

Betydningen av sur nedbør og sur jord i innsjøkjemi

Av I. Th. Rosenqvist

I. Th. Rosenqvist er professor i Geologi ved Universitetet i Oslo.

I anledning diskusjonen mellom Wright og Sørensen («Vann 1981» Nr. 1, 2 og 3) vil jeg gjerne gi følgende kommentar:

Surheten eller rettere H^+ -konsentrasjonen i naturlige Skandinaviske overflatevann varierer med en faktor større enn 10000. Med ordet forsuring forstår en derfor ikke surhet; men *økning i surhet i løpet av en tidsperiode*. Ordet er likevel ikke så entydig som det kan synes. Når det gjelder en sjø er saken enkel. Da betyr ordet at konsentrasjonen av H^+ ioner i vannet er øket.

Når det gjelder nedbøren kan ordet bety at den samlede H^+ mengde i løpet av et år er øket. Dels kan dette skyldes at konsentrasjonen av H^+ i de enkelte nedbørsperioder er øket, dels at hyppigheter av sure nedbør-perioder er øket.

Når det gjelder jord så kan forsuring dels skyldes at den såkalte basemettingsgrad i en jord er avtatt, dvs. at en gitt vektmengde jord er blitt surere. Oftere ser man imidlertid at *mengden* av sur råhumus, førne eller myrjord innen et område har øket i løpet av en tidsperiode.

Fra de siste decennier av forrige århundrede har vi meldinger om at et stadig økende antall sjøer i Skandinavia har mistet sin fiske-fauna, samtidig med at sjøene er blitt surere.

Målinger i Europa viste at man i sentrale områder hadde meget sur nedbør

med pH 3—4. Med den voksende industri etter den annen verdenskrig syntes også denne surhet i nedbøren å bre seg ut over Europa. Det synes klart at det er forbruket av fossil brensel som er hovedårsaken til forsuringen av nedbøren.

Fra denne observasjonsrekke oppsto det en hypotese (som ble akseptert som et dogme) at det var den sure nedbøren som hadde forårsaket skader på Skandinaviske naturomgivelser. Riktignok var bekket i områder med vesentlig surere nedbør, selv i gneisområder som Schwartzwald og Odenwald, ikke forsuret.

Problemet ble fremlagt for Organisation of Economic Cooperation and Development (OECD) i 1969 av Sverige. I Norge ble forskningen på dette felt tatt opp tidlig i 1970-årene og vi fikk et prosjekt kalt SNSF-prosjektet, forkortet fra «Sur nedbørs virkning på skog og fisk. Dette prosjekt utviklet seg til et av de mest omfattende forskningsprosjekter vi har hatt i vår tid. I Stortingsproposisjon fra Miljøverndepartementet (1973) ble bevilgninger til prosjektet gitt etter miljøvernministerens forslag: «Det opprinnelige mål, å skaffe underlag for videre forhandlinger om begrensninger av SO_2 utslippet i Europa er fortsatt prosjektets hovedmål». Vi står altså her overfor såkalt «aksjonsforskning» definert ved at *målet* er gitt og forskningen går ut på å

undersøke om det finnes premisser for konklusjonen. Man glemmer at i vitenskapen kan man ikke bevise en teori.

Man kan bare illustrere den eller motbevise hypotesen. I SNSF's fagrapport nr. 6 fra 1976 levnes det ingen tvil om at det er *surheten* i nedbøren som er årsak til de forsurede innenlands ferskvannsføremønstre. Videre utvides utsagnet med to ytterligere utsagn, 1) surstøtene i elver og vann og sjøer skyldes kortvarige episodiske tilførsler av sur nedbør og 2) disse forekommer om høsten når det er sterkt surt regn, og om våren når forurensningene som har vært lagret i snøavsetningene smelter ut i smeltens første fase.

Vi hadde altså tre hypoteser som var blitt opphøyet til sannheter. Tilsynelatende forsøkte ingen å undersøke sannhetsverdiene av hypotesene ved å se om de kunne *motbevises* eksperimentelt eller ved observasjoner i naturen. Det ble derimot lagt mye arbeid i å illustrere hypotesen.

Disse observasjoner illustrerte imidlertid bedre en alternativ forklaring som ikke strider mot generell geokjemisk teori og erfaring (Rosenqvist 1977). Forklaringen er at de sure sjøer skyldes ionebytting mellom elektrolytter i vannet, som stammer fra nedbør og vitring, og sur jord. Vannet får etter få sekunder eller minutter sin H^+ konsentrasjon justert av jordprofiler. Surheten i bekker og sjøer er etter denne oppfatning bestemt av jordartene og det hydrologiske avrenningsmønster

Siden den gang har det stadig vist seg at de såkalte surstøt i bekker og elver forekommer uavhengig av nedbørens surhet, men sterkt avhengig av nedbørens intensitet. Videre har det vist seg at selv om man i et område der man vanligvis

har sur avrenning om våren, blander natrium hydroksyd ($NaOH$) til snøen slik at den smelter til vann som har pH-verdi 8,5 så er avrenningen om våren like sur som året i forveien, men den holder mer natrium (Seip 1980).

Etter hvert endret SNSF langsomt hypotesene og nå sier man at egentlig var det ikke *surheten* i nedbøren man mente, men at svovelforurensningene i nedbør var skurken. Senere har så forskergruppen omkring Arvid Skartveit og medarbeiderne i Bergen kunne påvise at et kraftig nedbør som var særlig *lite sur og særdeles fattig på svovel*, men relativt rik på natrium og klorid forårsaket et surstøt der elvevannet var ca. 7 ganger så sur som den nedbør som hadde forårsaket flommen i vassdraget (Skartveit et al. 1980).

En hver som ønsker det kan derfor ved egne observasjoner lett overbevise seg om at de to delhypoteser er feilaktige. Hovedhypotesen som nå er endret til at det er den økende svovelmengde som er årsak til forsureningen av våre elver og sjøer, er det ikke like lett å motvise, på grunn av at det ikke foreligger systematiske og knapt nok sporadiske analyser av nedbøren før siste verdenskrig. Derimot har vi både globalt og spesielt i Sverige, viktige analyser av elve- og innsjøvann i tiden 1910—1925, som viser hvor store svovelinnholdene var i tiden før siste verdenskrig. (Erikson, J. V. 1929). På basis av disse analyser kan vi danne oss et bilde av hvor meget svovelinnhold i nedbøren kan ha øket fra 1925 og utover. Vi kan også på basis av analyser av isen av Grønlands innlandsis tilbake til år 1300 vise at den nedbør som falt på Grønland, da som nå, hadde hovedmengden av sitt sulfat i form av det som betegnes (excess sulfat) (Koide et Goldberg, 1971).

Ut fra disse fakta som en hver kan etterprøve, synes det mer enn tvilsomt at det kan være økningen i surhet eller sulfatinnhold i nedbøren som er hovedårsak til den utvilsomme elveforsuringen som har funnet sted i Skandinavia.

Under kontakt-konferansen om forsuring i Jønkøping 15.—17. september 1981 ble det gjentatte ganger hevdet at enkelte sjøer i Syd-Skandinavia er blitt opptil 2 pH-enheter surere i moderne tid. Det vil si at hydrogenionekonsentrasjonen er blitt 100 ganger større. Tilsvarende skrev Seip og Tollan (1978). Selvom nå SNSF har gått noe tilbake og nå antar at vannene bare har senket pH med 0,5 til 1 enhet (SNSF, 1980), ble det i Jønkøping og av SNSF hevdet at årsaken til denne forsuring er det økede svovelinnhold i nedbøren.

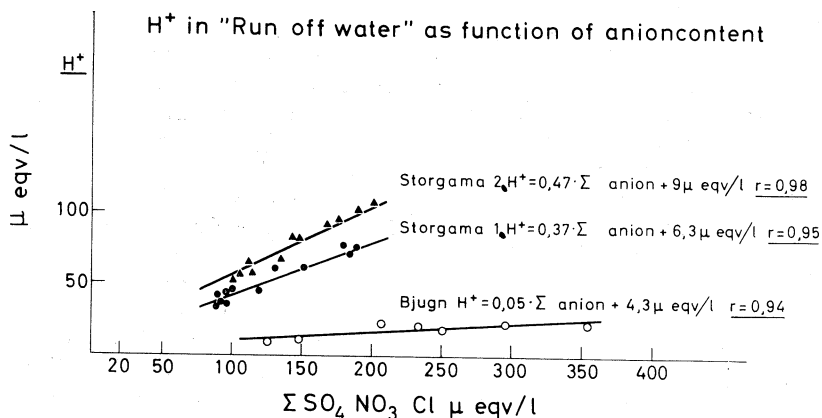
Det norske SNSF-prosjekt har vist at det eksisterer en høy signifikant korrelasjon mellom H^+ -konsentrasjon og «excess» sulfat i 471 sjøer på Sørlandet. (Brown et Sadler 1981). Den lineære regresjon for

hele dette materiale svarer til

$$H^+ = 0,225 SO_4 + 4,67.$$

Det vil altså si, at dersom excess sulfat blir fordoblet f.eks. fra 50 til 100 mikroekvivalenter pr. liter, vil H^+ -konsentrasjonen bare øke med ca. 20%. Da imidlertid excess sulfat i nedbøren består av den antropogene sulfat, som stammer fra forbrenning av fossile energibærere i Europa, og en rekke andre komponenter, ville denne regresjon bety at en halvering av svovelutslippet vil resultere i mindre enn 20% forbedring av surheten. Ved å føre inn i et diagram alle data fra Wright og Snekvik (1978), ser man at det imidlertid er en betydelig spredning på dataene, selv om regresjonen er signifikant ($r = 0,595$).

Går man til enkelte nedslagsdistrikt og studerer en enkelt bekk, finner man at regresjonen i det enkelte nedslagsdistrikt har en meget høy signifikans mellom summen av klor, sulfat, nitrat og H^+ i avrenningen (Fig. 1).



Data: Seip, Gjessing, Kamben (1979)

Figur 1. H^+ i avløpsvann (fra Bjugn, Storgamma 1 og 2) i Norge, som funksjon av innholdet av «mobile» anioner.

Denne regresjon avhenger av de biogeokjemiske forhold i nedslagsdistriktet, og er fullstendig uavhengig av surheten i nedbøren. Man ser av Fig. 1 at dersom man i *Bjugn* øker summen av klorid, sulfat og nitrat til det doble, vil dette medføre ca. 5% økning av H⁺konsentrasjonen. Dersom imidlertid de botaniske, og dermed de biogeokjemiske forhold endrer seg fra forholdene slik det er i *Bjugn*, til forholdene slik de er i *Storgamma 2*, vil man selv ved konstant elektrolyttinnhold i nedbøren, få en 11 ganger så stor surhet i avløpsvannet. Når vi pollenanalytisk kan vise at det mange steder er skjedd store forandringer i vegetasjonen de siste 200 år, synes det derfor ikke urimelig at surheten enkelte steder virkelig kan ha øket de før omtalte 10—100 ganger. Der-

imot er det helt urimelig at den kan ha øket så meget som 3—10 ganger, dersom de biogeokjemiske forhold i nedslagsdistriktet hadde forblitt konstant og bare nedbørens kjemi var endret.

Når det gjelder surheten i nedbøren er det vel ikke lenger noen vitenskapsmann som fremdeles påstår at *den* er skyld i de sure sjøer. Derimot har sulfat-teorien fremdeles mange tilhengere.

I Birkenesfeltet i Aust-Agder i Syd-Norge, som har vært undersøkt av SNSF, finner man tilnærmet motsatt korrelasjon mellom svovelinnholdet i innsjøene og innsjøenes surhet. Gunnar G. Raddum (1980) har sammenstillet de kjemiske forhold for 10 sjøer i Birkenesområdet. Alle sjøer ligger over høyeste marine grense, og alle ligger i gneisområder.

Gjennomsnittsverdi

	H ⁺	SO ₄
De fire sureste sjøer	24 mikroekv.	96 mikroequiv ¹
De fem minst sure sjøer	1.7 »	136 »

I det nylig utkommede arbeide av D. J. A. Brown og K. Sadler (1981) pekes det på at fiskestatus i sjøer på Sørlandet i Norge, som ligger høyere enn 200 m over havets nivå, er *uavhengig* av sulfatkonsentrasjonene. Det finnes ingen tendens til bedre fiskestatus i de sjøer som har lavt sulfatinnhold, og konklusjonen er at reduksjon av sulfat vil ikke resultere i noen dramatisk forbedring av fiskeriene.

På tross av at alle naturvitenskapelige observasjoner sier noe annet, er det mange som stadig gjentar at det *er svovel som er skyldig* i fiskens utdøing, og det *er den sure nedbøren som er årsaken*.

Det synes her som om grupper forskere prøver å «gjenta seg fram til en sannhet». Det virker nesten umulig å argumentere mot det dogne som en gang er kommet inn i litteraturen. Man har følelsen av at man står overfor et credo quia impossibile.

Det er karakteristisk for denne holdning at da det ble framsatt en alternativ forklaring på innsjøforsuring, undersøkte ikke SNSF om det muligens kunne være noe galt med deres eget resonnement. Derimot satte de i gang et stort apparat for å finne, eller konstruere feil ved den alternative forklaring (SNSF 1977). Et forhold som burde vekke ettertanke finner man etter langvarig kraftig regn-

vær i heiområdene. Dersom man samlet opp overflateavrenningen langs en linje på 100 m, skal det vanskelig gjøres å finne et område der H⁺ konsentrasjonen ikke varierer med en faktor på 2—3 eller mer, og ofte vil avrenningen være surere enn nedbøren.

En reduksjon av surhet eller sulfat i nedbøren vil bare i liten utstrekning forbedre pH-forholdene i sjøene dersom man fortsatt har de samme biogeokjemiske forhold i nedslagsdistriktet. Pollenanalytiske og andre data viser at biogeokjemiske forhold i de forsurede områder vi har undersøkt, har undergått betydelig forandring i de senere år, (Høeg 1980).

Et eksempel på et sterkt forsuret område der det var utstrakt beitebruk og bra med fisk i det 19. og begynnelsen av det 20. århundrede, men der fisken gikk sterkt tilbake eller døde ut etter 2. verdenskrig, ligger vest for Notodden i Telemark fylke i Norge. Her har en oftest meget tynt organogent sur jord på berggrunn av kvartsitt.

I min bok «Sur jord surt vann» pekte jeg på den endring som har funnet sted i beitebruk og skogsdrift, særlig i de områder der man nå har observert forsuring. Jeg pekte videre på at det var den sure råhumus som særskilt oppsto der en hadde lyng og barskog som samvirket med nedbørens ioner og ga sur avrenningsvann. For å kontrollere dette forhold foreslo jeg under kontaktkonferansen i Jönköping, 15—17. september 1981, at man i Sverige såvel som i Norge, burde undersøke avrenningsforholdene i distrikter med sterk forsuret vann, men legge hovedvekt på samtidig analyser av bekker som kommer fra områder der det har vært sterk skogbrann i relativt ny tid (fra 5—25 år før undersøkelsen). Man bør sammenligne surheten i vann som

renner fra slike områder der ennå ikke har fått stor barskog eller lyng med råhumusdekke, med vann i ikke-brente områder.

Som eksempel på et slikt område har vi Heståsen ved Lifjell i Norge, ca. 59° 30'N 3° 10'Ø. Her var det en omfattende skogbrann der også humusdekket brant, 23. august til 28. august 1976. Området ligger på kvartsitt, og hadde en sparsom vegetasjon av bartrær og lyng.

Det brente området ble begrenset til ca. 4 km². Brannområdet strekker seg fra ca. 350 m over havet til 500 m over havet. Området er nå bevokst med små bjørk, bringebær og geitrams. Etter det kraftige høstregn i slutten av september og begynnelsen av oktober i år, ble de tre bekker som renner ut fra det brente området i Heståsen, prøvetatt 5. oktober 1981. Videre tre tilsvarende bekker, to km øst for det brente området. I dette siste området som hadde høyde fra 375—476 m, var også undergrunnen kvartsitt og vegetasjonen var den samme som opprinnelig eksisterer på Heståsen, nemlig furu, gran og lyng.

Bekkene fra Heståsen hadde:

T 5°C og pH 5,8; 7,2 og 6,8.

Bekkene fra det utbrente området hadde:

T 5—7°C og pH 4,5; 4,3 og 3,9

SO₄ innholdet i de forskjellige bekker varierte endel mellom 4,4 og 7,4 mg/l men var nær den samme, nemlig 5,8 mg/l i bekk med pH 4,3 og 5,1 mg/l i bekk med pH 6,8.

Det kan ikke være tale om at det har vært forskjell i nedbør på de to områder. Hele forskjellen er gitt av at store deler

av det opprinnelige sure humusdekke på Heståsen ble oksydert, mens det ligger tilbake i områdene som ikke var brent. Når man finner surhet som er 200 ganger høyere i en bekk enn i en annen, (pH 3,9 og 7,2) og begge disse bekker drenerer kvartssittområder uten innslag av basiske bergarter eller kalksteiner, og det var gått 5 år og 2 mndr. siden brannen, slik at de lettløselige komponenter fra den alkaliske aske for lenge siden var utvas-

ket, syntes det rimelig å konkludere at surheten i nedbøren er uten stor betydning, men at det er surheten i jorden som bestemmer avrenningen.

I Froland i Aust-Agder brant i 1975, 208 da. åpen furuskog ved Hakkfjeld. Bergarten: en lys gneis. Nåværende vegetasjon i brente område: bjørk, asp, geitrams, gras, mose. Etter regn 19. oktober 1981, viste to avrenningsløp:

H+ 4 mikro ekv./l, konduktivitet 17 mikro S/cm

H+10 mikro ekv./l, konduktivitet 21 mikro S/cm

Utenfor brannområdet ga avrenningen:

H+52 mikro ekv./l, konduktivitet 21 mikro S/cm

H+32 mikro ekv./l, konduktivitet 25 mikro S/cm

H+52 mikro ekv./l, konduktivitet 23 mikro S/cm

I Birkenes i Aust-Agder brant i 1965, 130 da. ved Bellandsvannet. Bergart: lys genis. Nåværende vegetasjon: småfuru, lyng, mose, gras.

Etter regn 19. oktober 1981 viste to avrenningsløp:

H+32 mikro ekv./l, konduktivitet 24 mikro S/cm

H+15 mikro ekv./l, konduktivitet 22 mikro S/cm

Utenfor området:

H+ 126 mikro ekv./l, konduktivitet 28 mikro S/cm

H+ 63 mikro ekv./l, konduktivitet 26 mikro S/cm

Et annet poeng er, i hvilken grad er surhet i jorden en sekundær følge av surhet i nedbøren. Dette poeng har vært lite eller ikke undersøkt av jordbunnsforskere. Det nytter her ikke med å peke på tidsmessig korrelasjon. Det er mange samvirkende faktorer, og en korrelasjon er ikke identisk med kausalitet.

I Syd-Norge, og vel også i Sverige, produserer naturlige biogeokjemiske prosesser ofte 2—3 k mol H⁺ pr. ha. år og i myrområdet 3—7 k mol H⁺ pr. ha. år.

Den mengde H⁺ som kommer med nedbør og tørr-avsetning, er i Syd-Norge av størrelsesorden 0,5 k mol H⁺ pr. ha. år. I sentrale deler av Tyskland er mengden av atmosfærisk tilført H⁺ 3—4 ganger så høy som i Syd-Norge, mens den naturlige H⁺ produksjonen er beregnet til 2,9—5,5 k mol pr. ha. år (Ulrich, Mayer og Khanna 1981), og i Sudbury i Canada var nedbørens H⁺ 10—20 ganger så høy som i Syd-Norge (Dillon et al. 1977). Analyser av en lang rekke vitringsprofiler i Numedal indikerte at det siden istiden

(9000 år) har sipret 1,4 k mol H⁺ pr. ha. ned gjennom profilene pr. år.

Mesteparten av de organiske syrer som produseres, brytes igjen ned til CO₂ og vann, men noe akkumuleres i jorden. Man kan bestemme den samlede mengde utbytbar H⁺-ioner i et surt podsolprofil, eller myr, og finner da oftest at denne mengde svarer til flere hundre eller flere tusen år av den nåværende sure nedbør. Dette kan ikke skyldes den sure nedbør, da H⁺-ionene ikke *både* kan bli i jordprofilen og samtidig renne ut i bekkene og drepe fisken.

Vi vil gjerne skåne og bevare vår natur og vårt miljø, men for å gjøre det må vi skille mellom mål og midler om vi skal nå vårt mål.

Summary

The concept acidification involves increase in acidity during a certain time period. In case of a lake, this means that the H⁺ concentration in the water has increased. In case of precipitation it may mean that the concentration of H⁺ has increased in the single rainfall, or that the frequency of acid periods has increased. In the case of soils, acidification may either be due to a decrease in the base saturation, or more frequently that the amount of acid soil, humus or peat has increased within a given area.

Acidification of rivers and lakes is

caused by ion exchange between electrolytes in rain and melt water and the ground in any given catchment area. There exist strongly significant correlations between H⁺ in the run off water and the sum of bases corresponding to strong acids. (Fig. 1). The correlation factors depend upon the hydrolic flow pattern and the soil chemistry and is independent upon the pH of the precipitation. The biogeochemistry of the catchment area is the dominating factor, whereas the content of anions in the precipitation is of secondary importance. Changes in the botanical and consequently in the biogeochemical conditions, may be overwhelming.

This is illustrated by analysis of run-off-water from three areas where intensive forest fires had oxidized great parts of the original vegetation and humus cover and three adjacent areas of the same geological composition.

The investigated areas has burned respectively 5, 6 and 16 years ago. In the first case, run-off-water found to be upto 2000 times more acid in a neighboring creek outside the burned area. In the second case, the difference in acidity was found to be up to 13 times more acid outside the burned area, and in the last case the ratio was found to be about 8. The sulphate content in the creeks varied somewhat but in the acidities were independent of the sulfate content in the run-off-water.

LITTERATURLISTE

- 1) *Brown, D. J. A. and K. Sadler* 1981. The chemistry and fishery status of acid lakes in Norway and their relationship to European sulphur emission. Journ. Applied Ecology 1981.
- 2) *Dillon, P. J. et al.*, «Acid lakes in Ontario, Canada. Their extent and response to base and nutrient addition, in «Jubilee Symposium on Lake Metabolism and Lake Management» (Uppsala, 1977).
- 3) *Erikson, J. V.* 1929. Den kemiske denudasjonen i Sverige. Med. från Statens Meteorologiska Anstalt. Band 5 no. 3 p 1—96.
- 4) *Høeg, H. J.* 1980. En pollenanalytisk undersøkelse i Storgamafeltet i Nissedal. SNSF J. R. 57/81.
- 5) *Koide, M. and Goldberg, E. D.* 1971. Atmospheric Sulphur and Fossil Fuel Combustion. Journ. Geophys. Research pp 6589—6596.
- 6) *Miljøverndepartementet*, 1973. Stortingsproposisjon nr. 171. Om videreføring av forskningsprosjektet «Sur nedbørs virkning på skog og fisk» 1974/75.
- 7) *Raddum, G. G.* 1980. Fysisk-kjemiske data fra utvalgte innsjøer i Sør-Norge. SNSF TN 55/80.
- 8) *Rosenqvist, I. Th.* 1977. «Sur jord — Surt vann». Ingeniørforlaget, Oslo, 123 pp.
- 9) *Seip, H. M. and Tollan, A.* (1978). Acid precipitation and other possible sources for acidification of rivers and lakes. Sci. Tot. Environment 1978 pp 253—270.
- 10) *Seip, H. M., Andersen, S., Halsvik, B.* 1980. Snowmelt studied in a mini catchment with neutralized snow. SNSFJ.R. 65/80.
- 11) *Seip, H. M., Gjessing, E. T., and Kamben, H.* 1979. Importance of the composition of the precipitation for the pH in runoff — Experiments with artificial precipitation on partly soil covered «mini-catchments». SNSF-project, IR 47/79, 34 p.
- 12) *Skartveit, A., Halsvik, B., Meisingset, E.* 1980. Nedbør tilførselen av sjøsalter og avrenning av ioner i nedbørsfelt på Vestlandet. SNSF J. R. 63/80.
- 13) *SNSF*, 1976. Fagrapport nr. 6. Impact of acid precipitation on forest and Freshwater Ecosystems in Norway.
- 14) *SNSF*, 1977. Sur nedbør og noen alternative kilder som årsak til forsurening av vassdrag. ISB IV 82—90153-46-5.
- 15) *SNSF*, 1980. Acid precipitation — effects on forest and fish. Final report FR 19/1980.
- 16) *Ulrich, B., Mayer, R., Khanna, P. K.*, 1981. Chemical changes due to acid precipitation in a loessderived soil in Central Europe. Soil Science 1980. Vol. 130, pp 193—199.
- 16) *Wright, R. F. and Snekvik, E.* 1978. Acid precipitation — chemistry and fish population in 700 lakes in Southernmost Norway. Verh. Intern. Verein f. Limnologie 20 pp 765—775.