

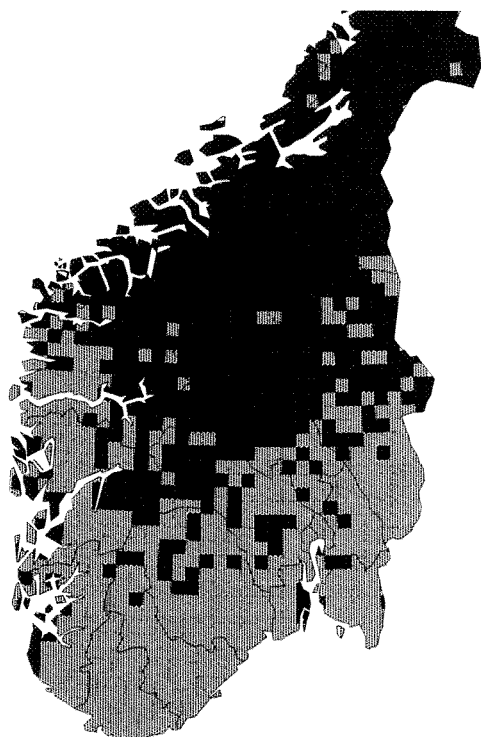
RAPPORT LNR 3565-96

Øverskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander

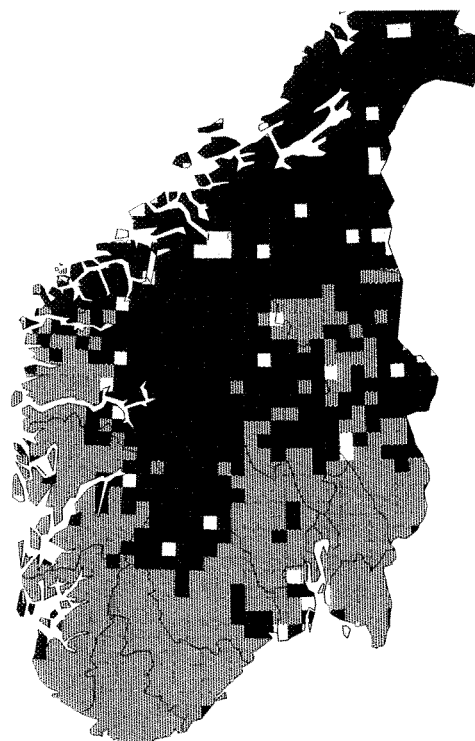
NATURENS
TÅLEGRENSER

Miljøverndepartementet
Fagrapport nr. 82

Tålegrenseoverskridelser



Fiskeskader



Naturens Tålegrenser

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

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

Arbeidsgruppen har for tiden følgende sammensetning:

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

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

Henvendelse vedrørende programmet kan rettes til:

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

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

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 04 30 33
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgt 55
5008 Bergen
Telefon (47) 55 32 56 40
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

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

Tittel Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander	Løpenr. (for bestilling) 3565-96	Dato November 1996
	Prosjektnr. Undernr. O-95124	Sider Pris 27
Forfatter(e) Arne Henriksen NIVA Trygve Hesthagen Norsk institutt for naturforskning (NINA) Eirik Fjeld NIVA	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Arbeidsgruppen for Naturens tålegrenser	Oppdragsreferanse DN-Kontrakt L 43/95 NATÅL 2
---	--

Sammendrag

Tålegrensekart for tilførsler av sterke syrer til Norge og skader på fiskebestander er utarbeidet basert på underruter av enheten 0.5^o lengde og 1.0^o bredde. Den arealmessige utbredelsen av fiskeskader og overskridelser av tålegrenser viser at av ialt 298.416 km² (93% av fastlands-Norges areal) er tålegrensene overskredet for ca. 80.000 km² av dette arealet, mens fiskeskader er registrert i ca. 84.500 km². For 86 % av rutene er det sammenfall mellom overskridelser og fiskeskader. Det er generelt en meget god overensstemmelse mellom tålegrenseoverskridelse og fiskeskade for hver enkelt rute, spesielt der skadene på fiskebestandene er store. For 1000-sjøers undersøkelsen i 1986 foreligger det både vannkjemi og fiskestatus for de samme innsjøene. Disse dataene er blitt brukt til å utarbeide en skadefunksjon mellom tålegrenseoverskridelser og fiskeskader. Ved hjelp av en logistisk regresjonsmodell er skadeindeksen framstilt som en funksjon av overskridelsen av tålegrensen, og kurvene viser en nær sammenheng mellom disse. En tilsvarende modell ble brukt på dataene for rutenettet, og skadefunksjonen for disse dataene viser en meget god overensstemmelse med skadefunksjonen for 1000-sjøers undersøkelsen. Disse resultatene bekrefter klart at tålegrensekonseptet er meget anvendbart til å anslå det biologiske skadeomfanget som langtransporterte forurensninger har ført til, og at prognoser basert på denne metoden vil under gitte forutsetninger kunne gi gode resultater for anslag for omfanget av fiskeskader ved gitte framtidige scenarier.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Sur nedbør	1. Acid deposition
2. Fiskestatus	2. Fish status
3. Tålegrenser	3. Critical loads
4. Innsjøer	4. Lakes



Arne Henriksen

Prosjektleder

ISBN 82-577-3115-3



Bjørn Olav Rosseland

Forskningssjef

Naturens tålegrenser

Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander

Arne Henriksen
Trygve Hesthagen
Eirik Fjeld

Forord

Tidligere undersøkelser av sammenheng mellom vannkvalitet og fiskestatus, basert på to uavhengige databaser, viser god overensstemmelse mellom overskridelser av tålegrenser og skader på fiskebestander, bortsett fra i områder med de laveste tålegrensene (Naturens tålegrense, fagrapport nr. 36). Fiskestatusbasen er siden blitt oppdatert og utvidet til å omfatte over 90% av Norges areal. Tålegrensebasen er også blitt oppdatert med bakgrunn i den nye innsjøundersøkelsen i 1995, samt beregnet med en såkalt variabel ANC_{limit} som bedre beskriver tålegrenser i forsuringsfølsomme innsjøer. Dataene er blitt reanalysert samtidig som en tidligere utarbeidet skadefunksjon er blitt sammenlignet med en tilsvarende funksjon beregnet fra dette materialet. Arbeidet er utført for Direktoratet for naturforvaltning (DN) under kontrakt nr. L-43/95 NATÅL 2.

Oslo, november 1996

Arne Henriksen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Bakgrunn	7
3. Metodikk	9
3.1 Kartgrunnlag for tålegrenser og fiskeskader	9
3.2 Intervjuundersøkelser	9
3.3 Tålegrenser	10
3.3.1 Valg av kritisk ANC-verdi	10
4. Resultater	11
4.1 Tålegrenseoverskridelser	11
4.2 Fiskestatus for tålegrenserutenettet	12
4.3 Overskridelse av tålegrenser vs. skadeindeks	14
4.4 Skadeomfang i fylkene	16
5. Skadefunksjon for effekter av sur nedbør på fiskebestander	17
6. Konklusjoner	19
7. Henvisninger	21

Sammendrag

I forbindelse med arbeidet i The Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (Genève-Konvensjonen) er det opprettet en arbeidsgruppe som har utarbeidet en manual for fremstilling av kart med angivelse av tålegrenser for atmosfærisk tilført svovel og nitrogen. Den vannkjemiske metoden som er anbefalt er basert på vannets syrenøytraliserende kapasitet ($ANC = \text{Acid Neutralizing Capacity}$). ANC er definert som differansen i konsentrasjonene av basekationer (kalsium, magnesium, natrium og kalium) og sterke syrers anioner (klorid, sulfat og nitrat), og uttrykker derfor summen av konsentrasjonene av bikarbonationer, hydrogenioner, uorganiske aluminiumioner og organiske anioner. Biologiske tålegrenser er relatert til de kjemiske betingelser for skader på biologiske indikatorer (fisk, evertebrater) ved ulike verdier for ANC. Den kritiske biologiske verdi er definert ved en såkalt ANC_{limit} . For norske forhold har en valgt å bruke variabel ANC_{limit} som er bestemt av innsjøens vannkemi og avrenning. Tålegrensekart for tilførsler av sterke syrer til Norge er utarbeidet basert på underruter av enheten 0.5° lengde og 1.0° bredde. Tålegrenseoverskridelsene er beregnet for summen av av syre fra svovel og nitrogen.

Forsuringsskader på fisk er blitt registrert ved hjelp av systematiske intervjuundersøkelser helt fra begynnelsen av 1970-årene, og gyldigheten av metoden er bekreftet med omfattende prøvefiske. Skader på fiskebestander er fremstilt i samme geografiske rutenett som tålegrensene. En skadeindeks er beregnet for hver rute ved å multiplisere antall uendrede bestander med 0, reduserte bestander med 0.5 og tapte bestander med 1.0. Verdiene for de tre status-kategorier ble summert og dividert med antall bestander innen ruten. Dette gir en skadeindeks fra 0 (ingen skader) til 1.0 (alle bestander utdødd).

Den arealmessige utbredelsen av fiskeskader og overskridelser av tålegrenser er sammenliknet i denne rapporten. Ialt 298,416 km² (93% av Norges fastlandsareal) er kartlagt for begge opplysninger. Bruker vi deposisjonsverdiene for årene 1988-1992 og tar hensyn til dagens nitrogenlekkasje er overskredet areal beregnet til 80,034 km², mens fiskeskader er registrert i 84.520 km². For 86 % av rutene er det sammenfall mellom overskridelser og fiskeskader.

Fra 1000-sjøers undersøkelsen i 1986 (Henriksen et al. 1988) foreligger det både vannkemi og fiskestatus for de samme innsjøene. Disse dataene er tidligere brukt til å utarbeide en skadefunksjon mellom tålegrenseoverskridelser og fiskeskader ved hjelp av en logistiske regresjonsmodell som viser en god sammenheng. Når tålegrensen ikke er overskredet er det meget liten sannsynlighet for skader på fiskebestander, men når tålegrensen er overskredet øker også sannsynligheten for fiskeskader med økende overskridelse. Samme beregningsmetode basert på dataene fra rutenettet gir en tilsvarende skadefunksjon. Disse resultatene bekrefter at tålegrensekonseptet er meget anvendbart til å anslå det biologiske skadeomfanget som langtransporterte forurensninger har ført til, og at prognoser basert på denne metoden vil gi gode resultater for anslag for omfang av fiskeskader ved gitte framtidige scenarier.

Summary

Title: Exceedance of critical loads in surface water and damage to fish populations

Year: 1996

Authors: Arne Henriksen, Trygve Hesthagen and Eirik Fjeld.

Source: Norwegian Institute for Water Research. ISBN 82-577-3115-3

In conjunction with work on The Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (Geneva-Convention) there was established a working group that has prepared a manual for presentation of maps for critical loads of atmospheric deposition of sulphur and nitrogen. The recommended water-chemistry method is based on the acid neutralising capacity (ANC). ANC is defined as the equivalent difference in sum of base cations (calcium, magnesium, sodium, and potassium) less sum of strong acid anions (chloride, sulphate, and nitrate), and is also an expression of the sum of concentrations of bicarbonate, hydrogen, inorganic aluminium species, and organic anions. The biological critical load is related to the chemical conditions at which damage to biological indicator organisms (fish, invertebrates) occurs at various levels of ANC. The critical biological value is defined as the ANC_{limit} . For Norwegian conditions a variable ANC_{limit} which is governed by lake chemistry and discharge has been chosen. A map of critical loads for strong acid deposition in Norway has been calculated for the sum of acid from sulphur and nitrogen compounds.

Acidification damage to fish has been registered by means of systematic interview surveys since the beginning of the 1970s, and the reliability of the method has been shown by extensive test fishing. Damage to fish populations is presented in the same geographic grid net as the critical loads maps. A damage index for each grid square is calculated by multiplying the number of normal populations by 0, reduced populations by 0.5 and extinct populations by 1. Values for the 3 status categories are summed and divided by the number of populations within the grid square. This gives a damage index from 0 (no damage) to 1 (all populations extinct).

The areal extent of fish damage and exceedance of critical loads are compared in this report. A total of 298,416 km² (93% of Norwegian mainland) has been mapped for both. The exceeded areal is 80,034 km², while fish damage is registered in 84,520 km², when the deposition loads for the years 1988-1992 and the present-day nitrogen loss is used. There is an agreement between exceedance and fish damage in 86 % of the grid squares.

Both lake chemistry and fish status data are available for the 1000-lake survey of 1986 (Henriksen et al. 1988). These data have earlier been used to develop a damage function relating exceedance of critical load and fish damage by means of a logistic regression model for fish damage. When critical load is not exceeded there is only a very small probability that there is damage to fish, but when the critical load is exceeded the chance of damage increases with the amount of exceedance. This same regression method applied to the data from the grid squares gives a similar damage function. These results confirm that the critical load concept is a very good tool for estimating the extent of biological damage caused by long-range transported pollution, and that prognoses based on this method will give reliable estimates of extent of fish damage under future scenarios of acid deposition.

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). Den nasjonale kartleggingen av forsurings-skader på fisk ble videreført av Direktoratet for naturforvaltning (DN), senere Norsk institutt for naturforskning (NINA). Arbeidet inngår i Statlig program for forurensningsovervåking under Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør, koordinert av Statens forurensningstilsyn (SFT). Økningen i landareal med skader på fiskebestander er over fem-doblet siden 1950-tallet og fram til idag (Hesthagen et al. 1994).

Begrepet "Naturens tålegrenser" (engelsk: critical load) er idag akseptert som utgangspunkt for politiske beslutninger om reduksjoner i utslipp av svovel og nitrogen. Det nasjonale programmet "Naturens Tålegrenser" ble satt igang høsten 1988 i regi av Miljøverndepartementet. Programmet gir bl.a. innspill til pågående aktiviteter under Konvensjonen for Lang-transporterte Grenseoverskridende Luftforurensninger (Geneve-Konvensjonen). Mye av det internasjonale arbeidet med tålegrenser utføres i dag i regi av en "Task Force on Mapping the Critical Loads and areas where the Critical Loads are exceeded", opprettet av Executive Body som er styringsorgan for Langtransport-konvensjonen. Det norske arbeidet med tålegrenser for tilførsler av sterke syrer til overflatevann har foregått i nært samarbeid med "Task Force on Mapping" og med Effektgruppen under Nordisk Ministerråd.

Arbeidet med beregning av tålegrenser for svovel er idag kommet svært langt. Tålegrensene for overflatevann er nå kartlagt for Norge, Sverige, Finland, Kolahalvøya og England og spredte steder ellers i Europa, og tålegrenser for jord foreligger for det meste av Europa. Det er utarbeidet foreløpige kart for tålegrenser og for overskridelser av tålegrenser for svovel for hele Europa (Downing et al. 1993). Deposisjonsverdiene som brukes er basert på de data som samles inn under det Europeiske overvåkingsprogrammet EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe). Dette datagrunnlaget ble brukt i de internasjonale forhandlingene for fastsettelse av den nye svovelprotokollen som ble undertegnet i Oslo i juni 1994.

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har deltatt aktivt i dette arbeidet og har bidratt til å utvikle den statiske vannkjemiske metoden for å beregne tålegrenser for overflatevann. Basert på data fra 1000-sjøers undersøkelsen i 1986, 1500-sjøers undersøkelsen i 1995 og fra andre undersøkelser er det utarbeidet kart for hele Norge som fremstiller tålegrensene for tilførsler av sterke syrer og hvor og hvor mye tålegrensene er overskredet ved forskjellige scenarier (Henriksen et al. 1996a).

2. Bakgrunn

Det er tidligere funnet en klar sammenheng mellom overskridelser av tålegrenser og skader på fiskebestander (Henriksen og Hesthagen. 1993, Hesthagen og Henriksen 1994). Sammenlikningen var basert på vannkjemi og fiskestatus fra to uavhengige databaser og presentert i ruter på ca. 14x14 km på Sørlandet med avtakende størrelse nordover. Det var en god overensstemmelse mellom de to datasettene for 74% av ialt 741 ruter. I 77% av rutene der det ikke var registrert fiskeskader var heller ikke tålegrensen overskredet. Det var imidlertid dårlig overensstemmelse mellom de to datasettene for ruter med de laveste overskridelsene, idet det ble registrert fiskeskader i bare 25% av disse rutene. Det var små forskjeller i skadeomfanget for ruter som omfattes av den lave tålegrenseklassen og områder uten overskridelser.

Det er viktig å presisere at de to datasettene ble samlet inn uavhengig av hverandre. En årsak til avvikene kan skyldes dårlig overensstemmelse mellom den lokaliteten som er valgt til å representere vannkvaliteten og de fiskebestandene som er valgt til å representere fiskestatus. Spesifikt kan det pekes på følgende forhold:

- Det kan være for få fiskebestander innen ruten til at en pålitelig skadeindeks kan beregnes, eller for få innsjødata til å gi en representativ tålegrenseverdi
- Det kan være større skader på fiskebestander i områder med de laveste overskridelsene enn det som hittil er påvist ved intervju-undersøkelsene. Dette kan skyldes at det er en tidsforsinkelse mellom når skader oppstår til de blir registrert av fiskerne (Hesthagen et. al. 1993)
- Det er beregnet en skadeindeks for alle arter innen ruten, og dette kan gi et misvisende resultat fordi ulike arter har noe forskjellig tålegrense
- Feilaktig fiskestatus for ruten kan være angitt fordi skader på fiskebestander kan skyldes andre årsaker enn forsurening
- Utvalget av innsjøer som ble benyttet for å beregne tålegrensen kan være lite representative for ruten. Dette gjelder trolig spesielt for ruter med variert geologi. I slike tilfeller ble det mest følsomme området valgt til å representere ruten, gitt at det dekket minst 25% av rutens areal. Følgelig kan skadeindeksen for slike områder bli lavere enn forventet utfra tålegrenseoverskridelsen for ruten
- Sist, men ikke minst; det ble benyttet en $ANC_{\text{limit}} = 20 \mu\text{ekv/l}$ i alle deler av landet og for alle nivåer av tålegrenser. Dette fører til at en pr. definisjon vil få en overskridelse hvis vannets opprinnelige ANC-verdi er $< 20 \mu\text{ekv/l}$

Det var også mangelfulle fiskeopplysninger for endel fylker og kommuner. Disse områdene er blitt oppdatert, slik at datagrunnlaget nå gjelder for 298,000 km² mot 224,000 km² ved forrige analyse. Fiskeopplysningene er også blitt oppdatert for en rekke områder.

Dette prosjektet har reanalyisert sammenhengen mellom tålegrenseoverskridelser og fiskeskader, og tålegrensene er rekalkulert utfra en variabel ANC_{limit} (Henriksen et al. 1995). Vi har også utarbeidet en fiskeskadefunksjon på grunnlag av de to datasettene og sammenliknet med en fiskeskadefunksjon basert på dataene fra 1000-sjøers undersøkelsen i 1986. Vi har videre sett på de ruter der overensstemmelsen er dårlig og der overskridelsen og skadeindeksen er lav.

3. Metodikk

3.1 Kartgrunnlag for tålegrenser og fiskeskader

Forskjellige rutesystemer er brukt for å kartlegge deposisjon og virkningene på økosystemene. ECE-manualen som brukes for å kartlegge tålegrenser i Europa (ECE 1996) foreskriver ikke en bestemt kartoppløsning, men anbefaler å bruke EMEP-ruter (150x150 km) for deposisjon og ruteenheten 0.5⁰ lengde og 1.0⁰ bredde eller underruter av disse for økosystemer. Nordisk Ministerråd (NMR) etablerte en gruppe for utarbeidelse av "harmoniserte kart" for de nordiske land (Henriksen et al. 1990), og de brukte en underoppdeling av EMEP-ruten i 3x3 småruter (NILU-ruter, 50x50km) for beregning av både deposisjon og tålegrenser. Denne rutestørrelsen blir nå forsøksvis brukt i det internasjonale EMEP-samarbeidet.

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 0.5⁰ lengde og 1.0⁰ bredde ble delt opp i 16 (4x4) underruter. Disse rutene representerer ca. 14x14 km i Sør-Norge og mindre nordover. 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. Ialt er det 2,305 underruter i Norge. Alle ruter er arealberegnet utfra det landareal de 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 område valgt til å representere ruten, hvis området representerte mer enn 25% av rutens areal.

Skadene på fiskebestander ble fremstilt i det samme rutenettet som er brukt for tålegrensekartene slik at en fikk en database med opplysninger om tålegrenser og fiskeskader for hver enkelt rute i tålegrensedatabasen. Dette gir grunnlag for å foreta en analyse av sammenhengen mellom tålegrenseoverskridelser og fiskeskader.

3.2 Intervjuundersøkelser

Opplysningene om forursingsskader på fiskebestander er basert på intervjuundersøkelser (Sevaldrud og Muniz 1980, Rosseland et al. 1980, Hesthagen et al. 1993). Grunneiere, lokale fiskere eller andre personer med god lokalkunnskap om fiskeforholdene i den enkelte kommune blir intervjuet eller tilskrevet og bedt om å fylle ut et standard spørreskjema. Tilstanden (status) for hver art i hver innsjø blir angitt som enten god/uendret, redusert eller tapt. Metoden er testet ved prøvefiske i et stort antall innsjøer med fiskebestander av ulik status, og har vist seg statistisk holdbar (Rosseland et al. 1980, Hesthagen et al. 1993). Skader på fiskebestander er som nevnt ovenfor fremstilt i samme geografiske rutenett som tålegrensene. En skadeindeks for hver av disse rutene ble beregnet ved å multiplisere antall uendrede bestander med 0, reduserte bestander med 0.5 og tapte bestander med 1.0. Verdiene for de tre status-kategorier ble summert og dividert med antall bestander innen ruten. Dette gir en skadeindeks fra 0 (ingen skader) til 1.0 (alle bestander utdødd). Følgende intervaller er benyttet ved kartfremstillingene: 0 (ingen skader), 0-0.2, 0.2-0.4, 0.4-0.6, 0.6-0.8 og 0.8-1.0. Eksempelvis vil et

område med 60 bestander hvorav 40 er uendret, 15 redusert og 5 tapt gi en skadeindeks på 0.21 (21% skadet). I et område der fiskebestandene er jevnt fordelt mellom de tre statuskategoriene vil skadeindeksen bli 0.5 (50% skadet).

3.3 Tålegrenser

Den vannkjemiske metoden for beregning av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer er basert på vannets syrenøytraliserende kapasitet (ANC = Acid 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. Biologiske tålegrenser er relatert til de kjemiske betingelser for skader på biologiske indikatorer (fisk, invertebrater) ved ulike verdier for ANC. Den kritiske biologiske verdi, dvs. hvor det ikke oppstår skade, er definert ved ANC_{limit} . For norske forhold ble $ANC_{limit} = 20 \mu\text{ekv/l}$ tidligere valgt som en realistisk verdi (Lien et al. 1992, Henriksen et al. 1992, Hesthagen et al. 1992, Lien et al. 1996).

3.3.1 Valg av kritisk ANC-verdi

Bruken av ANC er en forenkling som setter sammen flere faktorer som er avgjørende for giftigheten av vannet overfor fisk (pH, aluminium og TOC) i en enkelt variabel. Data for sammenhengen mellom innsjøers vannkemi og endringer i generell fiskestatus er brukt for å anslå ANC_{limit} for fisk i Norge (Lien et al. 1996). De nordiske land har hittil brukt $ANC_{limit} = 20 \mu\text{ekv/l}$ som den kritiske kjemiske verdi for fisk i overflatevann (Henriksen et al. 1990). Den naturlige ANC i vann kan imidlertid være lik eller mindre enn $20 \mu\text{ekv/l}$ i områder med granitt og/eller gneiss i berggrunnen og med tynt jorddekke og mye nedbør. Slike verdier vil gi en "negativ" tålegrense. For slike sjøer har en hittil satt tålegrensen til null, dvs. at de ikke tåler noen tilførsel av sur nedbør. For 163 (16%) av innsjøene som var med i 1000-sjøers undersøkelsen i 1986 ble tålegrensen "negativ", dvs. 0 når en brukte $ANC_{limit} = 20 \mu\text{ekv/l}$. For Sverige og Finland var de tilsvarende tall henholdsvis 18 (0.4%) av 4015 innsjøer og 4 (0.3%) av 1450 innsjøer. Årsaken til det vesentlig store antall innsjøer med "negativ" tålegrense i Norge i forhold til de to andre landene ligger i et vesentlig større antall sjøer med meget lav basekationkonsentrasjon. Denne type sjøer finner en i områder med granitt og gneiss i berggrunnen og meget tynt jorddekke og med høy avrenning.

Tålegrensen er meget følsom overfor valg av verdien for ANC_{limit} . For Norge, f.eks. vil en verdi for $ANC_{limit} = 0 \mu\text{ekv/l}$ gi tålegrenseoverskridelse i 25% av Norges areal, mens en $ANC_{limit} = 20 \mu\text{ekv/l}$ gir en overskridelse på 36%. Det er derfor blitt utarbeidet en såkalt "variabel" ANC_{limit} som tar hensyn til feilkildene med en fast verdi.

Siden verdien for ANC_{limit} er basert på en årlig veid middelveid (Henriksen et al. 1990), ble verdien $20 \mu\text{ekv/l}$ i sin tid valgt for å sikre at det ikke skulle forekomme giftige episoder i løpet av året. I områder som mottar lite sur nedbør er imidlertid sannsynligheten for sure episoder som kan føre til fiskeskader svært liten selv om ANC er nær null, mens i områder med mye sur nedbør kan fiskedød inntreffe selv ved denne verdi. ANC_{limit} kan derfor betraktes som en variabel, f.eks. som en funksjon av tilførslene av sur nedbør til innsjøen, og slik at den nærmer seg null når tålegrensen er lav og øker til en øvre, høyere grense ved høyere tålegrense. Det er gode biologiske grunner til å betrakte ANC_{limit} som en variabel (se Henriksen et al. 1995). Reverseringen av forsuringprosessen vil være langsommere for jord enn for overflatevann. Fiskebestander og andre vannorganismer kan derfor bli utsatt for giftige Al-former også i områder med lav syredeposisjon. I områder med relativt høye tålegrenser kan ANC-verdier opp til $50 \mu\text{ekv/l}$ være nødvendig for å unngå skader på vannorganismer. $ANC_{limit} = 20 \mu\text{ekv/l}$ ble satt i forhold til ørret som er den mest forekommende fiskeart i Norge. I andre land er andre arter mer hyppig og derfor synes en variabel ANC_{limit} å være nødvendig for å beskytte de fleste akvatiske organismer fordi de har forskjellig følsomhet overfor forsuret vann.

Det er utarbeidet et likningssett for beregning av en variabel ANC_{limit} (Henriksen et al. 1995). Konsekvensene av en variabel ANC_{limit} for tålegrensene i Norge, Sverige og Finland er blitt vurdert ved å gi ANC_{limit} en verdi på 0 ved syredeposisjon 0 og lineært økende til 50 $\mu\text{ekv/l}$ ved en høy deposisjon (200 $\text{mekv/m}^2/\text{år}$). Vi har brukt tålegrensedatabasene for de tre landene (Henriksen et al 1990), og beregnet tålegrensene og tålegrenseoverskridelsene (tabell 1).

Tabell 1. Prosent areal (Norge) og prosent av innsjøer (Finland og Sverige) der tålegrensene er overskredet ved bruk av en variabel ANC_{limit} og en fast ANC_{limit} (20 $\mu\text{ekv/l}$).

Land	Fast ANC_{limit}	Variabel ANC_{limit}	Forskjell
Sverige	30.2	28.6	1.6
Finland	17.2	14.3	2.9
Norge	31.0	25.0	6.0

Effekten av en deposisjonsavhengig ANC_{limit} er større i Norge enn i Sverige og Finland, fordi antallet av forsuringfølsomme innsjøer er høyest i vårt land som også påpekt ovenfor. Bruker vi en $ANC_{limit} = 20 \mu\text{ekv/l}$ blir tålegrensen for dagens syretilførsel til overflatevann overskredet i 31% av Norges areal. Den variable ANC_{limit} (0-50 $\mu\text{ekv/l}$) reduserer dette arealet til 25%, og størstedelen av det reduserte arealet ligger i områder som mottar lite sur nedbør (Midt- og Nord Norge).

4. Resultater

4.1 Tålegrenseoverskridelser

Tidligere beregninger av tålegrenseoverskridelser har vært basert på en fast verdi for ANC_{limit} (se ovenfor) og på middelveiden for svoveldeposisjonene for årene 1983-1987. Deposisjonstall for perioden 1988-1992 viser at det har vært en klar reduksjon i svoveldeposisjonen på Østlandet og deler av Sørlandet, mens deposisjonen er den samme eller noe høyere på Vestlandet (SFT 1993).

Vi har beregnet tålegrenseoverskridelsene for bare svovel og for svovel pluss dagens nitrogenoverskridelse (Henriksen et al. 1996a). Vi har videre sammenliknet overskredet areal ved bruk av svoveldeposisjonene i 1983-1987 (1985 i tabellene) og i 1988-1992 (1990 i tabellene) og med fast og variabel ANC_{limit} (Tabell 2). Overskredet areal er klart avhengig av hvilket deposisjonsscenario og hvilken ANC_{limit} en bruker (Tabell 2). Den variable ANC_{limit} reduserer overskridelsene i områder med liten belastning og 1990-deposisjonen reduserer overskridelsesarealene på Østlandet spesielt i forhold til 1985-deposisjonen.

Tabell 2. Areal i Norge (km^2) der tålegrensene for sterke syrer er overskredet for midlet av to femårsperioder (1983-1987 (1985) og 1988-1992 (1990)) og for to verdier for ANC_{limit} . Overskridelsene er beregnet ut fra svoveldeposisjonen og dagens nitratavrenning.

Deposisjonsår	$ANC_{limit} = 20 \mu\text{ekv/l}$		Variabel ANC_{limit}	
	1985	1990	1985	1990
Svovel + nitrogen	119,580	104,172	95,148	80,034

Vår offisielle tålegrensedatabase er som nevnt ovenfor beregnet utfra den variable ANC_{limit} og deposisjonsverdiene for 1988-1992 (1990 i tabeller og figurer) som representative for dagens situasjon..

4.2 Fiskestatus for tålegrenserutenettet

Data for fiskestatus foreligger pr. idag for ialt 2,069 småruter. Disse dekker ialt 298,000 km², dvs. 93% av Norges areal. De ruter som ikke er dekket med fiskestatus er i sør ruter med små arealer langs kysten og mot grensen til Sverige. De fleste manglende rutene finner en imidlertid i Nord-Norge, der opplysningene er mer usikre (Henriksen et al. 1989).

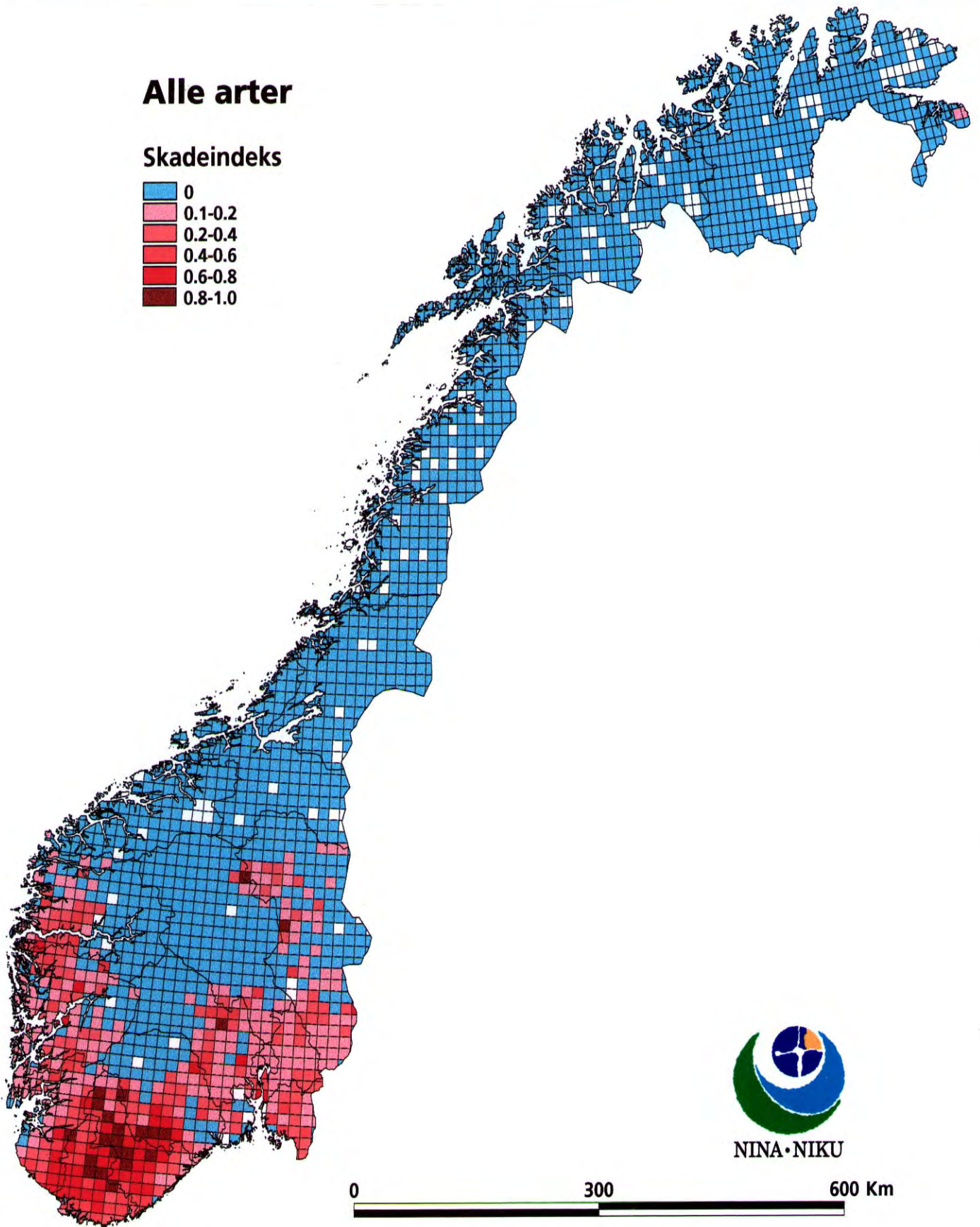
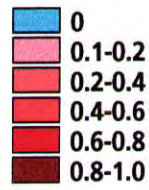
De beregnede skadeindeksverdier (0-1) er fordelt som angitt i tabell 3. Figur 1 viser fordelingen av skadeklassene over det registrerte område i hele landet. Blått angir som nevnt ingen skader, mens økend rødfarge angir økende grad av skade. Det skadede areal utgjør ca 84,500 km², eller ca. 26% av Norges totale landareal (tabell 3). Arealene er beregnet ved summering av arealet av hver enkelt rute med den gitte skadeklasse. I 38,840 km² av dette arealet er det små skader (klasse 2). Det er moderate skader i 22,400 km² (klasse 3), mens det er betydelige skader i 23,300 km² (klasse 4-6). Av de siste er det nær total skade i 13,300 km² (klasse 5 og 6).

Tabell 3. Skadeindeks og arealverdier for områder i Norge med registrert fiskestatus.

Skadeindeks	Skadeklasse	Antall ruter	Areal km ²
0	1	1,586	213,896
0 - 0.2	2	226	38,840
0.2 - 0.4	3	129	22,416
0.4 - 0.6	4	57	9,916
0.6 - 0.8	5	49	8,964
0.8 - 1.0	6	22	4,384
Sum klasse 2-6			84,520
Sum1-6		2,069	298,416

Alle arter

Skadeindeks



Figur 1. Skadekart for fisk for Norge.

4.3 Overskridelse av tålegrenser vs. skadeindeks

Tilførslene av sur nedbør til Norge har som nevnt ovenfor gått ned siden 1980. Middelverdiene for perioden 1988-1992 er lavere enn verdiene for 1983-1987 i Øst-Norge og deler av Sørlandet, men stort sett på samme nivå på Vestlandet. Det kan diskuteres om hvilket depositions-scenario som bør brukes for å sammenlikne tålegrenseoverskridelser og fiskeskader. De registrerte opplysninger om fiskeskader er i tid sannsynligvis mer relatert til 1985-deposisjonen enn den er for 1990, både fordi fiskeopplysningene daterer seg tilbake i tid og at fisken vil reagere sterkt forsinket på bedrede vannkjemiske forhold. Vi har derfor *i denne* sammenheng valgt å sammenlikne fiskeskader med tålegrenseoverskridelser basert på depositionsdataene for 1985.

Figur 2 viser kart for overskridelser av tålegrenser for 1985 sammen med skadeindekskartet. Ruter med tålegrenseoverskridelser og registrerte fiskeskader er angitt i sine respektive kart med orange farge, mens ruter uten henholdsvis overskridelser og fiskeskader er gitt med blå farge. Det fremgår av disse kartene at det er en åpenbar sammenheng mellom områder med fiskeskader og tålegrenseoverskridelser, spesielt i Sør-Norge. I Midt- og Nord-Norge er det også "målt" endel ruter med overskridelser uten at det er registrert fiskeskader. Overskridelsene er her små, og det er trolig mer en metodisk årsak til dette enn reelle vannkvalitetsendringer.

For ruter som faller i klasse 1 (ingen registrerte skader) bør tålegrensen for tilførsler av sterke syrer ikke være overskredet, mens tålegrensen bør være overskredet i alle ruter med klasse 2-6. Tabell 4 viser antall avvikende ruter i hver skadeklasse (dvs. at tålegrensene ikke er overskredet i klasse 1, mens de er overskredet i klassene 2-6).

Tabell 4. Avvik (ruter, %) fra skadeklasse og tålegrenseoverskridelse for tilførsler av svovel og nitrogen.

Skade- klasse	Antall ruter totalt	Antall med avvik	Prosent avvik
1	1,586	162	11
2	226	65	40
3	129	22	21
4	57	6	12
5	49	0	0
6	22	1	5
Alle	2,069	256	14

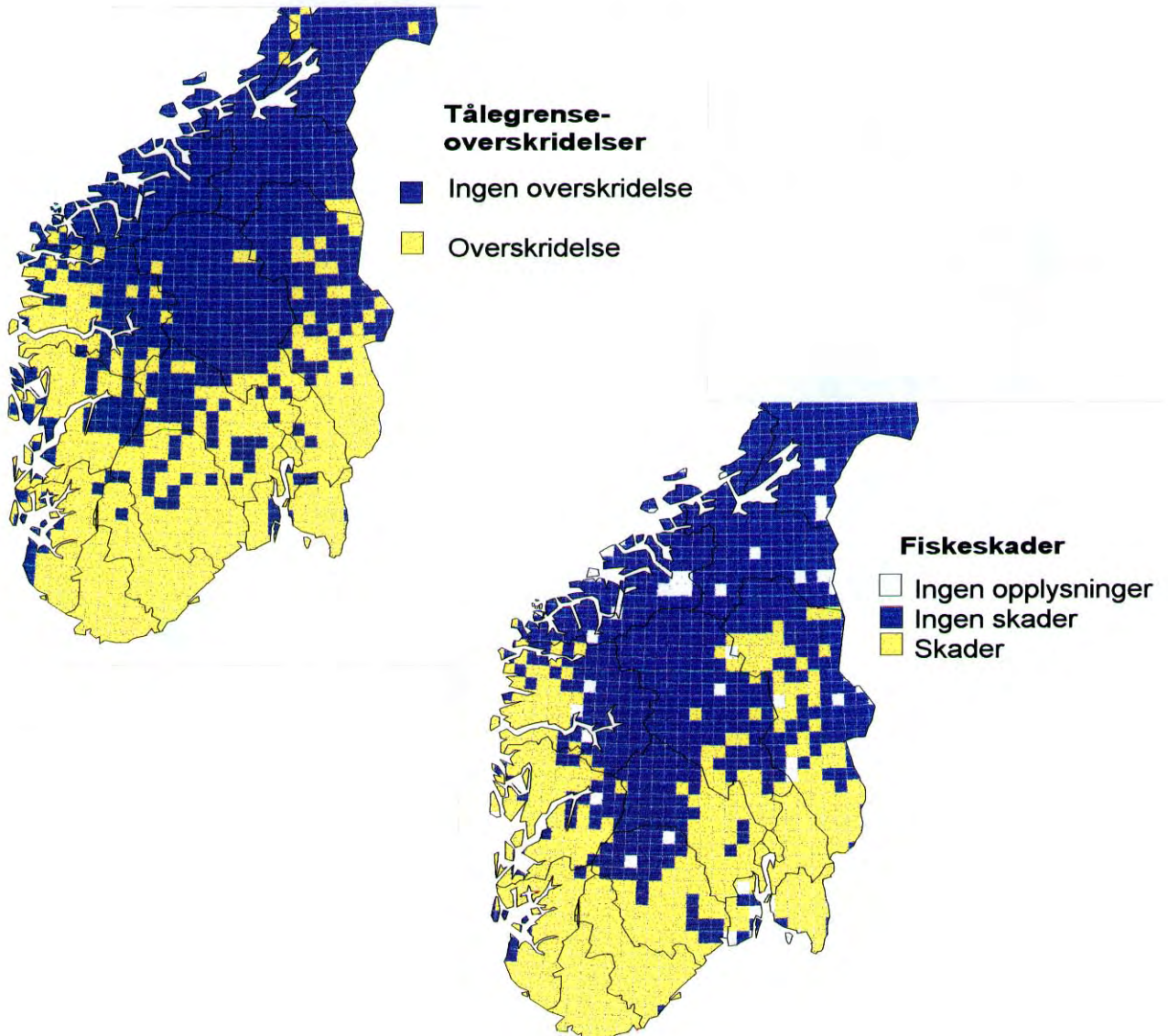
For ialt 14% av rutene stemmer ikke fiskeindeksen med overskridelsestallet. Avviksprosenten er høyest for klasse 2 (små skader). Avviket avtar sterkt med økende skadeklasse, dvs. at jo høyere skadegrad jo bedre overensstemmelse med overskridelsen av tålegrensene.

Ser vi først på de rutene der det ikke er registrert fiskeskader (klasse 1), finner vi at bare 11 prosent av rutene med denne klassifiseringen viser tålegrenseoverskridelser. Av disse finner vi over halvparten i Nord-Norge (hovedsakelig Øst-Finnmark), deler av Nord-Vestlandet og Østlandet. I Øst-Finnmark er tilførslene av sur nedbør betydelige, men overskridelsene er relativt lave. Medianverdien (50-prosentilen) for tålegrenseoverskridelsene i dette området er lav og ligger på 7 meq/m²/år.

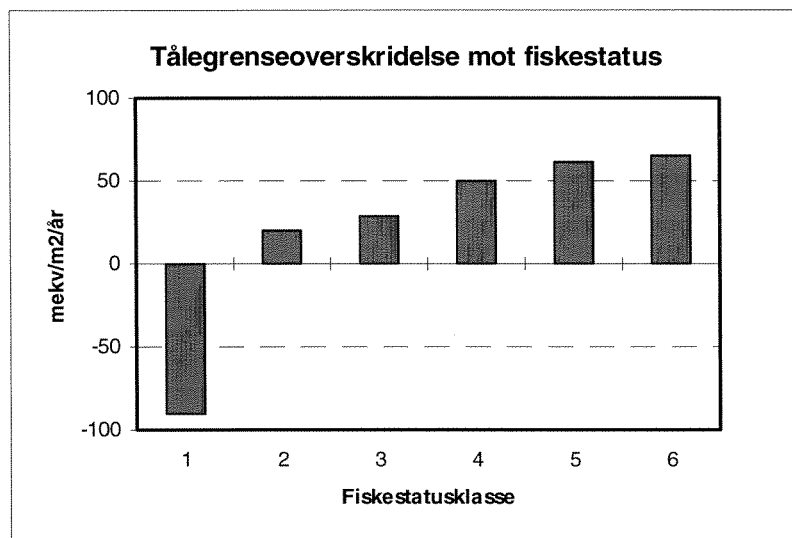
Klasse 2 (små fiskeskader) har et betydelig antall avvikende ruter (40%) med en median på -14 meq/m²/år for avvikerne. Den kjemiske klassifiseringen er avhengig av valg av innsjø, men for de aller fleste rutene er overskridelsene lave. Spesielt i ruter med varierende geologi er det avgjørende

hvilke sjøer som er valgt for beregning av fiskestatus og hvilken som er valgt for kjemisk klassifisering.

I de øvre klassene er imidlertid, ikke uventet, overensstemmelsen god og avvikerne få. For ruter med høy skadeindeks er også overskridelsene høye.



Figur 2. a) Overskridelser av tålegrenser for svovel og nitrogen i Sør-Norge basert på middeldeposisjon for perioden 1983-1987 (NILU), b) områder med registrerte fiskeskader. Rutenettet er basert på en oppdeling av rutene $0,5^{\circ}$ lengde og 1° bredde i et 4×4 rutenett. For hver rute foreligger det et tall for beregnet overskridelse for en innsjø og en fiskeskadeindeks for et gitt antall innsjøer.

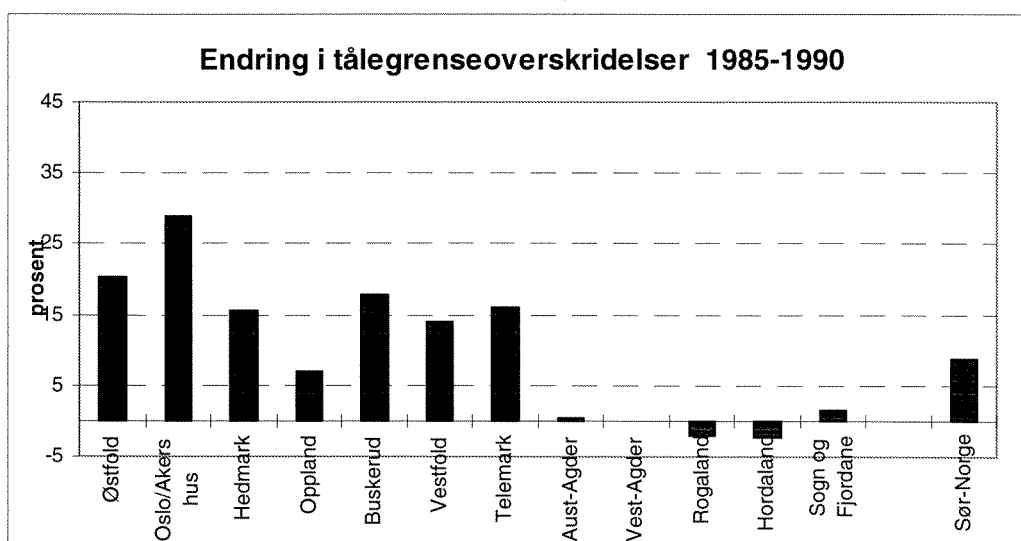


Figur 3. Forholdet mellom skadeklasse på fisk og overskridelse av tålegrenser. Ruter som avviker fra fiskestatusklasse (se Tabell 2) er ikke tatt med.

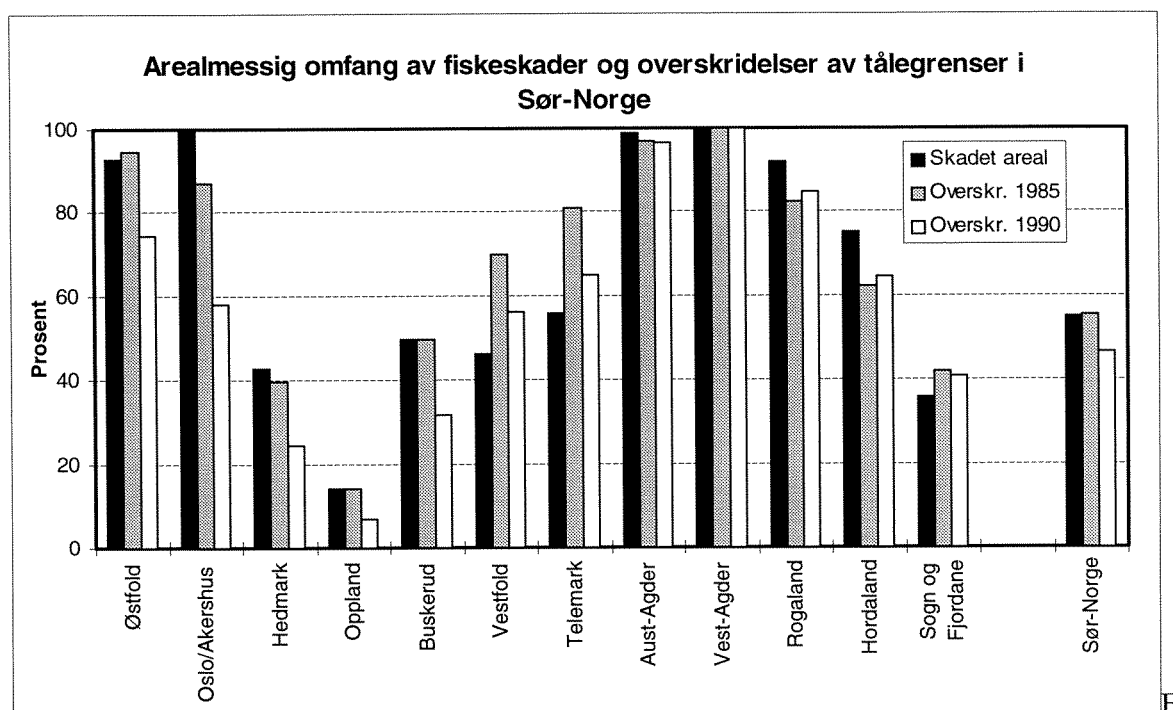
Tar vi vekk alle ruter som avviker, finner vi en god sammenheng mellom middelverdien for tålegrenseoverskridelsen og skadeklasse (figur 3). Overskridelsen øker med økende skadeklasse, og de to øverste klassene viser logisk nok de høyeste overskridelsene.

4.4 Skadeomfang i fylkene

Tilførslene av sur nedbør til Norge har som nevnt tidligere gått ned siden 1980. Figur 4 viser at for Østlandsfylkene til og med Telemark er overskridelsene i 1985 vesentlig høyere enn i 1990, mens forskjellene er ubetydelige for resten av Sør-Norge.



Figur 4. Endringer i tålegrenseoverskridelser for deposisjonen i 1985 (middel for 1983-1987) og 1990 (middel 1988-1992), for fylkene i Sør-Norge til og med Sogn og Fjordane.

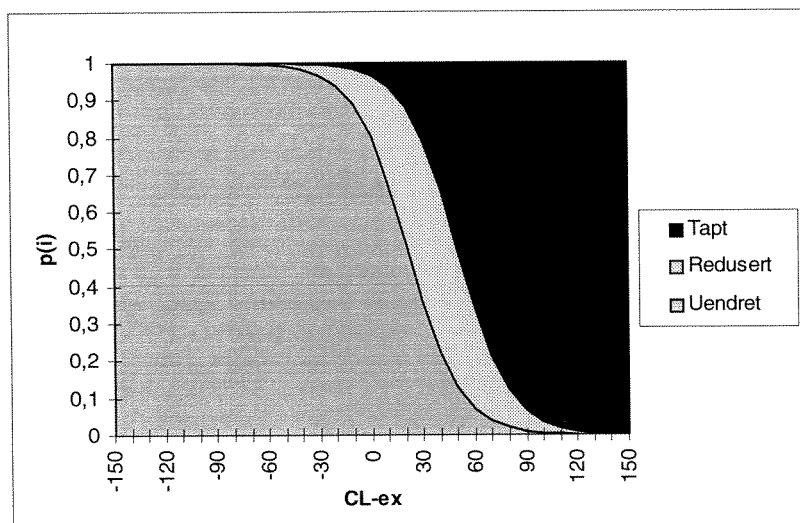


Figur 5. Arealmessig omfang av skader på fiskebestander pr. 1995 og overskridelser av tålegrenser basert på deposisjonene i henholdsvis 1985 og 1990.

Figur 5 viser at arealene av skadede områder står i bedre samsvar med omfang av tålegrenseoverskridelser for deposisjonene i 1985 enn de for 1990 for de fleste Østlandsfylkene utenom Vestfold og Telemark. Generelt er samsvaret mellom de to arealene meget godt for Sør-Norge. Selv om ca. 15% av arealet i hele Norge viser avvik i forholdet mellom overskridelser og skader på fiskebestander, er det åpenbart at tålegrensekonseptet er anvendbart til å anslå det biologiske skadeomfanget som langtransporterte forurensninger kan føre til.

5. Skadefunksjon for effekter av sur nedbør på fiskebestander

For 1000-sjøers undersøkelsen i 1986 (Henriksen et al. 1988) foreligger det både vannkjemi og fiskestatus for de samme innsjøene. Disse dataene er brukt til å utarbeide en skadefunksjon mellom tålegrenseoverskridelser og fiskeskader (Henriksen et al. 1996b). Tilstanden (status) for hver innsjø ble angitt som en skadeindeks, enten god/uendret (1), redusert (2) eller tapt (3). Ved hjelp av en logistisk regresjonsmodell er skadeindeksen framstilt som en funksjon av overskridelsen av tålegrensen, og kurvene viser en nær sammenheng mellom disse (Figur 6). Når tålegrensen ikke er overskredet er det meget liten sannsynlighet for skader på fiskebestander, men ved overskridelse øker også sannsynligheten for fiskeskader med økende overskridelse. Ved høy overskridelse viser modellen at det fortsatt er noen innsjøer som ikke er skadet. Dette skyldes sannsynligvis at intervjumetoden generelt underestimerer skadene på fiskebestander som forårsakes av forsuring (cf. Hesthagen et al. 1993), eller at vannkjemien ikke er representativ for de mest kritiske forholdene.



Figur 6. Sannsynligheten for forsuringsskader ($p(i)$) som funksjon av tålegrenseoverskridelse (CL-ex). Kurvene er basert på en regresjonsmodell. Sannsynligheten for forekomst av en skadeklasse ved en gitt verdi av CL-ex er lik høyden på de enkelte arealene (fra Henriksen et al. 1996b).

I denne rapporten har vi presentert tålegrenseoverskridelse og en fiskeskadeindeks for hver rute i databasen. For hver rute vil det foreligge et antall innsjøer og fiskeopplysningersom grunnlag for fastsettelse av henholdsvis tålegrense og skadeindeks som datagrunnlag. Opplysningene for kjemi og fisk er ikke basert på de samme innsjøene, selv om det endel steder kan være sammenfallende sjøer. Vi har imidlertid valgt å betrakte opplysningene som representative for et område med innsjøer, og foretatt en tilsvarende beregning som for 1000-sjøers undersøkelsen.

En modell hvor vi opererte med de tre kategoriene god/uendret, redusert eller tapt hadde en noe dårligere prediksjonskraft enn modellen basert på data fra 1000-sjøers undersøkelsen. Den klarte ikke å predikere korrekt fiskestatus (skadeindeks) for noen av bestandene i klassen « redusert ». Dette er ikke overraskende tatt i betraktning at tålegrenseoverskridelsen er basert på data fra bare én sjø i den geografiske ruten og at fiskedataene er basert på opplysninger for et varierende antall innsjøer.

Kategoriene «tapt» og « redusert » ble derfor slått sammen til kategorien «skadet», og en ny regresjonsmodell ble beregnet. I denne forenklete modellen opererer vi med de to kategoriene «uskadet» og «skadet» som skal forklares av tålegrenseoverskridelsene. Tabell 5 viser prediksjonene fra denne modellen. Modellen predikerte 93.8 % av de uskadede bestandene korrekt, mens det tilsvarende tall for de skadede bestandene var 55.8 %. Modellen er gitt ved følgende likning:

$$p(\text{uskadet}) = 1/(1 + \exp(0.034 \cdot \text{CL-ex} - 1.655))$$

hvor $p(\text{uskadet})$ er sannsynligheten for at en fiskebestand skal tilhøre kategorien «uskadet».

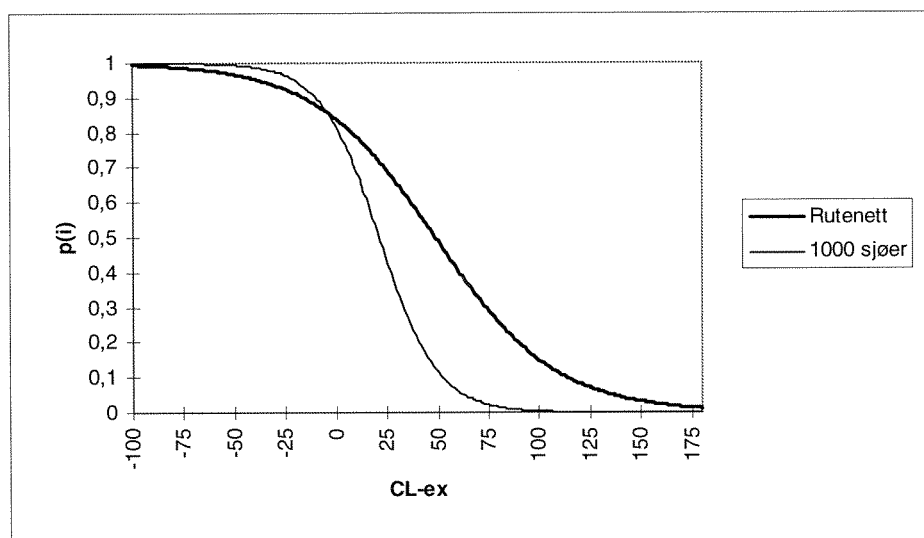
Tabell 5. Krysstabell som viser antallet korrekte prediksjoner til den logistiske regresjonsmodellen av fiskestatus (uskadet /skadet) basert på tålegrenseoverskridelsene.

Anslått	Observert		
	Skadet	Uskadet	Sum
Skadet	3751	1925	5676
Uskadet	4739	29272	34011
Sum	8490	31197	39687

For å sammenlikne resultatene fra denne forenklete modellen med en identisk modell basert på 1000-sjøers dataene, kodet vi om fiskestatus fra 1000-sjøers undersøkelsen til kategoriene «uskadet» og «skadet». En logistisk regresjon av fiskestatus mot tålegrenseoverskridelsene predikerte 83.1 % av de uskadede bestandene korrekt, mens det tilsvarende tall for de skadede bestandene var 85.0 %. Den nye 1000-sjøers modellen er gitt ved følgende uttrykk:

$$p(\text{uskadet}) = 1/(1 + \exp(0.071 \cdot \text{CL-ex} - 1.504))$$

Figur 7 viser de logistiske kurvene for de to modellene. Kurven til 1000-sjøers modellen ligger jevnt over noe til venstre for kurven til modellen med antatte tålegrenseoverskridelser. Årsaken til dette ligger nok hovedsakelig i at 1000-sjøers dataene er basert fiskestatus og vannkjemi for samme vann, mens tålegrenseoverskridelsene i den nye databasen i hovedsak er vannkjemiske data basert på én innsjø innen hver geografisk rute. Dette introduserer en tilfeldig feil i verdiene for tålegrenseoverskridelsene. Den statistiske effekten av en slik feilkilde er at regresjonskurven får et noe flatere helningsforløp og at venstre skulder blir presset mot lavere verdier for tålegrenseoverskridelsene. Dette mønsteret passer på de to kurvene, da effekten av tålegrenseoverskridelsene viser seg tidligere på rutemodellen enn på modellen fra 1000-sjøers dataene. Det også klart at når begge opplysninger finnes for samme sjøene er sammenhengen best. Det er imidlertid betryggende å se at de to datasettene som har ganske forskjellig utgangspunkt gir en overensstemmende sammenheng.



Figur 7. Sannsynligheten ($p(i)$) for å klassifisere en fiskebestand som uskadet som funksjon av innsjøens tålegrenseoverskridelse (CL-ex). Kurven fra 1000-sjøers undersøkelsen er basert på fiskestatus og tålegrenseoverskridelser for enkeltsjøer. Kurven fra tålegrenserutene er basert på en antatt representativ tålegrenseoverskridelse for ulike geografiske områder.

6. Konklusjoner

Det er generelt en meget god overensstemmelse mellom tålegrenseoverskridelse og fiskeskade for hver enkelt rute, spesielt der skadene på fiskebestandene er store. I de laveste skadeklassene er det naturlig at overensstemmelsen er dårligere. Det er viktig å presisere at de to datasettene er samlet inn uavhengig av hverandre. For 1000-sjøers undersøkelsen i 1986 (Henriksen et al. 1988) foreligger det både vannkjemi og fiskestatus for de samme innsjøene. Disse dataene er blitt brukt til å utarbeide en skadefunksjon mellom tålegrenseoverskridelser og fiskeskader (Henriksen et al. 1996a). Ved hjelp av

en logistisk regresjonsmodell er skadeindeksen framstilt som en funksjon av overskridelsen av tålegrensen, og kurvene viser en nær sammenheng mellom disse. En tilsvarende modell ble brukt på dataene for rutenettet, og denne skadefunksjonen dataene viser en meget god overensstemmelse med skadefunksjonen for 1000-sjøers undersøkelsen. Disse resultatene bekrefter at tålegrensekonseptet er meget anvendbart til å anslå det biologiske skadeomfanget som langtransporterte forurensninger kan føre til. Prognoser basert på denne metoden vil derfor kunne gi gode resultater for anslag for omfanget av fiskeskader ved gitte fremtidige scenarier.

7. Henvisninger

- Berger, H.M., Hesthagen, T., Sevaldrud, I.H. & Kvenild, L. 1992. Forsuring av innsjøer i Sør-Norge - fiskestatus innen geografiske rutenett. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Forskningsrapport 032. (Naturens Tålegrenser, Fagrapport nr. 8, Miljøvern-dep.), 14s.
- Downing, R.J., Hettelingh, J-P. & de Smet, P.A.M. 1993. Calculation and Mapping of Critical Loads in Europe: Status Report 1993. RIVM Report No. 259101003.
- Economic Commission of Europe (ECE). 1996. Manual on methodologies for Mapping Critical Loads/Levels and geographical areas where they are exceeded. Prepared by the Task Force on Mapping, Umweltbundesamt, Berlin.
- Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. Norwegian Institute for Water Research (NIVA). Naturens Tålegrenser, fagrapport nr. 43, 12pp.
- Henriksen, A., Fjeld, E. & Lien, L. 1996b. Effekter av sur nedbør på fiskebestander (skadefunksjon). Luftforurensninger - effekter og verdier (LEVE). Rapport 96:01. Statens forurensningstilsyn, 10 pp.
- Henriksen, A., Hindar, A., Styve, H., Fjeld, E. & Lien, L. 1996a. Forsuring av overflatevann-beregningsmetodikk, trender og mottiltak. Naturens tålegrenser, fagrapport nr. 81. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). RAPPORT LNR 3528-96.
- Henriksen, A., Kämäri, J., Posch, M., Lövblad, G., Forsius, M. & Wilander, A. 1990. Critical loads to surface waters in Fennoscandia. Nordic Council of Ministers. Miljørapport 1990:124s.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T. S., Sevaldrud, I. S. & Brakke D.F. 1988. Lake acidification in Norway: Present and predicted chemical status. *Ambio* **17**, 259-266.
- Henriksen, A., Lien, L., Rosseland, B.O., Traaen, T.S. & Sevaldrud, I.S. 1989. Lake acidification in Norway - present and predicted fish status. *Ambio* **18**, 314-321.
- 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. Rapport 89210 (Naturens Tålegrenser, Fagrapport nr.34, Miljøverndep.), 29s.
- Henriksen, A., Posch, Hultberg, H. & Lien, L. 1995. Critical loads of acidity for surface waters - Can the ANC_{limit} be considered variable? *Water, Air and Soil Pollut.* **85**, 2419-2424.
- Hesthagen, T. & Hansen, L.P. 1991. Estimates of the annual loss of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) in Norway due to acidification. *Aquacult. and Fish. Mgmt.* **22**, 85-91.
- Hesthagen, T. & Henriksen, A. 1994. En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Naturens tålegrenser, Fagrapport nr. 58. 14pp. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding nr. 288.
- 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, s. 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. Freshwat. Res.* 86:34-41.
- Hesthagen, T., Sevaldrud, I.H. & Berger, H.M. 1994. Utvikling av forsureningsskader på fiskebestander i Sør-Norge etter 1950.. - Norsk institutt for naturforskning (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.G. & Fjellheim, A. 1992. Critical loads for surface water - fish and invertebrates. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Report O-89185. (Naturens Tålegrenser, Fagrapport nr.21, Miljøverndep.), 29s.
- Lien, L., Raddum, G.G., Fjellheim, A. & Henriksen, A. 1996. A critical limit for acid neutralizing capacity in Norwegian surface waters, based on new analyses of fish and invertebrate responses. *Sci. Tot. Environ.* 177, 173-193.
- Rosseland, B.O., Sevaldrud, I.H., Svalastog, D. & Muniz, I.P. 1980. Effects of acidification on reproduction, population structure, growth and food selection. - I: Drabløs, D. (red.): *Ecol. Imp. Precip.*, SNSF-prosjektet, Oslo, s. 336-337.
- Sevaldrud, I.H. & Muniz, I.P. 1980. Sure vatn og innlandsfisket i Norge. Resultater fra intervjuundersøkelsene 1974-1979 - SNSF-prosjektet, IR 77/80. 95s.
- Snekvik, E. 1974. Sure innsjøer og fiskebestander i Rogaland, vest-Agder, Aust-Agder og Telemark. Sammenstilling av opplysninger innhentet hos innlandsfiskeremdene i de fire fylkene. - Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk, Fiskeforskningen, Ås. Rapp. nr. 2 50 s.

Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter

- 1 Nygaard, P. H., 1989. Forurensningers effekt på naturlig vegetasjon en litteraturstudie. Norsk institutt for skogforskning (NISK), Ås.
- Uten nr. Jaworowski, Z., 1989. Pollution of the Norwegian Arctic: A review. Norsk polarinstitutt (NP), rapportserie nr. 55. Oslo.
- 2 Henriksen, A., Lien, L. & Traaen, T.S. 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 3 Lien, L., Henriksen, A., Raddum, G. & Fjellheim, A. 1989. Tålegrenser for overflatevann. Fisk og evertebrater. Foreløpige vurderinger og videre planer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89185.
- 4 Bølviken, B. & medarbeidere, 1990. Jordforsuringsstatus og 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 005.
- 6 Frisvoll, A. A., 1990. Moseskader i skog i Sør-Norge. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 018.
- 7 Muniz, I. P. & Aagaard, K. 1990. Effekter av langtransportert forurensning på ferskvannsdyr i Norge - virkninger av en del sporelementer og aluminium. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 013.
- 8 Hesthagen, T., Berger, H. M. & Kvenild, L. 1992. Fiskestatus i relasjon til forsuring av innsjøer. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Forskningsrapport 032.
- 9 Pedersen, U., Walker, S.E. & Kibsgaard, A. 1990. Kart over atmosfærisk avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 10 Pedersen, U. 1990. Ozonkonsentrasjoner i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 11 Wright, R. F., Stuanes, A. Reuss, J.O. & Flaten, M.B. 1990. Critical loads for soils in Norway. Preliminary assessment based on data from 9 calibrated catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 12 Amundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av 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.
- 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 liryper. 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 forsuringfølsomhet i jord. NGU-rapport 91.265.
- 21 Bølviken, B., R. Nilsen, J. Romundstad & O. Wolden. 1992. Surhet, forsuringfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jord fra Nord-Trøndelag og sammenligning med tilsvarende data fra Sør Norge. NGU-rapport 91.250.
- 22 Sivertsen, T. & medarbeidere. 1992. Opptak av tungmetaller i dyr i Sør-Varanger. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1991-15.
- 23 Lien, L., Raddum, G.G. & A. Fjellheim. 1992. Critical loads of acidity to freshwater. Fish and invertebrates. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Rapport O-89185,3.
- 24 Fremstad, E. 1992. Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 124.
- 25 Fremstad, E. 1992. Heivegetasjon i Norge, utbredelseskart. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 188.
- 26 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A. 1992. Undersøkelser av skader hos to sigdmoser i Agder. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 134.
- 27 Lindstrøm, E.A. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Fastsittende alger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-2.
- 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-3.
- 29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-1.
- 30 Mortensen, L.M. & Nilsen, J. 1992. Effects of ozone and temperature on growth of several wild plant species. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 6: 195-204.
- 31 Pedersen, H.C., Myklebust, I., Nygård, T. & Sæther, M. 1992. Akkumulering og effekter av kadmium i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 152.
- 32 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av relativ forsuringfølsomhet med tålegrenser beregnet med modeller, i jord. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 92.294.
- 33 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., Esser, J.M., Håøya, A.-O. & Rudi, G. 1992. Map of critical loads for coniferous forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-91147.
- 34 Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. & Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 35 Lien, L. Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann -Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 36 Henriksen, A., Hesthagen, T., Berger, H.M., Kvenild, L., Taubøll, S. 1993. Tålegrenser for overflatevann - Sammenheng mellom kjemisk kriterier og fiskestatus. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-92122.
- 37 Odasz, A.M., Øiesvold, S., & Vange, V. 1993. Nitrate nutrition in *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.)Brd., a bioindicator of nitrogen deposition in Norway. Direktoratet for naturforvaltning. Utredning for DN 1993-2.
- 38 Espelien, I.S. 1993. Genetiske effekter av tungmetaller på pattedyr. En kunnskapsoversikt. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 051.
- 39 Økland, J. & Økland, K.A. 1993. Database for bioindikatorer i ferskvann - et forprosjekt . Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI), Zoologisk Museum, Oslo, Rapport 144, 1993.
-

-
- 40 Aamlid, D. & Skogheim, I. 1993. Nikkel, kopper og andre metaller i multer og blåbær fra Sør-Varanger, 1992. Rapport Gkogforsk 14/93. 14/93.
- 41 Kålås, J.A., Ringsby, T.H. & Lierhagen, S. 1993. Metals and radiocesium in wild animals from the Sør-Varanger area, north Norway. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 212.
- 42 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1993. Tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF) og Naturens tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Stjørdal, 15.-17.februar 1993. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 17/93.
- 43 Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 44 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Critical loads of acidity to surface waters, Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 45 Løbersli, E., Johannessen, T. & Olsen, K.V (red.) 1993. Naturens tålegrenser. Referat fra seminar i 1991 og 1992. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1993-6.
- 46 Bakken, S. 1993. Nitrogenforurensning og variasjon i nitrogen, protein og klorofyllinnhold hos barskogsmosen blanksigd (*Dicranum majus*). Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-1.
- 47 Krøkje, Å. 1993. Genotoksisk belastning i jord . Effekstudier, med mål å komme fram til akseptable grenser for genotoksisk belastning fra langtransportert luftforurensning. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-2.
- 48 Fremstad, E. 1993. Heigråmose (*Racomitrium lanuginosum*) som indikator på nitrogenbelastning. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmelding 239.
- 49 Nygaard, P.H. & Ødegaard, T.H. 1993. Effekter av nitrogengjødsling på vegetasjon og jord i skog. Rapport Skogforsk 26/93.
- 50 Fløisand, I. og Johannessen, T. (red.) 1994. Langtransporterte luftforurensninger. Tilførsler, virkninger og tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Grimstad, 7.-9.3.94. Norsk institutt for luftforskning NILU OR: 17/94
- 51 Kleivane, L. Skåre, J.U. & Wiig, Ø. 1994. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn. Forekomst, nivå og mulige effekter. Norsk Polarinstitutt Meddelelse nr. 132.
- 52 Lydersen, E., Fjeld, E. & Andersen, T. 1994. Fiskestatus og vannkjemi i norske innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-93172
- 53 Schartau, A.K.L. (red.) 1994. Effekter av lavdose kadmium-belastning på littorale ferskvanns-populasjoner og -samfunn. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Forskningsrapport 055.
- 54 Mortensen, L. (1994). Variation in ozone sensitivity of *Betula pubescens* Erh. from different sites in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-6.
- 55 Mortensen, L. (1994). Ozone sensitivity of *Phleum alpinum* L. from different locations in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-7.
- 56 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, J.B. and Esser, J.M. (1994). Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-91147.
- 57 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A.A. 1994. Moseskader i Agder 1989-92 (1994). Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 58 Hesthagen, T. & Henriksen, A. (1994). En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 288.
- 59 Skåre, J.U., Wiig, Ø. & Bernhoft, A. (1994). Klorerte organiske miljøgifter; nivåer og effekter på isbjørn. Norsk Polarinstitutt Rapport nr. 86 - 1994.
-

-
- 60 Tørseth, K. & Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.
- 61 Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum polysetum*). Rapport Skogforsk 9/94.
- 62 Henriksen, A. & Lien, L. 1994. Tålegrenser for overflatevann: Metode og usikkerheter. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94122.
- 63 Hilmo, O. & Larssen, H.C. 1994. Morfologi hos epifyttisk lav i områder med ulik luftkvalitet. ALLFORSK Rapport 2.
- 64 Wright, R.F. 1994. Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94112.
- 65 Hesthagen, T., A. Henriksen & Kvenild, L. 1994. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander i norske innsjøer med spesiell vekt på Troms og Finnmark. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 66 Sagmo Solli, I.M, Flatberg, K.I.F., Söderström, L., Bakken S. & Pedersen, B. 1996. Blanksigd og luftforurensningsstudier (in prep).
- 67 Stuanes, A. & Abrahamsen, G. 1996. Utredning om kunnskapsgrunnlaget for definisjon av tålegrenser i skog. Rapport Skogforsk (in prep).
- 68 Ogner, G. 1995. Tålegrenser for skog i Norge med hensyn til ozon. Aktuelt fra Skogforsk 3-95.
- 69 Thomsen, M., Nellemann, C. Frogner, T., Henriksen A., Tomter, S. & Mulder, J. 1995. Tilvekst og vitalitet for granskog sett i relasjon til tålegrenser og forurensning. Norsk institutt for skogforskning (NISK) (in prep).
- 70 Tomter, S. M. & Esser, J. 1995. Kartlegging av tålegrenser for nitrogen basert på en empirisk metode. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS). Rapport nr 10/95.
- 71 Pedersen, H.Chr. (red.). 1995. Kadmium og bly i lirype: akkumulering og cellulære effekter. Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning (NINA-NIKU) Oppdragsmelding 387
- 72 Bakken, S. & Flatberg, K.I.F. 1995. Effekter av økt nitrogendeposisjon på ombrotrof myrvegetasjon. En litteraturstudie. ALLFORSK Rapport 3.
- 73 Sogn, T.A., Stuanes, A.O. & Abrahamsen, G. 1995. Akkumulering av nitrogen - en kritisk parameter for beregning av tålegrenser for nitrogen i skog. Rapport fra Skogforsk 21/95.
- 74 Nygaard, P.H. & Eldhuset, T. 1996. Forholdet mellom basekationer og aluminium i jordløsning som kriterium for tålegrenser i skogsjord. Norsk institutt for skogforskning (NISK). Rapport fra Skogforsk 1/96
- 75 Mortensen, L. 1993. Effects of ozone on growth of several subalpine plant species. Norw. J. Agric. Sci. 7: 129-138.
- 76 Mortensen, L. 1994. Further studies on the effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. Norw. J. Agric. Sciences 8:91-97.
- 77 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1996. Lufttransporterte forurensninger - tilførsler, virkninger og tålegrenser. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 2/96.
- 78 Thomsen, M.G., Esser, J., Venn, K. & Aamlid, D. 1996. Sammenheng mellom træs vitalitet og næringsstatus i nåler og humus på skogovervåkingsflater i Sørøst-Norge (in prep).
- 79 Tørseth, K., Mortensen, L. & Hjellbrekke, A.-G. 1996. Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 12/96.
-

- 80 Esser, J.M. & Tomter, S.M. 1996. Reviderte kart for tålegrenser for nitrogen basert på empiriske verdier for ulike vegetasjonstyper. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS).
- 81 Henriksen, A., Hindar, A., Styve, H., Fjeld, E. og Lien, L. 1996. Forsuring av overflatevann-beregningsmetodikk, trender og mottiltak. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). RAPPORT LNR 3528-96.
- 82 Henriksen, A., Hesthagen, T. og Fjeld, Eirik. 1996. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). RAPPORT LNR 3565-96

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon

Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00

Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3565-96.

ISBN 82-577-3115-3