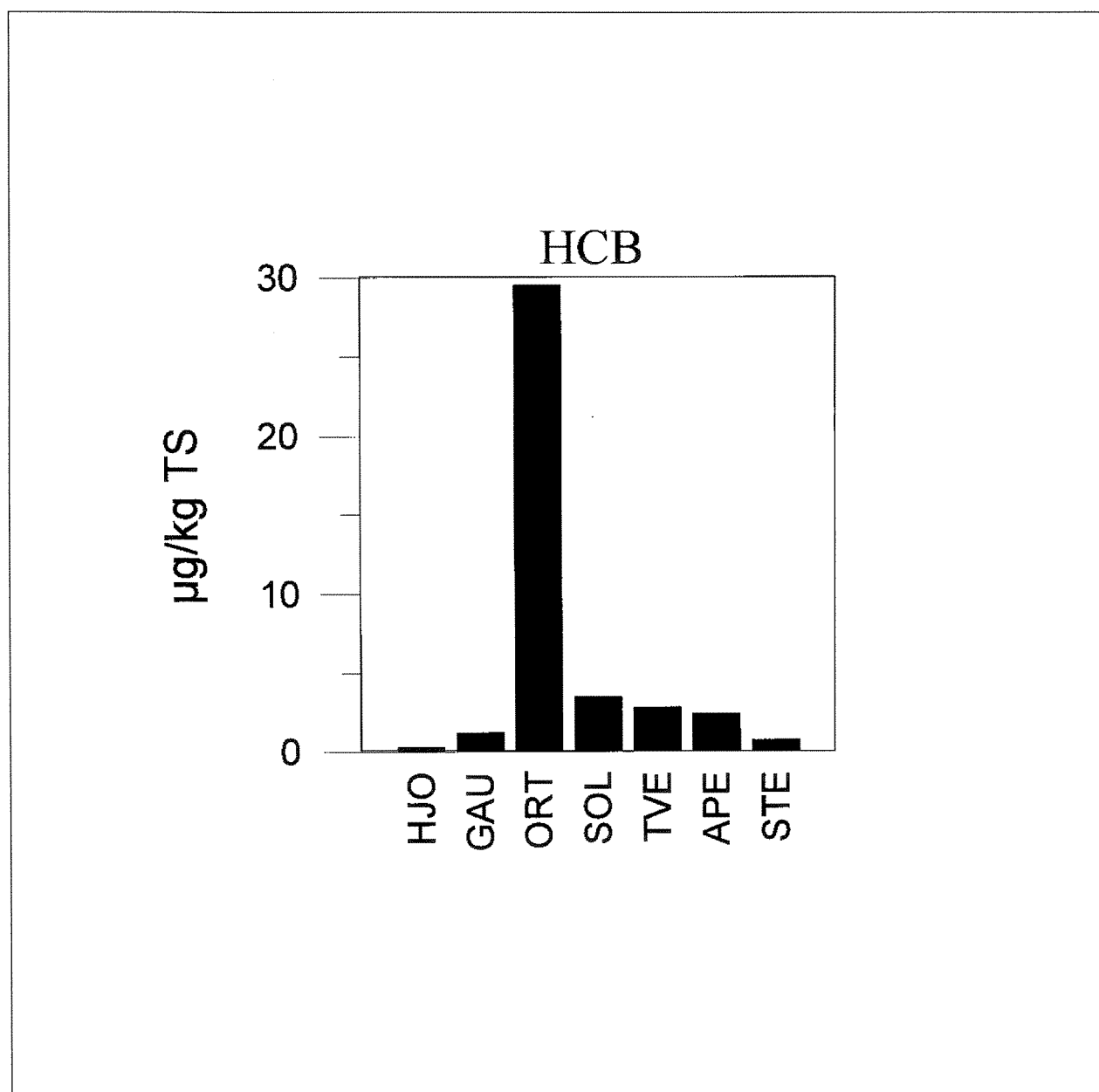


Overvåking av ferskvannsresipienter i Bergen kommune

Miljøgifter i innsjøsedimenter og i
avrenning fra avfallsdeponier



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Overvåking av ferskvannsresipienter i Bergen kommune: Miljøgifter i innsjøsedimenter og i avrenning fra avfallsdeponier	Løpenr. (for bestilling) 3793-98	Dato 20.02.98
	Prosjektnr. Undernr. O-97077	Sider Pris 27 kr. 75,-
Forfatter(e) Hobæk, Anders	Fagområde Miljøgifter ferskvann	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Bergen kommune, Kommunalavdeling teknisk utbygging, VA-seksjonen	Oppdragsreferanse 143/97
--	-----------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Rapporten gir en oversikt over mengden miljøgifter (tungmetaller, polyaromatiske hydrokarboner og flere klororganiske stoffer) i sediment fra et utvalg innsjøer i Bergen kommune. I tillegg er det målt tungmetaller i avrenning fra avfallsdeponier som drenerer til to av innsjøene.</p> <p>Tre innsjøer var markert forurenset med tungmetaller: Tveitevatn (Cu og Zn), Nesttunvatn (Hg) og Apeltunvatn (Cu), mens fem andre innsjøer var moderat forurenset. Det ble påvist forhøyete konsentrasjoner av flere metaller i avrenning fra avfallsdeponier på Hjortland og på Titlestad, men innsjøresipientene var bare moderat forurenset. Tre av fire innsjøer som påvirkes av avfallsdeponier hadde høye konsentrasjoner av jern i sedimentet.</p> <p>Forurensningsnivået av organiske miljøgifter var generelt høyere enn for tungmetaller. Svært høye verdier av PCB i Tveitevatn og av HCB i Ortuvatn gjorde at disse innsjøene skilte seg klart ut fra de øvrige. Lokale utslipp i nedbørfeltene til disse innsjøene finnes. Tre innsjøer hadde høyt nivå av DDT-derivater, og PAH-nivåene lå også høyt i de fleste. Stendavatn hadde høyest innhold av antatt kreftfremkallende PAH-forbindelser.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Resipientundersøkelser 2. Miljøgifter 3. Innsjøsedimenter 4. Avfallsdeponier 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Recipient surveillance 2. Environmental contaminants 3. Lake sediments 4. Waste dump sites
---	---



Anders Hobæk

Prosjektleder

ISBN 82-577-3368-7



Forskningsjef

Overvåking av ferskvannsresipienter
i Bergen kommune

**Miljøgifter i innsjøsedimenter
og i avrenning fra avfallsdeponier**

Forord

Denne rapporten utgjør et supplement til et overvåkingsprogram for ferskvannsresipienter i Bergen kommune i perioden 1992-2000. Noen av innsjøresipientene innen dette programmet påvirkes av avrenning fra avfallsdeponier, og det var ønskelig å karakterisere disse tilførslene nærmere. Ved å kombinere materiale og data med resultater fra en undersøkelse NIVA gjennomfører for SFT over miljøgifter i norske innsjøsedimenter, lot det seg gjøre å sammenstille data over tungmetaller og organiske miljøgifter i et større utvalg innsjøer i kommunen, blant dem flere som får tilrenning fra avfallsdeponier.

Takk til SFT ved Per Erik Iversen og NIVAs prosjektleder for SFT-prosjektet Sigurd Rognerud for velvillighet og bidrag, og til Torbjørn M. Johnsen for hjelp under feltarbeidet. Kontaktperson for oppdragsgiver har vært Kjell Rypdal, VA-seksjonen, Bergen kommune.

Bergen, 20. februar 1998

Anders Hobæk

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning.....	7
1.1 Bakgrunn for undersøkelsen.....	7
1.2 Miljøgifter i vann og sedimenter	7
1.3 Klassifisering av tilstand med hensyn på miljøgifter	8
2. Materiale og metoder	9
2.1 Innsjøer.....	9
2.2 Prøvetaking.....	10
2.3 Analyser.....	10
3. Resultater	12
3.1 Metaller i sediment	12
3.2 Organiske miljøgifter i sediment	18
3.3 Avrenning fra avfallsdeponier	20
3.3.1 Hjordlandsstemma.....	20
3.3.2 Stendavatn	21
4. Diskusjon	24
5. Henvisninger	27

Sammendrag

Som supplement til et pågående overvåkingsprogram for ferskvannsresipienter i Bergen kommune er det sammenstilt data for tungmetaller og en rekke organiske miljøgifter i innsjøsediment fra et utvalg av innsjøer i kommunen. Innsjøene var Hjortlandsstemma og Gaupåsvatn i Åsane, Ortuvatn i Fyllingsdalen, Tveitevatn på Slettebakken, Solheimsvatn ved Solheim, og Nesttunvatn, Apeltunvatn og Stendavatn i Fana. For å vurdere betydningen av sigevann fra avfallsdeponier ble det analysert tungmetaller i avrenning fra to deponier ved hhv. Hjortlandsstemma og Stendavatn, hvorav det første har vært nedlagt i 20 år. Også Tveitevatn og Solheimsvatn får avrenning fra nedlagte avfallsdeponier.

I innsjøene som mottar sigevann fra avfallsdeponier var påvirkningen tydelig spesielt ved store jernmengder. En av innsjøene (Tveitevatn) hadde dessuten relativt mye sink og kopper og må karakteriseres som markert forurenset. Apeltunvatn og Nesttunvatn var også markert forurenset av hhv. kopper og kvikksølv, men disse har ikke deponier i nedbørfeltet. Forhøyet innhold av tungmetaller som kopper, sink, kadmium, nikkel og krom ble påvist i sedimentet i innsjøene som mottar avrenning fra deponier, men mengdene som ble målt var ikke høyere enn at innsjøene kan klassifiseres som moderat forurensete, unntatt for Tveitevatn som nevnt over. De to innsjøene i Åsane hadde jevnt lavere konsentrasjoner av tungmetaller enn de øvrige.

Sigevann fra deponiet på Hjortland var anrikt med tungmetallene kadmium, kobolt, krom, nikkel, bly og sink, og hadde meget høy konsentrasjon av jern og mangan. I tillegg var mengden næringssalter og organisk karbon stor. Bekken er synlig forurenset med soppvekst og okerutfelling helt ned til Hjortlandsstemma. Deponiet ved Stendavatn gav fra seg lite jern og mangan, men avrenningen var tydelig anrikt av kadmium, nikkel, kopper og sink. Særlig den sistnevnte lå høyt. Avrenningen av nærings-salter fra deponiet var beskjedent. Derimot medførte sigevannspåvirkningen et betydelig høyere innhold av kalsium, barium og særlig strontium. Disse elementene har ingen giftvirkning.

Det mest overraskende resultat var et generelt høyt innhold av organiske miljøgifter i de fleste av innsjøene. Best stilt var Hjortlandsstemma, mens i Ortuvatn og Tveitevatn var forholdene dårligst. Klassifiseringskriterier for slike stoffer mangler inntil videre for ferskvann, men dersom man benytter kriterier for marine sedimenter må Ortuvatn, Tveitevatn, Apeltunvatn og Stendavatn alle karakteriseres som sterkt forurenset av organiske miljøgifter. Gaupåsvatn og Solheimsvatn var ifølge samme kriterier markert forurenset, mens Hjortlandsstemma var moderat forurenset.

Forurensningsnivået for PAH var generelt høyt i innsjøene. Ortuvatn hadde høyest totalinnhold, mens Stendavatn skilte seg ut med høyest innhold av antatt kreftfremkallende PAH stoffer. Tveitevatnet skilte seg ut med et svært høyt innhold av PCB. Dette kan ikke forklares på annen måte enn direkte utslipp. For de andre innsjøene var PCB-nivået betydelig lavere, men langt fra lavt. Det var også et betydelig innhold av DDT-derivater i de fleste innsjøene, med høyest nivå i Tveitevatn, Apeltunvatn og Stendavatn. Ortuvatn hadde et særlig høyt innhold av HCB, og skilte seg klart ut fra andre innsjøer. Men også flere andre lokaliteter hadde et betydelig HCB-innhold, som Tveitevatn og Solheimsvatn.

Forurensningsnivået kan delvis forklares med langtransporterte tilførsler via atmosfæren og diffuse lokale kilder. Ved noen innsjøer (som Tveitevatn og Ortuvatn) finnes det betydelige lokale forurensningskilder som bør oppsøkes og om mulig avskjæres.

Summary

Title: Surveillance of freshwater recipients in Bergen municipality. Environmental contaminants in lake sediments and in drainage from waste disposal dumps.

Year: 1998

Author: Hobæk, A.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3368-7

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for undersøkelsen

Bergen kommune gjennomfører et overvåkingsprogram av ferskvannsresipienter i perioden 1992 - 2000. Programmet er begrunnet i pålegg fra Fylkesmannen i Hordaland i forbindelse med utslippstillatelse for Bergen kommune. Overvåkingsprogrammet er organisert i to komponenter, som hver gjentas årlig etter en planlagt syklus. Den mest omfattende delen er en resipientovervåking, der utvalgte vassdrag overvåkes gjennom en produksjonssesong. Denne overvåkingen dekker vesentlig innsjøer, og omfatter vannkjemiske og biologiske parametre. Primært er denne delen av programmet rettet mot overgjødning og hygiene. I 1997 ble Apeltun-, Nesttun-, Fyllingsdals- og Gravdalsvassdragene overvåket (Hobæk 1998a). Den andre komponenten er en lekkasjesøking i et større antall vassdrag, og er innrettet mot påvisning av tarmbakterier fra offentlig og privat kloakk og eventuelle andre kilder. Resultatene fra lekkasjesøkingen i 1997 er presentert i Hobæk (1998b).

Overvåkingsprogrammet for 1997 ble supplert med et selvstendig program for dokumentasjon av miljø-gifter i utvagne innsjøer i kommunen. Denne kartleggingen tok utgangspunkt i en større undersøkelse som NIVAs Østlandsavdeling gjennomfører for SFT, der 7 innsjøer fra Bergen kommune var med blant totalt 69 innsjøer fra hele Norge sør for polarsirkelen (Rognerud m.fl. 1997). Programmet kom dermed til å omfatte både tungmetaller og organiske miljøgifter i sediment. Kommunen var i utgangspunktet spesielt interessert i å karakterisere forholdene i Hjortlandsstemma og Stendavatn, som begge mottar avrenning fra avfallsdeponier. Sediment fra Stendavatn var imidlertid allerede med i SFT-undersøkelsen, og det ble derfor bare tatt sedimentprøve i Hjortlandsstemma. Materialet ble så supplert med analyse av metaller i tilløpsbekkene til disse to innsjøene.

1.2 Miljøgifter i vann og sedimenter

Miljøgifter omfatter en rekke både uorganiske og organiske stoffer. De har kun det til felles at de er skadelige for mennesker eller for naturlig liv i miljøet. Av uorganiske miljøgifter tenker vi primært på tungmetaller. Disse forekommer naturlig i miljøet, men i meget lave mengder. Ulike menneskelige aktiviteter kan imidlertid ofte medføre utslipp av slike elementer til luft og vann.

Mange av de organiske og uorganiske miljøgiftene er tungt løselige eller bundet til organisk materiale, og vil derfor akkumuleres i innsjøenes bunnsedimenter. Slike sedimenter er derfor mye brukt for å kartlegge miljøpåvirkning. Ved å analysere innhold av miljøgifter i sediment av ulik alder (de yngste avsetningene vil ligge øverst, og dypere ned over i sedimentet finner vi eldre og eldre avsetninger) kan man få en indikasjon på endring i forurensning over tid. Samtidig vil innsjøer fungere som feller for mange miljøgifter, ved at disse transporteres fra nedbørfeltet med rennende vann og sedimenter. Stoffer som er i løsning vil transporteres videre med innsjøens avrenning, så denne effekten gjelder for partikkelbundne og tungtløselige stoffer.

Noen miljøgifter spres over lange avstander i luft før de avsettes i på vegetasjon, i jordsmonn eller i vann. Andre stoffer spres derimot dårlig gjennom luft, og avsettes nær kildene.

SFT har utarbeidet grenseverdier for klassifisering av forurensningsgrad for tungmetaller i vann og sediment (SFT 1997a). Foreløpig finnes det ikke tilsvarende grenseverdier for organiske miljøgifter i ferskvann, men bare for vann og sedimenter i sjø (SFT 1997b).

De organiske miljøgiftene omfatter en rekke klorerte organiske stoffer foruten polyaromatiske hydrokarboner, alle med giftige eller kreftfremkallende egenskaper. Mange av dem er tungt nedbrytbare eller persistente i miljøet og kan akkumuleres i organismer og gjennom næringskjeder. Spredning gjennom atmosfæren gjør at vi finner spor av miljøgifter i de fleste økosystemer hos oss.

Blant de klororganiske stoffene har vi polyklorete bifenyler (PCB), flere pesticider (særlig insekticider) og en del biprodukter av industriprosesser. PCB er en samlebetegnelse på en rekke bifenyler med ulik grad av klorering. Disse ble brukt som tilsetning til olje for en rekke anvendelser i industri. PCB ble forbudt i Norge i 1980, men ble fremstilt og brukt i ca 50 år og er fortsatt i bruk i mange land. Blant pesticidene har vi analysert for lindan (γ -HCH eller γ -hexaklorsyklohexan) og for metabolitter (nedbrytningsprodukter) av DDT (diklor-difenyl-trikloretan). Heksaklorbenzen (HCB), pentaklorbenzen (5-CB) og oktaklorstyren (OCS) er klorerte forbindelser som kan være biprodukter av industrielle prosesser. HCB har også vært brukt som et pesticid, men trolig i svært liten utstrekning her i landet.

Den andre hovedgruppen av organiske miljøgifter er polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Disse dannes ved ufullstendig forbrenning av organisk materiale eller annen bruk av kull- og oljeprodukter. De er også biprodukter av industrielle prosesser som i smelteverk. Noen av PAH-forbindelsene regnes som kreftfremkallende.

1.3 Klassifisering av tilstand med hensyn på miljøgifter

Klassifisering av miljøkvalitet følger et system utviklet av SFT. Systemet omfatter en rekke virkningstyper av forurensning, deriblant miljøgifter. For fjorder og kystfarvann omfatter systemet en rekke organiske og uorganiske miljøgifter i vann, sediment og organismer (SFT 1997b). For ferskvann er derimot datagrunnlaget svakere, og systemet gir forløpig kriterier bare for uorganiske miljøgifter i vann og sediment og for kvikksølv i fisk (SFT 1997a). For organiske miljøgifter foreligger det ikke kriterier for klassifisering.

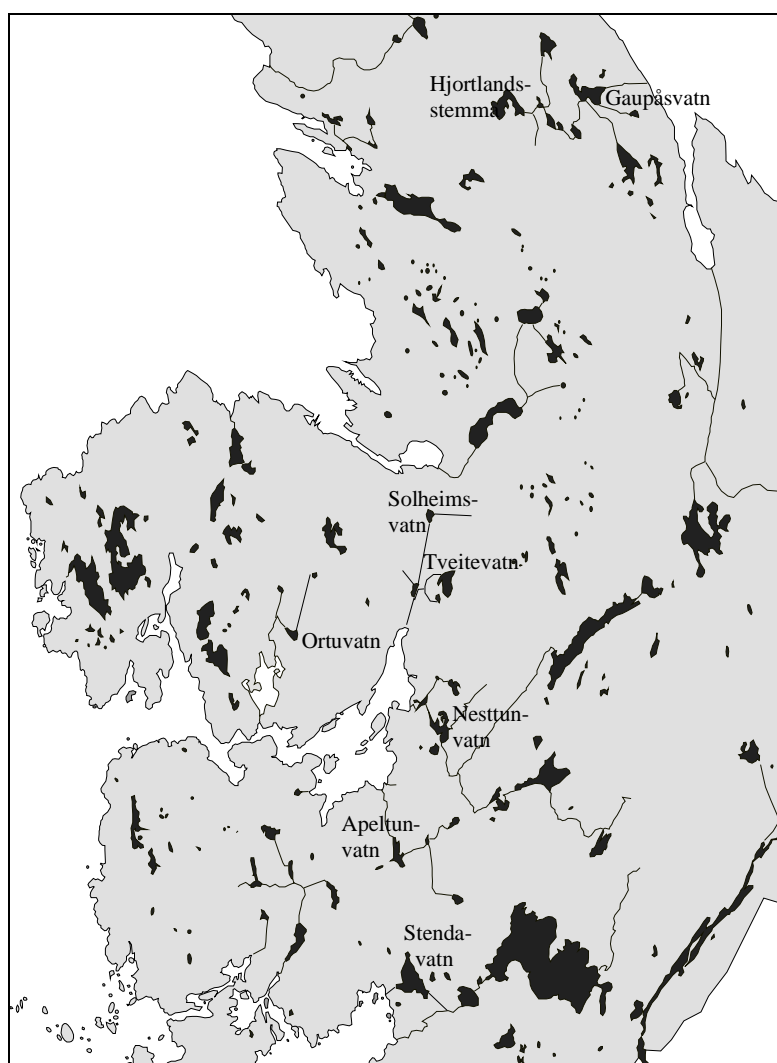
For de fleste virkningstyper kan tilstanden klassifiseres i fem klasser fra "Meget god" (klasse I) til "Meget dårlig" (klasse V). For miljøgiftene benyttes andre betegnelser, fordi naturtilstanden regnes å være fri for slike stoffer. Her benyttes betegnelsene "Ubetydelig forurenset" (klasse I), "Moderat forurenset" (Klasse II), "Markert forurenset" (klasse III), "Sterkt forurenset" (klasse IV og "Meget sterkt forurenset" (klasse V). For en nærmere beskrivelse av systemet og hvordan det brukes vises til SFT (1997a).

Presentasjonen i denne rapporten benytter systemet for ferskvann så langt det er mulig. For å oppnå en mest mulig konsistent og enkel framstilling er de organiske miljøgiftene klassifisert etter kriteriene for marine systemer. Det må understrekes at disse klassifiseringene ikke må tas for bokstavelig, og at de i denne sammenheng benyttes for å illustrere variasjon og omfang av forurensning av organiske miljøgifter.

2. Materiale og metoder

2.1 Innsjøer

Det er tatt sedimentprøver fra åtte innsjøer i Bergen kommune: Gaupåsvatn og Hjordlandsstemma i Gaupåsvassdraget; Ortuvatn i Fyllingsdalsvassdraget; Solheimsvatn og Tveitevatn i Fjøsangervassdraget; Nesttunvatn i Nesttunvassdraget; Apeltunvatn i Apeltunvassdraget; og Stendavatn i Fanavassdraget. De fleste innsjøene ble valgt ut fordi de ble vurdert som utsatte med tanke på tilførsler fra forurensende aktiviteter i nærområdet. Spesielt interessante for kommunen var Hjordlandsstemma (nedlagt kommunal søppelfylling) og Stendavatn (privat fylling/lagring av avfall). Det er tatt vannprøver av bekkene som drenerer disse to fyllingene.



Figur 1. Kart over sentrale deler av Bergen kommune med beliggenhet av de undersøkte innsjøene.

Fra enkelte innsjøer og tilløpselver foreligger spredt informasjon (stikkprøver) om enkelte tungmetaller i vann. Dette gjelder Hjordlandsstemma og Stendavatn (Aanes & Brettum 1985), Nesttunvatn (Aanes & Brettum 1989), Tveitevatn (Bjørklund m.fl. 1993) og Solheimsvatn (Hobæk

1994). Fra Tveitevatn innsjøen foreligger også målinger av noen tungmetaller i sediment og i fisk (aure). For organiske mikroforurensninger kjenner vi ikke til noe informasjon fra tidligere.

Alle de aktuelle innsjøene inngår i kommunens overvåkingsprogram. De nyeste data om de enkelte innsjøene finnes i Bjørklund (1996) for Stendavatn; Hobæk (1996) for Gaupåsvatn, Hjortlandsstemma, Solheimsvatn og Tveitevatn; Hobæk (1998a) for Nesttunvatn og Apeltunvatn. Dybdekart og hydrologiske data for alle innsjøene er sammenstilt i Bjørklund m.fl. (1993).

2.2 Prøvetaking

Sedimentprøver er tatt med en rørhenter (diameter 62 mm) fra det dypeste området i hver innsjø. Disse ble senere splittet i 1 cm tykke sjikt. For analyse av tungmetaller ble den øverste cm av sedimentet benyttet, og et én cm tykt sjikt fra den dypere delen av sedimentproppen (25- 30 cm). Den siste prøven tjener som referanse, og vil normalt representere forholdene før moderne miljøpåvirkning. De fleste sedimentprøvene ble samlet inn i 1994, mens i Hjortlandsstemma ble prøvene tatt i oktober 1997. Fra hver innsjø ble det tatt flere parallelle sedimentprøver.

Ved Hjortlandsstemma ble det tatt vannprøver av innløpsbekken som får avrenning fra avfallsdeponiet, og av vannet i innsjøen like over sedimentet. Prøvene i bekken ble tatt ovenfor deponiet (referanse), like nedendfor deponiet, og ved innløpet til innsjøen. Et tilsvarende sett prøver ble tatt ved Stendavatnet tidlig i november 1997 (bare innløpsbekker).

2.3 Analyser

Metallanalyser i vann og sediment er utført av Svensk Grundämnesanalys AB i Luleå, Sverige. Laboratoriet er akkreditert ("Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll för analys av miljövatten (inkl. slam och sediment) m.m." med registreringsnummer 1087) etter EN 45001, EN 45002 og ISO/IEC Guide 25 (1990:E). Vannprøver er surgjort med salpetersyre og analysert vha. ICP-MS (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, og Zn), ICP-AES (Ca, Fe, Mg, K, Na, S, Si, Sr, og V) eller atomfluorescens (Hg). Sedimentprøver ble tørket ved 105 °C. En delprøve ble benyttet for å bestemme glødetap som mål på organisk innhold i sedimentet. For metallanalyser ble tørket sediment oppsluttet i konsentret salpetersyre, og ekstraktet analysert for elementer vha. ICP-MS (As, Cd, Hg, Pb) eller ICP-AES (Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, S, V, Zn). For sediment er mengden av elementer oppgitt i µg eller mg pr. kg tørrstoff (TS), og for vann i µg eller mg pr. liter. Glødetap er oppgitt i % av tørrstoff (TS). Analysene av Al, Ca, K og S i sediment er ikke akkrediterte.

Fra en parallell sedimentprøve ble toppsedimentet (blandprøve av de øverste to cm) benyttet til analyse av organiske miljøgifter. Disse ble utført av ved NIVAs laboratorium i Oslo, som er akkreditert etter EN 45001 (Norsk Akkreditering Nr. P 009) og ISO/IEC Guide 25 (1990).

Prøvene til PAH-analyser tilsettes indre standarder og PAH ekstraheres i Soxhlet med cyklohexan. Ekstraktet gjennomgår så ulike renseprosesser for å fjerne forstyrrende stoffer. Tilslutt analyseres ekstraktet med GC/FID eller GC/MSD. PAH identifiseres med FID ut fra retensjonstider og med MSD ut fra retensjonstider og forbindelsenes molekylioner. Kvantifisering utføres ved hjelp av de tilsatte indre standarder. Analysene omfatter kvantifisering av over 20 komponenter. Blant disse har "ekte PAHer" fra 3 til seks ringer. Summen av disse komponentene er benevnt \blacklozenge PAH. En av de seks-ringete forbindelsene (perylene) er ikke regnet med i summen, da den kan dannes ved naturlige prosesser i anoksisk sediment (se Rognerud m.fl. 1997 for en diskusjon av dette, og for mer informasjon om de enkelte PAH-forbindelsene). Noen av PAHene har potensielt kreftfremkallende virkning (på mennesker) ifølge IARC (1987). Disse er benevnt KPAH, og summen av dem som

◆KPAH. Foruten de ekte PAHer kvantifiseres også en rekke disykliske forbindelser av typen naftalen og bifenyl. Disse er ikke omtalt videre i denne rapporten, men er diskutert i Rognerud m.fl. (1997).

Prøvene for analyse av klororganiske stoffer tilsettes indre standard og ekstraheres med organiske løsemidler. Ekstraktene gjennomgår ulike rensetrinn for å fjerne interfererende stoffer. Tilslutt analyseres ekstraktet ved bruk av gasskromatograf utstyrt med elektroninnfangningsdetektor, GC/ECD. De klororganiske forbindelsene identifiseres utfra de respektives retensjonstider på to kolonner med ulik polaritet. Kvantifisering utføres ved hjelp av indre standard.

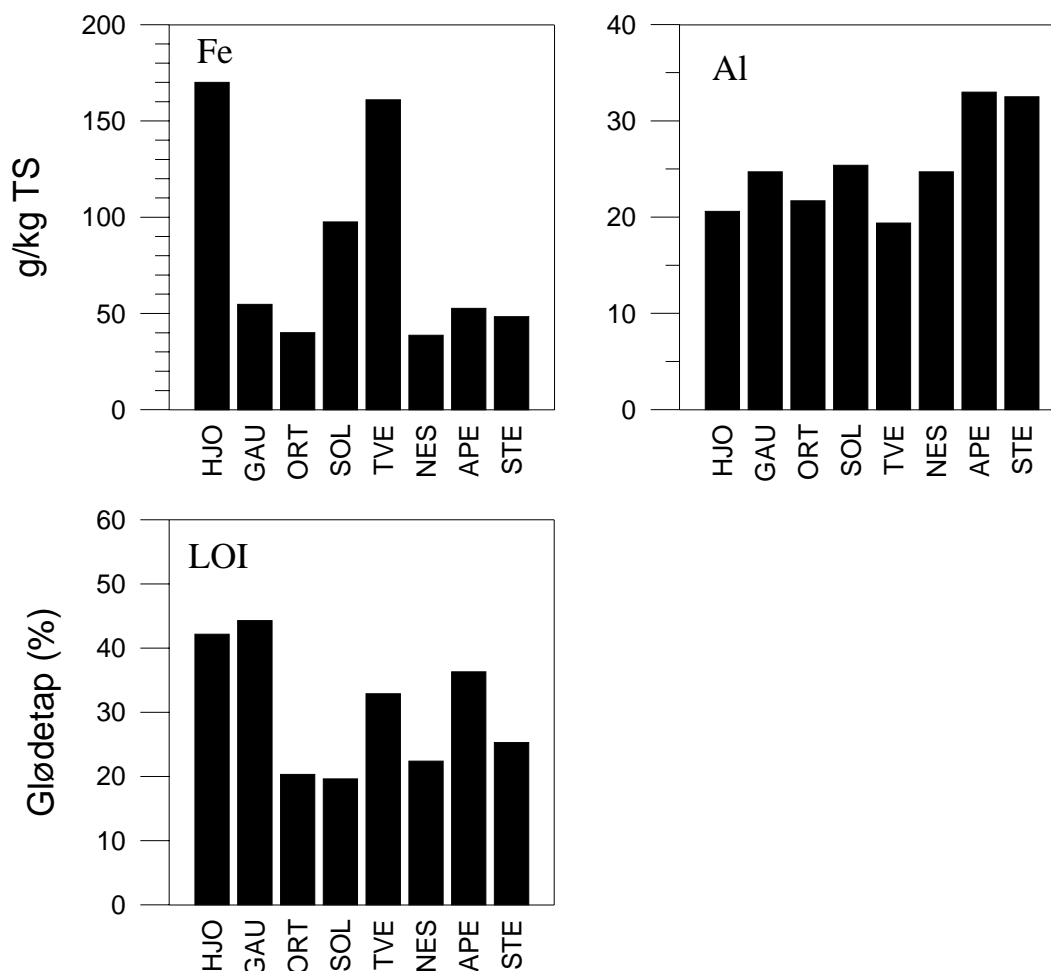
Det finnes teoretisk over 200 polyklorerte bifenyl (PCBer). Minst 140 av dem er funnet i ulike PCB-blandinger, og over 100 er identifisert som forekommende i signifikante mengder i miljøet. Kvantifisering av PCB er derfor avhengig av hvor mange forbindelser det kan analyseres for. For sammenligning mellom målinger er en gruppe på sju PCBer kalt "seven dutch" mye brukt. Forbindelsene benevnes med såkalte IUPAC-numre. De minst klorerte og mest flyktige stoffene har lavest nummer. "Seven dutch" omfatter IUPAC nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153 og 180. Summen av disse er her benevnt ◆PCB₇. I tillegg er det analysert for IUPAC nr. 105, 107 og 209. Summen av alle 10 komponenter er her benevnt ◆PCB.

Analysene av klororganiske stoffer omfatter foruten PCBer en rekke andre klorerte forbindelser som 5- og 6-klorerte benzener (5-CB, HCB), Ⓔ-HCH og Ⓕ-HCH (hexaklorsykhlohexan, den sistnevnte isomeren er plantevernmidlet lindan), og nedbrytningsprodukter av insekticidet DDT (p,pDDD og p,pDDE). Det foreligger også data for oktaklorstyren (OCS).

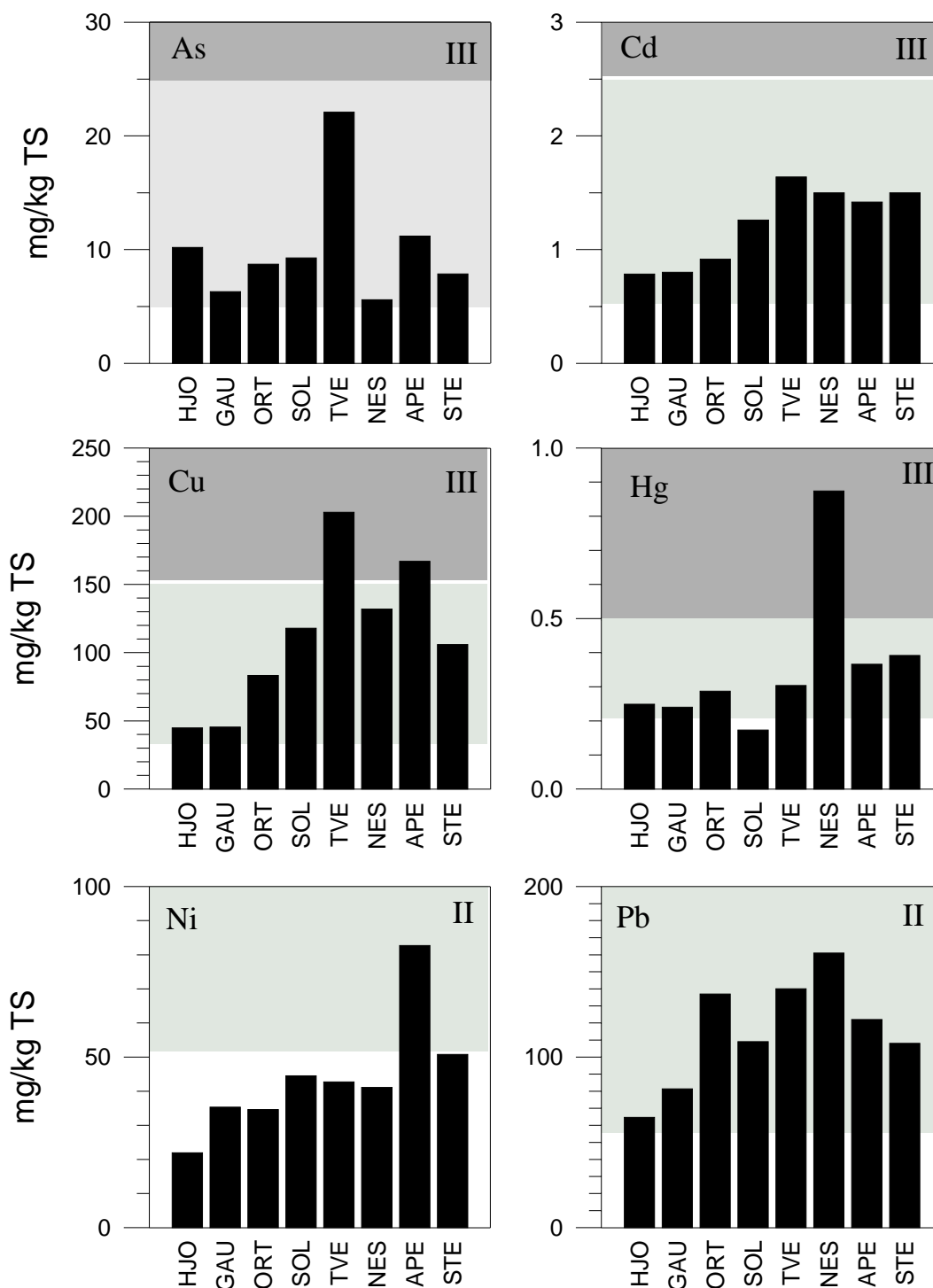
3. Resultater

3.1 Metaller i sediment

Flere metaller er knyttet til organisk materiale i sediment, og vil derfor finnes i større mengde i sedimenter med høyt organisk innhold enn i minerogene sedimenter. Figur 2 viser innhold av organisk stoff i sedimenter fra de åtte innsjøene. Innholdet er målt som glødetap (eller LOI; Loss On Ignition) ved oppvarming til 505 °C, uttrykt som vektprosent av tørrstoff. Det høyeste organiske innholdet hadde sedimenter fra de to innsjøene i Gaupåsvassdraget, som begge lå over 40%. Ortuvatn og Solheimsvatn hadde lavest organisk innhold (rundt 20%). Den samme figuren viser også innhold av jern og aluminium, som er de vektmessig dominerende metallene. Aluminium lå høyest i de to sørligste innsjøene Apeltunvatn og Stendavatn, og lavest i Tveitevatn, men forskjellen var ikke særlig stor. For jern var det derimot store utslag i tre innsjøer: Hjortlandsstemma, Tveitevatn og Solheimsvatn. For den første utgjorde jerninnholdet 17% av tørrstoffet, og for Tveitevatn 16%. Felles for disse innsjøene er at det er påvist betydelige jernkonsentrasjoner i avrenning fra nedlagte avfallsdeponier: Bekken til Hjortlandsstemma opptil 16 mg/l (denne rapporten); til Tveitevatn opptil 8 mg/l (Bjørklund m.fl. 1993), og til Solheimsvatn 8 mg/l (Hobæk 1994).



Figur 2. Innhold av organisk stoff (LOI; nederst), jern (Fe; øverst til venstre) og aluminium (Al; øverst til høyre) i sedimentprøver fra åtte innsjøer i Bergen. Innsjøene er fra venstre mot høyre: Hjortlandsstemma, Gaupåsvatn, Ortuvatn, Solheimsvatn, Tveitevatn, Nesttunvatn, Apeltunvatn og Stendavatn.

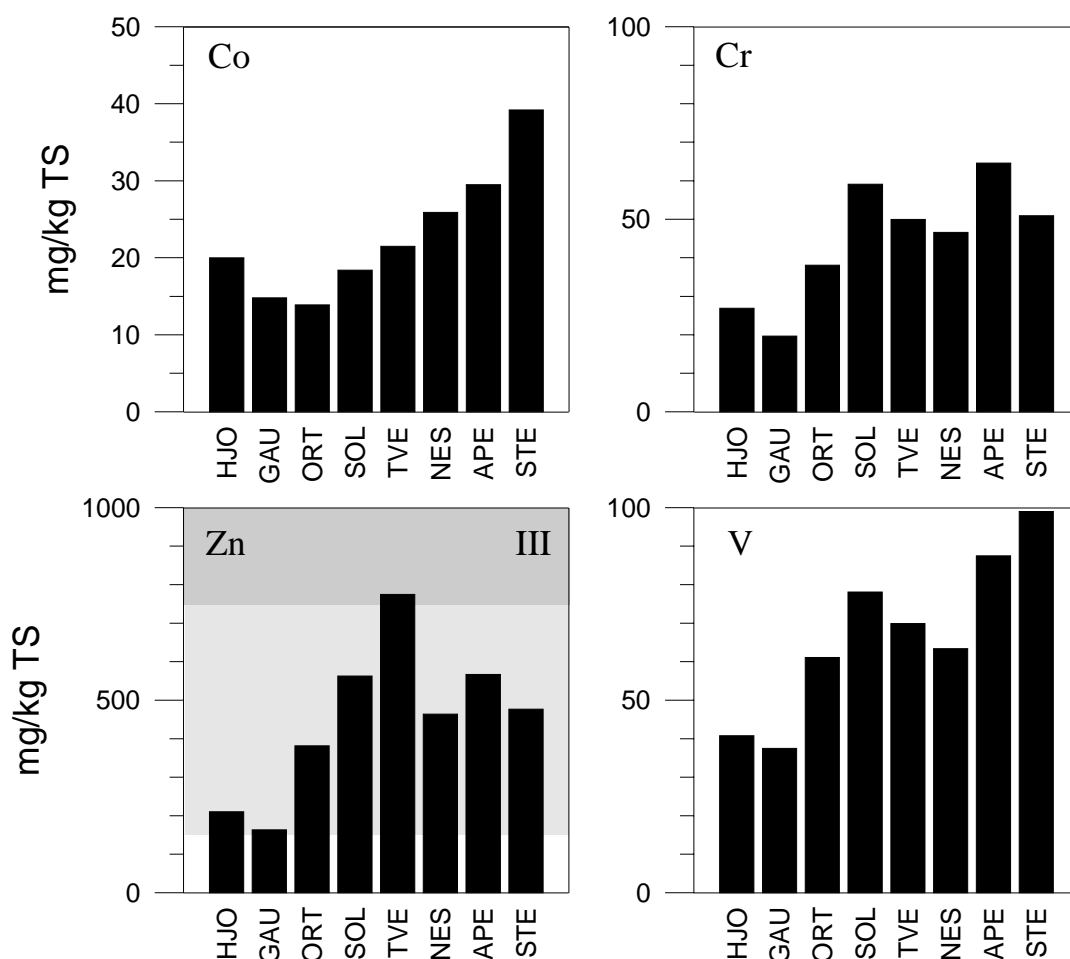


Figur 3. Innhold av metallene arsen (As), kadmium (Cd), kopper (Cu), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og bly (Pb) i sedimentprøver fra åtte innsjøer i Bergen. Innsjønavn er forkortet til de tre første bokstaver, og rekkefølgen er den samme som i Figur 2. Grensene for SFT's tilstandsklasser er vist med skravering for metaller som er klassifisert, og øverste klasse innenfor figurens skala er vist med romertall.

Sedimentets innhold av 10 tungmetaller er vist i Figur 3 og Figur 4. SFT's system for klassifisering av sediment i ferskvann omfatter 7 av metallene. For disse er klassegrensene vist med skravering på figurene.

For de fleste av metallene som vi kan klassifisere etter SFT-systemet (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, As og Hg) lå de målte konsentrasjoner i klasse II (moderat forurenset). Unntaket var nikkel, der alle innsjøer unntatt Apeltunvatn lå i klasse I (ubetydelig forurenset). For kopper, sink og kvikksølv lå en eller to av innsjøene i klasse III (markert forurenset), mens for en innsjø lå innholdet av kvikksølv under øvre grense for klasse I. Vurdert under ett faller Tveitevatt, Nesttunvatn og Apeltunvatn alle i tilstandsklasse III med relativt høy konsentrasjon av ett eller flere elementer, mens de øvrige fem innsjøer faller i klasse II.

På tross av at Hjortlandsstemma er tydelig preget av tilrenning fra et avfallsdeponi, synes nivået av de giftige tungmetallene å ligge relativt lavt i sedimentet. Begge innsjøene i Gaupåsvassdraget hadde lavere innhold av de fleste elementer enn andre innsjøer i kommunen, med unntak for jern som ikke er giftig. Tveitevatt skiller seg ut som mest forurenset av arsen, kopper og sink. Nesttunvatn lå høyest for kvikksølv og bly. Særlig for kvikksølv var forskjellen mellom Nesttunvatn og andre innsjøer påfallende.



Figur 4. Innhold av metallene kobolt (Co), krom (Cr), sink (Zn) og vanadium (V) i sedimentprøver fra åtte innsjøer i Bergen. Innsjønavn er forkortet til de tre første bokstaver, og rekkefølgen er den samme som i Figur 2. Klassegrenser for SFT's klassifisering er vist som i Figur 3 (bare aktuelt for sink).

I prøvene fra Hjortlandsstemma i oktober 1997 ble det analysert metallinnhold i tre sjikt. Det øverste representerer dagens forhold. Pga. svært høyt vanninnhold var det nødvendig å inkludere de to øverste

cm av sedimentproppen for å få nok materiale til analysen. Sedimentet var mørkt og svært løst i de øvre 20 cm, og det antas at dette representerer perioden med avrenning fra fyllingen. Under dette nivået hadde sedimentet en helt annen og normal karakter. Sjøttet 14-15 cm antas derfor å representere aktiv bruk av fyllingen, og 23-24 cm perioden før fyllingen ble anlagt (referanse). Analyseresultatene er vist i Tabell 1. Her er også satt opp forurensningsfaktor (K_f) etter Rognerud og Fjeld (1990) for hvert element.

Tabell 1. Analyseresultater fra tre sjikt av sedimentet i Hjørtlandsstemma. Alle elementer er oppgitt i mg pr kg tørrstoff. Glødetap er oppgitt i % av tørrstoff. Siste kolonne viser "Forurensningsfaktoren" K_f (Rognerud & Fjeld 1990), som er forholdet mellom mengden av et element i overflatesedimentet og referansesedimentet (23-24 cm sjiktet). Høy K_f viser anrikning av et element i sedimentet. Sjøttet 14-15 cm antas å representere aktiv bruk av fyllingen på Hjørtland.

Parameter	Sjikt i sedimentet			K_f
	0-2 cm	14-15 cm	23-24 cm	
Glødetap %	42,2	40,6	28,7	
Al	20.600	19.300	18.900	1,09
As	10,2	7,75	2,96	3,45
Ca	2.650	2.590	3.360	0,79
Cd	0,786	1,51	0,526	1,49
Co	20,0	15,7	9,12	2,19
Cr	26,9	20,0	21,4	1,26
Cu	44,9	36,6	29,4	1,53
Fe	170.000	216.000	33.400	5,09
Hg	0,2490	0,1590	0,0882	2,82
K	2.060	1.200	3.380	0,61
Mg	4.160	2.830	7.180	0,58
Mn	683	1.060	347	1,97
Ni	21,9	16,8	21,9	1,00
Pb	64,6	61,9	35,6	1,81
S	5.420	7.510	2.180	2,49
Se	1,88	2,29	-	-
Sb	0,290	0,441	-	-
V	40,8	35,8	43,9	0,93
Zn	210	275	107	1,96

For Hjørtlandsstemma finner vi høyest anrikning av jern, og en tydelig økning i innholdet av arsen, kvikksølv og kobolt. Mindre økning finner vi også for sink, bly og kopper. For kalsium, kalium og magnesium var konsentrasjonen lavere i de øvre enn i de eldre sedimentene. Selv om metallmengdene ikke overstiger klasse II (moderat forurenset) for noen elementer, ser vi altså tydelige effekter på sedimentet. For noen elementer (jern, kadmium og sink) lå konsentrasjonen høyere i sjiktet 14-15 cm, og det ser derfor ut til at deponiet avgir mindre av disse enn tidligere. Men for arsen, kobolt, krom, kopper, kvikksølv og bly er det ingen tegn til redusert tilførsel. Utenom metallene var det også vesentlig større mengder svovel i de påvirkede sedimentene enn i referanseprøven, med høyest verdi i sjiktet 14-15 cm.

Resultater fra sedimentanalysene utenom Hjortlandsstemma blir presentert i en videre sammenheng i en kommende SFT-rapport (Rognerud m.fl. under utarbeidelse). En kort oppsummering av resultatene fra de enkelte innsjøene følger.

Med unntak for Nesttunvatn foreligger det også målinger fra dypere sedimenter (referanseprøver) fra de andre innsjøene. Mengden metaller i referansesedimentene varierte ganske mye, og det er ikke sikkert at prøvene i alle innsjøer har vært dype nok til å gi gode referansedata. For arsen lå f. eks. K_f høyest i Hjortlandsstemma og i Tveitevatn (begge >3), men både i topp- og referansesedimentet lå konsentrasjonen dobbelt så høyt i Tveitevatn. For kadmium var K_f høyest i Stendavatn og Gaupåsvatn, vesentlig fordi innholdet i referansesedimentet lå lavt. For kobolt var anrikningen beskjeden i alle innsjøer, og mest markert i Hjortlandsstemma. Krom viste størst økning i Apeltunvatn, som også hadde klart høyest konsentrasjon i toppsedimentet. Kvikksølv lå desidert høyest i Nesttunvatn, men det var ikke mulig å få referansedata fra sedimentprøven. Bakgrunnsnivået for kvikksølv varierte fra 0,08 mg/kg i Hjortlandsstemma til 0,34 mg/kg i Tveitevatn. Apeltunvatn, Ortuvatn og Solheimsvatn var anrikt med nikkel ($K_f > 2$, for Apeltunvatn >3). For bly var anrikningen størst i Gaupåsvatn som følge av lav bakgrunnsverdi, mens konsentrasjonen i toppsedimentet var høyest i Nesttunvatn, Tveitevatn og Ortuvatn. Sinkinnholdet i referansesedimentene varierte betydelig, med lav verdi i Gaupåsvatn og høyest i Tveitevatn. Anrikning av sink var størst i Stendavatn, Gaupåsvatn og Apeltunvatn (K_f mellom 5,6 og 6,8), mens Tveitevatn som hadde den høyeste konsentrasjon i toppsedimentet også hadde relativt mye i referansesedimentet ($K_f = 2,1$).

Et generelt trekk er at innsjøene i de nære byområdene og i sør hadde noe høyere innhold av de fleste elementer, mens Ortuvatn i Fyllingsdalen og de to innsjøene i Åsane lå relativt lavt. Særlig gjelder dette de to sistnevnte, som hadde lavest konsentrasjoner av åtte elementer. Nedenfor kommenteres tilstanden i hver av de undersøkte innsjøene.

Gaupåsvatn hadde relativt lavt innhold av de fleste tungmetaller. Klassifisering etter SFT (1997a) gir tilstandsklassen II (moderat forurenset).

Hjortlandsstemma var tydelig påvirket av avrenning fra deponiet på Hjortland, med betydelig anrikning og høy konsentrasjon særlig av jern. For giftige tungmetaller var nivået generelt relativt lavt, og tilstandsklassen blir også her klasse II.

Ortuvatn skilte seg ikke spesielt ut for noen elementer, men blyinnholdet lå relativt høyt. Tilstandsklassen for tungmetaller blir klasse II.

Solheimsvatn hadde laveste innhold av kvikksølv blant de undersøkte innsjøene. Innholdet av jern, krom, sink og vanadium lå relativt høyt, mens andre elementer ikke skilte seg ut med avvikende konsentrasjoner. Tilstandsklassen for tungmetaller blir klasse II.

Tveitevatn skiller seg ut blant innsjøene med relativt høye konsentrasjoner av flere elementer. Mest iøynefallende er høyt innhold av jern, arsen, kobber og sink. De to sistnevnte plasserer innsjøen i tilstandsklasse III (markert forurenset). Innholdet av kadmium var høyest her, og blyinnholdet var blant de høyeste.

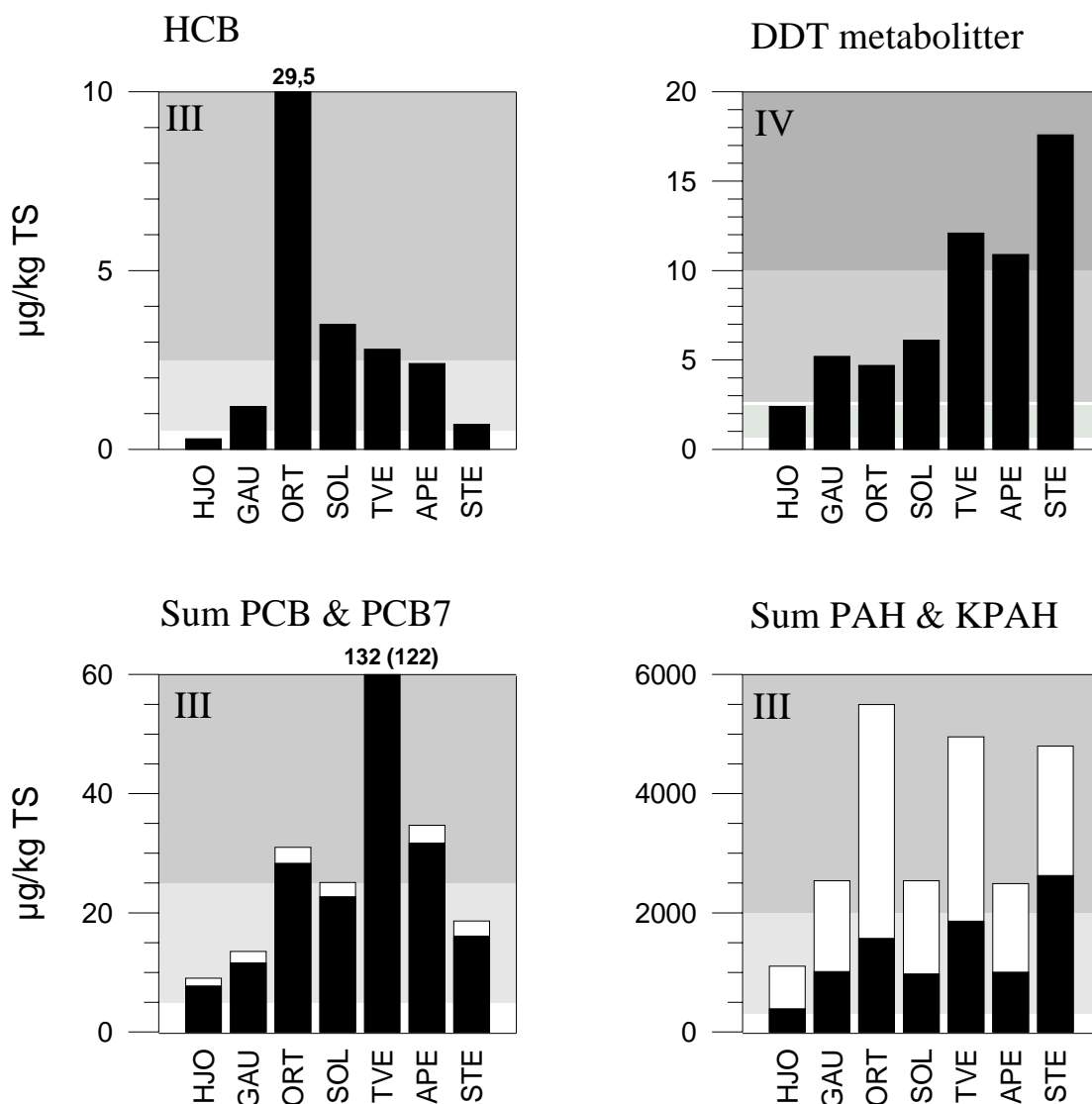
Nesttunvatn skilte seg klart ut med et høyt innhold av kvikksølv. Dette tilsvarer tilstandsklasse III. Også av bly hadde denne innsjøen den høyeste konsentrasjonen. For andre elementer var bildet variabelt, men innholdet av kadmium og kobber lå relativt høyt.

Apeltunvatn hadde et relativt høyt innhold av nikkel i sedimentet. Også kopperinnholdet var høyt, og tilsier tilstandsklasse III. Krominnholdet var det høyeste blant innsjøene, og mengden av kobolt, vanadium, kadmium og bly lå relativt høyt.

Stendavatn pekte seg ikke spesielt ut for klassifiserbare tungmetaller, og plasseres i tilstandsklasse II. Innholdet av kadmium og nikkel lå relativt høyt. Mengden kobolt og vanadium i sedimentet var høyere i denne innsjøen enn de øvrige.

3.2 Organiske miljøgifter i sediment

Her presenteres resultater for PCB, PAH, HCB og DDT-metabolittene. Det foreligger også resultater for 5-CB, OCS og lindan, men disse komponentene varierte relativt lite og vil bare bli omtalt i korthet. Som påpekt foran mangler vi kriterier for å klassifisere forurensningsgraden for organiske miljøgifter i ferskvann, og grenseverdiene som er brukt her er tatt fra klassifiseringssystemet for marine sedimenter. Det er ikke gitt at klassegrensene vil være identiske når retningslinjer for ferskvann foreligger, og det er derfor viktig å påpeke at tilnærmingen som er brukt her må tas med forbehold om andre grenser i fremtiden. Siden miljøgiftene ikke er tilstede i naturtilstand (eller må ha ligget på et lavt nivå som for PAH), er det likevel en nyttig referanseramme for å vurdere resultatene.



Figur 5. Innhold av noen organiske miljøgifter i overflatesediment (0-1 cm) fra sju innsjøer i Bergen. DDT-metabolittene er summen av p,pDDD og p,pDDE. For PCB er det vist ●PCB (grå søyler) og ●PCB7 (svarte søyler). Til-svarende er det for PAH vist ●PAH (minus perylen; grå søyler) og ●KPAH (svarte søyler). Betegnelse er nærmere beskrevet i teksten. Mengden er oppgitt i µg pr kg tørrstoff. Nivået av flere av de organiske miljøgiftene i de undersøkte innsjøer må sies å være urovekkende. Resultatene fra innsjøene i Bergen er vist i Figur 5. Blant de 69 innsjøer i Norge som inngår i

oversikten til Rognerud m.fl. (1997) skiller lokaliteter i Bergensområdet seg ut med de høyeste verdiene for PCB og HCB, og lå også relativt høyt for andre stoffer. I Ortuvatn ble det målt et helt uvanlig høyt innhold av HCB. Selv om Ortuvatn lå i en særklasse, var nivået for HCB relativt høyt også i flere andre innsjøer som Solheimsvatn, Tveitevatn og Apeltunvatn. Disse fire innsjøer var blant de fem med høyest HCB-nivå blant 69 lokaliteter (Rognerud m.fl. 1997). Etter kriteriene for marine sedimenter tilsvarer nivåene for HCB klasse IV for Ortuvatn, klasse III for Tveitevatn og Solheimsvatn, klasse II for Apeltunvatn, Stendavatn og Gaupåsvatn, mens bare Hjortlandsstemma lå innenfor grensen for klasse I.

Også for DDT-metabolittene lå nivået forholdsvis høyt sammenlignet med andre norske innsjøer, spesielt for Stendavatn. Dette sammen med Apeltunvatn og Tveitevatn ligger over grensen for klasse IV for \blacklozenge DDT, som i tillegg til de to metabolittene også omfatter DDT i opprinnelig form. Denne komponenten er ikke målt i våre prøver, men utgjør omtrent 12% av \blacklozenge DDT i ferskvannssedimenter (Rognerud m.fl. 1997). Et påslag på 12 % betyr at samtlige innsjøer som er undersøkt i Bergen har et nivå som tilsier klasse III eller IV. Selv om vi ikke regner med DDT, vil bare Hjortlandsstemma endre klassifisering til klasse II. Det var likevel en ganske markert forskjell mellom innsjøene (Figur 5), med klart høyest konsentrasjon i innsjøer i den sørlige delen av kommunen.

For PCB skilte Tveitevatn seg ut med desidert høyest verdi ikke bare i Bergen (Figur 5), men også blant de 69 innsjøer som var med i det regionale datasettet (Rognerud m.fl. 1997). Prøven fra Tveitevatn inneholdt hele 132 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (\blacklozenge PCB, derav 122 $\mu\text{g}/\text{kg}$ som \blacklozenge PCB₇), mens den nest høyeste blant 69 innsjøer lå på under 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Dette tilsvarer tilstandsklasse IV for marine sedimenter. Sedimentet i Tveitevatn var spesielt, og det ble analysert for PCB i flere sjikt under toppsedimentet. Høye konsentrasjoner av PCB ble påvist ned til 15 cm, og tilførslene har derfor pågått over lengre tid.

Selv om Tveitevatn var i en klasse for seg, lå flere andre innsjøer i Bergen relativt høyt på PCB-listen. Både Ortuvatn og Apeltunvatn lå innenfor tilstandsklasse III for marine sedimenter, mens Solheimsvatn lå i øvre del av området for klasse II. Ingen av innsjøene lå under grensen for klasse I.

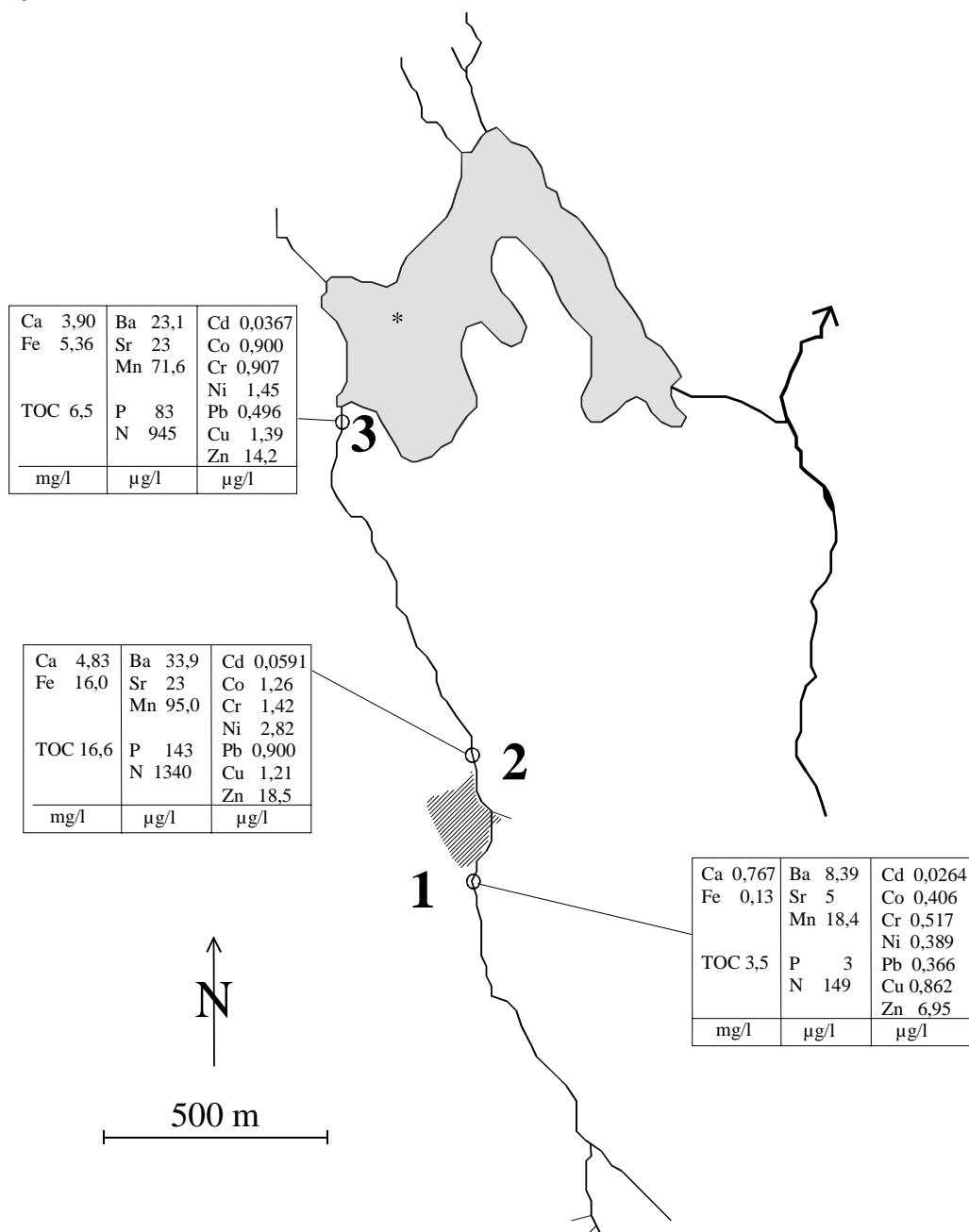
Verdiene av andre klorerte forbindelser som er analysert (5-CB, lindan, OCS) er ikke vist her, og skiller seg lite ut fra andre norske innsjøer. Som for de andre stoffene lå Hjortlandsstemma lavest. Tveitevatn og Apeltunvatn hadde relativt høyt nivå av både lindan og OCS. For lindan lå imidlertid Gaupåsvatn høyest.

Sedimentenes innhold av PAH var også betydelig. Klassifisering av marine sedimenter baseres på \blacklozenge PAH, og etter denne lå sju av innsjøene i tilstandsklasse III. Bare Hjortlandsstemma lå under grensen for klasse II (Figur 5). Ortuvatn hadde det høyeste innholdet av \blacklozenge PAH (uten perylen) på 5495 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mens Stendavatn hadde det høyeste innholdet av \blacklozenge KPAH (2624 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Andelen av KPAH varierte betydelig mellom innsjøene. Av disykliske PAH-beslektete stoffer bør det nevnes at Tveitevatn var anrikt på 2,3,5 Trimetylnaftalen (jfr. Rognerud m.fl. 1997).

3.3 Avrenning fra avfallsdeponier

Denne delen av undersøkelsen fokuserer på to av innsjøene som ble antatt å være påvirket av avrenning fra deponier i nedbørfeltet.

3.3.1 Hjortlandsstemma



Figur 6. Hjortlandsstemma med tilløpsbekker og stasjoner for prøvetaking 27.10.97. Avfallsdeponiets beliggenhet er skravert (omtrentelig utstrekning). Stasjon for prøvetaking av sediment og bunnvann i Hjortlandsstemma er vist med en stjerne. En del måleresultater er vist i boksene for hver stasjon. For fullstendig oversikt over analyseresultater se Tabell 2.

Deponiet på Hjortland var i bruk i perioden 1959-78. Totalt ble det deponert nesten 31.000 tonn avfall (Aanes & Brettum 1985). Prøvetaking i bekken som drenerer avfallsdeponiet viste at bekken var anriket av både næringssalter, metaller og andre elementer. Plassering av stasjoner og de mest påfallende resultatene er vist i Figur 6, mens alle analyseresultater er sammenstilt i Tabell 2. Generelt lå alle konsentrasjoner lavt ovenfor deponiet, økte dramatisk like nedenfor, og var for de fleste komponenter betydelig redusert eller fortynnet ved innløpet til Hjortlandsstemma. Hele strekningen fra deponiet til innsjøen var synlig forurenset, med tildels massiv begroing av sopp og utfelling av oker. I bekken langs deponiet ble det observert oljefilm på overflaten. Mengden næringssalter var betydelig (Figur 6), spesielt for fosfor (140 µg/l), og det ble også målt påvist mye organisk materiale (TOC over 16 mg/l).

Mengden av jern og mangan lå som ventet høyt nedenfor deponiet. En god del av dette avsettes trolig som partikler i bekken, men vil bli spylt ned i innsjøen ved flom (f. eks. under snøsmeltingen). Blant tungmetallene fant vi forhøyet konsentrasjon av Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Pb og Zn, mens arsen og kvikksølv lå på et lavt nivå i alle prøver. Nikkelkonsentrasjonen tilsvarer tilstandsklasse III (markert forurenset) på St. 2 like nedenfor deponiet, men lå lavere ved innløpet til innsjøen (klasse II). Blant elementene som kan klassifiseres etter SFT (1997) lå kvikksølv i klasse I (ubetydelig forurenset) og kadmium, kopper, bly, sink og krom i klasse II (moderat forurenset). Selv om effekten av fyllingen er tydelig sammenlignet med de lave konsentrasjonene ovenfor, er altså graden av forurensning ikke så høy mhp. tungmetaller. Dette samsvarer godt med de relativt beskjedne konsentrasjoner som ble påvist i innsjø-sedimentene.

En rekke andre elementer viste også forhøyet konsentrasjon nedenfor fyllingen: Ca, Mg, K, Ba og Sr.

De fleste av elementene nevnt over fant vi også igjen i forhøyete konsentrasjoner i bunnvannet i Hjortlandsstemma. Innholdet av jern og mangan tilsier klasse V (meget dårlig) for virkning av organiske stoffer. Dette henger klart sammen med oksygenmangel og reduserende forhold i dypet. Mengden av jern og mangan er imidlertid bare støtteparametre for denne virkningstypen. Målinger av nøkkelparametre i 1995 (Hobæk 1996) tilsvarer tilstandsklasse IV etter SFT's nye retningslinjer. Innholdet av tungmetaller i vann tilsier klasse II for Hjortlandsstemma, men en prøve er ikke tilstrekkelig for en pålitelig klassifisering. Verdiene for metaller påvirkes også av oksygenmangel i bunnvannet ved at de da kan bunnfelle som sulfider, men da må det lukte H₂S av bunnvannet..

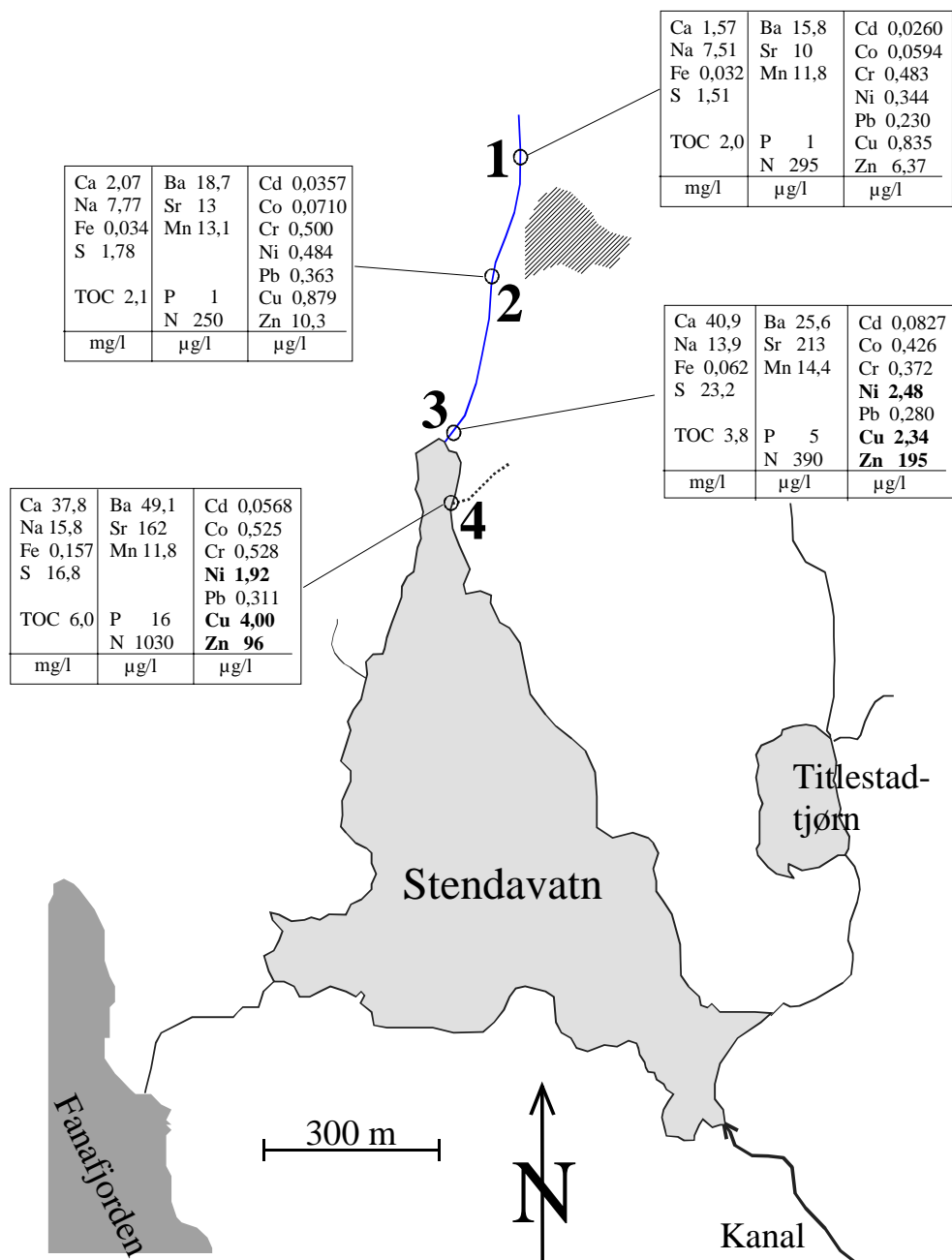
3.3.2 Stendavatn

Deponiet på Titlestad like ved Stendavatn er privat, og brukes fortsatt. Vi har ingen informasjon om selve deponiet, men det skal nå vesentlig være i bruk for lagring og ikke for permanent deponering. Avrenningsforholdene fra deponiet var ikke så enkle å finne ut av (Figur 7). Sigevann kan sannsynligvis renne både mot vest til bekken som kommer fra Stendafjellet, og mot sør nedover mot Titlestadvegen. Her er det ingen bekk, men et inntak for overvann langs veien vil trolig fange opp en del av avrenningen. Det kan også tenkes at noe av avrenningen kan fortsette sørover og nå bekken som renner til Titlestadtjernet (Figur 7). Prøver ble tatt på tre stasjoner langs bekken fra Stendafjellet og i utløpet av et rør som fører overvann fra den omtalte ledningen fra øst ut i Stendavatnet (St. 4; Figur 7). Ingen av stasjonene viste synlige tegn til forurensning. Det foreligger ikke målinger fra bunnvannet i innsjøen.

Resultatene av samtlige analyser er satt opp i Tabell 2, mens de mest iøynefallende endringer i vannkvalitet er vist i Figur 7. Ved St. 2 like nedenfor deponiet var det bare små endringer i vannkvalitet i forhold til referansestasjonen, mens den nederste viste markerte endringer. Av metaller var tilførselene mest markert for sink (tilstandsklasse V, eller "meget sterkt forurenset"). Også for kopper var påslaget betydelig (tilstandsklasse III). For nikkel fant vi likedan en klar økning, mens nivået lå noe lavere (tilstandsklasse II). Elementene krom, kvikksølv og bly viste ingen påfallende

endringer. Situasjonen på St. 4 (overvannsledningen) tilsvarer nederste stasjon i bekken, med et betydelig innhold av kopper, sink og endel nikkel.

Også ved Stendavatn fant vi økt innhold av næringssalter og organisk karbon. Med unntak for nitrogen på St. 4 var verdiene likevel langt lavere enn påvist på Hjortland.



Figur 7. Stendavatn med tilløpsbekker og stasjoner for prøvetaking 3.11.97. Avfallsdeponiets beliggenhet er skravert (omtrentlig utstrekning). Stasjon 4 er utløpet av en overvannsledning, som trolig mottar en del av sigevannet fra fyllingen. Kanalen fra S/Ø er kunstig, og overfører vann fra Fanaelven. En del måleresultater er vist i boksene for hver stasjon. For fullstendig oversikt over analyseresultater se Tabell 2.

Parallelt med det forhøyete metallinnholdet på St. 3 og 4 fikk vi også en tydelig økning i svovelmengden. Derimot var endringene i jern og mangan ubetydelige. På samme måte som på Hjortland fant vi markert økning i Ca, Mg og K, men også i Na. Det samme gjelder Ba og Sr, men mengden strontium var langt høyere i tilførselene til Stendavatn.

Tabell 2. Vannkjemiske måleresultater fra tilløpsbekkene til Hjortlandsstemma og Stendavatn. Stasjoner er vist på Figur 3 og Figur 4.

ELEMENT	HJORTLANDSSTEMMA				STENDAVATN			
	Bekk, stasjoner			Innsjø 27 m	Bekk, stasjoner			Rør 4
	1	2	3		1	2	3	
Ca (mg/l)	0,767	4,83	3,90	2,38	1,57	2,07	40,9	37,8
Mg (mg/l)	0,729	1,13	1,15	1,00	0,979	1,05	3,13	3,03
Na (mg/l)	5,41	5,95	6,20	5,75	7,51	7,77	13,9	15,8
K (mg/l)	<0,400	0,813	1,20	1,09	<0,400	0,462	2,73	3,64
Fe (mg/l)	0,130	16,0	5,36	9,13	0,032	0,034	0,062	0,157
Mn (µg/l)	18,4	95,0	71,6	287	11,8	13,1	14,4	9,99
Al (µg/l)	148	207	187	137	232	233	122	119
S (mg/l)	0,776	0,863	0,958	0,768	1,51	1,78	23,2	16,8
Si (mg/l)	1,41	1,91	1,75	1,10	1,31	1,39	2,21	2,52
Ba (µg/l)	8,39	33,9	23,1	16,1	15,8	18,7	25,6	49,1
Sr (µg/l)	5	23	23	14	10	13	213	162
As (µg/l)	<0,477	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,642	<0,300	<0,300
Cd (µg/l)	0,0264	0,0591	0,0367	<0,020	0,0260	0,0397	0,0827	0,0568
Co (µg/l)	0,406	1,26	0,900	1,93	0,594	0,710	0,426	0,525
Cu (µg/l)	0,862	1,21	1,39	1,19	0,835	0,879	2,34	4,00
Cr (µg/l)	0,517	1,42	0,907	0,728	0,483	0,500	0,372	0,528
Hg (µg/l)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Ni (µg/l)	0,389	2,82	1,45	0,958	0,344	0,484	2,48	1,92
Pb (µg/l)	0,366	0,900	0,496	0,412	0,230	0,363	0,280	0,311
Zn (µg/l)	6,95	18,5	14,2	9,03	6,37	10,6	195	96
Tot-P (µg/l)	3	143	83	-	1	1	5	16
PO ₄ -P (µg/l)	1	132	72	-	<1	<1	3	11
Tot-N (µg/l)	149	1340	945	-	295	250	390	1030
NO ₃ -N (µg/l)	9	25	180	-	225	165	175	730
TOC (mg/l)	3,5	16,6	6,5	-	2,0	2,1	3,8	6,0

4. Diskusjon

Atmosfærisk avsetning av langtransporterte forurensninger står for en vesentlig del av mengdene som måles av en rekke miljøgifter. Dette gjelder elementer som Pb, Sb, Cd, Se, Zn og Hg, og organiske stoffer inklusive PCB og PAH (Steinnes m.fl. 1997, Rognerud m.fl. 1997). Det er klare geografiske mønstre i avsetning og konsentrasjoner for en rekke miljøgifter. Et generelt trekk er at vi i den sørligste del av landet finner høye konsentrasjoner av tungmetaller og PAH. Disse skriver seg trolig for en stor del fra utenlandske kilder, men trolig også fra vår egen industrivirksomhet. For en rekke av miljøgiftene strekker området med høy atmosfærisk avsetning seg også et stykke nordover Vestlandskysten, men nivået blir lavere etterhvert. I områder der vi har smelteverksindustri finner vi ofte overkonsentrasjon av tungmetaller som Cu og Zn (Steinnes m.fl. 1997), og det antas at denne virksomheten også er en viktig kilde til PAH-forurensning (Rognerud m.fl. 1997). Slike luftutslipp spres gjennom atmosfæren, og kan vanskelig skilles fra langtransportert materiale.

I tillegg til atmosfæriske tilførsler kan vassdragene forurennes av en rekke diffuse, men mer lokale kilder, foruten punktutslipp fra forurensende aktivitet eller deponier. Biltrafikk har fått oppmerksomhet de senere år som en forurensningskilde ikke bare for tungmetaller, men også for PAH, PCB og flere andre klororganiske stoffer (Bækken 1994). Forbrenning, bilgummi og veislitasje produserer disse miljøgiftene, som vil følge avrenning fra veibane eller kunne akkumuleres i snø og brøytekanter. Dumping av brøytesnø kan medføre overkonsentrasjoner rundt dumpeplasser langs vassdrag eller havneområder. Konsentrasjonen av trafikk tetthet rundt større byer gjør at denne kilden trolig betyr mest her. Tilsvarende vil det være for PAH som dannes ved bruk av fossile brensler og ved til oppvarming.

En lang rekke industrivirksomheter og andre aktiviteter avgir utslipp til luft og vann. Smelteverk er allerede nevnt. Mange andre prosesser gjør bruk av tungmetaller f. eks i produksjon av maling, garving, eller bruk av syntetiske farger til tekstiler. PCB er hovedsakelig knyttet til forskjellige oljer, som f.eks. er brukt i transformatorer. Lekkasje fra dumpete eller skadete transformatorer er en vanlig kilde til lokale PCB-utslipp. Også jord- og skogbruk er en vanlig forurensningskilde, først og fremst av ulike pesticider.

Avfallsdeponier er en viktig kilde til lokal forurensning. Sigevannet kan inneholde mange miljøgifter, og dette er en svært aktuell problemstilling i Bergen kommune som har en hel rekke gamle deponier. Mange av innsjøene i kommunen er så små at vi heller ikke kan se bort fra tilførsler via kloaknett eller direkte private utslipp som aktuelle forurensningskilder.

Foruten tilførsler fra mange potensielle kilder vil hydrologi og andre forhold som vannets innhold av organisk stoff ha betydning for transport og akkumulasjon av miljøgifter. Noen tungmetaller og organiske miljøgifter er sterkt knyttet til organiske partikler, mens andre er mer løselige og noen organiske stoffer kan ha en viss grad av flyktighet. Det vil føre for langt å gå inn på dette her, og det henvises til Rognerud & Fjeld (1990) og Rognerud m.fl. (1997) for videre diskusjon.

På denne bakgrunn er det klart at det kan være vanskelig å skille ut kildene til forurensning av en enkelt innsjø, hvis ikke enkelte stoffer skiller seg klart ut fra et generelt bakgrunnsnivå. For innsjøene som er undersøkt her, er det typisk at vi finner påviselige mengder av de fleste stoffene det er analysert for, og for de organiske miljøgiftene må nivået sies å ligge generelt høyt. I det følgende diskuteres kort noen mulige lokale forurensningskilder de enkelte innsjøene. Det er klart at en målrettet søking etter kilder vil være nødvendig for å kunne fastslå disse med noen grad av sikkerhet. I noen av innsjøene kan vi peke på avfallsdeponienes betydning der det er gjort målinger i tilførselsbekkene (kun tungmetaller).

Hjortlandsstemma var tydelig påvirket av avrenning fra det nedlagte deponiet på Hjortland. Likevel var nivået relativt lavt for alle de egentlige miljøgiftene, og effekten synes best gjennom overkonsentrasjon av jern og mangan og ved en stor belastning med organisk stoff og næringssalter. For både tungmetaller og organiske miljøgifter var nivået faktisk lavere i Hjortlandsstemma enn i andre innsjøer.

Gaupåsvatn hadde høyere nivå av DDT-derivater og PAH enn Hjortlandsstemma, mens tungmetaller (unntatt Fe og Mn) også her lå på et relativt lavt nivå. Disse to innsjøene hører til samme vassdrag (Gaupåsvatn mottar avrenningen fra Hjortlandsstemma), og naturtilstanden mht. miljøgifter må forventes å ha vært nokså lik. Jordbruksarealene i nærområdet er langt større ved Gaupåsvatn, og dette kan være forklaringen på et høyere DDT-nivå. En relativt trafikkert vei langs innsjøen kan også tenkes å bidra med PAH, mens nivået av tungmetaller ikke tyder på at dette er en betydelig kilde.

Ortuvatn i Fyllingsdalen var moderat forurenset av tungmetaller, riktignok med et reelt høyt innhold av bly. For de organiske miljøgiftene var nivået høyt for både DDT-derivater, PCB og PAH, og helt spesielt for HCB. Nivået av HCB er så høyt at det må finnes et betydelig lokal kilde. Den viktigste tilførselselven går i kulvert under et tett bebygd område med et større kjøpesenter og flere borettslag og kontorbygg. Det er tidligere pekt på at bunndyrsamfunnet i denne elven er så utarmet at man kunne mistenke gifteffekter (Hobæk m.fl. 1994). Vi kjenner ikke til bedrifter eller aktiviteter som skulle kunne produsere HCB i dette området. Den enkleste forklaring synes derfor å være at det er dumpet materiale som avgir HCB i området. Tidligere aktiviteter i området (før utbyggingen på 60-tallet) inkluderer bl. a. flere gartnerier, en minkfarm og trelast/snekkeri.

Tveitevatnet er mest forurenset av de undersøkte innsjøene. Sedimentets innhold av flere tungmetaller var høyt, og det samme gjelder DDT-derivater, PAH og fremfor alt PCB. For tungmetallene synes avfallsdeponiet på Slettebakken som en svært sannsynlig kilde, siden de samme metallene er påvist i avrenningen fra dette (Bjørklund m.fl. 1993). DDT-derivatene kan skyldes tidligere jordbruksaktivitet i området, men kan også tenkes å stamme fra deponiet. For PCB er det også nærliggende å tenke på deponiet, f.eks. ved dumping av elektriske transformatorer. Men siden PCB er knyttet til oljer, bør det også pekes på at flere bensinstasjoner har drevet langs bredden i en årrekke, og at et større verksted for busser ligger på Mannsverk med kort dreneringsvei til Tveitevatn.

Solheimsvatn mottar også avrenning fra et eldre avfallsdeponi ved Brann stadion. Nivået av tungmetaller (unntatt jern) tyder ikke på at tilførselene herfra er særlig store, selv om innholdet av sink og krom var relativt høyt. De organiske miljøgiftene lå jevnt høyt med unntak for PCB som lå relativt lavt. Mulige forurensningskilder er avfallsdeponiet og flere større verksteder like ovenfor innsjøen foruten tung trafikk, men det er ingen av miljøgiftene som tyder på store utslipp i nærheten.

For Nesttunvatn har vi bare data for tungmetaller. Innsjøen skiller seg ut med et høyere innhold av kvikksølv enn de øvrige, og dette skyldes trolig lokale utslipp. Langs Nesttunelven like ovenfor finnes en rekke små verksteds- og produksjonsbedrifter, men det er vanskelig å peke på noen sannsynlige kilder. Det relativt høye nivået av bly og kadmium kan kanskje settes i sammenheng med en betydelig trafikk langs innsjøen og langs elven ovenfor.

Apeltunvatn hadde de høyeste konsentrasjoner av krom og nikkel i denne undersøkelsen, og det er sannsynlig at dette kan tilskrives lokale kilder. Et større område kloss i innsjøen er fylt ut og utbygget med et større butikkensenter og noen verkstedsbedrifter. Mindre verksted har også tidligere vært aktive ved innsjøen. Et høyt innhold av DDT-derivater kan trolig settes i forbindelse med jordbruk, som var mer omfattende i området tidligere.

Stendavatnet var også tydelig påvirket av tungmetaller som med stor sannsynlighet kan tilskrives avfallsdeponiet. Mengdene i sedimentet var likevel ikke alarmerende i forhold til andre innsjøer i

kommunen. Derimot var innholdet av DDT-derivater høyt, og innholdet av KPAH var det høyeste blant innsjøene. Jordbruksaktiviteten i området har vært stor over lang tid (bl. a. med jordbruksskole og gartneri), og kan være kilden for DDT. Som en sannsynlig kilde for KPAH bør det pekes på kommunens største avfallsdeponi i Rådalen. Forbrenning av søppel har foregått i ganske stort omfang. Forbrenning på deponiet på Titlestad vil også kunne bidra, men vi kjenner ikke til om dette har foregått.

Avrenningen fra fyllplassene både på Hjortland og Titlestad var anrikt av barium og strontium. Ba og Sr tilhører de alkaliske jordartsmineraler, og forekommer på samme måte som Ca normalt i jord, omtrent i 1/100 av Ca-konsentrasjonen. Forhold som fører til utlekking av Ca (f. eks. forsuring) fører til tilsvarende økt utlekking av Ba og Sr. Det foreligger få registreringer av disse elementene fra før ICP-teknikkene ble tatt i alment bruk. De påviste konsentrasjonene følger med økte Ca-nivåer, og kan trolig tilskrives at kalkholdig jord eller rett og slett kalk er deponert i fyllingene. Stoffene er i seg selv ikke giftige eller farlige. Drikkevannsforskriftene gir en veiledende verdi for Ba på 100 µg/l.

5. Henvisninger

- Bjørklund, A. E. 1997. Overvåking av ferskvannsresipienter i Bergen kommune i 1996. Rådgivende Biologer rapport nr. 236. 89 s.
- Bjørklund, A.E., G.H. Johnsen, Å. Åtland & A. Kambestad. 1992. Overvåking av ferskvannsresipienter i Bergen kommune 1992. Rådgivende Biologer rapport nr. 81. 168 s.
- Bjørklund, A. E. , G.H. Johnsen & A. kambestad. 1994. Miljøkvalitet i vassdragene i Bergen kommune, status 1993. Rådgivende Biologer rapport nr. 110. 156 s.
- Bækken, T. 1994. Trafikkforurenset snø i Oslo. NIVA rapport Lnr. 3131.
- Hobæk, A. 1994. Brev til Bergen kommune, datert 5.04.1994 (upubliserte analysedata).
- Hobæk, A. 1996. Overvåking av ferskvannsresipienter i Bergen kommune 1995. Grimseid-, Fjøsanger- og Gaupåsvassdragene. NIVA rapport Lnr. 3506-96.
- Hobæk, A. 1998a. Overvåking av ferskvannsresipienter i Bergen kommune i 1997. Gravdals-, Fyllingsdals-, Nesttun- og Apeltunvassdragene. NIVA rapport Lnr. 3792-97.
- Hobæk, A. 1998b. Kloakkforurensning av vassdrag i Bergen kommune høsten 1997. NIVA-rapport Lnr. 3791-98.
- Hobæk, A., E.-A. Lindstrøm & K.J. Aanes. 1994. Overvåking av ferskvannsresipienter i Bergen kommune 1993. Gravdals-, Fyllingsdals-, Hauglandsdals- og Kalandsvassdragene. NIVA rapport Lnr. 3026. 119 s.
- IARC 1987. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Overall evaluation of carcinogenicity: An updating of IARC monographs. Vol. 1-42, Suppl. 7. Lyon.
- Rognerud, S. & E. Fjeld. 1990. Landsomfattende undersøkelse av tungmetaller i innsjø-sedimenter og kvikksølv i fisk. Statlig program for forurensningsovervåking, SFT. Rapport 426/90 TA nr. 714/1990.
- Rognerud, S., E. Fjeld & J.E. Løvik. 1997. Regional undersøkelse av miljøgifter i innsjøsedimenter. Delrapport 1. Organiske mikroforurensninger. Statlig program for forurensningsovervåking, SFT. Rapport 712/97 TA nr. 1484/1997. NIVA rapport Lnr. 3699-97.
- SFT 1997a. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-veiledning 97:04, TA-nr. 1468/1997.
- SFT 1997b. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT-veiledning 97:03, TA-nr. 1467/1997.
- Steinnes, E., R.O. Allen, H.M. Petersen, J.P. Rambæk & P. Varskog. 1997. Evidence of large scale heavy-metal contamination of natural surface soils in Norway from long-range atmospheric transport. *The Science of the Total Environment* 205: 255-266.