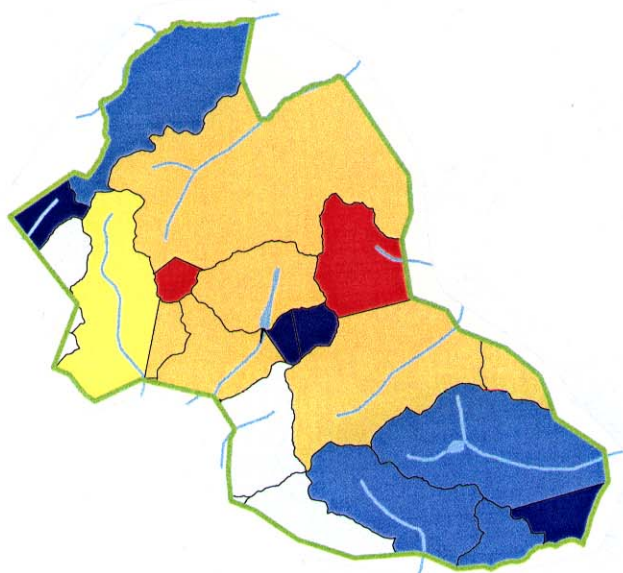
RAPPORT LNR 3646-97

**Vannkjemi,  
forsuringsstatus  
og tålegrenser i  
nasjonalparker;  
Femundsmarka  
og Rondane**

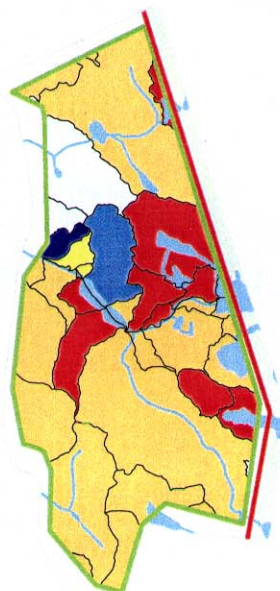
NATURENS  
TÅLEGRENSER

Miljøverndepartementet  
Fagrapport nr. 88

Rondane



Femundsmarka



## Naturens Tålegrenser

Programmet Naturens Tålegrenser ble satt igang i 1989 i regi av Miljøverndepartementet. Programmet skal blant annet gi innspill til arbeidet med Nordisk Handlingsplan mot Luftforurensninger og til pågående aktiviteter under Konvensjonen for Langtransporterte Grensoverskridende Luftforurensninger (Genevekonvensjonen). I arbeidet under Genevekonvensjonen er det vedtatt at kritiske belastningsgrenser skal legges til grunn ved utarbeidelse av nye avtaler om utslippsbegrensning av svovel, nitrogen og hydrokarboner.

En styringsgruppe i Miljøverndepartementet har det overordnede ansvar for programmet, mens ansvaret for den faglige oppfølgingen er overlatt en arbeidsgruppe bestående av representanter fra Direktoratet for naturforvaltning (DN), Norsk polarinstitutt (NP) og Statens forurensningstilsyn (SFT).

Arbeidsgruppen har for tiden følgende sammensetning:

Gunnar Futsæter - NP  
Tor Johannessen - SFT  
Else Løbersli - DN  
Steinar Sandøy - DN

Styringsgruppen i Miljøverndepartementet består av representanter fra avdelingen for naturvern og kulturminner, avdelingen for vannmiljø, industri- og avfallssaker og avdelingen for internasjonalt samarbeid, luftmiljø og polarsaker.

Henvendelse vedrørende programmet kan rettes til:

Direktoratet for naturforvaltning  
Tungasletta 2  
7005 Trondheim  
Tel: 73 58 05 00

eller  
Statens forurensningstilsyn  
Postboks 8100 Dep  
0032 Oslo 1  
Tel: 22 57 34 00

**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 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**

Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

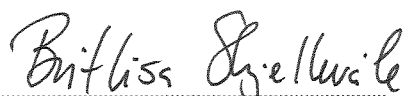
Tittel Vannkjemi, forsøringsstatus, og tålegrenser i nasjonalparker: Femundsmarka og Rondane	Løpenr. (for bestilling) 3646-97	Dato 20. Mai 1997
	Prosjektnr. Udemnr. O-96116	Sider Pris 41
Forfatter(e) Skjelkvåle, Brit Lisa Wright, Richard F. Tjomsland, Torulv	Fagområde Sur Nedbør	Distribusjon
	Geografisk område Oppland, Hedemark og Sør-Trøndelag	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning (DN)	Oppdragsreferanse L 106/96 NATÅL 12 Naturens tålegrense rapport nr. 88
--	---

**Sammendrag**

I regi av programmet "Naturens tålegrenser" har NIVA i 1996 fått i oppdrag å kartlegge forsøringsstatus i Femundsmarka og Rondane nasjonalparker ved bruk av tålegrenseberegninger. Tålegrensene for overflatevann og jord i Femundsmarka og Rondane nasjonalparker er med få unntak meget lave og hvis områdene hadde fått samme syre-belastningen som Sørlandet ville både vann og jord blitt kraftig forsuret. De lave tålegrenser skyldes lave forvittringshastigheter som igjen reflekterer mineralogien i jordsmonn og overdekke. Ved dagens tilførsel av sur nedbør er tålegrensen såvidt overskredet i store deler av Femundsmarka og i mindre deler av Rondane. I år 2010 etter at avtalte reduksjoner i svovelutslipp er gjennomført (Oslo-protokollen) vil ingen av innsjøene i Femundsmarka være overskredet, mens bare ett lite område i Rondane vil fortsatt ha overskredet tålegrense (forutsatt at dagens nitrogen avrenning er den samme). Ingen av de 5 lokalitetene som er undersøkt for tålegrenser for tilførsler av syre til jord viser overskridelser. I og med at svoveldeposisjon nå er på tilbakegang, vil fremtidig jordforsuring avta. Modellering av forsutringssituasjonen viser at både jord og vann er sikret de neste 50 år med dagens tilførsler av S og N.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Nasjonalpark	1. National park
2. Vannkjemi	2. Water chemistry
3. Sur nedbør	3. Acid rain
4. Tålegrenser	4. Critical load



Brit Lisa Skjelkvåle

Prosjektleder

ISBN 82-577-3207-96



Bjørn Olav Rosseland

Forskningssjef

Naturens tålegrenser

**Vannkjemi, forsuringsstatus og tålegrenser i  
nasjonalparker: Femundsmarka og Rondane**

*Forfattere: Brit Lisa Skjelkvåle  
Richard F. Wright  
Torulv Tjomsland*

## Forord

I regi av programmet "Naturens tålegrenser" har NIVA i 1996 fått i oppdrag å kartlegge forsuringsstatus i Femundsmarka og Rondane nasjonalparker ved bruk av tålegrenser. Dette prosjektet viser hvordan tålegrensekonseptet også kan brukes i detaljert kartlegging av forsurings situasjonen i et utvalgt område og dermed være et nyttig verktøy for forvaltningen.

Jeg vil takke de som har vært ute i felt og tatt vannprøver; fjelloppsynsmann Ole Vangen (Femundsmarka) og Terje Hofstad Karlsen (Rondane).

*Oslo, 20. Mai 1997*

*Brit Lisa Skjelkvåle*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Bakgrunn</b>	<b>7</b>
<b>2. Naturgrunnlaget</b>	<b>7</b>
2.1 Femundsmarka nasjonalpark	7
2.2 Rondane nasjonalpark	7
2.2.1 Tidligere undersøkelser av jord og vann i Rondane	8
<b>3. Metoder</b>	<b>9</b>
3.1 Tålegrenser og overskridelser	9
3.2 Utvelgelse av lokaliteter	9
3.3 Prøveinnsamling og analyser	10
3.4 Nedbør, deponisjon og avrenning	13
<b>4. Vannkjemi i nasjonalparkene</b>	<b>14</b>
4.1 Femundsmarka	14
4.2 Rondane	14
<b>5. Tålegrenser for vann</b>	<b>19</b>
5.1 Femundsmarka	19
5.2 Rondane	21
<b>6. Tålegrenser for jord i Rondane</b>	<b>23</b>
<b>7. Referanser</b>	<b>25</b>
<b>Vedlegg A. Beregning av tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for tilførsler av syre til overflatevann</b>	<b>28</b>
<b>Vedlegg B. Analysemetoder og beregning av ANC og sjøsalkkorrigererte verdier</b>	<b>31</b>
<b>Vedlegg C. Tålegrenser- og overskridelser for REGINE feltene</b>	<b>33</b>
<b>Vedlegg D. Tilpassing av MAGIC modellen til 5 lokaliteter i Rondane nasjonalpark.</b>	<b>35</b>
<b>Vedlegg E. Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter</b>	<b>36</b>

---

## Sammendrag

Overflatevann i Femundsmarka og Rondane nasjonalparker er med få unntak ionefattig og svakt buffret. Konsentrasjonene av kalsium er under 1 mg/l og ANC (syrenøytraliserende kapasitet) er mindre enn 50  $\mu\text{ekv/l}$  for de aller fleste av de undersøkte lokalitetene. De lave konsentrasjonene av oppløste ioner skyldes lave forvittringshastigheter i jordsmonnet i nedbørfeltene, som igjen skyldes at løsmasseoverdekket er dominert av forvittringsresistente mineraler som kvarts og feltspat. De noe høyere verdiene i enkelte lokaliteter kan skyldes lokale innslag av andre lettere forvitrbare mineraler i løsmassene i nedbørfeltene. Overflatevann i både Femundsmarka og Rondane er derfor generelt meget forsuringsfølsomt.

Konsentrasjonene av nitrat i overflatevann i Femundsmarka er svært lave ( $< 1 \mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$ ). I Rondane er nitratkonsentrasjonene i noen av lokalitetene til dels overraskende høye. Hele 9 lokaliteter har  $\text{NO}_3\text{-N} > 100 \mu\text{gN/l}$ , et konsentrasjonsnivå som ellers vanligvis bare finnes i innsjøer i områder på Sør- og Vestlandet som er utsatt for store tilførsler av nitrogen fra langtransportert forurensning. De forholdsvis høye nitratkonsentrasjonene målt i enkelte innsjøer kan muligens forklare observasjoner av økt begroing ("grønske") i bekkene de siste 10-årene. Rondane har ekstremt lite vegetasjon og tynt jordsmonn som kan ta opp nitrogen. Det er ikke uvanlig at fjellområder har forholdsvis lav N-retensjon. De relativt høye nitratkonsentrasjonene sammen med de lave sulfatkonsentrasjoner i Rondane betyr at for enkelte innsjøer er nitrat ansvarlig for ca. halvparten av forsureningen. I fremtiden vil det relative bidraget fra nitrat trolig øke, i og med at prognosen er minkende tilførsler av sulfat.

Tålegrensene for tilførsler av syre til overflatevann i Femundsmarka og Rondane nasjonalparker er med få unntak meget lave for samtlige lokaliteter og hvis områdene hadde fått samme syrebelastningen som Sørlandet ville både vann og jord blitt kraftig forsuret. De lave tålegrensene skyldes lave forvittringshastigheter som igjen reflekterer mineralogien i jordsmonnet og løsmassedekket. Ved dagens tilførsel av sur nedbør er tålegrensen såvidt overskredet i store deler av Femundsmarka og i mindre deler av Rondane. I år 2010 etter at de avtalte reduksjoner i svovel utslipp (Oslo-protokollen) er gjennomført vil ingen av innsjøene i Femundsmarka ha overskridelser av tålegrensene, mens bare ett lite omeråde i Rondane vil fortsatt ha overskredet tålegrense, forutsatt at nitrogen avrenningen blir på samme nivå som idag.

Tålegrenser for jord i Rondane er meget lave. Dagens deponering av svovel og nitrogen er imidlertid også lave i dette omerådet, og ingen av de 5 lokaliteter som er undersøkt for tålegrenser for tilførsler av syre til jord viser overskridelser. De beregnende tålegrenser er ca. 2-3 ganger høyere for jord enn for vann. Rondane faller dermed inn i det generelle mønster for Norge forøvrig ved at overflatevann generelt er mer ømfintlig for forsurening enn jord. Imidlertid er skadekriterier for jord basert på virkning på trær. Det finnes ingen generelle kriterier for skadevirkningen av forsurening på naturlig hei og alpin vegetasjon som er karakteristisk for store deler av Norge, inklusive Rondane. Derfor kan de oppgitte tålegrenser for jord i Rondane være for høye eller for lave.

Beregnet tap av basekationer i Rondane for perioden 1942-1948 til 1988 er beregnet til  $9 \text{ mekv/m}^2/\text{år}$  av Dahl (1988) og 4 til  $12 \text{ mekv/m}^2/\text{år}$  ved bruk av MAGIC. Totalt er det en nedgang på ca. 15-35% av basekationereservoaret i jordsmonnet i løpet av denne 40-års perioden. Denne jordforsuringen er forholdsvis liten og har ikke ført til markert forsurening av overflatevannet. I og med at svoveldeponering nå er på tilbakegang, vil fremtidig jordforsuring avta. Modellering av forsureningssituasjonen viser at både jord og vann er sikret de neste 50 år med dagens tilførsler av S og N.

## Summary

Title: Water chemistry, acidification status and critical loads for national parks; Femundsmarka and Rondane, Year: 1997

Author: Skjelvåle, B.L., Wright, R.F. Tjomsland, T.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3207-96

Surface waters in Femundsmarka and Rondane national parks are with few exceptions dilute and poorly buffered. Concentrations of calcium are below 1 mg/l and ANC is less than 50 µeq/l for most of the sampled localities. The low concentrations of solutes are due to low rates of chemical weathering in the catchment soils, which in turn is due to the dominance of weathering-resistant minerals such as quartz and feldspar. The somewhat higher concentrations in a few samples may be due to local areas with overburden of other mineralogy. Surface waters in both Femundsmarka and Rondane are generally extremely acid sensitive.

Concentrations of nitrate in surface waters of Femundsmarka are very low ( $< 1 \mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$ ), whereas in Rondane the nitrate concentrations in some samples are surprisingly high. In Rondane 9 sites have  $\text{NO}_3\text{-N} > 100 \mu\text{gN/l}$ , levels which are typical of lakes in areas of southern and western Norway that receive high levels of nitrogen deposition. The relatively high levels of nitrate may explain local reports of increased algal growth in streams in the area. Rondane has extremely poor and sparse vegetation and thin soils available for uptake of nitrogen. It is not unusual for mountainous areas to have low retention of N. The relatively high nitrate concentrations together with the low sulphate concentrations in Rondane mean that for several lakes nitrate is responsible for about 50% of the acidification. This percentage is likely to increase in the future, as the prognosis is for decreasing deposition of sulphur.

Critical load of acidity to surface waters in Femundsmarka and Rondane national parks are with few exceptions very low. Had these areas received the same acid deposition as southernmost Norway, both soils and waters would have been severely acidified. The low critical loads reflect the low rates of weathering. At present day levels of acid deposition the critical load is marginally exceeded in most of Femundsmarka and small areas of Rondane. In the year 2010 after reductions in sulphur emissions have been achieved (Oslo protocol) none of the sampled localities in Femundsmarka will be exceeded and only one locality in Rondane will be exceeded.

Critical load for soils as calculated by the MAGIC model in Rondane is very low. However present-day deposition of S and N is also low, and at none of the 5 localities studied by Dahl in 1988 is the critical load exceeded. Calculated critical loads for soils are about 2-3 times higher than for water. Rondane thus falls into the general pattern in Norway of higher critical load for soil than for water. However the damage criteria for soil is based on sensitivity of coniferous tree species. There is no general criterion for damage to alpine and ground vegetation typical for Rondane. Therefore the calculated critical loads may be too high or too low.

The calculated loss of base cations at 5 localities in Rondane over the period 1942-1988 is estimated at  $9 \text{ meq/m}^2/\text{yr}$  of Dahl (1988) and compares well with the MAGIC values for the same period of  $4\text{-}12 \text{ meq/m}^2/\text{yr}$ . The total decrease in pool of base cations in the soil is about 15-35% during this 40-year period. This rate of soil acidification is very low and has not led to marked acidification of surface waters.

Because sulphur deposition is decreasing, the rate of soil acidification in the future will decrease, and critical load estimates indicate that both soil and waters are protected for at least the next 50 years.



# 1. Bakgrunn

DN ønsker å få vurdert dagens forsuringsstatus og forsuringsutvikling i Norges verneområder ved ulike scenarier for tilførsler av svovel. Som første ledd i dette arbeidet ble Femundsmarka og Rondane nasjonalparker undersøkt i 1996. Vannprøver ble innsamlet fra ulike nedbørsfelt for å danne grunnlag for tålegrenseberegninger for tilførseler av syre til overflatevann. I tillegg

er eksisterende jordkjemiske data brukt til å beregne tålegrenser for jord i deler av Rondane. For Femundsmarka kjenner vi ikke til eksisterende jorddata. Denne rapporten omfatter resultatene fra vannprøvene som ble tatt høsten 1996, tålegrenseberegninger, og forsurings-situasjonen gitt dagens og ulike fremtidsscenarier for svoveldeposisjon.

## 2. Naturgrunlaget

### 2.1 Femundsmarka nasjonalpark

Femundsmarka nasjonalpark dekker et areal på 390 km<sup>2</sup> og ligger ved grensen til Sverige, delvis i Sør-Trøndelag og delvis i Hedemark fylke. Parken ble opprettet i 1971.

Berggrunnen i Femundsmarka ligger innenfor det som i geologien kalles sparagmittområdet. Her dominerer harde og næringsfattige sandsteiner som består av sammenkittede kvarts- og feltspatkorn. Bergartene kalles sparagmitter etter det greske ordet for bruddstykke - *sparagma*. Disse mineralkornene er bruddstykker fra eldre granitter og gneisser. Kvarts og feltspat er silisiumrike mineraler som forvitrer sakte og som gir fra seg lite ioner og plantenæringsstoffer

Naturforholdet i Femundsmarka er omtalt i DNT's Årbok 1987 (DNT, 1987). Femundsmarka er preget av istidens påvirkninger med rolige landskapsformer og blokkmark. Tykke løsmasser avsatt under istiden dominerer. Femundsmarka er kjent for sin gamle og åpne furuskog med utbredt mose- og lavvegetasjon.

Nasjonalparken er gjennomskåret fra øst mot vest av større og mindre vassdrag. De største elvene er Røa og Mugga. En mengde elveutvidelser (håer), tjern og sjøer setter sitt

preg på landskapet. I alt er 10-15 % av totalarealet dekket av vann, på tross av at Femundsmarka er et nedbørfattig område.

Elver og innsjøer i Femundsmarka har i utgangspunktet gode betingelser for fiskeproduksjon, og fiskebestanden er tildels god. Artsrikdommen er stor, med ørret, røye, sik, harr, abbor, gjedde og lake som de viktigste artene. I sørlige deler av Femundsmarka har endel vann og vassdrag blitt kalket som et ledd i fiskekultiveringstiltak.

### 2.2 Rondane nasjonalpark

Rondane er Norges første nasjonalpark. Den ble fredet i 1962. Rondane nasjonalpark dekker et areal på 580 km<sup>2</sup> og ligger i Hedemark og Oppland fylker.

Naturforholdet i Rondane er godt beskrevet i DNT's Årbok for 1984 (DNT, 1984). Berggrunnen i Rondane ligger innenfor det samme sparagmittområdet som Femundsmarka og er dominert av de samme forvittringsresistente bergartene og som gir fra seg lite av viktige plantenæringsstoffer. Enkelte tynne soner kan være kalkholdige og næringsrike. Disse stikker seg ut med frodig vegetasjon, som finnes blant

annet i mange små dalsenkninger i vestre Rondane og omkring Rondvassbu. Disse kalksonene virker også inn på vannkjemien.

Løsmassene i Rondane består hovedsakelig av blokkmark som er dannet fra frostsprengning av berggrunnen på stedet. Ved Dørålseter finnes det store terrasser og "dødisterreng" med tykke lag av sand, grus og morenematerial.

Artsmengden av planter i Rondane reflekterer i stor grad den fattige berggrunnen i nasjonalparken. I et lite område i Grimsdalen nord for Rondane hvor berggrunnen er rik, er det registrert 400 karplanter, mens det i hele Rondane bare er registrert 300 planter. Området ligger i sin helhet like ved eller over tregrensen.

Rondane ligger i "nedbørskyggen" av Jotunheimen og er generelt nedbørfattig. Det meste av nedbøren kommer i forbindelse med luftstrømmer fra sør og øst om sommeren, for en stor del som lokale byger. Området er generelt nedbørfattig, med en økende nedbørmengde fra nord til sør og med høyden over havet. Det finnes relative få innsjøer og vann.

### 2.2.1 Tidligere undersøkelser av jord og vann i Rondane

Den første vitenskapelige undersøkelsen av overflatevann i Rondane ble utført i 1943 av prof. Kaare Münster Strøm, daværende professor i limnologi, Universitet i Oslo (Strøm, 1944).

Han besøkte flere vann og bekker i nærheten av Rondvassbu og målte blant annet pH og ledningsevne. pH ble målt ved en kolorimetrisk metode som sannsynligvis ga for høye verdier i det ekstremt ionefattige vannet som er karakteristisk for Rondane. En del av disse lokalitetene ble prøvetatt på nytt i 1975 som et ledd i SNSF prosjektet (Wright, 1977). Her var formålet å kartlegge mulige endringer i pH som følge av økt sur nedbør. Nå ble pH målt potentiometrisk. Verdiene lå systematisk lavere enn i 1943, sannsynligvis av metodiske årsaker, og ikke fordi det hadde vært markert forsuring.

Undersøkelser av jordkjemi ble utført i 1942-49 som ledd i en plantesosiologisk analyse av vegetasjon i Rondane av prof. Eilif Dahl, professor ved Botanisk Institutt, Norges Landbrukshøyskole, Ås (Dahl, 1957). Han tok jordprøver på 6 steder (ved Dørålseter, Rondvassbu, og ved stien fra Rondvassbu til Peer Gynt hytta). I 1984 besøkte han disse stedene på nytt, og tok nye prøver for å kartlegge mulig utvikling i jordforsuring (Dahl, 1988). Han fant en signifikant nedgang i pH i jordsmonnet, og ut fra denne ble det beregnet et tap i basekationer fra jorda tilsvarende 9 mekv/m<sup>2</sup>/år. Dette er i samme størrelsesorden som det gjennomsnittlig "overskudd" av sulfat i deposisjonen (= antropogent bidrag til sulfat i deposisjonen) i perioden 1940-1985, dog er begge tall befestet med stor usikkerhet. Det var ikke registrert endringer i vegetasjonen i den samme perioden.

## 3. Metoder

### 3.1 Tålegrenser og overskridelser

Begrepet "*naturens tålegrenser*" (eng. critical load) er idag akseptert som utgangspunkt for politiske beslutninger om reduksjoner i utslipp av svovel og nitrogen. Det tallmaterialet som framskaffes gir grunnlag for og dermed muligheten til, via internasjonale forhandlinger, å fatte politiske beslutninger om miljømål som står direkte i forhold til tålegrensene. Utvikling av tålegrensebegrepet og definisjoner knyttet til dette er en måte å operasjonalisere Brundtland-kommisjonens begrep "bærekraftig utvikling" på.

Tålegrenser for atmosfærisk tilførsel av svovel og nitrogen til et økosystem er definert som:

**"Den høyeste konsentrasjon av sure forbindelser som ikke vil forårsake kjemiske endringer som fører til skadelige effekter på økosystemets struktur og funksjon på lang sikt." (Nilsson og Grennfelt, 1988).**

Norske fagmiljøer har utviklet metodikk og gjennomført beregninger som har ligget til grunn for de internasjonale forhandlingene om reduksjoner i utslipp av svovel i Europa. De tålegrenseberegninger for overflatevann vi har gjennomført er basert på SSWC-modellen (Steady State Water Chemistry method). (Henriksen *et al.* 1995) (Vedlegg A). Innlandsaure er valgt som biologisk indikator og ANC (Acid Neutralizing Capacity, se forklaring av i Vedlegg B) som kjemisk variabel for tålegrenseberegningene. Tidligere ble det brukt en fast kritisk verdi for ANC ( $ANC_{\text{limit}} = 20 \mu\text{ekv/l}$ ), men vi bruker nå en verdi som varierer med syredeposisjonen (Henriksen *et al.* 1995). Den geografiske utbredelse av områder der tålegrensen idag er overskredet ved bruk av den variable  $ANC_{\text{limit}}$  er i bedre overens-stemmelse med de områder der fiskebestandene er skadet enn ved å bruke en fast  $ANC_{\text{limit}}$ . Overskredet areal i Norge for bare svoveldeposisjon er beregnet til 71800 km<sup>2</sup> (Henriksen *et al.* 1996). Tar vi dagens nitrogenlekkasje med blir

overskredet areal 80000 km<sup>2</sup>, når middeldeposisjonen for perioden 1988-1992 (1990) legges til grunn (Henriksen *et al.* 1996).

Tålegrenseberegningene for overflatevann for Norge er basert på NILU-ruter for deposisjonen (50x50 km), og en oppdeling av ruteenheten 0.5<sup>0</sup> lengde og 1.0<sup>0</sup> bredde i 16 (4x4) underruter (ca. 12x12 km).

For å kvantifisere foruringsstatus i nasjonalparker har NILU-rutenettet altfor liten oppløsning. Vi har derfor valgt å bruke NVE's minsteenheter i vassdragsregisteret REGINE som grunnlag for å beregne tålegrenser.

### 3.2 Utvelgelse av lokaliteter

Metodikken for kartlegging av tålegrenser for vann i nasjonalparker er utarbeidet gjennom et forprosjekt for Femundsmarka nasjonalpark basert på eksisterende data (Henriksen og Skjelkvåle, upublisert). Konklusjonen i dette arbeidet var at en prøvetakingstetthet på 1 prøve pr. 20-40 km<sup>2</sup> ville gi en tilfredstillende dekkning. Det viste seg at vassdragsregisteret (REGINE) fra Norges vassdrag og energiverk (NVE) ga et godt grunnlag for å velge ut lokaliteter med en slik prøvetakingsfrekvens.

Femundsmarka nasjonalpark består av hele eller deler av 37 vassdragsenheter (figur 1). Rondane er delt inn i 22 enheter (figur 2). Disse enhetene ble så brukt som grunnlag til å velge ut 19 lokaliteter i Femundsmarka (1 pr. 20 km<sup>2</sup>) og 22 lokaliteter i Rondane (1 pr. 26 km<sup>2</sup>).

REGINE-enheten varierer en god del i størrelse, slik at det i enkelte tilfeller var hensiktsmessig og la en vannprøve representerer flere REGINE-enheter, mens det i andre tilfeller var nødvendig å ta flere vannprøver i samme REGINE-enhet, fordi denne var veldig stor, eller fordi vi antok at vannkjemien ville variere innenfor feltet slik som f.eks i Illmannadalen i Rondane.

### 3.3 Prøveinnsamling og analyser

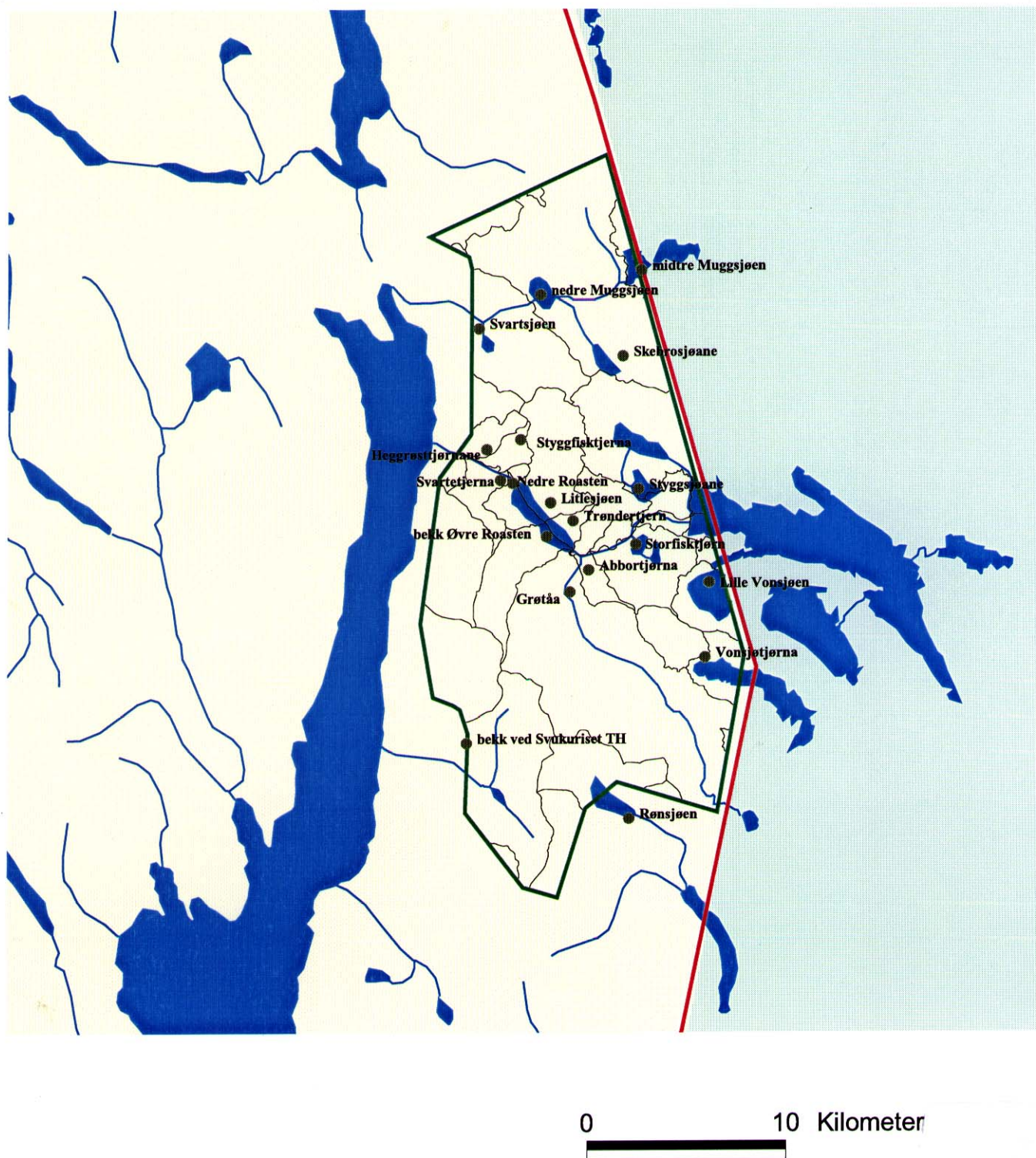
For Femundsmarka forelå det vannkjemiske data for 6 innsjøer (Skebrosjøane F14, Storfisktjørn F15, Abbotjørna F16, Heggrøstjørnane F17, Styggsjøane F19 og Midtre Muggsjøen F20) fra høsten 1995 og for Rondane 2 innsjøer (Et lite navnløst vann kalt HOH1506 R21 og Illmannatjørn R22) fra høsten 1995. Disse prøvene ble tatt som endel av den regionale innsjøundersøkelsen i 1995 som inkluderte 1500 innsjøer over hele landet (Skjelkvåle et al. 1997).

Som det fremgår i figur 1 er beliggenheten av de 6 innsjøene slik at de representerer hver sin enhet innen nasjonalparken. For de resterende 13

lokaliteter i Femundsmarka og 20 i Rondane ble vannprøvene tatt høsten 1996. Prøvene ble tatt fra rennende vann nederst i nedbørfeltet eller ved utløpet av innsjøen. I Femundsmarka var det fjelloppsynet som tok prøvene, mens i Rondane ble vannprøvene dels tatt av en lokal observatør og dels av NIVA's egne folk.

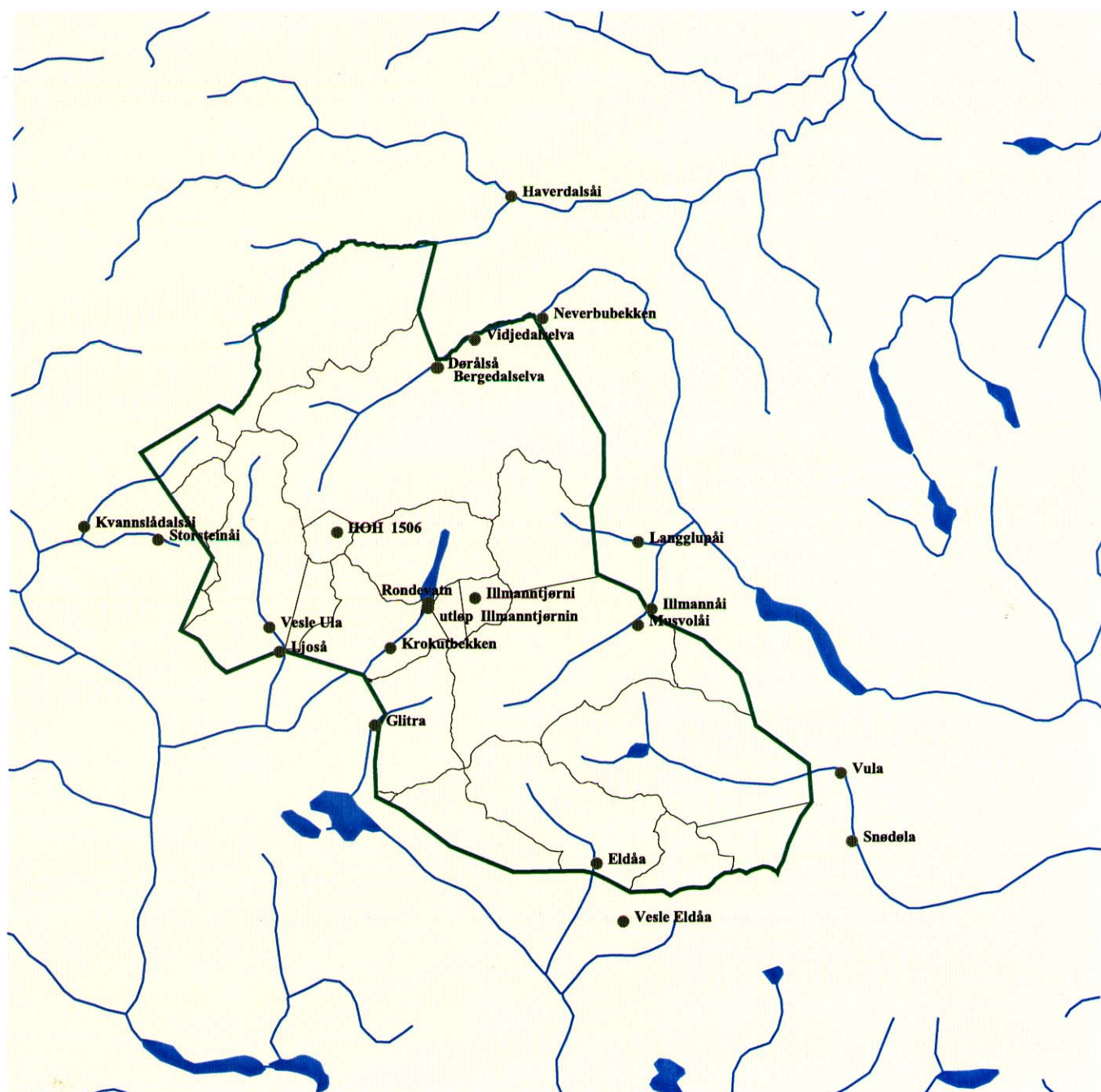
Vannprøvene ble analysert for pH, kalsium, magnesium, natrium, kalium, aluminium, klorid, sulfat, nitrat, ammonium, total-nitrogen, total-fosfor, total organisk karbon, silisium og fluorid. Alle analysene ble utført på NIVA's kjemiske analyselaboratorium etter akkrediterte metoder (Vedlegg B).

## Femundsmarka nasjonalpark



Figur 1. Vassdragsavsnitt (REGINE-enheter) i Femundsmarka nasjonalpark. Prøvetakingspunkter er angitt med grønne punkter og navn.

## Rondane nasjonalpark



0 10 Kilometer

Figur 2. Vassdragsavsnitt (REGINE-enheter) i Rondane nasjonalpark. Prøvetakingspunkter er angitt med grønne punkter og navn.

### 3.4 Nedbør, deponisjon og avrenning

For å beregne tålegrenser trenger vi informasjon om avrenning og vannkjemi og for å beregne overskridelser trenger vi informasjon om nedbør og deponisjon (tilførsler) av svovel og avrenning av nitrogen.

Avrenningen er lest ut fra NVE's hydrologiske kart for Norge 1:500 000, som gir normalverdiene for 1930 - 1960. I følge kartet har hele Femundsmarka spesifikk avrenning på 15-16 l/km<sup>2</sup>/sek (tilsvarer 473 - 504 mm). Den spesifikke avrenningen i Rondane varierer mye, fra 15-20 l/km<sup>2</sup>/sek (tilsvarer 475 - 630 mm) i den lavereliggende randsonen til > 30 l/km<sup>2</sup>/sek (tilsvarer 945 mm) i "hjertet" av Rondane (tabell 1).

For tilførsler av svovel har vi brukt middeldeponisjon for perioden 1988-1992 (1990) (Tørseth og Pedersen, 1994) for å beregne "dagens" forurensingssituasjon. For situasjonen i år 2010 har vi brukt de offisielle deponisjonstallene beregnet for den nye svovelprotokollen som ble undertegnet i juni 1994 i Oslo (UN/ECE 1994). Deponisjonsverdiene for svovel for perioden 1988-1992 er ekstrapolert fra gjennomsnitt-

verdier mellom flere observasjonspunkter. Oppløsningen for disse dataene er ikke like gode som for avrenningen. Både Rondane og Femundsmarka har kun en verdi for nedbør og en for tilførsler av svovel og nitrogen i dette datasettet. Nedbøren er beregnet til 695 mm og 487 mm for henholdsvis Femundsmarka og Rondane. Verdiene for avsatt svovel, nitrat og ammonium er oppgitt i tabell 1. I Femundsmarka er det relativt lite høydeforskjeller, og den spesifikke avrenningen er jevn over hele området. Det er derfor også lite variasjon i nedbørmengder og deponisjon av svovel og nitrogen, slik at de oppgitte verdiene for nedbør og deponisjon i Femundsmarka er akseptable. I Rondane derimot, er det en relativ stor gradient i nedbørmengden både fra nord mot sør og med høyden. Dette virker også inn på avsatt mengde svovel og nitrogen, siden det avsettes mer der det regner mer.

Vi bruker imidlertid ikke målte (eller beregnede) verdier for N-deponisjon ved beregning av overskridelser av tålegrenser for tilførsler av syre. Som estimat for "tilførsler" av nitrogen, bruker vi dagens nitrogenavrenning (som vi får fra vannkjemien), som representerer den delen av N-deponisjonen som bidrar til forurensing.

**Tabell 1. Spesifikk avrenning (fra NVE's kart) og nedbørmengder, S og N deponisjon (fra NILU, Tørseth og Pedersen, 1994) estimert for Femundsmarka og Rondane nasjonalparker. Verdiene er gjennomsnitt for angitte perioder.**

	Spesifikk avrenning l/km <sup>2</sup> /sek	Spesifikk avrenning mm	Nedbør mm	SO <sub>4</sub> -S deponisjon g/m <sup>2</sup> /år	NO <sub>3</sub> -N deponisjon g/m <sup>2</sup> /år	NH <sub>4</sub> -N deponisjon g/m <sup>2</sup> /år
	1930-1960	1930-1960	1988-1992	1988-1992	1988-1992	1988-1992
Femundsmarka	15-16	473-504	695	0.38	0.29	0.32
Rondane	15-30	473-945	487	0.2	0.19	0.2

## 4. Vannkjemi i nasjonalparkene

### 4.1 Femundsmarka

Vann i Femundsmarka er ionefattig og svakt buffret, med unntak av 3 lokaliteter (F8 Litlesjøen, F9 Nedre Roasten og F17 Heggrøst-tjørnane) (tabell 2). Konsentrasjoner av kalsium er under 1 mg/l og ANC er mindre enn 50 mekv/l. Disse lave konsentrasjoner skyldes lav forvittringshastighet i jordsmonnet i nedbørfeltene, som igjen skyldes at løsmasseoverdekket er dominert av forvittringsresistente mineraler som kvarts og feltspat. De noe høyere verdiene (dvs. høyere for norske forhold, men fortsatt meget lavt i Europeisk målestokk) i de 3 innsjøene F8, F9 og F17, kan skyldes lokale innslag av andre lettere forvitrbare mineraler i løsmassene i nedbørfeltene.

Sjøsaltbidrag er gjennomgående meget lavt, som forventet ved at Femundsmarka ligger langt fra kysten (>100 km i luftlinje). Klorid-konsentrasjoner er < 1 mg/l, typisk for innlandsstrøk i Norge (Skjelkvåle et al. 1997).

Innholdet av organisk karbon i vannene viser stor variasjon fra 0.3 til 7.2 mg C/l, omtrent like store variasjon som for Norge i helhet (Skjelkvåle et al. 1997).

Hovedkilden til sulfat i vann er langtransporterte forurensninger. Det er lite langtransportert forurensning i Femundsmarka og deposisjon av svovel i området er lav (estimert av NILU til 0.38 gS/m<sup>2</sup>/år (Tørseth og Pedersen, 1994)). Sulfat konsentrasjonene i vann i Femundsmarka er også lave (0.6 - 2.0 mg/l = 12 - 40 mekv/l) (tabell 2; figur 3). Det er atatt at innsjøer i Norge uten påvirkning av langtransportert forurening har sulfatkonsentrasjoner som er lavere enn 0.5-0.6 mg/l. Et overslag av S-fluks ut basert på spesifikke avrenningstall (tabell 1) og de enkelte vannprøvene (tabell 2) gir 0.19 - 0.67 gS/m<sup>2</sup>/år for de 20 lokalitetene. Verdiene både for fluks inn av S (gjennom deposisjonen) og fluks ut av S (gjennom avrenningen) er heftet med betydelig usikkerhet.

Konsentrasjoner av nitrat i overflatevann i Femundsmarka er svært lave, for det meste nær deteksjonsgrensen < 1 µg NO<sub>3</sub>-N/l (tabell 2 og 4; figur 3). Bare F1 Rønsjøen, med 131 µg NO<sub>3</sub>-N/l har nitrat-konsentrasjon av betydning for forsuringsstatus. I Rønsjøen er retensjonen (tilbakeholdelsen) av atmosfærisk tilført nitrogen bare 80% (totalt i nedbørfelt og innsjøen selv), mens ellers i Femundsmarka ligger retensjonen på > 99%.

Ingen av lokalitetene i Femundsmarka har negativ ANC, og pH er 5.3 - 7.2. Vann i Femundsmarka er forsuringfølsomme, men tilførsel av S og N er lave og innsjøene er bare i liten grad forsuret.

En av innsjøene i Femundsmarka (F15-Storfisketjørn) ble også prøvetatt under 1000-sjøers undersøkelsen i 1986 (Henriksen et al. 1988). Det var ingen merkbar endring i vannkjemien for F15 mellom 1986 og 1995, med unntak av noe lavere sulfat konsentrasjonen i 1995. Dette skyldes trolig det generelle nedgang i S deposisjon i Norge de siste 10 årene (SFT, 1996).

### 4.2 Rondane

Også Rondane er karakterisert av ionefattig vann. Av 22 lokaliteter (bekker, elver eller innsjøer) har 14 kalsium-konsentrasjoner under 1 mg/l (tabell 3). Lokalitet R21 (innsjø uten navn HOH 1506) er ekstremt ionefattig. Denne innsjøen var med i den regionale innsjøundersøkelsen i 1995 (Skjelkvåle et al. 1997) og hadde den laveste ionestyrken av samtlige 1500 undersøkte innsjøer i Norge (konduktivitet 0.37 mS/m). På samme måte som i Femundsmarka skyldes dette lave forvittringshastighet i nedbørfeltene, som igjen skyldes kvartsrik mineralogi i berggrunn og løsmasser.



Sjøsaltbidraget er også meget lavt. Samtlige vann har 0.2 -0.4 mg Cl/l.

De undersøkte lokalitetene i Rondane har ekstremt klart vann, med TOC verdier godt under 1 mgC/l. Dette skyldes trolig at området er over tregrensen, og at vegetasjonen er karrig og sparsom.

Sulfat konsentrasjonene er også lave, og varierer fra 0.3 - 3.7 mg SO<sub>4</sub>/l (tabell 3; figur 3). Høyeste verdier er fra R20 Kvannslådalsåi ved Høvringen (2.9mg/l), og R10 Snødøla ved Enden (3.7 mg/l). Disse høye konsentrasjonene reflekterer sannsynligvis innslag av "geologisk" sulfat, i og med at vannet også inneholder henholdsvis 6.8 og 4.31 mg Ca/l. Deposisjon av svovel i området er også lav (estimert av NILU til 0.2 gS/m<sup>2</sup>/år, Tørseth og Pedersen 1994). Et overslag av S-fluks ut basert på spesifikke avrenningstall (tabell 1) og de enkelte vannprøvene (tabell 3) gir 0.13 - 0.72 gS/m<sup>2</sup>/år for de 18 av de 20 lokalitetene. I R20 Kvannslådalsåi ved Høvringen og R10 Snødøla ved Enden hvor vi antar at det er "geologisk" sulfat i nedbørfeltene, viser S-flukser ut henholdsvis 0.97 og 1.40 gS/m<sup>2</sup>/år. Verdiene både for fluks inn av S (gjennom deposisjonen) og fluks ut av S (gjennom avrenningen) er heftet med betydelig usikkerhet.

I Rondane er nitrat-konsentrasjoner i de undersøkte lokalitetene til dels overraskende høye. Hele 9 lokaliteter har NO<sub>3</sub>-N > 100 µgN/l (tabell 3; figur 3), konsentrasjonsnivå som ellers vanligvis bare finnes i innsjøer de mest N-

belastede områdene (for Norge) på Sør- og Vestlandet (Skjelkvåle et al. 1997) (tabell 4). Med estimert deposisjon av nitrogen på 0.39 gN/m<sup>2</sup>/år betyr det at for disse lokaliteter er det ingen retensjon (tilbakeholdelse) av N. De forholdsvis høye nitrat-konsentrasjonene målt i enkelte lokaliteter kan muligens forklare observasjoner om at begroing ("grønske") i bekkene har økt de siste 10-årene (Lindström, 1995). Disse observasjonene kan også bekrefte av fjelloppsyn (F. Platou pers. medd.) og hytteiere (H.Sverdrup pers. medd.) i Rondane.

Det er flere forklaringer på de overraskende høye nitrat konsentrasjonene. Vanligvis holdes det aller meste av N-tilførselene tilbake i det terrestrisk miljø. Nitrogen er normalt det vekstbegrensende næringselement i de fleste skog- og heiøkosystemer. Men Rondane har ekstremt lite vegetasjon og tynt jordsmonn som kan ta opp nitrogen. Det er derfor ikke uvanlig at fjellområder har forholdsvis lav N-retensjon. De relativt høye nitratkonsentrasjonene sammen med de lave sulfatkonsentrasjoner i Rondane betyr at for enkelte innsjøer er nitrat ansvarlig for ca. halvparten av forsuringen. I fremtiden vil det relative bidraget fra nitrat trolig øke, i og med at prognosen er minkende for tilførsler av sulfat.

I Rondane har en lokalitet (R6 Langglupåi ved Bjørnhollia) signifikant negativ ANC, pH på 5.1, og labilt Al på 84 µgAl/l (tabell 3). Dette tyder klart på forsuring som kan gi skader på fisk og andre organismer. Ellers er vannkvalitet god, men Rondane er meget forsuringfølsom.

**Tabell 2. Femundsmarka nasjonalpark: Kjemiske data for vannprøver tatt høsten 1996 (F1 - F13) og høsten 1995 (F14-F20) (Skjelkvåle et al. 1997).**

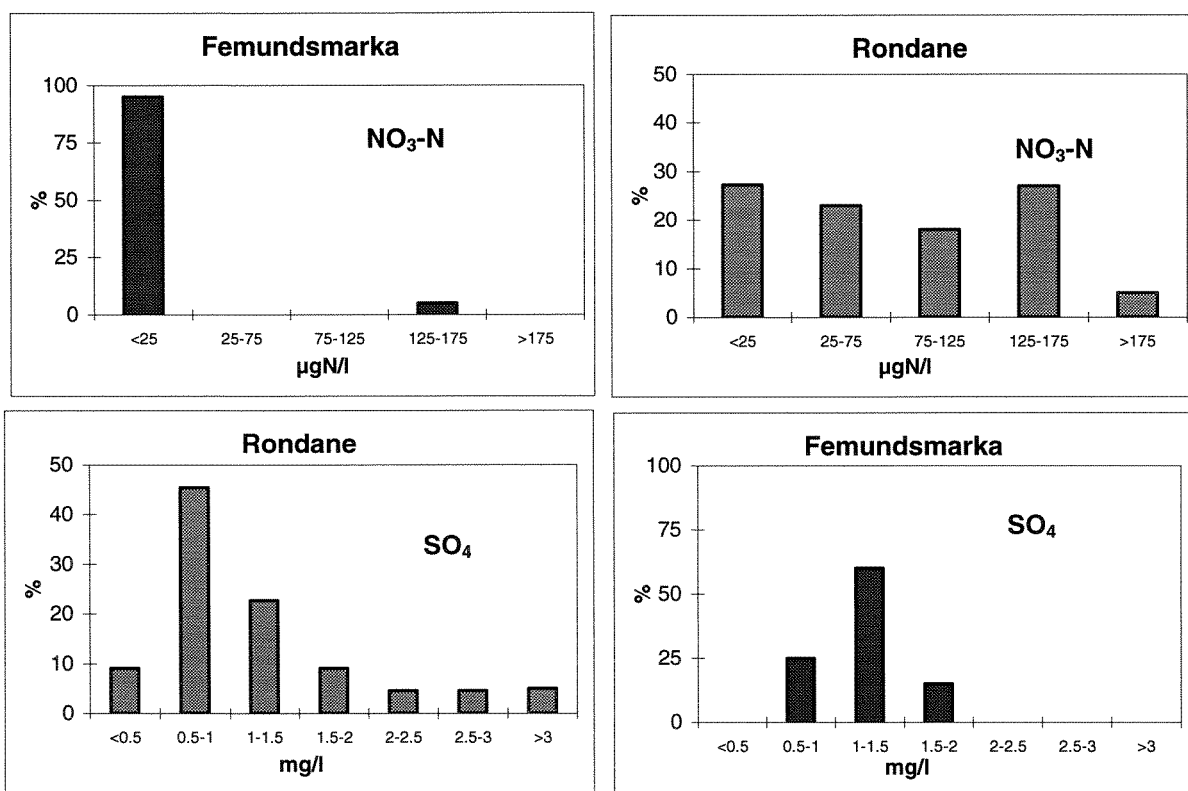
Kode	Navn	Vassdragsn	UTM-	UTM-	HOH	PH	K25	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	Alk	ANC	RAI	IIAI	LAI	TOC	NO <sub>3</sub> -N	Tot-N
			OV	NS																	
			SONE	33	mS/m			mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
F1	Rønsjøen	310.2AB	3540	68991	888	6.42	1.04	0.78	0.15	0.69	0.15	0.4	1.3	44	37	10	10	0	0.3	131	185
F2	Grøtåa	311.LZ	3510	69105	758	6.33	0.86	0.55	0.15	0.69	0.18	0.4	1.2	34	38	33	31	2	1.8	1	86
F3	Vonsjøtjørna	310.1A	3578	69072	795	6.17	0.78	0.35	0.12	0.63	0.23	0.6	1.1	21	21	15	15	0	2.1	1	190
F4	Lille Vonsjøen	311.N1B	3580	69110	783	6.24	0.83	0.42	0.14	0.59	0.18	0.5	1.4	22	19	10	10	0	1.2	1	96
F5	Bekk Øvre Roasten	311.L3	3498	69131	720	5.32	0.90	0.24	0.08	0.64	0.21	0.6	1.2	3	10	69	65	4	3.7	1	96
F6	Svarttjørna	311.K4	3476	69160	725	5.57	0.88	0.31	0.10	0.69	0.31	0.6	1.1	10	22	45	38	7	4.4	3	143
F7	Styggefisktjørna	311.K4	3485	69182	793	6.42	1.14	1.02	0.13	0.62	0.25	0.6	1.5	46	47	10	15	-5	2.9	4	165
F8	Lillesjøen	311.L2	3502	69145	732	6.88	1.91	2.03	0.54	0.69	0.29	0.6	1.4	126	137	10	11	-1	3.1	3	143
F9	Nedre Roasten	311.L1/L2	3485	69158	720	6.90	1.92	2.14	0.48	0.69	0.18	0.7	1.7	121	125	10	11	-1	3.2	8	128
F10	Trønderfjern	311.L2	3520	69133	732	5.61	0.92	0.40	0.12	0.63	0.24	0.5	1.3	11	22	68	65	3	5.3	1	150
F11	Svartsjøen	311.J8A	3464	69238	710	6.50	1.51	1.51	0.26	0.67	0.36	0.7	1.6	61	82	35	31	4	5.2	3	195
F12	Bekk ved Svukuriset	311.J5Z	3458	69029	886	6.37	0.73	0.31	0.12	0.85	0.13	0.3	0.6	37	45	40	35	5	2.6	1	92
F13	Nedre Muggsjøen	311.J8B	3495	69255	780	5.93	0.83	0.45	0.12	0.65	0.12	0.5	1.0	18	29	58	55	3	4.2	1	134
F14	Skebrøsjøane	311.J8B	3533	69232	827	5.91	0.92	0.64	0.16	0.70	0.10	0.5	0.8	23	47	76	75	1	7.2	1	235
F15	Storfisktjørn	311.M3	3547	69120	758	5.86	0.78	0.38	0.11	0.64	0.22	0.5	1.2	16	22	48	1	47	2.9	6	132
F16	Abbotfjørna	311.M1	3520	69118	739	6.26	0.92	0.44	0.14	0.96	0.24	0.5	1.3	36	40	25	-2	27	2.7	4	160
F17	Heggøsttjørnane	311.K2	3467	69179	747	7.16	3.23	3.67	1.40	0.85	0.32	0.6	2.0	265	285	10	0	10	3.6	1	155
F19	Styggsjøane	311.N2Z	3535	69166	765	5.93	0.73	0.25	0.10	0.60	0.17	0.6	1.3	12	7	10	0	10	1.8	1	141
F20	Midtre Muggsjøen	311.J8C	3539	69258	845	5.94	0.59	0.30	0.08	0.49	0.14	0.6	0.9	12	11	20	3	17	1.4	1	86

Tabell 3. Rondane nasjonalpark: Kjemiske data for vannprøver tatt høsten 1996 (R1-R20) og høsten 1995 (R21-R22) (Skjelkvåle et al. 1997).

Kode	Navn	Vassdragsn	UTM-	UTM-	HOH	PH	K25	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	Alk	ANC	RAI	IIAI	LAI	TOC	NO <sub>3</sub> -N	Tot-N
			OV	NS																	
			SONE	32			mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µekv/l	µekv/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg C/l	µg N/l	µg N/l
R1	Haverdalsåi	002.MDBZ	68819	5441	860	6.86	1.82	2.18	0.47	0.41	0.29	0.4	2.2	120	110	10	10	0	0.6	76	111
R2	Dørrålsån ved Bergedalen	002.LG	68729	5412	1160	5.87	0.68	0.46	0.11	0.15	0.14	0.2	1.2	5	-1	25	10	15	0.5	175	205
R3	Bergedalselva ved Dørrålen	002.LG	68729	5413	1160	5.89	0.60	0.43	0.05	0.22	0.20	0.2	1.1	8	4	18	10	8	0.5	107	137
R4	Vidjedalselva ved Dørrålen	002.LG	68745	5430	1045	6.25	0.56	0.46	0.07	0.31	0.17	0.2	0.7	23	20	10	10	0	0.4	94	111
R5	Neverubekken ved Dørrålen	002.LG	68759	5463	1060	6.29	0.63	0.47	0.09	0.40	0.15	0.2	0.9	24	23	10	10	0	0.7	72	111
R6	Langglupåi ved Bjørnholla	002.LFZ	68645	5524	875	5.13	0.76	0.20	0.03	0.08	0.17	0.2	0.9	0	-20	94	10	84	0.5	220	260
R7	Illmannåi ved Bjørnholla	002.LFZ	68617	5533	914	6.00	0.64	0.51	0.11	0.20	0.15	0.2	1.0	14	10	14	10	4	0.7	155	200
R8	Musvoldi ved Bjørnholla	002.LFZ	68608	5527	908	6.25	0.70	0.69	0.06	0.38	0.11	0.2	1.0	27	30	32	32	0	1.3	38	104
R9	Vula ved Enden	002.LBZ	68543	5637	770	6.83	1.47	1.93	0.25	0.53	0.21	0.3	1.6	107	103	10	10	0	0.7	11	56
R10	Snødøla ved Enden	002.LBZ	68509	5646	760	7.04	2.69	4.31	0.24	0.55	0.17	0.3	3.7	174	173	10	10	0	0.9	59	105
R11	Vesle Eldåa ved Eldåseter	002.DF3BZ	68469	5509	988	6.70	1.48	1.64	0.22	0.69	0.24	0.3	1.9	91	87	14	11	3	1.6	19	86
R12	Eldåa ved Eldåbu	002.DF3CZ	68500	5498	1090	6.71	1.19	1.35	0.14	0.60	0.13	0.2	1.5	75	71	10	10	0	0.9	4	50
R13	Rondevatn	002.DJ1C	68610	5420	1167	5.64	0.65	0.35	0.06	0.24	0.36	0.3	0.9	8	5	23	10	13	0.4	128	134
R14	Utløp Illmannattjørn	002.DJ1B	68607	5420	1165	6.71	1.06	0.93	0.46	0.21	0.17	0.2	1.0	66	63	10	10	0	0.5	113	150
R15	Krokutbekken ved Store Ula	002.DJ1B	68585	5403	1138	6.25	0.46	0.23	0.05	0.37	0.12	0.2	0.3	20	14	10	10	0	0.2	130	146
R16	Glitra ved Mysuseter	002.DF3F	68533	5393	852	6.53	0.92	0.95	0.08	0.51	0.14	0.2	1.3	46	45	18	11	7	0.8	32	68
R17	Vesle Ula	002.DJ1AZ	685758	5342	700	6.41	0.84	0.73	0.28	0.26	0.14	0.2	1.0	37	37	18	11	7	0.8	160	195
R18	Ljoså	002.DJ1AZ	68578	5347	1020	5.94	0.63	0.43	0.11	0.27	0.14	0.2	0.6	25	17	10	10	0	0.2	155	175
R19	Storsteinåi ved Høvringen	002.DJ3B	68629	5280	1100	6.79	1.23	1.35	0.28	0.46	0.25	0.2	1.3	84	83	10	10	0	1.2	12	62
R20	Kvannslådsåi ved Høvringen	002.DJ3A	68632	5242	930	7.42	4.23	6.81	0.62	0.47	0.44	0.3	2.9	366	353	10	10	0	0.5	4	33
R21	HOH 1506	002.LG	68641	5370	1506	5.45	0.37	0.08	0.00	0.08	0.06	0.2	0.5	0	10	19	9	10	0.3	1	116
R22	ILLMANTJØRNI	002.DJ1B	68607	4452	1279	6.84	1.15	1.12	0.54	0.19	0.20	0.2	1.0	84	20	10	0	10	0.5	60	102

**Tabell 4. Frekvensfordeling (prosentiler) for nitrat konsentrasjoner ( $\mu\text{g/l}$ ) i prøvene fra Femundsmarka og Rondane samt 1500 innsjøer i Norge prøvetatt høsten 1995 (Skjelkvåle et al. 1997). (10% menes at 10% av lokalitetene har lavere verdi enn den oppgitte i tabellen, 25% menes at 25% av prøvene har lavere verdi etc.)**

Prosentiler	10%	25%	50%	75%	90%
<b>Femundsmarka</b>	<1	<1	<1	4	8
<b>Rondane</b>	4	12	72	113	175
Østlandet	2	4	16	47	86
Sørlandet	10	40	81	119	205
Vestlandet	16	50	77	119	170
Midt-Norge	<1	4	4	16	38
Nord-Norge	<1	<1	4	13	34



**Figur 3. Frekvens histogram av sulfat og nitrat konsentrasjoner i vannprøver tatt i Femundsmarka og Rondane. Figuren viser hvor mange prosent av de analyserte prøvene som ligger innenfor hvert konsentrasjonsintervall.**

## 5. Tålegrenser for vann

Vi har beregnet tålegrensen for tilførsler av syre og overskridelse av tålegrensen i 1990 og i år 2010 for hvert nedbørfelt i Femundsmarka (tabell 5; figur 4) og Rondane (tabell 6 og figur 5) som beskrevet i avsnitt 3.1 og 3.3 og vedlegg B. I vedlegg C er det listet verdier for alle REGINE-enhetene som er brukt til kartene (figur 5 og 6).

### 5.1 Femundsmarka

Tålegrenser for tilførsler av syre til overflatevann i Femundsmarka er meget lave for samtlige vann med unntak av F17 Heggrøsttjørnane (tabell 5;

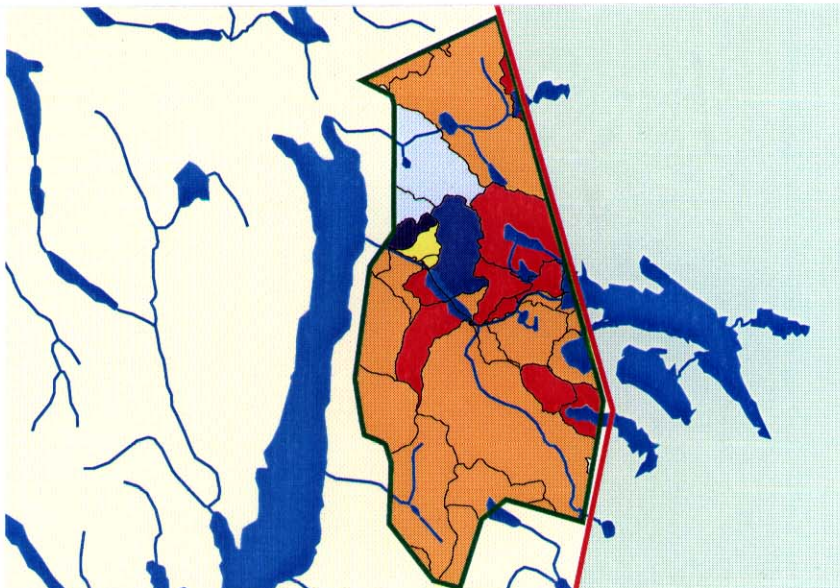
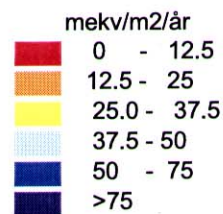
figur 4). De lave tålegrenser skyldes lave forvittringshastighet som igjen reflekterer mineralogien i jordsmonnet og overdekket. Ved dagens tilførsel av sur nedbør er tålegrensen såvidt overskredet i 14 av de 19 lokalitetene. I år 2010, etter at reduksjoner i svovel utslipp og tilførsel er gjennomført (Oslo-protokollen, UN/ECE 1994) vil ingen av innsjøene i Femundsmarka ha overskridelser av tålegrensene, forutsatt at avrenningen av nitrogen holder seg på dagens nivå.

**Tabell 5. Femundsmarka nasjonalpark: Tålegrenser for tilførsler av syre ved bruk av  $ANC_{var}$  og vannprøver i tabell 2. Overskridelse av tålegrensen for tilførsler av svovel og nitrogen er basert på dagens S-deposisjon (1990) og scenarier for S-deposisjon i år 2010 og dagens N-avrenning.  $BC_0$  er den opprinnelige basekationkonsentrasjonen i "før-forsuringstid" og ANC-limit er beregnet på basis av  $BC_0$  og avrenning og angir altså grenseverdien som brukes i tålegrenseberegningene.**

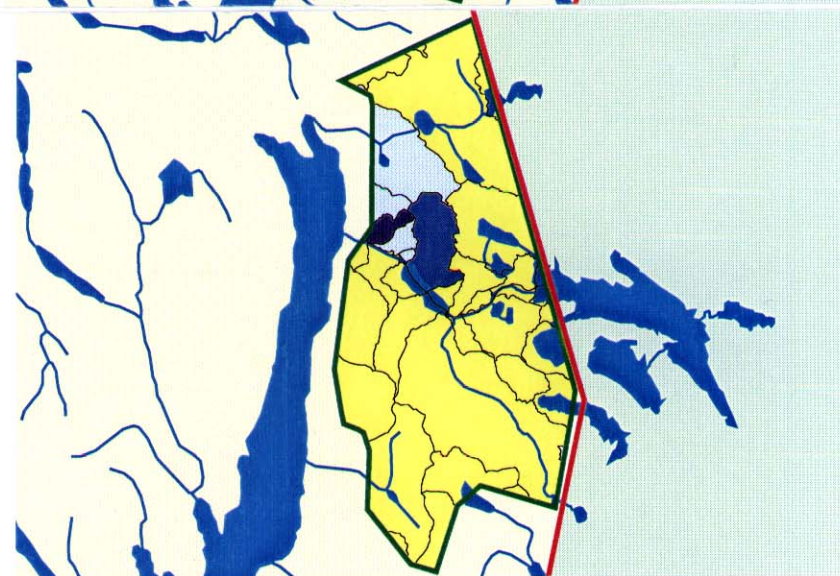
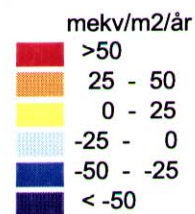
Kode	Navn	$BC_0$ µekv/l	ANC-limit µekv/l	Tålegrense mekv/m <sup>2</sup> år	Overskridelse	Overskridelse
					1990 mekv/m <sup>2</sup> år	2010 mekv/m <sup>2</sup> år
F1	Rønsjøen	68	11	25	3	-10
F2	Grøtåa	57	9	21	3	-11
F3	Vonsjøtjørna	35	5	13	10	-3
F4	Lille Vonsjøen	42	5	16	7	-6
F5	Bekk Øvre Roasten	29	3	11	12	-1
F6	Svartetjørna	34	3	14	10	-3
F7	Styggefisktjørna	71	12	26	-2	-15
F8	Littesjøen	157	24	58	-35	-48
F9	Nedre Roasten	154	24	57	-33	-46
F10	Trøndertjern	43	5	17	7	-6
F11	Svartsjøen	104	15	39	-15	-28
F12	Bekk ved Svukurise	52	7	20	4	-9
F13	Nedre Muggsjøen	46	7	17	6	-7
F14	Skebrostjøane	61	10	23	1	-12
F15	Storfisktjørn	40	6	15	9	-4
F16	Aborttjørna	59	10	22	2	-11
F17	Heggrøsttjørnane	316	45	120	-96	-109
F19	Styggsjøane	28	5	10	14	1
F20	Midtre Muggsjøen	25	5	10	14	1

Femundsmarka nasjonalpark

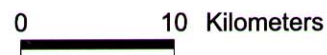
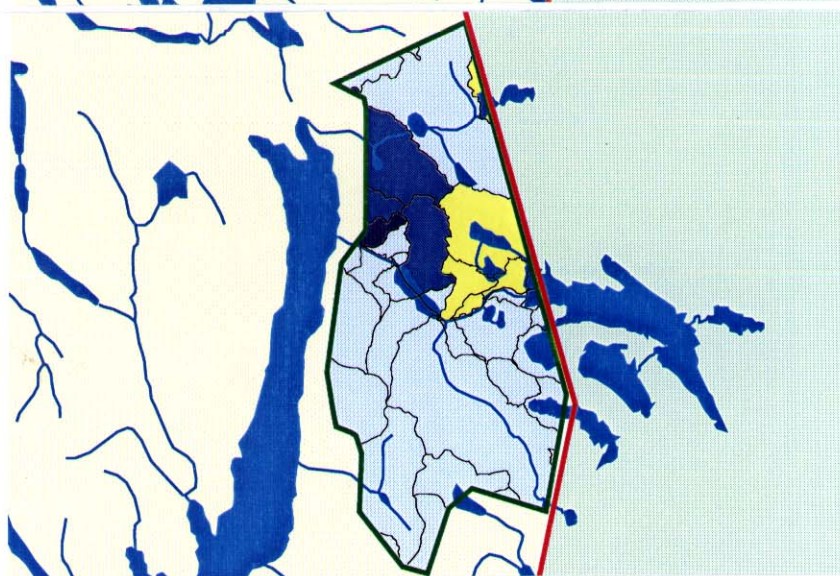
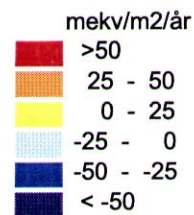
Tålegrense



Overskridelse 1990



Overskridelse 2010



Tema informasjon : NVE-REGINE, NIVA

Figur 4. Femundsmarka nasjonalpark: Tålegrenser for tilførsler av syre ved bruk av ANC<sub>var</sub> og vannprøver i tabell 2. Overskridelse av tålegrensen for tilførsler av svovel og nitrogen er basert på dagens S-deposisjon (1990) og scenarier for S-deposisjon i år 2010 og dagens N-avrenning.

## 5.2 Rondane

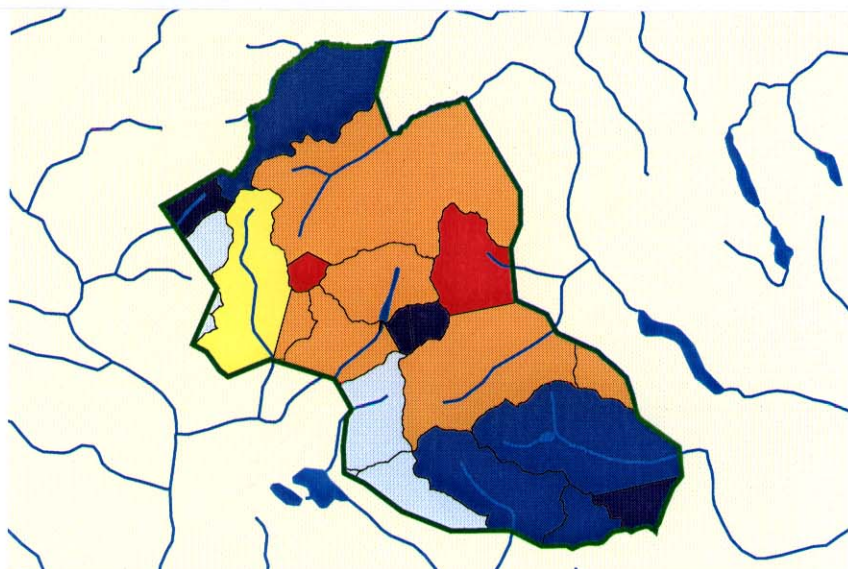
Også i Rondane nasjonalpark er tålegrenser for tilførsler av syre til overflatevann lave, men noe høyere og med større spredning enn i Femundsmarka (tabell 6; figur 5). Ved dagens tilførsel av sur nedbør er tålegrensene overskredet i 3 av 22 lokaliteter, og i år 2010

vil bare 1 lokalitet fortsatt ha overskredet tålegrense (R21 HOH 1506). Denne innsjøen har den laveste ionestyrke (og dermed lavest beregnede forvittringshastighet) av samtlige vann prøvetatt i 1500-sjøers undersøkelse i 1995 (Skjelkvåle et al. 1997).

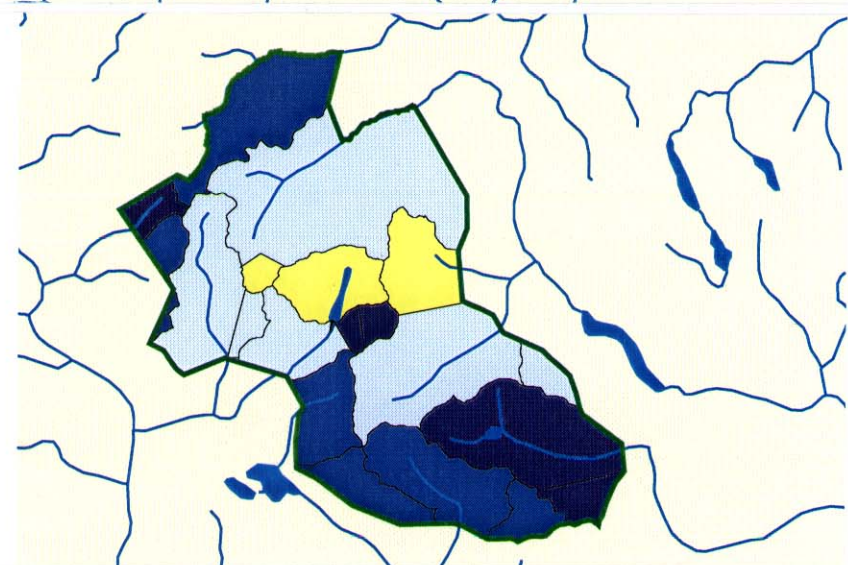
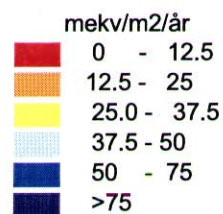
**Tabell 6. Rondane nasjonalpark: Tålegrenser for tilførsler av syre ved bruk av ANC<sub>var</sub> og vannprøver i tabell 3. Overskridelse av tålegrensen for tilførsler av svovel og nitrogen er basert på dagens S-deposisjon (1990) og scenarier for S-deposisjon i år 2010 og dagens N-avrenning. BC<sub>0</sub> er den opprinnelige basekationkonsentrasjonen i "før-forsuringstid" og ANC-limit er beregnet på basis av BC<sub>0</sub> og avrenning og angir altså grenseverdien som brukes i tålegrenseberegningene.**

Kode	Navn	BC <sub>0</sub>	ANC-limit	Tålegrense	Overskridelse	Overskridelse
		µekv/l	µekv/l	mekv/m <sup>2</sup> år	1990 mekv/m <sup>2</sup> år	2010 mekv/m <sup>2</sup> år
R1	Haverdalsåi	153	15	65	-50	-58
R2	Dørålsån ved Bergedalen	33	3	19	-7	-14
R3	Bergedalselva ved Dørålen	29	3	17	1	-7
R4	Vidjedalselva ved Dørålen	36	3	18	-2	-10
R5	Neverbubekken ved Dørålen	43	3	22	-7	-15
R6	Langglupåi ved Bjørnhollia	9	1	5	17	9
R7	Illmannå ved Bjørnhollia	37	3	21	-2	-9
R8	Musvolåi ved Bjørnhollia	51	5	16	-2	-10
R9	Vula ved Enden	131	13	67	-54	-62
R10	Snødøla ved Enden	250	25	127	-115	-122
R11	Vesle Eldåa ved Eldåseter	122	13	62	-48	-56
R12	Eldåa ved Eldåbu	98	10	56	-43	-51
R13	Rondevatn	23	1	21	-8	-16
R14	Utløp Illmannatjørn	88	8	76	-63	-71
R15	Krokutbekken ved Store Ula	25	2	22	-1	-8
R16	Glitra ved Mysusetter	69	6	40	-26	-33
R17	Vesle Ula	64	6	33	-20	-28
R18	Ljoså	37	3	19	-7	-14
R19	Storsteinåi ved Høvringen	103	10	47	-35	-42
R20	Kvannslådalsåi ved Høvringen	402	25	190	-178	-185
R21	HOH 1506	0	0	0	13	5
R22	ILLMANTJØRNI	183	18	150	-137	-144

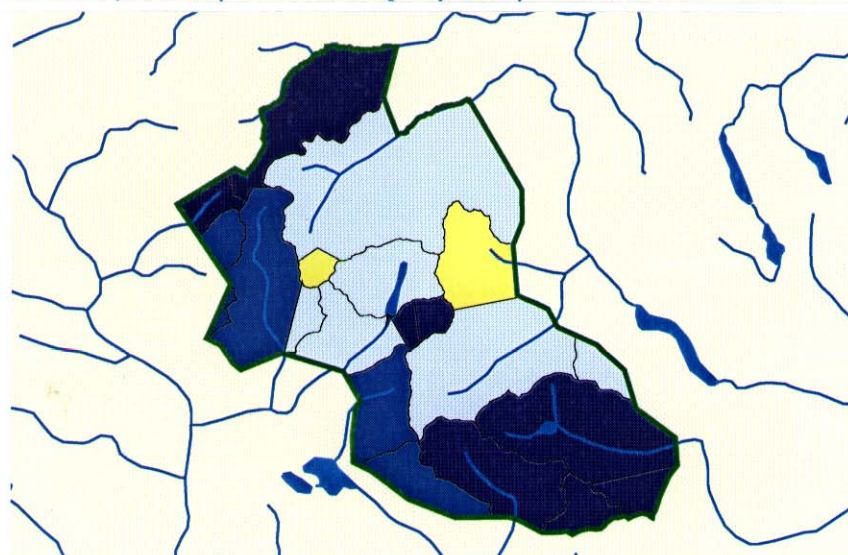
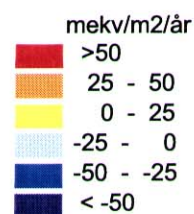
Rondane nasjonalpark



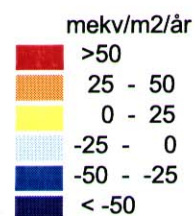
Tålegrense



Overskridelse 1990



Overskridelse 2010



0 10 Kilometers

Tema informasjon : NVE-REGINE, NIVA

**Figur 5. Rondane nasjonalpark: Tålegrenser for tilførsler av syre ved bruk av ANC<sub>var</sub> og vannprøver i tabell 3. Overskridelse av tålegrensen for tilførsler av svovel og nitrogen er basert på dagens S-deposisjon (1990) og scenarier for S-deposisjon i år 2010 og dagens N-avrenning.**



## 6. Tålegrenser for jord i Rondane

De seks prøvetaksstedene for jord som Dahl tok i 1941 (Dahl, 1957) ligger i eller like ved nedbørfeltene til 5 lokaliteter med vannprøver i Rondane (tabell 7). Sammen gir de grunnlag for kalibrering av MAGIC modellen (Vedlegg D), som kan brukes til å beregne tålegrenser for jord (og vann). Dahl's analyser er basert per jordsjikt.

Disse er her slått sammen til en masseveiet middelværdi for hvert jordprofil. Gjennomsnittlig jorddybde for hele nedbørfelter er anslått til 50% av dybden i Dahl's prøver. Disse er tatt forholdsvis lavt nede i feltene hvor jorddybden generelt er større enn høyere opp.

**Tabell 7. Jordprøver av Dahl (1988) og tilsvarende vannprøve fra denne undersøkelsen samt integrert verdier for jordparameter brukt i MAGIC kalibreringer.**

jordprøve nr.	lokalitet	vann prøve nr.	lokalitet	jord dybde cm	tetthet kg/m <sup>3</sup>	KBK mekv/kg	% Ca	%M g	%Na	%K
042	Dørålen	R4	Vidjedalsbekken	23	1050	30	7.3	0.6	0	0.8
441 og 481	Rondvassbu og Illmanntjern	R14	bekk fra Illmanntjern	21	1050	140	1.7	0.6	0.3	0.8
337 og 339	mellom Peer Gynt - hytta og Rondvassbu	R15	Krokutbekken	23	795	107	2.4	0.3	0.3	0.6
474	mellom Peer Gynt - hytta og Rondvassbu	R18	Ljosåi	25	760	1448	44.3	1.8	0.4	2.0
441 og 481	Rondvassbu og Illmanntjern	R22	Illmanntjern	21	1050	140	1.7	0.6	0.3	0.8

Videre er det antatt at Cl i vannprøven er et mål for sjøsaltdeposisjon, og at sulfat i vannprøven er et mål for svovel-deposisjon (tabell 8). Vi antar at det ikke er vesentlige endring i vegetasjonen

(netto opptak av basekationer i vegetasjonen er null) og at opptak (retensjon) av nitrogenkomponenter i nedbørfeltene til enhver tid er en konstant prosent av N-deposisjonen.

**Tabell 8. Avrenning, antatt 1996 S-deposisjon og % N retensjon brukt i kalibrering av MAGIC.**

Vann- prøve nr.	lokalitet	spesifikk avrenning		1996 S deposisjon	N retensjon
		l/s/km <sup>2</sup>	mm/år	mekv/m <sup>2</sup> /år	%
R4	Vidjedalsbekken	18	570	7	70
R14	bekk fra Illmanntjern	30	950	18	45
R15	Krokutbekken	30	950	5	40
R18	Ljosåi	18	570	6	55
R22	Illmanntjern	29	920	17	70

Tålegrensene for jord i Rondane er meget lave (tabell 9), og hvis området hadde fått samme belastning som Sørlandet ville både vann og jord blitt kraftig forsuret. Imidlertid er dagens deposisjon av svovel og nitrogen også lave, og i de 5 undersøkte lokalitetene er tålegrensen for jord overskredet. De lave tålegrenser for jord skyldes tynt jordsmonn og meget lavt innhold av basekationer, som igjen gjenspeiler mineralogien i berggrunnen.

De beregnende tålegrensene er ca. 2-3 ganger høyere for jord enn for vann (tabell 9). Rondane faller dermed inn i det generelle mønster for Norge forøvrig; tålegrenser beregnet på ca. 700 skogsjordprøver over hele Norge (Frogner et al. 1994) viser at overflatevann generelt er mer

forsuringsfølsomt enn jord. Denne konklusjon er basert på skadekriterier for vann ved  $ANC_{limit}$  fra 0-50  $\mu\text{ekv/l}$ , og for jord et Ca/Al-forhold i jordvann på 0.67 mol/mol. Imidlertid er kriteriet for jord basert på skadevirkning på trær. Det finnes ingen generell kriterier for skadevirkningen av forsuring på naturlig hei og alpin vegetasjon som er karakteristisk for store deler av Norge, inklusive Rondane. Derfor kan de beregnede tålegrensene for jord i Rondane være for høye eller for lave. Fastleggelse av tålegrenser for jord i slike områder er derfor meget viktig, ikke bare for Norge's del, men også for andre deler av verden med tilsvarende naturforhold (f.eks. Sverige, Skotland, og Russland).

**Tabell 9. Tålegrense for vann og jord (mekv/m<sup>2</sup>/år) beregnet ved MAGIC modellen. ANC limit ( $\mu\text{ekv/l}$ ) er angitt i parentes. For jord er Ca/Al = 0.67 mol/mol brukt som limit. S-deposisjon i 1996 ved steady-state (mekv/m<sup>2</sup>/år) er beregnet ut fra SO<sub>4</sub> konsentrasjonen i vannprøvene. (CL-Critical load = tålegrense)**

Nedbørfelt	lokalitet	CL vann ( $ANC_{limit}$ )	CL jord	S deposisjon 1996 ved steady-state
R4	Vidjedalsbekken	20 (3)	37	7
R14	bekk fra Illmantjern	74 (8)	160	18
R15	Krokutbekken	20 (2)	36	5
R18	Ljosåi	22 (3)	58	6
R22	Illmantjern	79 (18)	183	17

Det kalibrerte parametersett for MAGIC kan brukes til å estimere det totale tap av basekationer fra jordsmonnet siden forsuringen tok til (tabell 10). Dahl (1988) beregnet tap av basekationer over perioden 1942-48 til 1988 til 9 mekv/m<sup>2</sup>/år, ut fra pH i prøvene fra 40-årene og gjentak i 1988. For de 5 undersøkte lokalitetene anslår MAGIC tap av basekationer på 4 til 12 mekv/m<sup>2</sup>/år over den samme perioden. Totalt er det en nedgang på

ca. 15-35% av basekationreservoaret i jordsmonnet i løpet av denne 40-års perioden. Denne jordforsuringen er forholdsvis liten og har ikke ført til markert forsuring av overflatevannet. I og med at svoveldeposisjon nå er på tilbakegang, vil fremtidig jordforsuring avta. Modellering av forsuringssituasjonen viser at både jord og vann er sikret de neste 50 år med dagens tilførsler av S og N.

**Tabell 10. Beregnet "pool" av baskationer i jordsmonnet i årene 1942 og 1988, % tap og beregnet forvittringshastighet for 5 lokaliteter i Rondane.**

Nedbørfelt	lokalitet	baskation pool mekv m <sup>2</sup>			forvittringshastighet
		1942	1988	% nedgang	mekv/m/år
R4	Vidjedalsbekken	1100	830	25	<b>19</b>
R14	bekk fra Illmantjern	1450	960	35	<b>85</b>
R15	Krokutbekken	900	740	20	<b>25</b>
R18	Ljosåi	2800	2400	15	<b>16</b>
R22	Illmantjern	1500	1100	25	<b>97</b>

## 7. Referanser

- Brakke, D.F., Henriksen, A. and Norton, S.A. 1990. A variable F-factor to explain changes in base cation concentrations as a function of strong acid deposition. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24, 146-149.
- Dahl, E. 1957. Rondane mountain vegetation in South Norway and its relation to the environment. *Avh. Det norske Videnskaps Academi, Oslo, 1. Mat. -Naturv. Klasse, 1956 Nr. 3, s. 1-374.*
- Dahl, E. 1988. Acidification of soils in the Rondane Mountains, south Norway, due to acid precipitation. *Økoforsk rapport 1988:1, 1432 Ås, 53s.*
- DNT 1984. Rondane/Lillehammer. Det norske Turistforening. *Årbok 1984. Fjell og Vidde 5/1984, DNT, Oslo, 238s.*
- DNT 1987. Femundsmarka og omkringliggende fjellstrøk. Det norske Turistforening. *Årbok 1987. Fjell og Vidde 5/1987, DNT, Oslo, 240s.*
- Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., and Esser, J. M. 1994. Maps of Critical Loads and Exceedence for Sulfur and Nitrogen to Forest Soils in Norway. *Fagrapport 56, Naturens tålegrenser, NIVA nr. 3090, Oslo, 27 s.*
- Henriksen, A. 1984. Changes in base cation concentrations due to freshwater acidification. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22, 692-698.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S., Sevaldrud, I.S., and Brakke, D.F. 1988. Lake acidification in Norway - present and predicted chemical status. *Ambio 17: 259-266.*
- Henriksen, A., Posch, M., Hultberg, H. og Lien, L. 1995. Critical loads of acidity for surface waters - Can the  $ANC_{limit}$  be considered variable? *Water, Air and Soil Pollut.* 85: 2419-2424.
- Henriksen, A., Skjelkvåle, B.L. og Tjomsland, T. upublisert. Kvantifisering av risiko for forsuring i verneområded ved ulike forurensningsscenarioer - Forprosjekt.
- Lindström, E.A. 1995. Increased periphyton growth in remote Norwegian waters may be due to airborne Nitrogen deposition. *Acid Reign'95, Abstract book p. 200.*
- Nilsson, J. og Grennfelt, P. (redaktører) 1988. Critical loads for sulphur and nitrogen - report from a workshop held at Skokloster, sweden 19-24 march, 1989 418 sider. UN/ECE og Nordic Council of Ministers, 1988. *Nord 1988:15.*
- SFT, 1996. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. *Årsrapport - Tilførsler. SFT 663/96.*
- Skjelkvåle, B.L. Henriksen, A., Faafeng, B., Fjeld, E., Traaen, T., Lien, L., Lydersen, E., og Buan, A.K. 1997. Regionale innsjøundersøkelse 1995. En vannkjemiske undersøkelse av 1500 norske innsjøer. *Rapport 677/96, Statlig program for forurensningsovervåking, Statens forurensningstilsyn, Oslo, 73s.*

- Strøm, K.M., 1944. High mountain limnology. Some observations on stagnant and running waters on the Rondane area. Avh. Det norske Videnskaps Academi, Oslo, 1. Mat. -Naturv. Klasse, Nr. 8, s. 1-24.
- Tørseth, K. og Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.
- UN/ECE, 1994. Protocol to the 1979 convention on long-range transboundary air pollution on further reduction of sulphur emissions. Document ECE/EB.AIR/40. New York og Geneva.
- Wright, R.F. 1977. Historical changes in the pH of 128 lakes in southern Norway and 130 lakes in southern Sweden over the period 1923-1976. Teknisk Rapport TN 34/77, SNSF-prosjekt, NISK, 1432 Ås, 71s.

## Vedlegg A. Beregning av tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for tilførsler av syre til overflatevann

For beregning av tålegrenser for forsurening av overflatevann bruker vi en metode som kalles "The Steady-State Water Chemistry (SSWC) method". Denne er spesielt anvendig for overflatevann i områder hvor innsjøer er det mest følsomme økosystemet m.h.p. forsurening. Metoden forutsetter at tilnærmet all sulfat i avrenningen kommer fra sjøsalter og antropogene kilder (forbrenning av fossilt brennstoff) og at veldig lite genereres i nedbørfeltet ved forvitring. Tålegrensen for innsjøer kan beregnes på basis av en årlig veid middelveid, eller som i tilfellet med denne undersøkelsen, på basis av en høstprøve i en innsjø eller en bekk/elv som vi antar representerer en slik veid middelveid. Metoden baserer seg videre på bruk av ANC som et kjemisk kriterie for sensitive organismer i vannet. ANC begrepet er forklart i kap 4.

For å skille effekter av sjøsalter fra antropogene effekter bruker vi ikke-marine verdier i alle beregninger som forklart i kap. 4.

### Om forutsetningene i modellen

Tålegrensen for en innsjø er definert på grunnlag av den opprinnelige forvittringshastigheten i nedbørfeltet. Den totale fluxen av basekationer ( $BC^*_t$ ) fra et nedbørfelt er et resultat av balansen mellom input fra forvitring ( $BC_w$ ), ione-bytte ( $BC_i$ ), ikke-marin atmosfærisk deposisjon ( $BC^*_{dep}$ ), og opptak i biomassen ( $BC_u$ ):

$$BC^*_t = BC_w + BC_i + BC^*_{dep} - BC_u \quad (1)$$

hvor alle parametere er uttrykt som årlige fluxer ( $\text{mekv} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{år}^{-1}$ ). Av disse parameterene er  $BC^*_t$  og  $BC^*_{dep}$  beregnet direkte fra avrenningsmengde, nedbørvolum og konsentrasjonsmålinger.

$BC_i$  er relatert til langtids endringer i atmosfæriske tilførsler av sure ikke-marine anioner (sulfat og nitrat) ( $\Delta AN^*$ ) ved en F-faktor (Henriksen 1984, Brakke et al. 1990):

$$F = BC_i / \Delta AN^* \quad \text{eller} \quad BC_i = F \cdot \Delta AN^* \quad (2)$$

Vi antar nå følgende:

1.  $BC_w$  endres ikke med endringer i syre deposisjon.
2.  $BC_0$  (den "opprinnelige" basekationavrenningen (før-forsuringstid)) =  $BC_w + BC_d$
3. Sulfat i avrenningen er i likevekt med sulfat i nedbøren (d.v.s det hverken lagres eller frigjøres sulfat i nedbørfeltet).

For før-forsuringssituasjonen har vi:

$$[BC^*]_0 = [BC^*]_t - F \cdot (\Delta[SO_4^*] + \Delta[NO_3]) = [BC^*]_t - F \cdot ([SO_4^*]_t + [NO_3]_t - [SO_4^*]_0 - [NO_3]_0) \quad (3)$$

hvor t referer til dagens konsentrasjon og 0 til før-forsurings konsentrasjoner.

Verdien av F er en funksjon av basekationkonsentrasjonen og ligger normalt mellom 0 og 1 (Henriksen 1984). F spenner fra nær 0 i innsjøer med lave konsentrasjoner av basekationer til 1 i innsjøer med høye konsentrasjoner av basekationer.

En algoritme for F er (Brakke et al. 1990):

$$F = \sin((\pi/2) \cdot [BC^*]_t / S) \quad (4)$$

Hvis  $[BC^*]_t > S$ , blir F satt til 1. Her er S basekationkonsentrasjonen for  $F = 1$ . I Norge har S blitt beregnet til å være 400  $\mu\text{ekv/l}$ .

Vi antar videre at  $[\text{NO}_3]_0 = 0$  for alle innsjøer. Bakgrunns sulfat ( $[\text{SO}_4^*]_0$ ) er beregnet ut fra norske innsjøer som er lite påvirket av sur nedbør:

$$[\text{SO}_4^*]_0 = 15 + 0.16 [BC^*]_t \quad (\text{når konsentrasjonene er i } \mu\text{eq/l}) \quad (5)$$

denne ligningen indikerer at det er et atmosfærisk bakgrunn bidrag av  $[\text{SO}_4^*]$  på gjennomsnittlig 15  $\mu\text{eq/l}$  og et geologisk bidrag som er proporsjonal med konsentrasjonen av basekationer. I andre områder enn Norge kan dette forholdet være anderledes.

## Beregning av tålegrenser for syre

Tålegrensen for tilførsler av syre til innsjøer kan nå beregnes:

$$\text{CL}(\text{Ac}) = ([BC^*]_0 - [\text{ANC}]_{\text{limit}}) \cdot Q \quad (6)$$

hvor:

$\text{CL}(\text{Ac})$  = tålegrensen for syre i innsjøen

$[BC^*]_0$  = opprinnelig ikke-marin basekationkonsentrasjon

$[\text{ANC}]_{\text{limit}}$  = grenseverdi for ANC

Q = avrenning

For å kunne beregne tålegrenser for overflatevann, må man definere en verdi for ANC. SSWC-metoden er svært sensitiv for valget av  $\text{ANC}_{\text{limit}}$ . I områder med lite sur nedbør vil sannsynligheten for nedbørepisoder som fører til en vannkvalitet hvor man får skader på fiskebestanden være liten, selv når  $\text{ANC} = 0$ , mens i områder med mye sur nedbør, kan man få store skader på fiskebestanden ved en slik ANC-verdi. For ikke å underestimere tålegrensene ved å bruke en fast ANC verdi på 20  $\mu\text{ekv/l}$  har man innført en variabel ANC som er en funksjon av deposisjonen -  $\text{ANC}_{\text{limit}}$  (limit - grense).  $\text{ANC}_{\text{limit}}$  er null i områder med liten deposisjon, og stiger til 50  $\mu\text{ekv/l}$  i områder med høy deposisjon. Effekten av denne funksjonen er at man reduserer arealer med overskredet tålegrense i områder som mottar lite sur nedbør.

Formulering av en slik deposisjonsavhengig ANC-verdi har blitt foreslått av Henriksen et al. 1995, og er nå i bruk i Norge og Sverige.  $\text{ANC}_{\text{limit}}$  er ikke en fast verdi for alle innsjøer. Hver innsjø vil ha sin egen verdi for alle deposisjonsverdier bestemt av karakteristiske egenskaper i nedbørfeltet ( $[BC^*]_0$  og Q).

Dagens overskridelser av tålegrensen for tilførsel av syre kan uttrykkes:

$$\text{Ex}(\text{Ac}) = S^*_{\text{dep}} + N_{\text{leach}} - BC^*_{\text{dep}} - \text{CL}(\text{Ac}) \quad (7)$$

$$\text{hvor } N_{\text{leach}} = N_{\text{dep}} - N_s \quad (8)$$

der  $N_s$  representerer alle nitrogen-opptak i nedbørfeltet.  $N_{\text{leach}}$  er beregnet fra målte konsentrasjoner av nitrat og ammonium i avrenningen. Ingen N-deposisjons data er derfor nødvendig for beregning av dagens overskridelse.



## Vedlegg B. Analysemetoder og beregning av ANC og sjøsaltkorrigererte verdier

Alle analysene ble utført på NIVA etter akkrediterte metoder (EN-4500 / P-009).

Variable og analysemetoder er presentert i tabell B.1

**Tabell B.1** Kjemiske variable og analysemetode for innsjøer i den regionale innsjøundersøkelsen

Kode	Variabelnavn	Enhet	Analysemetode
pH	pH		Potensiometri
Kond	Konduktivitet	mS/m 25°C	Elektrometri
Ca	Kalsium	mg/l	ICP - (Induktivt koblet plasma - atomemisjon)
Mg	Magnesium	mg/l	"
Na	Natrium	mg/l	"
K	Kalium	mg/l	"
Cl	Klorid	mg/l	Ionekromatografi
SO <sub>4</sub>	Sulfat	mg/l	"
NO <sub>3</sub>	Nitrat	µg N/l	Automatisert kolorimetri
Alk	Alkalitet	mmol/l	Potensiometrisk titrering til pH = 4.5
F	Fluorid	µg/l	Ionekromatografi
TOC	Total Organisk Karbon	mg C/l	Oksidasjon til CO <sub>2</sub> og måling med IR-detektor
RAI	Reaktiv Aluminium	µg/l	Automatisert kolorimetri
IIAI	Ikke Labil Aluminium	µg/l	"
LAI	Labil Aluminium	µg/l	"
Tot-N	Total Nitrogen	µg N/l	Fotometri (AA)

### Beregnete verdier

I tillegg til de analyserte verdiene bruker vi også en del beregnede verdier i diskusjoner av resultatene. Dette er "sjøsalt-korrigererte", eller ikke-marine verdier, og syrenøytraliserende kapasitet - ANC. Disse begrepene vil bli forklart her.

#### Sjøsalt-"korrigering"

Det er vanlig å anta at sjøsalter transporteres med nedbøren til nedbørfeltet i samme mengdeforhold som de finnes i havvannet og at kilden til klorid i all hovedsak er sjøsalter. Videre antar man at klorid er "mobilt", og at det følger vannet gjennom nedbørfeltet slik at  $Cl_{inn} = Cl_{ut}$ . Ved å bruke forholdet mellom klorid og de andre ionene i sjøvann kan man derfor å beregne bidraget fra ikke-marine kilder i avrenningsvannet, d.v.s. forvitring og langtransporterte forurensninger. Det gjøres ved følgende likninger:

$$[\text{Ca}^{2+}]^* = [\text{Ca}^{2+}] - 0.037 \cdot [\text{Cl}^-] \quad (1)$$

$$[\text{Mg}^{2+}]^* = [\text{Mg}^{2+}] - 0.196 \cdot [\text{Cl}^-] \quad (2)$$

$$[\text{Na}^+]^* = [\text{Na}^+] - 0.859 \cdot [\text{Cl}^-] \quad (3)$$

$$[\text{K}^+]^* = [\text{K}^+] - 0.018 \cdot [\text{Cl}^-] \quad (4)$$

$$[\text{SO}_4^{2-}]^* = [\text{SO}_4^{2-}] - 0.103 \cdot [\text{Cl}^-] \quad (5)$$

\* angir at det er en ikke-marin eller sjøsalkkorrigert verdi

### Beregning av syrenøytraliserende kapasitet - ANC

ANC (Acid Nutralizing Capacity) eller den syrenøytraliserende kapasiteten uttrykker en løsning evne til å motstå forsuring. ANC brukes i stor grad som et uttrykk for vannkvaliteten. ANC er definert ved (Reuss and Johnsson 1986):

$$\text{ANC} = ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{NH}_4^+]) - ([\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-]) \quad (6)$$

$$\text{ANC} = \Sigma[\text{basekationer}] - \Sigma[\text{sterke syres anioner}]$$

Ionebalansen i vann er gitt ved:

$$\Sigma [\text{ladningen av kationer}] (\mu\text{ekv/l}) = \Sigma [\text{ladning av anioner}] (\mu\text{ekv/l})$$

$$\Sigma [\text{H}^+] + [\text{Al}^{\text{n+}}] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{NH}_4^+] = \Sigma [\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{A}^-] + [\text{F}^-] \quad (7)$$

der A<sup>-</sup> er organiske anioner beregnet ved ligningen

$$\text{A}^- = 4.7 - 6.87 \cdot \exp(-0.322 \cdot \text{TOC}) \quad (8)$$

basert på empiriske data fra tidligere norske innsjøundersøkelser.

ved å sette sammen ligning 6 og 7 kan ANC også uttrykkes ved:

$$\text{ANC} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{A}^-] - [\text{H}^+] - [\text{Al}^{\text{n+}}] \quad (9)$$

I denne ligningen er både HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, A<sup>-</sup> og Al<sup>n+</sup> beregnede verdier, og ikke direkte analyseverdier, slik som er tilfelle i ligning 6.

## Vedlegg C. Tålegrenser- og overskridelser for REGINE feltene

**Tabell C1. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser (CL) for svovel og nitrogen for 1990 (EX-1990) og år 2010 (EX-2010) for hvert av REGINE-feltene i Femundsmarka nasjonalpark. Til hver delfelt er det tilordnet en vannprøve. I REGINE-felt hvor det er tatt mer enn en prøve, men hvor tålegrensene og overskridelsene ligger innenfor samme klasseinndeling på kartene (figur 4) er kun en av prøvene valgt ut.**

Vassdragsn	Kode på vannprøve	CL mekv/m <sup>2</sup> /år	EX-1990 mekv/m <sup>2</sup> /år	EX-2010 mekv/m <sup>2</sup> /år
002.QE11	F13	17	6	-7
002.QE1Z	F13	17	6	-7
310.1A	F3	13	10	-3
310.1B	F3	13	10	-3
310.2AA	F1	25	3	-10
310.2AB	F1	25	3	-10
310.2B	F1	25	3	-10
311.J51	F12	20	4	-9
311.J52	F12	20	4	-9
311.J5Z	F12	20	4	-9
311.J7	F6	14	10	-3
311.J82	F11	39	-15	-28
311.J8A	F11	39	-15	-28
311.J8B	F13	17	6	-7
311.J8C	F20	10	14	1
311.K1	F6	14	10	-3
311.K2	F17	120	-96	-109
311.K3	F6	14	10	-3
311.K4	F7	26	-2	-15
311.K5	F7	26	-2	-15
311.K6	F7	26	-2	-15
311.L1	F6	14	10	-3
311.L2	F8	58	-35	-48
311.L3	F5	11	12	-1
311.L4	F10	17	7	-6
311.LZ	F2	21	3	-11
311.M1	F16	22	2	-11
311.M2	F19	10	14	1
311.M3	F15	34	1	-12
311.M4	F19	10	14	1
311.M5	F15	34	1	-12
311.M6	F19	10	14	1
311.N11	F4	16	7	-6
311.N1A	F4	16	7	-6
311.N1B	F4	16	7	-6
311.N21	F19	10	14	1
311.N2Z	F19	10	14	1

**Tabell C2. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser (CL) for svovel og nitrogen for 1990 (EX-1990) og år 2010 (EX-2010) for hvert av REGINE-feltene i Rondane nasjonalpark. Til hver delfelt er det tilordnet en vannprøve. I REGINE-felt hvor det er tatt mer enn en prøve, men hvor tålegrensene og overskridelsene ligger innenfor samme klasseinndeling på kartene (figur 4) er kun en av prøvene valgt ut. I tilfeller hvor vannprøvene gir forskjellige tålegrenser og overskridelser er REGINE-feltene delt opp i mindre enheter.**

Vassdragsn	Kode	CL mekv/m <sup>2</sup> /år	EX-1990 mekv/m <sup>2</sup> /år	EX-2010 mekv/m <sup>2</sup> /år
002.DF3BZ	R11	62	-48	-56
002.DF3CZ	R12	56	-43	-51
002.DF3D	R16	40	-26	-33
002.DF3E	R16	40	-26	-33
002.DF3F	R16	40	-26	-33
002.DJ12	R19	47	-35	-42
002.DJ1AZ - a	R17	33	-20	-28
002.DJ1AZ - b	R18	19	-7	-14
002.DJ1B a	R22	150	-137	-144
002.DJ1B b	R14	76	-63	-71
002.DJ1B c	R15	22	-1	-8
002.DJ1C	R13	21	-8	-16
002.DJ3A	R20	190	-178	-185
002.DJ3B	R19	47	-35	-42
002.LBZ - a	R10	127	-115	-122
002.LBZ - b	R9	127	-115	-122
002.LE	R7	21	-2	-9
002.LFZ - a	R7	21	-2	-9
002.LFZ - b	R6	5	17	9
002.LG - a	R2	19	-7	-14
002.LG - b	R21	0	13	5
002.MDBZ	R1	65	-50	-58

## Vedlegg D. Tilpassing av MAGIC modellen til 5 lokaliteter i Rondane nasjonalpark.

Kalibrerte parametere. W=forvitring mekv/m<sup>2</sup>/år; E<sub>o</sub>=opprinnlig kationmetning %

Lokalitet	WCa	WMg	WNa	WK	E <sub>Ca<sub>o</sub></sub>	E <sub>Mg<sub>o</sub></sub>	E <sub>Na<sub>o</sub></sub>	E <sub>K<sub>o</sub></sub>
R3	8.8	2.4	5.4	2.0	11.7	1.4	0.2	1.1
R14	42.9	35.7	4.0	2.8	3.1	1.2	0.5	1.0
R15	8.8	2.9	11.2	2.4	4.2	0.6	0.5	1.0
R18	7.9	2.2	3.9	1.6	5.8	2.4	0.6	2.2
R22	50.0	40.7	2.7	3.8	3.2	1.0	0.4	1.0

## Vedlegg E. Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter

- 1 Nygaard, P. H., 1989. Forurensningers effekt på naturlig vegetasjon en litteraturstudie. Norsk institutt for skogforskning (NISK), Ås.
- Uten nr. Jaworowski, Z., 1989. Pollution of the Norwegian Arctic: A review. Norsk polarinstitutt (NP), rapportserie nr. 55. Oslo.
- 2 Henriksen, A., Lien, L. & Traaen, T.S. 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 3 Lien, L., Henriksen, A., Raddum, G. & Fjellheim, A. 1989. Tålegrenser for overflatevann. Fisk og evertebrater. Foreløpige vurderinger og videre planer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89185.
- 4 Bølviken, B. & medarbeidere, 1990. Jordforsuringsstatus og forsuringfølsomhet i naturlig jord i Norge. Norges geologiske undersøkelse (NGU), NGU-rapport 90.156. 2 bind (Bind I: Tekst, Bind II: Vedlegg og bilag).
- 5 Pedersen, H. C. & Nybø, S. 1990. Effekter av langtransporterte forurensninger på terrestriske dyr i Norge. En statusrapport med vekt på SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og tungmetaller. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 005.
- 6 Frisvoll, A. A., 1990. Moseskader i skog i Sør-Norge. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 018.
- 7 Muniz, I. P. & Aagaard, K. 1990. Effekter av langtransportert forurensning på ferskvannsdyr i Norge - virkninger av en del sporelementer og aluminium. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 013.
- 8 Hesthagen, T., Berger, H. M. & Kvenild, L. 1992. Fiskestatus i relasjon til forsuring av innsjøer. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Forskningsrapport 032.
- 9 Pedersen, U., Walker, S.E. & Kibsgaard, A. 1990. Kart over atmosfærisk avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 10 Pedersen, U. 1990. Ozonkonsentrasjoner i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 11 Wright, R. F., Stuanes, A. Reuss, J.O. & Flaten, M.B. 1990. Critical loads for soils in Norway. Preliminary assessment based on data from 9 calibrated catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 12 Amundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forsuringfølsomhet i naturlig jord. Universitetet i Trondheim, AVH (stensil).
- 13 Flatberg, K.I, Foss, B., Løken, A. & Saastad, S.M. 1990. Moseskader i barskog. Direktoratet for naturforvaltning (DN), notat.

- 14 Frisvoll, A.A., & Flatberg, K.I., 1990. Moseskader i Sør-Varanger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 55.
- 15 Flatberg, K.I., Bakken, S., Frisvoll, A.A., & Odasz, A.M. 1990. Moser og luftforurensninger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 69.
- 16 Mortensen, L.M. 1991. Ozonforurensning og effekter på vegetasjonen i Norge. Norsk landbruksforsk. 5:235-264.
- 17 Wright, R.F., Stuanes, A.O. & Frogner, T. 1991. Critical Loads for Soils in Norway Nordmoen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. og Sæther, M. 1991. Metallbelastninger i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 71.
- 19 Lien, L., Raddum, G.G. & Fjellheim, A. 1991. Tålegrenser for overflatevann evertebrater og fisk. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Rapport 0-89185,2.
- 20 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av parametre for å bestemme forsurningsfølsomhet i jord. NGU-rapport 91.265.
- 21 Bølviken, B., R. Nilsen, J. Romundstad & O. Wolden. 1992. Surhet, forsurningsfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jord fra Nord-Trøndelag og sammenligning med tilsvarende data fra Sør Norge. NGU-rapport 91.250.
- 22 Sivertsen, T. & medarbeidere. 1992. Opptak av tungmetaller i dyr i Sør-Varanger. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1991-15.
- 23 Lien, L., Raddum, G.G. & A. Fjellheim. 1992. Critical loads of acidity to freshwater. Fish and invertebrates. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Rapport O-89185,3.
- 24 Fremstad, E. 1992. Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 124.
- 25 Fremstad, E. 1992. Heivegetasjon i Norge, utbredelseskart. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 188.
- 26 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A. 1992. Undersøkelser av skader hos to sigdmoser i Agder. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 134.
- 27 Lindstrøm, E.A. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Fastsittende alger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-2.
- 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-3.
- 29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-1.
- 30 Mortensen, L.M. & Nilsen, J. 1992. Effects of ozone and temperature on growth of several wild plant species. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 6: 195-204.
- 31 Pedersen, H.C., Myklebust, I., Nygård, T. & Sæther, M. 1992. Akkumulering og effekter av kadmium i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 152.
- 32 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av relativ forsurningsfølsomhet med tålegrenser beregnet med modeller, i jord. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 92.294.

- 33 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., Esser, J.M., Håøya, A.-O. & Rudi, G. 1992. Map of critical loads for coniferous forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-91147.
- 34 Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. & Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 35 Lien, L. Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann -Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 36 Henriksen, A., Hesthagen, T., Berger, H.M., Kvenild, L., Taubøll, S. 1993. Tålegrenser for overflatevann - Sammenheng mellom kjemisk kriterier og fiskestatus. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-92122.
- 37 Odasz, A.M., Øiesvold, S., & Vange, V. 1993. Nitrate nutrition in *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.)Brd., a bioindicator of nitrogen deposition in Norway. Direktoratet for naturforvaltning. Utredning for DN 1993-2.
- 38 Espelien, I.S. 1993. Genetiske effekter av tungmetaller på pattedyr. En kunnskapsoversikt. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 051.
- 39 Økland, J. & Økland, K.A. 1993. Database for bioindikatorer i ferskvann - et forprosjekt . Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI), Zoologisk Museum, Oslo, Rapport 144, 1993.
- 40 Aamlid, D. & Skogheim, I. 1993. Nikkel, kopper og andre metaller i multer og blåbær fra Sør-Varanger, 1992. Rapport Gkogforsk 14/93. 14/93.
- 41 Kålås, J.A., Ringsby, T.H. & Lierhagen, S. 1993. Metals and radiocesium in wild animals from the Sør-Varanger area, north Norway. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 212.
- 42 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.)1993. Tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF) og Naturens tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Stjørdal, 15.-17.februar 1993. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 17/93.
- 43 Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 44 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Critical loads of acidity to surface waters, Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 45 Løbersli, E., Johannessen, T. & Olsen, K.V (red.) 1993. Naturens tålegrenser. Referat fra seminar i 1991 og 1992. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1993-6.
- 46 Bakken, S. 1993. Nitrogenforurensning og variasjon i nitrogen, protein og klorofyllinnhold hos barskogsmosen blanksigd (*Dicranum majus*). Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-1.
- 47 Krøkje, Å. 1993. Genotoksisk belastning i jord . Effekstudier, med mål å komme fram til akseptable grenser for genotoksisk belastning fra langtransportert luftforurensning. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-2.
- 48 Fremstad, E. 1993. Heigråmose (*Racomitrium lanuginosum*) som indikator på nitrogenbelastning. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmelding 239.
- 49 Nygaard, P.H. & Ødegaard, T.H. 1993. Effekter av nitrogengjødsling på vegetasjon og jord i skog. Rapport Skogforsk 26/93.



- 50 Fløisand, I. og Johannessen, T. (red.) 1994. Langtransporterte luftforurensninger. Tilførsler, virkninger og tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Grimstad, 7.-9.3.94. Norsk institutt for luftforskning NILU OR: 17/94
- 51 Kleivane, L. Skåre, J.U. & Wiig, Ø. 1994. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn. Forekomst, nivå og mulige effekter. Norsk Polarinstitutt Meddelelse nr. 132.
- 52 Lydersen, E., Fjeld, E. & Andersen, T. 1994. Fiskestatus og vannkjemi i norske innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-93172
- 53 Schartau, A.K.L. (red.) 1994. Effekter av lavdose kadmium-belastning på littorale ferskvanns-populasjoner og -samfunn. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Forskningsrapport 055.
- 54 Mortensen, L. (1994). Variation in ozone sensitivity of *Betula pubescens* Erh. from different sites in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-6.
- 55 Mortensen, L. (1994). Ozone sensitivity of *Phleum alpinum* L. from different locations in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-7.
- 56 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, J.B. and Esser, J.M. (1994). Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-91147.
- 57 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A.A. 1994. Moseskader i Agder 1989-92 (1994). Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 58 Hesthagen, T. & Henriksen, A. (1994). En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 288.
- 59 Skåre, J.U., Wiig, Ø. & Bernhoft, A. (1994). Klorerte organiske miljøgifter; nivåer og effekter på isbjørn. Norsk Polarinstitutt Rapport nr. 86 - 1994.
- 60 Tørseth, K. & Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.
- 61 Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum polysetum*). Rapport Skogforsk 9/94.
- 62 Henriksen, A. & Lien, L. 1994. Tålegrenser for overflatevann: Metode og usikkerheter. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94122.
- 63 Hilmo, O. & Larssen, H.C. 1994. Morfologi hos epifyttisk lav i områder med ulik luftkvalitet. ALLFORSK Rapport 2.
- 64 Wright, R.F. 1994. Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94112.
- 65 Hesthagen, T., A. Henriksen & Kvenild, L. 1994. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander i norske innsjøer med spesiell vekt på Troms og Finnmark. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 66 Solli, I.M.S., Flatberg, K.I.F. & Söderström, L. 1994. Blanksigd og luftforurensningsstudier (in prep)
- 67 Stuanes, A. & Abrahamsen, G. 1995. Utredning om kunnskapsgrunnlaget for definisjon av tålegrenser i skog. Rapport Skogforsk (in prep).

- 68 Ogner, G. 1995. Tålegrenser for skog i Norge med hensyn til ozon. *Aktuelt fra Skogforsk* 3-95.
- 69 Thomsen, M., Nellemann, C. Frogner, T., Henriksen A., Tomter, S. & Mulder, J. 1995. Tilvekst og vitalitet for granskog sett i relasjon til til tålegrenser og forurensning. Norsk institutt for skogforskning (NISK) (in prep)
- 70 Tomter, S. M. & Esser, J. 1995. Kartlegging av tålegrenser for nitrogen basert på en empirisk metode. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS). Rapport nr 10/95.
- 71 Pedersen, H.Chr. (ed.). 1995. Kadmium og bly i liryte: akkumulering og cellulære effekter. Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning (NINA-NIKU) Oppdragsmelding 387
- 72 Bakken, S. & Flatberg, K.I.F. 1995. Effekter av økt nitrogendeposisjon på ombrotrof myrvegetasjon. En litteraturstudie. ALLFORSK Rapport 3.
- 73 Sogn, T.A., Stuanes, A.O. & Abrahamsen, G. 1995. Akkumulering av nitrogen - en kritisk parameter for beregning av tålegrenser for nitrogen i skog. Rapport fra Skogforsk 21/95.
- 74 Nygaard, P.H. & Eldhuset, T. 1995. Forholdet mellom basekationer og aluminium i jordløsning som kriterium for tålegrenser i skogsjord. Norsk institutt for skogforskning (NISK). Rapport fra Skogforsk 1/96
- 75 Mortensen, L. 1993. Effects of ozone on growth of several subalpine plant species. *Norw. J. Agric. Sci.* 7: 129-138.
- 76 Mortensen, L. 1994. Further studies on the effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. *Norw. J. Agric. Sciences* 8:91-97.
- 77 Fløisand, I. & Løbersli, E. 1996. Lufttransporterte forurensninger - tilførsler, virkninger og tålegrenser. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 2/96.
- 78 Thomsen, M.G., Esser, J., Venn, K. & Aamlid. 1996. Sammenheng mellom træs vitalitet og næringsstatus i nåler og humus på skogovervåkingsflater i Sørøst-Norge (in prep).
- 79 Tørseth, K., Mortensen, L. & Hjellbrekke, A.-G. 1996. Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 12/96.
- 80 Esser, J.M & Tomter, S.M. 1996. Reviderte kart for tålegrenser for nitrogen basert på empiriske verdier for ulike vegetasjonstyper. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS).
- 81 Henriksen, A., Hindar, A., Styve, H., Fjeld, E. & Lien, L. 1996. Forsuring av overflatevann, beregningsmetodikk, trender og mottiltak. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3528-96.
- 82 Henriksen, A., Hesthagen, T. & Fjeld, E. 1996. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3565-96.
- 83 Wright, R.F., Raastad, I.A. & Kaste, Ø. 1996. Atmospheric deposition of nitroge, runoff of organic nitrogen, and critical loads for soils and surface waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport SNO 3597-97.
84. Mortensen, L.M. 1996. The influence of ozone pollution on growth of young plants of *Betula pubences*. Ehrh. And *Phleum alpinum* L. Dose-response relations. *Norw. J. Agr. Sci.* 9:249-262.
- 85 Mortensen, L.M. 1996. Ozon sensitivity of *Betula pubences* at different growth stages after budburst in spring. *Norw. J. Agr. Sci.* 10:187-196.

- 
- 86 Tørseth, K. Rosendahl, K.E., Hansen, A.C., Høie, H & Mortensen, L.M. 1997. Avlingstap som følge av bakkenært ozon. Vurderinger for perioden 1989-1993. SFT-rapport in prep.
- 87 Rognerud, S., Hognve, D., & Fjeld, E. 1997. naturlige bakgrunnskonsentrasjoner av metaller. kan atmosfæriske avsetninger påvirke metall-konsentrasjoner slik at de ikke reflekterer berggrunnens geokjemi? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) LNR 3670-97.
- 88 Skjelkvåle, B.L. Wright, R.F., & Tjomsland, T. 1997 Vannkjemi, forsuringsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Femundsmarka og Rondane. Norsk institutt for vannforskning LNR 3646-97.

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3646-97

ISBN 82-577-3207-9