

Tålegrenser for forsuring av overflatevann - et nyttig begrep?

Av Arne Henriksen og Atle Hindar

Forfatterne er ansatt ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

Innlegg på fagtreff 24. februar 1997

Sammendrag

Begrepet "Acid Rain" ble introdusert allerede i 1872. Forurenset nedbør ble registrert i Norge omtrent på samme tid. Fiskedød på grunn av surt vann i Norge ble rapportert i begynnelsen av 1900-tallet. Først i 1959 ble surt vann satt i forbindelse med sur nedbør. Den regionale utbredelsen av problemet ble kartlagt av SNSF-prosjektet (Sur nedbørs virkning på skog og fisk). Begrepet "naturens tålegrenser" (eng.: critical load, svensk: kritisk belastningsgrense) er i dag akseptert som utgangspunkt for politiske beslutninger om reduksjoner i utslipp av svovel og nitrogen. Naturens tålegrense for overflatevann er basert på at den årlige tilførselen av sterk syre til et nedbørfelt ikke skal overskride den mengde alkalitet (bufferevne) som produseres årlig i nedbørfeltet og i innsjøen. To modeller brukes til å beregne tålegrenser for tilførsler av syre til overflatevann, en empirisk og en prosessorientert modell. The Steady State Water Chemistry (SSWC)-modellen beregner tålegrensen for

tilførsler av syre og overskridelse av tålegrensen basert på dagens nitrogenlekkasje. The First-order Acidity Balance (FAB)-modellen beregner den potensielle overskridelse av tilførte sterke syrer. Idag er tålegrensen overskredet i 25% av Norges areal, mens den potensielle overskridelse er 37%. Svovelprotokollen av 1994 vil redusere overskredet areal i 2010 til henholdsvis 11 og 28%. Reduksjon av nitrogenutslippene vil derfor bli viktig fremover. De totale kostnader for å nøytralisere overskuddsyren med kalk og bygge opp et godt buffersystem for fisk er beregnet til ca. 340 mill.kr. i dag. Når svovelprotokollen av 1994 gir full effekt, reduseres kalkingskostnadene til ca. 130 mill.kr. Nye forskningsresultater tyder på at vi kan ha en "nitrogen metning" i deler av Sør-Norge, dvs. at det kommer mer nitrogen med nedbør og tørravsetninger enn jord og vegetasjon behøver. Dette kan igjen indikere fosforbegrensning i jorda. Hvis dette er tilfelle, må det legges stor vekt på å få redusert nitrogendeposisjonen i fremtiden. Resultatene så langt viser at det nytter å arbeide for internasjonale avta-

ler, og vi kan dokumentere at slike avtaler hjelper. Det arbeides for tiden med en ny nitrogenprotokoll om reduserte utslipp av nitrogenoksider i Europa basert på tålegrenseprinsippet. Det vil sannsynligvis by på store problemer å få godtatt og gjennomført en slik avtale. For Norges vedkommende vil dette bety vesentlige inngrep i bl.a. bil og båtrafikken, noe som kan bli vanskelig å håndtere politisk.

Historikk

Det var engelskmannen Robert Angus Smith som først introduserte begrepet "Acid Rain" i en bok "Air and Rain: the Beginning of a Chemical Climatology" som utkom i 1872. Han formulerte her en rekke av de sentrale ideer som idag er endel av vår kunnskap om forsurening. Sammenhengen mellom endringer i nedbørkjemi og i innsjøenes kjemi forble ubemerket inntil midten av 1900-tallet, da Eville Gorham publiserte en rekke artikler om sur nedbør og dens virkninger på akvatiske systemer i England og Scotland. Han og hans medarbeidere konkluderte med at hovedårsaken til nedbørens forsurening i industriområder kom av utslipp som følge av forbrenning av fossilt brensel. Hverken Smiths eller Gorhams konklusjoner vakte noen oppsikt før de ble hentet fram igjen i 1970-årene.

Professor i geologi, W.C. Brøgger, rapporterte allerede i 1881 om "smudsig snefald" i Norge og hevdet at dette kom fra utslipp i Storbritania. Men allerede 15 år før (1866) hadde imidlertid Henrik Ibsen forutsett forurensningsproblemet da han lot Brand utbryte høyt

oppe på viddene etter at bygdefolket hadde forlatt ham:

*"Værre tider; værre syner
gjennom fremtidsnatten lyner!
Britens kvalme stenkullsky
senker sort seg over landet,
smusser alt det friske grønne,
kveler alle spirer skjønne,
stryker lavt med giftstoff
blandet,*

I Norge kom de første rapporter om fiskedød på grunn av surt vann før 1920 (Dahl 1921). I februar 1921 undersøkte H. Huitfeldt-Kaas Frafjordelva i Ryfylke etter en plutselig massedød av laks og ørret i november 1920, noe som gjentok seg i desember 1921. Huitfeldt-Kaas satte fiskedøden i forbindelse med en lang tørkeperiode høsten 1920 og som ble avløst av en periode med mye nedbør i november. Giftstoffene så ut til å ha kommet fra de øvre deler av elva der det var funnet død småørret. Her fantes det store torvmyrer og det ble påvist "atskillig svovelsyre" i bekkevannet.

I 20-årene kom det flere beskrivelser av utdøende fiskebestander og surt vann. (Dahl 1921, 1926, 1927 og Sunde 1926).

"Lignende katastrofer (som den i Frafjordelva i 1920) med meget sterk dødelighet i laksebestanden opptraadte i Kvina i 1911 og i Mandalselva i 1914 og et nærmere studium av nedbøren og flomforholdene synes at vise at katastrofen begge steder opptraadte ved sterk flom efter langvarig tørke og at det er meget sannsynlig at det er det meget sure vand, som maa ha været dødens aarsak" (Dahl, 1926).

Disse artiklene ser klart en sammenheng mellom vannets surhet og fiskens muligheter for å overleve og reproducere. De ser også en sammenheng med værforhold og surt vann. Deres hypotese var basert på at svovel i myrer og bunnslam kunne omvandles til svovelsyre under spesielle meteorologiske forhold, altså naturlig og lokal forsurening av vann.

Problemet med surt vann og fiskedød var altså kjent i lang tid, men det var først i 1959 at forsursforholdene i elver og innsjøer i Norge ble satt i sammenheng med sur nedbør (Dannevig 1959). Dannevig fant imidlertid ingen forklaring på hvorfor nedbøren var sur:

"Det er eiendommelig at nedbøren ved kysten er så sur som pH=4,77. Sjøvann er alkalisk. I litteraturen finner jeg ingen annen forklaring enn at surheten i nedbøren i kystdistriktene må skyldes "an unknown factor".

Fiskerikonsulent Einar Snekvik ved Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk (DVF) ved Fiskeforskningen på Ås startet allerede i 1965 rutinemessig innsamling og analyse av vannprøver fra fire elver på Sørlandet. I de følgende år ble antall elver stadig utvidet, og dette opplegget har dannet en del av grunnlaget for den senere forsknings- og overvåkingsmessige utvikling i forsurs-sammenheng.

Hagen og Norby (1967) diskuterte årsaken til laksens og ørretens tilbakegang og stilte spørsmålet "sur nedbør - surt vann". Etter en vurdering av for-

skjellige forklaringer som var gitt på den tiden konkluderte de med at hovedårsaken måtte være:

"den tiltagende surhet i nedbøren som følge av økende luftforurensning, spesielt gjeldende nedbør fra sørvestlig kant (industrien på de britiske øyer?)". De konkluderte med "At det er et komplisert problem er det vel ikke tvil om, og full klarhet over årsakssammenhengen får man neppe før hele spørsmålet tas opp til granskning på bred basis".

Deres ønske ble bønnehørt i 1972 (se nedenfor). G. Dannevig fastslo i 1970 utfra sine målinger av innsjøer på Sørlandet og nedbørmålinger ved Flødevigen stasjon at "Auren på Sørlandet dør ut på grunn av forurenset og sterkt sur nedbør"

Sammenhengen mellom luftforurensninger, sur nedbør, vannforsuring og fiskedød har altså vært kjent lenge i de berørte miljøer i Norge og til tider vært gjenstand for stor oppmerksomhet. Det er interessant å notere at det ikke kom noen vitenskapelige publikasjoner over dette emne fra universitetsmiljøene i Norge i denne perioden.

Sur nedbør-problemet tok av internasjonalt i 1967, da Professor Svante Odén ved Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala presenterte resultater i Dagens Nyheter som demonstrerte sammenhengen mellom den regionale utbredelsen av sur nedbør og vannforsuring. Som en følge av denne fokusering på forsursproblemet tok svenske myndigheter i 1972 et initiativ til internasjonal oppmerksomhet ved å legge fram en

"Sweden's case study for the United Nations conference on the human environment" i Stockholm.

Første gang forsuringsproblemet ble tatt opp i sin fulle bredde i Norge var på Norsk Vannforening's møte 13 februar 1969, der Svante Odén presenterte sine resultater og synspunkter. På det tidspunktet var diskusjonene såvidt igang fordi professor Eiliv Dahl hadde lansert utvasking av basekationer fra jordsmonnet som en fremtidig fare for skogtilveksten i Norge, og han presenterte også sine synspunkter på dette møtet. Den tredje foredragsholder på dette møtet var Vitenskapelig konsulent Einar Snekvik som orienterte om "forsuring av elver og vann - innvirkning på ørret og laksefisket".

I 1972 skjedde mye. Forsuringsproblemet ble igjen tatt opp av Vannforeningen. På et møte i Ingeniørenes Hus 24 januar 1972 ble mye av sur nedbør kompetansen i Norge presentert med 15 foredrag. Samme år utga Norges Naturvernforbund boka: "Sur nedbør - årsak og verknader" av Oddvar Skre, og senere på året ble det store nasjonale forskningsprosjektet "Sur nedbørs virkning på skog og fisk (SNSF-prosjektet)" startet.

SNSF-prosjektet vakte stor oppsikt både nasjonalt og internasjonalt og har dannet grunnlaget for mye av det internasjonale samarbeidet som siden har funnet sted. Da prosjektet ble avsluttet i 1980, ble en rekke av aktivitetene overtatt av det nasjonale programmet for overvåking av langtransportert forurenset nedbør som fortsatt er igang under ledelse av Statens forurensnings-

tilsyn (SFT). Konklusjonene fra SNSF-prosjektet ble "testet" av "The Surface Water Acidification Programme" (SWAP), et samarbeidsprosjekt mellom engelske, norske og svenske forskere som ble gjennomført i perioden 1985-1990 og finansiert av de engelske energiprodusentene. Hovedkonklusjonene fra både SNSF-prosjektet og SWAP-prosjektet var at den sure nedbøren er hovedårsaken til den regionale forsurening av overflatevann i Skandina via og enkelte andre steder i Europa. Denne konklusjonen gjelder fortsatt og ligger bak de internasjonale avtalene om reduserte utslipp av forurensninger, selv om denne konklusjonen i sin tid ble sterk kritisert i enkelte norske universitetsmiljøer.

Hovedproblemet med sur nedbør har i Skandina via vært vannforsuring. Skader på skogen ble ikke registrert i Norge i SNSF-prosjektet. Den internasjonale interessen for sur nedbør-problemet avtok etter 1980. Men da det ble registrert omfattende skogskader i sentral-Europa i begynnelsen av 80-årene tok interessen for forsuringsproblemet seg voldsomt opp igjen, men på andre premisser enn tidligere. Nå var det mulige skader på skogen som var i fokus. Det dreide seg om økonomiske konsekvenser av andre dimensjoner enn noen tusen fiskevann i Norden. Det er disse problemene som har vært drivkraften for det europeiske initiativ til å arbeide for internasjonale avtaler for reduksjon av utslipp av forsurende stoffer.

Naturens Tålegrenser

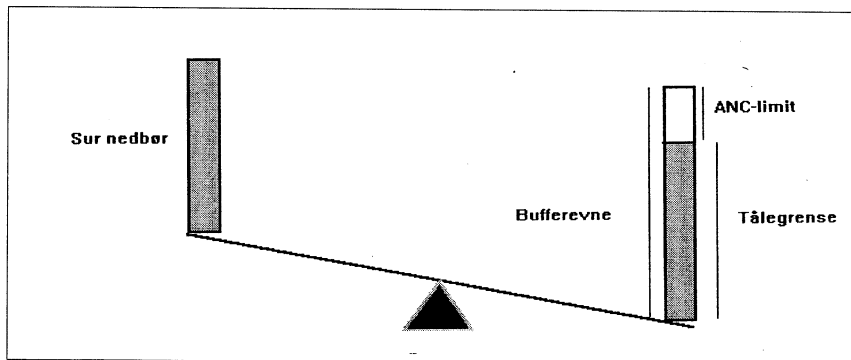
Begrepet "*naturens tålegrenser*" (eng.:

critical load, svensk: kritisk belastningsgrense) er i dag akseptert som utgangspunkt for politiske beslutninger om reduksjoner i utslipp av svovel og nitrogen. Naturens tålegrenser er et anslag over hvor mye naturen kan motta av et forurensende stoff uten å påføres skade. Selv om påvirkning av luftforurensninger bare er en av flere trusler mot det biologiske mangfoldet har en her klart å komme fram til relativt presise mål for et bærekraftig forurensningsnivå. Videre kan vi kvantifisere den belastningen som overskrider tålegrensen i forskjellige områder. En har derfor grunnlag for og muligheten til, via internasjonale forhandlinger, å fatte politiske beslutninger om miljømål som står direkte i forhold til tålegrensene. Utvikling av tålegrensebegrepet og definisjoner knyttet til dette er en måte å operasjonalisere Brundtlandkommisjonens begrep "bærekraftig utvikling" på.

Det norske programmet Naturens Tålegrenser ble satt igang høsten 1988 i regi av Miljøverndepartementet. Pro-

grammet gir bl. a. innspill til pågående aktiviteter under Konvensjonen for Lang-transporterte Grenseoverskridende Luftforurensninger (Geneve-Konvensjonen). Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har siden programmet ble startet deltatt aktivt i tålegrensearbeidet, spesielt med hensyn til tålegrenser for overflatevann. NIVA har bl. a. bidratt internasjonalt med utvikling av metoder for beregning av tålegrenser for både svovel og nitrogen, og nasjonalt er det utarbeidet tålegrensekart for hele Norge og Svalbard.

Det er FN's økonomiske kommisjon for Europa (UN-ECE) som organiserer forhandlingene og utarbeider protokoller. Det vil kreve enorme reduksjoner av utslippene i de fleste landene for å nå nær full beskyttelse i alle forsurningsfølsomme områder i Europa. Med dagens teknologi vil dette bli så dyrt at det ikke er politisk flertall for å oppnå dette. Det er derfor gjort beregninger der miljømålet er redusert. De fleste landene har sagt seg villige til å redusere sine ut-



Figur 1. Illustrasjon av tålegrensebegrepet. En innsjø tåler ikke mer sur nedbør enn dens totale bufferevne minus en gitt buffermengde (ANC_{limit}).

slipp innen år 2010 slik at "60 % GAP-closure" (reducere tålegrenseoverskridelsene med 60 %) kan oppfylles. Den nye svovelprotokollen som ble underskrevet i Oslo i juni 1994 er nettopp basert på dette prinsippet. Det foreligger beregninger for hvor mye svovelledfallet vil være når avtalen etter planen er oppfylt i år 2010.

Naturens tålegrense for overflatevann er basert på at den årlige tilførselen av sterk syre til et nedbørfelt ikke skal overskride den mengde alkalitet (bufferevne) som produseres årlig i nedbørfeltet og i innsjøen. Prinsippet for å beregne tålegrenser for tilførsler av sur nedbør kan illustreres som i figur 1: En innsjø har en gitt bufferevne som er bestemt av berggrunn og jordsmonn. Den kan ikke tilføres mer sur nedbør enn at det fortsatt er en viss buffermengde igjen (ANC_{limit}) slik at det ikke skal oppstå skader på vannorganismer som f. eks. fisk. ANC er definert som differansen mellom vannets innhold av basekationer og sterke syrers anioner:

Naturens tålegrenser er et godt eksempel på hvordan en kan koble kunnskapene om vannkjemiske endringer og biologisk respons til et forvaltningsmessig anvendbart redskap.

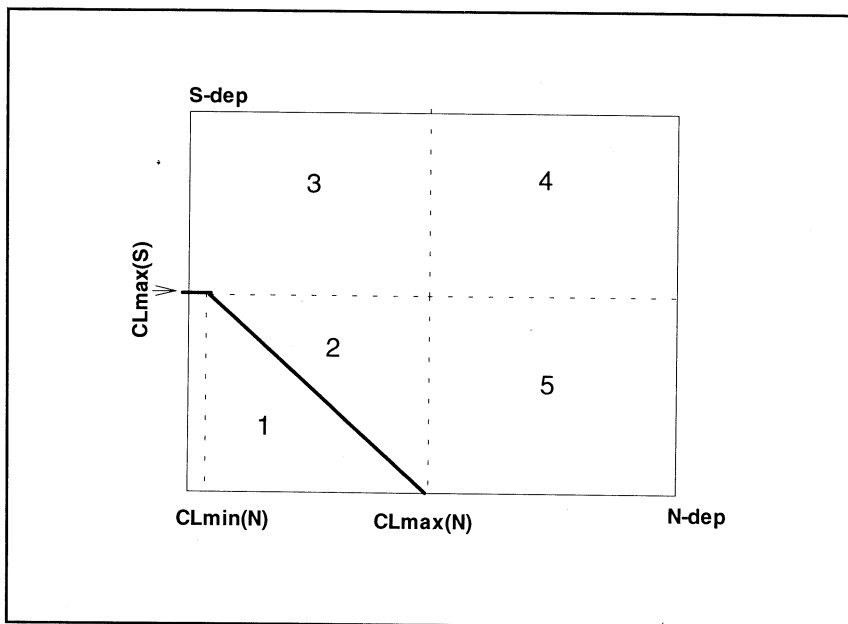
Metoder.

Både svovel og nitrogen bidrar til foruring. Derfor er tålegrensene for svovel og nitrogen avhengige av hverandre. En bestemt tålegrenseverdi for en av stoffene kan ikke defineres uten å gjøre noen antakelser om den andre.

To modeller brukes til å beregne tåle-

grensen for tilførsler av syre til overflatevann, en empirisk og en prosessorientert modell. Den første modellen, The Steady State Water Chemistry (SSWC)-modellen (UN/ECE 1996), beregner tålegrensen for tilførsler av syre og overskridelse av tålegrensen basert på dagens nitrogenlekkasje. Den andre modellen, The First-order Acidity Balance (FAB)-modellen (Posch et al. 1997), beregner samtidig tålegrensene for både svovel og nitrogen og deres potensielle overskridelse, dvs. den overskridelse som vil inntreffe hvis alt nitrogen (minus den mengde som immobiliseres i jorda og som ev. tas ut gjennom skogshogst) overføres til forsurende nitrat gjennom biologiske prosesser i jorda. FAB-modellen beregner med andre ord den potensielle overskridelse av tilførte sterke syrer. FAB modellen forlanger mer data for nitrogen.

SSWC-modellen antar at det meste av sulfatinnholdet i avrenningsvannet stammer fra atmosfærisk tilførte sjøsalter og antropogen forurensning. Tålegrensen for en sjø kan beregnes fra dagens vannkjemi hvis en har årlig veide middelverdier eller anslag av disse tilgjengelige. FAB-modellen betrakter som nevnt samtidig effektene av både svovel og nitrogen. En kan ikke vente å finne unike tålegrenser for S og N, fordi en reduksjon i svoveldeposisjonen kan føre til at en kan akseptere en høyere deposisjon av forsurende nitrogen uten å få forursingsskader. Forholdet mellom tålegrenser og deposisjoner er illustrert i figur 2, som også viser sammenhengen mellom de to metodene.



Figur 2. Tålegrensefunksjonen ("the critical load function"). Hver innsjø har sitt eget diagram. Det nederste venstre området (1) viser de verdier for N og S deponisjon som ikke gir overskridelser. Tålegrensefunksjonen (tykk linje) er gitt ved de beregnede verdier for $CL_{max}(S)$, $CL_{min}(N)$ and $CL_{max}(N)$ (se Posch et al. 1997). Lokaliseringen i diagrammet av N og S deponisjonen til innsjøen gir de reduksjonskrav som må til for å gi ikke-overskridelse: 1, ingen reduksjoner er nødvendige, 2, fritt valg mellom N og S reduksjon, 3, nødvendig med S reduksjon, 4, både N og S reduksjon nødvendig, 5, N reduksjon nødvendig.

Den tykke linjen i figuren viser alle mulige kombinasjoner av tålegrenser for S og N og kalles tålegrensefunksjonen ("the critical load function"). Beregningen av tålegrensen for sterk syre beregnes på samme måte for de to modellene.

Bruken av denne modellen og sammenhengen mellom de to modellene kan illustreres ved å anvende dem på utløpet av en liten innsjø i Bjerkreimsvassdraget (figur 3 på neste side).

Punktet som representerer dagens S og N deponisjon til Øygardsbekkens nedbørfelt ligger i øverste høyre segment av diagrammet. Før vi kan velge om vi skal redusere S eller N, må vi først redusere deponisjonen av begge stoffene til punktet P, med henholdsvis 82 and 45 mekv $m^{-2} \text{ år}^{-1}$, (nødvendig med både S and N reduksjoner). For å komme til tålegrensefunksjonen (ingen overskridelse) herfra kan vi velge om vi vil redusere enten S til null eller N til

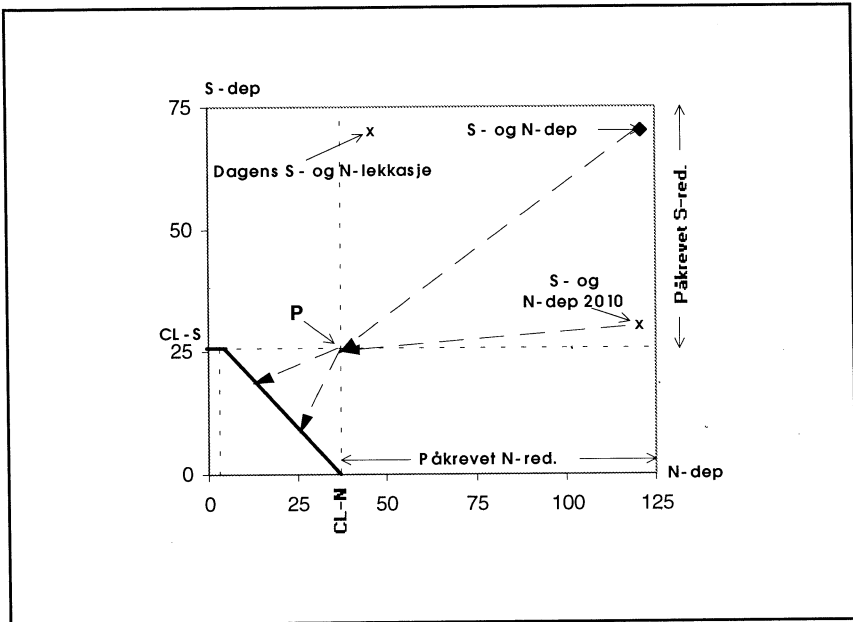


Figure 3. Tålegrensefunksjonen for Øygardsbekken i Bjerkreimsvassdraget (Henriksen et al. 1997, Kaste et al. 1997) Her er angitt: 1. dagens S og N deponisjon, 2. antatt S deponisjon i år 2010 (1994 protokollen) med dagens N deponisjon, og 3. dagens S og N-lekkasje. Den siste situasjon representerer dagens tålegrenseoverskridelse. Enhet: mekv m^2 år $^{-1}$.

CL_{min}(N), eller vi kan velge å redusere begge i et antall av kombinasjoner, slik som antydnet i figur 3. Denne valgfriheten gir muligheter for å velge (kostnads)-optimale reduksjoner av S og N utslipp: Figure 3 viser videre at for denne sjøen må vi, selv etter at 1994 S-protokollen er gjennomført, må S-tilførslene fortsatt reduseres med 4 mekv m^{-2} år $^{-1}$ før vi igjen kan kombinere ønskede s og N reduksjoner. Den korteste veien til ikke overskridelse er den lodrette linjen fra P til tålegrensefunksjonen. Dette medfører ytterligere reduksjonskrav for N og S på henholdsvis 9 and 19 mekv m^{-2} år $^{-1}$. dette fører til

totale reduksjonskrav på 83% av dagens N deponisjon and 77% S-reduksjon for dette nedbørfeltet.

SSWC-modellen beregner som nevnt ovenfor bare dagens overskridelse av S og N, mens FAB-modellen beregner potensiell overskridelse. Dagens overskridelse er gitt ved punktet for dagens N og S lekkasje i figur 3. Selv idag er N-lekkasjen for høy til at ikke overskridelse kan oppnås med bare S reduksjon. En må også gjøre noe med N-lekkasjen.

Overskridelser av tålegrenser.

Vi har altså to muligheter for å beregne

Reduksjonskrav	Overskredet areal
Scenario	
S+N idag (1990)	36, 7
S:2010, N idag	28, 0
S,2010;N:-50%	17,2
S:-80%;N-50%	11,3

Tabell 1. Prosent av Norge's areal som vil være overskredet med hensyn til både svovel og nitrogennedfall, med full forsuringseffekt av nitrogen (FAB-modellen).

	Nedfallsår	
	1985	1990
	km ²	km ²
Bare svovel	87700	71800
Svovel + nitrogen	95100	80000
Prosent forskjell	9,2	9,0

Tabell 2. Areal i Norge der tålegrensene for sterk syre er overskredet for to nedfallsscenarioer. Overskridelsene er beregnet utfra bare svovelnedfall og fra svovelnedfallet og dagens nitratavrenning.

tålegrenseoverskridelser for tilførsler av sur nedbør, dagens overskridelse (SSWC-modellen) og potensiell overskridelse (FAB-modellen). Hvilken metode en velger, avhenger av tilgang på nødvendige data, og hva en ønsker å bruke de beregnede tallene til. Skal en vurdere reduksjonskrav generelt, vil det være riktigst å bruke FAB-modellen, men skal en beregne f. eks. kalkbehov for å nøytralisere dagens tålegrenseoverskridelser kan en ikke bruke FAB-modellens resultater. For det formålet bruker en SSWC-modellen.

FAB-modellen

Bruker vi FAB-modellen ved forskjellige nedfalls-situasjoner, får vi resultater som angitt i tabell 1. Idag er det bare 8 % av overskredet areal som skyldes bare N-nedfall. I år 2010 med dagens N-nedfall vil dette arealet øke til 50% av det overskredne areal. Dette illustrerer klart hvilken betydning reduksjoner av N-nedfallet vil ha i fremtiden.

SSWC-modellen

Vi har beregnet tålegrenseoverskridelsene for bare svovel og for svovel pluss dagens nitrogenoverskridelse med SSWC-modellen (tabell 2). Vi har videre sammenliknet overskredet areal ved bruk av svovelnedfallet i 1983-1987 (1985 i tabellene) og i 1988-1992 (1990 i tabellene) (Tørseth og Pedersen 1994). Overskredet areal er klart avhengig av hvilket nedfallsscenario en bruker. 1990-nedfallet var lavere enn nedfallet i 1985 som en følge av den første svovelprotokollen (30%-klubben) som ble undetegnet i 1985. Spesielt er nedfallreduksjonene store på Østlandet, og følgelig reduseres overskridelses-arealene her. Forskjellen mellom overskredet areal for bare svovel og for både svovel og nitrogen er bare på ca. 9 %. Dette skyldes at nitrogen i stor grad bare øker overskridelsen der tålegrensen allerede er overskredet for svovel.

I beregningene av tålegrenseoverskridelser, kalkbehov og ved alle andre

Fylke	Areal	Overskredet areal km ²		Overskredet areal Prosent	
		1990	2010	1990	2010
Østfold	4070	3020	390	74,3	9,6
Oslo/Akershus	5390	3120	0	57,9	0,0
Hedmark	27320	6620	550	24,2	2,0
Oppland	25190	1560	22	6,2	0,1
Buskerud	14940	4442	410	29,7	2,7
Vestfold	2180	1340	0	61,5	0,0
Telemark	15230	9950	3920	65,3	25,7
Aust-Agder	9170	9040	5880	98,5	64,1
Vest-Agder	7290	7290	6700	100,0	91,9
Rogaland	9150	7710	5600	84,3	61,2
Hordaland	15340	9700	5890	63,2	38,4
Sogn og Fjordane	18380	6880	3190	37,4	17,3
Møre og Romsdal	14940	185	0	1,2	0,0
Sør-Norge	168600	70860	32500	42,0	19,3
Nord-Norge	152100	9180	2050	6,0	1,3
Hele Norge	320700	80040	34550	25,0	10,8

Tabell 3. Overskridelser av tålegrenser for to scenarier, dagens nedfall (1990) og nedfallet fra den nye svovelprotokollen (2010).

beregninger har vi valgt å bruke nedfallsverdiene for 1988-1992 (1990 i tabeller og figurer) som representative for dagens situasjon. Vår offisielle tålegrensedatabase er beregnet utfra disse dataene.

Tabell 3 viser overskredet areal fylkesvis og for hele Norge ved bruk av nedfallet av svovel og nitrogen i 1990 og i år 2010. Fylkene fra Telemark til Hordaland er de mest påvirkede, men også deler av Østlandet har store over-

skridelser. Når den nye svovelprotokollen får full effekt, vil imidlertid problemene på Østlandet bli meget små i forhold til i dag, mens Sørlandet og deler av Vestlandet fortsatt vil ha store forsøringsproblemer.

Disse beregningene er basert på at nitrogen-nedfallet og at nitrogenlekkasjen ikke endrer seg fram mot år 2010 og med svovelbelastningen, dvs. at nitrogenlekkasjen er i likevekt med belastningen idag og i år 2010.

Fylke	Kalkkostnader mill. kr./år		Kalkbehov Tonn/år		Kalkbehov Prosent av totalt	
	1990	2010	1990	2010	1990	2010
Østfold	5,7	0,38	7090	470	1,7	0,3
Oslo/Akershus	4,7	0	5690	0	1,3	0,0
Hedmark	7,8	0,44	9730	550	2,3	0,3
Oppland	2,0	0,04	2490	15,6	0,6	0,0
Buskerud	7,3	0,44	9140	540	2,1	0,3
Vestfold	2,5	0	3120	0	0,7	0,0
Telemark	28,0	6,6	35040	8280	8,2	5,1
Aust-Agder	45,8	17,3	57250	21580	13,4	13,3
Vest-Agder	57,6	29,9	71940	37380	16,9	23,0
Rogaland	63,4	29,4	79230	36790	18,6	22,7
Hordaland	76,6	31,8	95800	39750	22,5	24,5
Sogn og Fjordane	38,8	13,6	48510	16990	11,4	10,5
Møre og Romsdal	0,7	0	880	0	0,2	0,0
Sør-Norge	341	130	425890	162346	100,0	100,0

Tabell 4. Oversikt over fylkesvise og totale kostnadsbehov, kalkbehov og prosentvis fylkesfordeling

Kalking

Tallene for tålegrenseoverskridelsene vist ovenfor kan brukes til å beregne kalkbehov og kalkkostnader. Ved å summere overskuddsyren for alle områder der tålegrensen er overskredet (f.eks. et fylke eller en region) kan en beregne det totale årlige avsyringsbehovet og deretter kalkbehovet. Både overskridelser pga svovel og nitrogen tas med i disse beregningene.

Ved å avsyre overskridelsen av tålegrensen med kalk bringes vannkvaliteten opp til den kritiske verdi av den valgte kjemiske parameter (ANC_{limit}). Når en kalker endrer ikke dette på svo-

veldeposisjonen, slik at en fortsatt vil kunne ha samme aluminiummobilisering i jorda som tidligere. Derfor må en sørge for at den faktiske ANC-verdi en ønsker å oppnå er slik at sannsynligheten for at giftig aluminium er tilstede er liten. Dette tas i vare ved å bruke et depositionsavhengig buffertillegg. Beregning av kalkbehov er gjort på det grunnlaget. Resultatene fra beregningene er gitt nedenfor.

Beregningene av kalkbehov er utført for ulike utslippsscenarioer, der redusert nedfall direkte påvirker avsyringsbehovet. Det er imidlertid viktig å påpeke at redusert nedfall ikke umiddelbart

behøver å gi bedret vannkvalitet. De kalkbehovene som refererer seg til år 2010 vil derfor være minimumsestimater. Den videre vannkvalitetsovervåkingen vil gi oss mer kunnskap om dette.

Beregningene gjør det mulig å komme fram til kalkbehovet i de forskjellige regioner, fylker og større vassdrag i dag og sannsynlig kalkbehov i framtida. Det kan være nyttig for miljøforvaltningen å kjenne til den sannsynlige utviklingen i forsureningssituasjon og kalkbehov. Det vil bedre mulighetene for langtidsplanlegging både på nasjonalt og regionalt nivå.

Vi vil anta at laksevassdragene må betraktes noe strengere fordi laksen har høyere krav til vannkvalitet enn innlandsauren. Det foregår for tiden forsknings- og utredningsarbeid i Norge på dette området.

Prognosene for effekten av den nye svovelprotokollen er basert enten på dagens nitrogenlekkasje eller på den maksimalt mulige lekkasje. Det er meget usikkert hvilken vei nitrogenlekkasjen vil ta fremover. Det er ikke sikkert at redusert N-deposisjon vil føre til redusert N-lekkasje på lang tid. Det er nitrogenets rolle i forsureningssammenheng som er den mest usikre faktoren idag. Det er meget viktig å få avklart dette elementets rolle i framtida, slik at prognoser for den videre forsureningsutvikling blir mer pålitelige.

Det er viktig å være oppmerksom på at de beregninger og prognoser som er presentert her er basert på de metoder og de opplysninger som er tilgjengelige idag. Det vil alltid skje en utvikling, og

når det foreligger endringer i metodikk og datagrunnlag vil disse bli brukt for å oppdatere beregningene.

Konklusjoner

Som følge av de internasjonale avtalene om reduksjoner i utslipp av svovel er forsureningssituasjonen i Norge i ferd med å bli bedre. Dette viser data fra det nasjonale overvåkingsprogrammet for langtransportert forurenset luft og nedbør (Skjelkvåle og Henriksen 1997). Det er registrert en tendens til bedring i vannkvaliteten siden 1990 over hele de forsurede områdene i Norge. Prognosene for utviklingen videre som følge av den nye svovelprotokollen viser imidlertid at det fortsatt vil være store forsureningsskader på Sørlandet og Vestlandet, mens forsureningsskadene i det meste av Østlandet vil bli små hvis alle landene oppfyller sine forpliktelser om reduksjoner i svovelutslipp. Disse konklusjoner er basert på at nitratlekkasjen ikke øker utover det som lekker idag.

Resultater fra det tverrinstitusjonelle forskningprosjektet "Nitrogen fra fjell til fjord" tyder på at vi kan ha en "nitrogen metning" i deler av Sør-Norge, dvs. at det kommer mer nitrogen med nedbør og tørravsetninger enn jord og vegetasjon behøver. Det er vel kjent at vi normalt har fosforbegrensning i overflatevann. Det er også en veletablert "sannhet" at generelt er nitrogen begrensende i norsk skogsjord. Produktiv skog dekker imidlertid bare 22% av Norges areal, mens nær 50% av Norges areal ligger over tregrensen. I de områdene på Sørlandet der vi har en høy nitratlekkasje idag er det imidlertid ikke

skog. Det er derfor naturlig å spørre om det kan være fosforbegrensning også i jorda i disse områdene. Hvis dette er tilfelle, må det legges stor vekt på å få redusert nitrogendeposisjonen i fremtiden.

Resultatene så langt viser at det nytter å arbeide for internasjonale avtaler, og vi kan dokumentere at slike avtaler hjelper. En kan nok si idag at vi er på riktig vei, men det må flere og bedre avtaler til for å få bukt med forsøringsproblemene på Sørlandet, og disse avtalene sitter nok vesentlig lenger inne enn svovelavtalen fra 1994. Det arbeides for tiden med en ny nitrogenprotokoll om reduserte utslipp av nitrogenoksider i Europa basert på tålegrenseprinsippet. Det vil sannsynligvis by på store problemer å få godtatt og gjennomført en slik avtale. For Norges vedkommende vil dette bety vesentlige inngrep i bl.a. bil og båttrafikken, noe som kan bli vanskelig å håndtere politisk.

Litteratur

Dahl, K. 1921. Undersøkelser over ørretens utdøen i det sydvestlige Norges fjeldvand. Norsk Jeger- og Fiskerifor- enings Tidsskrift, 49: 249-267.

Dahl, K. 1926. Vandets surhetsgrad og dens virkninger paa ørretengel. Tidsskrift Norske Landbruk nr. 33; 232-242..

Dahl, K. 1927. The effect of acid water on trout fry. Salmon and trout Magazine. 46, 35-43.

Dannevig, A. 1959. Nedbørens innflytelse på vassdragenes surhet og på fiskebestand. Jeger og Fisker 3: 116-118.

Hagen, O. og Norby, G. 1967. Noen

undersøkelser i forbindelse med problemet surt vann og dets betydning for laks- og ørretbestanden på Sørlandet. Jakt, fiske og friluftsliv, 6; 250-255.

Henriksen, A., Hindar, A., Hessen, D.O. and Kaste, Ø. 1997. Contribution of nitrogen to acidity in the Bjerkreim river in southwestern Norway. *Ambio* 26. (under trykking).

Henriksen, A., Hindar, A., Styve, H., Fjeld, E. og Lien, L. 1996. Forsuring av overflatevann - beregningsmetodikk, trender og motiltak. Norsk institutt for vannforskning (NIVA.RAPPORT LNR 3528-96.). Naturens Tålegrenser, Rapport nr. 81

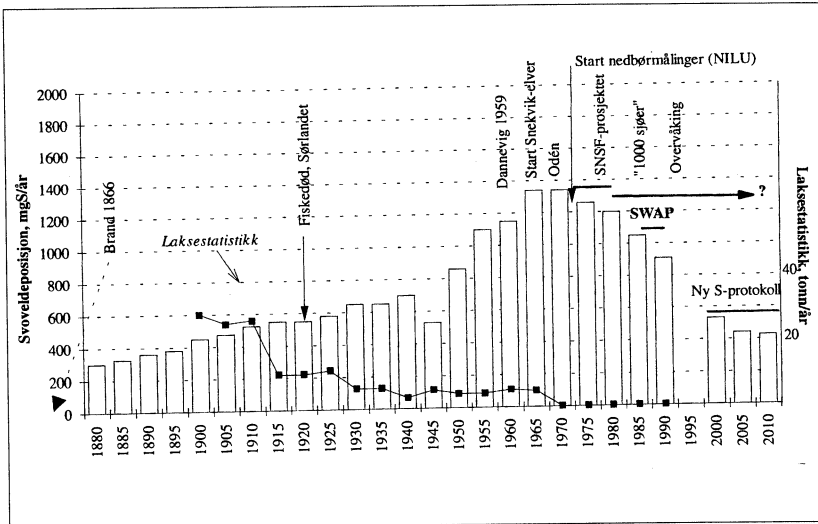
Huitfeldt-Kaas, H. 1922. Om aarsaken til massedød av laks og ørret i Frafjordelven, Helleelven og Dirdalselven i Ryfylke høsten 1920. Norsk Jæger og Fiskefor. 37-44.

Kaste, Ø., Henriksen, A. and Hindar, A. 1997. Retention of atmospheric-derived nitrogen in subcatchments of the Bjerkreim river in south-western Norway. *Ambio* 26. (under trykking).

Mylona, S. 1993. Trends in Sulphur Dioxide Emissions, Air Concentrations and Depositions of Sulphur in Europe since 1880. Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP) EMEP/MSC-W Report 2/93. Meteorological Synthesizing Centre - West, The Norwegian Meteorological Institute, Oslo.

Posch, M., Kämäri, J. Forsius, M., Henriksen, A. and Wilander, A. 1997. Exceedance of critical loads for lakes in Finland, Norway and Sweden: Reduction requirements for acidifying nitrogen

FORSURINGSUTVIKLINGEN I NORGE KORTVERSJONEN



Beregnet historisk deposisjon av oksidert svovel i EMEP-rute 17,20 (Birkeseruten) (Mylona 1993). Prognosene for deposisjonene som følge av den nye svovelprotokollen er også gitt. Enkelte sur nedbør-historiske begivenheter er markert. Laksestatistikken for 7 Sørlands-elver er også markert i figuren.

Mylona (1993) har gjennomført beregninger av den historiske utviklingen av svovel-deposisjonen i det såkalte EMEP-rutesystemet. Disse rutene er alle like store (150x150 km). Allerede i 1880 var S-tilførslene til den EMEP-ruten som dekker Birkeseruten på Sørlandet anslått til ca. $0.3 \text{ gS/m}^{-2}/\text{år}^{-1}$. Aksepterer en disse deposisjonsverdiene er det klart at tålegrensene for sur nedbør må ha vært overskredet i store deler av Sør-Norge allerede i slutten av forrige århundre, men at effektene først gjorde seg gjeldende flere tiår senere. Ser en utviklingen i laksestatistikken i 7 Sørlandselver sammen med utviklingen i svoveldeposisjonen i Birkeseruta, er det en klar sammenheng. Effektene aksellererte etter siste verdenskrig da svoveldeposisjonen økte sterkt.

and sulfur deposition. Environmental Management 21(2): 291-304.

Skjelkvåle, B.L. og Henriksen, A. 1997. Forsuring i norske vannforekomster - status og trender. Vann nr. 2/1997.

Sunde, S.E. 1926. Surt vand dræper laks- og ørretyngel. Norsk Jeger- og Fiskeriforenings Tidsskrift, 55; 1-4..

Sweden's Case Study 1971. UN Conference on the Human Environment in Stockholm 1972.

Tørseth, K. & Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988- 1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.

UN/ECE. 1994. Protocol to the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution on Further Reduction of Sulphur Emissions. Document ECE/EB.AIR/40 (in English, French and Russian). New York and Geneva, 106 pp.

UN/ECE.1996. Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and geographical areas where they are exceeded. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Berlin, Germany.144 pp, 4 Annexes.

Boks 2

Naturens Tålegrenser *Begreper og definisjoner*

Naturens Tålegrense (eng: *Critical Load/Levels*): Et mål for tilførsel av forurensninger som, utfra dagens viten, ikke fører til skadelige effekter på følsomme komponenter i økosystemet slik som reduserte fiskebestander/fiskedød og skogskader/skogsdød.

Miljømål (eng: *Target Load*): Nasjonalt fastsatte belastningsverdier som tar tekniske, økonomiske, sosiale og politiske hensyn og som kan ligge over eller under naturens tålegrense. Ideelt sett skal miljømålene reduseres til tålegrensen eller lavere over tid.

Syrenøytraliserende kapasitet (*Acid Neutralizing Capacity, ANC*): En løsnings evne til å nøytralisere tilførsler av sterke syrer.

Reseptor: Et økosystem av interesse som potensielt kan påvirkes av atmosfæriske tilførsler av svovel og nitrogen (F.eks. jord, grunnvann, overflatevann).



Biologisk indikator(er): Organisme(r) eller populasjoner som er følsomme overfor kjemiske endringer som følge av endringer i atmosfæriske tilførsler av svovel og nitrogen (f.eks. trær, fisk, bunndyr).

Kritisk kjemisk verdi: Den høyeste verdi for en kjemisk komponent eller kombinasjon av komponenter som ikke frembringer en skadelig respons hos en biologisk indikator (f.eks. ANC, pH, Al/Ca forholdet).

Tålegrense-definisjonen gir oss en ramme for å lage tallmessige anslag for de belastninger som kan gi uønskede skader. Slike anslag kan være basert på flere forskjellige metoder, og valget av metode avhenger i stor grad av den aktuelle **reseptor** og tilgang på relevante data for beregningene. Effekten på **biologiske indikatorer** brukes for å identifisere skader på økosystemer i ferskvann. En indikator er en organisme med en kjent følsomhet for den gitte forurensningskomponent eller indirekte effekter av komponenten. Levende organismer er gode "integratorer" for de kjemiske forholdene i deres omgivelser. De kan derfor registrere effekter av kjemiske komponenter som endrer seg raskt og som kan være vanskelige å måle med tradisjonelle målemetoder. De metoder som brukes for å beregne tålegrenser for tilførsler av sterke syrer til ferskvann bruker kjemiske data og er basert på antagelser om de vannkjemiske forholdene før den antropogene forsurenningen fant sted. **Den kritiske kjemiske verdi** er basert på de kunnskaper vi har idag om følsomme organismers toleranse overfor vann-kjemiske komponenter.