

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0-80039

Sulitjelma - effekter av luftforurensninger på innsjøer

23. oktober 1980

Saksbehandlere : Merete Johannessen
Richard F. Wright

Instituttetsjef : Kjell Baalsrud

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse:
Postboks 333, Blindern
Oslo 3

Brekke 23 52 80
Gaustadalleen 46 69 60
Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-80039
Undernummer:
Løpenummer: 1238
Begrenset distribusjon: Åpen


Rapportens tittel: Sulitjelma - effekter av luftforurensninger på innsjøer.	Dato: 23. oktober 1980
	Prosjektnummer: 0-80039
Forfatter(e): Merete Johannessen Richard F. Wright	Faggruppe:
	Geografisk område: Nordland
	Antall sider (inkl. bilag): 34

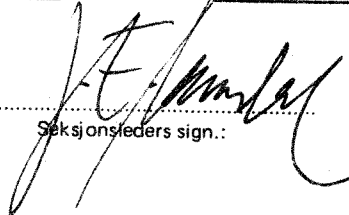
Oppdragsgiver: A/S Sulitjelma Gruber	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:
I april 1980 ble det tatt snøprøver fra 16 lokaliteter og vannprøver fra 29 lokaliteter i et området innen 10 km avstand fra smelteverket ved Sulitjelma. Snøprøvene synes ikke å være nevneverdig påvirket av luftforurensninger fra smelteverket. Et av de undersøkte vannene er i dag forsuret, sannsynligvis både på grunn av atmosfæriske utslipp og på grunn av tilrenningen fra svovelkilder i nedbørfeltet. En empirisk forsureningsmodell indikerer videre at dersom de atmosfæriske utslipp fordobles, kan eventuelt ytterligere 5 av de 29 undersøkte innsjøer bli truet av forsurening i en slik grad at fiskebestanden blir truet. I dag er 5 av de 29 vann fisketomme eller har dårlig med fisk, og dette er antagelig p.g.a. høyt kobberinnhold i vannet.

4 emneord, norske:
1. Smelteverket
2. Vannforsuring
3. Sur nedbør
4. Innsjøer

4 emneord, engelske:
1. Base metal smelter
2. Acid precipitation
3. Acidification
4. Lakes


Prosjektleders sign.:


Seksjonsleders sign.:


Instituttstjefers sign.:

ISBN 82-577-0320-6

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	5
SAMMENDRAG	6
1. INNLEDNING	7
2. BESKRIVELSE AV OMRÅDET	9
3. LUFTFORURENSNINGER	11
4. SNØUNDERSØKELSER - METODER OG RESULTATER	13
5. VANNUNDERSØKELSER - METODER OG RESULTATER	16
5.1 Geologi og vannkjemi	16
5.2 Atmosfæriske tilførsler og vannkjemi	17
5.3 Forsurning	22
5.4 Tungmetaller	26
5.5 Vannkjemi og fisk	26
5.6 Svenske undersøkelser	29
REFERANSER	30
VEDLEGG 1. Kjemisk sammensetning av snøprøver	31-32
VEDLEGG 2. Kjemisk sammensetning av vannprøver	33-34

TABELLFORTEGNELSE

	Side
1. Tørravsetningshastighet for SO ₂ -gass og partikulært SO ₄ ved ulike substrater.	12
2. Gjennomsnittsverdier med standard avvik for konsentrasjon av sure komponenter i snøprøver tatt 12-16 april 1980 i Sulitjelmaområdet, og i snøprøver fra lokaliteter i Nordland fylke tatt i mars 1975 og mars 1976 (blokk 122-129 i Gjessing et al. 1976, Henriksen et al. 1976).	14
3. Berggrunnsgeologi i hver av de 29 undersøkte innsjøenes nedbørfelt samt kalsiumkonsentrasjon i vannet.	18
4. Estimert bidrag fra atmosfæriske kilder og fra berggrunnen til sulfatinnholdet i 29 innsjøer i Sulitjelmaområdet (sjøsprøyt, nord-atlantisk bakgrunn, lokale kilder) og nedbørfeltet (geologisk).	20

FIGURFORTEGNELSE

	Side
1. Beliggenheten av de stasjoner fra NIVAs regionale snø- og vannundersøkelser i 1974-78 som er benyttet ved beregning av nordatlantiske bakgrunnsnivåer for SO_4^* belastning.	8
2. De 29 undersøkte innsjøer og deres fiskebestand.	10
3. Vindrose for Sulitjelma for perioden februar 1975 - januar 1977. (Data fra Norsk Institutt for Luftforskning.)	12
4. Forholdet mellom anioner og kationer for forurensningskomponenter i snø ved Sulitjelma 1980, snø i Nordland fylke i 1975 (Gjessing et al. 1976) og i 1976 (Henriksen et al. 1976) og årsmiddel nedbør i Sør-Norge 1974-75 (Wright og Henriksen 1978).	15
5. Innsjøenes konsentrasjon av "ikke-marin" SO_4 . (Isolinjene er trukket skjønnsmessig etter innsjøene med minste SO_4^* i hvert område).	21
6. Forsuringsdiagram for regionale innsjøer i Nordland 1975 (se figur 1). Diagrammet viser at innsjøene ikke er forsuret.	23
7. Forsuringsdiagram for innsjøer i Sulitjelmaområdet. Av innsjøene ligger en i overgangsfasen i dag. Dessuten er innsjøenes beliggenhet i diagrammet uten dagens lokale utslipp og eventuelt med fordoblede utslipp estimert.	25
8. Prosentvis fordeling av innsjøer etter metallkonsentrasjon for to datasett: Over X-aksen 15 vann i Sulitjelmas nedbørfelt. Under X-aksen 74 vann fra Nord-Norge tatt i 1975.	27
9. Innsjøenes kobberkonsentrasjon.	28

FORORD

Undersøkelsen av vannene rundt Sulitjelma kom i stand etter initiativ fra Sulitjelma Gruber A/S. Formålet med undersøkelsen var å kartlegge eventuelle effekter av SO₂-utslippene i Sulitjelma på vannkvaliteten i innsjøene i omegnen. De fleste innsjøene har i dag god fiskebestand og man ønsket å se om bestandene kunne bli truet i fremtiden.

Den lokale fiskeforening har stått for innsamling av prøvene etter anvisning fra NIVA. Fiskeforeningens medlemmer gjorde en god innsats slik at prøvetakingen gikk som planlagt til tross for dårlige værforhold.

På NIVA har Merete Johannessen hatt ansvaret for planlegging og innsamling av data, mens Richard F. Wright har bearbeidet resultatene.

SAMMENDRAG

I april 1980 ble snø- og vannprøver tatt fra henholdsvis 16 og 29 lokaliteter i Langvatns nedbørfelt. Området ligger innen 10 km fra smelteverket ved Sulitjelma, som slipper ut svovel og tungmetaller til luften.

Snøprøvene viste stort sett lave konsentrasjoner av forurensningskomponenter og synes derfor ikke å være særlig påvirket av utslippene fra smelteverket.

De fleste av de undersøkte innsjøer har relativt høye konsentrasjoner av kalsium, magnesium og bikarbonat, fordi de ligger i områder med kalkholdige bergarter som lett forvitrer. Slike vann er relativt godt bufret mot eventuelle tilførsler av sterk syre.

Ved hjelp av et forsyningsdiagram som er utarbeidet etter data fra over 1000 innsjøer i Sør-Norge kan dagens forsurening i de 29 vann vurderes. Bare ett av vannene (Øvre Sølvvatn) synes i dag å være påvirket av de lokale atmosfæriske svovelutslippene, slik at fisken får dårlige levevilkår. I tillegg får vannet antagelig ytterligere syre fra svovelkis i nedbørfeltet.

Den empiriske forsyningsmodellen indikerer videre at dersom dagens atmosfæriske utslipp fordobles, vil i alt 6 av de 29 undersøkte innsjøene kunne bli forsuret i en slik grad at fiskebestanden blir truet.

Fem av de undersøkte vann (Storelvv., Annav., Øvre Sølvv., Skourtajr. og Langv.) er i dag fisketomme eller har dårlig bestand. Årsaken er mest sannsynlig de høye konsentrasjoner av tungmetaller, spesielt kopper og sink, som disse vannene har, og spesielt for øvre Sølvvatn er årsaken en kombinasjon av surt vann og høye metallkonsentrasjoner. Ytterligere 3 vann (Fiskeløsv., Skoddefjellsv. og Sourjusjr.) har så høyt kobberinnhold at det kan forklare den reduserte fiskebestanden i disse vannene.

En svensk undersøkelse fra Råvenjavreområdet viser at vann på svensk side av grensen ikke er påvirket av sur nedbør.

1. INNLEDNING

I forbindelse med gruvevirksomhet og smelting av malm slipper Sulitjelma Gruber A/S ut svovel og tungmetaller til både vann og luft. På vannsiden har NIVA siden 1973 etter oppdrag fra selskapet og Salten Kraftsamband A/S undersøkt effekter av de direkte utslipp til Langvassdraget (NIVA 1976, 1977 og 1980). Ved siden av de direkte utslippene til vann kan også utslippene til luft indirekte påvirke vannkvaliteten og derved fiskeforholdene. Svoveldioksyd og svovel- og tungmetallholdige partikler som slippes ut til luft vil før eller siden bli vasket ut med nedbør eller avsatt som tørravsetninger fra atmosfæren. SO_2 -gassen oksyderes og hydrolyseres til svovelsyre enten under transport i luft eller etter at den er avsatt på bakken. I begge tilfeller blir sluttproduktet svovelsyre som kan føre til surt avrenningsvann og forsure innsjøer hvis belastningen er større enn nedbørfeltets evne til å nøytralisere syre. Dette er i dag tilfelle på store deler av Sørlandet. Her har langtransporterte svovelforurensninger ført til forsurening av vann og utrydding av fisk i tusenvis av sjøer.

Det best kjente tilfelle med forsurening av innsjøer og utrydding av fisk som følge av SO_2 -utslipp er fra Sudbury, Ontario, i Canada (Beamish 1976). Her slipper smelteverk ut ca. 2 mill. tonn SO_2 pr. år og innsjøene i nærheten av smelteverket har pH-verdier helt ned til 3-4, og fisken forsvant for mange år siden.

I 1980 foreslo Sulitjelma Gruber A/S en undersøkelse av innsjøer i Langvassdragets nedbørfelt for å vurdere i hvilken grad verkets utslipp til atmosfæren kunne tenkes å påvirke vannkvaliteten. Undersøkelsen ble lagt opp etter mønster av de landsomfattende regionale vann- og snøundersøkelser som NIVA har utført årlig i perioden 1974-78 for SNSF-prosjektet (Forskningsprosjektet Sur Nedbørs Virkning på Skog og Fisk) (Wright et al. 1977, Wright og Dovland 1978). I Sulitjelmaområdet omfatter undersøkelsen 29 vann i Langvatns nedbørfelt samt snøprøver fra 16 lokaliteter (figur 1 og 2).

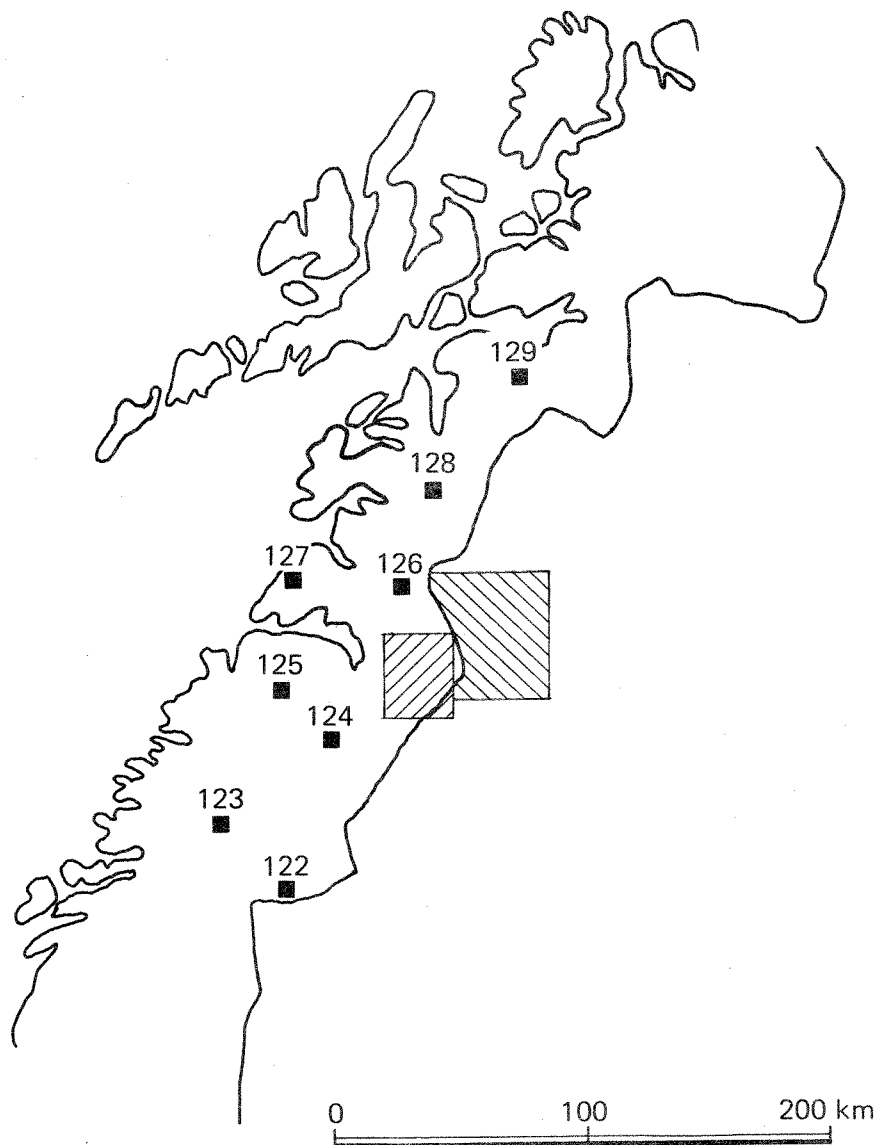


Fig. 1. Beliggenheten av de stasjoner fra NIVAs regionale snø- og vannundersøkelser i 1974-78 som er benyttet ved beregning av nordatlantiske bakgrunnsnivåer for SO_4^* belastning.

2. BESKRIVELSE AV OMRÅDET

Sulitjelma ligger ved Langvatn, ca. 150 m o.h. i et smalt, dypt dalføre som går øst-vest. Fjelltraktene ligger på 600-1000 m o.h. på alle sider. De fleste av de 29 undersøkte innsjøer ligger på fjellet innen et 300 km² stort område som drenerer til Langvatn (figur 2). Nord for Sulitjelma ligger isbreen Blåmandsisen som avgir smeltevann til enkelte av de undersøkte innsjøene.

De geologiske forholdene i Sulitjelmaområdet er heterogene og er beskrevet i en monograf av Vogt (1927). Dalføret skjærer gjennom et stort gabbro massiv og under dette finnes forekomster av kopper-holdig pyritt-malm. Mot øst og sør-øst finnes det metamorfiske bergarter, for det meste skiferarter. Fjellet sør-vest for Sulitjelma består av granitt, mens fjellet lenger syd mot Balvatnet går over i skifer igjen, her med noe innblanding av kalkholdige bergarter.

I de fleste av vannene drives sportsfiske og stedets fiskeforening står for systematisk utsetting av yngel. Ifølge opplysninger fra lokal-kjente blir 12 av de 29 undersøkte vannene karakterisert som svært gode fiskevann. 8 vann har noe tynnere bestand og 5 er fisketomme eller har svært dårlig bestand. For 3 vann foreligger ingen opplysninger. For ett av de 4 vann med dårlig eller ingen bestand, Langvatn, er årsaken sannsynligvis direkte utslipp av slam og surt metallholdig gruvevann (NIVA, 1980).

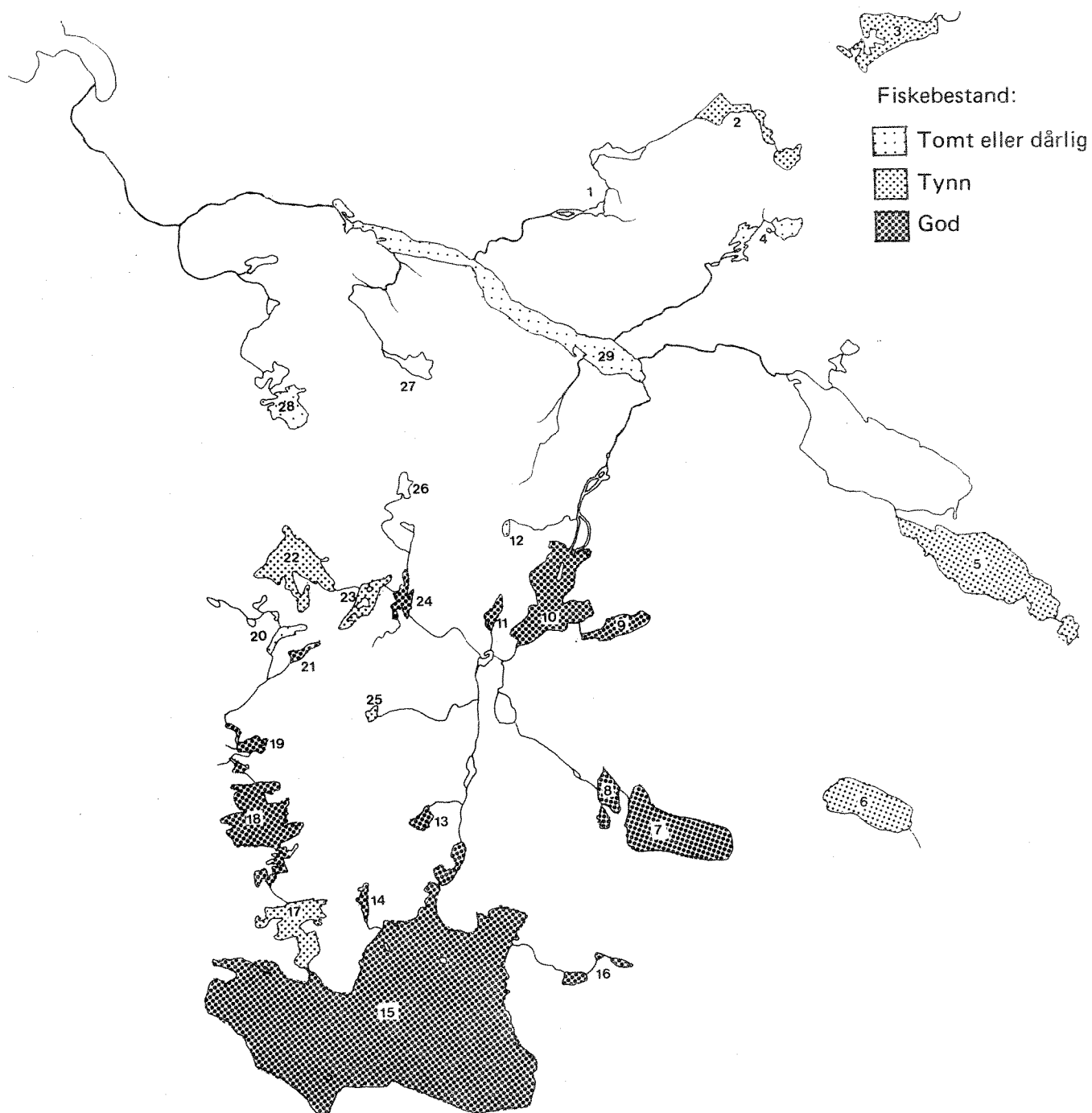


Fig. 2. De 29 undersøkte innsjøer og deres fiskebestand.

3. LUFTFORURENSNINGER

Sulitjelma Gruber A/S slipper ut ca. 19000 tonn SO_2 /år fra smelteverket. I tillegg kommer store mengder partikler som inneholder sulfat (SO_4) og tungmetaller som Cu, Pb og Cd. SO_2 -utslippene utgjør ca. 20 % av Norges samlede SO_2 -utslipp, men sammenlignet med store smelteverk som f.eks. Sudbury, Canada (2 mill. tonn SO_2 /år), utgjør utslippene fra Sulitjelma bare 1 %. Ved Sulitjelma er meteorologiske forhold ofte slik at SO_2 -utslippene fører til høye konsentrasjoner av både SO_2 -gass og SO_4 -partikler i luften nede i dalen (Sivertsen 1973).

Det er vanskelig å si hvor mye av utslippene som når innover fjellområdene rundt dalen. Vindmålinger ved Sulitjelma viser at den vanligste vindretningen er øst-vest langs dalen (figur 3). Hvordan luftforurensningene sprer seg på fjellene rundt dalen er ikke kjent.

I det undersøkte området vil tørravsetning sannsynligvis bli den viktigste måten svovel fra smelteverket avsettes på. Avstanden og transporttiden blir så kort at relativt lite av SO_2 -gassen vil bli oksydert og hydrolysert og derved bidra til nedbørens surhet i det undersøkte området.

Med tørravsetning forstås både gravimetrisk avsetning og avsetning ved filtrering av luften gjennom vegetasjon o.l. Avsetningshastigheten er sterkt avhengig av substratets natur. Tørravsetning av SO_2 og SO_4 på snøflate foregår svært sakte (ca. 0,1 cm/sek.) (Dovland 1976), men vesentlig fortere på vegetasjonsdekke (ca. 0,7 cm/sek. i en typisk norsk skog) (Dovland 1980, Dollard og Vitols 1980) (Tabell 1).

Dette tyder på at det lokale atmosfæriske bidraget av sulfat til innsjøenes sulfatkonsentrasjon hovedsakelig vil være forårsaket av SO_2 -gass og SO_4 -partikler som avsettes på vegetasjon og jord i nedbørfeltene i den snøfrie del av året.

I og med at tungmetallene også finnes i partikulært materiale som slippes ut av smelteverket, vil tørravsetning av tungmetallene følge tørravsetning av SO_4 .

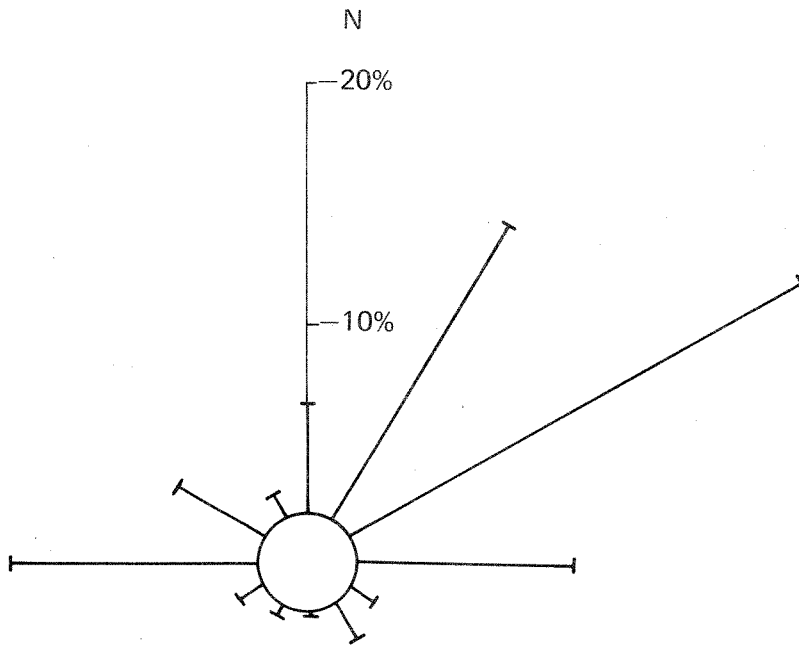


Fig. 3. Vindrose for Sulitjelma for perioden februar 1975 - januar 1977. (Data fra Norsk Institutt for Luftforskning.)

Tabell 1. Tørravsetningshastighet for SO₂-gass og partikulært SO₄ ved ulike substrater.

Substrat	Avsetn.hastighet cm/sek.		Referanse
	SO ₂ -gass	SO ₄ -part.	
Snø	0,1	0,1	Dovland 1978
Gress	0,8-1,0	0,1	Garland 1978
Skog	0,7	0,7	Dollard 1980, Dollard og Vitols 1980

4. SNØUNDERSØKELSER - METODER OG RESULTATER

Snøprøver fra 16 lokaliteter ble tatt 12-15 april 1980. Fiskeforeningen i Sulitjelma sto for prøveinnsamlingen etter instruks fra NIVA. Ved hver lokalitet ble det tatt en vertikal integrert prøve av snømassen fra topp til bunn. Prøven ble tatt med et tilspisset pleksiglassrør med indre diameter 12 cm. Den samme metodikk ble benyttet ved de landsomfattende snøundersøkelsene 1974-77 (Wright og Dovland 1978). Snøprøvene ble oppbevart i plastposer av polyetylen og smeltet dagen etter innsamling. Smeltevannsvolumet ble målt og videresendt til NIVAs kjemilaboratorium for analyse. Analyseprogrammet omfattet 10 hovedkomponenter på samtlige prøver og 4 tungmetaller på 7 utvalgte prøver. Wright og Henriksen (1978) og Wright og Dovland (1978) gir analysemetodene. Analyseresultatene er gitt i Vedlegg 1.

Snøakkumuleringskart fra Meteorologisk institutt viser at snømengdene i mars 1980 var omlag 50-60 % av normalen. Videre var det relativt mildt vær i uken forut for prøvetaking, og det er derfor mulig at det har foregått noe avsmelting ved de mest lavtliggende lokaliteter.

Snøprøvene fra Sulitjelmaområdet i 1980 viste stort sett lave konsentrasjoner av forurensningskomponenter og hadde ikke høyere verdier enn det som i snø ellers i Nordland fylke viste i 1975 og 1976. Disse dataene ble innsamlet som et ledd i de landsomfattende snøundersøkelsene NIVA utførte i 1975 og 1976, hvor prøver ble tatt fra uberørte lokaliteter statistisk tilfeldig spredt i Norge (Wright og Dovland 1978) (Tabell 2).

Den gjennomsnittlige H^+ -konsentrasjonen for de 16 snøprøvene fra Sulitjelmaområdet var 11 $\mu\text{eq}/\text{l}$, som tilsvarende pH 4,9. Dette er omtrent det samme nivå som prøvene fra Nordland viste (pH 5,0-5,2) og må betraktes som tilsvarende det nordatlantiske bakgrunnsnivå. Teoretisk vil ren nedbør ha pH 5,6 på grunn av likevekt med luftens CO_2 , men langtransporterte forurensninger fra Europa eller Nord Amerika fører til at pH-nivået i nedbør fra Atlanteren er noe lavere.

Konsentrasjonene av "ikke marin" sulfat (SO_4^*) er heller ikke høye i snøen. Denne ikke-marine sulfat er beregnet ut fra observerte sulfat-

konsentrasjoner fratrukket bidraget fra sjøsprøyt. Dette er igjen beregnet fra konsentrasjonene av sjøvannsindikatorerne klorid eller magnesium og konsentrasjonsforholdet mellom disse komponenter og sulfat i sjøvann.

Snøen ved Sulitjelma i 1980 synes derfor ikke å være særlig påvirket av SO_2 -utslippene fra smelteverket, til tross for de relative store mengder SO_2 som er i luften ved Sulitjelma. Dette fremgår bl.a. av figur 4 som viser konsentrasjonene av forurensningskomponenter i snø fra Sulitjelma og andre landsdeler. Forklaringen kan ligge i at tørravsetning av SO_2 -gass og SO_4 -holdige partikler foregår svært sakte på snøoverflater, slik at forurensningene blir spredt og fortynnet over store områder vinterstid. Lave konsentrasjoner av H^+ og SO_4^* kan også skyldes avsmelting fra snødekket, fordi slike ioner vil bli transportert ut av snødekket med det første smeltevannet, og konsentrasjonen av slike komponenter går da ned i den gjenværende snømassen (Johannessen og Henriksen 1978). Avsmelting vil imidlertid også føre til urimelig lave saltkonsentrasjoner i snøen. Når avstanden fra kysten tas i betraktning synes ikke snøprøvene fra Sulitjelma å være preget av avsmelting, muligens med unntak av prøven fra Storelvvatn.

Tabell 2. Gjennomsnittsverdier med standard avvik for konsentrasjon av sure komponenter i snøprøver tatt 12-16 april 1980 i Sulitjelmaområdet, og i snøprøver fra lokaliteter i Nordland fylke tatt i mars 1975 og mars 1976 (Blokk 122-129 i Gjessing et al. 1976, Henriksen et al. 1976).

		Antall prøver	µeq/l			
			H^+	NH_4	NO_3	SO_4^*
Sulitjelma	1980	16	11 ± 4	2 ± 1	4 ± 2	9 ± 4
regional	1975	14	7 ± 3	2 ± 1	3 ± 1	10 ± 6
regional	1976	8	8 ± 2	2 ± 1	2 ± 1	11 ± 4

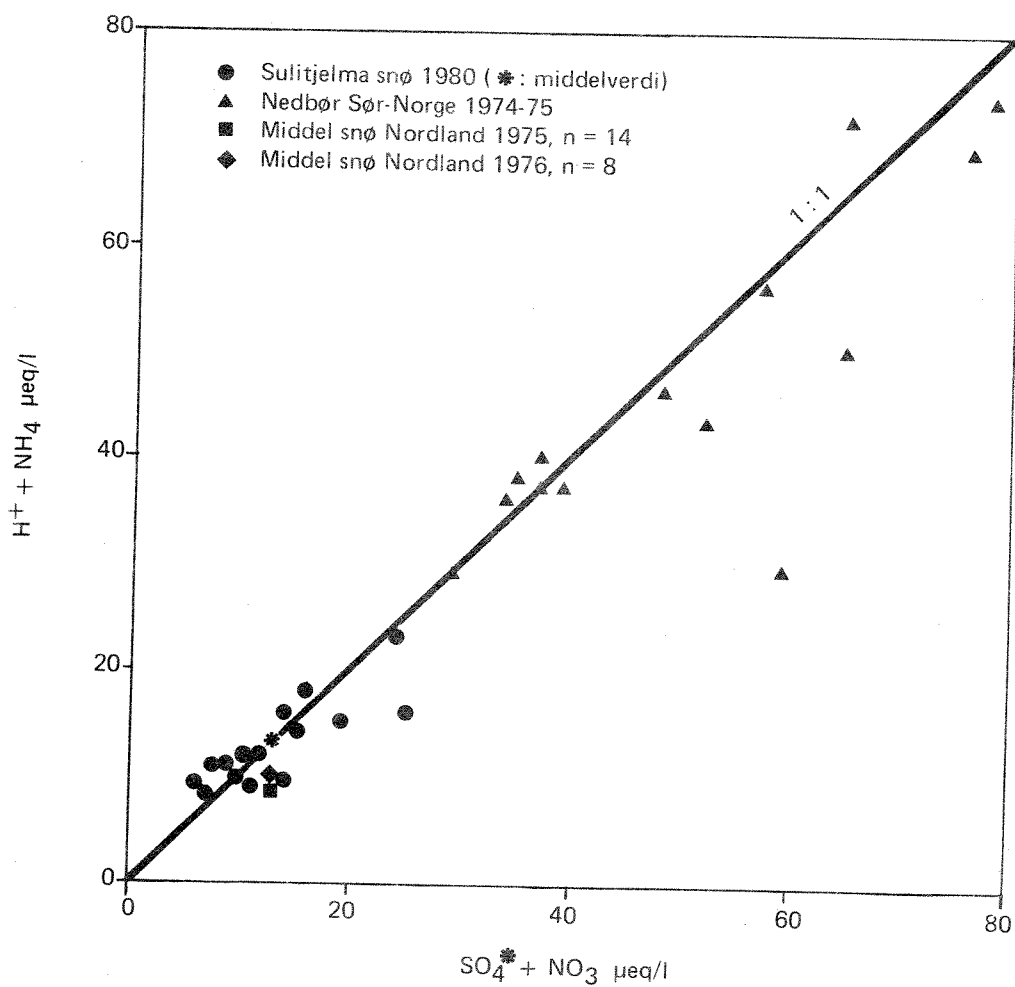


Fig. 4. Forholdet mellom anioner og kationer for forurensningskomponenter i snø ved Sulitjelma 1980, snø i Nordland fylke i 1975 (Gjessing et al. 1976) og i 1976. (Henriksen et al. 1976) og årsmiddel nedbør i Sør-Norge 1974-75 (Wright og Henriksen 1978).

5. VANNUNDERSØKELSER - METODER OG RESULTATER

Vannprøver fra 29 innsjøer i nærheten av Sulitjelma (figur 2) ble tatt 12-16 april 1980. Fra hvert vann ble det tatt en overflateprøve ved 1 meters dyp og en bunnprøve fra ca. 2 meter over bunnen. Igjen sto fiskeforeningen for prøvetakingen etter instruks fra NIVAs kjemilaboratorium og 13 parametre ble bestemt etter rutinemetoder for ferskvann. For 15 utvalgte prøver ble også analysert fire tungmetaller. Analysemetoder er gitt ved Wright og Henriksen (1978) og Henriksen og Wright (1978). Analyseresultatene er tabulert i Vedlegg 2. Vinterstid varierer vannkvaliteten lite over tid og dataene for de enkelte vann er derfor lett sammenlignbare.

I hver innsjø hadde overflateprøven og bunnprøven omtrent den samme kjemiske sammensetningen, og dette er vanlig for slike oligotrofe norske innsjøer om vinteren. De to prøvene fra hvert vann kan derfor betraktes som duplikatprøver. I den videre diskusjonen her vil resultatene fra disse overflateprøvene bli benyttet.

5.1 Geologi og vannkjemi

De geologiske forhold i et vanns nedbørfelt er en viktig faktor som influerer på vannets kjemiske sammensetning. En annen viktig faktor er nedbørens sammensetning. Innsjøer som ligger i områder med lett forvitrede kalkholdige bergarter har vanligvis relativt høye konsentrasjoner av kalsium, magnesium og bikarbonat, høye pH-verdier (pH over 7), og er buffret mot eventuelle tilførsler av sterk syre fra atmosfæren. På den annen side, har innsjøer i områder med granittiske eller kvartsrike bergarter som forvitrer sakte, lave konsentrasjoner av kalsium, magnesium og bikarbonat og pH er under 7. Slike innsjøer med bløtt vann er svakt buffret og er dermed følsomme overfor eventuelle tilførsler av sterk syre. Over store deler av Sørlandet dominerer slike granittiske bergarter og her har i dag de fleste innsjøene blitt forsuret og mistet fiskebestanden som følge av sur nedbør.

Den vesentligste delen av kjemisk forvitring foregår i jordsmonn som er blitt utviklet fra berggrunnen eller fra løsmasser etter den siste istiden.

Den mineralogiske sammensetning for løsmassene er ikke alltid lik den for berggrunnen under, spesielt i glasierte områder med heterogen berggrunnsgeologi. Når geologiske kart over løsmassens mineralogi ikke foreligger, har det vist seg hensiktsmessig å bruke berggrunnsgeologi som en god første estimat for det mineralogiske forhold i nedbørfeltene.

I Sulitjelmaområdet finnes det både granittisk berggrunn (syd-øst for Sulitjelma på Staalberget) og kalkholdige bergarter som Baldoaire-avdelingen med Skaitiskifren (syd for Sulitjelma). Den kjemiske sammensetningen av innsjøer gjenspeiler disse forskjellige berggrunnstyper. Spesielt er kalsium en typisk berggrunnsparameter, etter som forvitring er den dominerende kilden for vannets kalsiuminnhold (tabell 3). De to vann som har granittiske nedbørfelt, Skourtajr. (nr. 28) og Fiskeløsvatn (nr. 22), har meget lave kalsiumkonsentrasjoner (0,6-0,7 mg/l), mens vannene på kalkholdige skifer har over 2 mg/l Ca. Kalsiuminnholdet i disse områder varierer imidlertid sterkt fra vann til vann, noe som kanskje gjenspeiler den heterogene mineralogien i disse skiferområdene.

Sulfatkonsentrasjonene i innsjøer i Sulitjelmaområdet kan også være påvirket av de geologiske forhold i nedbørfeltet. Sulfat kan tilføres vann ved forvitring av svovelholdig materiale som f.eks. jern- eller koppersulfider, og derfor har avrenningsvann fra steder med malmforekomster ofte høyt sulfatinnhold og til dels også høye konsentrasjoner av tungmetaller.

5.2 Atmosfæriske tilførsler og vannkemi

Atmosfæriske tilførsler, nedbør og tørravsetninger, er viktige kilder for sulfat i Sulitjelmaområdet. Denne sulfaten kommer både fra sjøsprøyt (sjøvann som blir hvirvlet opp i luften og transportert innenlands) og fra antropogene kilder, herunder både langtransporterte luftforurensninger fra Europa eller Nord Amerika og fra den lokale kilde, smelteverket. Både atmosfæriske tilførsler og geologiske forhold er således med på å bestemme innsjøenes sulfatinnhold.

Tabell 3. Berggrunnsgeologi i hver av de 29 undersøkte innsjøenes nedbørfelt samt kalsiumkonsentrasjonen i vannet.

Bergart	Vatn nr.	Navn	Ca mg/l
granitt	28	Skourtajr.	0,60
	22	Fiskeløsv.	0,67
granitt + kalkholdige skifer	23	Nennajr.	0,96
	21	N. Sølvs.	4,25
	20	Ø. Sølvs.	0,59
	19	Ø. Rosniv.	6,69
	18	N. Rosniv.	5,40
	17	Fuglev.	4,81
	15	Balv.	3,44
	29	Langv.	4,10
	kalkholdige skifer	27	Villumv.
26		Lillyv.	7,07
25		Skoddefjellv.	9,37
24		Beritv.	3,50
16		Ø. Saulov.	18,1
14		Mariav.	3,73
13		Dødv.	7,15
12		Annav.	3,81
11		Saaki	9,86
10		Kjellv.	3,33
9		Calalvesjr.	2,08
8		N. Dorrov.	2,25
7		Ø. Dorrov.	2,34
6		Mellemv.	1,93
5		Muorkejr.	1,43
4		Storeelv. (Duoldagopjr.)	2,26
3		Sorjusjr.	2,27
2	Småsorjusv.	0,97	
gneiss + gabbro	1	Rupsi	4,50

Ut fra de vannkjemiske data fra de 29 vann i Sulitjelmaområdet er det mulig å estimere bidragene fra hver enkelt av disse 4 kilder grovt (tabell 4). Sjøvannsbidraget beregnes ut fra vannets kloridinnhold med den antagelse at Cl kun kommer fra sjøsprøyt og at forholdet mellom sjøvannsulfat og klorid er det samme som forholdet mellom sulfat og klorid i sjøvann. I og med at kloridinnholdet i disse vannene er gjennomgående lavt, er det estimerte sjøsprøytbidraget til sulfatinnholdet også lavt, maksimalt 7 $\mu\text{eq/l}$ eller ca. maks. 20 % av det observerte sulfatinnhold.

Tilførselen av antropogen sulfat kan estimeres ut fra kartet over "ikke-marin" SO_4 , dvs. observert sulfatinnhold fratrukket sjøvannsbidraget i de 29 undersøkte vann. Hvis det antas at enkelte av de 29 vann i Sulitjelmaområdet ikke inneholder sulfat fra geologiske kilder, kan det trekkes isolinjer for det maksimale atmosfæriske bidrag til "ikke-marin" SO_4 i området (figur 5). For hvert enkelt vann blir forskjellen mellom observert "ikke-marin" SO_4 og antropogen SO_4 (estimert fra isolinjene), den geologisk betingede SO_4 , som er forårsaket av forvitring i nedbørfeltet.

Av det antropogene SO_4 -innhold i vann, gitt ved isolinjene på figur 5 utgjør langtransporterte forurensninger ca. 20 $\mu\text{eq SO}_4/\text{l snø}$ (Wright og Dovland 1978) og lokale utslipp resten.

Oppsplitting av de observerte sulfatkonsentrasjonene i vann etter kilder er estimert etter disse metoder og gitt i tabell 4. Disse grove beregninger gir et uttrykk for størrelsen av de enkelte sulfatkilder ved hvert vann.

Bidraget fra lokale antropogene kilder til sulfatinnholdet i vann med denne beregningsmåte varierer fra 0 $\mu\text{eq/l}$ ved de høyest og fremst beliggende innsjøer som Øvre Saulovatn (nr. 16) og Skourtajr. (nr. 28) til 50-60 $\mu\text{eq/l}$ (2,5-3,0 mg/l) i innsjøer nærmest smelteverket som Rupsi (nr. 1) og Annavatn (nr. 12). Likeledes varierer det geologiske bidraget til vannenes sulfatinnhold fra 0 i en rekke innsjøer til opp til 130 $\mu\text{eq/l}$ (6,5 mg/l) i Annavatn (nr. 12) (tabell 4). Det synes rimelig at det geologiske bidrag blir høyt for Annavatn, etter som vannet mottar avrenning fra gamle gruveområder.

Tabell 4. Estimert bidrag til sulfatinnhold i 29 innsjøer i Sulitjelma-området fra atmosfæren (sjøsprøyt, nord-atlantisk bakgrunn, lokale kilder) og nedslagsfeltet (geologisk).

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Vatn nr.	Vatn navn	Totalt målt	Atmosfæriske Sjøsprøyt	tilførsler Bakgrunn	Lokalt	Nedslagsfeltet
1		124	3	20	60	41
2		49	4	20	25	0
3		89	4	20	20	45
4		56	3	20	33	0
5		60	5	20	35	0
6		39	4	20	15	0
7		54	5	20	29	0
8		54	5	20	29	0
9		49	4	20	25	0
10		58	7	20	10	21
11		68	6	20	42	0
12		208	6	20	50	132
13		60	7	20	20	13
14		45	6	20	10	9
15		62	7	20	10	25
16		8	3	20	0	0
17		45	5	20	10	10
18		49	5	20	10	14
19		62	5	20	10	27
20		62	3	20	10	29
21		39	6	20	13	0
22		33	5	20	8	0
23		37	5	20	12	0
24		41	5	20	16	0
25		31	6	20	5	0
26		33	4	20	9	0
27		39	5	20	14	0
28		20	5	20	0	0
29		131	5	20	40	71

Beregningsgrunnlag. Kolonne 4: Sjøsprøyt $SO_4 = C1 (\mu\text{ekv/l}) \times 1,03$.
 Kolonne 5: Bakgrunns $SO_4 = 20 \mu\text{ekv/l}$.
 Kolonne 6: Lokalt SO_4 estimert fra isolinjer på fig. 5.
 Kolonne 7: SO_4 fra nedslagsfeltet = rest = (3)-(4)-(5)-(6).

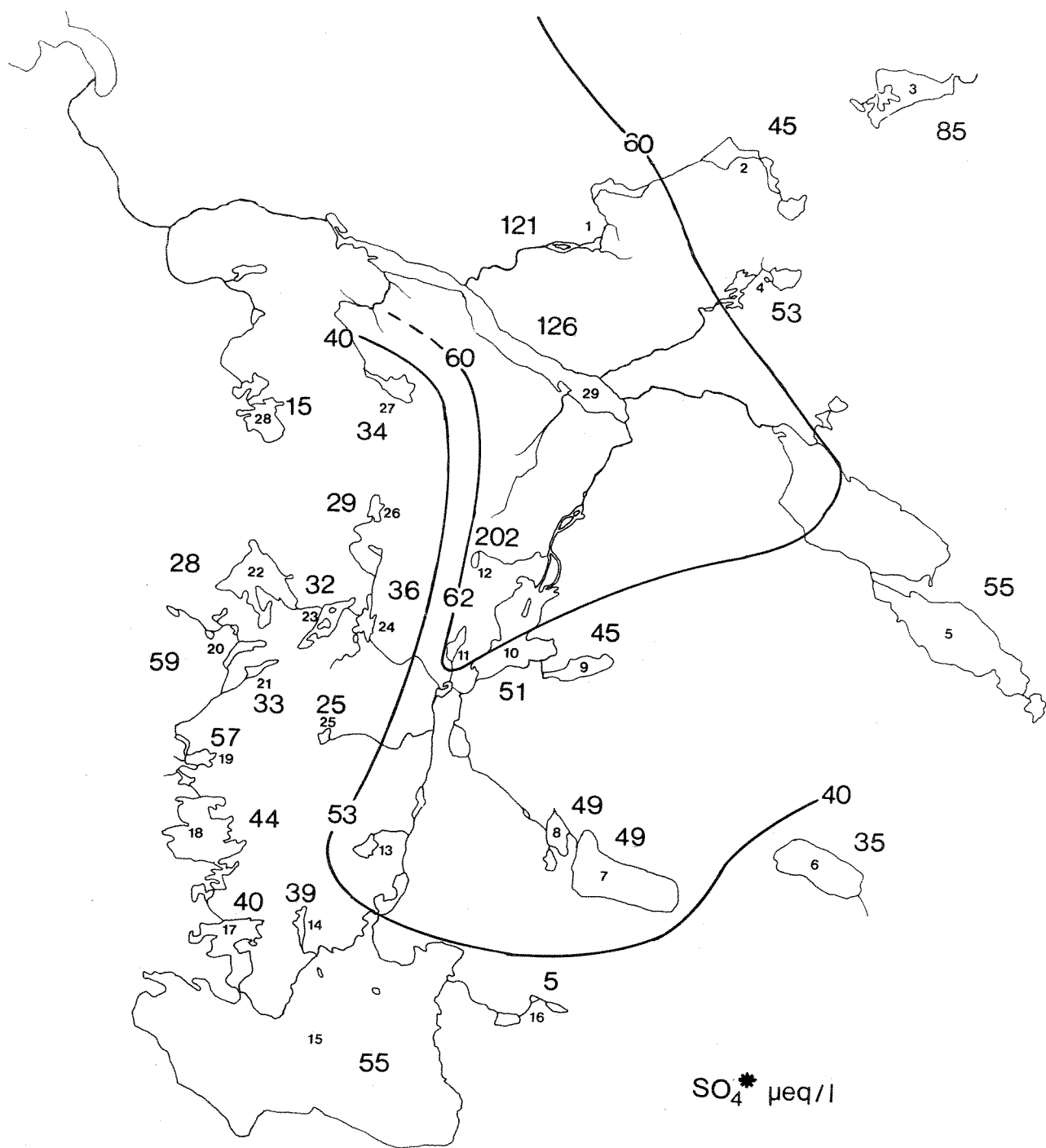
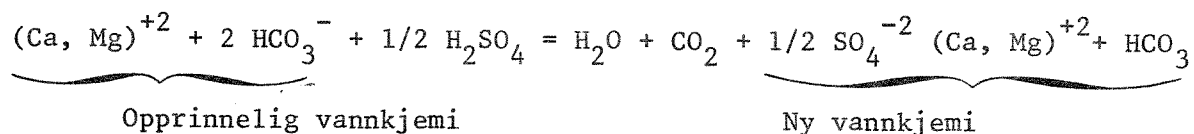


Fig. 5. Innsjøenes konsentrasjon av "ikke-marin" SO₄*. (Isolinjene er trukket skjønnsmessig etter innsjøene med minste SO₄* i hvert område).

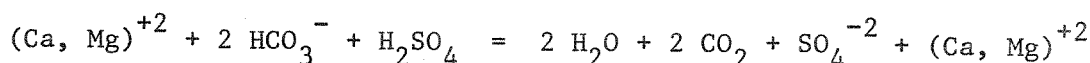
5.3 Forsurning

Tilførsler av sterk syre som svovelsyre (H_2SO_4) til et vann og dets nedbørfelt kan føre til forsurning av vannet. Hovedanion i upåvirkede oligotrofe innsjøer er som regel bikarbonat, og dette blir erstattet med sulfat ved forsurning.

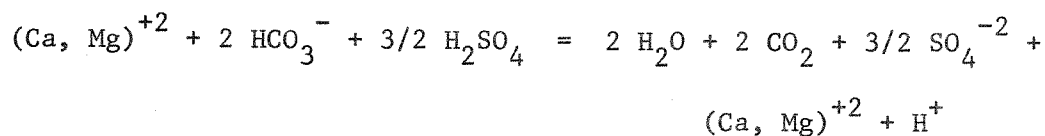
Forsurningsreaksjonene kan betegnes som en stor skala titrering i tre faser (Henriksen 1980). I den første fasen er tilførselen av syre mindre enn vannets bikarbonat og pH holder seg da fremdeles over 6.



Hvis tilførselen kommer opp i samme størrelse som bikarbonatinnholdet får man sjøer av "overgangstypen". Da har innsjøen ubetydelig bikarbonat igjen, og pH vil ofte svinge mellom 4,7 og 6,0 etter meteorologiske forhold.



Tredje fase inntreffer hvis tilførselen av syre overskrider bikarbonatinnholdet, og da får man surt vann:



Hvor mye syre et vann kan nøytralisere er etter denne modellen avhengig av det opprinnelige bikarbonatinnhold, som igjen er bestemt av de geologiske forhold i nedbørfeltet. Etter modellen kan forsurningstilstanden videre kvantifiseres ved hjelp av et nomogram, hvor de geologiske forhold (gitt ved Ca + Mg innhold) angir en akse og nedbørbelastningen (gitt fra "ikke-marin" SO_4) blir den andre aksene (figur 6).

Nomogrammet er basert på kjemidata for over 700 innsjøer på Sørlandet. De fleste av disse innsjøene med pH over 5,5 ligger over pH 5,3 linjen.

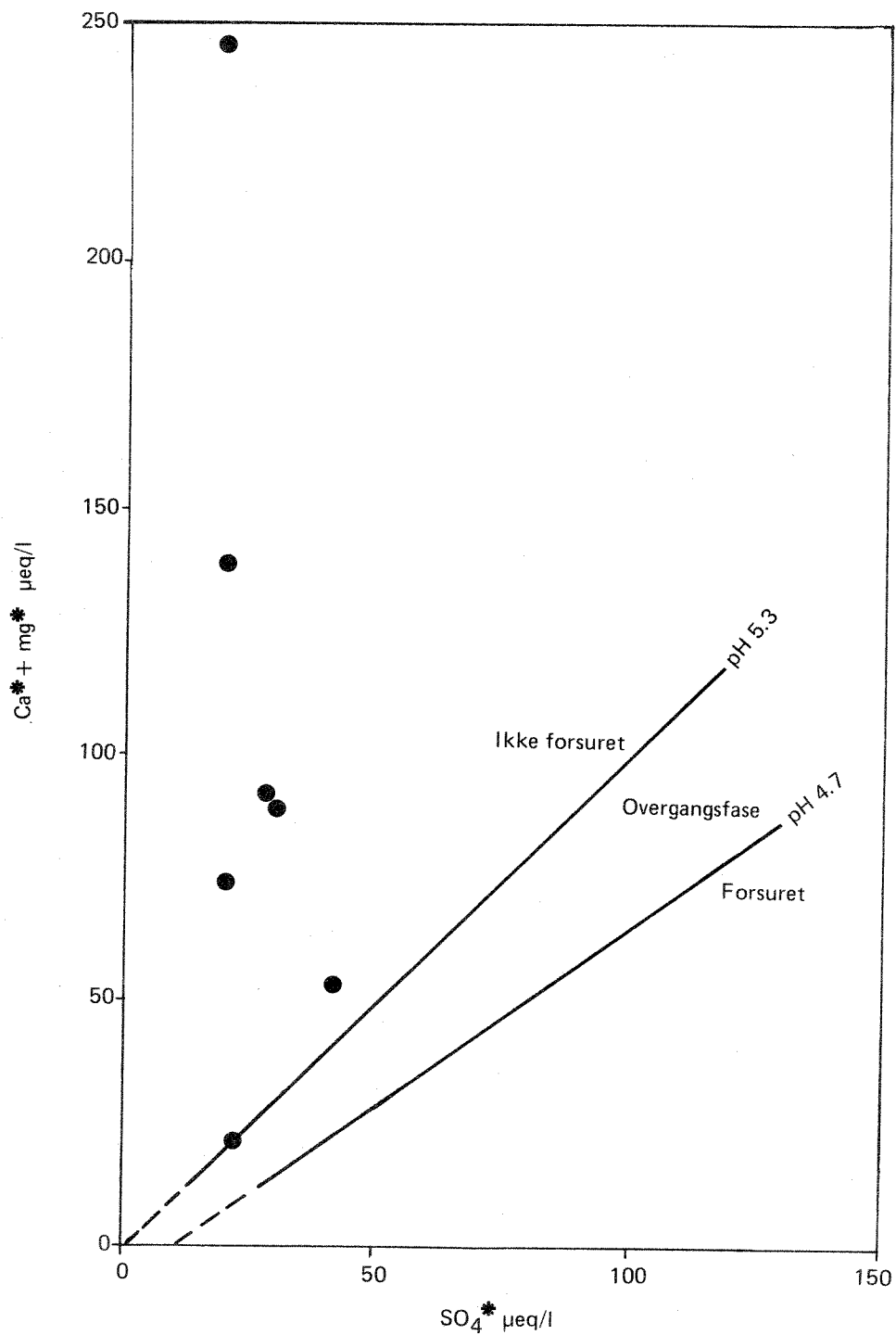


Fig. 6. Forsuringsdiagram for regionale innsjøer i Nordland 1975 (se figur 1). Diagrammet viser at innsjøene ikke er forsuret.

Innsjøene med pH mellom 5,3 og 4,7 ligger mellom linjene og sure vann ligger under 4,7 linjen (Henriksen 1980). Denne empiriske modellen gjelder også for data fra andre norske innsjøer (Henriksen 1980) og for innsjøer i forsurede områder ellers i Europa og Nord-Amerika (Wright et al. 1980).

Denne modellen kan derfor også brukes på data fra Sulitjelma for å vurdere i hvilken grad forsurening har funnet sted og hvor stor belastning vannene kan tåle. Dataene fra 7 nærliggende vann tatt i de regionale vannundersøkelser i 1975 (figur 6) viser at den "nord-atlantiske" bakgrunn er ca. $20 \mu\text{eq/l SO}_4^*$ for vann så vel som for nedbør, og at dette nivå ikke er stort nok til å gi lav pH selv i de mest følsomme av disse 7 vann (figur 6). Mange av vannene i Sulitjelmaområdet har betydelig mer "ikke-marin" SO_4 enn dette bakgrunnsnivå, men er likevel ikke sure, fordi de samtidig har vesentlig høyere innhold av Ca + Mg (og dermed opprinnelig også bikarbonat) (figur 7). Bare et av vannene, Øvre Sølvsvatn (nr. 20), er klart forsuret ifølge diagrammet, og pH i vannet (5,15) er da også nær nivået som modellen forutsier (pH 4,5-4,8). Men ifølge den estimerte fordelingen av kildene til SO_4 kommer 2/3 av den "ikke-marine" SO_4 i Øvre Sølvsvatn fra geologiske forhold i nedbørfeltet, og vannets tilstand er da ikke primært en følge av luftforurensingen. Annavatn (nr. 12) er også preget av geologisk sulfat fra gamle gruver og ligger temmelig nær pH 5,3-linjen, til tross for sin forholdsvise høye konsentrasjon av Ca + Mg ($232 \mu\text{eq/l}$).

Diagrammet kan også brukes til å estimere hva forsurening ville ha vært uten det atmosfæriske bidraget fra lokale kilder. For de vann som tilsynelatende ikke har geologisk betinget sulfat, vil konsentrasjoner av "ikke-marin" SO_4 ligge på det nord-atlantiske bakgrunnsnivå (dvs. ca. $20 \mu\text{eq/l}$).

For de øvrige vann kommer så SO_4 av geologisk opprinnelse i tillegg (figur 7). Modellen indikerer at en del vann vil, på grunn av de forholdsvise store tilførsler av geologisk betinget sulfat, også bli forsuret i tilfelle den atmosfæriske lokale belastningen stopper helt. Øvre Sølvsvatn (nr. 20) og Annavatn (nr. 12) peker seg ut her.

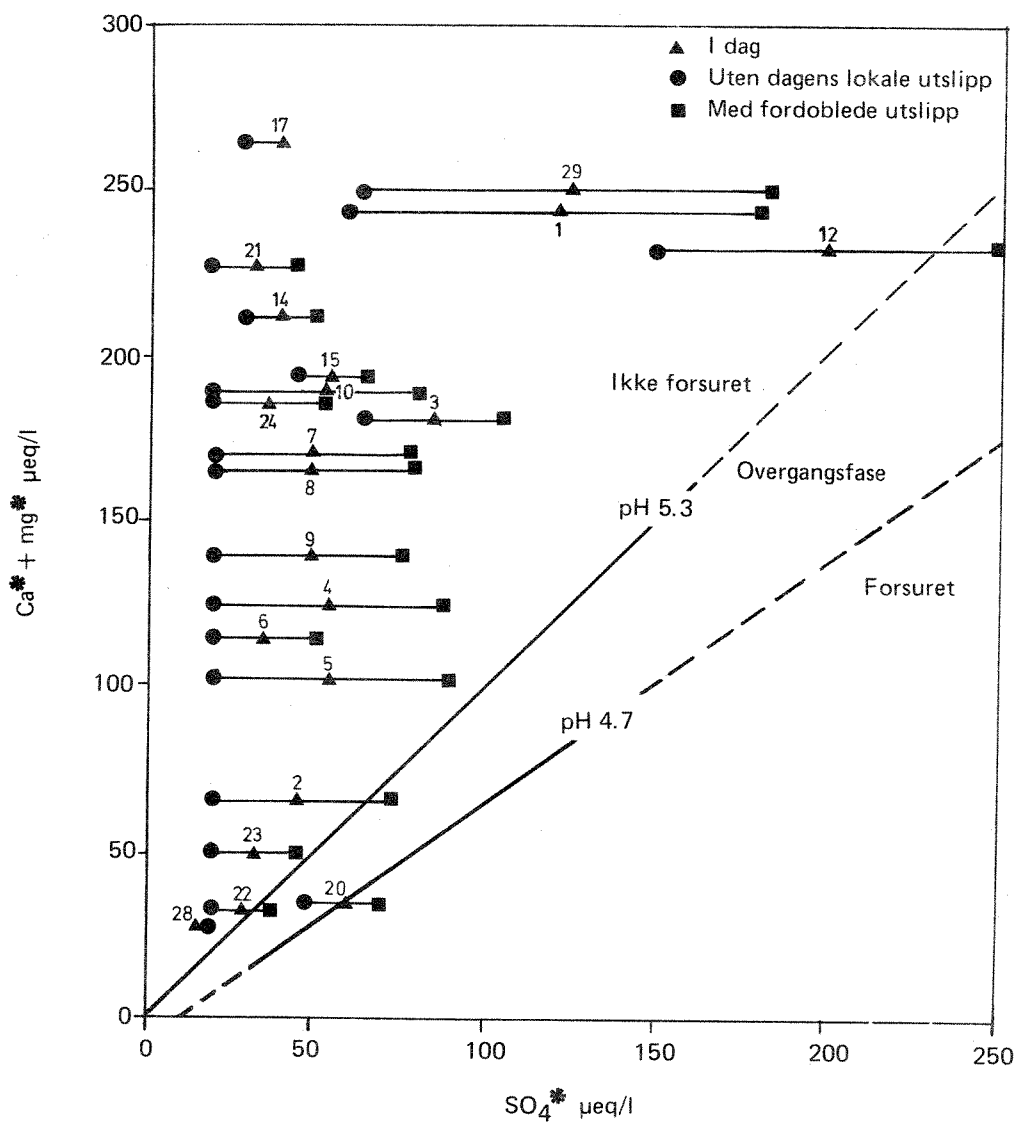


Fig. 7. Forsuringsdiagram for innsjøer i Sulitjelmaområdet. Av innsjøene ligger en i overgangsfasen i dag. Dessuten er innsjøenes beliggenhet i diagrammet uten dagens lokale utslipp og eventuelt med fordoblede utslipp estimert.

Videre kan diagrammet brukes til å vurdere forsureningsfaren ved økede atmosfæriske utslipp ved Sulitjelma. Hvis for eksempel utslippene dobles i forhold til dagens nivå, vil en del vann endre karakter fra bikarbonatvann med pH over 6 til overgangssjøer med pH rundt 5,3. Til denne kategorien hører Fiskeløsv. (nr. 22), Nennajr. (nr. 23), Småsorjusv. (nr. 2), og Mørki (nr. 5). I tillegg vil de allerede sterkt påvirkede Øvre Sølvvatn (nr. 20) og Annavatn (nr. 12) bli ytterligere forsuret og nå pH-nivåer henholdsvis under 4,7 og omkring 5. De øvrige 23 undersøkte vann synes å ha så høyt bikarbonatinnhold i dag at de ventelig ikke vil få forsureningsproblemer, selv om svovel-dioksyd-utslippene til luften fra Sulitjelmas smelteverk fordobles.

5.4 Tungmetaller

Analyse for de fire tungmetaller Cu, Zn, Pb og Cd i 15 av de undersøkte vann (se vedlegg 2 for data), viser at 6 vann har klart unormalt høye konsentrasjoner av kobber (Cu) (figur 8 og 9). Ett vann har unormalt høyt sinkinnhold (Zn), mens konsentrasjoner av bly (Pb) og kadmium (Cd) er som normalt for slike små, oligotrofe innsjøer (figur 8). De høye Cu-konsentrasjoner kan skyldes både tilførsler via atmosfæren og avrenning fra nedbørfeltet.

For Annavatn (nr. 12) med 87 $\mu\text{eq/l}$ er avrenning fra gamle gruver den mest sannsynlige årsak. Også for Sourjusjr. (nr. 3), Øvre Sølvvatn (nr. 20) med 28 $\mu\text{g Cu/l}$, og muligens også for andre av de undersøkte innsjøer, ligger årsaken til de høye metallkonsentrasjonene trolig i geologiske forhold. I og med at det foreligger bare en analysert prøve fra hvert vann, må disse data tolkes forsiktig, fordi særlig tungmetallkonsentrasjoner kan variere sterkt med årstid.

5.5 Vannkjemi og fisk

Av de 29 undersøkte vann foreligger det opplysninger om fiske for 26. Inndeling i grupper med dårlig, tynn og god bestand beror på en subjektiv vurdering, og kan således bare antyde hvilke vann som har bedre fiskeforhold enn andre. Av disse var 5 vann oppgitt som fisketomme eller dårlig bestand: Storelvvatn (nr. 4), Annavatn (nr. 12), Øvre Sølvvatn (nr. 20),

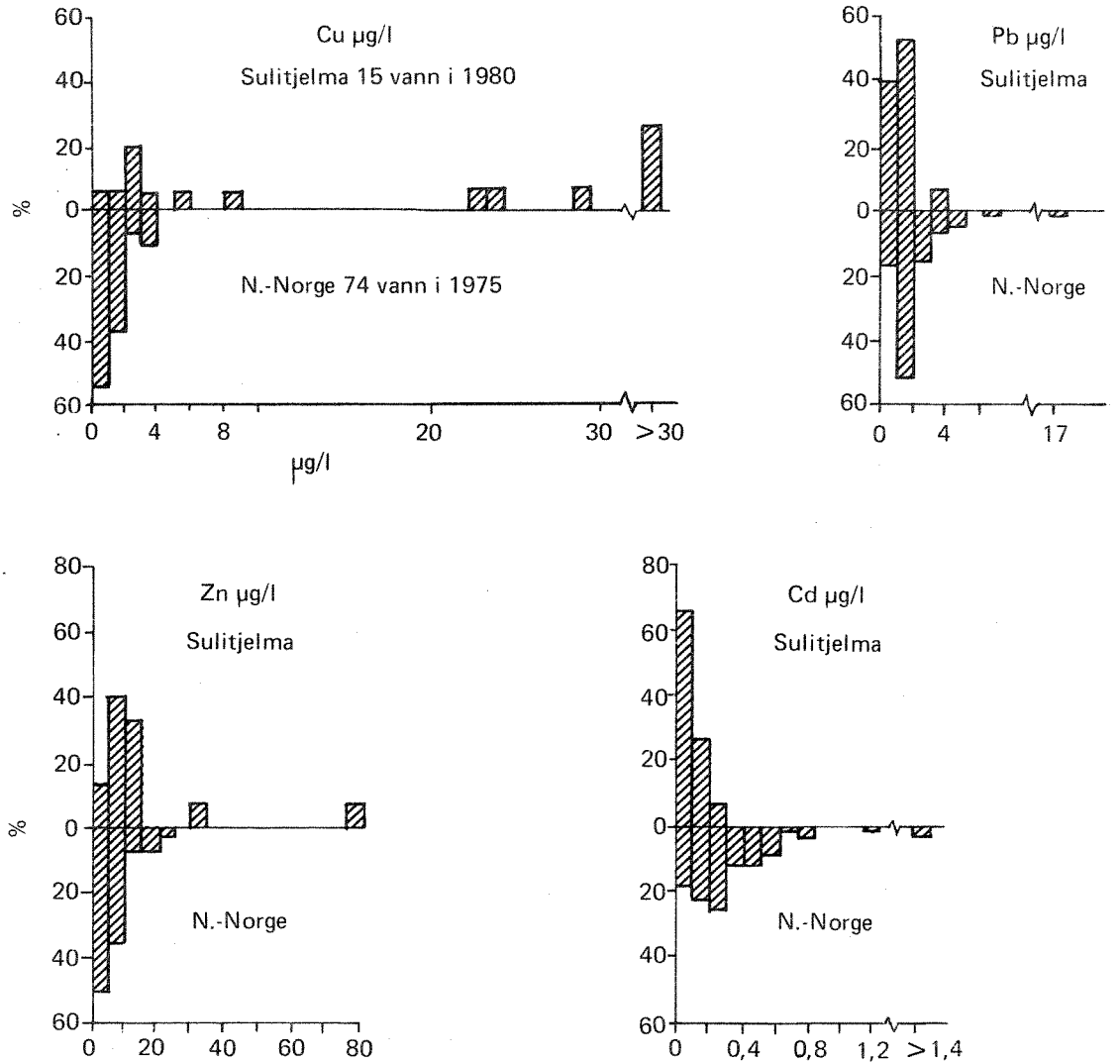


Fig. 8. Prosentvis fordeling av innsjøer etter metallkonsentrasjon for to datasett: Over X-aksen 15 vann i Sulitjelmas nedbørfelt. Under X-aksen 74 vann fra Nord-Norge tatt i 1975.

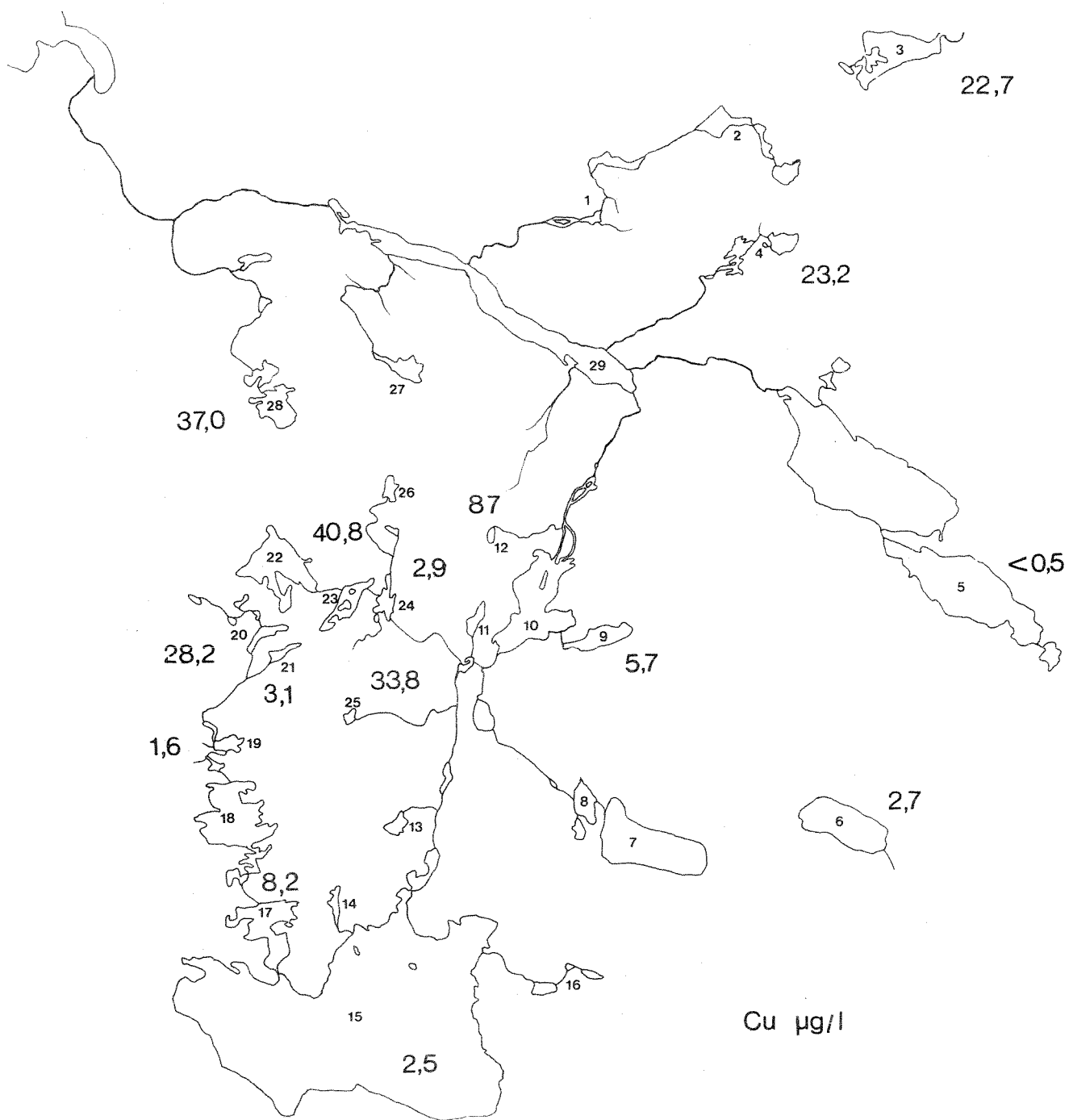


Fig. 9. Innsjøenes kobberkonsentrasjon.

Skoutajr. (nr. 28) og Langvatn (nr. 29). Ifølge tidligere undersøkelser som NIVA har foretatt, er det de høye tungmetallkonsentrasjonene som forårsaker at fisken er eller nesten er forsvunnet fra Langvatn (NIVA 1980). Den samme årsak kan trolig forklare den dårlige fiskebestand i Storelvvatn, Annavatn og Øvre Sølvsvatn. Alle disse hadde Cu-konsentrasjoner som overskrider den grense som betraktes som skadelig for fisk. I tillegg har spesielt Øvre Sølvsvatn en forsureningsgrad som gjør vannet utsatt for pH-svingninger og til dels pH-nivåer som er skadelig for fiskereproduksjon. Skourtajr. (nr. 28) hadde også høye Cu-konsentrasjoner (37 µg/l), og kanskje derfor dårlig med fisk. Skoddefjellsvatn og Sourjusjr. kan også ha redusert fiskebestand av samme grunn. Vannet har ellers en kjemisk sammensetning som er typisk for upåvirkede innsjøer i Nord-Norge, og er ikke forsuret.

5.6 Svenske undersøkelser

Länsstyrelsen i Norrbottens län, Sverige, har i 1977 foretatt en regional limnologisk undersøkelse i Råvejavreområdet, Sarek-Padjelanta nasjonalpark, som ligger rett øst for det undersøkte området ved Sulitjelma (fig. 1) (Nauwerk 1978). Blant de målte parametre er pH og alkalitet de som kan brukes til å vurdere om innsjøene er forsuret eller kunne tenkes å bli forsuret ved utslipp fra Sulitjelma. Av de 51 innsjøene hadde de aller fleste pH over 7 og alkalitet over 100 µeq/l. Et vann (Vaimok) hadde pH 6,46 og alkalitet på 16 µeq/l, et nivå som viser at vannet ville være følsomt overfor eventuelle tilførsler av sterk syre. Ca. 20 µeq/l SO₄ vil være nok til å bringe vannet over til en forsuret tilstand. Dersom det regionale mønster av belastning fra Sulitjelma som snøprøvene fra april 1980 (figur 5) representerer også viser langtids-situasjonen, så er bidraget fra de atmosfæriske utslipp av SO₂ mindre enn 20 µeq/l SO₄ allerede før grensen, og følgelig enda mindre på den andre siden av landegrensen.

Ellers er de undersøkte vannene i Sverige forholdsvis godt buffret mot eventuelle tilførsler av sterk syre (på grunn av gunstige geologiske forhold).

REFERANSER

- Beamish, R.J. 1976. Acidification of lakes in Canada by acid precipitation and the resulting effects on fishes. Water Air Soil Pollut. 6:501-514.
- Dollard, G.J. 1980. Wind tunnel studies on the dry deposition of $^{35}\text{SO}_2$ to spruce, pine and birch seedlings. SNSF-prosjektet, IR 54/80, 37 s.
- Dollard, G.J., og V. Vitols. 1980. Wind tunnel studies on the dry deposition of $\text{H}_2^{35}\text{SO}_4$ aerosols. SNSF-prosjektet IR 55/80, 112 s.
- Dovland, H. 1976. Dry deposition on a snow surface. Atmos. Environ. 10:783-785.
- Garland, J.A. 1978. Dry and wet removal of sulphur from the atmosphere. Atmos. Environ. 12:349-362.
- Gjessing, E., T. Dale, M. Johannessen, C. Lysholm og R. Wright. 1976. Regionale snøundersøkelser vinteren 1974-75. SNSF-prosjektet, TN 22/76, 65 s.
- Henriksen, A., M. Johannessen, E. Joranger, R.F. Wright og T. Dale. 1976. Regionale snøundersøkelser vinteren 1975-76. SNSF-prosjektet, TN 28/76, 49 s.
- Henriksen, A., and R.F. Wright. 1978. Concentrations of heavy metals in small Norwegian lakes. Water Res. 12:101-112.
- Johannessen, M. and A. Henriksen. 1978. Chemistry of snowmelt water changes in concentration during melting. Water Resources Res. 14:615-619.
- NIVA, 1980. A/S Sulitjelma Gruber. Kontrollundersøkelser i Langvassdraget 1976-1979. (NIVA-rapport 0-77018).
- OECD, 1977. The OECD programme on long range transport of air pollutants. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Sivertsen, B. 1973. Vurdering av luftkvaliteten i Sulitjelma etter en eventuell omlegging av produksjonen ved smelteverket. Norsk Institutt for Luftforskning, OR 59/73, 31 s.
- Wright, R.F., T. Dale, A. Henriksen, G.R. Hendrey, E.T. Gjessing, M. Johannessen, C. Lysholm and E. Støren. 1977. Regional surveys of small Norwegian lakes. October 1974, March 1975, March 1976, and March 1977. SNSF-project, IR 33/77, 153 pp.
- Wright, R.F., and H. Dovland. 1978. Regional surveys of the chemistry of the snowpack in Norway, late winter 1973, 1974, 1975 and 1976. Atmos. Environ. 12:1755-1768.

VEDLEGG 1. Kjemisk sammensetning av snøprøver.

I datautskriften over analyser av snø- og vannprøver fra vann rundt Sulitjelma har overskriftene følgende betydning:

FE	:	Jern	(µg/l)	NH4N	:	Ammonium	(µg N/l)
CU	:	Kobber	(µg/l)	NO3N	:	Nitrat	(µg N/l)
ZN	:	Zink	(µg/l)	TOC	:	Totalt organisk karbon	(mg C/l)
CD	:	Cadmium	(µg/l)	ALK 4,0	:	Alkalitet (titrert til pH 4,0)	(ml 0,1 N HCL/100 ml)
PB	:	Bly	(µg/l)	ALK 4,5	:	Alkalitet (titrert til pH 4,5)	(ml 0,1 N HCL/100 ml)
CL	:	Klorid	(mg/l)	FISK	:	0	dårlig bestand
NA	:	Natrium	(mg/l)			1	tynn bestand
K	:	Kalium	(mg/l)			2	god bestand
CA	:	Kalsium	(mg/l)				
AL	:	Aluminium	(µg/l)				
MG	:	Magnesium	(mg/l)				
SULF	:	Sulfat	(mg SO ₄ /l)				

SNEDYP : Snøprøvens høyde (cm) (Snøprøvens grunnflate var 50 cm²)

SNEVOL : Smeltevannsvolumet av snøprøven (ml)

M foran et analyseresultat: "mindre enn"

VEDLEGG 1 (forts.)

FILKODE: SJLS		NAVN: SNØPRØVER, SULITJELMA.										NORDLAND			DATO: 800929		2 A	
LOK	A M D R N G	PH	FE	CU	ZN	CD	PR	CL	NA	K	CA	MG	SULF	NH4N	NO3N	SNEDYP		
3	800412	5.11	53.	35.0	16.0	.90	1.8	1.3	.45	.07	.06	.04	.4	35.	40.	110		
4	800412	4.92	37.	21.0	14.0	.31	3.6	.5	.27	.03	.04	.03	.7	40.	40.	80		
5	800413	4.93	20.	2.7	9.0	M .05	1.8	.7	.31	.03	.03	.03	.5	20.	50.	70		
6	800412	4.67						.7	.30	.02	.07	.03	.7	35.	175.	70		
7	800412	4.85						1.7	.85	.08	.13	.09	1.0	30.	130.	60		
9	800412	4.86	22.	5.8	11.0	.31	4.6	2.6	1.25	.08	.08	.10	1.0	35.	90.	60		
11	800412	5.12						2.5	1.21	.08	.08	.10	.8	30.	40.	70		
13	800412	4.99						2.2	1.06	.05	.06	.10	.7	25.	60.	80		
14	800412	5.12						1.5	.67	.06	.09	.07	.4	20.	50.	75		
17	800412	5.03	22.	9.6	6.0	M .05	.7	2.6	1.27	.07	.07	.10	.7	25.	40.	90		
18	800412	5.05						3.6	1.86	.08	.11	.19	1.0	25.	60.	100		
20	800412	5.00						1.7	.79	.06	.05	.07	.5	25.	50.	75		
25	800412	4.83	15.	3.1	7.0	.17	2.3	1.0	.44	.03	.05	.04	.6	35.	80.	80		
26	800412	4.83						2.3	1.10	.06	.08	.10	.9	50.	70.	80		
27	800412	5.05						1.4	.65	.03	.07	.06	.6	25.	30.	70		
28	800412	4.96	12.	2.8	6.0	M .05	1.3	1.1	.50	.04	.04	.05	.5	30.	60.	100		

FILKODE: SJLS		NAVN: SNØPRØVER, SULITJELMA.										NORDLAND			DATO: 800929		2 B	
LOK	A M D R N G	SNEVOL																
3	800412	1860																
4	800412	1100																
5	800413	890																
6	800412	690																
7	800412	690																
9	800412	920																
11	800412	1200																
13	800412	1350																
14	800412	1300																
17	800412	1540																
18	800412	1750																
20	800412	1210																
25	800412	1000																
26	800412	1110																
27	800412	1860																
28	800412	1450																

VEDLEGG 2. Kjemisk sammensetning av vannprøver.

FILKODE: SULV		NAVN: VANNPRØVER, SULITJELMA.										NORDLAND				DATO: 800929				I A	
VANN	A M D	PH	K2O	FE	CU	ZN	CD	PB	CL	NA	K	CA	AL	MG	SULF						
R	J	G																			
1	800415	100	6.77	33.3					1.2	.80	.41	4.50	10.		.34						
1	800415	500	6.59	33.7					1.1	.81	.42	4.67	10.		.36						
2	800415	100	6.44	14.1					1.5	.78	.20	4.97	M 10.		.33						
2	800415	1600	6.26	14.3					1.4	.73	.20	1.02	40.		.36						
3	800412	100	6.72	27.5		12.0	M .05	1.2	1.4	.91	.42	2.27	40.		.94						
3	800412	700	6.71	26.7					1.1	.80	.45	2.37	20.		.PR						
4	800415	100	6.57	19.6		4.0	M .05	1.1	1.1	.66	.32	2.26	20.		.23						
4	800415	1400	6.12	24.6					.9	.59	.44	2.91	150.		.36						
5	800413	100	6.54	17.4		8.0	.17	M .1	1.7	.76	.08	1.43	M 10.		.50						
5	800413	2300	6.52	16.6					1.8	.76	.08	1.39	20.		.47						
6	800412	100	6.79	18.4		7.0	M .05	.7	1.5	.73	.29	1.93	10.		.33						
6	800412	2200	6.68	17.0					1.4	.63	.26	1.81	10.		.31						
7	800411	100	6.88	25.3					1.9	.99	.20	2.34	10.		.80						
7	800411	2500	6.87	23.7					1.8	.91	.17	2.17	10.		.75						
8	800411	100	6.88	25.3					1.9	.98	.19	2.25	M 10.		.80						
8	800411	2000	6.54	26.4					1.8	.94	.20	2.50	20.		.80						
9	800412	100	6.78	21.1		7.0	M .05	.7	1.3	.72	.17	2.08	M 10.		.54						
9	800412	1400	6.61	19.0					1.1	.59	.14	1.86	20.		.51						
10	800412	100	6.98	31.3					2.5	1.28	.46	3.33	M 10.		.46						
10	800412	2400	6.96	30.1					2.2	1.13	.39	3.28	M 10.		.47						
11	800412	100	7.05	61.5					2.2	1.57	1.08	0.86	20.		1.03						
11	800412	600	6.85	69.8					2.3	1.73	1.12	11.60	60.		1.14						
12	800413	200	6.45	38.0		32.0	.17	.7	2.2	1.49	.56	3.81	70.		.70						
12	800413	1300	6.23	53.9					2.3	1.48	.86	5.20	80.		1.13						
13	800412	100	7.21	49.5					2.4	1.39	.63	7.15	20.		.65						
13	800412	600	6.93	52.4					2.4	1.44	.69	7.82	10.		.71						
14	800412	100	7.00	30.7					2.0	1.07	.70	3.73	10.		.48						
14	800412	1200	6.71	33.5					1.8	1.02	.72	4.44	10.		.52						
15	800412	100	6.95	30.0		7.0	M .05	1.2	2.6	1.37	.48	3.44	10.		.48						
15	800412	2500	6.88	29.0					2.2	1.19	.44	3.04	10.		.42						
16	800411	100	7.24	101.0					1.1	.86	1.40	18.10	20.		3.07						
16	800411	600	7.05	112.5					1.1	.80	1.51	20.10	40.		3.19						
17	800412	100	7.13	36.9		4.0	M .05	M .1	1.9	1.12	.51	4.81	10.		.45						
17	800412	2500	7.02	35.1					2.1	1.07	.49	4.40	10.		.42						
18	800412	100	7.22	39.7					1.9	1.11	.57	5.40	20.		.47						
18	800412	1400	7.01	41.6					1.9	1.08	.62	5.75	M 10.		.51						
19	800412	100	6.85	44.5		9.0	M .05	1.3	1.9	1.13	.58	6.69	10.		.52						
19	800412	500	6.80	65.0					2.0	1.21	1.06	11.60	10.		.69						
20	800411	100	5.16	13.5		11.0	.23	1.8	1.2	.70	.13	.59	100.		.16						
20	800411	2000	5.15	13.8					1.3	.69	.13	.59	90.		.16						
21	800412	100	7.22	33.7		11.0	.05	1.2	2.0	1.12	.46	4.25	20.		.34						
21	800412	500	7.09	33.4					2.0	1.12	.45	4.33	10.		.34						
22	800412	200	5.85	11.4		11.0	M .05	1.2	1.8	.96	.13	.67	20.		.14						
22	800412	2500	5.79	11.9					1.8	.97	.14	.73	20.		.15						
23	800412	100	6.15	13.5					1.9	1.01	.18	.96	30.		.17						
23	800412	500	6.18	14.8					1.9	1.01	.19	1.08	30.		.18						
24	800412	100	6.79	28.7		10.0	.17	M .1	1.9	1.00	.38	3.50	10.		.29						
25	800412	150	6.91	54.7		7.0	M .05	1.4	2.0	1.08	.86	9.37	M 10.		.42						
26	800412	100	7.21	46.9					1.5	.91	.70	7.07	150.		.53						
26	800412	700	7.22	48.0					1.5	.89	.76	7.80	100.		.53						
27	800412	100	7.39	55.0					1.8	1.10	.81	8.85	170.		.95						
27	800412	700	7.47	54.8					1.8	1.09	.83	8.53	220.		.90						
28	800412	100	6.11	10.4		79.0	.17	4.8	1.8	.88	.15	.60	10.		.13						
28	800412	1300	5.99	11.4					1.8	.91	.19	.70	20.		.15						
29	800410	700	6.97	36.0					2.1	1.15	.46	4.10	160.		.72						

VEDLEGG 2 (forts.)

FILKODE: SJLV NAVN: VANNPRØVER, SULITJELMA. NOEDLAND DATO: 800929 I B

VANN	A M O	DYP	NH4N	NO3N	TOC	ALK4.0	ALK4.5	FISK
1	800415	100	15.	90.	.8	3.00	2.12	
1	800415	500	M 10.	110.	.8	3.09	2.21	
2	800415	100	15.	50.	M .5	1.49	.69	1
2	800415	1600	M 10.	60.	.7	1.52	.71	
3	800412	100	M 10.	80.	.7	2.58	1.69	1
3	800412	700	M 10.	130.	1.0	2.69	1.82	0
4	800415	100	15.	55.	.6	2.22	1.35	0
4	800415	1600	40.	40.	1.2	2.87	1.98	
5	800413	100	M 10.	50.	.6	1.82	.95	1
5	800413	2300	M 10.	50.	.7	1.78	.94	
6	800412	100	20.	45.	1.2	2.14	1.29	1
6	800412	2200	M 10.	50.	.8	1.99	1.20	
7	800411	100	M 10.	80.	.8	2.52	1.64	2
7	800411	2500	15.	85.	1.1	2.45	1.56	
8	800411	100	10.	85.	1.3	2.57	1.67	2
8	800411	2000	10.	160.	.8	2.63	1.74	
9	800412	100	25.	35.	1.0	2.33	1.48	2
9	800412	1400	M 10.	40.	.9	2.24	1.38	
10	800412	100	15.	130.	1.0	2.78	1.96	2
10	800412	2400	15.	50.	1.0	2.88	2.06	
11	800412	100	M 10.	40.	1.9	6.54	5.61	2
11	800412	600	75.	70.	1.8	7.33	6.39	
12	800413	200	M 10.	95.	.8	1.98	1.11	0
12	800413	1300	M 10.	20.	.8	1.87	1.01	
13	800412	100	15.	15.	1.7	5.14	4.28	2
13	800412	600	15.	30.	1.7	5.38	4.50	
14	800412	100	15.	15.	1.2	3.46	2.61	2
14	800412	1200	M 10.	60.	1.0	3.76	2.91	
15	800412	100	10.	70.	.8	2.85	2.03	2
15	800412	2500	M 10.	60.	1.0	2.71	1.87	
16	800411	100	35.	50.	.9	11.52	10.56	2
16	800411	600	90.	90.	1.1	12.98	12.01	
17	800412	100	M 10.	20.	1.1	4.07	3.21	2
17	800412	2500	10.	45.	1.2	3.90	3.04	
18	800412	100	15.	15.	1.1	4.46	3.58	2
18	800412	1900	M 10.	40.	1.0	4.59	3.71	
19	800412	100	25.	50.	1.3	4.79	3.87	2
19	800412	500	50.	35.	1.3	6.90	6.02	
20	800411	100	10.	10.	.8	1.20	.32	0
20	800411	2000	M 10.	20.	.7	1.22	.33	
21	800412	100	15.	M 10.	1.2	3.85	2.97	2
21	800412	500	20.	M 10.	.8	3.86	2.97	
22	800412	200	M 10.	20.	.6	1.32	.48	1
22	800412	2500	M 10.	40.	1.3	1.32	.46	
23	800412	100	10.	25.	1.0	1.48	.65	1
23	800412	500	10.	30.	.6	1.58	.76	
24	800412	100	10.	35.	.9	3.06	2.20	2
25	800412	150	M 10.	30.	1.2	6.05	5.16	1
26	800412	100	25.	20.	1.3	5.52	4.63	
26	800412	700	20.	20.	1.2	5.69	4.78	
27	800412	100	15.	10.	1.5	6.26	5.35	
27	800412	700	15.	10.	1.2	6.28	5.36	
28	800412	100	10.	20.	.8	1.36	.56	0
28	800412	1300	15.	30.	1.2	1.44	.62	
29	800410	700	15.	95.	1.7	2.77	1.93	0