



LL
DR-2420

Rapport 402|90

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

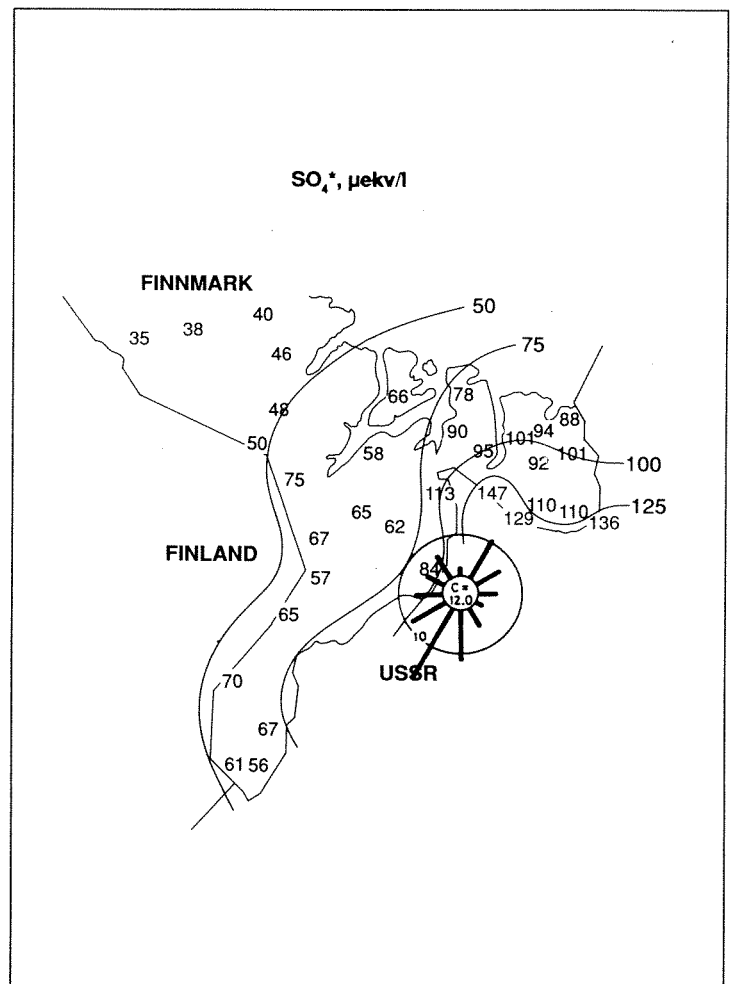
Deltakende institusjon

NIVA

Forsuring og
tungmetallforurensning
i små vassdrag i

Sør - Varanger

Undersøkelser i 1989





Statlig program for forurensningsovervåking

Det statlige programmet omfatter overvåking av forurensningsforholdene i

**luft og nedbør
grunnvann
vassdrag og fjorder
havområder**

Overvåkingen består i langsiktige undersøkelser av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er å dekke myndighetenes behov for informasjon om forurensningsforholdene med sikte på best mulig forvaltning av naturressursene.

Hovedmålet spenner over en rekke delmål der overvåkingen bl.a. skal:

gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt.

registrere virkningen av iverksatte tiltak og danne grunnlag for vurdering av nye forurensningsbegrensende tiltak.

påvise eventuell uheldig utvikling i resipienten på et tidlig tidspunkt.

over tid gi bedre kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige forhold.

Sammen med overvåkingen vil det føres kontroll med forurensende utlipp og andre aktiviteter.

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Statens forurensningstilsyn er ansvarlig for gjennomføring av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter publiseres i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institutter rettes til Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo 1, tlf. 02 - 65 98 10.

NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 89	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 43 033	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752 Telefax (065) 78 402	Vestlandsavdelingen Breiviken 5 5035 Bergen-Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90
--	---	--	--

Prosjektnr.: 0-89076
Undernummer:
Løpenummer: 2420
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Forsuring og tungmetallforurensning i små vassdrag i Sør-Varanger. Undersøkelser i 1989. (Overvåkingsrapport nr. 402/90)	Dato: Mai 1990
	Rapportnr. 0-89076
Forfatter (e): Tor S. Traaen Sigurd Rognerud Arne Henriksen	Faggruppe: Sur nedbør
	Geografisk område: Finnmark Sør-Varanger
	Antall sider (inkl. bilag): 29

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT) (Statlig program for forurensningsovervåking)	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: <p>Sør-Varanger mottar betydelige mengder luftbårne svovelforbindelser fra smelteverkene i Nikel og Zapoljarnyi. Påvirkningen er størst i området øst for Kirkenes. Mange små fjellvann øverst i vassdragene er sterkt forsuret. Nedover i vassdragene er bufferevnen bedre på grunn av løsavsetninger og tykkere jordsmonn. Tålegrensen for svovelbelastning var overskredet for ca 1/3 av 44 undersøkte småvann. Konsentrasjonen av nikkel og til dels kobber har en geografisk fordeling som samsvarer med sulfat. Det ble ikke registrert konsentrasjoner av tungmetaller som er akutt giftig for fisk, men subletale effekter av nikkel kan ikke utelukkes i det mest belastede området. Sedimentene var markert forurenset av kvikksølv og nikkel i de grensenære vassdrag syd for Jarfjorden. For resten av Sør-Varanger var forurensningen liten til moderat. Forurensningsgraden av kadmium og kobber var liten til moderat i hele området.</p>

4 emneord, norske:

1. Sør-Varanger
2. Forsuring
3. Tungmetaller
4. Sedimenter/vannkvalitet

4 emneord, engelske:

1. Sør-Varanger
2. Acidification
3. Heavy metals
4. Sediments/water quality

Prosjektleder:

Arne Henriksen

For administrasjonen:

Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-1726-6

FORORD

Denne undersøkelsen av innsjøer i små vassdrag er et ledd i kartleggingen av forurensningssituasjonen i Sør-Varanger. Undersøkelsen inngår i programmet for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Programmet er administrert og finansiert av Statens forurensningstilsyn (SFT). Saksbehandler i SFT har vært Jon Lasse Bratli.

Kjeld Stub-Jakobsen fra Fjelltjenesten i Finnmark og Herman Sotkajarvi fra Sør-Varanger kommune gjorde en stor innsats med prøvetaking under vanskelige vær- og føreforhold. Per Einar Fiskebeck ved Fylkesmannens miljøvernavdeling bidro sammen med Forsvaret til at feltarbeidet kunne gjennomføres etter planen.

Arne Henriksen



Statlig program for forurensningsovervåking

0-89076

**FORSURING OG TUNGMETALLFORURENSNING
I SMÅ VASSDRAG I SØR-VARANGER.
UNDERSØKELSER I 1989.**

Oslo, mai 1990

Prosjektleder: Arne Henriksen

Medarbeidere: Tor S. Traaen
Sigurd Rognerud

INNHOLDSFORTEGNELSE.

	Side
FORORD	1
1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER.	4
2. INNLEDNING.	5
3. VALG AV LOKALITETER. GJENNOMFØRING.	6
4. FORSURING AV INNSJØER.	9
4.1 Generelt om vannets tålegrense.	9
4.2 Resultater.	9
4.3 Utviklingen nedover vassdragene.	9
4.4 Forsuring i ulike områder.	12
5. TUNGMETALLER I VANN.	14
5.1 Resultater.	14
5.2 Konsentrasjonsgradienter i vassdragene.	14
5.3 Tungmetaller i ulike områder.	15
5.4 Sammenhengen mellom forsuring og tungmetaller.	17
6. TUNGMETALLER I SEDIMENTER.	20
6.1 Innledning.	20
6.2 Sammenhengen mellom tungmetallkonsentrasjoner i overflatesedimenter og andre parametre.	22
6.3 Forurensningsgraden av tungmetaller.	24
6.4 Sammenhengen mellom konsentrasjonen av ulike tungmetaller i overflatesedimentene.	26
LITTERATUR.	27
BILAG.	28

1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER.

Sør-Varanger mottar betydelige mengder sur nedbør og tungmetallforurensninger. Hovedkildene er smelteverkene i Nikel og Zapoljarnyi. Årlig utslipp til luft fra disse to smelteverkene var 337 000 tonn SO_2 i 1987 og 270 000 tonn SO_2 i 1988 og 1989. Dette er 3 - 4 ganger Norges utslipp av SO_2 . Bedriftene ligger ca 2 mil fra norskegrensen.

Formålet med denne undersøkelsen var å kartlegge utbredelsen av forsuring og tungmetallpåvirkning i små vassdrag i Sør-Varanger. 44 små innsjøer fordelt på 15 nedbørfelt ble undersøkt.

På grunn av de fremherskende vindretninger er det området mellom Kirkenes og Grense-Jakobselv som er sterkest berørt. Mange små fjellvann øverst i vassdragene er sterkt forsuret, med pH ned til ca 4.7 og med en konsentrasjon av labilt aluminium som er giftig for fisk. Tålegrensen for svovelbelastning var overskredet i ca 1/3 av de undersøkte innsjøene. Forsuringsbidraget fra nitrat er ubetydelig.

Generelt avtar surheten nedover i vassdragene grunnet tilrenning fra deler av nedbørfeltene med mer løsavsetninger og tykkere jordsmonn.

De høyeste konsentrasjonene av tungmetaller, spesielt nikkel og kobber, ble registrert i småvann øverst i vassdragene. Nikkel, og til en viss grad kobber, viste en geografisk fordeling som var i god overensstemmelse med ikke-marin sulfat og pH. Dette tyder på at tilførselene har sammenheng med forurensninger fra smelteverkene. Konsentrasjonene av sink, kadmium, bly og kvikksølv var lave, og viste ingen sammenheng med forsuringsparametrene.

Det ble ikke registrert konsentrasjoner av tungmetaller høyere enn klasse 2 (moderat forurenset) i SFT's vannkvalitetskriterier. Man kan derfor ikke forvente at tungmetallinnholdet er akutt giftig for fisk. Men man kan ikke utelukke å finne subletale effekter av nikkel. Nikkel og kobber er de eneste tungmetallene som sovjeterne har registrert i giftige konsentrasjoner i nærområdene (ca 1 mil) rundt smelteverkene.

Sedimentene var markert forurenset (klasse 3) av kvikksølv og nikkel i de grensenære vassdrag syd for Jarfjorden, men forurensningen avtok ut mot kysten. I de andre områdene i Sør-Varanger var sedimentene lite til moderat forurenset av nikkel og kvikksølv. For kadmium og kobber ble det registrert liten til moderat forurensningsgrad i hele området.

2. INNLEDNING.

Østlige deler av Finnmark, og spesielt Sør-Varanger kommune mottar betydelige mengder sur nedbør. Hovedkildene er smelteverkene i Nikel og Zapoljarnyi. Disse to smelteverkene, som samlet kalles Pechenganikel, hadde i et samlet utslipp på 337 000 tonn SO₂ i 1987 og 270 000 tonn SO₂ i 1988 og 1989. Begge smelteverkene ligger nærmere enn 2 mil fra norskegrensen. Til sammenligning er de samlede utslippene fra hele Norge ca 80 000 tonn SO₂.

De første bevis på at en betenkelig forsuring utvikling var på gang fikk vi i 1985, da Per Einar Fiskebeck ved miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Finnmark tok nye vannprøver fra innsjøer som var analysert i 1966 av Anders Bøyum ved Avdeling for Limnologi ved Universitet i Oslo (Bøyum 1970). Det viste seg at ca 80% av bufferkapasiteten i flere innsjøer var brukt opp til å nøytralisere sur nedbør (Traaen 1985).

Undersøkelsen av 34 innsjøer i Sør-Varanger som inngikk i 1000-sjøers undersøkelsen i 1986 bekreftet at situasjonen var truende for en rekke innsjøer i området, selv om det bare ble funnet én innsjø som hadde mistet alt av bikarbonatbuffer (SFT 1987, Henriksen *et al.* 1988). Senere er det funnet en rekke småvann i fjellområder med pH ned til ca 4.7 og toksiske konsentrasjoner av labilt aluminium (Traaen 1987).

Denne undersøkelsen hadde som målsetting å kartlegge utbredelsen av forsurede småvann øverst i utsatte nedbørfelt, samt å undersøke endringer i forsuringen nedover i vassdraget. I tillegg til svoveldioksid kan smelteverk også være kilden til luftbåren spredning av tungmetaller. Et delmål med undersøkelsen var derfor å undersøke innholdet av tungmetaller i vann og sedimenter.

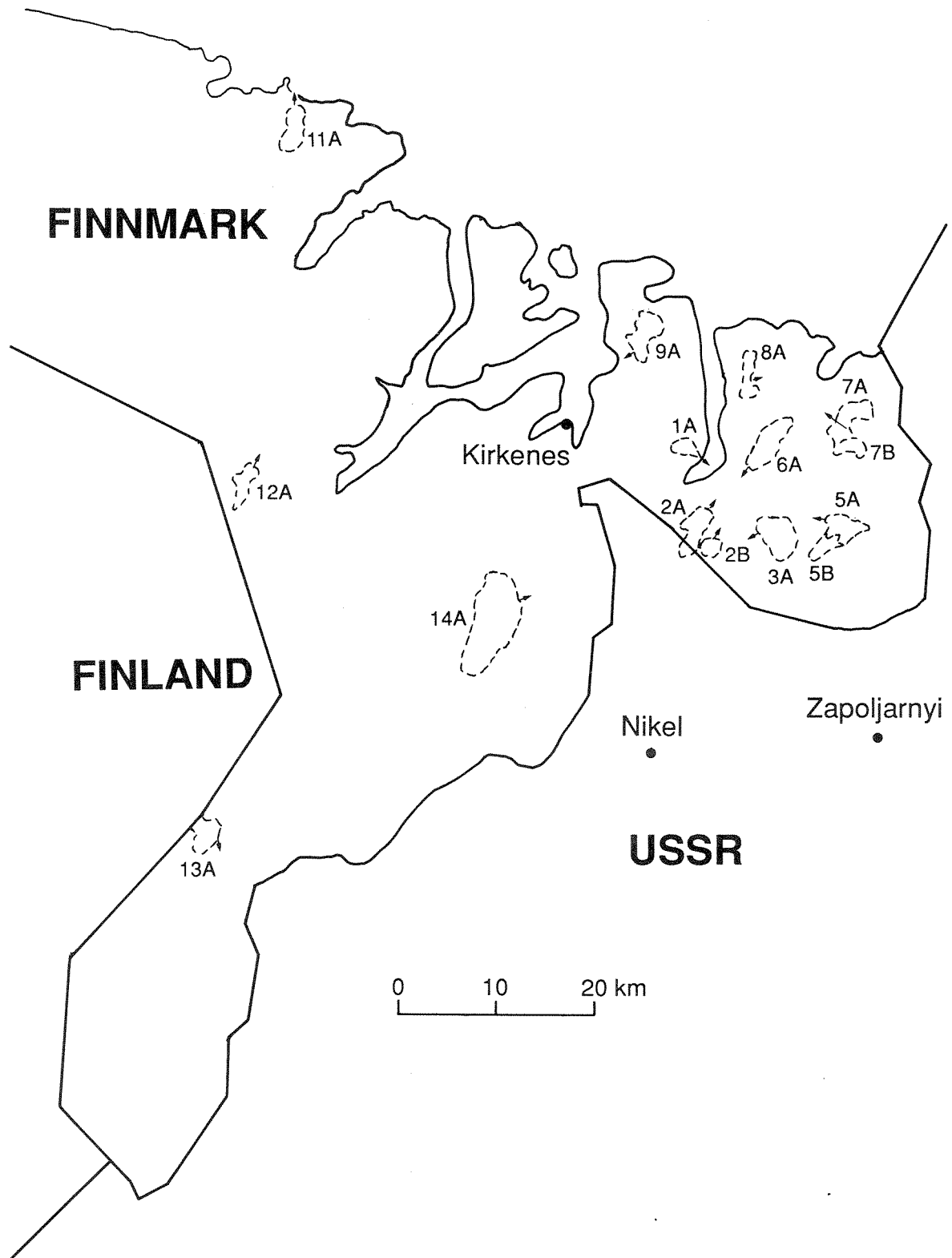
3. VALG AV LOKALITETER. GJENNFØRING.

Tidligere undersøkelser i Sør-Varanger viste at det var småvann øverst i vassdragene som var mest forsuringfølsomme. For å få en bedre oversikt over utbredelsen av forsuringsskadete innsjøer ble det valgt ut 15 små nedbørfelt for nærmere undersøkelser. 11 av feltene ligger i det mest belastede området øst for Kirkenes. Nedbørfeltene beliggenhet er vist i figur 1. For å klarlegge utviklingen nedover i vassdragene ble det valgt ut 2 - 5 innsjøer i hvert nedbørfelt. Navn og kartreferanser for innsjøene er gitt i tabell 1 i bilaget. De 2 første sifferer samt 1 bokstav i stasjonsnummeret angir nedbørfeltet. Det siste sifferet i stasjonsnummeret angir innsjøens posisjon i nedbørfeltet (1 = øverst).

Prøvetakingen ble gjennomført i tiden 10. til 17. april 1989. Til de fleste innsjøene ble det brukt snø-scooter som fremkomstmiddel. På grunn av en uvanlig tidlig vårløsning og førefall måtte toktet fullføres ved hjelp av helikopter.

Det ble i alt tatt vannprøver fra 44 innsjøer. Prøvene ble tatt 1m under isen. Følgende vannkjemiske parametre ble analysert: pH, ledningsevne, kalsium, magnesium, natrium, kalium, klorid, sulfat, nitrat, ammonium, alkalitet, organisk karbon, reaktivt aluminium, ikke-løslig aluminium, nikkel, kobber, sink, kadmium og bly.

Det ble videre tatt sedimenter fra 35 innsjøer. Sedimentene ble analysert for glødetap, nikkel, kobber, kadmium, bly, kvikksølv og aluminium. For prøvetaking ble det valgt ut det dypeste stedet vi fant i innsjøen. Enkelte innsjøer var for grunne til at det var meningsfylt å ta sedimentprøver.



Figur 1. Nedbørfelt som ble undersøkt i april 1989.

4. FORSURING AV INNSJØER.

4.1 Generelt om vannets tålegrense.

Tålegrensen for belastning av sure svovel- og nitrogenforbindelser er definert som: "Den høyeste tilførsel av forsurende forbindelser som ikke vil forårsake kjemiske forandringer som fører til langsiktige skader på økosystemets struktur og funksjon" (Nilsson og Grennfelt 1988). Vannets syrenøytraliserende kapasitet (ANC = acid neutralization capacity) brukes til å definere tålegrenser for overflatevann. ANC er definert som differansen mellom ikke-marine basekationer og sterke syrers anioner. ANC er en funksjon av vannets innhold av bikarbonat, hydrogenioner, uorganisk aluminium og organiske anioner. Dersom tilførslene av svovel og nitrogen gir høyere konsentrasjoner av sterke syrers anioner (sulfat og nitrat) enn konsentrasjonene av basekationer, blir vannet surt. Negative verdier for ANC betyr at den kjemisk definerte tålegrensen er overskredet.

4.2 Resultater.

Resultater av kjemiske vannanalyser er vist i tabell 2. Følgende parametre er gjengitt i tabellen:

STNUM : Stasjonsnummer.
 PH : pH.
 K25 : Ledningsevne ved 25°C, mS/m.
 CA : Kalsium, mg/l.
 MG : Magnesium, mg/l.
 NA : Natrium, mg/l.
 K : Kalium, mg/l.
 CL : Klorid, mg/l.
 SULF : Sulfat, mg/l.
 NO3N : Nitrat, µg N/l.
 NH4N : Ammonium, µgN/l.
 ALK : Alkalitet til pH 4.5, mmol/l.
 ALK-E : Beregnet endepunktsalkalitet (bikarbonat), µekv/l.
 TOC : Total organisk karbon, mg/l.
 RAL : Reaktivt aluminium, µg/l.
 ILAL : Ikke-labilt aluminium, µg/l.
 SKAT2 : Summen av kationer, µekv/l. (Labilt aluminium inkludert).
 SAN2 : Summen av anioner, µekv/l. (Organiske anioner inkludert).
 DIFF2 : Avvik i ionebalansen, SKAT2 - SAN2, µekv/l.
 D-PRO2 : Prosentvis avvik, DIFF2 * 100 / SKAT2 .
 C-DIFF : Differanse mellom målt og beregnet ledningsevne, mS/m.
 C-PRO : Prosentvis avvik i ledningsevne, C-DIFF * 100 / K25.
 ECM* : Ikke-marin kalsium + magnesium, µekv/l.
 ES04* : Ikke-marin sulfat, µekv/l.

ENA*	: Ikke-marin natrium, $\mu\text{ekv/l}$.
ANC	: Syrenøytraliserende kapasitet, $\mu\text{ekv/l}$.
NI	: Nikkel, $\mu\text{g/l}$.
CU	: Kobber, $\mu\text{g/l}$.
ZN	: Sink, $\mu\text{g/l}$.
CD	: Kadmium, $\mu\text{g/l}$.
PB	: Bly, $\mu\text{g/l}$.

Alle de undersøkte innsjøene var betydelig belastet med sur nedbør. Gjennomsnittsverdien av ikke-marin sulfat var $110 \mu\text{ekv/l}$. Innsjøene var moderat forsuringfølsomme, med gjennomsnittlig $142 \mu\text{ekv/l}$ av ikke-marine basekationer. (Innsjø nr.14A3 er ikke tatt med i middelverdiregningen fordi den hadde høyt geologisk betinget sulfatinnhold). Gjennomsnittlig hadde innsjøene en ANC (acid neutralization capacity) på $32 \mu\text{ekv/l}$. Likevel hadde ca 1/3 av innsjøene negativ ANC, noe som viser at tålegrensen var overskredet.

4.3 Utviklingen nedover vassdragene.

I de 9 nedbørfeltene hvor det var 3 etterfølgende innsjøer var det gjennomgående en avtakende forsuringfølsomhet nedover i vassdraget. Gjennomsnittsverdiene for summen av ikke-marin kalsium, magnesium og natrium (ECaMgNa^*) var hhv 106, 134 og $139 \mu\text{ekv/l}$ for 1., 2. og 3. innsjø. Ikke-marin sulfat (ESO_4^*) øket også noe nedover vassdraget, men i mindre grad en basekationene. Forsuringstatus, målt som ANC (acid neutralization capacity) var gjennomsnittlig 0, 22 og 24 for hhv 1., 2. og 3. innsjø. Dette viser at det er småvann helt øverst i vassdragene som er mest utsatt for forsuringseffekter. Samlet hadde 16 av 44 innsjøer negativ ANC, hvorav 7 lå øverst i vassdraget.

Tabell 2. Kjemiske analyseresultater for innsjøer i små nedbørfelt i Sør-Varanger. Prøver tatt i april 1989.

1990-02-15 Page 1

STNUM	AR	DATO	PH	K25	CA	MG	NA	K	CL	SULF	ND3N	NH4N	ALK	ALK-E	TOC	RAL	ILAL	SKAT2
01A1	1989	0417	4.76	4.39	1.08	.88	2.90	.27	5.6	6.8	22	26	.027	0.0	1.66	140	M 10	293.0
01A2	1989	0417	5.40	4.37	1.50	.91	3.29	.27	6.0	6.8	25	16	.029	0.0	2.15	41	M 10	308.2
01A3	1989	0417	5.70	4.09	1.37	.88	3.20	.29	5.7	6.6	23	14	.036	5.3	1.76	37	M 10	293.0
02A1	1989	0417	5.56	3.93	1.85	.79	2.65	.37	4.6	7.5	28	22	.053	24.0	1.11	10	M 10	286.4
02A2	1989	0417	5.68	6.09	3.09	1.10	3.99	.49	7.2	8.4	27	8	.340	319.3	4.64	53	M10	435.9
02B1	1989	0417	6.49	6.44	5.46	1.5	3.32	.78	4.3	5.6	6	205	.118	92.0	2.87	17	M 10	575.9
02B2	1989	0417	6.33	4.78	2.96	1.15	2.93	.48	4.2	7.8	26	18	.145	119.9	2.58	17	M 10	384.5
03A1	1989	0412	6.06	4.73	2.70	1.05	2.73	.33	4.0	6.6	2	284	.180	155.9	1.97	23	M 10	370.6
03A2	1989	0412	6.21	4.85	3.01	1.17	2.88	.57	4.0	6.0	6	53	.180	155.9	1.53	21	M 10	391.9
03A3	1989	0412	6.41	4.24	2.18	.98	2.91	.41	4.2	6.0	21	16	.113	86.8	1.85	10	M 10	328.0
05A1	1989	0412	6.59	3.40	1.23	.77	2.49	.25	4.3	6.2	5	14	.030	0.0	1.18	17	M 10	243.8
05A2	1989	0412	6.36	3.62	1.64	.87	2.66	.30	4.3	5.9	9	14	.071	43.0	1.24	M 10	278.2	
05A3	1989	0412	6.30	3.95	1.81	.92	2.84	.35	4.6	6.0	21	30	.084	56.7	1.61	10	M 10	302.0
05B1	1989	0412	6.09	4.85	2.56	1.19	3.32	.38	4.7	6.5	8	68	.145	119.9	1.60	15	M 10	386.0
06A1	1989	0417	5.21	3.89	1.25	.76	3.02	.28	5.4	6.0	9	12	.063	0.0	.68	32	M 10	272.9
06A2	1989	0417	5.01	4.19	1.14	.81	3.21	.26	5.9	6.0	27	14	.027	0.0	.36	61	M 10	286.2
06A3	1989	0417	5.48	3.91	1.32	.81	3.10	.28	5.5	6.1	36	18	.032	0.0	.53	23	M 10	280.5
06A4	1989	0417	5.47	3.60	1.30	.75	2.78	.26	4.9	5.7	41	16	.032	0.0	.59	15	M 10	259.2
06A5	1989	0414	5.39	5.03	1.65	1.02	4.12	.37	7.6	6.9	83	26	.032	0.0	.77	21	M 10	362.1
07A1	1989	0413	5.25	3.80	1.20	.76	3.05	.44	5.5	6.0	6	12	.070	42.0	.92	51	M 10	277.4
07A2	1989	0413	5.13	3.77	1.00	.75	2.99	.23	5.5	5.5	6	10	.040	9.8	.53	48	M 10	259.9
07A3	1989	0413	6.11	4.20	1.72	.97	3.26	.30	5.5	5.9	14	12	.057	28.2	1.11	15	M 10	317.3
07A4	1989	0413	6.29	4.21	1.79	.93	3.13	.33	5.6	6.0	26	16	.034	2.9	.88	10	M 10	312.1
07B1	1989	0413	5.63	3.90	1.36	.88	2.93	.25	4.9	6.5	5	12	.063	34.6	1.50	19	M 10	279.1
07B2	1989	0413	6.30	3.95	1.73	.89	2.85	.27	4.4	6.5	20	12	.063	34.6	.79	10	M 10	291.0
08A1	1989	0413	5.12	3.87	.93	.82	2.98	.21	5.4	5.7	8	12	.040	9.8	1.01	57	M 10	262.5
08A2	1989	0413	5.82	4.16	1.45	.97	3.20	.26	5.8	6.5	17	10	.046	16.4	1.09	23	M 10	301.7
08A3	1989	0413	5.94	4.52	1.77	.95	3.49	.26	6.1	7.0	50	24	.046	16.4	1.35	30	M 10	329.7
09A1	1989	0417	5.86	4.77	1.52	1.07	3.99	.42	7.3	6.3	24	14	.061	32.5	2.10	43	M 10	353.2
09A2	1989	0417	5.97	4.55	2.14	.99	3.40	.37	6.0	7.1	51	30	.061	32.5	2.31	34	M 10	350.5
09A3	1989	0417	6.11	4.69	2.08	1.00	3.54	.40	6.3	7.1	44	18	.063	34.6	2.13	32	M 10	354.0
11A1	1989	0410	6.26	2.95	1.29	.50	2.39	.24	4.0	3.7	9	18	.058	29.3	1.26	10	M 10	217.4
11A2	1989	0410	6.37	3.60	1.76	.56	2.79	.42	4.9	4.2	25	55	.071	43.0	1.74	10	M 10	270.3
11A3	1989	0410	6.46	4.11	2.41	.70	2.92	.40	4.9	5.1	55	22	.094	67.1	1.46	10	M 10	317.0
11A4	1989	0410	6.38	4.64	2.90	.82	3.33	.36	5.6	5.4	26	12	.123	97.2	1.50	12	M 10	367.7
12A1	1989	0411	5.72	2.44	.89	.53	1.71	.23	2.4	4.4	4	20	.039	8.7	2.40	37	M 10	174.3
12A2	1989	0411	5.99	3.51	2.32	.70	2.09	.22	2.7	6.2	7	74	.101	74.4	3.02	45	M 10	278.9
12A3	1989	0411	6.17	2.88	1.92	.57	1.88	.20	2.6	5.3	8	16	.075	47.2	3.52	37	M 10	233.4
12A4	1989	0411	6.30	2.60	1.64	.51	1.67	.21	2.4	4.7	12	16	.072	44.1	2.92	32	M 10	205.1
13A1	1989	0411	6.20	2.86	2.14	.56	1.62	.45	1.5	4.5	66	18	.125	99.2	.62	M 10	236.7	
13A2	1989	0411	6.40	2.84	2.21	.65	1.51	.44	1.4	4.5	16	18	.140	114.7	1.85	10	M 10	242.4
14A1	1989	0411	5.97	2.81	1.28	.61	2.03	.29	3.1	4.0	8	42	.068	39.9	1.85	19	M 10	214.8
14A2	1989	0411	6.41	3.26	1.96	.68	2.23	.28	3.1	4.1	25	22	.115	88.9	1.90	21	M 10	261.1
14A3	1989	0411	6.55	10.5	4.73	2.30	9.4	1.08	14.8	13.0	310	66	.152	127.1	8.63	37	M 10	868.7

forts. Tabell 2.

Undersøkelser av små nedbørfelt i Sør-Varanger.

STNUM	AR	DATE	SAN2	DIFF2	D-PRO2	C-DIFF	C-PRO	EDM*	ES04*	ENA*	ANC	NI	CU	ZN	CD	PB
												MYG/L	MYG/L	MYG/L	MYG/L	MYG/L
01A1	1989	0417	302.2	-9.2	-3.1	0.09	2.0	89.5	125.3	-9.3	-37.3	12.1	4.1	20	.10	1.3
01A2	1989	0417	315.3	-7.2	-2.3	0.22	5.1	110.4	124.1	-2.0	-15.5	8.4	4.3	30	.17	1.4
01A3	1989	0417	301.3	-8.2	-2.8	0.18	4.3	103.4	120.8	1.3	-17.7	5.9	3.0	10	M .1	1.5
02A1	1989	0417	293.2	-6.8	-2.4	0.06	1.5	127.1	142.7	4.0	-13.6	18	8.8	20	.19	3.0
02A2	1989	0417	418.5	17.3	4.0	0.65	10.7	197.4	153.9	-0.6	41.6	8.7	4.7	M 10	.12	.8
02B1	1989	0417	563.3	12.6	2.2	0.11	1.7	367.6	104.1	40.4	303.6	12.2	7.6	30	.32	2.7
02B2	1989	0417	379.1	5.3	1.4	0.10	2.1	214.8	150.2	25.9	88.6	4.7	3.6	10	.16	.9
03A1	1989	0412	372.3	-1.8	-0.5	0.36	7.6	194.9	125.8	22.0	91.0	9.5	4.2	20	M .1	1.0
03A2	1989	0412	394.8	-2.9	-0.7	0.21	4.3	220.2	113.3	28.5	135.1	10.2	4.7	20	M .1	.9
03A3	1989	0412	333.4	-5.4	-1.6	0.20	4.8	161.8	112.7	25.0	72.7	4.7	2.7	10	M .1	M .5
05A1	1989	0412	250.8	-7.0	-2.9	0.09	2.7	96.5	116.6	4.3	-16.1	11.5	6.9	30	M .1	.7
05A2	1989	0412	287.9	-9.7	-3.5	0.05	1.4	125.2	110.3	11.7	26.0	7.3	5.1	30	M .1	.12
05A3	1989	0412	313.8	-11.8	-3.9	0.11	2.8	135.8	111.5	13.2	36.0	6.2	2.8	M 10	M .1	M .5
05B1	1989	0412	389.3	-3.3	-0.9	0.19	3.9	194.8	121.6	30.7	103.3	16.5	7.7	30	M .1	1.2
06A1	1989	0417	277.9	-5.0	-1.8	0.13	3.4	89.5	109.2	0.8	-19.6	9.1	4.0	20	.26	1.2
06A2	1989	0417	293.3	-7.0	-2.5	0.16	3.9	84.8	107.7	-3.1	-24.8	9.9	4.7	20	.35	3.2
06A3	1989	0417	284.7	-4.2	-1.5	0.14	3.5	96.4	111.0	1.8	-15.3	6.8	4.5	30	.23	1.2
06A4	1989	0417	259.8	-0.6	-0.2	0.12	3.4	94.4	104.4	2.4	-10.5	6.1	2.2	10	M .1	M .5
06A5	1989	0413	364.0	-1.9	-0.5	0.20	4.0	116.4	121.5	-4.6	-11.0	9.4	5.7	30	M .1	1.6
07A1	1989	0413	280.5	-3.1	-1.1	0.02	0.5	86.3	108.9	-0.3	-23.0	6.8	2.1	10	M .1	.5
07A2	1989	0413	270.1	-10.2	-3.9	0.12	3.3	75.5	98.5	-3.0	-23.4	6.9	1.9	M 10	M .1	M .5
07A3	1989	0413	321.0	-3.7	-1.2	0.17	4.0	129.5	106.8	8.8	30.5	5.0	2.3	M 10	M .1	.5
07A4	1989	0413	313.0	-0.9	-0.3	0.22	5.2	129.1	108.6	0.7	19.4	6.2	6.1	40	M .1	1.0
07B1	1989	0413	277.5	1.6	0.6	0.23	5.8	108.9	121.0	8.9	-3.5	6.8	3.7	10	M .1	.6
07B2	1989	0413	295.5	-4.5	-1.6	0.22	5.6	129.9	122.5	17.6	23.5	5.2	4.5	40	M .1	.7
08A1	1989	0413	271.6	-9.1	-3.4	0.20	5.2	78.4	102.9	-1.0	-25.1	6.4	3.9	30	M .1	.8
08A2	1989	0413	310.0	-8.5	-2.6	0.17	4.1	114.1	118.4	-1.1	-5.5	4.8	4.2	40	M .1	1.0
08A3	1989	0413	338.1	-8.5	-2.6	0.21	4.5	126.5	128.0	4.3	-0.8	4.7	5.6	30	M .1	1.4
09A1	1989	0417	357.8	-4.5	-1.3	0.20	4.3	116.0	109.9	-3.0	4.4	2.8	2.5	20	.20	.6
09A2	1989	0417	356.5	-6.1	-1.7	0.05	1.1	148.9	130.3	2.8	17.7	3.9	4.8	40	.38	1.1
09A3	1989	0417	365.9	-11.9	-3.4	0.11	2.3	144.7	129.5	1.6	13.7	3.0	4.4	40	.38	.8
11A1	1989	0410	220.0	-2.5	-1.2	0.19	6.5	79.3	65.4	7.2	20.5	M 1.0	7.0	40	M .1	1.5
11A2	1989	0410	271.8	-1.5	-0.6	0.22	6.2	101.7	73.2	2.9	29.7	M 1.0	1.7	10	M .1	M .5
11A3	1989	0410	316.0	1.0	0.3	0.19	4.7	145.7	91.9	8.5	58.4	M 1.0	2.2	20	M .1	M .5
12A1	1989	0410	370.1	-2.4	-0.7	0.13	2.8	175.4	96.1	9.4	86.9	M 1.0	2.3	10	M .1	M .5
12A2	1989	0411	172.0	2.3	1.3	0.20	8.2	72.3	84.6	16.3	3.7	3.8	2.6	30	M .1	1.1
12A3	1989	0411	286.5	-7.6	-2.7	0.09	2.6	155.6	121.2	25.6	59.5	2.4	1.8	20	M .1	.5
12A3	1989	0411	240.3	-6.8	-2.9	-0.02	-0.7	125.6	102.8	18.9	41.2	1.0	1.9	10	M .1	M .5
12A4	1989	0411	216.4	-11.3	-5.5	0.01	0.4	108.0	90.9	14.6	30.9	M 1.0	1.4	M 10	M .1	M .5
13A1	1989	0411	239.9	-3.2	-1.4	0.03	0.9	143.0	89.3	34.2	83.2	M 1.0	3.0	30	M .1	1.0
13A2	1989	0411	250.7	-8.4	-3.5	-0.04	-1.3	154.6	89.6	31.8	95.6	2.4	6.9	50	M .1	1.2
14A1	1989	0411	216.0	-1.2	-0.5	0.16	5.6	93.7	74.2	13.3	32.2	6.0	5.7	40	.15	1.4
14A2	1989	0411	265.3	-4.2	-1.6	0.13	3.9	133.4	76.3	22.0	77.3	2.6	9.4	40	M .1	2.1
14A3	1989	0411	874.3	-5.5	-0.6	-0.12	-1.1	328.1	227.5	50.9	129.4	9.5	5.7	10	M .1	.6

4.4 Forsuring i ulike områder.

Tidligere undersøkelser har vist at området øst for Kirkenes er mest utsatt for sur nedbør. Det er derfor hensiktsmessig å behandle data øst og vest for Kirkenes hver for seg.

Tabell 3 viser en sammenstilling av gjennomsnittsverdier for ESO_4^* , ECaMgNa^* og ANC øst og vest for Kirkenes i denne undersøkelsen. Til sammenligning er også vist data fra overvåking av "100-sjøene" og 6 småvann på Jarfjordfjellet (øst for Kirkenes) i september 1989. Data fra stasjon 14A3 er utelatt fra beregningene fordi vannet åpenbart får store tilførsler av sulfat fra geologiske kilder.

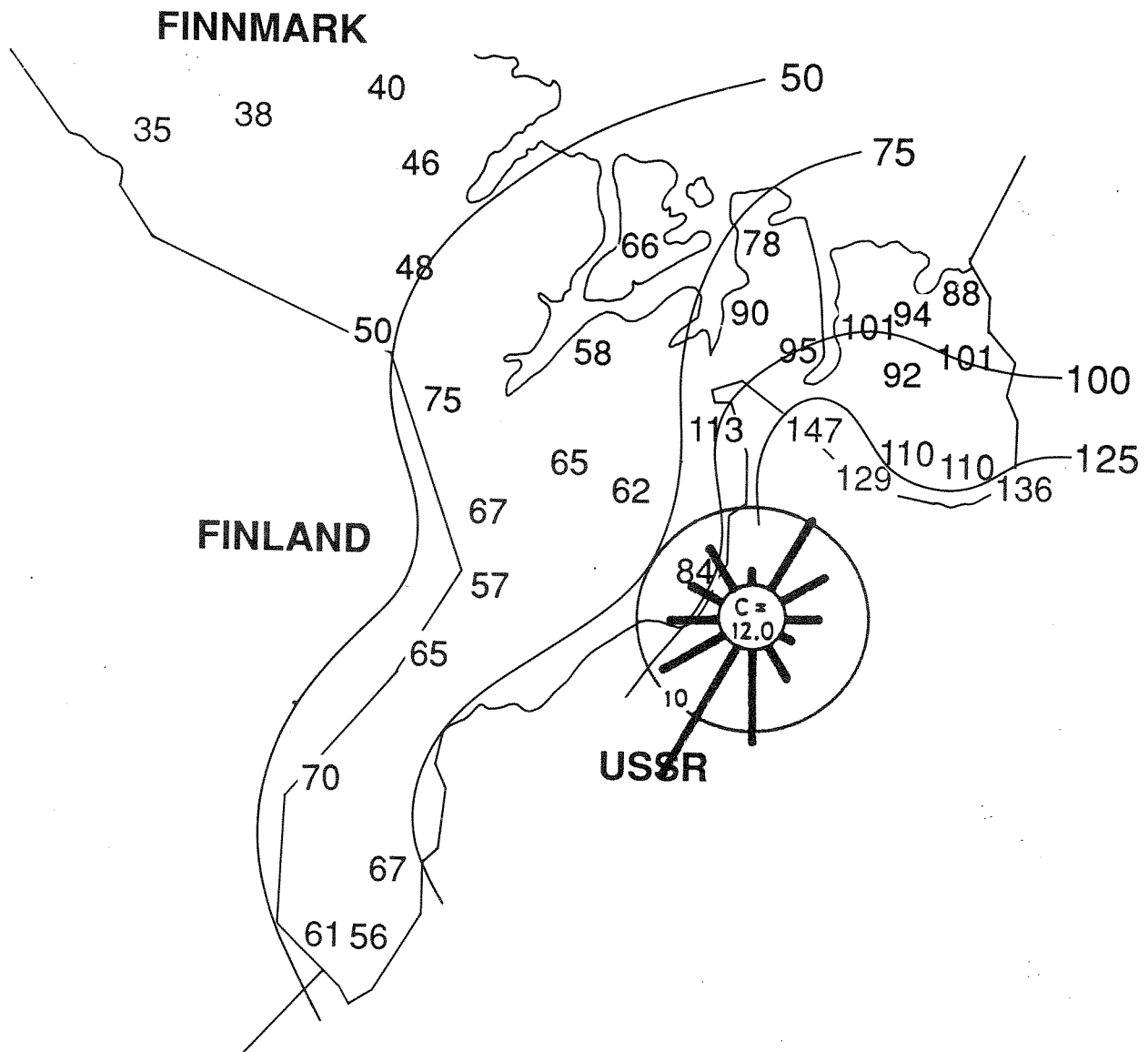
Tabell 3. Forsuringsparametre for innsjøer i Sør-Varanger øst og vest for Kirkenes. Data fra april og september 1989.

Referanse	øst/ vest	antall innsjøer	ESO_4^* $\mu\text{ekv/l}$	ECaMgNa^* $\mu\text{ekv/l}$	ANC $\mu\text{ekv/l}$
Denne undersøkelsen. April 1989.	øst	31	118	143	24
	vest	12	88	141	52
100-sjøer. September 1989.	øst	4	97	110	12
	vest	6	54	77	23
Småvann, Jarfjordfjellet September 1989.	øst	6	99	82	-17

Det fremgår av tabell 3 at sulfatkonsentrasjonene er høyest i innsjøene øst for Kirkenes. Sulfatverdiene i begge områdene (øst og vest for Kirkenes) er høyere under toktet i april enn i september. Dette kan ha sin årsak i oppkonsentrering av ioner i smeltevann under første fase av snøsmeltingen. Lave ANC-verdier øst for Kirkenes viser at mange innsjøer ligger i faresonen for forsuringsskader. Mange småvann har allerede en negativ ANC, noe som viser at tålegrensen er overskredet.

I figur 2 er det sammenstilt data for ikke-marin sulfat fra høstprøver i årene 1986-1989. Det fremgår av figuren at fordelingen av sulfat er i god overensstemmelse med fremherskende vindretninger målt av NILU ved Svanvik i Pasvikdalen like overfor smelteverket i Nikel (Schjoldager et al. 1983, Hagen et al. 1989).

SO₄^{*}, µekv/l
Data fra 1986-1989



Figur 2. Fordeling av ikke-marin sulfat i innsjøer i Sør-Varanger.
 Inntegnet vindrose etter Schjoldager et al. 1983.

5. TUNGMETALLER I VANN.

5.1 Resultater.

Resultater fra analyser av tungmetaller i innsjøene er vist tabell 2. Ingen enkeltanalyser av tungmetaller overskrider klasse 2 i SFT's Vannkvalitetskriterier for ferskvann (SFT 1989). Det er derfor ingen grunn til å vente at tungmetallene vil gi letale virkninger på organismene i de undersøkte innsjøene. Man kan allikevel ikke utelukke subletale effekter på vannboende organismer. Dette gjelder spesielt enkelte innsjøer med relativt høye nikkelkonsentrasjoner. Det kan nevnes at sovjeterne har satt grenseverdien for subletale effekter av nikkel til 10 µg/l. Flere av innsjøene øst for Kirkenes overskrider denne grensen. Den tilsvarende grenseverdi i det norske klassifiseringssystemet er 30 µg/l (overgangen mellom klasse 2 og 3). De samme innsjøene som har høye nikkelkonsentrasjoner har også gjennomgående relativt høye konsentrasjoner av kobber (5 - 9 µg/l).

5.2 Konsentrasjonsgradienter i vassdragene.

Tabell 4 viser midlere tungmetallkonsentrasjoner for innsjø nr. 1, 2 og 3 i vassdragene øst for Kirkenes.

Tabell 4. Konsentrasjonsgradienter av tungmetaller nedover vassdragene øst for Kirkenes.

Posisjon	Middelverdier av konsentrasjoner, µg/l				
	nikkel	kobber	sink	kadmium	bly
Øverste innsjø n=11	10.2	5.0	22	<0.15	1.3
Innsjø nr. 2 n=10	7.0	4.3	<25	<0.17	<1.1
Innsjø nr. 3 n=7	5.2	3.6	<20	<0.16	<0.9

Det fremgår av tabell 4 at det er en markert reduksjon i konsentrasjonene av nikkel nedover vassdraget, trolig grunnet tilbakeholdelse i sedimentene. Det synes også å være en svak tendens til reduserte konsentrasjoner av kobber og bly. Sink og kadmium viser ingen merkbar endring nedover i vassdraget.

5.3 Tungmetaller i ulike områder.

Tabell 5 viser midlere konsentrasjoner av tungmetaller i innsjøer gruppert etter beliggenhet øst eller vest for Kirkenes. I tillegg til resultater fra undersøkelsen i april 1989, er det tatt med resultater fra september 1989 for 20 innsjøer som inngår i overvåkingsprogrammet for 100-sjøene og i undersøkelsene i forbindelse med miljøvernavtalen mellom Norge og Sovjetsamveldet.

Tabell 5. Konsentrasjoner av tungmetaller i innsjøer øst og vest for Kirkenes. Prøver fra april og september 1989.

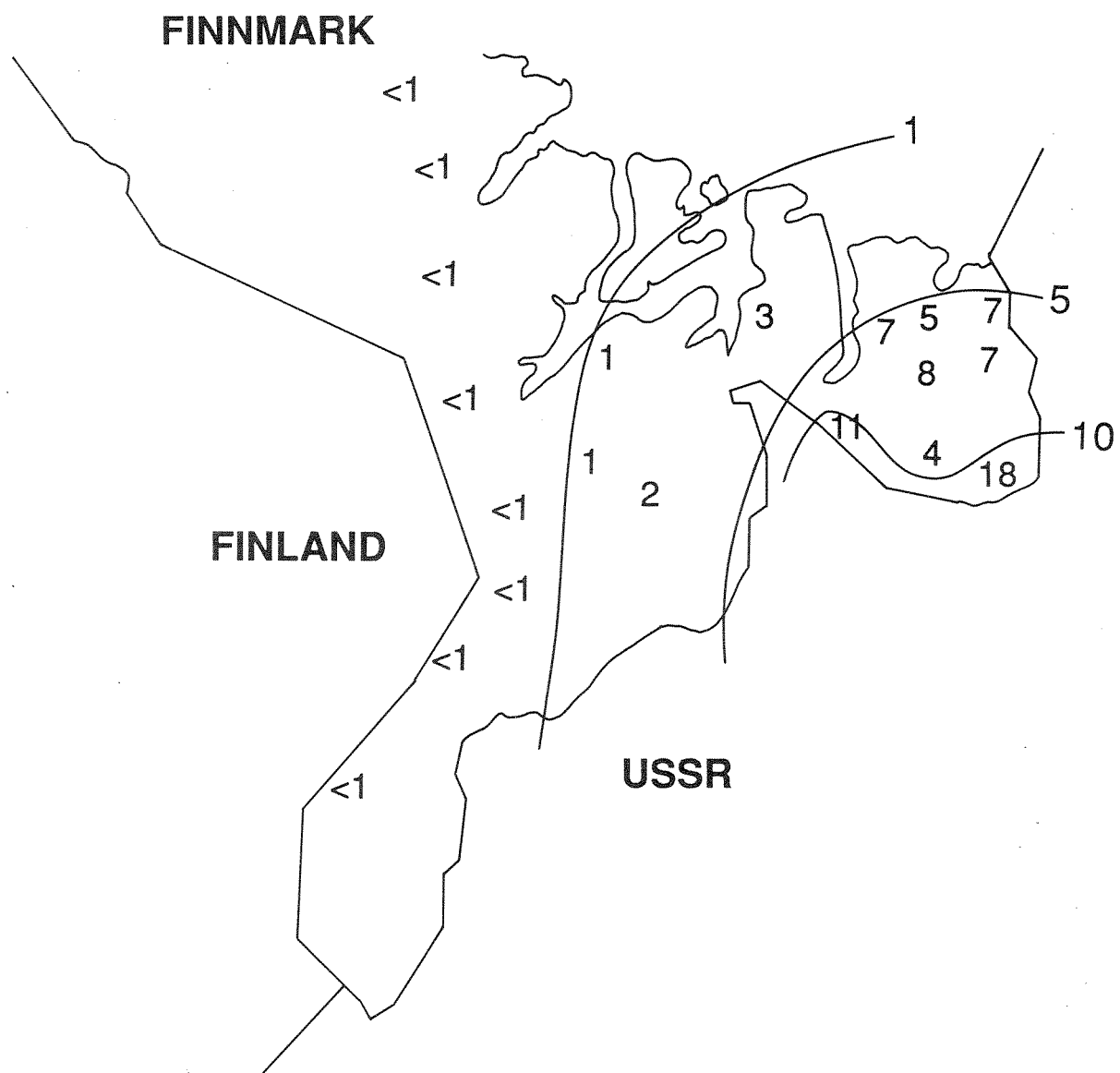
Referanse/ beliggenhet	Middelverdier av konsentrasjoner, µg/l.					
	nikkel	kobber	sink	kadmium	bly	kvikksølv
Denne under- søkelsen						
øst (n=31)	7.7	4.4	<23	<0.15	<1.1	-
vest (n=12)	<2.0	3.8	<25	<0.10	<0.9	-
100-sjøer, Norge-Sovjet						
øst (n= 9)	7.7	2.0	<10	<0.1	<0.5	<0.02
vest (n=11)	<1.1	1.1	<10	<0.1	<0.5	<0.02

Innsjøene øst for Kirkenes hadde betydelig høyere konsentrasjoner av nikkel enn innsjøene vest for Kirkenes. Kobberkonsentrasjonen viste også en tendens til høyere konsentrasjoner på østsiden. De øvrige tungmetallene viste ingen forskjeller mellom områdene.

Gjennomgående var konsentrasjonene av tungmetaller noe høyere i april enn i september. Dette kan ha sammenheng med konsentrering under begynnende snøsmelting. Sammenhengen mellom beliggenhet og konsentrasjoner av nikkel og kobber var klarere for høstprøvene enn for senvinterprøvene. Dette kan ha sammenheng med at lokalitetene var i ulike faser av snøsmeltingen, noe som kan påvirke konsentrasjonene.

Figur 3 viser den geografiske fordelingen av nikkelkonsentrasjonene i innsjøene i september 1989. Fordelingsmønsteret er påfallende likt fordelingen av ikke-marin sulfat som vist i figur 2. Isolinjenes form og beliggenhet er også i god overensstemmelse med innhold av nikkel i mose og lav (Schjoldager et al. 1983).

Ni, $\mu\text{g/l}$
September 1989



Figur 3. Nikkelkonsentrasjoner i innsjøer i Sør-Varanger, sept. 1989.

5.4 Sammenhengen mellom forsurening og tungmetaller.

Tabell 6 viser korrelasjonskoeffisienter (r) mellom konsentrasjoner av tungmetaller og ikke-marin sulfat (ESO_4^*), pH, basekationer (ECM*) og innsjøenes høyde over havet (HOH) for prøvetoktet i april 1989. Tabell 7 viser tilsvarende korrelasjoner for prøver tatt i september.

Tabell 6. Korrelasjonskoeffisienter (r) mellom konsentrasjoner av tungmetaller og vannkjemiske parametre (ESO_4^* , pH og ECM*) og innsjøenes høyde over havet (HOH). April 1989. n=43.
Signifikansnivå: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
ESO_4^*	0.502***	0.077	-0.182	0.226	0.0572
pH	-0.454**	0.0813	0.156	-0.137	-0.211
ECM*	0.204	0.259	-0.0006	0.206	0.165
HOH	0.271	0.073	-0.0164	-0.208	-0.0165

Av tungmetallene var det bare nikkel som var signifikant korrelert til forsuringparametrene sulfat og pH. Årsaken er trolig en kombinasjon av at nikkel blir transportert sammen med svovel i nedbøren og at forsurening av nedbørfeltene fører til økt mobilitet (utvasking) av nikkel. En multippel regressjon basert på minste kvadraters metode ga en forklaringsgrad for variasjoner i nikkelskonsentrasjoner på 62% med sulfat, pH, HOH og basekationer som forklaringsvariable ($r^2=0.620$, $p=0.00000$).

Tabell 7. Korrelasjonskoeffisienter (r) mellom konsentrasjoner av tungmetaller og vannkjemiske parametre (ESO₄*, pH og ECM*) og innsjøenes høyde over havet (HOH). September 1989. n=20. Signifikansnivå: * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001 .

	Ni	Cu	Zn ¹⁾	Cd ¹⁾	Pb
ESO ₄ *	0.700***	0.761***	0	0	-0.261
pH	-0.356	-0.0505	0	0	-0.131
ECM*	0.334	0.540*	0	0	-0.363
HOH	0.295	0.0505	0	0	0.249

¹⁾ Alle verdier for Zn og Cd var under deteksjonsgrensen.

Resultater fra høstprøvene (tabell 7) viste også en høy signifikant sammenheng mellom nikkel og sulfat. Også kobber viste en høy signifikant sammenheng med sulfat. Årsaken til at en slik sammenheng ikke ble funnet på sen vinteren kan ha sin årsak i at snøsmeltingen var kommet mer eller mindre langt i ulike nedbørfelt. Kobber viste forøvrig en trolig signifikant (p<0.05) sammenheng med vannets innhold av basekationer, noe som kan tyde på geologiske kilder for kobber. Man kan imidlertid ikke utelukke at dette skyldes en viss samvariasjon mellom basekationer og sulfat. Dette skyldes at innsjøene som ble prøvetatt i september og lå øst for Kirkenes gjennomgående hadde høyere konsentrasjoner av basekationer enn innsjøene på vestsiden. Kobberkonsentrasjonene om høsten var forøvrig så lave at de neppe har merkbare virkninger på vannboende organismer (tabell 5). Multiple regresjoner mellom nikkel og sulfat, pH, høyde over havet og basekationer ga en forklaringsgrad på 63% ($r^2=0.628$, $p=0.00341$). Tilsvarende forklaringsgrad for kobber var 68% ($r^2=0.675$, $p=0.00133$).

Av tungmetallene ser det ut til at det spesielt er nikkel, og til en viss grad kobber som har sammenheng med luftforurensningene i området. NILU's analyser av nedbør (Hagen *et al.* 1989) viser også at kobber og nikkel har sammenheng med forurensninger fra smelteverkene. Dette er også de to metallene som har hatt påvisbare økologiske effekter i vann i nærområdene rundt smelteverkene på Kolahalvøya (T. Moiseenko, pers. medd.).

Deposisjonen av nikkel og kobber avtar raskt med avstanden fra kilden. I innsjøer rundt Nikel er det registrert nikkelkonsentrasjoner på flere hundre mikrogram pr. liter og kobberkonsentrasjoner over hundre mikrogram. Nikkel er mer mobilt enn kobber, og blir derfor i større

grad vasket ut fra nedbørfeltet ved en forsuring. Kobber blir i større grad holdt tilbake i nedbørfeltet. Derfor er konsentrasjonene i innsjøene av nikkel høyere enn for kobber i de mest belastede områdene selv om deposisjonen av de to elementene er omtrent like store (Hagen et al. 1989).

6. TUNGMETALLER I SEDIMENTER

6.1 Innledning

Det ble samlet inn overflatesedimenter (0-1 cm) fra 35 av de 44 innsjøene som ble undersøkt i april 1989 (se fig. 1 og tab. 10). Resultatene av tungmetallanalysene og glødetapene er gitt i tab. 10. Graden av forurensning er vurdert ut fra beregninger av kontamineringsfaktoren (K_f). Denne faktoren er definert som forholdet mellom et sjikts konsentrasjon (C_x) og bakgrunnskonsentrasjonen (C_b) og er et uttrykk for anrikningsgraden (Håkanson & Jansson 1983). Det er ingen metode som tar hensyn til alle faktorer som påvirker problemkomplekset "naturlige bakgrunnsverdier", men de defineres ofte som de laveste verdiene som registreres i de dypere lag i sedimentet. De geologiske forholdene har avgjørende betydning for bakgrunnskonsentrasjonen i sedimentet. Bakgrunnsverdiene ble estimert etter analyser av de dypere sjikt (20-30 cm) i sedimentene fra 12 innsjøer fordelt over hele Sør-Varanger og disse var som følger (tab. 8):

Tab.8 Middelveidier (\bar{x}) og standardavvik for bakgrunns-konsentrasjoner (n=12) av tungmetaller i sedimenter i Sør-Varanger. TV=tørrvekt

Elementer	Hg	Cd	Pb	Ni	Cu
Benevning	ng/gTV	ng/gTV	µg/gTV	µg/gTV	µg/gTV
\bar{x}	<50	180 ± 50	5 ± 3	32 ± 10	50 ± 10

For kvikksølv ble 40 ng/g TV valgt som grunnlag for beregningene av K_f -verdiene og for de andre ble middelveidien brukt.

I tab. 9 er inndeling av forurensningsklasser etter K_f -verdier vist. Klassifiseringen er gjort på bakgrunn av resultatene fra en landsomfattende undersøkelse over tungmetaller i sedimenter (Rognerud & Fjeld 1990).

Tab.9 Inndeling av "forurensningsklasser" på bakgrunn av K_f -verdier (etter Rognerud & Fjeld 1990).

Forurensningsklasse	K_f -verdi	Forurensningsgrad
1	0 - 1.5	liten
2	1.5 - 3	moderat
3	3 - 6	markert
4	> 6	stor

Strengt tatt er ikke K_f -verdiene bare et mål på graden av tilførte forurensninger da også naturlige prosesser i sedimentet kan gi en anrikning i visse sedimentsjikt. For akvatiske organismer vil en anrikning virke som en "forurensning" uavhengig av om årsaken er forurensninger eller naturlige prosesser. For mange elementer vil imidlertid, i de fleste tilfeller, høye K_f -verdier være knyttet til forurensninger. Begge disse forholdene gjør at en kan forsvare å bruke begrepet "forurensningsklasser" ut fra beregninger av K_f -verdiene. Dataene fra Sør-Varanger vil også bli diskutert i et nasjonalt perspektiv i den landsomfattende undersøkelsen som er under rapportering (Rognerud & Fjeld, 1990).

Tab.10 Tungmetaller i overflatesedimenter (0-1 cm) i Sør-Varanger i 1989.

Kode	Hg ng/g TV	Cd ng/g TV	Pb µg/g TV	Ni µg/g TV	Al mg/g TV	Cu µg/g TV	GT %	OC %
01A1	110	390	37	87	17	78	43	20,4
01A2	70	420	26	44	19	75	42	20,1
01A3	100	130	29	37	20	76	37	17,6
02A1	130	470	43	79	27	208	31	14,6
02A2	50	210	5	67	7	63	25	11,6
02B1	80	570	8	70	7	79	36	17,3
02B2	290	460	53	238	11	179	50	14
03A1	120	320	37	127	9	128	37	17,6
03A2	220	470	10	107	6	111	36	17
03A3	150	670	46	175	6	88	23	11
05B1	50	340	28	82	6	67	30	14,2
05A3	90	390	29	60	13	45	30	14,3
05A2	70	350	34	91	12	54	16	7,6
05A1	50	310	33	61	13	39	15	6,9
06A1	60	310	8	38	18	73	25	12
06A2	140	—	43	46	17	98	22	10,5
07A1	160	180	42	77	29	90	26	12,3
07A2	150	220	36	63	31	97	25	11,9
07A3	70	270	10	56	22	59	27	12,8
07B1	110	440	39	118	19	74	26	12,1
07B2	80	120	29	57	17	55	30	14
08A1	110	200	42	67	24	76	20	9,4
08A2	160	480	46	69	33	82	36	17
08A3	190	290	37	76	32	75	32	16,5
11A2	70	100	24	—	21	68	13	6,6
11A3	130	220	64	56	31	166	23	12,2
11A4	40	560	35	45	22	88	13	6,8
12A1	50	—	48	32	21	68	35	16,5
12A2	70	380	36	38	17	71	40	19,7
12A3	70	670	44	67	25	111	30	15,8
12A4	—	460	109	57	30	148	48	24,5
13A2	80	750	35	38	9	69	38	20
14A1	40	180	7	34	13	59	41	20,3
14A2	40	160	5	28	12	54	38	18,2
14A3	110	330	38	63	35	102	21	10

6.2 Sammenhengen mellom tungmetallkonsentrasjoner i overflatesedimentet og andre parametre

I kap. 5 ble det vist at nikkel og kobber var de eneste tungmetallene i vann som hadde en geografisk fordeling som var i god overensstemmelse med parametre som gir indikasjon på intensiteten i deponeringen av syrer og metaller. De høyeste konsentrasjonene ble registrert i småvann øverst i vassdraget i området øst for Kirkenes.

I tab. 11 og 12 er en korrelasjonsmatrise (r) for ulike variable og sedimentkonsentrasjonene av nikkel (SNi) og kobber (SCu) vist.

Tab.11 Korrelasjonsmatrise (r) for nikkelkonsentrasjonen i overflatesedimentet (SNi) og nikkelkonsentrasjonen i mose (MNi), vann (VNi), ikke marin sulfat (SO₄*), pH, organisk karbon i sediment (OC), høyden over havet (m.o.h.), arealvannbelastning (qs) og dypet (z).

	log SNi	log MNi	VNi	SO ₄ *	pH	OC	m.o.h.	log qs
log SNi	1							
log MNi	.3	1						
VNi	.145	.566	1					
SO ₄ *	.314	.446	.525	1				
pH	.227	.173	-.411	-.205	1			
OC	-.326	.124	.047	.029	-.006	1		
m.o.h.	.328	.188	.371	-.099	-.33	-.218	1	
log qs	.244	.078	-.433	.189	.55	-.022	-.368	1
Sqrt Z	.098	-.307	-.091	-.092	-.196	-.239	.134	-.151

Tab.12 Korrelasjonsmatrise (r) for kobberkonsentrasjonen i overflatesedimentet (SCu) og kobberkonsentrasjonen i vann (VCu), ikke-marin sulfat (SO₄*), pH, organisk karbon i sediment (OC), høyden over havet (m.o.h.), arealvannbelastning (qs) og dypet (z).

	log SCu	VCu	SO ₄ *	pH	OC	m.o.h.	log qs	Sqrt Z
log SCu	1							
VCu	.001	1						
SO ₄ *	.208	.341	1					
pH	.013	-.008	-.205	1				
OC	.131	.138	.029	-.006	1			
m.o.h.	-.21	.084	-.099	-.33	-.218	1		
log qs	-.104	-.289	.189	.55	-.022	-.368	1	
Sqrt Z	.351	-.251	-.092	-.196	-.239	.134	-.151	1

SNi var best korrelert til forsyningsparametre som pH og SO_4^* samt høyden over havet (m o.h.) og andelen uorganisk materiale i sedimentet. En stegvis multipel regresjon ga følgende sammenheng:

$$(1) \log S_{Ni} = 0.006 SO_4^* + 0.213 \text{ pH} + 0.002 \text{ m o.h.} - 0.461$$

Forklaringsgraden (r^2) var 0.45 og $n = 35$.

Nikkel er et mobilt element som løses ut i vannfasen ved synkende pH. Likning (1) viser at belastningen av syrer (SO_4^*) har betydning for S_{Ni}. Dette fordi nikkel deponeres sammen med forsurende stoffer og at forsurening av marken i nedbørfeltet kan løse ut nikkel fra nedbørfeltets uorganiske fraksjon. Begge disse forhold bidrar til en økt belastning av nikkel til innsjøene. Slike prosesser synes å ha størst intensitet i de høyereliggende områdene.

Det er også interessant at S_{Ni} er positivt korrelert til pH i likning (1), mens nikkel i vannfasen (V_{Ni}) var negativt korrelert til pH. Med andre ord vil de høyeste nikkelkonsentrasjoner i sedimentet finnes i de innsjøene som har en høy atmosfærisk belastning av nikkel og forsurende stoffer kombinert med en "god" bufferkapasitet i innsjøen.

Dersom bufferkapasiteten ikke er god nok og pH synker som følge av tilførsel av surt vann vil mer av nikkelbelastningen være løst i vannmassene samt at nikkel også løses ut fra sedimentene. Nikkel er i hovedsak knyttet til sedimentets uorganiske fraksjon. Denne andelen øker med innsjøens høyde over havet og denne samvariasjon kan være en av hovedårsakene til at (m o.h.) går inn i regresjonslikningen (1) i stedet for andelen uorganisk materiale.

Kobberkonsentrasjonen i sedimentet (S_{Cu}) var også positivt korrelert til "belastningsparameteren" SO_4^* og til innsjøenes dyp (z). En multipel regresjon ga imidlertid en liten forklaringsgrad ($r^2=0.2$). S_{Cu} hadde ingen korrelasjon med kobberkonsentrasjon i vann (V_{Cu}).

Utløsningen av kobber, kvikksølv og bly er ikke så følsom overfor pH-endringer som f.eks. nikkel. Dessuten er de oftest knyttet til sedimentets organiske fraksjon (Rognerud & Fjeld 1990). For alle disse elementene synes forhold som sedimentets organiske innhold og innsjødyppet å være viktigere faktorer for sedimentkonsentrasjonene enn "belastningsparametrene". Denne mangelen på klare positive korrelasjoner mellom sedimentkonsentrasjoner og "belastningen" fra atmosfæren må skyldes at variasjonen i deponeringer ikke er stor nok til å overskygge effektene av innsjøspesifikke egenskaper.

Dette er sannsynligvis også årsaken til at det ikke var noen signifikant trend mot økende eller synkende sedimentkonsentrasjoner

for tungmetallene nedover i vassdraget slik som det ble registrert for nikkel i vannprøvene (kap. 5.2).

6.3 Forurensningsgraden av tungmetaller

Da det ikke var signifikante økninger eller avtak i sedimentkonsentrasjonene nedover i vassdragene ble alle prøvene innenfor hvert område (vassdrag) slått sammen og K_f -verdiene beregnet ut fra middelverdiene.

I fig. 4 er det vist hvilken forurensningsklasse vassdragene i Jarfjordområdet grupperer seg i for kvikksølv, kadmium, nikkel og kobber. I denne sammenhengen er bly utelatt på grunn av mistanker om enkelte lokale variasjoner i bakgrunnskonsentrasjonene som må undersøkes nærmere. For de øvrige vassdragene som ligger vest for Pasvikelva (omr. 11, 12, 13, 14) var forurensningsgraden liten til moderat for kvikksølv, kadmium, nikkel og kobber.

En markert forurensningsgrad (kl. 3) ble registrert for elementene kvikksølv og nikkel i de grensenære vassdrag syd for Jarfjorden, men forurensningen avtok nordover mot kysten. Med unntak av områdene ved grensen var overflatesedimentene i Jarfjordområdet lite til moderat forurenset av kvikksølv og nikkel. For kadmium og kobber var sedimentene i Jarfjordområdet lite til moderat påvirket av forurensninger.

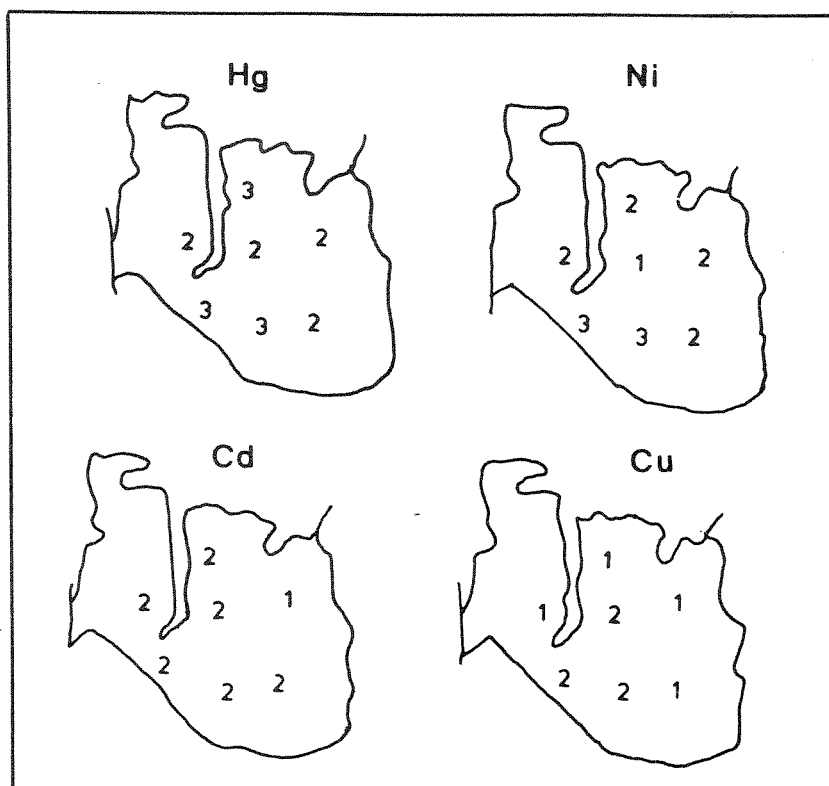


Fig.4 Forurensningsklasser beregnet ut fra grensene for kontamineringsfaktoren som er gitt i Tab.9. Verdiene representerer middelverdier for de respektive vassdragene i Jarfjordområdet.

- klasse 1 = lite forurenset
- klasse 2 = moderat forurenset
- klasse 3 = markert forurenset

Dette generelle mønsteret for konsentrasjoner i sedimentene er i god overensstemmelse med konsentrasjoner i mose og lav og av forurende stoffer (se kap. 5.1). Eventuelle økologiske effekter knyttet til tungmetallforurensningen av vassdrag må i første rekke forventes i områdene nær den russiske grensen. De andre områdene i Jarfjordområdet var generelt lite berørt.

Foreløpige beregninger av K_f -verdiene for bly viste en markert forurensningsgrad i de fleste områdene i Sør-Varanger. Hovedårsaken til dette er ikke at det atmosfæriske nedfallet er spesielt stort, men at de naturlige bakgrunnsverdiene i mange områder er svært lave. En tettere geografisk dekning av blykonsentrasjonen i sedimentets uorganiske fraksjon er nødvendig for å vise geografiske variasjoner i forurensningsgraden av bly. Dette vil bli utredet nærmere i samarbeid med NGU og rapportert i den landsomfattende undersøkelsen (Rognerud & Fjeld 1990).

6.4 Sammenhengen mellom konsentrasjonen av ulike tungmetaller i overflatesedimentet

I tab. 13 er det vist en korrelasjonsmatrise for konsentrasjonene av de undersøkte elementene i overflatesedimentet. Kvikksølv, bly og kobber viste en positiv interkorrelasjon. Dette skyldes sannsynligvis at de har felles atmosfæriske kildeområder og at de i det aktuelle pH-området er relativt lite mobile, samt at forurensningene oftest er knyttet til den organiske fraksjonen i sedimentet (Rognerud & Fjeld 1990).

Kadmium var dårlig korrelert til de andre elementene. Dette skyldes i hovedsak at kadmium er et mobilt element der utløsningsgraden fra sedimentet øker ved synkende pH-verdier også innenfor det aktuelle pH-intervallet. En mer detaljert analyse av korrelasjoner mellom ulike elementer i sedimentene vil bli gitt i den landsomfattende undersøkelsen.

Tab.13 Korrelasjonsmatrise (r) for konsentrasjoner i overflatesedimentet av ulike metaller.

	log Hg	log Cd	log Pb	log Ni	log Cu	Al
log Hg	1					
log Cd	.054	1				
log Pb	.525	.232	1			
log Ni	.522	.088	.259	1		
log Cu	.653	.189	.446	.34	1	
Al	.314	-.107	.476	-.161	.333	1

LITTERATUR.

- Bøyum, A. 1970: Some Physical and Chemical Properties of Lakes in North-Eastern Norway.- Hydrologie 32, 300-326.
- Hagen, L.O., J.F. Henriksen og M. Johnsrud 1989: Basisundersøkelse av luftforurensninger i Sør-Varanger 1988-1989.- Statlig Program for Forurensningsovervåking, Rapport nr. 367/89. NILU OR: 46/89.
- Henriksen, A., L. Lien, T.S. Traaen, I.S. Sevaldrud og D.F. Brakke 1988: Lake Acidification in Norway - Present and Predicted Chemical Status.- AMBIO 17, 259-266.
- Håkanson, L. og Jansson, M. 1983: Principles of lake sedimentology. Springer Verlag, 316s.
- Nilsson, J. og P. Grennfelt (red.) 1988: Critical loads for sulphur and nitrogen. - Rapport fra en workshop i Skokloster, Sverige, 19-24 mars, 1988. 418 pp. UN/ECE og Nordisk Ministerråd. Nord 1988:15.
- Rognerud, S. og E. Fjeld 1990: Landsomfattende undersøkelse av tungmetaller i innsjøsedimenter og kvikksølv i fisk.- SFT-rapport in prep.
- Schjoldager, J., A. Semb, I.E. Bruteig, J.E. Hanssen, J.P.Rambæk 1983: Innhold av elementer i mose og lav, Øst-Finmark 1981.- NILU-rapport 55/83.
- SFT 1987: 1000 sjøers undersøkelsen 1986.- Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 282/87.
- Traaen, T.S. 1985: Forsuring av innsjøer på Jarfjordfjellet, Øst-Finmark.- NIVA-rapport 0-85175.
- Traaen, T.S. 1987: Forsuring av innsjøer i Finnmark.- Statlig Program for forurensningsovervåking. SFT Overvåkingsrapport 299/87. NIVA-prosjekt 0-8000603.

B I L A G

Tabell 1. Stasjonsnummer, navn og kartreferanser for innsjøer som inngikk i undersøkelsen i april 1989.

Dataset: VARANGER Undersøkelser av små nedbørfelt i Sør-Varanger.

STNUM	ÅR	DATO	NAVN	KART	UTM-OV	UTM-NS	HOH
01A1	1989	0417	Ø. RAUDTJERN	24342	3964	77343	230
01A2	1989	0417	LIMGAMBERGT	24342	3973	77344	172
01A3	1989	0417	DALVATN	24342	3982	77343	132
02A1	1989	0417	SERDIVATN	24342	3981	77242	171
02A2	1989	0417	TRANGDALSV.	24342	3992	77276	84
02B1	1989	0417	NAVNØST	24342	3995	77237	146
02B2	1989	0417	BORTHENVATN	24342	3999	77245	138
03A1	1989	0412	NAVNØST	24342	4068	77232	273
03A2	1989	0412	NAVNØST	24342	4068	77244	227
03A3	1989	0412	N. ØRRETVATN	24342	4048	77250	167
05A1	1989	0412	NAVNØST	25343	4130	77238	255
05A2	1989	0412	S. SKARDVATN	25343	4129	77253	238
05A3	1989	0412	L. SKARDVATN	25343	4118	77260	212
05B1	1989	0412	NAVNØST	25343	4107	77234	274
06A1	1989	0417	JAR-Ø3	24342	4055	77345	248
06A2	1989	0417	L. DJUPVATN	24342	4066	77350	211
06A3	1989	0417	ST. DJUPVATN	24342	4056	77328	192
06A4	1989	0417	BEITEVATN	24342	4044	77325	165
06A5	1989	0414	ALBMAGAISJ.	24342	4037	77315	127
07A1	1989	0413	A. HØGFJ. V.	25343	4159	77376	273
07A2	1989	0413	F. HØGFJ. V.	25343	4154	77371	243
07A3	1989	0413	F. SKARDVATN	25343	4143	77365	179
07A4	1989	0413	HOLMVATN	25343	4131	77356	156
07B1	1989	0413	NAVNØST	25343	4148	77331	245
07B2	1989	0413	GUOIKALUOB.	25343	4139	77338	187
08A1	1989	0413	NAVNØST	24342	4051	77394	220
08A2	1989	0413	MÅSEVATN	24342	4044	77396	143
08A3	1989	0413	STRIMPVATN	24341	4043	77404	65
09A1	1989	0417	JØRGENDALV.	24341	3955	77462	145
09A2	1989	0417	ØRETØPPVATN	24341	3943	77456	128
09A3	1989	0417	SMUKVATN	24341	3929	77437	65
11A1	1989	0410	NAVNØST	23341	5884	77650	358
11A2	1989	0410	GARANASJAV.	23341	5890	77653	290
11A3	1989	0410	F. MAREJAVRI	23341	5897	77667	128
11A4	1989	0410	A. MAREJAVRI	23352	5895	77681	64
12A1	1989	0411	NAVNØST	23342	5853	77275	190
12A2	1989	0411	NAVNØST	23342	5861	77288	148
12A3	1989	0411	NAVNØST	23342	5864	77308	125
12A4	1989	0411	BØTTEMYRV.	23342	5869	77315	109
13A1	1989	0411	NAVNØST	23331	5836	76945	210
13A2	1989	0411	JUOMISJAVRI	23331	5848	76931	187
14A1	1989	0411	KORSVATN	24343	6103	77198	149
14A2	1989	0411	NAVNØST	24343	6113	77205	125
14A3	1989	0411	SAGVATN	24343	6141	77194	75