

# NATURENS TÅLEGRENSER



---

Miljøverndepartementet

FAGRAPPORT NR. 64

Bruk av dynamiske modeller  
for vurdering av  
vann- og jordforsuring,  
som følge av  
redusert tilførsel av  
sur nedbør

## **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:**

**Kjell Huseby - 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**

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-94112	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3148	

<b>Hovedkontor</b> Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	<b>Vestlandsavdelingen</b> Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b> Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: <b>Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør</b>	Dato: Trykket: NIVA 1994
	Faggruppe: sur nedbør
Forfatter(e): Richard F. Wright	Geografisk område: Norge
	Antall sider: Opplag: 13 200

Oppdragsgiver: Naturens tålegrenser (Statens forurensningstilsyn)	Oppdragsg. ref.: Kontrakt 94198
--	------------------------------------

## Ekstrakt:

Som følge av den nye svovel-protokollen vil tilførslene av sur nedbør til Norge avta i årene fremover. Det nye tilførselmønsteret vil endre omfang og utbredelse av forsuringsskader i Norge. Dynamiske modeller som beskriver det tidsavhengige forholdet mellom tilførsel og skader må brukes for å prognosere tidsutviklingen av skader på fisk- og skog som følge av den nye svovelprotokollen. I Norge er MAGIC blitt brukt og kan anvendes for å lage prognoser. Usikkerhetsfaktorer knytter seg til nitrogenets rolle i forsuring i fremtiden, og mangel på gode kjemiske kriterier for skogsskader. SAFE/PROFILE modellen er lite egnet til prognosering av vannforsuring fordi den er basert på punkt målinger av jordsmonnet og tar ikke hensyn til dagens vannkvalitet. Siden tålegrensen for vann er mindre enn tålegrensen for jord (skog) i de fleste ruter i Norge, bør mest vekt legges på prognosering av fremtidig vannforsuring.

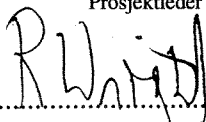
4 emneord, norske

1. sur nedbør
2. tålegrense
3. modeller
4. prognoser

4 emneord, engelske

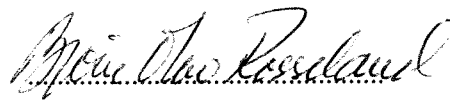
1. acid precipitation
2. critical loads
3. models
4. predictions

Prosjektleder



Richard F. Wright

For administrasjonen



Bjørn Olav Rosseland

ISBN82-577-2622-2

# **Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør**

Richard F. Wright  
Norsk institutt for vannforskning  
Boks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

## **1. Innledning**

Store deler av Norge og andre land i Europa er hardt skadet på grunn av tilførsler av sur nedbør over lang tid. I forsuringfølsomme områder er fisken blitt borte (Henriksen og Hesthagen 1993) og skogen er truet (Nellemann og Frogner i trykk): Naturens tålegrense er overskredet. Det internasjonale arbeidet for å få bukt på forsuringsskadene er basert på avtaler om redusert utslipp av svovel til atmosfæren. Den første avtalen innebar en 30% reduksjon ved år 1993 i forhold til 1980. Den nye svovel-protokollen som ble undertegnet i Oslo i juni 1994 er basert på tålegrensekonseptet, og går ut på 70-80% reduksjon i utslipp i forhold til 1980 i de fleste Europeiske land innen år 2010. Størrelsen av reduksjonene og gjennomføringstempoet varierer fra land til land, og ikke alle europeiske land har undertegnet protokollen.

Som følge av den nye svovel-protokollen vil tilførslene av sur nedbør til Norge avta i årene fremover. Fremtidige depositions mengder for de ulike deler av Norge kan anslås ut fra utslippstall ved hjelp av meteorologiske modeller. Dette arbeidet gjøres ved Det norske meteorologiske institutt som et ledd i EMEP samarbeidet.

Det nye tilførselmønsteret vil endre omfang og utbredelse av forsuringsskader i Norge. Reduksjonene av sur nedbør tilførslene vil bremse, stoppe og reversere forsuringstrender for vann og jord. Virkningen vil være avhengig av graden av overskridelse av tålegrensen og tempoet av depositionsendingene. Nitrogenets rolle i fremtiden er en stort usikkerhetsmoment.

Dynamiske modeller som beskriver det tidsavhengige forholdet mellom tilførsel og skader må brukes for å prognosere tidsutviklingen av skader på fisk- og skog i Norge som følge av den nye svovelprotokollen. Statiske modeller som er brukt til å kartlegge tålegrensene gir bare et bilde av den nye likevektsituasjonen, etter at systemet har kommet i ny balanse etter tilførselsendingen. Statiske modeller sier ingen ting om hvor langt tid det vil ta å oppnå denne nye likevekten.

Tre dynamiske modeller har blitt brukt i forbindelse med kartlegging av tålegrenser for vann og jord i Europa (Warfvinge et al. 1991). Disse er MAGIC (Frogner et al. 1992, Wright et al. 1994), SMART/RESAM (De Vries et al. 1989, de Vries and Kros 1991), og SAFE (Warfvinge et al. 1991). I Norge er MAGIC blitt brukt til å kartlegge tålegrenser for skogsjord (Frogner et al. 1991, Wright et al. 1994). I dette notatet gis en kort oppsummering av bruken av dynamiske modeller hittil i Norge, samt en vurdering av mulighetene for å prognosere fremtidig vann og jordforsuring som følge av den nye svovelprotokollen.

## 2. Modellering av forsuring som dynamisk prosess

Det er åpenbart at forsuring på grunn av tilførsel av sure komponenter fra atmosfæren er en tidsavhengig prosess. En enkel nedbørepisode med sur nedbør er ikke nok til å drepe fisk eller skade skogen. Og en episode med ren nedbør er ikke nok til å restaurere forholdene. Det er nødvendig med en langvarig endring i tilførslene for å oppnå en varig endring i forsuringstilstanden.

Det er en rekke tidsavhengige prosesser som innvirker på forsuringstilstanden i jord og vann.

For et nedbørfelt er de viktigste:

- tilførsel av sure komponenter
- retensjon/utvasking av sulfat
- retensjon/utvasking av nitrat (nitrogenmetning)
- forvitring av mineraler i jorda
- ionebytting og utvasking av basekationer fra jordsmonnet
- opptak av næringsstoffer i vegetasjonen

Forsuringstilstanden av jord og avrenningsvann og tidsutviklingen av denne er netto resultatet av alle disse prosesser. Og fordi disse prosessene er ikke lineære og delvis avhengige av hverandre, må matematiske modeller til for kvantitativt beskrive prosessene og beregne resultatet, samt å lage prognoser for den fremtidige forsuringstilstanden ved endringer i tilførsler av sure forbindelser eller ved endringer av andre faktorer. For dette formålet er det blitt utviklet flere prosess-orienterte dynamiske modeller.

I Europa er tre modeller blitt anvendt i forbindelse med tålegrensearbeidet: MAGIC, SMART/RESAM og SAFE. (SAFE bygger på den statiske modellen PROFILE). På mange måter er de tre dynamiske modellene like, men de er forskjellige på noe få, men viktige måter.

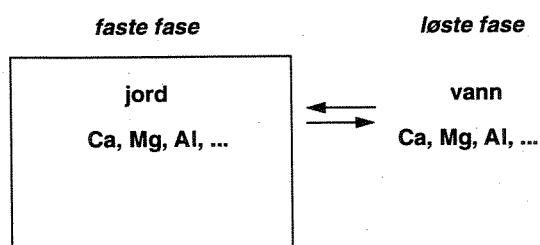
**(Boks 1.)**

### **Samspill mellom jord og jordvann.**

*I dette samspillet ligger nøkkelen til forståelsen av jord- og vannforsuring. Når nedbøren passerer jordsmonnet påvirkes konsentrasjonene av samtlige kationer og anioner. Dette samspillet fører til utjevning av svingninger over tid. Dynamiske modeller beskriver nettopp dette samspillet ved en rekke kjemiske likevektsreaksjoner mellom jord- og vannfasen. Endringer i mengden av de kjemiske komponenter lagret i jordsmonnet forskyver likevektspunktene for disse reaksjoner.*

*De fleste dynamiske modeller tar hensyn til disse likevektsreaksjonene:*

- *kationutbytting*
- *oppløsning/utfelling av en fast fase av aluminium (Al)*
- *spesiering av Al*
- *sulfatabsorpsjon*
- *karbonsyre likevekten*
- *organiske syrer*



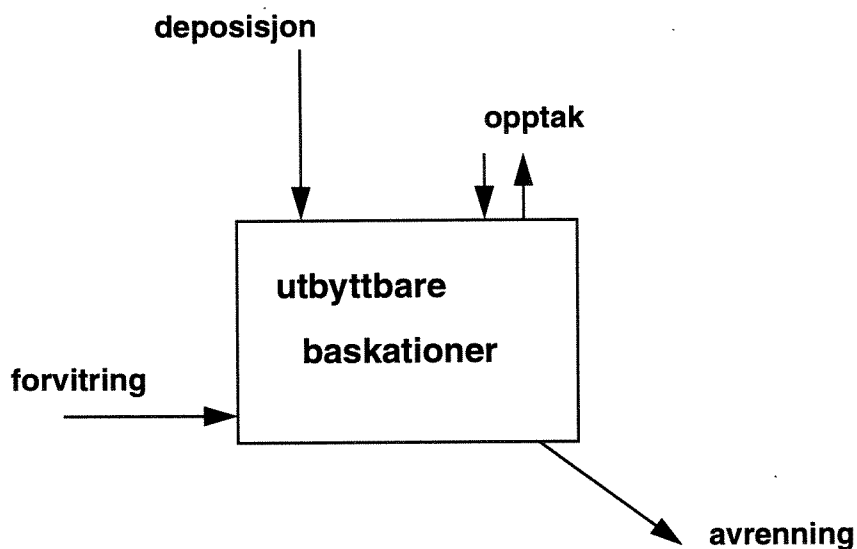
(Boks 2.)

### Jordforsuring

Jordforsuring defineres som minskning i jordens reservoar av utbyttbare basekationer. Viktigst er kalsium (Ca) og magnesium (Mg). Basmtningsgraden er prosenten av den totale kationutbyttekapasiteten (CEC) som er belagt av basekationer Ca, Mg, Na og K.

$\%BS = (ECa + EMg + ENa + EK) / (CEC)$ , hvor ECa osv. er mengden utbyttbare Ca osv.

Basmtningsgraden endres når jorda tilføres eller taper basekationer. Basekationer tilføres fra atmosfæren og ved forvitningsprosesser i jorda. Basekationer tapes ved opptak i vegetasjonen og ved utvasking i avrenningsvannet. Den mengde basekationer som er lagret i jordsmonnet tilsvarer 10-100 års tilførsler. Etter en endring i tilførsel eller tap av basekationer vil det ta lang tid for systemet å oppnå en ny likevektstilstand



(Boks 3.)

### Vannforsuring.

Vannforsuring defineres som minskning av vannets syrenøytraliserende evne (Acid Neutralizing Capacity, ANC). ANC er definert som differansen mellom summen av konsentrasjonene av basekationer og summen av konsentrasjonene av sterke syrers anioner:

$$ANC = (Ca + Mg + Na + K) - (SO_4 + NO_3 + Cl)$$

hvor konsentrasjoner er oppgitt i uekv/l.

For de fleste norske innsjøer og vassdrag kan denne ligningen forenkles ved å:

(1) trekke fra bidraget fra sjøsalter, som er nøytrale og ikke påvirkes av sur nedbør. Alt Cl antas å komme helt fra sjøsalter. Det samme gjelder mesteparten av Na. Vi får da:

$$ANC = (Ca^* + Mg^* + Na^* + K^*) - (SO_4^* + NO_3)$$

Asteriks indikerer den ikke-marine delen av komponentene.

(2) Se bort fra de ikke-marine bidragene av Na og K, samt  $NO_3$ , som vanligvis er tilstede bare i lave konsentrasjoner. Vi får da:

$$ANC \approx Ca^* + Mg^* - SO_4^*$$

ANC øker (forsuring reduseres) når  $Ca^* + Mg^*$  øker og/eller  $SO_4^*$  avtar

Den største forskjellen er måten hvordan forvitringen bergenes. Forvittringshastigheten er klart den viktigste faktoren som fastsetter forsuringfølsomheten, tålegrensene og responsen på reduserte tilførsler. MAGIC og SMART/RESAM beregner forvitringen ut fra målte verdier for jorda og avrenningsvannets innhold av basekationer, mens SAFE beregner forvitring ut fra jordens tekstur, fuktighet og mineralogi uten å ta hensyn til vannets kjemiske sammensetning. SAFE fokuserer på et punkt i terrenget (jordprøvetakingspunktet), mens MAGIC og SMART/RESAM bruker avrenningsvannet som et integrerende element for et helt nedbørfelt. For SAFE er det mulig å ha en høy forvittringshastighet (på et punkt) men lave konsentrasjoner av basekationer i vannet (for nedbørfeltet som helhet). For MAGIC og SMART/RESAM er dette umulig, fordi det ikke er noe logisk sted de frigjorte kationene fra forvitringprosessene kan havne, når de ikke finnes i avrenningsvannet.



### 3. Erfaringer med MAGIC ved reduserte tilførsler

Det finnes mange eksempler på økt forsuring etter økte tilførsler av sur nedbør, men det er få tilfeller hvor tilførselen har blitt vesentlig redusert og virkningen på vann og jord målt. Dette vanskeliggjør vurderingen av modeller som prognoseringsverktøy. Imidlertid er resultatene fra RAIN prosjektet og undersøkelser i Galloway-området i Skottland velegnet til modellering av effekter av reduserte tilførsler. MAGIC har blitt anvendt både på data fra RAIN-prosjektet (Wright et al. 1988, Cosby et al. unpubl.) og på data fra Galloway-området (Wright et al. i trykk).

#### **Boks 4.**

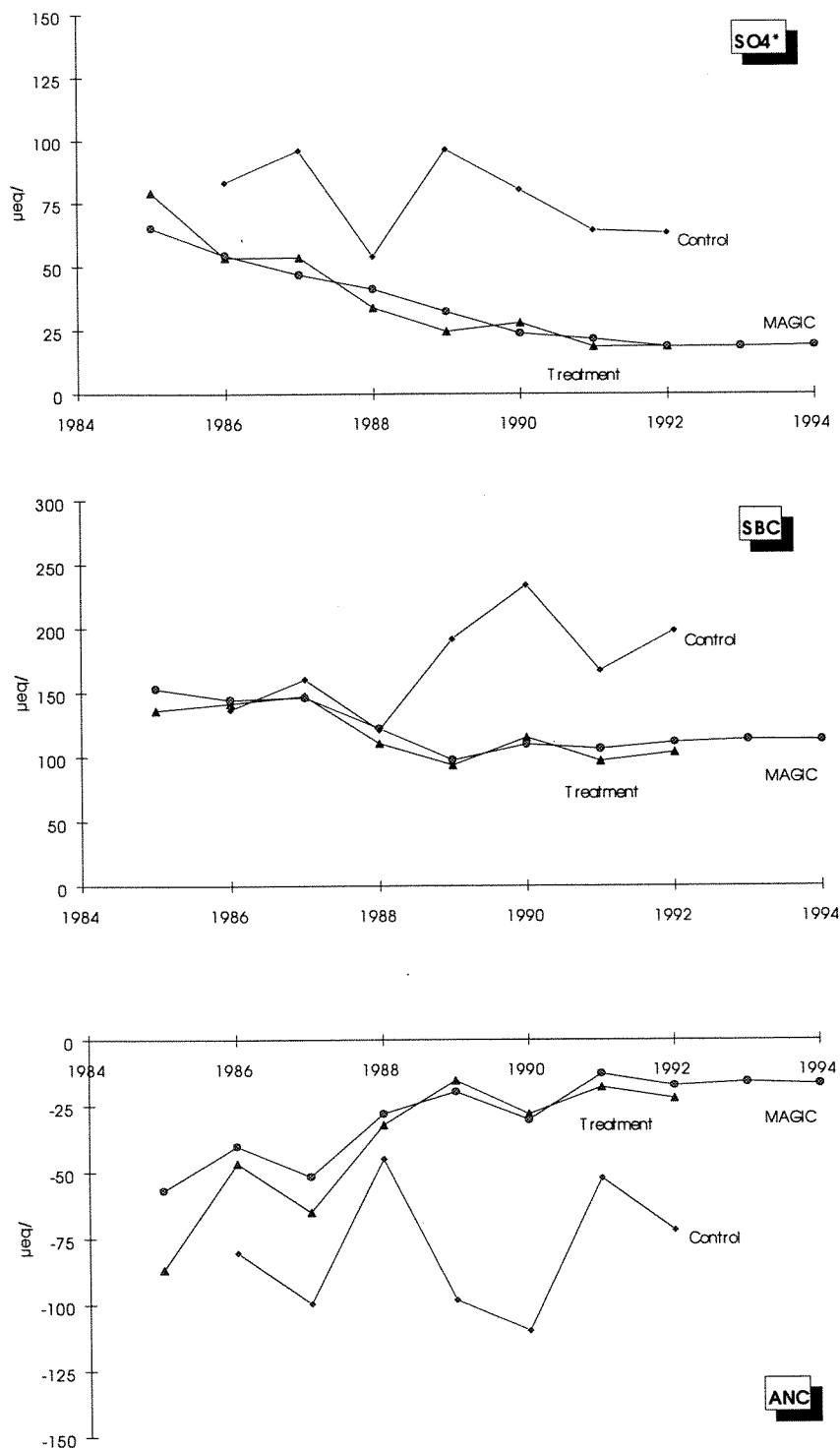
#### **Reversibilitet**

**Sulfat.** Når svoveltilførslene reduseres vil jordsmonnet avgi "gammelt" svovel til jordvannet. Flere prosesser bidrar til dette-- sulfatabsorpsjon, oksidasjon/reduksjon, og transformasjon fra organisk-bundet svovel til vannløselig sulfat. For de jordtyper som er typiske for Norge vil sulfatkonsentrasjonen i avrenningsvannet nå en ny likevekt i løpet av under 10 år etter at tilførselen er redusert, og mengden sulfat som går ut av nedbørfeltet vil være tilnærmet den mengden svovel som kommer inn.

**Basekationer.** Når svoveldeposisjonen reduseres og avrenningen av sulfat avtar, vil utvaskingen av basekationer reduseres. Henriksen's F-faktor ( $\Delta Ca^* + Mg^* / \Delta SO_4^*$ ) er et mål for denne reduksjonen. Jordens lager av basekationer begynner å bygge seg opp igjen gjennom deposisjon og forvitring. I jordtyper med lav forvittringshastighet (tynn jord, skrint terreng, dominert av kvarts- og feltspatmineraler) vil oppbyggingen ta lengere tid (10-100 år) i forhold til områder med høy forvittringshastighet.

**ANC.** Mens en del av sulfatreduksjonen kompenseres ved lavere konsentrasjoner av basekationer, vil størstedelen gå til å øke ANC-konsentrasjonen. Økt ANC betyr bedre betingelser for fisk.

RAIN prosjektet, som ble gjennomført på Risdalsheia, Grimstad kommune, i perioden 1984 - 1993 gikk ut på å redusere svoveltilførselen til et helt nedbørfelt ved å bygge tak over nedbørfeltet og fjerne den sure nedbøren. Ren nedbør ble spredd ut under taket, og den kjemiske sammensetningen av avrenningsvannet målt. I løpet av dette 10-års eksperimentet ble årsmidlet av sulfatkonsentrasjonen i avrenningsvannet redusert med ca. 80%. Tidsforløpet



Figur 1. Veide årsmiddelkonsentrasjoner av ikke-marint sulfat ( $SO_4^*$ ), basekationer (SBC), og syrenøytraliseringssevne (ANC) i avrenningsvannet ved RAIN-prosjektet på Risdalsheia. Vist er målte konsentrasjoner ved forsøksfeltene KIM (behandling med ren nedbør) og EGIL (kontroll, resirkulering av sur nedbør) samt resultatene fra MAGIC-modellen (fra Cosby et al. upubl.).

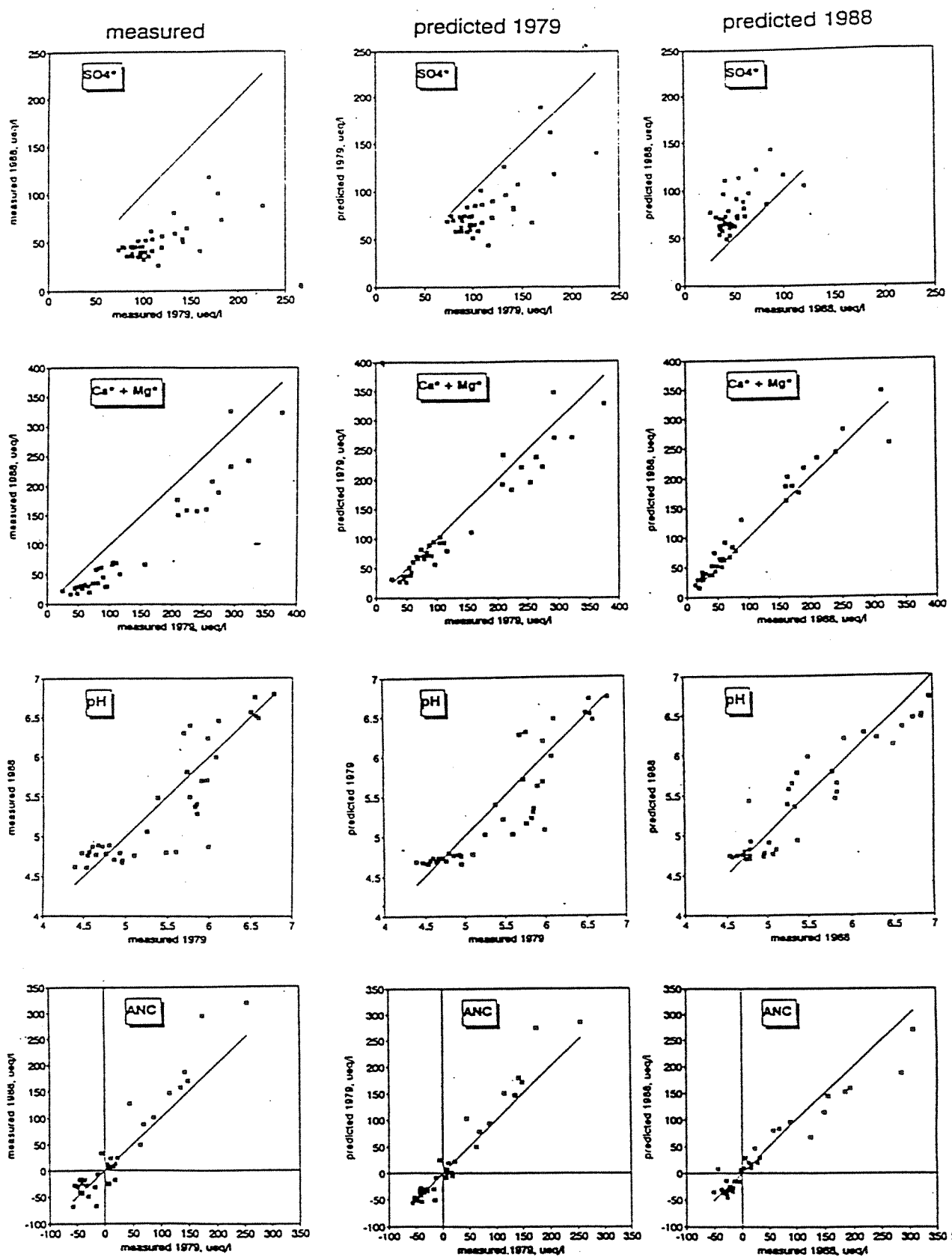
beskrives godt av MAGIC (figur 1). Redusert tilførsel og gjennomstrømning av sulfat i feltet førte bare til en liten nedgang i basekationer. F-faktor er ca. 0.1. Konsentrasjonen av basekationer i avrenningsvannet ved Risdalsheia er ekstremt lave, fordi forvittringshastigheten i nedbørfeltet er meget lav (ca. 10 mekv/m<sup>2</sup>/år). Mesteparten av endringen i sulfatkonsentrasjonen i avrenningen ga utslag i økt ANC. Eksperimentet viser at vannforsuringsprosessen er reversibel, men at den også er en tidsdynamisk prosess. MAGIC simulerer bra den observerte oppgangen i ANC (figur 1) (fra Cosby, Wright og Gjessing, upublisert).

Galloway område i sydvest Skottland på mange måter likt sør-Norge, med betydelig tilførsel av sur nedbør, lave tålegrenser, forsuring av vann og skader på fisk. Regionale innsjøundersøkelser som ble gjennomført i 1979 og gjentatt i 1988 viser betydelige endringer i vannkjemien som følge av kraftig redusert tilførsel av sur nedbør i denne 9-års perioden. Gjennomsnittlige sulfatkonsentrasjoner for 50 innsjøer var 40% lavere i 1988 i forhold til 1979. Konsentrasjoner av basekationer avtok, mens ANC-konsentrasjonen økte (figur 2) (Wright et al. i trykk). Gjennomsnittlig målte F-faktoren er 0,6. Disse data er blitt brukt for å teste MAGIC modellen. Modellen ble først kalibrert til ett datasett (enten 1979 eller 1988) og prognoserte verdier for det andre året ble sammenlignet med de observerte tallene (figur 2). MAGIC synes å gi et tilfredsstillende bilde av de målte endringene.

#### **4. Muligheter for videre bruk av dynamiske modeller i Norge**

I tålegrensearbeidet i Norge er MAGIC blitt brukt. Arbeidet begynte ved å utprøve modellen ved å bruke den på lokaliteter med omfattende data og flerårige måleserier. RAIN feltene og de feltforskningsområdene som inngår i SFT's Program for overvåking av langtransporterte luftforurensninger ble behandlet av Wright et al. (1990). NISK's feltområde ved Nordmoen er også blitt modellert av Wright et al. (1991b). Senere ble MAGIC brukt til å kartlegge tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for skogsjord i Norge, først for svovel (Frogner et al. 1992) og nylig for både svovel og nitrogen (Frogner et al. 1994).

I tålegrensearbeidet er Norge delt opp i 2315 småruter (se Henriksen et al 1992). MAGIC er kalibrert for ca. 600 av de 700 ruter med skog (gran, furu og bjørk) og tålegrensene for rutene er beregnet. De resterende av de 2315 rutene i Norge har ikke produktiv skog. Disse kalibreringene kan anvendes til å lage skadebilder for vann og jord for ulike år i fremtiden som følge av endret (reduert) tilførsel av svovel. Til det trenges det bare spesifisering av den fremtidige svoveldeposisjonen til hver rute. Disse tallene er tilgjengelige for de scenariene som er utarbeidet i henhold til den nye svovelprotokollen.



Figur 2. Observerte og simulerte konsentrasjoner av  $\text{SO}_4^*$ ,  $\text{Ca}^* + \text{Mg}^*$ , pH og ANC i 50 innsjøer i Galloway, Skottland (fra Wright et al. i trykk).

Det er imidlertid flere usikkerheter knyttet til slike fremtidsprognoser:

- (1) De fremtidige nitrogenkonsentrasjonene i avrenningen er uvisse. Mens det er flere indikasjoner på økt utvasking av nitrat (mindre holdt tilbake i nedbørfelt), er det usikkert når, hvor og under hvilke betingelser nitratkonsentrasjonene i overflatevann vil øke i fremtiden. Her må nye dynamiske prosess-orienterte modeller utvikles og testes. I mellomtiden kan empiriske statiske metoder anvendes, som det er gjort ved utarbeidelse av tålegrensekartene for nitrogen for vann (Henriksen et al. 1992) og jord (Frogner et al. 1994).
- (2) Kriteria for skader for skog er usikre. Hittil er Ca/Al forholdet i jordvannet blitt brukt som kjemisk kriterium, men det er fortsatt stor usikkerhet omkring sammenhengen mellom dette kriterium og skogsskadesymptomer slik som nåletap og misfarging. For Norge foreligger det bare en undersøkelse som indikerer en slik sammenheng (Nelleman og Frogner, i trykk). De har vist en empirisk sammenheng mellom overskridelse av tålegrensen for jord beregnet ved MAGIC modellen og kronetetthet i gran. Sålenge sammenhengen mellom skogskader og jordkriterier er usikker, blir det vanskelig å prognosere det fremtidige skadebildet for skog ved endret (reduisert) tilførsel av svovel (og nitrogen).

Derimot er usikkerheten for vannprognoser betydelig mindre, både fordi sammenhengen mellom kjemisk kriterium (ANC) og skade (fiskebestand) er mye bedre fastlagt, men også fordi MAGIC og andre tilsvarende dynamiske modeller (for eksempel SMART/RESAM) egner seg bedre for vann enn for jord. I tålegrensesammenheng er dette en heldig utfall, fordi tålegrensen for vann er generelt lavere (vann er mer ømfintlig) enn tålegrensen for jord, ihvertfall i Norge. Og derfor vil prognosen for vann bli viktigere i forhandlinger om fremtidig S og N utslipp.

SAFE (PROFILE) er lite egnet til prognosering av vannforsuring fordi den bygger på forvittringshastighet estimert bare fra jorddata uten å ta hensyn til de faktiske vannkjemiske forhold. Muligens kan SAFE brukes til prognosering av jordforsuring, men til det trenges det nye data for mineralogi og tekstur. Selv når disse data foreligger vil SAFE bare gi prognoser knyttet til enkelte punkter i terrenget. Oppskalering til ruter er vanskelig, særlig fordi jordegenskaper varierer mye fra punkt til punkt.

Derimot gir MAGIC informasjon integrert for hele nedbørfeltet. Dette er fordi MAGIC bruker vannkjemien til å beregne forvittringshastigheten. Når målsetningen er å bestemme tålegrenser

og overskridelser av tålegrenser for store arealer (for eksempel innen et EMEP rute på 150x150 km) er det hensiktsmessig å bruke måledata for vannkjemien som i utgangpunktet integrerer forsuring bildet over flere km<sup>2</sup>.

## Referanser

- De Vries, W., Posch, M., and Kämäri, J. 1989. Modeling time patterns of forest soil acidification for various deposition scenarios. p. 129-150, In: Kämäri, J., Brakke, D.F., Jenkins, A., Norton, S.A. and Wright, R.F. (eds.) Regional Acidification Models. Springer-Verlag, Berlin, 306pp.
- De Vries, W., and Kros, J. 1991. Assessment of critical loads and the impact of deposition scenarios by steady state and dynamic soil acidification models. Report 36, Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, 61pp.
- Cosby, B. J., Hornberger, G.M., Galloway, J.N. and Wright, R.F. 1985a. Modelling the effects of acid deposition: assessment of a lumped-parameter model of soil water and streamwater chemistry. Water Resour. Res. 21: 51-63.
- Cosby, B. J., Wright, R. F., Hornberger, G. M. and Galloway, J. N. 1985b. Modelling the effects of acid deposition: estimation of long-term water quality responses in a small forested catchment. Water Resour. Res. 21: 1591-1601.
- Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., Esser, J.M., Håøya, A.-O., and Rudi G. 1992. Map of critical loads for coniferous forest soils in Norway. Report 33, Naturens Tålegrenser, Ministry of Environment, Oslo, Norway, 30pp.
- Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., and Esser, J.M. 1994. Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to coniferous forest soils in Norway. Report 56, Naturens Tålegrenser, Ministry of Environment, Oslo, Norway, 27pp.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S., og Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser for tilførsler av sterke syrer. Report 34, Naturens Tålegrenser, Ministry of Environment, Oslo, Norway, 29pp.
- Jenkins, A., Whitehead, P. G., Cosby, B. J. and Birks, H. J. B., 1990. Modelling long term acidification: a comparison with diatom reconstructions and the implications for reversibility. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 327: 435-440.

- Nellemann, C., and Frogner, T. i trykk. Spatial patterns of spruce defoliation seen in relation to acid deposition , critical loads and natural growth conditions in Norway. Ambio.
- Sverdrup, H., de Vries, W. and Henriksen, A., 1990. Mapping Critical Loads. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Sverdrup, H., Warfvinge, P. and Rosén, K. 1992. A model for the impact of soil solution Ca:Al ratio on tree base cation uptake. Water Air Soil Pollut. 61: 197-221
- Warfvinge, P., Holmberg, M., Posch, M., and Wright, R.F. 1992. The use of dynamic models to set target loads. Ambio 21: 369-376.
- Wright, R. F., Cosby, B. J., Flaten, M. B. and Reuss, J. O. 1990. Evaluation of an acidification model with data from manipulated catchments in Norway. Nature 343: 53-55.
- Wright, R.F., Cosby, B.J., Ferrier, R.C., Jenkins, A., Bulger, A.J., and Harriman, R. i trykk. Changes in acidification of lochs in Galloway, southwestern Scotland, 1979-1988: The MAGIC model used to evaluate the role of afforestation, calculate critical loads, and predict fish status. J. Hydrol.

## 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. Jaworovski, 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 forsurningsfølsomhet 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 forurensning 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 forsurningsfølsomhet 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 (under trykking)
- 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 baeskationer 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 (in prep)

- 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 ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI), Zoologisk Muesum, Oslo, Rapport 144, 1993.
- 40 Aamlid, D. & Skogheim, I. 1993. Nikkel, kopper og andre metaller i multer og blåbær fra Sør-Varanger, 1992. Norsk institutt for skogforskning (NISK), Skogforsk, rapport 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. Norsk institutt for skogforskning (NISK), 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 Polarinstitut 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 (in prep)
- 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 (in prep).

- 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) (in prep)
- 61 Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum majus*), 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.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon

---

**NIVA**



**Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2622-2