

FAGRAPPOR NR. 35

Tålegrenser for sterke syrer  
på overflatevann

**SVALBARD**

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning NIVA

Prosjektnr:

O-90102

Løpenr:

2844

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA AS
Postboks 69, Korsvoll	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0808 Oslo 8	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47 2) 18 51 00	Telefon (47 41) 43 033	Telefon (47 65) 76 752	Telefon (47 5) 32 56 40	Telefon (47 83) 85 280
Telefax (47 2) 18 52 00	Telefax (47 41) 44 513	Telefax (47 65) 76 653	Telefax (47 5) 32 88 33	Telefax (47 83) 80 509

Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann - Svalbard	Dato: Trykket: Februar 1993 NIVA 1993
	Sur nedbør
Leif Lien Arne Henriksen Tor S. Traaen	Svalbard
	Opplag: 200

Arbeidsgruppen for programmet Naturens Tålegrenser	
--	--

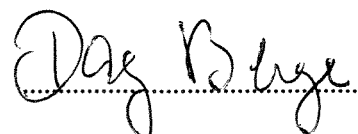
Vannprøver fra 162 lokaliteter på Svalbard og Bjørnøya er analysert. Et nedbørkart er tegnet for Svalbard. Det er utarbeidet fargekart for tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Deler av det nordlige Svalbard har meget lave tålegrenser for sur nedbør. 12 % av Svalbards isfrie areal har like lave tålegrenser som Sør-Norge ( $< 25 \text{ kekv/km}^2/\text{år}$ ), mens 67 % av Svalbard er godt beskyttet mot sur nedbør med tålegrenser  $> 100 \text{ kekv/km}^2/\text{år}$ . Ingen områder har overskredet tålegrensen ved  $\text{ANC}_{\text{limit}} = 0 \text{ } \mu\text{ekv/l}$ . Ved å sette  $\text{ANC}_{\text{limit}} = 20 \text{ } \mu\text{ekv/l}$  (som for øvrige Skandinavia) viser beregningene små overskridelser av tålegrensene i 5 % av de isfrie områdene på Svalbard.

1. Tålegrenser
2. Sur nedbør
3. Vannkjemi
4. Svalbard

1. Critical load
2. Acid deposition
3. Water chemistry
4. Svalbard



Leif Lien



Dag Berge

ISBN 82-577-2242-1

## **Naturens Tålegrenser**

**Programmet Naturens Tålegrenser ble satt igang høsten 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:**

**Eva Fuglei - 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, avdelingen for luftmiljø og industri og avdelingen for internasjonalt miljøvernssamarbeid og polarsaker.**

**Henvendelse vedrørende programmet kan rettes til:**

**Direktoratet for naturforvaltning  
Tungasletta 2  
7005 Trondheim  
Tel: (07) 58 05 00**

**eller  
Statens forurensningstilsyn  
Postboks 8100 Dep  
0032 Oslo 1  
Tel: (02) 57 34 00**

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING**

**OSLO**

**0-90102**

**TÅLEGRENSER FOR STERKE SYRER PÅ OVERFLATEVÅNN**

**SVALBARD**

Forfattere:  
Leif Lien  
Arne Henriksen  
Tor S. Traaen

## FORORD

*Arbeidsgruppen for programmet Naturens tålegrenser har gitt Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i oppdrag å utarbeide kart over tålegrenser for svovel og nitrogen for overflatevann på Svalbard.*

*Innsamling av prøver er foretatt i samarbeid med Norsk Polarinstitut (NP) og Sysselmannen på Svalbard. Heidi Hansen har også samlet inn prøver.*

*Et nedbørkart over Svalbard er tegnet av Olav Liestøl.*

*Norsk institutt for Jord- og Skogkartlegging (NIJOS) har tegnet kartene for tålegrenser og overskridelser av tålegrenser.*

## INNHOLDSFORTEGNELSE

	side
FORORD	3
ENGLISH SUMMARY	5
1. INNLEDNING	6
2. MATERIALET OG METODER	8
<b>2.1. Utvelgelse av prøvelokaliteter - Rutenett over Svalbard</b>	8
<b>2.2. Analyser av vannprøver</b>	8
<b>2.3. Beregninger av tålegrenser (CL) og overskridelser av tålegrenser (CL<sub>ex</sub>).</b>	10
2.3.1. "Opprinnelig" sjøsaltkorrigert basekationavrenning (BC <sub>0</sub> *)	10
2.3.2. Grenseverdi for syrenøytraliserende kapasitet (ANC <sub>limit</sub> ).	11
2.3.3. Avrenning (Q).	11
2.3.4. Deposjoner av sjøsaltkorrigerte basekationer (BC <sub>d</sub> *) og sulfat (SO <sub>4d</sub> *).	11
2.3.5. Utlekking av nitrat fra nedbørfeltet (NO <sub>3le</sub> ).	13
3. RESULTATER OG DISKUSJON.	14
<b>3.1. Kartlegging av tålegrenser</b>	14
<b>3.2. Kartlegging av overskridelser av tålegrenser</b>	15
<b>3.3. Tidligere vannkjemiske data fra Svalbard</b>	16
4. LITTERATUR.	20

## ENGLISH SUMMARY

## CRITICAL LOADS OF ACIDITY TO SURFACE WATERS - SVALBARD

The international accepted definition of critical loads is:

"a quantitative estimate of an exposure to one or more pollutants below which significant harmful effects on specified sensitive elements do not occur according to present knowledge."

A method for calculation of critical loads and exceedance of critical loads: "The Water Chemistry Method" (worked out at The Norwegian Institute of Water Research), is based on the Acid Neutralizing Capacity of the water. ANC is defined as the difference between the sum of base cations (Ca + Mg + Na + K) and the sum of strong acid anions (Cl + SO<sub>4</sub> + NO<sub>3</sub>).

Critical loads (CL) and exceedance of critical loads (CL<sub>ex</sub>) for input of strong acids to surface waters at Svalbard are calculated according to the equations (modified after Henriksen et al. 1992):

$$CL = ([BC]_t^* \div ([SO_4]_t^* \div [SO_4]_d^*) \div [ANC_{limit}]) Q \div BC_d^*$$

$$CL_{ex} = SO_4^*_{d} + NO_{3le} \div BC^*_{d} \div CL$$

[BC]<sub>t</sub><sup>\*</sup> is the concentration of non - marine base cations in a surface water sample (µeq/l).

[SO<sub>4</sub>]<sub>t</sub><sup>\*</sup> is the concentration of non - marine sulphate in a surface water sample (µeq/l).

[SO<sub>4</sub>]<sub>d</sub><sup>\*</sup> is the concentration of non - marine deposition of sulphate in the catchment (µeq/l).

SO<sub>4</sub><sup>\*</sup><sub>d</sub> is the annual non - marine deposition of sulphate in the catchment (keq/km<sup>2</sup>/yr).

ANC<sub>limit</sub> is the critical biological value (limit) for acid neutralizing capacity of the water.

20 µeq/l is an acceptable ANC<sub>limit</sub> for fish and invertebrates.

Q is the run-off from the catchment (l/sec/km<sup>2</sup>)

BC<sup>\*</sup><sub>d</sub> is the annual non - marine deposition of base cations (keq/km<sup>2</sup>/yr).

NO<sub>3le</sub> is the annual leaking of nitrate from the catchment into the surface water (keq/km<sup>2</sup>/yr).

( = nitrate concentrations measured in the surface water sample x Q)

The calculations were based on 162 water samples from Svalbard and Bjørnøya. The samples were analysed for pH, alkalinity, conductivity, turbidity, Ca, Mg, Na, K, SO<sub>4</sub>, Cl, Tot-N, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Tot-P, TOC, and fractions of aluminium.

A map showing annual precipitation on Svalbard has been prepared.

Coloured maps for critical loads and exceedance of critical loads have been prepared for Svalbard and Bjørnøya.

12 % of the ice-free area of Svalbard (about 3.400 km<sup>2</sup>) has low critical loads, less than 25 keq/km<sup>2</sup>/yr or 0.4 g S/m<sup>2</sup>/yr. These areas were found mainly in the northern part, but also scattered around all over the islands. 2/3 of Svalbard are well protected against acid precipitation with a critical load of more than 100 keq/km<sup>2</sup>/yr or 1.6 g S/m<sup>2</sup>/yr.

5 % of ice free area of Svalbard (about 1.500 km<sup>2</sup>) shows exceedance of critical loads. The exceedances are small, less than 25 keq/km<sup>2</sup>/yr using an ANC<sub>limit</sub> of 20 µeq/l. These areas are all located to the northern part of the islands.

## 1 INNLEDNING

Det har vært dokumentert fra 1970-årene at norske arktiske områder mottar forurenset nedbør (Gjessing 1977). I 1981 ble det opprettet en fast målestasjon i Ny-Ålesund for registrering av langtransporterte nedbørforurensninger. På bakgrunn av målinger i 1982 - 1984 fra bl.a. Ny-Ålesund, Bjørnøya, Hopen og Jan Mayen kunne Joranger og Semb (1989) tegne isolinjekart for sulfat og nitrat i nedbør for norske arktiske områder (Fig. 1).

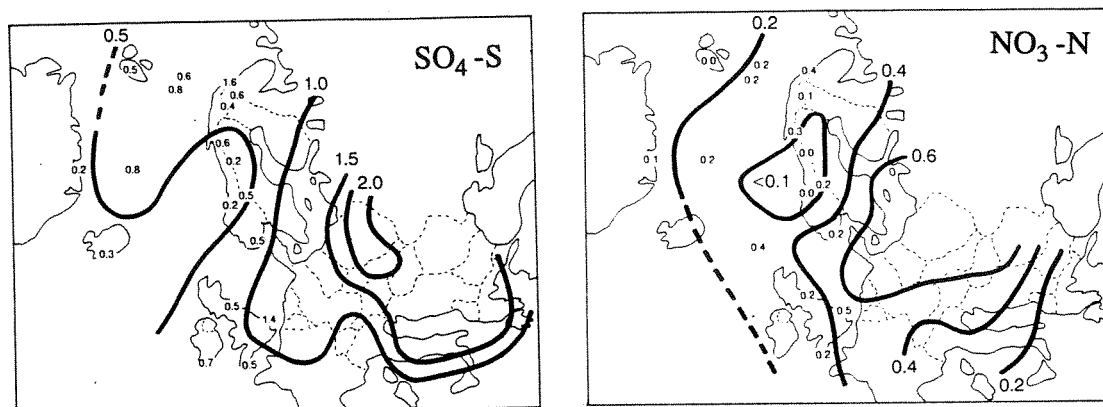


Fig. 1. Middelerverdier av sjøsaltkorrigert sulfat og nitrat (mg/l) i nedbør for perioden august 1982 - juli 1984 (Joranger og Semb 1989).

Sammen med den faste overvåkingsstasjonen i Ny-Ålesund viser dette at Svalbard jevnlig mottar små, men signifikante mengder av forsurende komponenter som sulfat og nitrat.

Forsuring av overflatevann skyldes tilførsler av sterke syrers anioner, i første rekke sulfat og nitrat, som tilføres nedbørfeltene med nedbør og tørravsetninger. Sulfationet er vanligvis et mobilt anion, dvs. at det følger nedbørvannet gjennom nedbørfeltet og virker forsurende på overflatevannet. Nitrat og ammonium er gjødsel for vegetasjonen. I varme og tempererte områder vil derfor mye av nitrogenforbindelsene som tilføres gjennom nedbør og tørravsetninger tas opp av planter. Kommer det mer nitrogen enn det vegetasjonen tar opp, vil overskuddet renne ut i vassdragene, hovedsakelig som nitrat, og virke forsurende på samme måte som sulfat.

I arktiske områder er vekstperioden for planter meget kort (0 - 2 måneder). Svalbard har også permafrost, og mesteparten av nitrogenforbindelsene vil ventelig komme ut i overflatevannet og gi forsurende effekter.

Tålegrenser for forsurende av overflatevann er til nå grundigst utredet for svoveltilførsler. I store deler av Fastlands-Norge og i mange andre land er tålegrenser for denne komponenten forlenget overskredet, og effektene registreres ved sure, fisketomme vann der også andre deler av næringskjeden er påvirket. For svovel kjenner vi nå årsak-virkningsforholdet godt, og dose-responsforholdet kan uttrykkes ved hjelp av enkle modeller. For nitrogen er grunnlaget noe dårligere.



Tålegrenser for tilførsler av sure forbindelser (sulfat og nitrat) må settes i relasjon til vannlevende organismer. For overflatevann i Skandinavia er tålegrensen satt i forhold til fisk og evertebrater. Biologiske tålegrenser settes i relasjon til kjemiske kriterier i overflatevannet. Det har f.eks. vært vanlig å sette kriterier for skader på fisk i forhold til pH. En mer hensiktsmessig parameter ved slik kartlegging er bruk av vannets syrenøytraliserende kapasitet (ANC = acid neutralization capacity).

Eventuelle effekter av sur nedbør på overflatevann på Svalbard er ikke tidligere undersøkt, og det er heller ikke foretatt noen vurderinger av hvilken evne øygruppens innsjøer og elver har for å nøytralisere sur nedbør. Datagrunnlaget for å kunne foreta slike vurderinger var imidlertid meget spinkelt. Det forelå kjemiske analyser fra 20 - 30 lokaliteter som var tilstrekkelige for en vurdering av tålegrenser, men analysene syntes å være av varierende kvalitet. De mest omfattende undersøkelsene på Svalbard er foretatt på vestkysten nær de faste bosetningene ved Sveagruva, Longyearbyen og Ny-Ålesund (Bøyum og Kjennsmo 1970, Bøyum og Kjennsmo 1978, Lund 1983, Faafeng et al. 1990), men det foreligger også data fra Nord- (Jørgensen og Eie 1993) og Sør-Spitsbergen (Rakusa-Suszczewski 1963). Flere av disse lokalitetene ble prøvetatt igjen i denne undersøkelsen for sammenligning av data.

## 2 MATERIALE OG METODE

### 2.1 Utvelgelse av prøvelokaliteter - Rutenett over Svalbard

Geologiske berggrunnskart over Svalbard i 1 : 500 000 (Flood et al. 1971, Winsnes og Worsley 1981, Hjelle og Lauritzen 1982, Lauritzen og Ohta 1984) samt topografiske kart i 1 : 100 000, alle utgitt av Norsk Polarinstitutt, ble benyttet for utvelgelse av prøvelokaliteter. Det ble forsøkt å oppnå en jevn geografisk spredning av lokalitetene samtidig som de geologiske hovedformene skulle være representert. Det ble også valgt ut lokaliteter hvor det fra tidligere forelå kjemiske analyseresultater. Større innsjøer ble foretrukket som prøvelokaliteter. Prøvene ble tatt i utløpsoset i den isfrie perioden (juli - september). Hvor det ikke fantes innsjøer, ble de største elvene prøvetatt. Fig.2 viser 162 prøvetakingslokaliteter på Svalbard (67 prøver i 1990, 87 prøver i 1991 og 8 prøver i 1992).

Fastlands-Norge ble delt opp i ruter på 0.5 ° lengde og 1.0 ° bredde. Disse rutene ble igjen delt inn i 16 mindre ruter. For hver rute ble det foretatt separate beregninger av tålegrenser (Henriksen et al. 1990). Den samme ruteinndelingen ble benyttet på Svalbard.

I Sør-Norge (Sørlandet) var størrelsen på rutene ca 14 x 14 km dvs. 196 km<sup>2</sup>, og innen hver rute ble det valgt ut en karakteristisk vannlokalitet for prøvetaking. I Nord-Norge (Finnmark) var rutestørrelsen 126 km<sup>2</sup> (9 x 14 km), og en vannlokalitet kunne i noen tilfeller representere vannkvaliteten i flere ruter. På Svalbard varierte rutestørrelsen fra syd til nord mellom 91 km<sup>2</sup> (6.5 x 14 km) og 63 km<sup>2</sup> (4.5 x 14 km). Sammenlignet med Fastlands-Norge var arealet av rutene på Svalbard omkring det halve, og vannprøver fra en lokalitet representerte i alle tilfeller flere ruter ved beregninger av tålegrenser. Geologien i berggrunnen (Flood et al. 1971, Winsnes og Worsley 1981, Hjelle og Lauritzen 1982, Lauritzen og Ohta 1984) var bestemmende for hvilke ruter de enkelte vannprøvene skulle representere. Svalbards areal er på nesten 63.000 km<sup>2</sup>, og omkring 55 % er dekket av is. De 28.000 km<sup>2</sup> isfrie områdene er representert ved i alt 162 vannprøver, eller i snitt en vannprøve pr. 175 km<sup>2</sup>. Dette gir samme prøvetetthet som for Fastlands-Norge.

### 2.2 Analyser av vannprøver

Alle prøvene fra Svalbard er analysert på pH, ledningsevne, turbiditet, kalsium, magnesium, natrium, kalium, sulfat, klorid, alkalitet, totalnitrogen, ammonium, nitrat, totalfosfor, total organisk karbon, reaktivt aluminium og labilt aluminium.

På grunn av mye breslam (høy turbiditet) i mange av vannprøvene, oppsto det betydelige analyseproblemer som bl.a. resulterte i skjeve ionebalanser. Dette ble i hovedsak løst ved filtrering av forskjellige prøver og reanalyser av følsomme parametre.

Det ble også samlet inn vannprøver for tungmetallanalyser fra alle lokalitetene. Ti av innsjøene er analysert på kobber, kadmium, sink, bly, jern og mangan. De fleste prøvene viste jevnt over lave verdier.

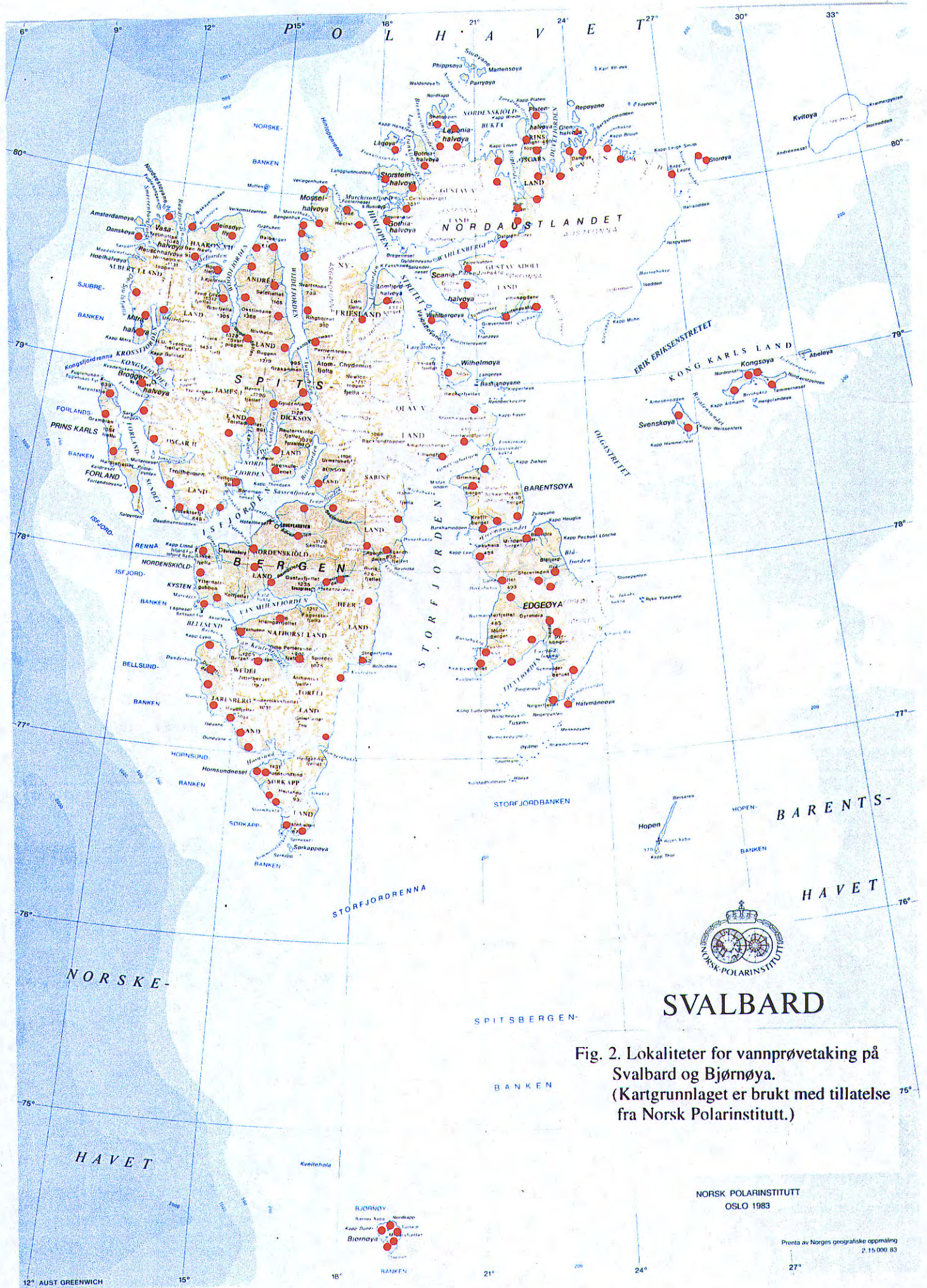


Fig. 2. Lokalteter for vannprøvetaking på Svalbard og Bjørnøya. (Kartgrunnlaget er brukt med tillatelse fra Norsk Polarinstitutt.)



# SVALBARD

NORSK POLARINSTITUTT  
OSLO 1983

Printa av Norges geografiske oppmåling  
2:15.000 B3

## 2.3 Beregninger av tålegrenser (CL) og overskridelser av tålegrenser (CL<sub>ex</sub>).

Tålegrenser for overflatevann (CL) kan beregnes etter formelen:

$$CL = ([BC]^*_0 \div [ANC_{\text{limit}}]) Q \div BC^*_d \quad (\text{Henriksen et al. 1992})$$

hvor  $[BC]^*_0$  er de ikke marine (sjøsalkkorrigerede) konsentrasjonene av basekationer i avrenningsvannet som var tilstede i tiden før sur nedbørbelastningene begynte. ANC (Acid Nutralizing Capacity) er vannets syrenøytraliserte kapasitet.  $ANC_{\text{limit}}$  er empiriske grenseverdier som er beskrevet for ulike vannlevende organismer. Q er verdien for avrenning, og  $BC^*_d$  er årlige depositionsjoner av ikke marine (sjøsalkkorrigerede) basekationer.

For Svalbard vil denne formelen bli noe modifisert:

Som beskrevet i avsnitt 2.3.1 er den målte sjøsalkkorrigerede basekationkonsentrasjonen  $[BC]^*_t$  ubetydelig forskjellig fra den opprinnelige konsentrasjonen  $[BC]^*_0$ .  $[BC]^*_t$  vil bli benyttet i formelen i stedet for  $[BC]^*_0$ .

Videre viser vannprøvene fra Svalbard at mange områder har mye løselig kalsium/magnesium sulfat i berggrunnen, og dette har betydning for beregninger av tålegrensene. Høye sulfatkonsentrasjoner i avrenningsvannet reduserer "overskuddet" av basekationer som kan "motstå" tilførsler av sterke syrer. De målte og sjøsalkkorrigerede sulfatkonsentrasjonene  $[SO_4]^*_t$  må derfor trekkes ifra vannets tålegrense. De målte sulfatkonsentrasjonene i vannprøvene inneholder også langtransportert, sjøsalkkorrigeret sulfat  $[SO_4]^*_d$ , og dette skal ikke tas med og må trekkes fra i beregningene av tålegrenser (se avsnitt 2.3.4 for mer beskrivelse). For Svalbard får vi da formelen:

$$CL = ([BC]^*_t \div ([SO_4]^*_t \div [SO_4]^*_d) \div [ANC_{\text{limit}}]) Q \div BC^*_d$$

Overskridelser av tålegrenser for svovel (CL<sub>ex(S)</sub>) kan beregnes etter formelen

$$CL_{\text{ex(S)}} = SO_4^*_d \div BC^*_d \div CL \quad (\text{Henriksen et al. 1992})$$

Tar vi med de forsurende nitrat-tilførslerne kan vi sette opp en ligning for overskridelser av tålegrenser som omfatter både sulfat og nitrat:

$$CL_{\text{ex}} = SO_4^*_d + NO_{3\text{le}} \div BC^*_d \div CL \quad (\text{Henriksen et al. 1992})$$

hvor  $NO_{3\text{le}}$  står for utlekking av nitrat til overflatevannet fra nedbørfeltet.

### 2.3.1. "Opprinnelig" sjøsalkkorrigeret basekationavrenning ( $BC^*_0$ ).

En innsjøs følsomhet overfor sure forbindelser er bestemt av forvittringshastigheten i nedbørfeltet. Langtransporterte tilførsler av sulfat og nitrat i større mengder og over lang tid har medført endringer i konsentrasjonene av basekationer i avrenningen fra nedbørfeltet  $[BC]^*_t$ . Den opprinnelige basekationkonsentrasjonen kan beregnes etter formelen (Henriksen et al. 1990):

$$[BC]^*_0 = [BC]^*_t \div \sin [BC^*_t/400] \cdot ([SO_4]^*_t \div 15 \div 0.16[BC]^*_t)$$

Svalbard har mottatt, og mottar fortsatt, beskjedne belastninger sammenlignet med deler av Sør-Norge. Beregninger av  $[BC]_0^*$  for Svalbard viser ubetydelige forskjeller fra  $[BC]_t^*$ . De målte og beregnede verdiene av dagens basekationkonsentrasjoner  $[BC]_t^*$  benyttes derfor isteden for  $[BC]_0^*$  i utregningene av tålegrenser og overskridelser på Svalbard.

### 2.3.2. Grenseverdi for syrenøytraliserde kapasitet ( $ANC_{limit}$ )

På grunnlag av empiriske undersøkelser av vannkvalitet og fisk - invertebrater i Norge er det satt en nedre grenseverdi for  $ANC_{limit}$  på 20  $\mu\text{ekv/l}$  (Lien et al. 1991). Denne verdien benyttes nå også internasjonalt.  $ANC_{limit}$  på 20  $\mu\text{ekv/l}$  er en middelvei for året, og inkluderer bl.a. sure nedbørepisoder som forekommer gjennom året i belastede områder. I lite belastede områder finner vi fortsatt innsjøer og elver som har gode bestander av fisk og bunndyr, og hvor ANC er mellom 20 og 0  $\mu\text{ekv/l}$ . For å unngå å tegne flere tålegrensekart med ulike  $ANC_{limit}$  er hele Fastlands-Norge kartlagt med  $ANC_{limit} = 20 \mu\text{ekv/l}$ . Svalbard mottar moderate belastninger av sur nedbør, og tålegrensen i årsgjennomsnitt for fisk og invertebrater vil sannsynligvis være under  $ANC = 20 \mu\text{ekv/l}$ . For at tålegrensekartene for Svalbard skal være sammenlignbare med Fastlands-Norge og resten av Europa, settes  $ANC_{limit} = 20 \mu\text{ekv/l}$  også for Svalbard.

### 2.3.3. Avrenning (O)

Det foreligger ikke avrenningskart for Svalbard tilsvarende som for Fastlands-Norge. Nedbørmålinger for Svalbard kan eventuelt benyttes som grunnlag for avrenningsestimater. De få meteorologiske stasjonene og usikre nedbørmålingene har ikke gjort det mulig å tegne brukbare nedbørskart over Svalbard (Steffensen 1982). Imidlertid finnes det kart over øygruppen som viser akkumulasjon av snø på bre-dekte områder (Liestøl og Roland 1981, gjengitt i Steffensen 1982). Det beste grunnlaget for bedømmelse av nedbørens fordeling og størrelse får en på breer. Da mesteparten av nedbøren kommer som snø på Svalbard, og dessuten er meget jevnt fordelt og lett å måle, gir dette et godt grunnlag for et nedbørskart. Variasjonene med høyden over havet er betydelige (Hagen og Liestøl 1990). Nedbørskartet, som er tegnet av Olav Liestøl, er derfor utjevnet og meget grovt. Usikkerhetene er også store, spesielt i de østlige områdene der det foreligger få direkte observasjoner. Dette er imidlertid de eneste nedbørestimatene som foreligger (Fig.3.), og de vil derfor bli benyttet. Avrenningen er beregnet etter disse nedbørsmengdene minus fordampning (sublimering). Fordampningen er satt til 15 %, som er det samme som er registrert i Finnmark (Statistisk Sentralbyrå 1978).

### 2.3.4. Deposisjon av sjøsaltkorrigerde basekationer ( $BC_d^*$ ) og sulfat ( $SO_4^*$ ).

En målestasjon i Ny-Ålesund har foretatt kontinuerlige målinger siden 1981 av tilførsler av langtransporterte luftforurensninger. Dette er den eneste stasjonen på øygruppen som har målt nedbørforurensninger over lengre tid, og deposisjonsverdiene for Ny-Ålesund vil bli benyttet til tålegrenseberegningene for hele Svalbard. Deposisjonsverdiene er rapportert i SFT's årsrapporter for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Beregningene av tålegrenser vil benytte gjennomsnittsverdier for 1988, 1989, 1990 og 1991, og tallene (Tabell 1) er hentet direkte ut fra og / eller omregnet fra SFT's årsrapporter (SFT 1989, 1991a, 1991b, 1992).



Fig. 3. Nedbørkart over Svalbard i mm årlig nedbør (Tegnet av Olav Liestøl).

Tabell 1. Sjøsaltkorrigerte konsentrasjoner i våtavsetninger i Ny-Ålesund for 1988, 1989, 1990 og 1991 og gjennomsnitt for alle fire årene. Enhet: ekv/l sjøsaltkorrigert.

År	H <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> -S	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Ca	Mg	K	Na	BC* <sub>d</sub>
1988	7	17	5	15	20	10	4	2	36
1989	3	24	4	4	22	8	2	0	32
1990	12	21	5	4	14	3	2	0	19
1991	11	21	8	7	25	13	4	5	47
Snitt	8	21	6	8	20	9	3	2	34

Originaldataene for tabell 1 fra SFT's årsrapporter gir hovedsakelig ikke sjøsaltkorrigerte verdier, og ionebalansen viser for alle årene et lite prosentvist overskudd av kationer. Det er imidlertid mye sjøsalter i våtavsetningene, og ved korrigerings for sjøsaltene blir kationoverskuddet i prosent forsterket. Den sjøsaltkorrigerte ionebalansen for 1988, 1989, 1990 og 1991 viser nesten dobbelt så mye kationer som anioner. Med et overskudd av H<sup>+</sup>-ioner alle årene (pH-middel i nedbøren mellom 4.6 og 5.2) er et basekationoverskudd lite sannsynlig. pH målingene er trolig de mest korrekte sammen med sulfat- og nitrat-målingene. Ved beregningene av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser justeres derfor ionebalansen ved å redusere basekationene til overenstemmelse med anionene.

I perioden 1982 - 1984 ble det foretatt en sammenligning av deponisjoner fra bl.a. fire arktiske lokaliteter; Ny-Ålesund, Hopen, Bjørnøya og Jan Mayen (Joranger og Semb 1989). Også her er det overskudd på kationer i Ny-Ålesund, mens de øvrige arktiske stasjonene synes å være i balanse. Årsakene til uoverensstemmelsen i ionebalansene for Ny-Ålesund har man foreløpig ingen rimelig forklaring på.

Ved de tidlige beregningene av overskridelser av tålegrenser på Fastlands-Norge ble de målte sulfatmengdene i avrenningsvannet benyttet (Henriksen et al. 1990). I noen tilfeller oppstod det vanskeligheter i beregningene på grunn av større mengder naturlig sulfat i nedbørfeltene. Store deler av Svalbard har også mye løselig sulfat i berggrunnen.

Nyere beregninger av overskridelser av tålegrenser benytter deponisjonsmengdene av svovel for bestemmelser av overskridelser (Henriksen et al. 1992).

Også ved beregninger av tålegrenser blir det mer komplisert i områder hvor det forekommer løselig sulfat i nedbørfeltet. Sulfatutløsningen fra nedbørfeltet reduserer tålegrensekapasiteten i overflatevannet og må trekkes fra ved beregningene. Dette gjøres enklest ved å bruke de sjøsaltkorrigerte sulfatmålingene for hver lokalitet og trekke fra sulfatdeponisjonene (SO<sub>4</sub>\*<sub>t</sub> ÷ SO<sub>4</sub>\*<sub>d</sub>).

### 2.3.5. Utlekking av nitrat fra nedbørfeltet (NO<sub>3</sub> le).

I motsetning til svoveldeponisjonene som forventes å gå gjennom nedbørfeltet i sin helhet, vil deler av nitrogendeponisjonene bli tatt opp av vegetasjonen i nedbørfeltet. På Svalbard, med sparsom vegetasjon og kort vekstperiode, forventes bare en liten del av nitrogendeponisjonene å bli tatt opp av plantene, mens mesteparten vil bli funnet igjen som nitrat i overflatevannet etter oksidasjon av ammoniumdelen. Bidraget av nitrogendeponisjoner som virker forsurende på innsjøer og elver måles derfor direkte i overflatevannet.

### 3. RESULTATER OG DISKUSJON

#### 3.1. Kartlegging av tålegrenser

Kartlegging av tålegrenser på Svalbard er vist i Fig. 4. Tålegrensene er fremstilt i ti intervaller med hver sin fargekode. Rødt betegner de laveste tålegrensene, orange til gult mellomliggende verdier, og mørkere blåfarger viser videre økende tålegrenser. Is og bredekte områder er markert med hvite småruter. Det finnes også gråfarger i deler av noen ruter. Dette er nunataker hvor det ikke ble funnet permanent overflatevann eller mindre øyer hvor det ikke er tatt prøver. I alt omfatter dette 8.3 % av de isfrie områdene på Svalbard eller 2.336 km<sup>2</sup>.

De laveste tålegrensene finnes stort sett i de nordligste områdene av Svalbard. Forøvrig er lave tålegrenser også påvist spredt over hele øygruppen inkludert Bjørnøya. Hovedinntykket er imidlertid høye tålegrenser (mørker blåfarger) over de største delene av øygruppen.

Tålegrensene gjenspeiler i hovedtrekk de berggrunnsgeologiske forholdene på Svalbard (Winsnes 1988). De laveste tålegrensene finner vi hovedsakelig i områder med gneis og granitt. Disse er for en stor del lokalisert til de nordligste områdene, men også midtre og vestre deler av øygruppen har harde bergarter hvor vi finner lavere tålegrenser. Det er imidlertid områder med lavere tålegrenser i sørlige og østlige deler av Svalbard hvor man på grunnlag av berggrunnskartene kunne vente høyere tålegrenser. Dette kan ha sammenheng med mindre lommer av hardere bergarter. Det kan også ha sammenheng med prøvetaking i en periode med mye smeltevann som har vært i liten kontakt med grunnmassene, bl.a. på grunn av permafrost som finnes over hele øygruppen.

En fordeling av tålegrenseintervaller over isfrie landarealer viser at 12 % eller omkring 3.400 km<sup>2</sup> har tålegrenser mindre enn 25 kekv/ km<sup>2</sup>/ år. Dette er de samme lave tålegrensene som vi finner over store deler av Sør-Norge. Imidlertid er 67 % av Svalbards isfrie områder godt beskyttet mot tilførsler av sur nedbør med tålegrenser over 100 kekv/km<sup>2</sup>/år. Fordelingen av de forskjellige tålegrenseintervallene er vist i Tabell 2.

*Tabell 2. Arealfordeling av ulike intervaller av tålegrenser på Svalbard beregnet med  $ANC_{limit} = 20 \mu\text{-ekv/l}$ . Arealfordelingen er gitt i km<sup>2</sup> og i prosent av et totalareal på 61.638 km<sup>2</sup> og et isfritt areal på 28.113 km<sup>2</sup>. Bjørnøya er ikke inkludert i arealberegningene.*

Tålegrenser kekv/km <sup>2</sup> /år	Areal km <sup>2</sup>	Prosent av (totalareal) og isfritt omr.	
0 - 25	3.414	(6)	12
25 - 50	1.668	(3)	6
50 - 75	834	(1)	3
75 - 100	1.133	(2)	4
> 100	18.727	(30)	67



### 3.2. Kartlegging av overskridelser av tålegrenser

Kartleggingen av overskridelser av tålegrenser på Svalbard er vist i Fig. 5. Overskridelsene av tålegrensene er vist med fargekoder i ti intervaller. Områdene på Svalbard der tålegrensene for svovel og nitrogen er overskredet er markert med gult, og områder hvor tålegrensene ikke er overskredet har ulike blåfarger. Den lyseste blåfargen viser felter nær overskridelse. Mørkere blåfarger viser felter som kan motta økende mengder av sure komponenter før tålegrensen overskrides. Fargeskalaen og intervallene er de samme som ble benyttet for Fastlands-Norge (Henriksen et al. 1992) for at kartene lett skal kunne sammenlignes. De røde og orange fargene og overskridelses-intervallene er også markert på skalaen på Svalbard-kartet selv om det i dag ikke er registrert så store overskridelser av tålegrensen. Hvite felter over land er bre og isdekket, og grå felter er nunataker eller mindre øyer som ikke er prøvetatt.

Tålegrenser og overskridelser av tålegrenser ved tilførsler av sterke syrer er beregnet på grunnlag av  $ANC_{\text{limit}} = 20 \mu\text{ekv/l}$ . Dette er en nedre empirisk grenseverdi for biologiske indikatorer som fisk og bunndyr i områder belastet med tilførsler av sterke syrer (Lien et al. 1991). I lite belastede områder på Fastlands-Norge finnes fortsatt ferskvann med gode bestander med fisk og bunnbyr, og hvor ANC konsentrasjonen ligger mellom 20 og 0  $\mu\text{ekv/l}$ . Svalbard har en rekke ferskvannsføremønstre hvor ANC konsentrasjonene er lavere enn 20  $\mu\text{ekv/l}$ , og Svalbard mottar fortsatt lave belastninger av sterke syrer. Virkningene av sur nedbør på bunndyr og fisk i disse arktiske områdene med lave ANC konsentrasjoner er imidlertid ikke dokumentert. Ved fremstilling av kart for tålegrenser og overskridelser av tålegrenser settes  $ANC_{\text{limit}}$  til 20  $\mu\text{ekv/l}$  både fordi dette er dokumentert for biologiske indikatorer på Fastlands-Norge og fordi kartene også blir sammenlignbare for hele landet.

Fordelingen av forskjellige intervaller av overskridelser av tålegrensene er vist i Tabell 3.

*Tabell 3. Arealfordeling av ulike intervaller av overskridelser av tålegrenser på Svalbard beregnet ved  $ANC_{\text{limit}} = 20 \mu\text{-ekv/l}$ . Arealfordelingen er gitt i  $\text{km}^2$  og i prosent av et totalareal på  $61.638 \text{ km}^2$  og et isfritt areal på  $28.113 \text{ km}^2$ . Bjørnøya er ikke inkludert i arealberegningene.*

Overskridelser av tålegrense $\mu\text{ekv/km}^2/\text{år}$	Areal $\text{km}^2$	Prosent av (totalareal) og isfritt omr.	
25 - 0	1.444	(2)	5
0 - -25	2.281	(4)	8
-25 - -50	1.466	(2)	5
< -50	20.586	(33)	73

5% av Svalbards isfrie områder eller nesten  $1.500 \text{ km}^2$  viser overskridelser av tålegrensene for tilførsler av sterke syrer ved  $ANC_{\text{limit}} = 20 \mu\text{ekv/l}$ . Valget av  $ANC_{\text{limit}} = 20 \mu\text{ekv/l}$  har stor betydning for både størrelsen på overskridelsene og også for hvilke områder tålegrensene er overskredet. 8% av de isfrie områdene, eller nesten  $2.300 \text{ km}^2$ , ligger mellom 0 og -25  $\mu\text{ekv/km}^2/\text{år}$ . (Negative verdier på overskridelser betyr at tålegrensen for et område ikke er

overskredet. D.v.s. at området kan motta ytterligere mengder sterke syrer før tålegrensen blir overskredet.) Tabell 3 viser også at nesten 3/4 av Svalbards isfrie områder har stor bufferkapasitet (minst 50 kekv/km<sup>2</sup>/år eller 0.8 g S/m<sup>2</sup>/år) før tålegrensen for sur nedbør overskrides.

### 3.3. Tidligere vannkjemiske data fra Svalbard

Det er tidligere analysert vannprøver fra 20 - 30 lokaliteter på Svalbard som er så omfattende at tålegrenser kan beregnes. Omkring halvparten av disse er små dammer. Seks lokaliteter var sammenfallende med de som ble valgt ut som prøvelokaliteter for dette tålegrenseprosjektet. For å få en liten sammenligning med de tidligere måleresultatene ble de seks lokalitetene prøvetatt på nytt. Tabell 4. viser beregninger av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for disse lokalitetene basert på både tidligere og våre analyseresultater.

*Tabell 4. Tålegrenser, CL, og overskridelser av tålegrenser, CL<sub>ex</sub>, beregnet på grunnlag av tidligere vannkjemiske analyser fra Svalbard. Beregningene fra vår undersøkelse er satt opp i parenteser.*

Lokalitet	CL	CL <sub>ex</sub>
Linnévatn (Bøyum og Kjennsmo 1978)	257 (209)	+253 (+205)
Linnévatn (Faafeng et al. 1990)	258 (209)	+253 (+205)
Diesetvatn (Lund 1983)	96 (120)	+91 (+115)
Diesetvatn (Faafeng et al. 1990)	135 (120)	+130 (+115)
Mosselvatn (Jørgensen og Eie 1993)	48 ( 35)	+43 ( +30)
Flåtan (Jørgensen og Eie 1993)	30 ( 28)	+ 26 ( +24)
Femmilsjøen (Jørgensen og Eie 1993)	33 ( 34)	+30 ( +30)
Gunvorvatn (Jørgensen og Eie 1993)	6 ( 10)	+ 3 ( +6)

Forskjellene i tålegrenser og overskridelser av tålegrenser er små mellom tidligere undersøkelser og våre måleresultater. Spesielt er dette tilfelle for de lokalitetene hvor tålegrensene er lave (Gunvorvatn, Flåtan, Femmilsjøen og Mosselvatn). Det er heller ingen tendenser til økning eller reduksjon sammenlignet med de tidligere undersøkelsene.

#### 4. KONKLUSJONER

Svalbard mottar langtransporterte luftforurensninger i moderate mengder. Disse omfatter bl.a. forsurende komponenter av svovel og nitrogen.

Beregninger av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser er beheftet med visse usikkerheter. Usikkerhetene består i både beregningsmodellene og sammenhengen mellom vannkjemi og biologiske indikatorer. Usikkerhetene er forøvrig tilnærmet de samme som for Fastlands-Norge og andre områder hvor de samme beregningsmodellene er benyttet.

12 % av Svalbards isfrie landareal har lave tålegrenser for tilførsler av sur nedbør. Disse områdene er hovedsakelig lokalisert til de nordligste delene, men finnes også spredt over hele øygruppen. 67 % av Svalbard har høye tålegrenser mot sur nedbør.

Ved å sette  $ANC_{\text{limit}} = 20 \text{ } \mu\text{ekv/l}$  viser beregningene at det foreligger små overskridelser av tålegrensene i 5 % av de isfrie områdene på Svalbard. Disse ligger alle i de nordligste delene av øygruppen.

## SVALBARD

### FARGEKART FOR TÅLEGRENSER OG OVERSKRIDELSER AV TÅLEGRENSER FOR SVOVEL OG NITROGEN

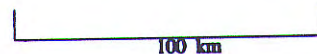
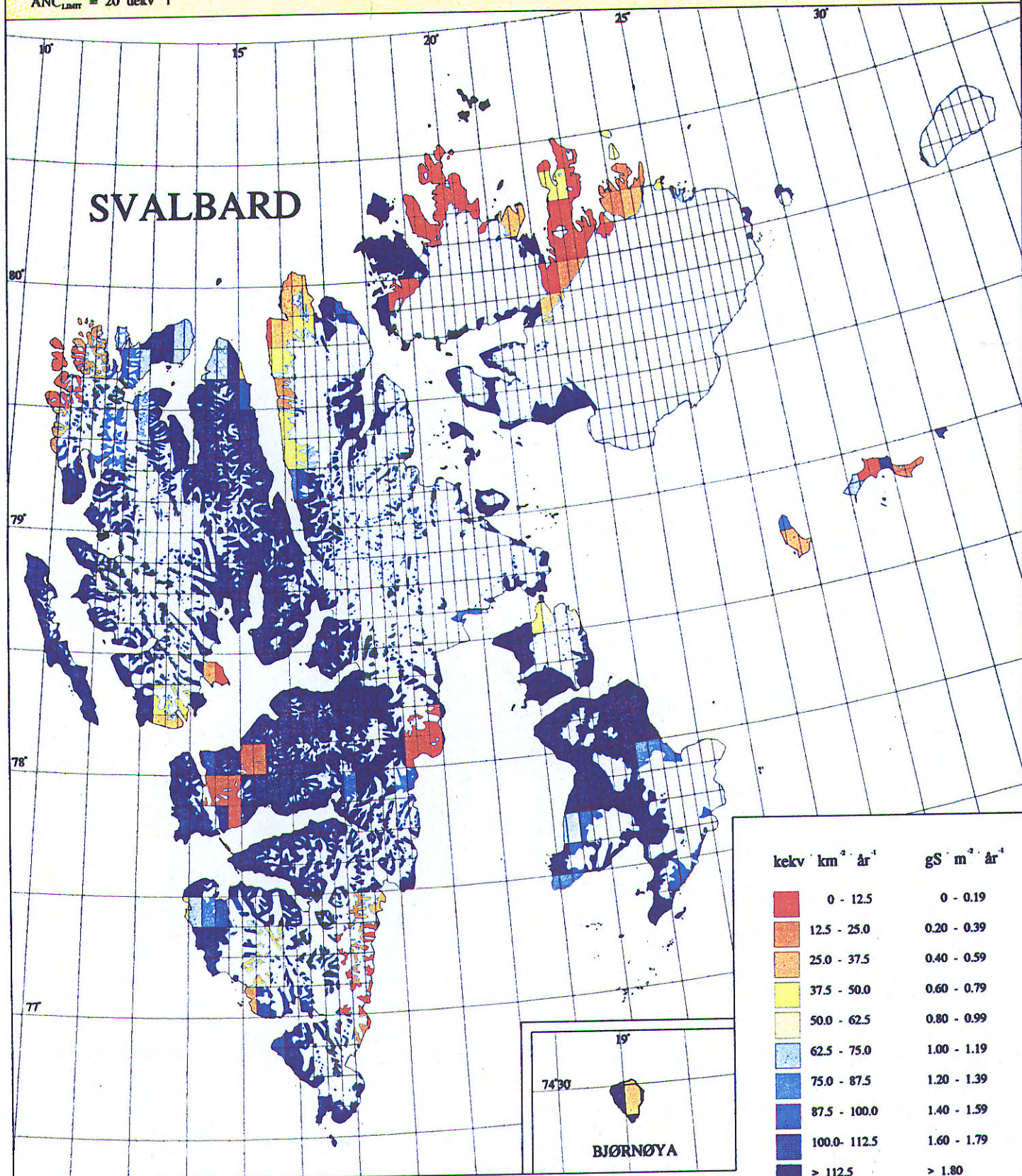
**Fargekartene er vist på de neste to sidene.  
Figurtekstene er gitt nedenfor.**

Fig. 4. Tålegrenser for tilførsler av sterke syrer på Svalbard. Tålegrensene er beregnet på grunnlag av  $ANC_{\text{limit}} = 20 \mu\text{ekv/l}$ . Rød - orange - gul - blå viser økende tålegrenser. Hvite felter er breer og isdekket land. Grå felter er nunatak og mindre øyer som ikke er prøvetatt.

Fig. 5. Områder på Svalbard der tålegrensene for svovel og nitrogen er overskredet (gul) og ikke er overskredet (blå). Hvite og grå felter som Fig.4.

# Tålegrenser - overflatevann

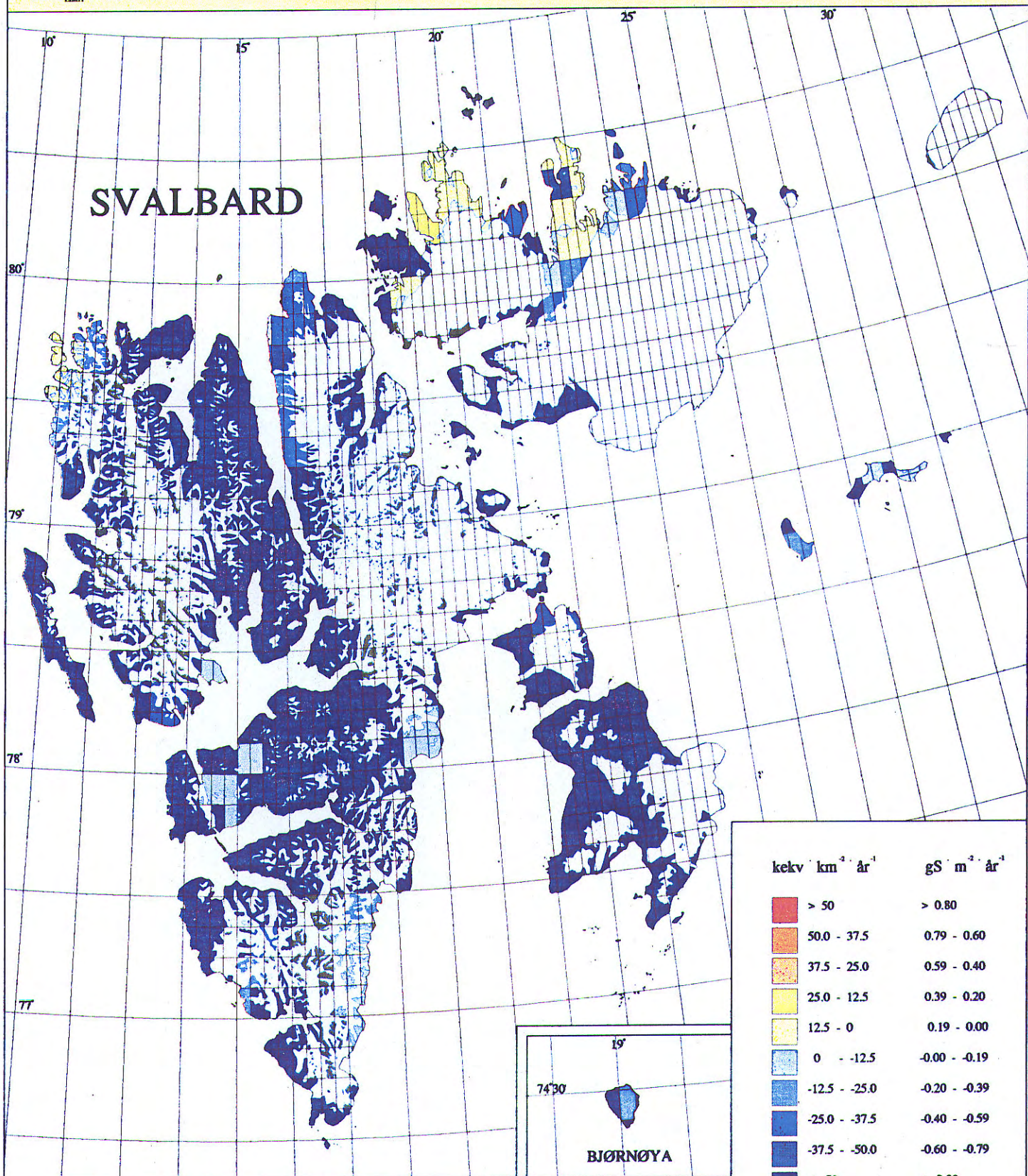
ANC<sub>LIMT</sub> = 20 uekv · l<sup>-1</sup>



# Overskridelser av tålegrenser - overflatevann

Verdier for svovel og nitrogen

$ANC_{1,0m} = 20 \text{ uekv } l^{-1}$



## 4. LITTERATUR.

- Bøyum, A. og Kjennsmo, J. 1970. Kongressvatn. A creogenic meromictic lake at Western Spitsbergen. Arch. Hydrobiol. 67,4, 542 - 552.
- Bøyum, A. og Kjennsmo, J. 1978. Physiography of lake Linnevatn, Western Spitsbergen. Verh. Int. Verein. theor. angew. Limnol. 20, 609 - 614.
- Flood, B., Nagy, J. og Winsnes, T.S. 1971. Geological map of Svalbard 1 : 500 000. Sheet 1G. Spitsbergen, southern part. Nor. Polarsinst. Skr. 154A.
- Faafeng, B., Brettum, P. og Hessen, D. 1990. Landsomfattende undersøkelser av trofitalstanden i 355 innsjøer i Norge. Statlig program for forurensningsovervåking, SFT 425/90. Norsk institutt for vannforskning, NIVA nr. 2355.
- Gjessing, Y.T. 1977. Episodic variations of snow contamination of an Arctic snowfield. Atmospheric Environment 11, 643 - 647.
- Hagen, J.O. og Liestøl, O. 1990. Long-term glacier mass-balance investigations in Svalbard 1950 - 88. Ann. Glaciol., 14, 102 - 106.
- Henriksen, A., Lien, L. og Traaen, T.S. 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapp. O-89210.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T. S. og Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapp. O-89210.
- Hjelle, A. og Lauritzen, Ø. 1982. Geological map of Svalbard 1 : 500 000. Sheet 3G. Spitsbergen northern part. Nor. Polarinst. Skr. 154C.
- Joranger, E. og Semb, A. 1989. Major ions and scavenging of sulphat in the Norwegian Arctic. Atmospheric Environment 23,11, 2463 - 2468.
- Jørgensen, I. og Eie, J.A. 1993. Ferskvannsbioologiske undersøkelser på Mosselhalvøya, Svalbard sommeren 1977. (in press.)
- Lauritzen, Ø. og Ohta, Y. 1984. Geological map of Svalbard 1 : 500 000. Sheet 4G. Nordaustlandet. Nor. Polarinst. Skr 154D.
- Lien, L., Raddum, G.G. og Fjellheim, A. 1991. Tålegrenser for overflatevann - evertebrater og fisk. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapp. O-89185/2
- Lund, T.R. 1983. Hydrografi og fytoplanktonproduksjon i et brepåvirket vassdrag på Svalbard. Upublisert hovedfagsoppgave. Inst. marinbiol. limn. Univ. Oslo.
- Rakusa-Suszczewski, S 1963. Termics and chemistry of shallow fresh water pools in Spitsbergen. Pol. Arch. Hydrob. 11,24, 169 - 187.

- Statens forurensningstilsyn. 1989. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Statlig program for forurensningsovervåking Årsrapport 1988. Rapp. 375/89.
- Statens forurensningstilsyn. 1991a. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Statlig program for forurensningsovervåking Årsrapport 1989. Rapp. 437/91.
- Statens forurensningstilsyn. 1991b. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Statlig program for forurensningsovervåking Årsrapport 1990. Rapp. 466/91
- Statens forurensningstilsyn. 1992. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Statlig program for forurensningsovervåking Årsrapport 1991. Rapp. 506/92.
- Statistisk Sentralbyrå 1978. Miljøstatistikk 1978. Naturressurser og forurensninger. Statistiske analyser 37.
- Steffensen, E.L. 1982. The Climate at Norwegian Arctic Stations. Klima 5, 1982. Det norske meteorologiske institutt.
- Winsnes, T.S. og Worsley, D. 1981. Geological map of Svalbard 1 : 500 000. Sheet 2G. Edgeøya. Nor. Polarinst. Skr. 154B.
- Winsnes, T.S. 1988. Geological map 1 : 1000 000. Bedrock map of Svalbard and Jan Mayen. Nor. Polarinst. Temakart nr. 3.



## 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., L. Lien & T. S. Traaen, 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport O-89210.
- 3 Lien, L., A. Henriksen, G. Raddum & A. Fjellheim, 1989. Tålegrenser for overflatevann. Fisk og evertebrater. Foreløpige vurderinger og videre planer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport 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. & S. Nybø, 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. & K. Aagaard, 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., H. Mack Berger & L. Kvenild, 1992. Fiskestatus i relasjon til forsuring av innsjøer. Norsk institutt for naturforskning (NINA), forskningsrapport 032.
- 9 Pedersen, U., S. E. Walker & A. Kibsgaard, 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., A. Stuanes, J. O. Reuss & M. B. Flaten, 1990. Critical loads for soils in Norway. Preliminary assessment based on data from 9 calibrated catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), rapport 0-89153.
- 11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), rapport 0-89153.
- 12 Amundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forsurningsfølsomhet i naturlig jord. Universitetet i Trondheim, AVH (stensil).
- 13 Flatberg, K. I., B. Foss, A. Løken & S. M. Saastad, 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) Oppdragsmeld. 55.
- 15 Flatberg, K.I., Bakken, S., Frisvoll, A.A., & Odasz, A.M. 1990. Moser og luftforurensninger. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 69.
- 16 Mortensen, L.M. Ozonforurensning og effekter på vegetasjonen i Norge. Norsk landbruksforsk. 5:235-264.
- 17 Wright, R.F., Stuanes, A.O. & Frogner, T. Critical Loads for Soils in Norway Nordmoen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport O-89153.

- 18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. og Sæther, M. 1991. Metallbelastninger i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 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, Carl Einar. 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. 53s.
- 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) Oppdragsmeld. 124.
- 25 Fremstad, E. 1992. Heivegetasjon i Norge, utbredelseskart. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. (i trykk)
- 26 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A. 1992. Undersøkelser av skader hos to sigdmoser i Agder. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 134
- 27 Lindstrøm, E.A. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Fastsittende alger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). O-90137/E-90440, rapport-2 (i trykk)
- 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). O-90137/E-90440, rapport-3 (i trykk)
- 29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). O-90137/E-90440, rapport-1 (i trykk)
- 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 (sulphur) for coniferous forest soils in Norway. (in prep)
- 34 Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. & Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-89210
- 35 Lien, L. Henriksen, A. & Traaen, T.F. 1993. Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann - Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-90102.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo  
Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2242-1