

En analyse av sammenhengen
mellom overskridelser av tålegrenser
for overflatevann og
skader på fiskebestander

Trygve Hesthagen
Arne Henriksen



NINA

NATURENS
TÅLEGRENSER

Miljøverndepartementet
Fagrapport 58

En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander

*Trygve Hesthagen

**Arne Henriksen

NATURENS
TÅLEGRENSER

Miljøverndepartementet
Fagrapport 58

***NORSK INSTITUTT FOR NATURFORSKNING**
****NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING**

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 Grenseoverskridende Luftforurensninger (Genève-konvensjonen). I arbeidet under Genève-konvensjonen 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 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

NINAs publikasjoner

NINA utgir fem ulike faste publikasjoner:

NINA Forskningsrapport

Her publiseres resultater av NINAs eget forskningssarbeid, i den hensikt å spre forskningsresultater fra institusjonen til et større publikum. Forskningsrapporter utgis som et alternativ til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

NINA Utredning

Serien omfatter problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen et emne, litteraturstudier, sammenstilling av andres materiale og annet som ikke primært er et resultat av NINAs egen forskningsaktivitet.

NINA Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. Opplaget er begrenset.

NINA Temahefter

Disse behandler spesielle tema og utarbeides etter behov for å informere om viktige problemstillinger i samfunnet. Målgruppen er "almenheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern- og turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

NINA Fakta-ark

Hensikten med disse er å gjøre de viktigste resultatene av NINAs faglige virksomhet, og som er publisert andre steder, tilgjengelig for et større publikum (presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivåer, politikere og interesserte enkeltpersoner).

I tillegg publiserer NINA-ansatte sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler, gjennom populærfaglige tidsskrifter og aviser.

Hesthagen, T. og Henriksen, A. 1994. En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. - NINA Oppdragsmelding 288: 1-14. (Naturens Tålegrenser, Fagrapport Nr 58)

Trondheim 1. juni 1994

ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-0484-3

Rettighetshaver ©:
NINA Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon: Tor G. Heggberget

NINA, Trondheim

Design og layout: Hilde Meland

Sats: NINA

Kopiering: Norservice

Opplag: 300

Kontaktadresse:
NINA
Tungasletta 2
7005 Trondheim
Tel: 73 58 05 00

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 3511

Ansvarlig signatur:

Oppdragsgiver:

Direktoratet for naturforvaltning

Referat

Hesthagen, T. & Henriksen, A. 1994. En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser og skader på fiskebestander. NINA Oppdragsmelding 288:1-14. (Naturens Tålegrenser, Fagrapport Nr 58).

Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander i innsjøer er sammenliknet for alle fylker unntatt Troms og Finnmark. Den kritiske biologiske verdi er definert ved ANC_{limit} (Acid Neutralizing Capacity) og satt til 20 uekv l^{-1} . Verdier for overskridelser av tålegrenser og fiskestatus er presentert i småruter på ca 14 x 14 km i Sør-Norge og som avtar noe i størrelse nordover. Forsuringsskader på fiskebestander i innsjøer er dokumentert ved hjelp av intervju-undersøkelser. Fiskestatus er angitt som uendret, redusert eller tapt for hver art. Fiskestatus for hver rute er kvantifisert ved en skadeindeks (SI) fra 0 (ingen skader) til 1.0 (totalskadet). Skadeindeksen er videre delt inn i 6 skadeklasser der skadeklasse 1 er ingen skader og 2-6 angir økende grad av skader. Bestander som er skadet eller gått tapt på grunn av andre årsaker enn forsuring (fysiske inngrep, biologiske interaksjoner etc), er forsøkt utelatt fra disse beregningene.

Kartleggingen omfatter alle fylker bortsett fra Troms og Finnmark med 30.486 fiskebestander innen et landareal på 224.195 km² eller nærmere 70% av det totale fastlandsarealet i Norge. I disse fylkene er tålegrensen overskredet innen ca 110.000 km², mens det er registrert skader på fiskebestander innen et areal på 88.395 km². Av dette utgjør arealer med små skader 40.158 km² (SI < 0.2), og arealer med større skader 48.237 km². Områder som er betydelig til nær totalskadet (SI > 0.6) utgjør 13.350 km². For alle fylker utgjør skadet areal 98.595 km², og i de nordligste fylkene er det meste av skadet areal i skadeklasse 2 (SI < 0.2). Det er foretatt separate beregninger av skadet areal for aure, røye og abbor, og disse artene har store forskjeller i utbredelse. Skadet areal for disse tre artene er henholdsvis 91.300 km² (n=18481), 22.739 km² (n=2390) og 31.552 km² (n=4097).

Totalt foreligger det fiskestatus og tålegrensedata for 1457 småruter. Det var overensstemmelse mellom de to datasettene for 73.7% av rutene. I 77% av rutene hvor det ikke er registrert skader på fiskebestander var heller ikke tålegrensene overskredet. Det var størst avvik i ruter med små fiskeskader (48.8%), mens i skadeklasse 3-6 var det små avvik (7-15%). Lave overskridelser ($0-12.5 \text{ kekv km}^{-2} \text{ år}^{-1}$) synes å resultere i ingen eller bare små skader på fiskebestander. For områder med større overskridelser, er det en klar økning i skader på fiskebestander med

økende overskridelser. For innsjøer i områder med de høyeste overskridelsene ($> 50 \text{ kekv km}^{-2} \text{ år}^{-1}$), er det en dominans av fiskebestander som er betydelige til nær totalskadet.

Tålegrensemetodene gir et godt bilde av skader på fiskebestander, og prognoser basert på denne metoden vil gi gode resultater for endringer i fiskeskader ved gitte scenarier.

Emneord: Tålegrenseoverskridelser, innsjøer, fiskestatus, ANC_{limit} , rutenett.

Abstract

Hesthagen, T. & Henriksen, A. 1994. An analysis between critical load exceedance for surface waters and damage to fish populations. NINA Oppdragsmelding 288: 1-14. (Naturens Tålegrenser, Fagrapport Nr 58).

Independent data set of critical load exceedance and fish community status was compared. The concept of critical load has been developed on an European basis under the United Nations Economic Commission for Europe's Convention on Long Range Transboundary Air Pollution. To examine the relationship between the critical load exceedance and the damage to fish, the data from the 1000 lake survey was used to derive the probability of damage to fish populations as a function of the critical load exceedance ($ANC_{limit}=20 \text{ uekv}^{-1}$). Each grid was assigned a damage index which ranged from 0 (no damage) to 1.0 (total damage). The index was obtained by multiplying the number of unaffected, reduced and lost stocks within each grid by 0, 0.5 and 1.0, respectively. We have recorded community status for 30.486 fish stocks in an area of 224.195 km², representing about 70% of the total land area in Norway (all counties except Nordland, Troms and Finnmark). For 73.7% of the grids, the two sets of independent collected data coincided. Thus, we conclude that the critical load exceedance approach can be used to document status and changes in fish communities.

Key words: Critical load exceedance, surface water, lakes, fish status, ANC_{limit} , grid.

Forord

Programmet Naturens Tålegrenser ble satt igang høsten 1989 i regi av Miljøverndepartementet. Denne rapporten er en videreføring av prosjektet som omhandler sammenhengen mellom kjemiske kriterier og fiskestatus (se Naturens Tålegrenser, Fagrapport nr. 36 og 43). Vi takker overingeniørene Lars Kvenild og Hilde Grimnes Olsen ved NINA-EDB avdelingen og systemutviklingsleder Gunnar Severinsen ved NIVA for tilrettelegging av data og plotting av kart. Overingeniør Hans Mack Berger, sivilarbeider Jo Halleraker ved NINA og Iver H. Sevaldrud har bidratt med innsamling av fiskestatus.

24. mars 1994

Trygve Hesthagen NINA
Arne Henriksen NIVA

Innhold

Referat.....	3
Abstract.....	4
Forord	4
1 Innledning	5
2 Metoder	6
2.1 Innsamling av fiskestatus	6
2.2. Tålegrenser.....	6
2.2.1 Datagrunnlag for kartlegging av tålegrenser	6
2.3 Kartframstilling.....	7
3 Resultater	7
3.1 Tålegrenseoverskridelser	7
3.2 Skader på fiskebestander.....	9
3.3 Overskridelser av tålegrenser og skader på fiskebestander.....	11
Diskusjon.....	12
5 Litteratur	14

1 Innledning

Forsuringen av overflatevann blir idag vurdert som den største trusselen mot det akvatiske miljøet i store deler av Nord- Amerika og Nord-Europa. Kartleggingen av de regionale skadene på fiskebestander her i landet ble første gang foretatt tidlig på 1970 tallet (Jensen & Snekvik 1972, Snekvik 1974). Økningen i landareal med skader på fiskebestander er over fem-doblet siden 1950 tallet og fram til idag og utgjør nå et areal på 51.500 km² (Hesthagen et al. 1994). Økningen i skadet areal siden avslutningen av SNSF prosjektet i 1980 er på 18.500 km² (cf. Sevaldrud & Muniz 1980).

I forbindelse med arbeidet i "The Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution" (Genève-Konvensjonen) er det utarbeidet en manual for framstilling av kart med angivelse av tålegrenser for atmosfærisk tilført svovel og nitrogen (ECE 1990). Det er utarbeidet rutenettbaserte kart for hele Norge som framstiller tålegrensene for tilførsler av sterke syrer og hvor mye tålegrensene er overskredet (Henriksen et al. 1992).

I forbindelse med Naturens Tålegrenser ble det utarbeidet en skadeindeks for å kvantifisere skader på fiskebestander innen de enkelte smårutene (cf. Berger et al. 1992). Den første sammenlikninger av regionale skader på fiskebestander og overskridelser av tålegrenser, viste sammenfall i de to datasettene i 68% av rutene (Henriksen & Hesthagen 1993, Henriksen et al. 1993). Følgelig er det enda store områder hvor det ikke er noen klar sammenheng mellom kjemiske kriterier og fisk som biologisk indikator. Årsaken til dette kan enten være (i) feilaktig fiskestatus, (ii) at skader på fiskebestander skyldes andre årsaker enn forsuring eller (iii) at vannprøvene som er benyttet for beregning av overskridelsene ikke er representative for ruten.

Data om fiskestatus i den første undersøkelsen var begrenset til Sør-Norge til og med Sogn og Fjordane i vest og Hedmark i øst (Henriksen & Hesthagen 1993, Henriksen et al. 1993). I denne rapporten presenterer vi tilleggsopplysninger om fiskestatus fra alle fylker unntatt Troms og Finnmark. Videre har vi kontrollert opplysninger om fiskestatus som er samlet inn tidligere, og ekskludert bestander hvor årsaken til endringer med all sannsynlighet ikke skyldes forsuring. Det er også samlet inn flere vannkjemiske prøver fra områder i Nord-Norge for å få bedre datagrunnlaget for beregning av tålegrenser i dette området. Det er foretatt separate beregninger av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser og skader på bestander av aure, røye og abbor.

2 Metoder

2.1 Innsamling av fiskestatus

Opplysninger om fiskestatus i innsjøer er basert på intervjuundersøkelser (Snekvik 1974, Sevaldrud & Muniz 1980). Fiskestatus er angitt for hver enkelt art i hver innsjø, og angitt som uendret, redusert eller tapt. Naturlig tynne bestander er klassifisert som uendret. Intervjumetoden er testet ved å prøvefiske innsjøer med forskjellig fiskestatus, og funnet statistisk holdbar (Hesthagen et al. 1993).

Dataene for fiskestatus er benyttet til å beregne en skadeindeks (SI) for hver smårute. Indeksen beregnes ved å multiplisere antall uendrede bestander med 0, reduserte bestander med 0.5 og tapte bestander med 1.0. Verdiene fra disse tre status-kategoriene blir deretter addert og summen dividert med antall bestander innen vedkommende rute. Dette gir en skadeindeks fra 0 (ingen skader) til 1.0 (totalskadet). Skadeindeksen er videre delt inn i 6 ulike skadeklasser, og skadegraden er vurdert slik:

Skadeklasse	Skadeindeks	Skadegrad
1	0	Ingen skader
2	> 0-0.2	Små skader
3	0.2-0.4	Moderate skader
4	0.4-0.6	Betydelige skader
5	0.6-0.8	Store skader
6	0.8-1.0	Nær - totalskadet

Dette prosjektet omhandler bare sammenhengen mellom fiskeskader som skyldes langtransporterte forurensninger og overskridelser av tålegrenser. Imidlertid kan skader på fiskebestander skyldes en lang rekke faktorer som annen forurensning, ødelagt habitat, biologiske interaksjoner etc. Vi har ekskludert bestander der årsaken til skade med all sannsynlighet ikke er forurensning. Det har imidlertid ikke vært mulig med en fullstendig gjennomgang av alle skadede bestander.

2.2. Tålegrenser

Den vannkjemiske metoden for beregning av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer er basert på vannets syrenøytraliserende kapasitet ($ANC = \underline{A}cid$

$Neutralizing\ Capacity$). ANC er definert som differansen i konsentrasjonene av basekationer (kalsium, magnesium, natrium og kalium) og sterke syrers anioner (klorid, sulfat og nitrat), og er derfor en funksjon av konsentrasjonene av bikarbonationer, hydrogenioner, uorganiske aluminiumioner og organiske anioner. Tålegrenser for fisk er også relatert til ANC, og verdien hvor det ikke oppstår skade er definert ved ANC_{limit} . For norske forhold er ANC_{limit} satt til $20\ uekvl^{-1}$ (Lien et al. 1992, Henriksen et al. 1992, Hesthagen et al. 1992).

2.2.1 Datagrunnlag for kartlegging av tålegrenser

Forskjellige rutesystemer er brukt for å kartlegge deposisjon og virkningene på økosystemene. ECE-manualen som brukes for å kartlegge tålegrenser i Europa (Sverdrup et al. 1990) anbefaler å bruke EMEP-ruter (150×150 km) for deposisjon og ruteenheten 0.5° lengde og 1.0° bredde eller underruter av disse for økosystemer. I Norden er det blitt enighet om å bruke en underoppdeling av EMEP-ruten i 3×3 småruter (NILU-ruter, 50×50 km) for beregning av både deposisjon og tålegrenser (Henriksen et al. 1990).

For Norge har vi brukt deposisjonsverdiene for NILU-rutene til å beregne tålegrenseoverskridelser. For beregning av tålegrensene har vi imidlertid brukt et rutenett med større oppløsning enn NILU-rutene. Hver 0.5° lengde og 1.0° bredde ble delt opp i 16 underruter. Disse rutene representerer ca. 14×14 km i Sør-Norge og mindre nordover. I alt er det 2315 slike underruter i Norge. Deposisjonsverdiene ble anslått for hver av disse rutene ut i fra deposisjonsverdiene for NILU-rutene.

Kart fra M 711-serien (1:50.000) ble brukt for å velge innsjøer og elver som skulle representere vannkjemien i hver rute. Alle rutene er arealberegnet ut fra det landareal de reelt dekker. Langs kystlinjene er arealet av fastland og øyer beregnet. Langs riksgrensen er bare arealet av ruten som ligger i Norge tatt med. Dette gir grunnlag for å arealberegne områder med gitte tålegrenseverdier og i hvor store arealer tålegrensene er overskredet.

Alle tilgjengelige data for innsjøer og elver i hver underrute ble sammenliknet og en lokalitet som ble vurdert representativ for ruten ble valgt til å representere hele ruten. For de fleste rutene var det liten variasjon i vannkjemien, fordi geologien ofte varierer lite innen et så begrenset areal som en rute representerer. Ved større variasjoner innen en underrute ble det mest følsomme området valgt til å representere ruten, gitt at det utgjorde mer enn 25% av rutens areal.

2.3 Kartframstilling

Fiskeskadeindekskartet er framstilt ved hjelp av ARC/INFO basert på de seks skadeklassene. Tålegrensekartet er framstilt ved hjelp av Mapviewer. Det er benyttet farger ved framstillingen av regionale overskridelser av tålegrenser og skader på fiskebestander. Verdiene for overskridelser av tålegrenser er delt i 10 intervaller med farger fra rødt til blått (Henriksen et al. 1992). For beregningene av dette kartet er ANC_{limit} satt lik 20 uekv l^{-1} . Rødt betegner den høyeste overskridelsen, mens blått angir ingen overskridelser. Kartframstillingen er modifisert slik at områder uten tåle-grenseoverskridelse er gitt en felles blåfarge (figur 1). Alle verdier er uttrykt både i $\text{kekv km}^{-2} \text{ år}^{-1}$ og i $\text{gS m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, men med felles fargekoder. Fiskeskadekartet er laget med samme fargeskala som for overskridelser av tålegrenser ved at ruter uten registrerte skader er gitt i blått.

3 Resultater

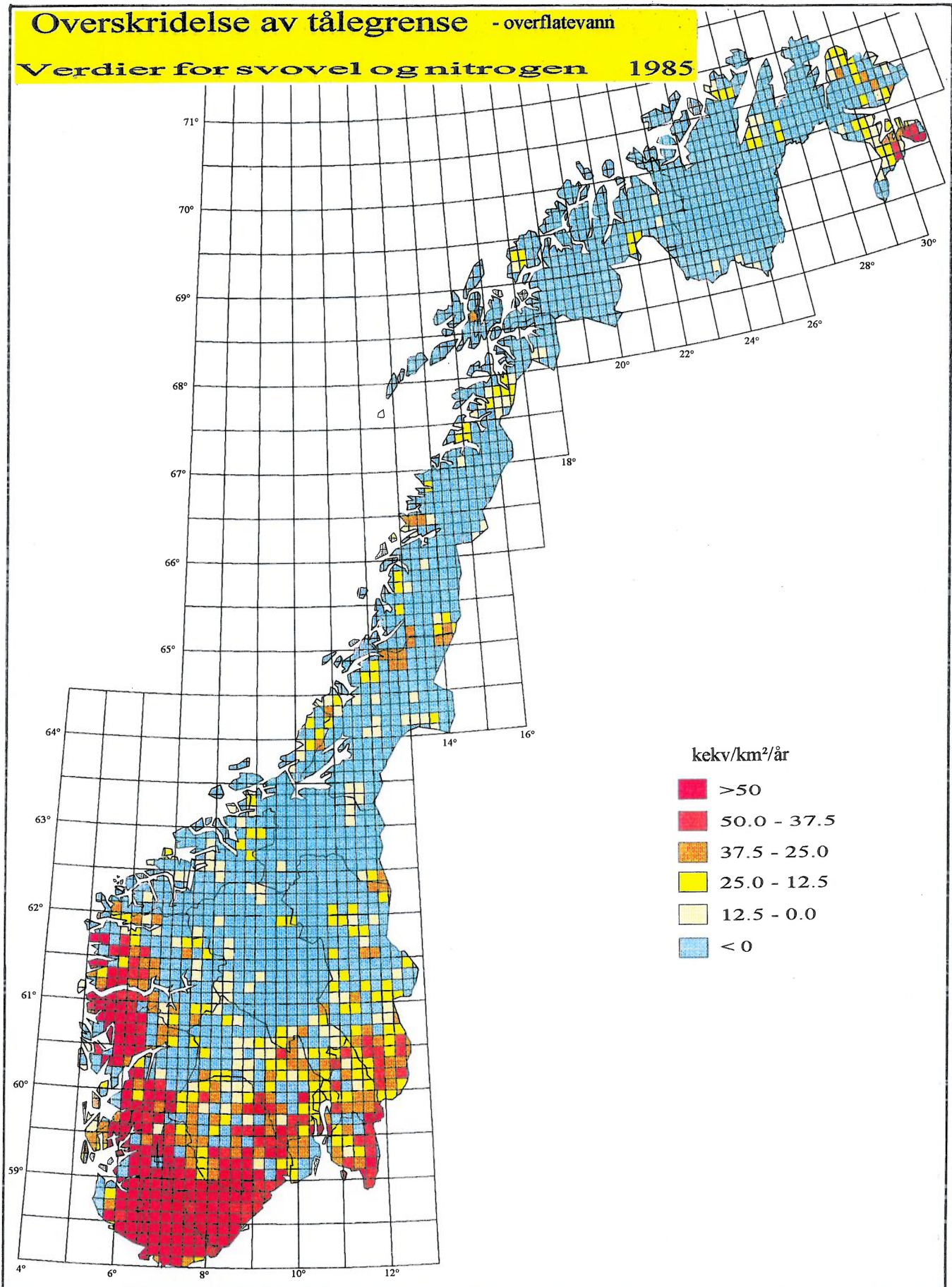
3.1 Tålegrenseoverskridelser

Omlag 7% av Norges areal har tålegrense på $0 \text{ g S m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, dvs. at innsjøer og elver i dette arealet ikke tåler noen tilførsler av sur nedbør (Henriksen et al. 1992). Videre har vel 48% av arealet er tålegrensene under $0,8 \text{ g S m}^{-2} \text{ år}^{-1}$.

De laveste tålegrensene finner en på Sørlandet og Vestlandet, men betydelige områder i de nordligste fylkene har også lave tålegrenser.

Tålegrenseoverskridelsene er beregnet både for syre fra svovelforbindelser og for summen av syre fra svovel og nitrogen. I fylkene hvor det nå foreligger fiskestatus fra, dvs. til og med Nordland, er tålegrensen overskredet i et areal på 110.000 km^2 . På landsbasis er tålegrensen for svovel overskredet i et areal på ca. 117.000 km^2 , dvs ca 36% av Norges areal (figur 1). Tar vi hensyn til dagens nitrogenlekkasje øker arealet til 121.000 km^2 . Den beskjedne økningen skyldes hovedsakelig at der hvor nitrogenlekkasjen idag er størst, er tålegrensen for svovel allerede overskredet. I alle fylker i Norge er det områder der tålegrensene er overskredet. Agderfylkene har de største arealmessige overskridelsene der tålegrensene praktisk talt er overskredet over hele arealet. Også i Østfold, Akershus/Oslo, Telemark og Rogaland er det store arealmessige overskridelser. Naturlig nok finner en også de største prosentvise arealer med tålegrense null i de mest følsomme fylkene fra Aust-Agder til og med Sogn og Fjordane.

Tålegrensene for sur nedbør for overflatevann er vesentlig lavere i Norge enn i de øvrige skandinaviske land og ellers i Europa. Hovedårsaken til denne forskjellen er de geologiske og jordbunnskjemiske forhold. I Norge er bare 20-25% av landarealet dekket av produktiv skog, mens det i Sverige og Finland utgjør hele 55-60% av landarealet. De resterende 75-80% av Norges areal er dekket av uproduktiv skog eller er uten skogdekke. I slike områder er jorddekket vanligvis tynt, som kombinert med berggrunn av gneiss, granitt o.l. vil gi lave tålegrenser for overflatevann. Mye nedbør, slik som på Vestlandet og deler av Sørlandet, vil også bidra til lave tålegrenser.



Figur 1. Øverskridelser av tålegrenser for overflatevann.

3.2 Skader på fiskebestander

Det foreligger nå opplysninger om fiskestatus i alle fylker til og med Nordland (figur 2). I kvite ruter foreligger det ingen opplysninger om fiskestatus. De nye fylkene som er kartlagt omfatter store deler av Oppland, Møre og Romsdal, Sør-Trøndelag, Nord-Trøndelag og Nordland. Datagrunnlaget i Oslo er for dårlig til at resultatene blir presentert i denne rapporten.

Totalt omfatter kartleggingen et landareal på 224.195 km² eller ca. 70% av fastlandsarealet i Norge. Bortsett fra deler av Møre og Romsdal og enkelte mindre områder av Nord-Trøndelag og Nordland, er fiskestatus nå kartlagt i de fleste småruter.

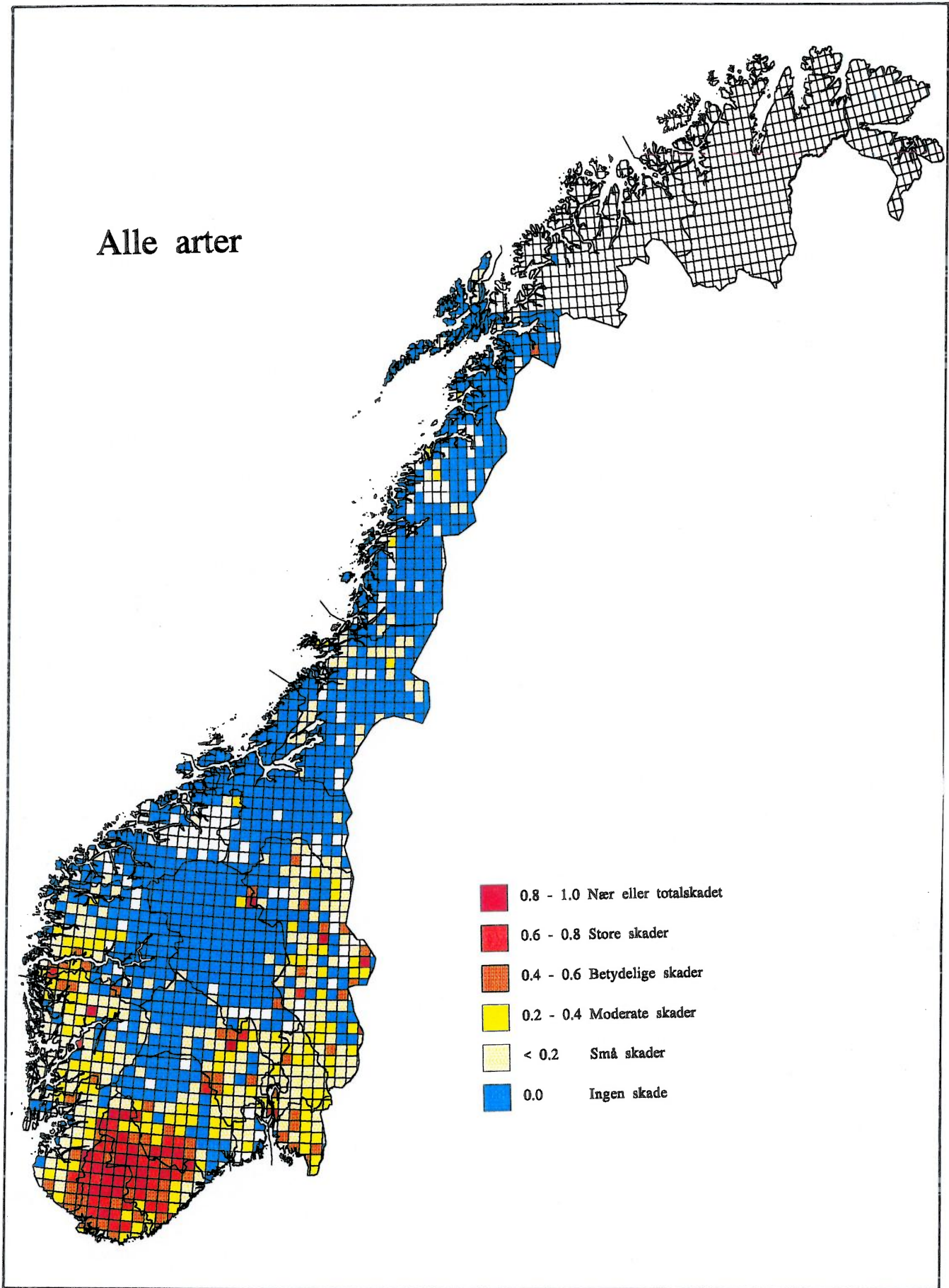
I fylkene sør for Møre og Romsdal og Sør-Trøndelag og samlet for alle arter, er det skader på fiskebestander innen et areal på 88.395 km² (tabell 1). Av dette utgjør små skader (SI < 0.2) hele 39.845 km² (45%). Det er en stor andel små skader i Hedmark, Buskerud og Hordaland (figur 3). Det er betydelige til store skader (SI > 0.6) innen et areal på 13.350 km², og av dette utgjør Agderfylkene 9.363 km² og Telemark 1.567 km².

Samlet for alle fylkene er skadet areal 98.595 km². Av de tre nye kartlagte fylkene er det størst skader i Nord-Trøndelag (5.145 km²), men de fleste områdene er i laveste skadeklasse (4.738 km², 92%).

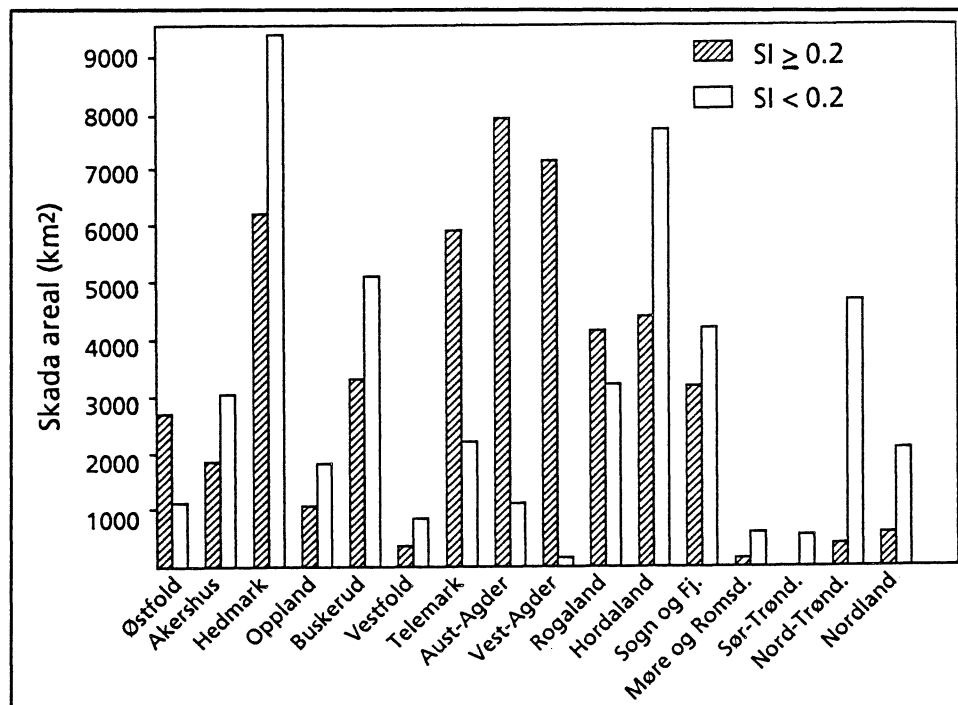
Tabell 1. Landareal i km² ved skader på fiskebestander i innsjøer i de enkelte fylker fordelt på ulike skadeklasser. N= antall fiskebestander.

Skade klasse	Skade-indeks	Østfold	Akershus	Hedmark	Oppland	Buskerud	Vestfold	Telemark	Aust-Agder
1	0	69,3	2,3	9201,2	21188,3	6484,7	267,8	6711,7	76,7
2	>0,0-0,19	1177,7	3050,9	9312,4	1779,5	5131,8	823,7	2185,4	1107,4
3	0,20-0,39	1670,5	1542,1	3801,1	635,9	1853,5	368,8	2966,5	1407,6
4	0,40-0,59	1029,0	248,6	1681,9	287,9	1011,4		1357,5	1744,2
5	0,60-0,79	0,4	70,2	243,3	19,4	253,5		909,6	2573,1
6	0,80-1,00			450,9	103,8	192,7		657,3	2199,1
N		1991	2410	2751	2495	1836	249	2244	1826

Skade klasse	Vest-Agder	Rogaland	Hordaland	Sogn og Fjordane	Møre og Romsdal	Sør-Trøndelag	Nord-Trøndelag	Nordland	Totalt
1		1080,3	2955,7	10012,9	8063,4	15697,2	15274,6	28978,4	126064,5
2	144,7	3166,0	7740,1	4225,4	1104,3	1061,2	4737,7	2099,8	48848,0
3	946,8	2109,2	3429,8	2360,9	153,7	22,7	309,8	477,2	24056,1
4	1608,6	1417,1	597,6	659,5			63,2	135,6	11842,4
5	2721,2	471,9	179,3	159,8			34,3		7636,0
6	1869,9	172,2	191,9						5747,8
N	1130	1968	2192	1393	464	2267	3100	2170	30486



Figur 2. Skadeindeks for fiskebestander i innsjøer framstilt innen ruter på 14 x 14 km med forskjellige farger fra ingen skader (blått) til gult-rødt (ulik grad av skade).



Figur 3. Areal i km² med skader på fiskebestander i ulike fylker fordelt på små skader angitt ved skadeindeks (SI) < 0.2 og større skader (SI ≥ 0.2).

3.3 Overskridelser av tålegrenser og skader på fiskebestander

Totalt er det kartlagt fiskestatus i 1457 småruter. For ruter uten registrerte skader (skadeklasse 1), bør tålegrensen for tilførsler av sterke syrer ikke være overskredet, mens tålegrensen forventes å være overskredet i ruter med skadeklasser 2 - 6. **Tabell 2** viser antall avvikende ruter i hver skadeklasse, dvs. at tålegrensene er overskredet i klasse 1, mens de ikke er overskredet i klassene 2 - 6. Det er overensstemmelse mellom de to datasettene for 73.7% av rutene. I 77% av rutene hvor det ikke var registrert skader på fiskebestander var det heller ikke tålegrensene overskredet.

Avviket er høyest i klasse 2 (små skader) med hele 48.8%, og avtar deretter sterkt med økende skadeklasse.

Disse beregningene er basert på data for både aure, røye og abbor. Aure alene gir en noe bedre overensstemmelse, men forskjellen er relativ liten.

Det er foretatt en analyse av hvordan skadeklasser på fiskebestander fordeler seg i ruter med forskjellig overskridelser av tålegrenser (**figur 4**). Det er ingen forskjell i fordelingen av skadeklasser i innsjøer hvor

tålegrensene ikke er overskredet og hvor de er minst overskredet (0-12.5 kekv km⁻² år⁻¹), chi-kvadrat test, P > 0.05. Det er en klar økning i skader på fiskebestander med økende overskridelser. I innsjøer lokalisert i områder med de høyeste overskridelsene (> 50 kekv km⁻² år⁻¹), er det en dominans av fiskebestander med skadeklasser ≥ 3.

Andelen skadede bestander øker med økende overskridelser av tålegrenser (**figur 5**). Figuren viser kurver både når skader er definert som skadeklasse ≤ 2 og ≥ 3.

Tabell 2. Avvik fra skadeklasse og tålegrenseoverskridelser for tilførsler av sovel og nitrogen.

Skade-klasse	Antall ruter totalt	Antall avvikende ruter	Prosent avvik
1	850	197	23,2
2	287	140	48,8
3	149	30	20,1
4	72	11	15,3
5	44	1	2,2
6	55	4	7,2
Alle	1457	383	26,3

Diskusjon

Det er generelt en god overensstemmelse mellom overskridelser av tålegrenser og skader på fiskebestander, spesielt der skadene på fiskebestandene er store. Dette til tross for at de to datasettene er samlet inn uavhengig av hverandre.

Den valgte verdi for ANC_{limit} (20 uekv l^{-1}) er anslått på grunnlag av en empirisk sammenheng mellom ANC og fiskestatus fra 1000-sjøers undersøkelsen. Ved å bruke dette utgangspunktet for tålegrensberegningene finner vi altså en god sammenheng mellom overskridelser av tålegrenser og fiskeskader fra en uavhengig database basert på mere omfattende fiskestatusundersøkelser. Dette bekrefter at tålegrensberegningene gir et godt bilde av skader på fiskebestander. Følgelig vil prognoser basert på denne metoden gi gode resultater for endringer i fiskeskader ved gitte scenarier.

Det var størst avvik mellom overskridelser av tålegrenser og fiskestatus for ruter med små fiskeskader (skadeklasse 2).

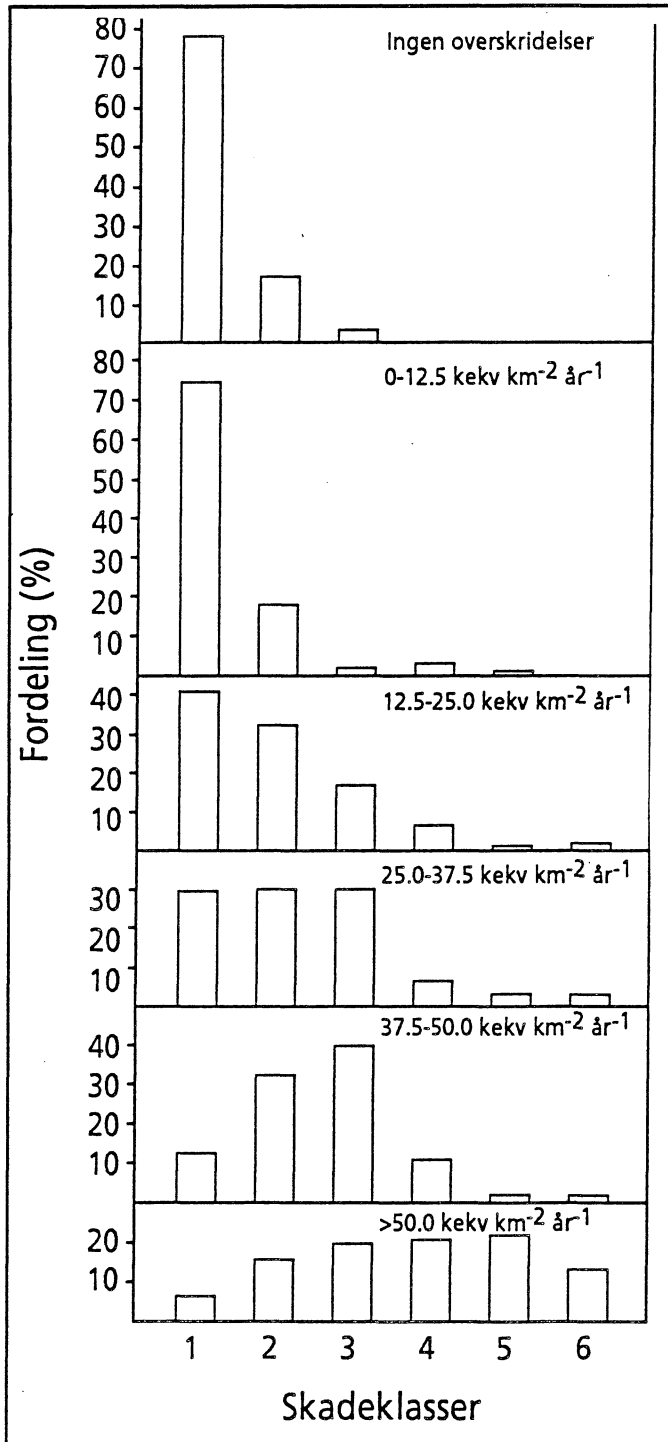
Det var ingen forskjell i skadeomfanget for ruter som omfattes av denne tålegrenseklassen og områder uten overskridelser.

Det er derfor grunn til å anta at områder med de laveste overskridelsene ($0-12.5 \text{ kekv km}^{-2} \text{ år}^{-1}$) bare har få eller ingen skader på fiskebestander.

Det kan imidlertid være større skader på fiskeskader i områder med de laveste overskridelsene enn det som hittil er påvist ved våre intervjuundersøkelser. Dette skyldes at det er en tidsforsinkelse mellom når skader på fiskebestander oppstår til de blir registrert av lokale fiskere (Hesthagen et al. 1993).

Det kan også ligge en feilkilde i hvilke innsjø(er) som danner grunnlaget for den kjemiske klassifiseringen. Dette gjelder trolig spesielt for ruter med variert geologi der det mest følsomme området blir valgt til å representere ruten, når det representerer mer enn 25% av arealet i ruten. Følgelig kan skader på fiskebestander i slike områder ble mindre enn de som er forventet ut ifra tålegrenseoverskridelsene.

Den rutebaserte beregningsmetoden som er benyttet i denne rapporten ga et areal med skader på fiskebestander i Sør-Norge (sør for Møre og Romsdal og Sør-Trøndelag) på 88.395 km^2 . I den første landsomfattende kartleggingen av forsuringsskader på fiskebestander, ble skadet areal skjønnsmessig avgrenset (Sevaldrud & Muniz 1980). Samme metode er nå benyttet for dataene pr. 1990, og det ga et skadet areal på 51.500 km^2 (Hesthagen et al. 1994). Følgelig gir den rutebaserte metoden et betydelig større skadet areal enn om arealet er skjønnsmessig avgrenset. Dette skyldes at sjøl om det bare er små

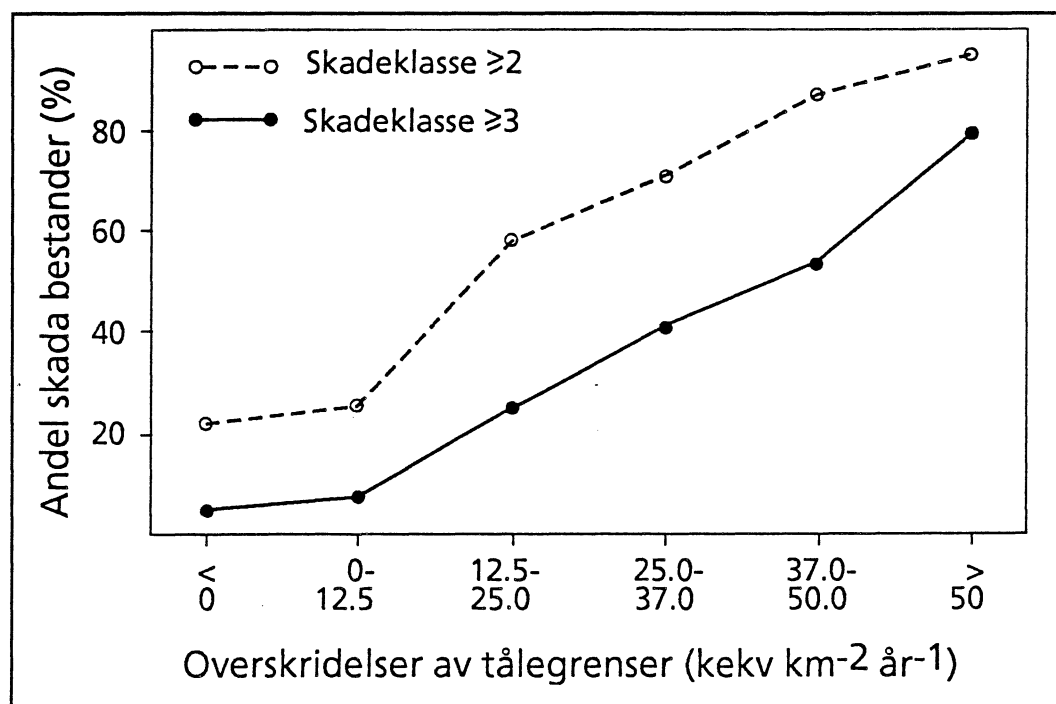


Figur 4. Fordeling av skadeklasser for fiskebestander i ruter med forskjellig overskridelser av tålegrenser.

skader eller at en skadet bestand ligger i ytterkanten av ei rute, regnes likevel hele ruten som skadet (Hesthagen et al. 1994). I Sør-Norge utgjør ruter med små skader (skadeklasse 2) hele 45% (39.845 km²) av det skadede arealet. Men sjøl om den rutebaserte metoden overestimerer skadet areal, bør den likevel brukes fordi Norge benytter beregninger fra denne metoden i de internasjonale forhandlinger om utslippsreduksjoner. De rutebaserte beregningene er også fordelaktige fordi de bygger på en standardisert

og dermed mer objektiv metode (Hesthagen et al. 1994).

Det er også registrert områder med skader på fiskebestander i Møre og Romsdal, Trøndelag og Nordland, totalt 10.200 km². Det er påvist områder med overskridelser av tålegrenser i alle disse fylkene (figur 1). Det er imidlertid nødvendig med en nærmere verifisering og analyse av dataene før en kan si i hvor stor grad disse skadene skyldes forurening, eller om det er en effekt av metoden for tålegrenseberegningene.



Figur 5. Andelen skadede bestander i forhold til overskridelser av tålegrenser. Skadede bestander er angitt både som skadeklasse ≥ 2 og ≥ 3 .

5 Litteratur

- Berger, H.M., Hesthagen, T., Sevaldrud, I.H. & Kvenild, L. 1992. Forsuring av innsjøer i Sør-Norge innen geografiske rutenett. - NINA-Forskningsrapp. 32:1-12.
- Economic Commission of Europe (ECE). 1990. Draft Manual for Mapping Critical Levels/Load. - Prepared by the Task Force on Mapping, Umweltbundesamt, Berlin.
- Henriksen, A., Kämäri, J., Posch, M., Lövblad, G., Forsius, M. and Wilander, A. 1990. Critical loads to surface waters in Fennoscandia. - Nordic Council of Ministers. Miljørapp. 1990:124.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. & Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. - Naturens Tålegrenser, Fagrapp. nr. 34, Miljøverdep. 29s. (NIVA-Rapp. O-89210).
- Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. - Naturens Tålegrenser, Fagrapp. nr. 43, Miljøverdep. 12 pp. (NIVA-Rapp. O-89210).
- Henriksen, A., Hesthagen, T., Berger, H.M., Kvenild, L. & Taubøll, S. 1993. Tålegrenser for overflatevann. Sammenhengen mellom kjemiske kriterier og fiskestatus. - Naturens Tålegrenser, Fagrapp. nr. 36. 14 s. (NIVA-Rapp. O-92122).
- Hesthagen, T., Larsen, B.M., Schartau, A.K. & Berger, H.M. 1992. Tålegrenser for aure i ferskvann i forhold til forsuring. - I: K. Hegna (red.), Vassdragskalking - strategi og effekter, DN-Notat 1992-5:31-35.
- Hesthagen, T., Rosseland, B.O., Berger, H.M. & Larsen, B.M. 1993. Fish community status in Norwegian lakes in relation to acidification: a comparison between interviews and actual catches by test fishing. - Nordic J. Freshw. Res. 68:34-41.
- Hesthagen, T., Sevaldrud, I.H. & Berger, H.M. 1994. Utviklingen i forsuringsskader på fiskebestander i Sør-Norge etter 1950. - NINA Forskningsrapp. 50:1-16.
- Jensen, K.W. & Snekvik, E. 1972. Low pH levels wipe out salmon and trout in southern Norway. - Ambio 1:223-225.
- Lien, L., Raddum, G. & Fjellheim, A. 1992. Critical loads for surface water - fish and vertebrates. - Naturens Tålegrenser, Fagrapp. nr. 21, Miljøverdep. 29 pp. (NIVA-Rapp. O-89185).
- Sevaldrud, I.H. & Muniz, I.P. 1980. Sure vatn og innlandsfisket i Norge. Resultater fra intervjuundersøkelsene 1974-1979. - SNSF prosjektet, Intern rapport 77/80. 95 s.
- Snekvik, E. 1974. Sure innsjøer og fiskebestand i Rogaland, Vest-Agder, Aust-Agder, Telemark. Sammenstilling av opplysninger innhentet hos innlandsfiskeenmdene i de fire fylkene. - Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk, Fiskeforskningen, Ås, Rapp. nr. 2. 50 s.
- Sverdrup, H., de Vries and Henriksen, A. 1990. Mapping Critical Loads. - Nordic Council of Ministers. Miljørapp. 1990:14, 124 pp.

Naturens tålegrenser

Oversikt over utgitte rapporter

- 1 Nygård, 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) Rapp. 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) Rapp. 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 SO₂, NO_x og tungmetaller. - Norsk institutt for naturforskning (NINA) Utredning 5.
- 6 Frisvoll, A.A. 1990. Moseskader i skog i Sør-Norge. - Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 18.
- 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 13.
- 8 Hesthagen, T., Mack Berger H. & Kvenild, L. 1992. Fiskestatus i relasjon til forurensning av innsjøer. - Norsk institutt for naturforskning (NINA) Forskningsrapport 32.
- 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: 28/29.
- 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) Rapp. 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) Rapp. O-89153.
- 12 Amundsen, C.E. 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forsurningsfølsomhet i naturlig jord. - Univ. 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) Oppdragsmeld. 55.
- 15 Flatberg, K.I., Bakken, S., Frisvoll, A.A. & Odasz, A.M. 1991. Moser og luftforurensninger. - Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 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) Rapport O-89153.
- 18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. & 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 O-89185,2.

- 20 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av parametre for å bestemme forsurningsfølsomhet i jord. (NGU)- rapport 91.265.
- 21 Bølviken, B., Nilsen, R., Romundstad, J. & Wolden, O. 1992. Surhet, forsurningsfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jord fra Nord-Trøndelag og sammenligning med tilsvarende data for 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. & Fjellheim, A. 1992. Critical loads for 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. 188.
- 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.
- 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Plan-teplankton. 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 li-rype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmeld.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-90147.
- 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.F. 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 (in prep).
- 39 Økland, J. & Økland, K.A. 1993. Database for bioindikatorer i ferskvann - et forprosjekt. Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI), Zoologisk Museum, Oslo. Rapport nr. 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. Skogforsk rapport (in prep).
- 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 barskogmosen blanksigd (*Dicranum majus*) (in prep).
- 47 Krøkje, Å. 1993. Genotoksisk belastning i jord. Effekstudier, med mål å komme fram til akseptable grenser for genotoksisk belastning fra langtransportert luftforurensning (in prep).
- 48 Fremstad, E. 1994. Heigråmose (*Racomitrium lanuginosum*) som biomonitor på nitrogenforurensning. 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 (in prep).
- 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 (in prep)
- 52 Lydersen, E., Fjeld, E. & Andersen, T. 1994. Fiskestatus og vannkjemi i norske innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) OR-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 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.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon

288

nina
oppdrags-
melding

ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-0484-3

Norsk institutt for
naturforskning
Tungasletta 2
7005 Trondheim
Tel. 73 58 05 00