Kvikksølv i 155 norske elver (1993 - 1997). En analyseteknisk utfordring

Av Gjertrud Holtan,
Håvard Hovind,
Terje Hopen og
Bente Hiorth Lauritzen

Alle forfatterne er ansatt ved NIVA

Summary

In 1988, the Paris Commission decided to launch a comprehensive annual monitoring programme covering inputs of selected pollutants, amongst others mercury (Hg), to Paris Convention waters. The programme commenced in 1990, and continued the following years. The purpose is to provide the Commission with an assessment of the waterborne inputs to Convention waters. For Norway this means input to our marine waters.

Mercury is determined by cold vapour atomic absorption spectrometry, after preceeding preconcentration with a gold trap. In low conductivity water samples, nitric acid alone is not sufficient to stabilise very low concentrations of mercury. A method for the stabilisation of mercury with nitric acid in combination with sodium chloride was developed. Water samples treated by this method are stable for several weeks.

This article focuses on the distribution of mercury in 10 so-called main rivers and 145 tributaries. Mean concentrations for the period 1993-1997, and concentration levels in 1994 and 1996 are presented. The monitoring results show, inter alia, that the concentrations measured in the northern part of Norway were higher in 1996 than the findings from the same area in 1994. One of the reasons for this might be the heavy rain in the counties from Finnmark to Trøndelag during the water sampling. Mercury in precipitation and "wash out" of mercury from the catchments may have increased the mercury concentrations in the rivers. Similar effects have been observed from the monitoring data of e.g. the rivers Glomma, Numedalslågen and Vefsna, with higher values during rain falls and high flood. The highest concentrations are measured in samples from the Oslo area, while the findings in most of the other rivers are at, or near, the detection limit (1.0 ng/l). If some values were below detection limits, two input quantities have been estimated:

one assuming that the true concentration is zero and the other assuming that the true concentration is the limit of detection. This provides minimum and maximum concentrations between which lies the true estimate. Minimum annual input (mean 1993 – 1997) is estimated to be 283 kg and maximum 361 kg, of which about half is due to long range air pollution.

Sammendrag

En samordnet nasjonal overvåking av forurensningstilførsler til norskekysten kom opprinnelig i stand som følge av en beslutning i Pariskommisjonen i 1988 om å etablere et omfattende årlig program for overvåking av elvetilførsler og direkte tilførsler til Pariskonvensjonens kyst- og havområder, det såkalte "Comprehensive Study on Riverine Inputs and Direct Discharges (RID)". Det norske overvåkingsprogrammet ble iverksatt i 1990, og er etter hvert blitt en integrert del av den samordnede internasjonale miljøovervåkingen, som finner sted innenfor rammen av den nye Oslo- og Pariskommisjonen (OSPAR). I Norge har Statens forurensningstilsyn (SFT) det administrative ansvaret for rapportering til OSPAR. I perioden 1990 – 1998 har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) hatt det faglige ansvaret for gjennomføring av elveundersøkelsen.

På landsbasis er det foretatt undersøkelse av utvalgte forurensningskomponenter, bl.a. kvikksølv (Hg) i 10 hoved- og 145 "andre elver". Fra 8 av de såkalte hovedelvene (Glomma, Drammenselva, Numedalslågen, Skienselva, Otra, Orreelva, Orkla og Vefsna) er det minst samlet inn månedlige prøver, mens det fra 2 hovedelver (Suldalslågen og Alta) er samlet inn prøver 4 ganger i året. Fra resten ("andre elver") er det ved 3 til 10 anledninger innhentet stikkprøver.

Kvikksølv ble bestemt med kalddamp atomabsorpsjon etter oppkonsentrering på gullfelle. I vannprøver med lav ledningsevne er ikke salpetersyre alene nok til å stabilisere meget lave konsentrasjoner av kvikksølv. Det ble derfor utviklet en metode for stabilisering av kvikksølv med salpetersyre etter tilsetning av natriumklorid. Vannprøver behandlet med denne metoden er stabile i ukesvis.

I denne artikkelen er det fokusert på fordelingen av kvikksølv i de norske elvene, dvs. midlere verdier for perioden 1993 – 1997 og konsentrasjonsnivåer i 1994 og 1996. Det fremgår av datamaterialet at det ble målt høyere konsentrasjoner i prøvene fra Nord-Norge i 1996 enn i 1994. Medvirkende årsak til dette kan være vedvarende regnvær fra Finnmark til Trøndelag i forbindelse med prøvetaking, og dermed både utvasking fra nærområdene og tilførsler via nedbør. Tilsvarende fremgår også av prøveresultater fra f. eks. Glomma, Numedalslågen og Vefsna, med høyere verdier under sterk nedbør og flom. For øvrig er de høyeste konsentrasjonene målt i prøver fra Oslo-området, mens konsentrasjonene i flertallet av elvene ligger under eller i nærheten av deteksjonsgrensen (1 ng/l).

Midlere årstransport via elver (1993-1997) er beregnet til et minimum på 283 kg og et maksimum på 361 kg. Det er videre beregnet at omtrentlig halvparten av Hg-transporten via elver kan være avsetninger fra langtransporterte forurensninger. Beregningene er usikre, men kan likevel gi en antydning om betydningen av de enkelte tilførselskilder.

Overvåking av forurensningstilførsler til norskekysten

Fra 1990 og fremover er det i regi av elveundersøkelsen (Comprehensive Study on Riverine Inputs and Direct Discharges (RID)), iverksatt gjennom Paris-kommisjonen, samlet inn prøver fra 155 elver som renner ut i fjord og havområder fra Grense Jacobselv i nord til Tista (Iddefjord) i syd. I Norge har Statens forurensningstilsyn (SFT) det administrative ansvaret for rapportering til Oslo og Pariskommisjonen (OSPAR). I perioden 1990 – 1998 har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) hatt det faglige ansvaret for gjennomføring av elveundersøkelsen.

Elvetilførselsprogrammet

Programmets mål er:

- Beskrive og vurdere, så nøyaktig som mulig, alle elvetilførsler og direkte utslipp til norske kystfarvann av utvalgte forurensningskomponenter.
- Rapportere årlig tilførsels- og utslippsdata til Oslo- og Pariskommisjonen, og ved jevne mellomrom analysere datasettet med tanke på å avdekke eventuelle trender.

For å nå dette målet skal det på årlig basis overvåkes eller måles minst 90 % av tilførslene for hver enkelt forurensningskomponent. Videre skal det estimeres tilførsler fra diffuse kilder, direkte utslipp og tilførsler via mindre vassdrag i områder som ikke dekkes av overvåkingen i hovedelvene, slik at nær 100 % av tilførslene dekkes.

Overvåkingsprogrammet har siden 1990 omfattet 10 hovedvassdrag som prøvetas minst månedlig (se nedenfor). Videre prøvetas 145 andre vassdrag med svært varierende hyppighet, dvs. alle vassdrag med utløp til kysten og med nedbørfelt større eller lik 500 km^2 (NVE, 1989) samt mange mindre elver. Disse vassdragenes nedbørfelt dekker om lag 75 % av det totale areal i fastlands-Norge. Elvestasjonene fremgår av figur 2. I Sør-Norge, dvs. den delen av landet som drenerer til Skagerrakkysten, er ca. 90 % av landarealet dekket med elvemålestasjoner. Det er lagt størst vekt på denne delen av landet, siden Nordsjøavtalene først og fremst har virkning for tilførsler til Skagerrakkysten.

Ved utvelgelsen av de 10 hovedvassdragene ble det opprinnelig lagt vekt på følgende:

- Dekke de største og viktigste tilførslene til Skagerrakkysten. Det gjelder de fem vassdragene Glomma, Drammenselva, Numedalslågen, Skienselva og Otra.
- Et representativt vassdrag i et om-

råde med intensivt jordbruk, Orreelva, gir et bilde av sterkt eutrofierte vassdrag på Jæren.

- Vassdrag i Midt-Norge med bl.a. tilførsler fra nedlagt gruveindustri. Orkla har slike tilførsler.
- Vassdrag i Nord-Norge med periodevis høyt innhold av partikulært materiale. Vefsna er representativ for landsdelen i så måte.
- Vassdrag med liten forurensningsbelastning og lave konsentrasjoner. Suldalslågen og Alta er representative for denne kategorien. Begge vassdrag har sterkt regulert vannføring, men representerer samtidig to ytterpunkter med hensyn til klimatiske forhold.

Feltmetoder

Prøvetakingsfrekvens

- Fra elvene Glomma, Drammenselva, Numedalslågen, Skienselva, Otra, Orre-vassdraget, Orkla og Vefsna er det samlet inn månedlige prøver. De tre første årene (1990, 1991, 1992) ble det i månedene april – juli samlet inn to prøver pr. måned fra Glomma. Fra Orrevassdraget og Vefsna er det i samme periode samlet inn prøver 19/20 ganger pr. år. I tillegg ble det under flommen i juni måned 1995 og som en oppfølging i 1996 samlet inn prøver hhv en gang pr. dag og annenhver dag fra Glomma og Drammenselva. I denne perioden ble prøvene i 1995 analysert for kvikksølv annenhver dag, i 1996 en gang pr. uke.
- Fra elvene Suldalslågen og Alta er det samlet inn prøver fire ganger pr. år.
- Fra de andre 145 elvene er det samlet inn stikkprøver fra 2 til 10 ganger i løpet av perioden (1990-1997).

Prøvetakingssted

Prøvene er tatt fra elvenes hovedvannmasser og fortrinnsvis i strykpartier hvor vannmassene er godt blandet. Prøvetakingsstedene er plassert så langt nede i elvene som mulig, men så høyt oppe at prøvene ikke er påvirket av sjøvann (unntak Sulitjelmavassdraget). Hvis mulig er broer blitt benyttet som prøvetakingssted. Prøvene er tatt på en slik måte at eventuelle forurensningsutslipp oppstrøms er godt blandet inn i hovedvannmassene. I hovedvassdragene er prøvene samlet inn av lokale prøvetakere, mens prøvene fra øvrige vassdrag er samlet inn av personale fra NIVA.

Innsamling av vannprøver
– for analyse av kvikksølv

Prøvene tas enten direkte i elven ved hjelp av en større plastflaske som skylles minst tre ganger eller med en Ruttner-type vannhenter i helplast, når prøvene tas fra bro. Prøveflaskene for analyse av kvikksølv er tilsatt natriumklorid. Flaskene holdes lukket inntil prøvetakingen finner sted, og skylles ikke med prøvevannet.

Fakta om kvikksølv (Hg)

Opplysningene i dette kapittel er i

hovedsak hentet fra Faktaark utarbeidet av Statens forurensningstilsyn (SFT, Nr. 10, 1998).

Kvikksølv er et giftig, metallisk grunnstoff som kan danne meget giftige organiske forbindelser, f.eks metylkvikksølv. Kvikksølv hoper seg opp i fisk og pattedyr, særlig i nyrene og i hjernen. Kvikksølvforbindelser er giftige for mange vannlevende organismer og pattedyr, og har også kroniske giftvirkninger på mange organismer, selv i svært små konsentrasjoner. Kvikksølv kan også skade sentralnervesystemet, og kan føre til nyreskader, motoriske og mentale forstyrrelser. Kvikksølv tilføres miljøet fra produkter som for eksempel amalgam og termometre og som utslipp fra for eksempel kloralkaliproduksjon og smelteverk. I tillegg kommer den naturlige avdampingen fra landjord, elver og hav.

Hvor finnes kvikksølv

Tidligere slapp industrien ut store mengder kvikksølv, men disse er betydelig redusert etter at myndighetene innførte utslippstillatelser. I 1985 lå utslippene på ca. 2.500 kg – i 1996 var de redusert til 170 kg kvikksølv. Utslipp av kvikksølv er imidlertid fortsatt et problem. SFT arbeider derfor med tiltak for å begrense utslipp, samt helse- og miljøskader som følger ved bruken av kvikksølvholdige produkter. I 1992 ble kvikksølv i vanlige forbruksbatterier forbudt. Innholdet av kvikksølv i knappcellebatterier er lovfestet til svært lave nivåer. Produksjon, import, eksport og omsetning av kvikksølvtermometre er forbudt fra og med 1. oktober 1998. Videre er det påbudt for alle tannleger å ha amalgamutskillere som fanger opp tannfyllingsmateriale med kvikksølv.

Hvor mye kvikksølv er i bruk?

Som det går frem av tabellen nedenfor er alle de største kildene regulert gjennom ulike forskrifter. Store mengder

Oversikt over salg av kvikksølvholdige produkter 1996:

Produktgrupper	Forbruk 1996 kg/Hg)	Tiltak
Batterier (knappcellebatterier)	205	Forskr. om miljøskadelige batterier samt unntak.
Tannfyllingsmaterialer (nyrørt)	790	Forskrift om amalgamholdig avfall.
Termometre	90	Forskr. om forbud mot kvikksølvholdige term.
Lyskilder	140	Forskrift om spesialavfall.
Lab.kjemikalier	40	Forskrift om spesialavfall.
Ulike målere	50	Forskrift om spesialavfall.
Kontakter, brytere, releer	15	Forskrift om spesialavfall.
Totalt	1.330	

kvikksølv vil bli tilført naturen hvis ikke forskriftene følges.

Naturlig forekomst, viktige egenskaper og forurensningskilder

Nedenfor er gitt en oversikt over naturlig forekomst, viktige egenskaper og forurensningskilder. Bakgrunnsinformasjonen er i hovedsak hentet fra Rognerud et al., 1997.

Naturlig forekomst

- Hg-innholdet er oftest lavt i størkningsbergarter og sedimentære bergarter som sandstein og kalkstein (0.005-0.03 mg/g). Hg er noe anriket i siltstein og leirstein, men spesielt i organiske sedimentære lag avsatt i et anaerobt miljø (0.04-0.3 mg/g).
- I snitt varierte konsentrasjonene i overflatelaget av jord fra 0.2 mg/g på sørlige deler av Østlandet og Sørlandet til ca. 0.15 mg/g i Nord-Norge.
- Hg er anriket i sulfidårer, og utvinnes fra HgS.

Viktige egenskaper

- Hg har en sterk interaksjon med S, og Hg-SH-organisk materiale er en vanlig interaksjon i jord og sedimenter.
- Mobiliteten er pH-avhengig. Ved synkende pH-verdier øker bindingsgraden av Hg.
- Hg i sedimenter og jord er nært assosiert til organisk materiale og Fe/Mn oksider.
- Hg metyleres av bakterier i jord og innsjøsedimenter. De metylerte forbindelsene akkumuleres i biota og kan forårsake alvorlige forgiftninger.
- Hg forekommer også som flyktig Hg0 , og størstedelen av Hg i atmosfæren forekommer som gass.

Forurensningskilder

Luft

- partikler/aerosoler fra metallurgisk industri og smelteverks-industri
- forbrenning av fossilt brensel og søppel
- kloralkali-industri (spesielt tidligere) virksomhet.

Vann og jord

- termometre og batterier
- gruvetipper og miner•
- avfall fra tannlege-

Bestemmelse av kvikksølv i ferskvann og sjøvann - Metodeforbedring som følge av undersøkelser av Hg i norske vassdrag

Fra og med 1990 er alle vannprøver fra "OSPAR"-elvene analysert for kvikksølv med kalddamp atomabsorpsjon gullfelle (Bloom, N.S. and E.A. Crecelius, 1983).

Som følge av de lave kvikksølvkonsentrasjonene funnet i de undersøkte vassdrag, ble det ytret ønske fra SFT om at laboratoriet skulle forsøke å senke deteksjonsgrensene så langt det var mulig.

Før 1993 var deteksjonsgrensen satt til 2.0 ng/l. Etter en metodeforbedring i 1993 ble deteksjonsgrensen senket til 1.0 ng/l. Høyeste konsentrasjon for direkte bestemmelse er 50 ng/l. Forbedringen ble foretatt på grunnlag av endrede konserveringsrutiner og større prøvevolum til analyse. Eksempler på resultater fra et lagringsforsøk som ble gjennomført i denne forbindelse er fremstilt i figurene 1a. og 1b. Forsøket viser hvordan prøvens stabilitet varierer med ulike konserveringsmetoder.

Prinsipp

Bestemmelse av kvikksølv i upåvirket ferskvann og sjøvann (kvikksølvkonsentrasjoner <0.10 µg/l) blir på NIVA utført v.h.a. kalddamp atomabsorpsjon etter oppkonsentrering med gullfelleteknikk. Ved bruk av tinnklorid som reduksjonsmiddel blir kvikksølvioner redusert til metallisk kvikksølv. En inert bæregass (argon) transporterer kvikksølvet til en gullfelle hvor det blir oppkonsentrert ved amalgamering. Etter en fast bestemt oppkonsentreringstid blir gullfellen varmet opp, kvikksølvet drevet av og transportert videre til spektrofotometeret. En fordel med denne teknikken er den gode separasjonen av kvikksølvet fra prøvematrisen, slik at ikke-spesifikk bakgrunnsabsorpsjon og matriseinterferenser blir minimale.

Bestemmelsen blir utført med Perkin Elmer FIMS-400.

Konservering av ferskvannsprøver for kvikksølvbestemmelse

I følge NS 4768 **"Bestemmelse av kvikksølv ved kalddamp atomabsorpsjonsspektrometri"** er det anbefalt bruk av dikromatsalpetersyre som kon-serveringsmiddel. Ved siden av å være karsinogent og sterkt oksiderende innebærer det en relativt stor kontamineringsrisiko å tilføre en så stor mengde løsning til vannprøver med lave konsentrasjoner av kvikksølv.

NIVA har i lengre tid analysert kvikksølv i sjøvann etter en metode med salpetersyre-konservering med godt resultat. Prøvene blir tilsatt konsentrert salpetersyre så snart som mulig etter prøvetaking og lagret en tid før analyse.

Et forsøk på å overføre denne prosedyren direkte til ferskvannsprøver viste seg raskt å være mislykket.

Eksperimentelt

Avionisert vann samt Maridalsvann ble tilsatt kjente mengder kvikksølv i kon-

sentrasjoner under ppb-nivå og konservert med salpetersyre. Prøvene ble analysert etter varierende lagringtid. Det viste seg at det tilsatte kvikksølvet forsvant raskt fra prøveløsningene og de målte verdiene ble for lave.

Parallelt ble avionisert vann og Maridalsvann tilsatt ulike mengder natriumklorid i tillegg til kjente mengder kvikksølv og salpetersyre. Lagringsforsøket viste at ved tilsetning av 1 g natriumklorid til 500 ml Maridalsvann var løsningene stabile i minimum 8 uker.

Et tredje forsøk med tilsetning av dikromatsalpetersyre og kvikksølv til avionisert vann og Maridalsvann ga sammenlignbare resultater med tilsvarende prøver tilsatt salpetersyre og natriumklorid.

Et tilsvarende forsøk ble gjort ved å lagre "spikede" kvikksølvprøver en uke uten tilsetning av konserveringsmidler. Kvikksølvkonentrasjonen sank da meget raskt. Etter tilsetning av salpetersyre og natriumklorid viste det seg at prøvene måtte lagres ytterligere en uke før kvikksølvet igjen var tilgjenglig i løsningen. Det måtte dessuten tilsettes mer natriumklorid (5g /500ml) for å oppnå riktig resultat etter så kort tid. Dette viser at kvikksølvet adsorberes til beholderens vegger i ukonserverte prøver, men at kvikksølvet går i løsning ved tilsetning av salpetersyre, forutsatt at ionestyrken er tilstrekkelig høy.

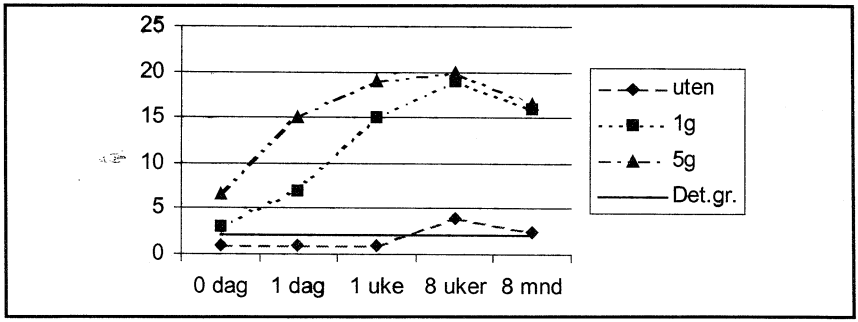
Konklusjon

Natriumklorid sammen med salpetersyre er en god alternativ konserverings-

Eksempler på lagringsforsøk Hg - naturlig vann tilsatt 20 ng Hg/l

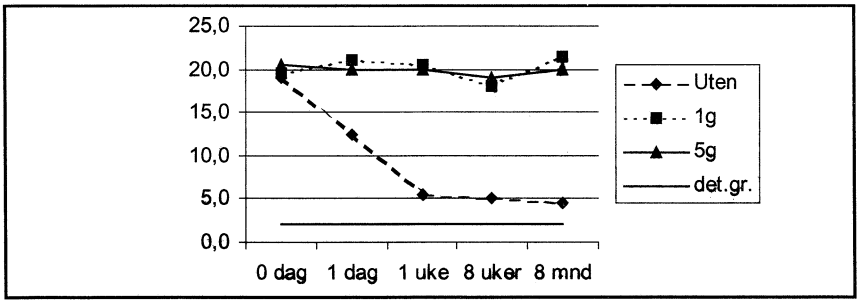
Figur 1a. Lagringsforsøk Hg (salt og syrekonservert etter 1 uke)

	0 dag	1 dag	1 uke	8 uker	8 mnd
Kranv.+ 20ng Hg/l	1,0	1,0	1,0	4,0	2,5
Kranv.+ 20ng Hg/l+1g NaCl	3,0	7,0	15	19,0	16,0
Kranv.+ 20ng Hg/l+5g NaCl	6,5	15,0	19	20,0	16,5



Figur 1b. Lagringsforsøk Hg (salt og syrekonservert samme dag)

	0 dag	1 dag	1 uke	8 uker	8 mnd
Kranv.+ 20ng Hg/l	19,0	12,5	5,5	5,0	4,5
Kranv.+ 20ng Hg/l+1g NaCl	19,5	21,0	20,5	18,0	21,5
Kranv.+ 20ng Hg/l+5g NaCl	20,5	20,0	20,0	19,0	20,0
Kranv.+ 20ng Hg/l+$K_2Cr_2O_7$	19,5	20,0	18,0	20,0	



metode for kvikksølvprøver i ferskvann på ppt nivå.

Det er absolutt å anbefale at salt tilsettes prøveflasken før prøvetaking. Salpetersyre kan imidlertid tilsettes så snart som mulig etter prøvetaking.

Metoden med bruk av natriumklorid og salpetersyre som konservering er kun dokumentert for lave kvikksølvprøver, dvs. prøver med kvikksølvkonsentrasjoner < 100 ng/l.

Det er selvfølgelig meget viktig at prøveflasker som brukes til så lave kvikksølvprøver er omhyggelig rengjort, - dvs. syrevasket, slik at kontamineringsrisikoen holdes på et absolutt minimumnivå.

Enkelte tidligere undersøkelser

I rapport utgitt av Naturvårdsverket (SNV, 1991) er resultatene fra 2 svenske forskningsprosjekter utført i perioden 1985-1990, sammenfattet. Her oppgis bl.a. at økt nedfall på 1900-tallet har medført at kvikksølvinnholdet i mark, vann og innsjøsedimenter har økt med en faktor på 4 – 7 i sørlige og mellomliggende deler av Sverige og 2 – 3 i nordlige deler av landet, og at det fortsetter å øke. Det oppgis videre at det faller omkring 20 g/km^2 i sør- og 7 g/km^2 i nord-Sverige. Årlig transport av kvikksølv fra skogsmark til sjøer varierer mellom 1 og 6 g/km^2 - og i tillegg tilføres kvikksølv via direktedeposisjon på sjøoverflate. I sjøer med små tilrenningsområder og en marktype som gjør at kvikksølvet effektivt låses fast (f.eks. moseområder), er direktedeposisjon på sjøoverflate den dominerende kilden, mens for sjøer med et stort tilrenningsområde og markslag som lettere slipper humus og kvikksølv fra seg,

vil markavrenningen utgjøre den største delen av den totale belastningen.

I en litteraturoversikt utarbeidet av Asplund (1979) refereres til flere undersøkelser som viser at uorganisk kvikksølv i stor grad er assosiert med suspendert materiale, og at det i naturlig vann kan metyleres da det ikke er bundet som sulfidkompleks i redusert miljø. Videre oppgis at totalinnholdet av kvikksølv bl.a. korrelerer med totalinnholdet av fosfor, og at det er en direkte sammenheng mellom kvikksølv og jernfosfatkompleks.

I Rognerud et al. (1997) er resultatene fra en sedimentundersøkelse i vel 100 innsjøer fra Lindesnes til Lofoten i Nordland, gjennomgått. Hensikten med undersøkelsen var å klarlegge konsentrasjonsnivået i sedimentene av metaller, bl.a. kvikksølv, med ulike potensielle kilder i nedbørfeltet. I denne gjennomgåelsen ble det funnet hensiktsmessig å dele de undersøkte metallene i grupper etter karakteren av forurensninger. Sammen med en del av de øvrige metaller fant man ut at kvikksølv generelt hadde størst forurensningsgrad i innsjøer hvor kildene var atmosfæriske avsetninger fra langtransporterte forurensninger og lokale utslipp til luft. Bl.a. var Hg også positivt assosiert til organisk materiale. Dette refereres å være i samsvar med tidligere undersøkelser.

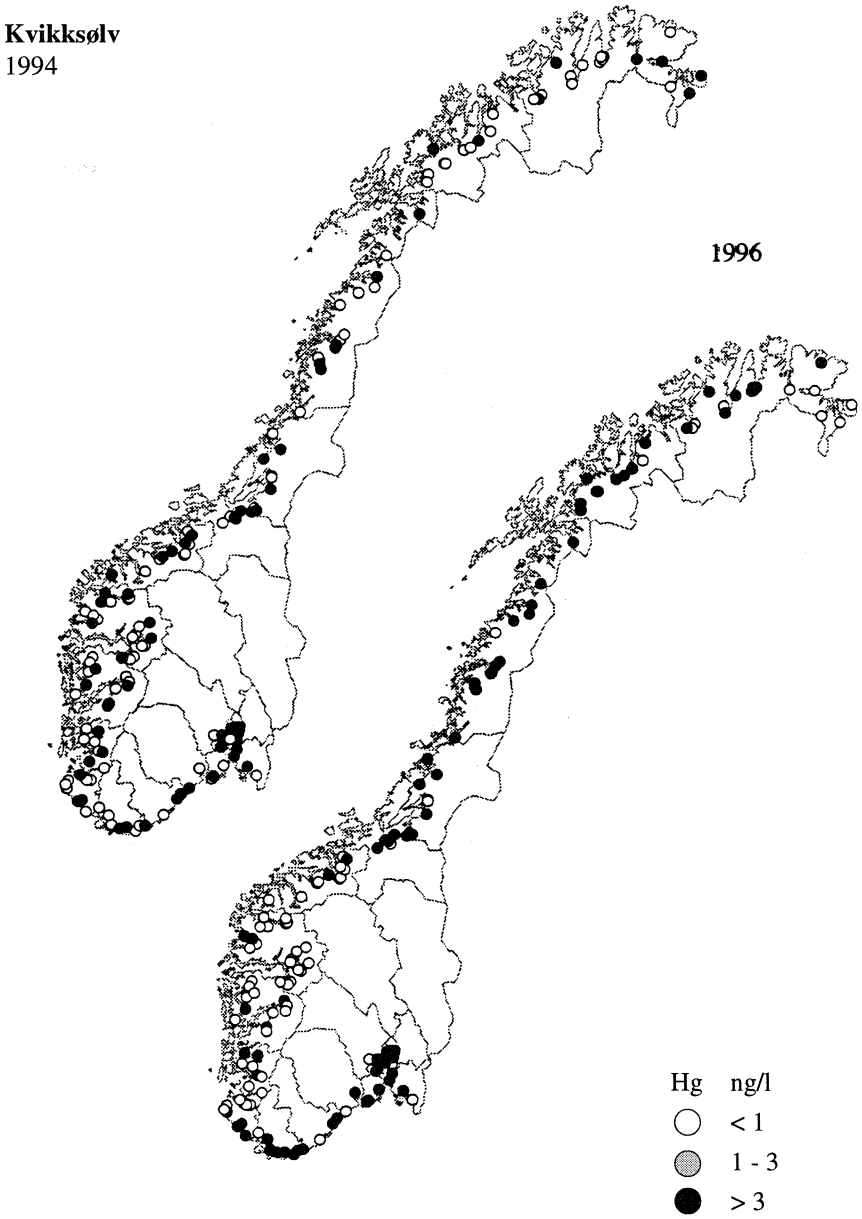
Resultater fra overvåkingen – fordeling av kvikksølv i 155 norske elver

I årene 1990-1992 var hhv. bare 17, 27 og 45 % av målte verdier høyere enn deteksjons-grensen, som da var på 2 ng/l. Fra og med 1993, hvor deteksjonsgrensen har vært 1.0 ng/l, har mer enn halvparten av verdiene ligget høyere enn denne, og høyest i 1995 (flomåret) med 82 % av måleresultatene over deteksjonsgrensen. I 1997 var situasjonen noe anderledes, bare 33% av de målte verdier var da høyere enn deteksjonsgrensen.

Fordelingen av aritmetisk middelkonsentrasjon for årene 1994 og 1996, over alle elver det finnes prøver fra er tegnet inn på kart over Norge (figur 2), og kodet etter en egnet klasseinndeling av verdiene. Ved å bruke aritmetisk middel får en frem både forskjeller i alment nivå, og forskjeller som skyldes enkelte store verdier. Det er høyst variabelt datagrunnlag bak hvert punkt, 4 – 12-23 dataverdier de enkelte år bak hver hovedelv, totalt 19 – 76 verdier for perioden 1993-1997, og bare 1 verdi de enkelte år bak mange av de andre elvene, totalt 3 – 10 verdier bak hver elv.

Tabell 1 viser samlet statistikk (dvs. minimums- og maksimumsverdier, nedre kvartil, medianverdier, intervall for midlere verdier og øvre kvartil) for hele materialet, tabellene 2 og 3 det samme for hhv. Hovedelver og Andre elver, her delt inn i regioner. I figur 3 (boksdiagrammet) er Andre elver delt inn på samme måte.

Det fremgår av datamaterialet at det ble målt høyere konsentrasjoner i prøvene fra Nord-Norge i 1996 enn i 1994. Medvirkende årsak til dette kan være vedvarende kraftig regnvær fra Finnmark til Trøndelag i forbindelse med



Figur 2. Konsentrasjonsnivåer av kvikksølv (Hg) i 155 norske elver (1994 og 1996).

Tabell 1 - 3 : Minimums- og maksimumsverdier, nedre kvartil, median-verdier, intervall for midlere verdier og øvre kvartil for kvikksølvkonsentrasjoner (Hg) i 155 norske elver.

Tabell 1 : Samlet statistikk

	Konsentrasjoner i ng/l								
	Antall verdier		Minimum	Nedre	Median	Intervall for middelv.		Øvre	Maksimum
Element	Totalt	<deteksj. grense		kvartil		Nedre estimat	Øvre estimat	kvartil	
Hg	1243	550	<1	<1	<1	1,30	1,75	2	56

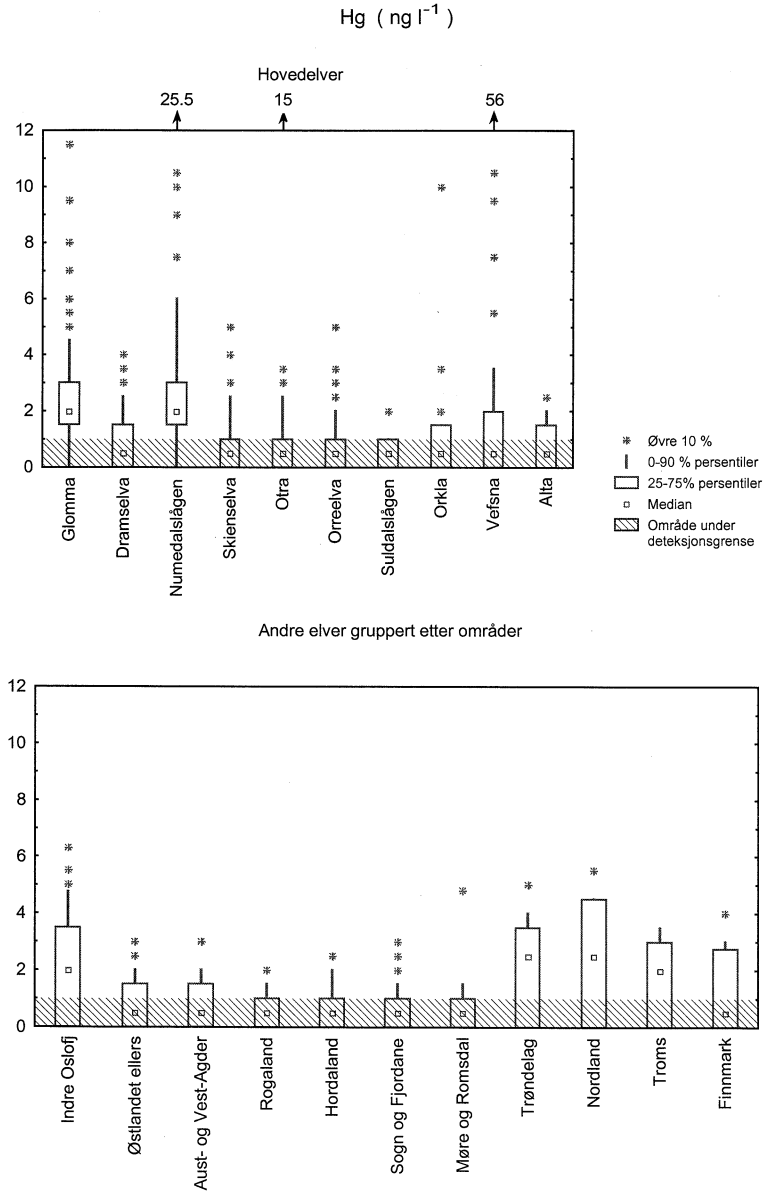
Tabell 2 : Hovedelver

		Konsentrasjoner i ng/l								
		Antall verdier		Minimum	Nedre	Median	Intervall for middelv.		Øvre	Maksimum
	Elver	Totalt	<deteksj. grense		kvartil		Nedre estimat	Øvre estimat	kvartil	
1	Glomma	74	8	<1	1,5	2	2,45	2,56	3	11,5
2	Drammenselva	76	35	<1	<1	1	0,99	1,45	1,5	4
3	Numedalslågen	55	8	<1	1,5	2	2,83	2,97	3	25,5
4	Skienselva	55	31	<1	<1	<1	0,76	1,33	1	5
5	Otra	55	32	<1	<1	<1	0,90	1,48	1	10
6	Orreelva	55	32	<1	<1	<1	0,75	1,33	1	5
7	Suldalslågen	19	12	<1	<1	<1	0,42	1,05	1	2
8	Orkla	55	30	<1	<1	<1	0,82	1,36	1,5	10
9	Vefsna	55	24	<1	<1	1	2,39	2,83	2	56
10	Altaelva	19	9	<1	<1	1	0,76	1,24	1,5	2,5

Tabell 3 : Andre elver gruppert etter områder

		Konsentrasjoner i ng/l								
		Antall verdier		Minimum	Nedre	Median	Intervall for middelv.		Øvre	Maksimum
	Områder	Totalt	<deteksj. grense		kvartil		Nedre estimat	Øvre estimat	kvartil	
1	Indre Oslofjord	50	11	<1	1	2	2,28	2,50	3,5	6,3
2	Østlandet	35	14	<1	<1	1	0,86	1,26	1,5	3
3	Agder	50	18	<1	1	1	0,95	1,31	1,5	3
4	Rogaland	85	49	<1	<1	<1	0,49	1,07	1	2
5	Hordaland	75	41	<1	<1	<1	0,60	1,15	1	2,5
6	Sogn og Fjordane	110	70	<1	<1	<1	0,50	1,14	1	3
7	Møre og Romsdal	55	32	<1	<1	<1	1,32	1,75	1	4,8
8	Trøndelag	65	16	<1	1	2,5	2,31	2,55	3,5	5
9	Nordland	70	19	<1	<1	2,5	2,39	2,66	4,5	5,5
10	Troms	50	19	<1	<1	2	1,70	2,08	3	3,5
11	Finnmark	80	40	<1	<1	<1	1,28	1,78	2,5	4

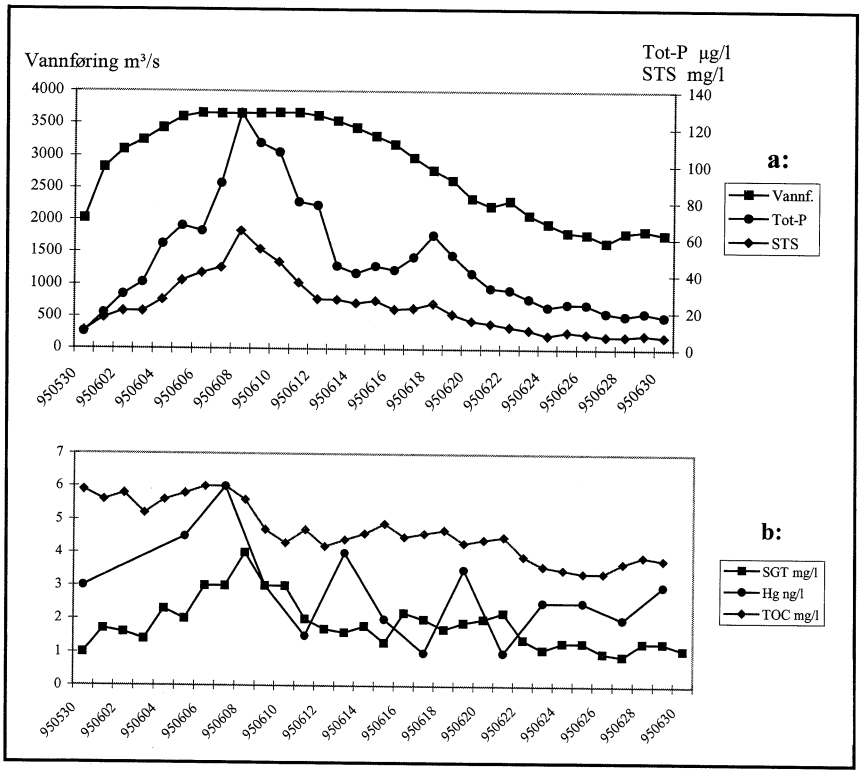
Midlere verdier er beregnet med et nedre og et øvre estimat. I nedre estimat er alle verdier <deteksjonsgrensen erstattet med tallet 0. I øvre estimat er alle "mindre enn verdier" erstattet med deteksjonsgrensen, dvs. tallet 1.



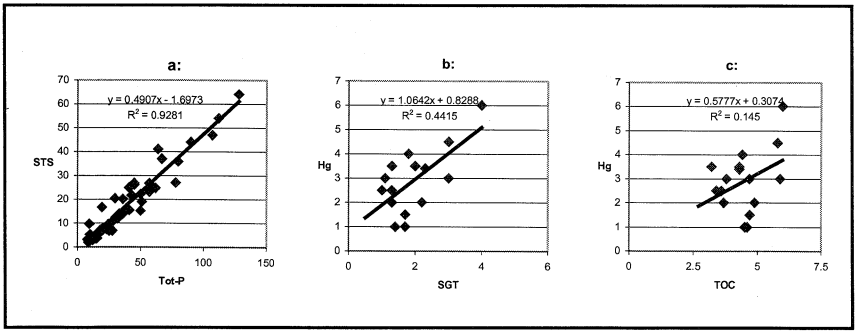
Figur 3.
Statistisk fordeling av kvikksølv (Hg) i hovedelver og andre elver (områder).

prøvetaking, og dermed både utvasking fra nærområdene og tilførsler via nedbør. Tilsvarende fremgår også av prøveresultater fra f.eks. Glomma, Numedalslågen og Vefsna, med høyere verdier under sterk nedbør og flom (tabell 2). For øvrig er de høyeste konsentrasjonene målt i prøver fra Oslo-området (urbane kilder) og i enkelte andre områder, f.eks. langs Sørlandskysten (atmosfæriske kilder?), og fra Trøndelag og nordover (få observasjoner, slik at 1996-prøvene antakelig gjør utslaget her). Dessuten er det målt høyere konsentrasjoner i prøver fra enkelte andre byer/tettsteder og industristeder, som f.eks. Odda (lokale kilder). Konsentrasjonene i flertallet av elvene ligger likevel under eller i nærheten av deteksjonsgrensen (1 ng/l).

I figur 4 er konsentrasjonene av Tot-P og suspendert tørrstoff (STS) (fig. 4a) samt glødetap av suspendert stoff (SGT), kvikksølv og totalt organisk karbon (TOC) (fig. 4b) jevnført med vannføringen i Glomma under flommen



Figur 4. Glomma ved Sarpsfoss under flommen, juni 1995:
a. Vannføring, Total-fosfor (Tot-P) og Susp. tørrstoff (STS).
b. Susp. org. mat. (SGT), Kvikksølv (Hg) og Totalt org. karbon (TOC).



Figur 5 Glomma ved Sarpsfoss 1995:
Korrelasjon mellom Tot-P – STS (5a), SGT-HG (5b) og TOC-Hg (5c)

i juni måned 1995. I figur 5 er sammenhengen mellom Tot-P - STS, SGT - Hg og TOC - Hg (hhv. fig. 5a - c) vist ved regresjonsanalyser. Den gode korrelasjonen mellom Tot-P og STS indikerer at Tot-P er bundet i partikulært materiale. Sammenhengen SGT - Hg er langt dårligere enn Tot-P - STS, men mye bedre enn TOC - Hg. I den grad Hg er bundet til suspendert partikulært materiale ser det hovedsakelig ut til å være bundet til den organiske delen. Da flommen satte inn i slutten av mai, økte vannets innhold av Tot-P, suspendert tørrstoff og følgelig også av suspendert organisk materiale frem til den 8. juni. Fra dette tidspunkt og frem til 12. juni avtok partikkelinnholdet raskt. Fra da av var det et gradvis avtak. I denne undersøkelsen fant vi ingen signifikant korrelasjon mellom Tot-P og Hg (Asplund, 1979), selv om det ser ut til å være en viss samvariasjon.

Kvikksølvkonsentrasjonene var også høyere da flommen var på det høyeste og avtok etter hvert utover i juni, men var sterkt varierende og vanskelige å tolke med bakgrunn i flomsituasjonen. Variasjonene i kvikksølvverdiene er større enn for de øvrige parametre, og dette skyldes nok at kvikksølv er tilstede i meget lave konsentrasjoner. De høyere verdiene da flommen var på det høyeste tyder likevel på betydelige tilførsler bundet til partikulært materiale, og viser at de største mengdene kvikksølv transporteres når vannføringen i elvene (vår- og høstflom) er høyest. Dette samsvarer med øvrige resutater fra denne undersøkelsen, og med resultater nevnt i foregående kapittel (Asplund, 1979). Mht. organisk materiale (TOC) ble de høyeste verdier også for denne parameter målt da vannføringen og øvrige parametre var høyest, med raskere avtak fra den 8. til den 12. juni og deretter gradvis avtak. Som vist i fig. 5c var det ingen god korrelasjon mellom TOC og Hg. TOC omfatter både totalt og løst organisk materiale, men er i vesentlig grad et mål for den løste delen (humus). Dette tyder på at kvikksølv i første rekke er bundet til den partikulære delen av det organiske materialet.

Teoretisk beregnet belastning sammenholdt med målte verdier

I Rognerud et al (1997) oppgis atmosfæriske avsetninger fra langtransporterte forurensninger og lokale utslipp til luft som de viktigste tilførselskilder til innsjøer. Ifølge SNV (1991) faller omkring 20 g Hg/km^2 via nedbør i sør-, og 7 g/km^2 i nord-Sverige som direkte deposisjon på innsjøoverflate, og at årlig transport av kvikksølv fra skogsmark til sjøer varierer mellom 1 og 6 g/km^2. Ved å benytte de samme koeffisienter for Norge vil beregnet nedfall på årsbasis fra svenskegrensen til Stad være omkring 175 kg Hg på totalt antall innsjøer, og vel 100 kg totalt på innsjøoverflate fra Stad og videre nordover til grensen mot Russland, dvs. tilsammen 275 kg Hg på årsbasis. En vesentlig del av dette vil deponeres i innsjøene (ca. 65 %), noe vil fordampe (ca. 5 %), og noe vil føres videre via utløpselvene (ca. 30 %). Ved en forsiktig antakelse om at ca. 1 g Hg/km^2 i tillegg transporteres til innsjøoverflate av nedfall på landområder/skogsmark vil dette bety en tilførsel av ca. 305 kg på årsbasis, men en del herfra vil også føres videre via utløpselvene. Ved fortsatt å benytte SNV (1991) vil vel 30 % av tilført mengde på ca. 580 kg føres videre med elvene, dvs. ca. 175 kg totalt på årsbasis. Midlere årstransport i våre målinger er beregnet med et nedre og et øvre estimat. I nedre estimat er alle verdier mindre enn deteksjonsgrensen erstattet med tallet null. I øvre estimat er alle "mindre enn verdiene" erstattet med tallet 1. Midlere årstransport via elver (1993-1997) er beregnet til et minimum på 283 kg og et maksimum på 361 kg (Holtan et al, 1998), dvs. at omtrentlig halvparten av Hg-transporten via elver kan være avsetninger fra langtransporterte forurensninger. Antakelsene og beregningene er svært usikre, men kan likevel gi en antydning om betydningen av de enkelte tilførselskilder. I SNV (1991) fremgår at tilførslene av kvikksølv til jord/mark er mye større enn uttransporten via avrenningsvannet (ca. 10 ganger høyere). Dette betyr at transporten fra jord til vann fremdeles øker og vil øke i årene fremover. Selv om tilførsler fra industri og avløpsvann er sterkt redusert i perioden 1985-1996 (fra 2500 til 170 kg på årsbasis) er utslipp av kvikksølv fortsatt et problem og derfor av stor betydning å begrense ytterligere.

Referanser

Asplund, J., 1979: Tungmetaller i naturliga vatten. En litteraturöversikt. Statens naturvårdsverk. 197 s.

Bloom, N.S. and E.A. Crecelius, 1983: Determination of Mercury in Seawater at sub-nanogram per liter levels. Marine Chem. 14. Pp. 49-59.

Holtan, G. , Berge, D., Holtan, H. and T. Hopen, 1998: Oslo and Paris Commissions (OSPAR). Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1998.

A: Principles, results and discussions. B: Data report. SFT-report 750/98. NIVA-report O-90001 No.: 3952-98. 139 s.

Holtan, G. Bjerkeng, B., Hopen, T., Hovind, H., Lauritzen, B. Hiorth og G. Severinsen, 1998: Fordeling av kvikksølv (Hg) i 155 norske elver 1993-1997. NIVA-notat utarbeidet til NIVAs "Miljøgiftseminar" (25.11.98). 6 s.

Holtan, H. og G. Holtan, 1996: Flommen på Østlandet mai/juni 1995. Effekten på vannkvaliteten i Glomma og Drammenselva. SFT-rapport 641/96. NIVA-rapport 0-90001 Nr. 3437-96. 47 s.

NIVA, 1990-1998: Overvåking av elvetilførsler til norske havområder. Programforslag for Statens forurensningstilsyn.

NVE, 1987: Avrenningskart over Norge. Hydrologisk avd., NVE. 8 kartblad.

NVE, 1989: Nedbørfelt i vassdragsregisteret. NVE - Publikasjon nr. V22, 1989.

PARCOM, 1988: Principles of the Comprehensive Study on Riverine Inputs. PARCOM 10/3/2. 8 s.

PARCOM, 1993: Convention for the Prevention of Marine Pollution from Land-Based Sources. Fifth Meeting of the Ad hoc Working Group on Input Data. Parcom 5/6/1.

Rognerud, S., Fjeld, E., Løvik, J.E. og T. Skotvold, 1997: Miljøgifter i innsjøsedimenter. Delrapport 2. Tungmetaller og andre sporelementer. NIVA-rapport 3880-97. 44 s.

SFT, 1998: Kvikksølv i produkter gir farlig avfall. Fakta-ark, Nr. 10. TA-1592/1998. 4 s.

SNV, 1991: Kvicksilver i Sverige. Problem och åtgärder. ISBN 91-620-1101-4. 36 s.

Siv.ing. Rolv A Systad AS

Utredninger • Prosjekteringsledelse • Prosjekt-/Byggeledelse

Spesialisert på vannforsyning, avløp, avfall og forurenset grunn

Møllesvingen 2	Telefon	:	22 59 24 80
0854 OSLO	Telefaks	:	22 59 24 81
www.ras.no	e-mail	:	ras@ras.no