

# Sedimentundersøkelser i Frierfjordområdet

Av Jens Skei

Jens Skei har Ph.D. i marin geokjemi fra 1975 ved University of Edinburgh.  
Han er ansatt som forsker ved NIVA's fjordseksjon.

*Innlegg ved Norsk forening for Vassdragspleie og Vannbygienes fagkonferanse i Porsgrunn 1. juni 1978.*

## Innledning

En overveiende del (ca. 80—95%) av bunnsedimentene i norske fjorder består av uorganisk leire, silt og sand. Dette materialet tilføres fjordene hovedsakelig ved elvtransport. De øvrige 5—20% av sedimentene består av organisk materiale, som enten tilføres sammen med det uorganiske materialet eller ved at marineplanter og dyr dør og synker til bunns. Mengden av organisk materiale i sedimentene vil dessuten avhenge av hvor raskt nedbrytingen skjer i forhold til tilførselen. Anoksiske (oksygenfrie) sedimenter inneholder derfor vanligvis de høyeste konsentrasjonene av organisk materiale.

Disse naturlige sedimentene, som består av en uorganisk og en organisk del, har et innhold av metaller som varierer med sedimentenes organiske innhold og kornstørrelse. Andre persistente (bestandige) forbindelser, slik som klorerte hydrokarboner er derimot naturfremmede stoffer og skal således ikke forekomme i sedimentene eller miljøet for øvrig.

Når forurensninger tilføres en fjord vil en del transporteres ut i kystvannet,

noe vil tas opp av organismer som lever i fjorden og resten vil akkumuleres på bunnen, forutsatt at stoffene er persistente. Selv utslipp av metaller og klorerte organiske forbindelser i oppløst form fører vanligvis til anrikning av disse stoffene i sedimentene, pga. deres affinitet til partikler og evne til omdanning til partikulær form. Hvis man ikke finner spor av forurensning i sedimentene er det derfor tvilsomt om resipienten er særlig belastet av persistente forurensningsstoffer.

## Sedimentenes anvendelse i resipientstudier.

Det er flere hensyn å ta ved valg av angrepsmåte ved resipientundersøkelser. En avgjørende faktor er type forurensning, og forurensningens omfang. Ved større utslipp av miljøgifter (f.eks. metaller og klorerte organiske forbindelser) fra industri, vil sedimentene bli sterkt influert, og influensområdet størrelse kan kartlegges ved analyser av sedimentene. Ut fra gradientstudier kan ukjente utslipp påvises og kjente utslipp kan overvåkes. Sedimentene avsettes med en hastighet på noen få mm pr år og de kjemiske endringene som skjer i sedimentet er meget langsomme, slik at sedimentene gir et tidsintegret bilde av forurensningssituasjonen

i en fjord. Vi kan på mange måter sammenligne sedimentene med en databank, hvor informasjon om forurensningstilstanden ligger lagret i kronologisk orden, den eldste informasjonen underst og den yngste øverst.

I overvåkingssammenheng er det viktig å kunne relatere dagens situasjon til tidligere tider. Ved aldersbestemmelse (bly-210 isotop) av sedimenter som er avsatt de siste 100—150 år kan vi direkte relatere kjemiske endringer i en sedimentkjerne til endringer i tilførsler. Det bør imidlertid påpekes at selv om det ser ut til å være en klar forbindelse mellom utslippsforhold og sedimentenes sammensetning i forurensete fjorder, er det ikke like klar forbindelseslinje mellom forurensete sedimenter og vannkvalitet. Til det er det for store kunnskapsmangler om interaksjonen mellom vann og sediment og sediment som fremtidig, potensiell forurensningskilde.

### **Sedimentene i Frierfjordområdet.**

De problemstillinger vi ønsket å stille ved sedimentundersøkelsen i Frierfjordområdet var følgende:

1. Å undersøke om det var forskjeller i belastning av metaller og klorerte hydrokarboner i Skienselva, Gunnekleivfjorden, Frierfjorden og det ytre fjordområdet. Sedimentstasjonenes plassering er vist på Fig. 1 og 2.
2. Å kartlegge den historiske utviklingen av forurensningen i området og eventuelt tilbakeføre dette til utslippsforholdene.
3. Å bruke sedimentene for å overvåke endringer i forurensningssituasjonen enten i positiv eller negativ retning.

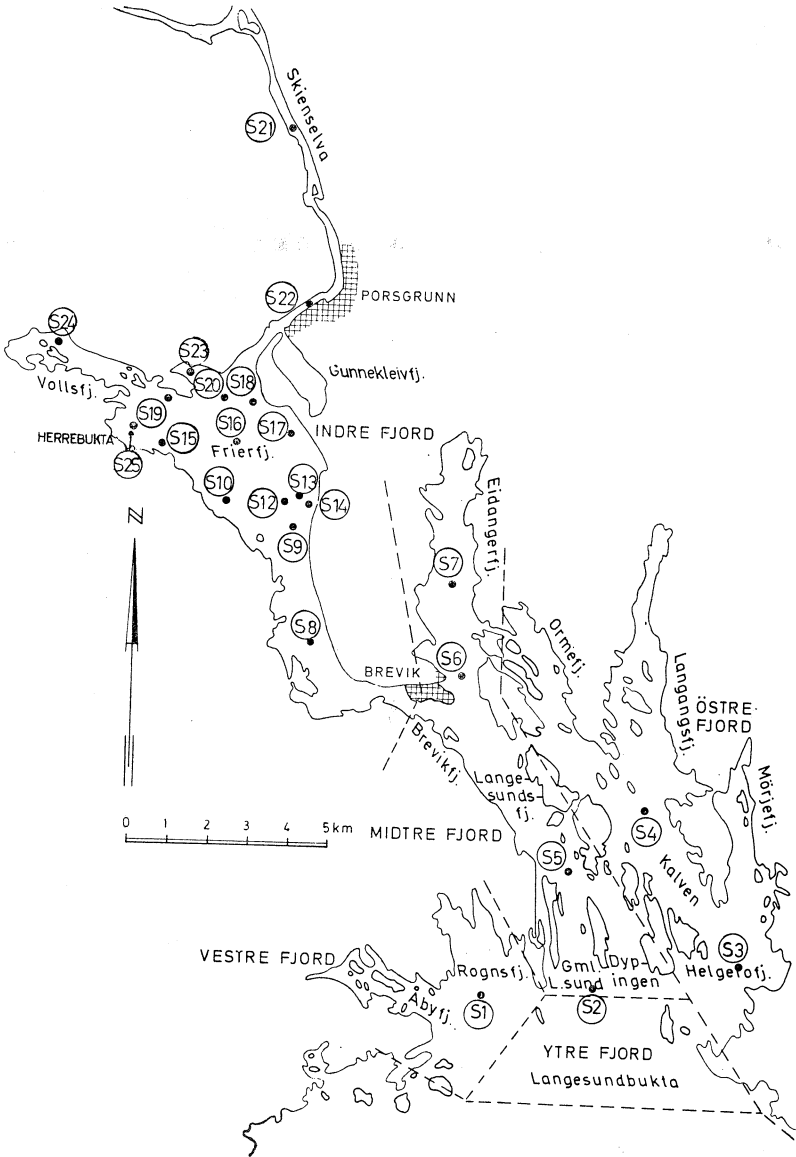
Undersøkelsene har omfattet analyser av ca. 100 sedimentprøver fra 35 lokaliteter og disse er delvis blitt analysert for kvikksølv, sink, bly, kopper, kadmium, mangan, jern, nikkel, molybden og organisk materiale. Noen av disse prøvene er også blitt analysert for klorerte hydrokarboner (heksaklorbenzen, pentaklorbenzen og oktaklorstyren) og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). I tillegg er en sedimentkjerne fra Frierfjordens dypbasseng analysert for bly-210. Det er dette datamaterialet som har gitt grunnlaget for vurderingen av forurensningen av bunnsedimentene i Frierfjordområdet (NIVA, 1975, 1978, Skei, 1978).

Sedimentene er tatt med gravity corer (Niemistø, 1974) i 1975 og 1976, tørket ved 80°C og metallene er analysert ved atomabsorpsjon ved Sentralinstituttet for industriell forskning (SI) og ved Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA). Klorerte hydrokarboner er analysert ved SI.

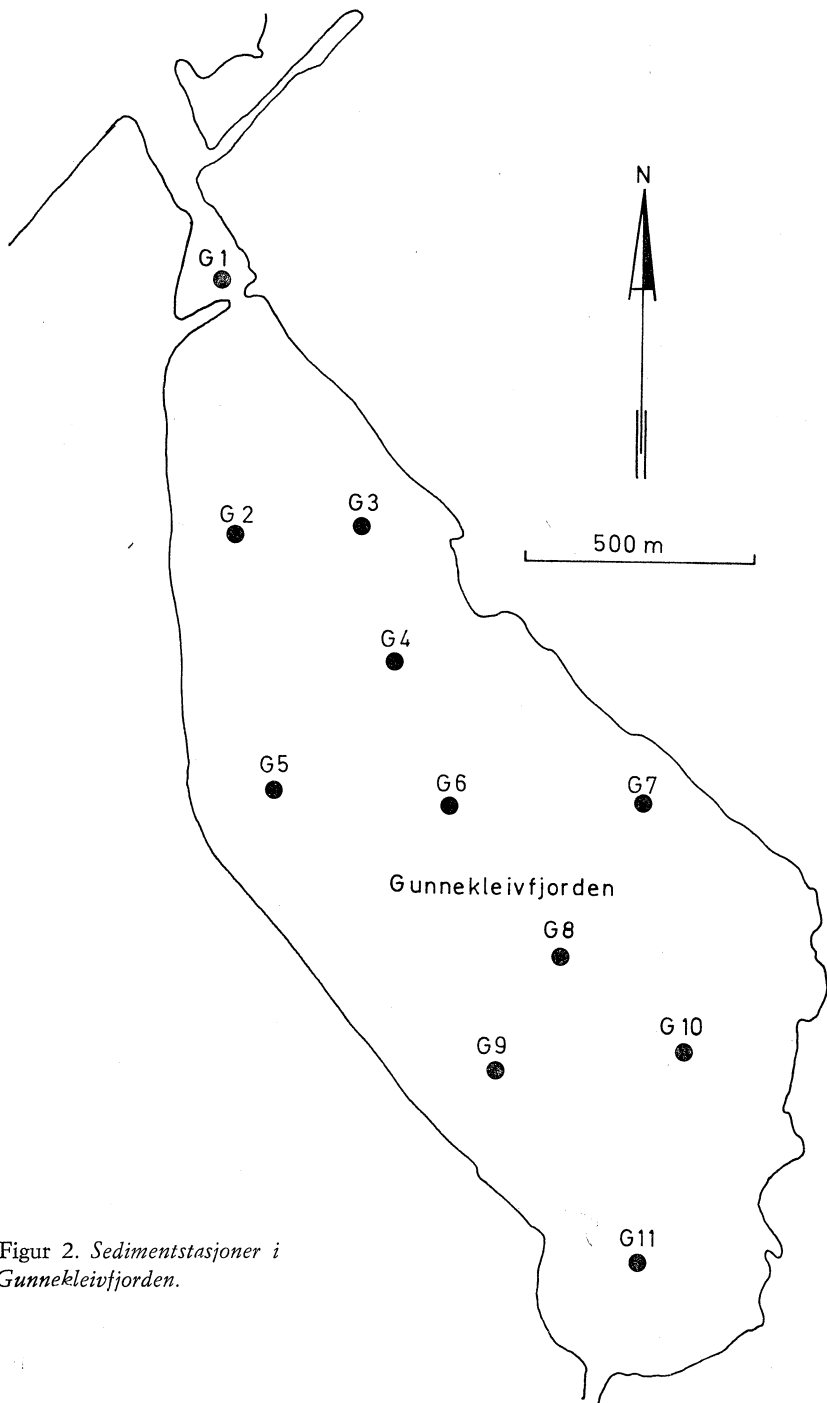
Sedimentene i Skienselva var sterkt fiberholdige og anoksiske. I Gunnekleivfjorden var sedimentene tydelig dominert av utslipp fra Herøya. I selve Frierfjorden, innenfor Brevik-terskelen, hadde sedimentkjernene et sort, anoksisk lag med varierende tykkelse og underliggende gråe sedimenter, avsatt i en tid da oksygenforholdene i fjordens dypvann var betraktelig bedre enn i dag. Utenfor Brevik var sedimentene stort sett like de sedimenter man finner i de fleste fjorder med rik tilgang på oksygen.

### **Metaller.**

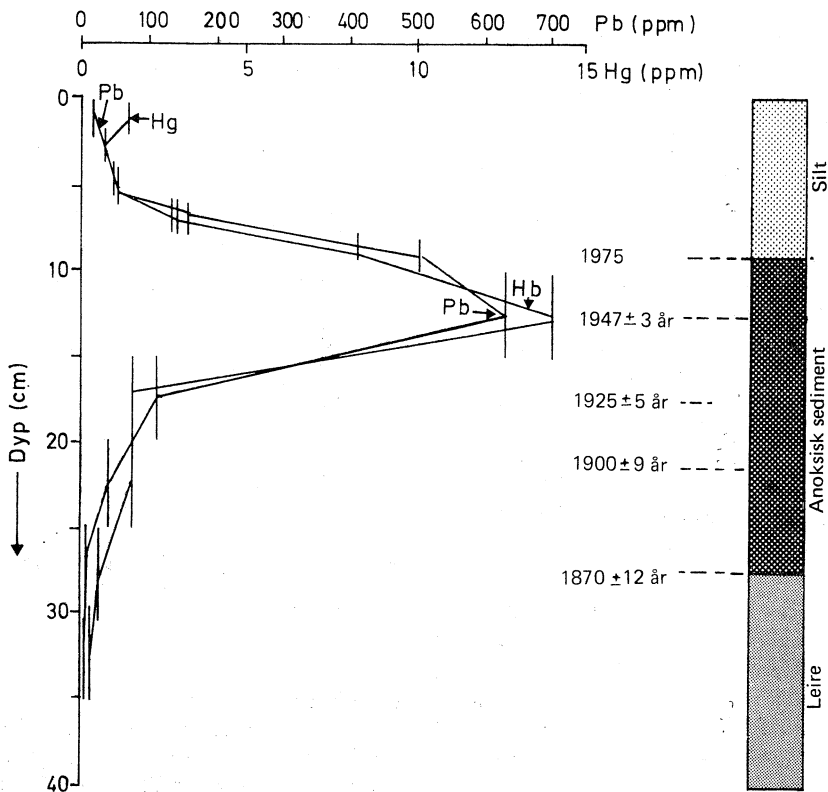
Det er hovedsaklig kvikksølv, bly og kadmium som interessen dreier seg om når det gjelder metaller i Frierfjorden. De høyeste konsentrasjonene av metaller



Figur 1. Sedimentstasjoner i Skienelva, Friertfjorden og ytre fjordområde.



Figur 2. Sedimentstasjoner i Gunnekleivfjorden.



Figur 3. Vertikal fordeling av kvikksølv (Hg) og bly (Pb) i sedimentkjerne fra stasjon S16 i Frierfjorden (alder bestemt ved bly-210 analyser)

ble målt i overflatesedimentene (0—2 cm), bortsett fra i selve Frierfjordbassenget hvor sedimentene var influert av et flere cm tykt siltlag, som følge av en dumping av muddermasse ved utbyggingen på Rafnes i 1974/75. (Fig. 3).

Konsentrasjonene av kvikksølv var høyest i Gunnkleivfjorden (90—350 ppm, tørrvekt), men også i de sentrale deler av Frierfjorden ble det målt 10—12 ppm. I det ytre fjordområdet var konsentra-

sjonene 0,5—2 ppm i overflatesedimentene. Konsentrasjoner høyere enn 0,2 ppm må ubetinget tilskrives forurensning. Dette tilsier at hele undersøkelsesområdet er forurenset av kvikksølv og dette antas å skyldes tidligere utslipp fra treforedlingsindustri i området og utslipp fra Norsk Hydros klor-alkalifabrikk på Herøya. På bakgrunn av aldersdatering av en sedimentkjerne, ser det ut til at den største kvikksølvbelastningen inntraff etter

1950 og at den kuliminerte ca. 1970. Dette er i overensstemmelse med utslippsforholdene, ettersom treforedlingsindustrien og klor-alkalifabrikkene begynte å slippe ut kvikksølv fra begynnelsen av 50-årene og rensetiltak ble iverksatt fra 1970.

I motsetning til kvikksølv, ble bly og kadmium påvist i høyest konsentrasjon i nærheten av Skienselvas munning og i Frierfjordbassenget. Dette antyder at disse metallene har et annet opphav enn kvikksølv. De høyeste konsentrasjonene var henholdsvis 704 ppm og 26,3 ppm for bly og kadmium. Dette er betydelig høyere enn man ville forvente i uforurensete fjordsedimenter (20–30 ppm bly og 0.5 ppm kadmium). Økningen nederst i elva antas å skyldes industriutslipp i dette området.

Som vi ser, så gir sedimentundersøkelsen informasjon om hvor belastningen er størst og hva som er den sannsynlige kilden. Erfaringsmessig viser det seg at maksimal innvirkning på sedimentene skjer umiddelbart utenfor utslippsstedet.

### Klorerte hydrokarboner.

Disse forbindelsene stammer fra magnesiumfabrikken på Herøya, og de ble gjenfunnet i sedimentene i hele undersøkelsesområdet. De høyeste konsentrasjonene ble naturligvis funnet nær utslippsstedene i Gunnekleivfjorden og Frierfjorden. Her ble det påvist ca. 10 ppm heksaklorbenzen (HCB) i overflatesedimentene. En sedimentkjerne fra Herrebukta viste at HCB ikke kunne detekteres under 8 cm dyp i kjernen (Fig. 4). Dette indikerer at de øvre 8 cm er avsatt etter at HCB ble introdusert i miljøet i Frierfjorden, dvs. etter 1952. Basert på

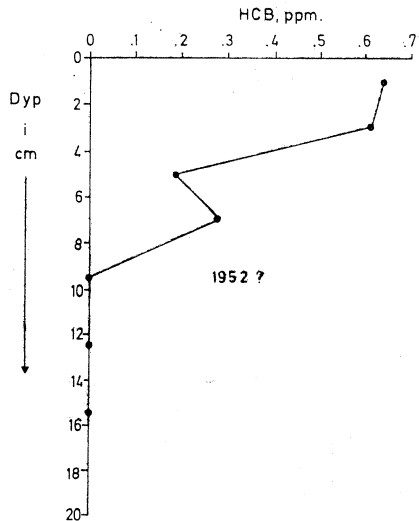


Fig. 4. Vertikal fordeling av heksaklorbenzen (HCB) i sedimentkjernen fra stasjon S25 Herrebukta.

dette kan vi indirekte anslå den gjennomsnittlige sedimentasjonshastigheten i Herrebukta til 3,2 mm/år, i motsetning til 1,8 mm/år som ble målt i selve Frierfjordbassenget.

### Forurensning av sedimenter — konsekvenser.

Når vi har påvist en ganske omfattende forurensning av sedimentene i Frierfjordområdet, så er spørsmålet i hvilken grad dette har noen konsekvens for det marine liv i området. Ut fra det man kjenner til er det spesielt tre måter sedimentene kan influere på organismene på:

1. Interaksjon mellom sediment og de organismer som lever i eller på sedimentet.

2. Resuspensjon (oppvirvling) av foruren-  
sede sedimenter og opptak av partikler  
i organismer som lever i vannmassen.
3. Direkte utlekking av metaller fra sedi-  
mentene til vannmassen over og videre  
opptak i organismer.

Av dyr som lever i og på sedimentet, så er det i første rekke børstemark og gravende muslinger som er i direkte kontakt med metallene i sedimentet ved opptak av føde (partikler) og gjennom sedimentets porevann, som vanligvis inneholder høye metallkonsentrasjoner. I Frierfjorden er som kjent sedimentene anoksiske under 40—50 m dyp slik at opptak av metaller i bunnorganismer er uaktuelt, simpelthen fordi vi ikke har noen bunnlevende organismer her. Det er forøvrig ikke foretatt analyser av metaller i børstemark fra gruntområdene i Frierfjorden eller det øvrige området. En børstemarkprøve fra Frierfjorden ble imidlertid analysert for heksaklorbenzen og denne viste et innhold som var over 10 ganger høyere enn i det sedimentet den levde i.

Hvilken grad resuspensjon av foruren-  
sede sedimenter kan føre til akkumulering  
av miljøgifter i organismer som lever  
i vannet er ikke kjent. Slik resuspensjon  
skjer spesielt under perioder med dyp-  
vannsutskifting, da gammelt bunnvann  
iblandet oppvirvlede sedimenter løftes opp  
til intermediære dyp og transporteres ut  
av Frierfjorden.

Mobilisering eller frigivelse av metaller  
fra sedimenter er et omdiskutert tema.  
Undersøkelser har vist at det skjer for  
enkelte metallers vedkommende men ikke  
for andre, forutsatt at de riktige betingel-  
ser er tilstede. Slik frigivelse av metaller  
vil i første rekke avhenge av metallenes

tilstandsform i sedimentet og i andre  
rekke de fysiske og kjemiske forhold som  
rår i grenseflaten mellom vann og sedi-  
ment. I Frierfjorden ser det ut til at  
vannutsiftningen spiller en vesentlig  
rolle når det gjelder fluks av metaller fra  
sedimentet til vannet over. Under stag-  
nasjonsperioder med hydrogensulfid i  
bunnvannet skjer det en kraftig diffusjon  
av løst mangan fra sedimentet til vannet  
over. Etter en dypvannsutskifting oksy-  
deres to-verdig mangan til fire-verdig og  
alt mangan foreligger i partikulær form.  
Storparten av partiklene synker til bunns  
og etter en ny stagnasjonsperiode skjer  
det en ny fluks fra sedimentet.

Nå er det imidlertid de kjemiske egen-  
skaper til mangan nokså spesielle, men  
bly, kopper og sink viste også egen-  
skaper som tyder på at sedimentet ikke  
er noen permanent lagerplass for disse  
metallene. Ved tilstedeværelse av hydro-  
gensulfid i bunnvannet i Frierfjorden ble  
det målt meget lave konsentrasjoner av  
disse metallene i vannet. Dette antas i  
noen grad å skyldes utfelling av deres  
respektive metallsulfider. Etter enhver  
dypvannsfornyelse økte innholdet av disse  
metallene nær bunnen. Det er derfor  
grunn til å tro at det skjer en transport  
av spesielt bly og sink fra sedimentet til  
vannet over når oksyderende forhold er  
etablert ved vann-sedimentflaten, etter en  
lengere periode med reduserende miljø.  
Kvikksølv derimot viste ingen tilsvarende  
økning. Dette tyder på at en eventuell fri-  
givelse av kvikksølv skjer mye langsom-  
mere og at det ikke er kjemiske men  
mikrobiologiske prosesser (metyllering)  
som kan mobilisere kvikksølv. Det er  
kjent at metyllering av kvikksølv øker  
under oksyderende forhold, men at det  
fortsatt er en langsom prosess.

## Sammendrag.

Analysen av metaller og halogenerte hydrokarboner i sedimentprøver fra Skienselva, Gunnekleivfjorden, Frierfjorden og det ytre fjordområde, og fra forskjellige dyp i sedimentet har vist en betydelig forurensning. Den vertikale fordelingen av forurensingskomponenter viste en sterk økning i konsentrasjonene etter andre verdenskrig. Dette må settes i forbindelse med økte industriaktiviteter i området på den tiden. Sedimentkjerner fra Frierfjordbassenget viste også at det er et klart skille i sedimentet som skyldes endringer i den organiske belastningen på fjorden. Akkumulering av organisk materiale og utvikling av anoksiske forhold i sedimentet inntraff i 1870-80 årene, basert på bly-210 dateringer. Dette var som følge av større tilførsler av organisk materiale enn nedbrytingen kunne ta hånd om. Endringen i den organiske belastningen må trolig settes i forbindelse med etableringen av treslipper opp i Skienselva og Bamble Cellulose ved Frierfjorden.

Dette ga et ekstra tilskudd av organisk materiale til resipienten, som fra naturens side er sårbar (dårlig vannutskiftning).

Det er således en klar forbindelseslinje mellom utslipp og sedimentenes sammenheng, selv om sammenhengen mellom vannkvalitet og sedimenter ikke er like innlysende.

Etterhvert som rens tiltak både på industrisiden og kommunalt settes i verk og blir mere effektive, må vi forvente en bedring i forholdene i Frierfjordområdet. Dermed vil et hvert bidrag fra miljøgifter som allerede er akkumulert i sedimentene bli av langt større betydning i fremtiden. Det er derfor viktig å overvåke hva som skjer med sedimentene i årene fremover og klarlegge om det er noen grunn til å betrakte sedimentene som en potensiell forurensningskilde. Spesiell interesse vil knytte seg til omsetning av miljøgifter i sedimentene hvis den organiske belastningen vil avta i så stor grad at oksyderende forhold vil vedvare i bunnvannet i lange perioder.

## REFERANSER

- Niemistö, L.*, 1974. A gravity corer for studies of soft sediments. Havforskningsinst. Skr. Helsinki, 238, 33—38.
- NIVA*, 1975. 0-111/70. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport nr. 3. Fremdriftsrapport fra de sedimentgeokjemiske undersøkelsene i juli 1975.  
Forfatter: J. Skei, Stensilert: 60 s.
- NIVA*, 1978. 0-111/70. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjorder. Sluttrapport under bearbeidelse.
- Skei, J.* 1978. Serious mercury contamination of sediments in a Norwegian semi-enclosed bay.  
Mar. Pollut. Bull., 9, 191—193.