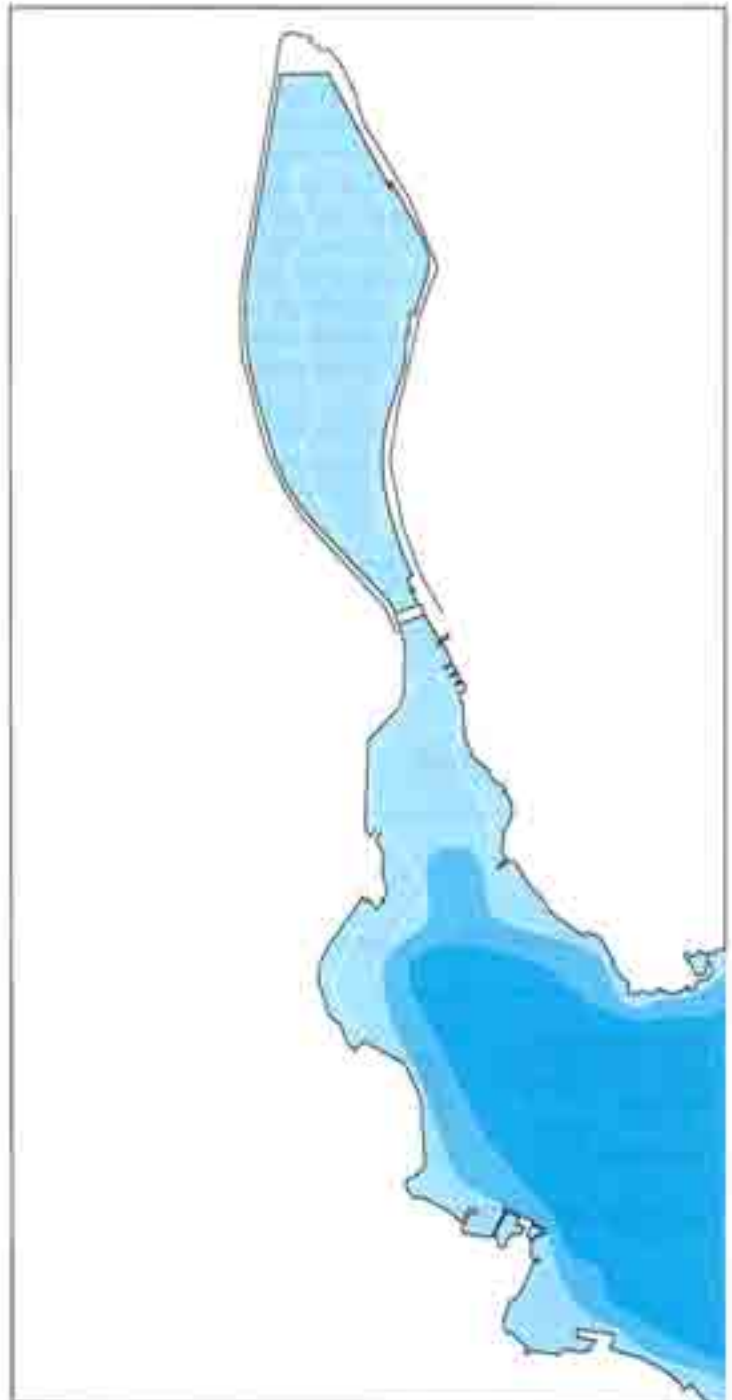


RAPPORT LNR 4125-99

Resipientundersøkelser i Hillevågsvatnet og Strømvik



**Resipientundersøkelser
i Hillevågsvatnet og Strømvik 1999**

Forord

Etter forespørsel fra Stavanger kommune utarbeidet NIVA et forslag til undersøkelser i Hillevågsvatnet og Strømvik datert 20.04.99. Undersøkelsen skulle omfatte både vannkvalitet i Hillevågsvatnet og miljøgifter i strandsonen fra Strømvik til Kvaleberg. Avtale ble inngått 05.05. og prøver av sedimenter og vannmasse ble innsamlet i resipienten i perioden 03.06.-19.09. Alle prøver er analysert ved NIVAs laboratorium i Oslo. Involverte fra laboratoriet, instrumentsentralen, verkstedet og prosjektets øvrige medarbeidere Sigurd Jacobsen, Forsand, Bjørn Aspøy, Sandnes, og Unni Efraimssen takkes for innsatsen. Geir Godal, Stavanger kommune, takkes for lokalkunnskaper om området formidlet under befarig den 03.06. og seinere, og fotøvrig for et greit samarbeid vedrørende gjennomføringen av hele prosjektet. Kari Nygaard og Torgeir Bakke har vært ansvarlige for kvalitetsikring av prosjektforslaget og den foreliggende slutt-rapporten.

Oslo, 15. november, 1999

Morten Thorne Schaanning

Innhold

Sammendrag	5
Summary	9
1. Innledning	10
2. Materiale og metoder	11
2.1. Områdebeskrivelse	11
2.2. Lokale forurensingskilder	11
2.3. Prøvetaking	11
2.3.1. Sedimenter	11
2.3.2. Vannprøver	13
2.4. Elektrodemålinger	14
2.5. Opparbeiding og kjemiske analyser	14
2.5.1. Sedimenter	14
2.5.2. Vannprøver	15
3. Resultater	16
3.1. Sedimenter	16
3.1.1. Organisk materiale	16
3.1.2. Redoksforhold og H ₂ S	17
3.1.3. Metaller og PAH	20
3.1.4. PCB	26
3.1.5. DDT	26
3.1.6. Tinnorganiske forbindelser	26
3.1.7. Klorcyclohexaner	26
3.1.8. Klorbenzener	26
3.2. Vannkvalitet	27
3.2.1. Resultater og diskusjon	27
4. Oppsummering og konklusjoner	32
4.1. Strømvik	32
4.2. Hillevågsvatnet	33
5. Litteratur	35
Vedlegg A. Analyseresultater	36

Sammendrag

Bakgrunn for undersøkelsen

I forbindelse med NSB's planer om flytting av godsterminalen ved Hillevågsvatnet i Stavanger og utviklingsprosessen knyttet til fremtidig bruk av frigjorte arealer, er vannmasser og sedimenter i tilstøtende sjøområder vurdert i forhold til eutrofitilstand og forekomst av utvalgte miljøgifter.

Områdebeskrivelse

Det undersøkte området omfatter Hillevågsvatnet og strandsonen sydover til Kvaleberg på vestsiden av Strømvik. Hillevågsvatnet er en ca 500 m lang og 150 m bred poll med vanddyp inntil 8 m og begrenset vannutskifting gjennom et ca 25 m bredt og 3 m dypt sund. Sundet forbinder pollen med de mer åpne sjøområdene i Strømvik og Gandsfjorden.

Hillevågsvatnet er omgitt av boligområder på østsiden og NSB's godsterminal og sporområde på vestsiden. Videre sydover langs vestsiden av Strømvik finnes tidligere importhavn for fossile brensler samt båtoppplagringsplasser og diverse nedlagt småindustri. Overløpsledninger munninger ut innerst i Hillevågsvatnet og flere steder langs strandsonen i Strømvik. Området er tidligere påvirket av betydelige utslipp fra boliger, lett industri og sykehus. Idag er Hillevågsvatnet tett utnyttet som småbåthavn.

Provetaking og analyser

Sedimentprøver ble innsamlet 03.06.99 med kjerneprøvetaker eller grabb på 13 stasjoner i området. Redokspotensialer og aktiviteten av sulfid-ioner ble bestemt umiddelbart ved å stikke elektroder direkte ned i sedimentprøvene som deretter ble snittet i 1-5cm tykke skiver og tatt med til laboratoriet for opparbeiding og analyser av organisk materiale, polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), og metallene kvikksølv, kadmium, bly, kobber og litium. I tillegg ble innholdet av tinnorganiske forbindelser, polyklorete bifenyler (PCB) og DDT bestemt på to stasjoner.

Vannkvaliteten ble undersøkt seks ganger i perioden 03.06.- 19.09. Hver gang ble det tatt vannprøver fra 1 m dyp i ytre del av undersøkelsesområdet (Strømvik) og fra 1, 3, 5 og 7 m dyp i Hillevågsvatnet.

Tilstandsbeskrivelser

Rapporten følger Statens Forurensingstilsyns veiledning for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Systemet angir definerte grenseverdier for fem tilstandsklasser med betegnelser som vist i tabellen under. Når disse betegnelsene benyttes i teksten gjenspeiler de m.a.o. veldefinerte analyse-resultater for prøver innsamlet etter nærmere angitte retningslinjer.

Tilstandsklasse	Betegnelse eutrofitilstand	Betegnelse miljøgifttilstand
I	Meget god	Ubetydelig-Lite forurenset
II	God	Moderat forurenset
III	Mindre god	Markert forurenset
IV	Dårlig	Sterkt forurenset
V	Meget dårlig	Meget sterkt forurenset

Eutrofi forhold i vann og sedimenter

Vannprøvene viste lave konsentrasjoner av total nitrogen, total fosfor og næringsaltene ammonium, nitrat og fosfat i overflatelaget i Strømvik. Med få unntak kunne vannkvaliteten i dette området klassifiseres "meget god" (tilstandsklasse I). I Hillevågsvatnet var tilstanden "god" (tilstandsklasse II)

i overflatelaget, men dannelse av hydrogensulfid og betydelig frigjøring av næringsalter (ammonium og fosfat) ved bunnen ga sterke konsentrasjonsgradienter mellom 5 og 7 m dyp og tilstandsklasse V "meget dårlig" i dypvannet under 5 m.

Sammenlignet med en tilsvarende undersøkelse i 1995 var konsentrasjonen av næringsalter i dypvannet noe lavere i 1999, men det var ingen statistisk signifikant forskjell på de to årene. Heller ikke i overflatelaget var det signifikante forskjeller mellom 1995 og 1999 for noen av de fem parametrene benyttet for vurdering av eutrofitilstanden i vannmassene.

Sedimentene i det dypeste området (2 kjerner fra 8 m dyp) av Hillevågsvatnet var dekket av et 12-15 cm tykt svart slamlag. Under dette ble det observert en skarp lagdeling med alternerende svarte og grå skikt. Denne lagdelingen ble ikke observert i de to kjernene fra 7 m dyp. Dersom det antas en årlig sedimentasjonstilvekst på 2-3 mm kan skillet tidfestes til mellom 1925 og 1950, men både tidfesting og årsakene til skillet er usikkert. Pollen er sterkt preget av sivilisatoriske inngrep, bl.a. ble det foretatt betydelige mudringsarbeider i nordenden av vannet omkring 1950, veibroen over sundet ved terskelen ble bygget omkring 1955 og hele strandlinjen er utbygget med brygger og fyllinger. Hvorvidt seilingsdypet er øket ved utgravninger i terskelområdet er ikke kjent.

Analysene av organisk karbon og nitrogen i topplaget (0-2 cm) viste "meget dårlig" tilstand (tilstandsklasse V) på samtlige stasjoner i Hillevågsvatnet. Innholdet av organisk materiale avtok med økende sedimendyp til et markert minimum i øvre del av det lagdelte sedimentet. Elektrodemålingene viste generelt lave redokspotensialer (-100 - -170 mV) og høye konsentrasjoner av hydrogensulfid (10^{-2} - 10^{-6} M H₂S) i porevannet. Elektrodemålingene viste klart bedre forhold i topplaget på to kjerner innsamlet på 4 m vanddyb sammenlignet med fire kjerner innsamlet på 7-8 m dyp og bekreftet dermed de sterke konsentrasjonsgradientene observert i vannmassen mellom 5 og 7 m dyp.

I Strømvik var sedimentene generelt lysere og mer grovkornet. Innholdet av organisk materiale varierte fra klasse I ("god") til klasse IV ("dårlig"), redokspotensialene varierte fra -40 til +500 mV og konsentrasjonen av H₂S var mindre enn 10^{-6} M i samtlige prøver fra dette området. En av stasjonene nær overløpsledningen nord for kullkaia (stasjon nr. 9) skilte seg ut med høyt innhold av organisk materiale og et C:N forhold som indikerte sterkere påvirkning av terrestrisk materiale enn de andre stasjonene.

Miljøgifter i sedimentenes topplag

Kopper, kadmium og bly

Sedimentenes innhold av kopper, kadmium og i noe mindre grad bly, var godt korrelert med konsentrasjonen av organisk materiale og viste mye samme fordelingsmønster på stasjonene i Strømvik og Hillevågsvatnet. Samtlige stasjoner i Hillevågsvatnet var således "markert forurenset" (klasse III) med alle de tre metallene. I Strømvik var de to sydlige stasjonene og stasjon nr. 9 markert forurenset, mens de fire øvrige stasjoner var moderat forurenset. Bly viste et litt avvikende mønster ved at innholdet på stasjonen lengst syd i Strømvik var høyere enn på noen annen stasjon, Hillevågsvatnet inkludert. I tillegg indikerte konsentrasjonene på stasjon nr. 12 lengst nord i Strømvik en spesifikk punktkilde for bly i dette området.

Kvikksølv

Kvikksølv var ikke korrelert med organisk materiale og fordelingsmønsteret var annerledes enn det som ble observert for kopper og kadmium. Kvikksølv var signifikant korrelert med litium som ofte brukes som en indikator på naturlige variasjoner i den uorganiske fraksjonen av sedimentet. Korrelasjonen var imidlertid svak og observasjonene indikerte flere punktkilder i området som vil overstyre naturlige variasjoner som følge av mineralsammensetning og sedimentasjonsforhold. I Strømvik indikerte meget sterkt forurensete sedimenter punkt-kilder for kvikksølv i nærheten av

stasjon nr. 9 og lengst syd i området. Resten av Strømvik var moderat til markert forurenset med dette metallet. I Hillevågsvatnet var sedimentene innsamlet på 4 m vanddyb lengst nord og vest i pollen sterkt forurenset med kvikksølv, mens innholdet var klart lavere (markert forurenset) i det dypeste området.

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (tjærestoff) var svakt korrelert med både organisk materiale og litium. Meget sterkt forurenset sediment indikerte en klar punktkilde lengst syd i Strømvik. De øvrige stasjonene i Strømvik var sterkt forurenset med PAH, med unntak av stasjonen lengst nord i området som var markert forurenset. Til forskjell fra kvikksølv var det ingen indikasjoner på punktkilde for PAH i nærheten av stasjon nr. 9. Alle stasjonene i Hillevågsvatnet var sterkt forurenset med PAH. Høyeste konsentrasjon ble observert i sedimentene innsamlet på 4 m dyp lengst vest i pollen.

Andre miljøgifter

PCB (polyklorerte bifenyler), DDT (eg. sum av DDT, DDD og DDE), TBT (eg. sum av tinnorganiske forbindelser) samt klorcyclohexaner og klorbenzener ble bestemt i en prøve fra det dypeste området av Hillevågsvatnet samt på en stasjon sentralt beliggende i Strømvik. Ingen av de to stasjonene skilte seg ut m.h.t. konsentrasjon av noen av de øvrige miljøgiftene og stasjonene synes således representative for det alminnelige belastningsnivået i de to områdene. Klorcyclohexaner (bl.a. Lindan) var knapt tilstede i detekterbare mengder i noen av prøvene. Analysene av hexaklorbenzen viste lite forurensing i Strømvik, moderat forurensing i Hillevågsvatnet. Sedimentene i Hillevågsvatnet var imidlertid sterkt forurenset med PCB og meget sterkt forurenset med DDT. Strømvik var markert forurenset med PCB og sterkt forurenset med DDT. Konsentrasjonen av PCB i Strømvik var lite forskjellig fra en prøve fra samme området bestemt i 1995. Konsentrasjonen av TBT var 540 ngTBT-Sn/gTS (nanogram TBT målt som tinn per gram tørt sediment) i Strømvik og 1400 ngTBT-Sn/gTS i Hillevågsvatnet. På grunn av ny og forbedret analysemetode er sammenligningsgrunnlaget for disse analysene svakere enn for de øvrige miljøgiftparametrene, men nivået synes å tilsvare et mellomskikt mellom nivået i sedimenter fra Ytre Oslofjord og mer belastete havneområder bl.a. i Harstad og ved Håkonsvern.

Miljøgifter i dypere sedimentlag

Innholdet av metaller og PAH ble analysert i en 30 cm lang kjerne fra det dypeste området i Hillevågsvatnet. Det 15 cm tykke slamlaget på toppen av kjernen var markert forurenset av kopper, kadmium og bly. Innholdet av kvikksølv økte noe med dybden fra markert til sterkt forurenset, mens innholdet av PAH økte fra sterkt til meget sterkt forurenset. Det lysere, lagdelte sedimentet fra 15 til 30 cm viste sterkt økende konsentrasjoner av kvikksølv og PAH og konsentrasjonene av PAH, kvikksølv og kadmium i prøven fra 20-25 cm var høyere enn i noen andre prøver omfattet av denne undersøkelsen. Konsentrasjonen av PAH var ca 500x større enn grenseverdien for høyt bakgrunnsnivå, og den krefitfremkallende komponenten benzo(a)pyren (BaP) ble målt til en konsentrasjon tilsvarende 1360x høyt bakgrunnsnivå. Den såkalte NPD-fraksjonen, som omfatter flere av de lettere PAH-komponentene og som kan være høy i områder påvirket av kreosot, var ikke spesielt høy i noen av prøvene, og konsekvent lavere i prøvene fra Hillevågsvatnet enn i prøvene fra Strømvik.

Konklusjoner og anbefalinger

Med det forbehold om at denne undersøkelsen ikke omfatter bakteriologiske undersøkelser, viste analysene av nitrogen, fosfor og næringssalter i overflatelaget meget god vannkvalitet i Strømvik og god vannkvalitet i Hillevågsvatnet. Eutrofi-problemene i Hillevågsvatnet synes først og fremst å skyldes kombinasjon av dårlig vannutskifting og intern resirkulering av næringsalter, men lokale tilførsler fra overflateavrenning, overløpsledningen i nordenden av vannet og aktiviteter i tilknytning til båthavna vil også kunne stimulere algeveksten i pollen. Sedimentene i Hillevågsvatnet var markert til sterkt forurenset av metaller og PAH og det var lite variasjon mellom stasjonene. Meget høye konsentrasjoner av kvikksølv og PAH ble observert i de lagdelte sedimentene 20-25 cm under sedimentoverflaten. Sedimentene i Strømvik viste store lokale variasjoner med indikasjoner på to-tre tydelige punktkilder. I tillegg til et spesifikt, men forholdsvis moderat, signal for bly lengst nord i

Strømvik, syntes meget sterkt forurensete sedimenter å indikere en punktkilde særlig for kvikksølv ved stasjon 9 like nord for kullkaja, og en annen punktkilde for PAH og kvikksølv og i noe mindre grad bly, kadmium og kopper ved Kvaleberg lengst syd i området.

Detaljerte råd om tiltak og forhold vedrørende mudring og dumping av masser bør utredes særskilt. Umiddelbart synes det mest fornuftig å la de sterkt forurensete sedimentene i Hillevågsvatnet ligge i ro der de er. De sterkt kontaminerte sedimentene i Strømvik derimot, ligger i områder med god vannkvalitet og er lett tilgjengelig for spredning til marine næringskjeder. Kontaminerte masser kan tenkes flyttet og deponert i Hillevågsvatnet. En positiv tilleggseffekt ved en slik løsning vil kunne være at redusert vandyp vil kunne eliminere problemene med oksygenmangel og hydrogensulfid i pollens dypeste områder. Det finnes ulike tekniske løsninger for å hindre spredning av miljøgifter under etableringen av et slikt deponi, og tildekking med membran og/eller et lag rene masser vil kunne isolere deponiet fra biologiske kretsløp og hindre utlekking i ettertid. Det er per idag begrenset erfaring med etablering av undervannsdeponier i Norge, men lignende tiltak for deponering av forurensete masser fra Oslo havn er under utredning. Før slike løsninger eventuelt iverksettes kan det være nødvendig i hvert enkelt tilfelle å utrede massenes fysiske og kjemiske egenskaper såvel som forholdene i deponiområdet. I Hillevågsvatnet bør det spesielt gjøres en vurdering av eventuelle problemer knyttet til lite vandyp, mulige konflikter i forhold til båt-trafikken i pollen samt en grundigere undersøkelse av vannutskiftingen for bedre å kunne vurdere til hvilket dyp sjøbunnen må heves for å gi tilfredstillende oksygenforhold i hele vannsøylen.

Summary

Title: Investigations in water and sediments in Hillevågsvatnet and Strømvik 1999

Year: 1999

Author: Morten Thorne Schuanning

Source: Norwegian Institute for Water Research, SNR 4125-99 ISBN No.: ISBN 82-577-3735-6

The municipal authorities of Stavanger is planning for future disposal of a former industrialised area along the western shores of Hillevågsvatnet and Strømvik. In this connection the water and sediments along the shoreline was investigated with regard to eutrophication status and concentrations of selected heavy metals and organic micropollutants.

Using the criteria recommended by the Norwegian Pollution Control Authorities (SFT), analyses of nitrogen and phosphorous showed that the quality of the surface water (1 m depth) was "Good" (class I) in Strømvik. In Hillevågsvatnet the quality was "Fair" (class II). Near the bottom in Hillevågsvatnet (below 5 m depth) anoxic water and rapid release of hydrogen sulphide, ammonia and phosphate occurred during the summer, yielding class V ("Very bad") conditions.

Sediment samples revealed two highly contaminated areas in Strømvik. In the southernmost end of the area, the sediments were class V ("Extremely polluted") with regard to mercury and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). In an area further north sediments were similarly polluted with mercury, but the concentration of PAH was not beyond the local back-ground level.

In Hillevågsvatnet sediment contaminants were more evenly distributed than in Strømvik. The surface 0-2 cm layer was class III ("Markedly polluted") with regard to copper, cadmium and lead, class III-IV with regard to mercury and class IV ("Severely polluted") with regard to PAH. In the deepest area of the basin, the sediment had a 12-15 cm top layer with black, sulphide-bearing mud with high concentrations of organic matter. Below this layer alternating black and light grey layers were found down to at least 30 cm. Mercury and PAH increased down the core to maximum concentration at 20-25 cm depth.

Rather than removal of contaminated sediments, it was suggested to consider covering the sediments with a membrane and/or clean masses. Additional benefits such as disposal of contaminated masses from nearby polluted locations and seabed elevation to abate seasonal anoxia in the bottom water, may be obtained. Any such enterprise needs, however, further assessment of basin hydrography, physical properties of the masses involved and potential user conflicts.

1. Innledning

Bakgrunnen for denne undersøkelsen var NSB's planer om flytting av godsterminalen ved Hillevågsvatnet i Stavanger og den tilhørende utviklingsprosessen knyttet til fremtidig bruk av de frigjorte arealet.

Tidligere undersøkelser (Bokn *et al.*, 1996) har vist høye konsentrasjoner av flere typer miljøgifter i sedimenter fra en stasjon i Strømvik. Konsentrasjonen av polysykliske aromatiske hydrokarboner (Σ PAH) tilsvarte "meget sterkt forurenset" og sammensetningen var dominert av forbrenningsrelaterte forbindelser. I tillegg var sedimentene "sterkt forurenset" med polyklorerte bifenyler (Σ PCB) og "markert forurenset" med tungmetallene kvikksølv (Hg), bly (Pb) og kopper (Cu). Undersøkelsen viste dessuten at vannkvaliteten i Hillevågsvatnet (1 m dyp) var "nokså dårlig" med hensyn til total fosfor. Prøver av vannet nær bunnen (7-8 m dyp) innsamlet i perioden juni-november 1995 viste meget høye konsentrasjoner av næringsalter (ammonium og fosfat), oksygenmangel og tiltagende innhold av hydrogensulfid (H_2S).

Målsettingen med denne undersøkelsen var å gi en vurdering av vannkvaliteten i Hillevågsvatnet og en kartlegging av forekomster av utvalgte tungmetaller og organiske miljøgifter i sedimentene fra Hillevågsvatnet og sydover til og med båthavna ved det nedlagte Essomlegget i Kvaleberg.

2. Materiale og metoder

2.1. Områdebeskrivelse

Hillevågsvatnet er en liten poll beliggende i byområdet i Stavanger. Pollen brukes idag som havn for fritidsbåter og er omgitt av boligbebyggelse langs østsiden og NSB's sporområde og godsterminal langs vestsiden. Pollen er forbundet med Strømvik og Gandsfjorden gjennom et smalt sund med terskeldyp dyp ca 3 m. Innenfor terskelen er største dyp ca 8m. Vestsiden av Strømvik er preget av småindustri og gamle kaianlegg og mottar avrenning fra land via en rekke gamle avløpsledninger som idag fungerer som overløpsledninger.

2.2. Lokale forurensingskilder

Alle prøvene ble samlet inn nær strandsonen med flere potensielle forurensingskilder. Kjente punktutslipp og mer diffuse lokale kilder er listet nedenfor på grunnlag av kart og opplysninger gitt av oppdragsgiver bl.a. under befaring i området:

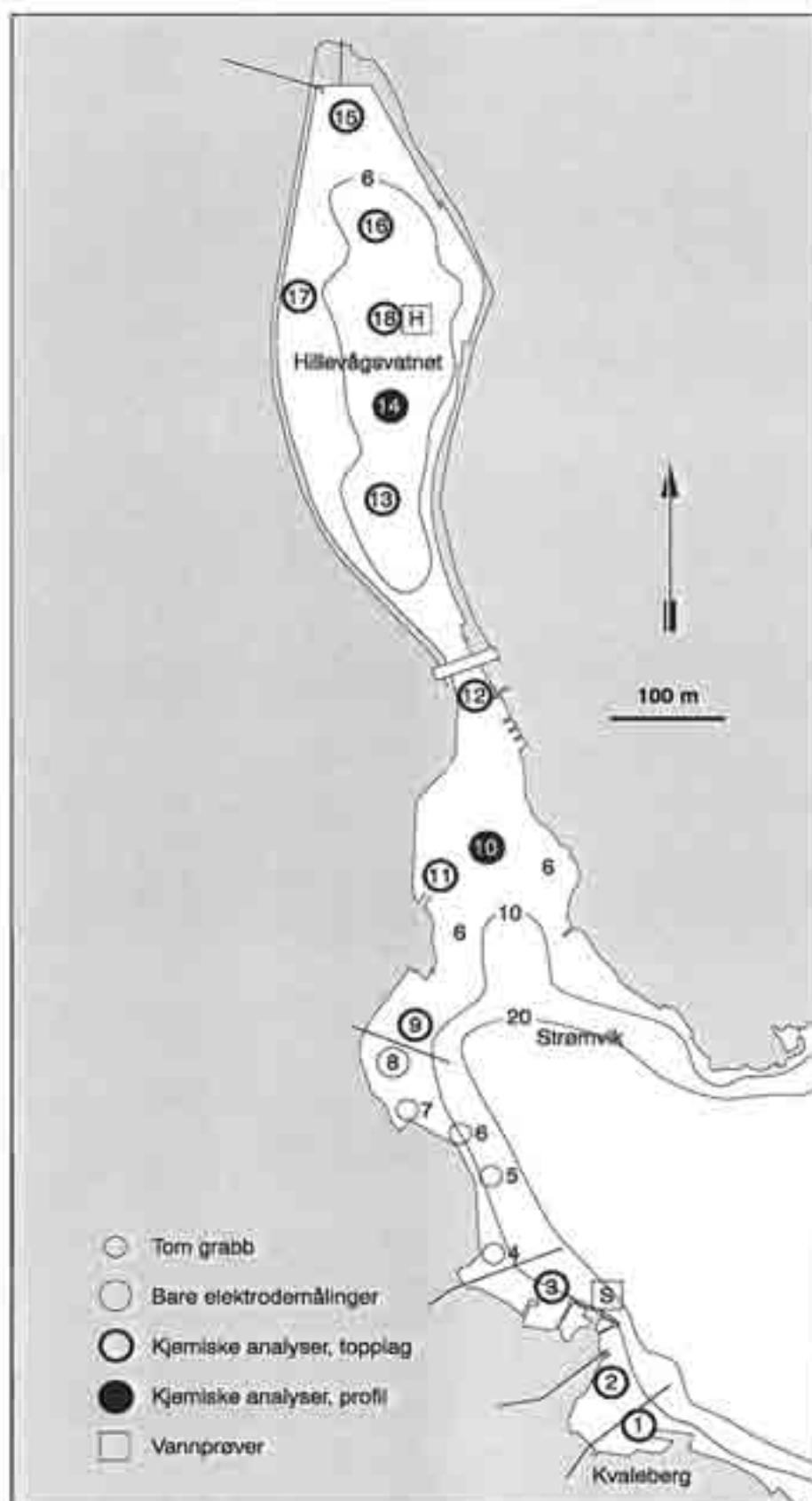
1. Overløpsutslipp innerst i Hillevågsvatnet. Stasjon nr 15 er nærmeste stasjon.
2. NSB's godsterminal og sporområde på vestsiden av Hillevågsvatnet. Stasjon 17 er nærmest.
3. Småbåthavna i Hillevågsvatnet. Utsikkere fra østsiden dekker det meste av pollens dypområde, sellingsled langs vestsiden. Stasjonene 13, 14, 16 og 18 ligger i dyprenna under utsikkene.
4. Veitrafikk/støv fra brua over innløpet til Hillevågsvatnet og marina på østsiden av sundet. Stasjon 12 er nærmeste stasjon.
5. Landbase/kai for tidligere bygging av betongplattformer i Gandsfjorden. Stasjon 11 er nærmeste stasjon.
6. Overløpsutslipp i bukta nord for kullkai. Stasjon 9 (og 8) er nærmeste stasjon.
7. Tidligere havneanlegg for import av koks og kull. Det lyktes ikke å få opp prøver langs kai (stasjon 4-7). Stasjon 3 på sydsiden og stasjon 9 på nordsiden er derfor nærmeste stasjoner.
8. Overløpsledning like syd for kullkai. Stasjon 3 er nærmeste stasjon.
9. Tidligere tankanlegg med tilhørende kaiområde. Forurenset grunn på landsiden. Mellom stasjon 2 og 3.
10. Overløpstunnel gjennom område for tidligere tankanlegg. Munner ut nær stasjon 2.
11. Båthavn og opplagringsplass for småbåter, overløpsutslipp i bukta syd for tankanlegget. Stasjon 1 er nærmeste stasjon.

I tillegg er det opplyst at området tidligere har vært påvirket av store urensede utslipp fra boliger, lett industri og sykehus.

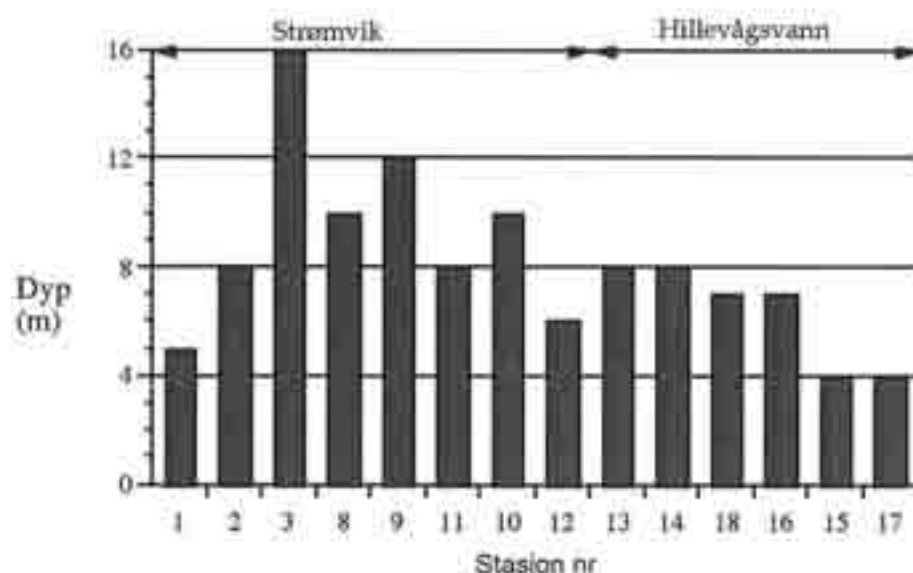
2.3. Prøvetaking

2.3.1. Sedimenter

Sedimentprøver for kartlegging av miljøgifter ble innsamlet 03.06.99 fra stasjoner i Strømvik og Hillevågsvatnet (Figur 1). Sedimentprøvene ble fortrinnsvis innsamlet med en *KC Kajak* kjerneprøvetaker. Instrumentet tar prøver i et polykarbonatrør (OD=60mm) som lukkes før prøven



Figur 1. Kart over Strømvik og Hillevågsvatnet. Sedimenter ble innsamlet eller forsøkt innsamlet på stasjonene 1-18. Vannprøver ble innsamlet på stasjon H og S.



Figur 2. Vannedyp på stasjoner for innsamling av sediment. Stasjonene 1, 2, 3, 8, 9 og 11 er orientert fra syd mot nord langs vestsiden av Strømvik. Stasjonene 10, 12, 13, 14, 18, 16 og 15 fortsetter videre nordover i det dypeste partiet langs recipientens midtakse. Terskelen på ca 3 m ligger mellom stasjon 12 og 13. Stasjon 15 ligger innerst i Hillevågsvannet, mens stasjon 17 ligger i søllingsleden langs vestsiden av vannet.

løftes ut av sjøbunnen. På dekk overføres kjernen til en fast oppsats for måling av redokspotensial og sulfid med elektroder (ref. metoder). Ved å føre inn et stempel fra undersiden kan prøven deretter skyves ut gjennom toppen av røret og snittes i passende seksjoner (2-5cm) som pakkes i tett plastkopp og fraktes til laboratoriet for videre opparbeiding og analyse.

Kjerneprovetaakeren tar gode prøver på finkornet bløt bunn (silt, leire), men fungerer dårligere på mer grovkornete substrater (sand, stein). I de tilfeller der kjerneprovetaakeren ikke fungerte, ble det benyttet en 0,1 m² van Veen grabb. Elektrodemålingene ble i disse tilfellene utført via inspeksjonsluke på toppen av instrumentet. Deretter ble grabben åpnet og en prøve av topplaget (ca 2cm) overført til plastkopp.

Totalt ble det tatt 54 prøver fra 18 stasjoner (Tabell A1, vedlegg A). Grabbeskudd ble tatt på sju lokaliteter, men fire av disse inneholdt bare vann med rester av vegetasjon og sedimentpartikler. Resultatet av innsamlingen ble således 50 analyserbare prøver fra 14 stasjoner, hvorav 11 stasjoner (47 prøver) ble tatt med kjerneprovetaaker, 3 med grabb.

2.3.2. Vannprøver

Vannprøver for vurdering av vannkvaliteten ble innsamlet seks ganger i løpet av perioden 03.06-19.09 på en stasjon i Hillevågsvannet (H1) og en stasjon i Strømvik (S1). På stasjon H1 ble det i tillegg registrert vertikale profiler av temperatur og oksygen med sonde.

Vannprøvene ble innsamlet med *Rutner* vannhenter i 1, 3, 5 og 7 m dyp på stasjon H1 i Hillevågsvannet og på 1 m dyp på stasjon S1 ved Essoanlogget i Strømvik. Prøver for analyse av

oksygen og næringsalter ble konserverert umiddelbart etter prøvetaking før frakt til NIVA lab for analyse.

2.4. Elektrodemålinger

Redoks potensialet (E_h) ble bestemt i felt på en Radiometer P101 platina elektrode mot Ag|AgCl referanse elektrode. Elektrodekretsen ble kontrollert i en ZoBell Fe(II)-Fe(III) redoks-buffer løsning. E_h ble beregnet ved å legge til referanse-elektrodens halv-celle potensial ved 10°C til potensialet målt i prøvene. Reproduserbarheten er tidligere bestemt ved gjentatte målinger på 1 cm dyp på forskjellige lokaliteter i likt behandlede eksperimentelle sedimenter. Standardavviket på 33 mV kan trolig representere reproduserbarhet for *in situ* bestemmelse av E_h .

Potensialet på en sølv-sølvulfid (Ag|AgS) elektrode ble bestemt mot samme referanse elektrode. Elektrodepotensialet ($E_{\text{S}^{2-}}$) er proporsjonalt med aktiviteten av S^{2-} -ioner ($E_{\text{S}^{2-}} = E_0 + 0,0295 \text{ p}(S^{2-})$) (Bernier, 1963, Boulegue, 1978). Ved å kombinere denne ligningen med dissosiasjonslikevektene for H_2S kan følgende uttrykk for konsentrasjonen av H_2S i marine sedimenter utledes:

$$\text{pS} = -\log\Sigma[H_2S] = -(13,9 - \text{pH} - (E_{\text{S}^{2-}} + E_0^*)/0,0295 + \log(10^{(7-\text{pH})} + 2,22))$$

(Schaanning, 1991). Ved beregningene ble brukt $E_0^* = 0,652\text{V}$ basert på kalibreringer og $\text{pH} = 7,2$. pH i marine miljø er godt bufret og varierer sjelden utover 7,0-8,2. I sulfidholdige sedimenter ligger pH vanligvis innenfor området 7,0-7,5.

Det er mange feilkilder i direkte potensiometriske målinger. Ved potensialer tilsvarende $\text{pS} < 9$ var elektroderesponsen akseptabel. Det vil si kort responstid (<1 min) og reproduserbarhet bedre enn $\pm 5\%$ (av pS) ved gjentatte målinger i samme prøve. Likevel antas diverse feilkilder å kunne gi avvik fra sann konsentrasjon av H_2S på inntil 10% av observert pS . Etersom feil i antatt pH på 0,20 ikke tilsvare mer enn 0,2 pS -enheter, vil manglende observasjoner av pH ikke ha medført noen vesentlig økning av metodens usikkerhet. Deteksjonsgrensen for konvensjonelle sjøvannsmetoder (spektrofotometriske og titrimetriske) såvel som den menneskelige luktesans, tilsvare pS i området 6-7. pS verdier større enn 9 er svært usikre.

2.5. Opparbeiding og kjemiske analyser

2.5.1. Sedimenter

Sedimentprøvene ble innfrosset til -20°C mindre enn 10 timer etter innsamling. Få dager seinere ble prøvene frysetørket, knust og delprøver tatt ut til diverse analyser ved NIVAs kjemiske laboratorium. Med unntak av metoden for analyse av tinnorganiske forbindelser, er alle metodene skissert nedenfor akkreditert i henhold til internasjonal standard NS-EN 45000.

Total organisk karbon (TOC) og nitrogen (Tot. N) ble bestemt i elementanalysator etter forbrenning ved 1800°C . Uorganisk karbon (vesentlig karbonater) var på forhånd fjernet ved syrebehandling.

Metallene ble ekstrahert i salpetersyre ved 120°C . Kvikksølv ble bestemt ved kalddamp atomabsorpsjonsspektrometri. Øvrige metaller ble bestemt ved atomabsorpsjon i flamme (litium) eller grafitovn (bly, kadmium, kopper).

PAH (polysykliske aromatiske hydrokarboner) og PCB (polyklorerte bifenyler) ble ekstrahert med organiske løsemidler etter tilsetning av indre standard for kvantifisering av de ulike komponentene. Ekstraktene ble deretter underkastet ulike renseprosedyrer for å redusere interferens ved deteksjon i

gasskromatograf (GC/ECD, GC/FID, GC/MSD). De klor-organiske forbindelsene ble identifisert med ECD (*Electron Capture Detector*) utifra de respektive retensjonstidene på to kolonner med ulik polaritet. PAH ble identifisert med FID (*Flame Ionisation Detector*) utifra retensjonstider og med MSD (*Mass Selective Detector*) utifra retensjonstider og forbindelsenes molekylioner.

2.5.2. Vannprøver

Oksygeninnholdet i vannprøvene ble bestemt med standard Winkler-titrering. Prøvene ble forsiktig tappet på glassflasker og tilsatt Winkler-reagenser i felt. Flaskene ble lukket med slipt glasspropp, forseglet i ytterbeholder, og sendt ekspress til NIVA-lab i Oslo for titrering 1-2 dager seinere.

Vannprøvene for analyser av næringsaltene ble tappet på spesialvaskete 0,5 l plastfasker, konservert i felt og oversendt NIVA-lab for analyser etter standard spektrofotometriske metoder tilrettelagt for sjøvann på autoanalysator.

3. Resultater

3.1. Sedimenter

Alle analyseresultatene er gitt i vedlegg A, tabell A1-A4.

3.1.1. Organisk materiale

Innholdet av organisk materiale var meget høyt på alle stasjoner i Hillevågsvatnet. Innholdet var høyest (8-12 mgN/g) i topplaget, og avtok med dybden til et klart minimum (3,5 mg N/g) i 15-20 cm dyp. Forholdene i Strømvik varierte fra lite (<2,4 mgN/g) på stasjon 11 og 12 til høyt (7 mgN/g) innhold på stasjon 9.

Innholdet av nitrogen og organisk karbon (TOC) i sedimentenes topplag (0-2cm) på alle stasjoner i Strømvik og Hillevågsvatnet er vist i Figur 4 og Tabell 1.

Tabell 1. Organisk materiale og miljøgifter i sedimentenes topplag (0-2 cm). Overkonsentrasjoner er gitt i forhold til øvre grense for tilstandsklasse 1 (høyt bakgrunnsnivå). Tilstandsklasse er vist med romertall I-V og fargekoder med blått, grønt, gult, rødt og lilla for økende forurensingsgrad. Merk klassifisering av organisk innhold på grunnlag av nitrogen.

Stasjon nr.	Strømvik						Hillevågsvatnet						
	1	2	3	9	11	10	12	13	14	18	16	15	17
N (mg/g)	5,5	4,1	3,5	7,0	2,4	3,6	1,0	8,5	12,0	10,5	12,4	8,8	9,9
Org. C (mg/g)	69	55	40	102	30	44	14	94	113	109	117	102	100
C:N utratio	14,6	15,7	13,3	17,0	14,8	14,1	16,7	12,9	11,0	12,1	11,0	13,5	11,8
N tilstand	III	II	II	IV	I	II	I	V	V	V	V	V	V
Cu (µg/g)	269	156	55	217	73	111	48	439	361	372	435	308	262
Cu overkons.	8	4	2	6	2	3	1	13	10	11	12	9	7
Cu tilstand	III	III	II	III	II	II	II	III	III	III	III	III	III
Cd (µg/g)	2,88	1,54	0,48	2,49	0,57	0,49	0,26	2,77	2,16	3,23	2,36	4,06	2,88
Cd overkons.	12	6	2	10	2	2	1	11	9	13	9	16	12
Cd tilstand	III	III	II	III	II	II	II	III	III	III	III	III	III
Pb (µg/g)	364	159	96	304	80	93	176	255	194	213	194	239	258
Pb overkons.	12	5	3	10	3	3	6	9	6	7	6	8	9
Pb tilstand	III	III	II	III	II	II	III	III	III	III	III	III	III
Hg (µg/g)	5,02	4,09	0,80	5,59	0,59	1,26	0,47	1,37	1,50	1,66	1,64	3,54	3,34
Hg overkons.	33	29	5	37	4	8	3	9	10	11	11	24	22
Hg tilstand	V	IV	III	V	II	III	II	III	III	III	III	IV	IV
PAH (µg/g)	30,6	15,2	7,2	8,2	9,8	10,4	2,3	12,3	12,0	9,4	11,7	11,5	17,1
PAH overkons.	102	51	24	27	33	35	8	41	40	31	39	38	57
PAH tilstand	V	IV	IV	IV	IV	IV	III	IV	IV	IV	IV	IV	IV

Organisk karbon varierte fra 13,3 mgC/g tørt sediment på stasjon 12 til 117 mgC/g på stasjon 16. De fleste stasjonene i Strømvik inneholdt mellom 30 og 69 mgC/g, mens stasjonene i Hillevågsvatnet inneholdt 94-117 mgC/g. I Strømvik var høyeste innhold av organisk karbon 102 mgC/g på stasjon 9.

Regresjonsanalysen vist i Figur 4 (regresjonslinje, kurvelligning og korrelasjonskoeffisient) viste god korrelasjon mellom TOC og N ($r^2 = 0.929$). Størst avvik ble observert på stasjon 9 som hadde et C:N forhold på 17,0 (Tabell 1). Høye C:N forhold er karakteristisk for sedimenter påvirket av organisk materiale av terrestrisk opprinnelse.

Sammenlignes det observerte nitrogeninnholdet med grenseverdier for klassifisering av marine sedimenter (Rygg og Thelin, 1993) var tilstanden meget dårlig (tilstandsklasse V) på alle stasjonene i Hillevågsvatnet. I Strømvik varierte innholdet av nitrogen fra tilstandsklasse I (meget god) på stasjon 11 og 12 til klasse IV (dårlig) på stasjon 9.

3.1.2. Redoksforhold og H₂S

I denne rapporten brukes redokspotensialet (E_h) som empirisk parameter for beskrivelse av tilstanden i sedimentet (Davis et al., 1998). I marine sedimenter varierer E_h ofte fra høye positive verdier (ca. +400mV) i sedimenter med liten tilførsel av organisk materiale og god tilgang på oksygen fra vannmassen, til ca. -200mV i sedimenter med stor tilførsel av organisk materiale og/eller mindre god tilgang på oksygen fra vannmassen. pS er et direkte mål for konsentrasjonen av hydrogensulfid (H₂S) som produseres ved anaerob nedbrytning av organisk materiale. H₂S er en giftig gass som kan påvirke bioturbasjon og omsetning av miljøgifter i sedimentenes topplag.

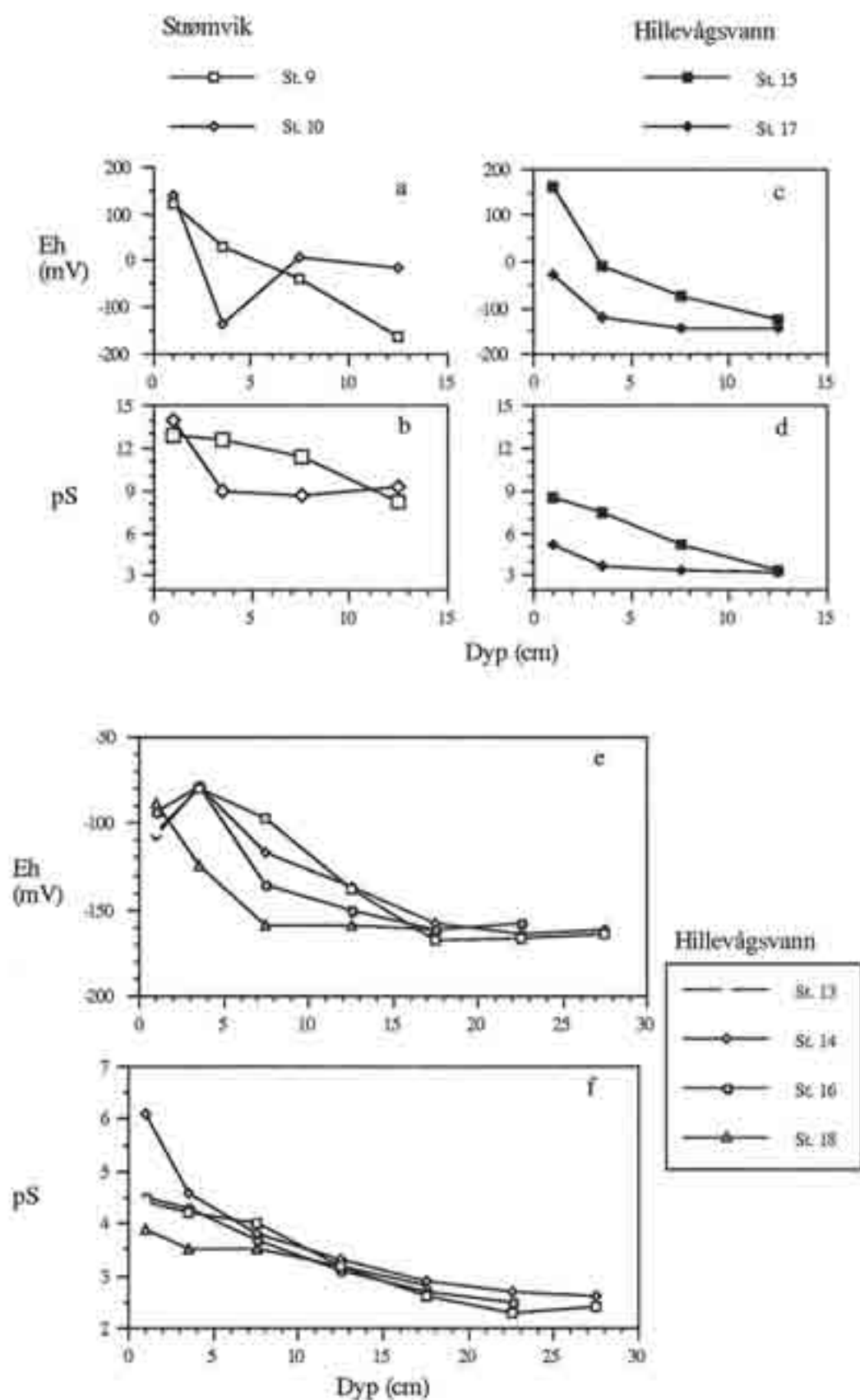
Elektrodemålingene viste lave redokspotensialer og lav pS (høy konsentrasjon av H₂S) på alle stasjoner i Hillevågsvatnet. På de fire dypeste stasjonene langs vannets midtakse var verdiene lave i topplaget ($E_h = -100$ mV, pS = 4-6) og sank ytterligere ned til 15 cm dyp ($E_h = -160$ mV og pS = 2,5). Fra 15 cm til 30 cm dyp var det små variasjoner. I Strømvik var E_h og pS gjennomgående betydelig høyere enn i Hillevågsvatnet (E_h ofte større enn 0 mV, pS ofte større enn 12). H₂S ble bare påvist på stasjon 2 og 8 samt under topplaget i kjerneprøvene fra stasjon 9 og 10.

Figur 4 viser plott av E_h og pS målt ca 1 cm under sediment-vann grenseflaten mot TOC analysert i prøvene fra 0-2cm dyp. En høy verdi av E_h (st. 3, $E_h = 496$ mV) ligger utenfor plottet i Figur 4. Målingen kan være en feilmåling eller skyldes et uvanlig innhold av redoksaktive forbindelser. På de øvrige stasjonene varierte E_h fra -107 mV på stasjon 14 til +198 mV på stasjon 12. pS varierte fra 3,9 på stasjon 18 til 18,6 på stasjon 1. Utslag tilsvarende pS > 9 viser at sedimentene inneholdt lite H₂S (ref. kap. 2.4). Med unntak av stasjon 2 (og 8, se under), var pS > 9 på alle stasjoner i Strømvik, <9 på alle stasjoner i Hillevågsvatnet.

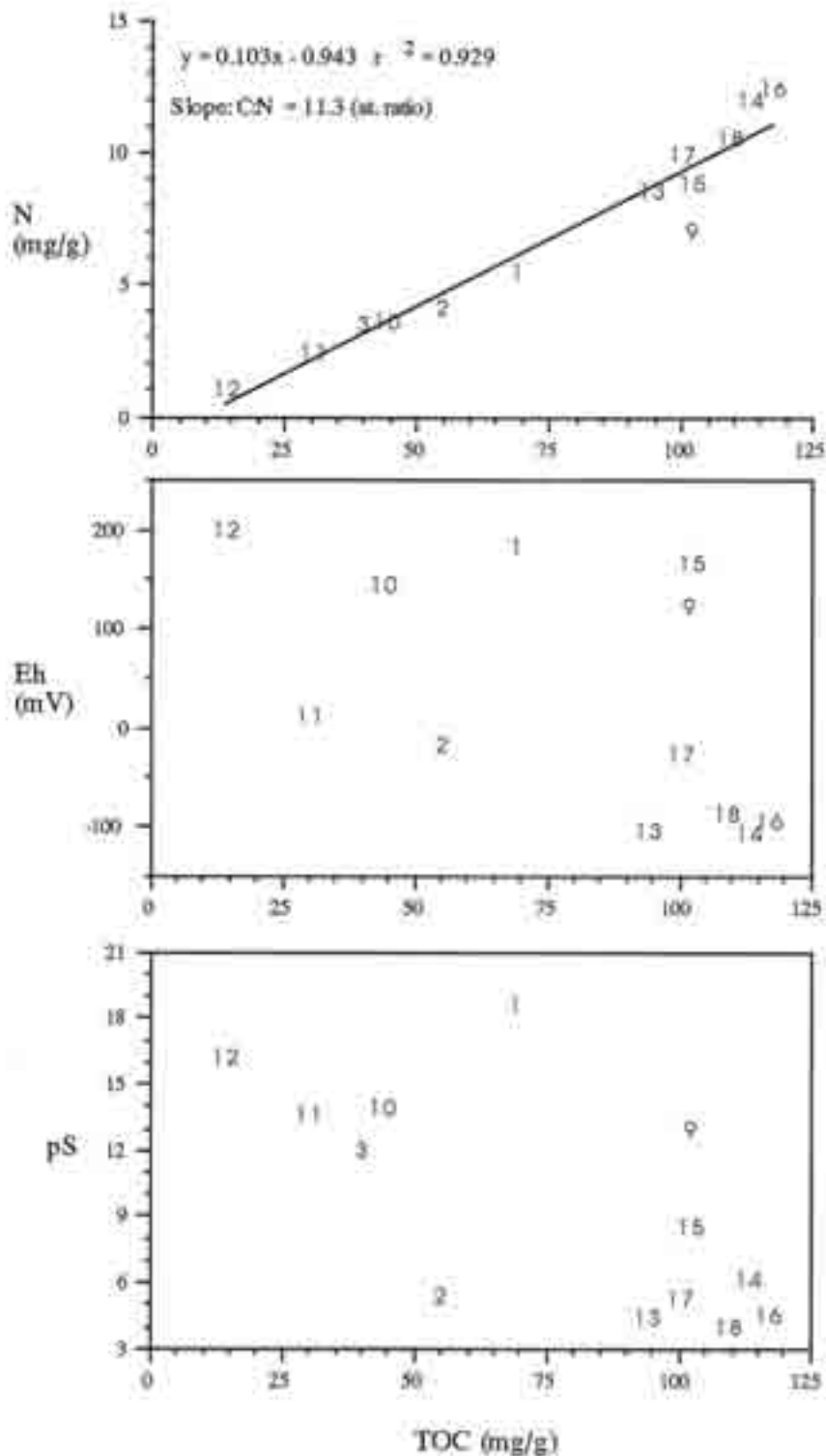
I Strømvik ga sulfidelektroden tydelig utslag på stasjon 2 (pS = 5,4) og på stasjon 8 (pS = 7,5). TOC ble ikke analysert på stasjon 8, men stasjonen lå like ved stasjon 9 som hadde høyt innhold av organisk materiale. Redokspotensialet var også lavere på stasjon 2 ($E_h = -17$ mV) og stasjon 8 ($E_h = -39$ mV) enn på de øvrige stasjonene i Strømvik.

E_h og pS viste generelt avtagende tendens med økende dyp i sedimentet. De to profilene fra Strømvik (Figur 3a og b) viste noe varierende E_h , mens pS ikke avtok til under 8,0. I Hillevågsvatnet var E_h og

¹ Korrelasjonskoeffisienten varierer fra 0 ved ingen sammenheng mellom de to parametrene til 1,0 for en ideell sammenheng der alle punktene ligger på en rett linje.



Figur 3. Vertikalprofiler av E_h og pS på stasjoner i Strømvik (a og b) og Hillevågsvannet (c, d, e og f).



Figur 4. Plot av nitrogen (øverst), redokspotensial (E_h , midten) og sulfid (pS, nederst) mot organisk karbon i sedimentenes topplag (0-2 cm) i Strømvik og Hillevågsvatnet. Stasjonsnummeret er brukt som plotsymbol. I diagrammet øverst er C:N forholdet beregnet på grunnlag av lineær regresjonsanalyse av de viste observasjonene.

pS nær sedimentoverflaten (1 cm dyp) lavere på de fire dype stasjonene (Figur 3e og f) enn tilsvarende på de to grunnere stasjonene (Figur 3c, d). Under 10 cm dyp var det små variasjoner. Eh var svært lav (< -100mV) på samtlige stasjoner og innholdet av H.S. var betydelig (pS < 4).

3.1.3. Metaller og PAH

Konsentrasjon av miljøgifter i marine sedimenter påvirkes ikke bare av nærhet til og styrke av forurensningskilder, men også av lokale sedimentasjonsforhold og områdets mineralogi. Normalisering mot litium (Li) eller organisk karbon (TOC) brukes derfor ofte for å tydeliggjøre og forklare observerte variasjoner.

Konsentrasjonene av Cd, Pb og Cu var generelt høye på alle stasjonene i Hillevågsvatnet og på stasjon 1 og 9 i Strømvik. Konsentrasjonene av Hg og PAH var meget høye på stasjon 1 i Strømvik og i dypere sedimentlag i Hillevågsvatnet. Hg viste også høye konsentrasjoner på stasjon 2 og 9 i Strømvik og høyere på de to grunneste stasjonene i Hillevågsvatnet sammenlignet med de fire dypeste.

Kjerneproven fra Hillevågsvatnet viste at konsentrasjonene av samtlige miljøgifter var lavere i 0-2 enn i 2-5 cm dyp. Konsentrasjonene av kobber og bly viste kjernemaksima i 2-5cm dyp, mens konsentrasjonene av Cd, Hg og PAH økte med økende dyp i sedimentet ned til et meget sterkt forurenset lag under 20 cm dyp. Konsentrasjonene av både organisk materiale, PAH og metaller unntatt Li økte i området rundt 20 cm dyp.

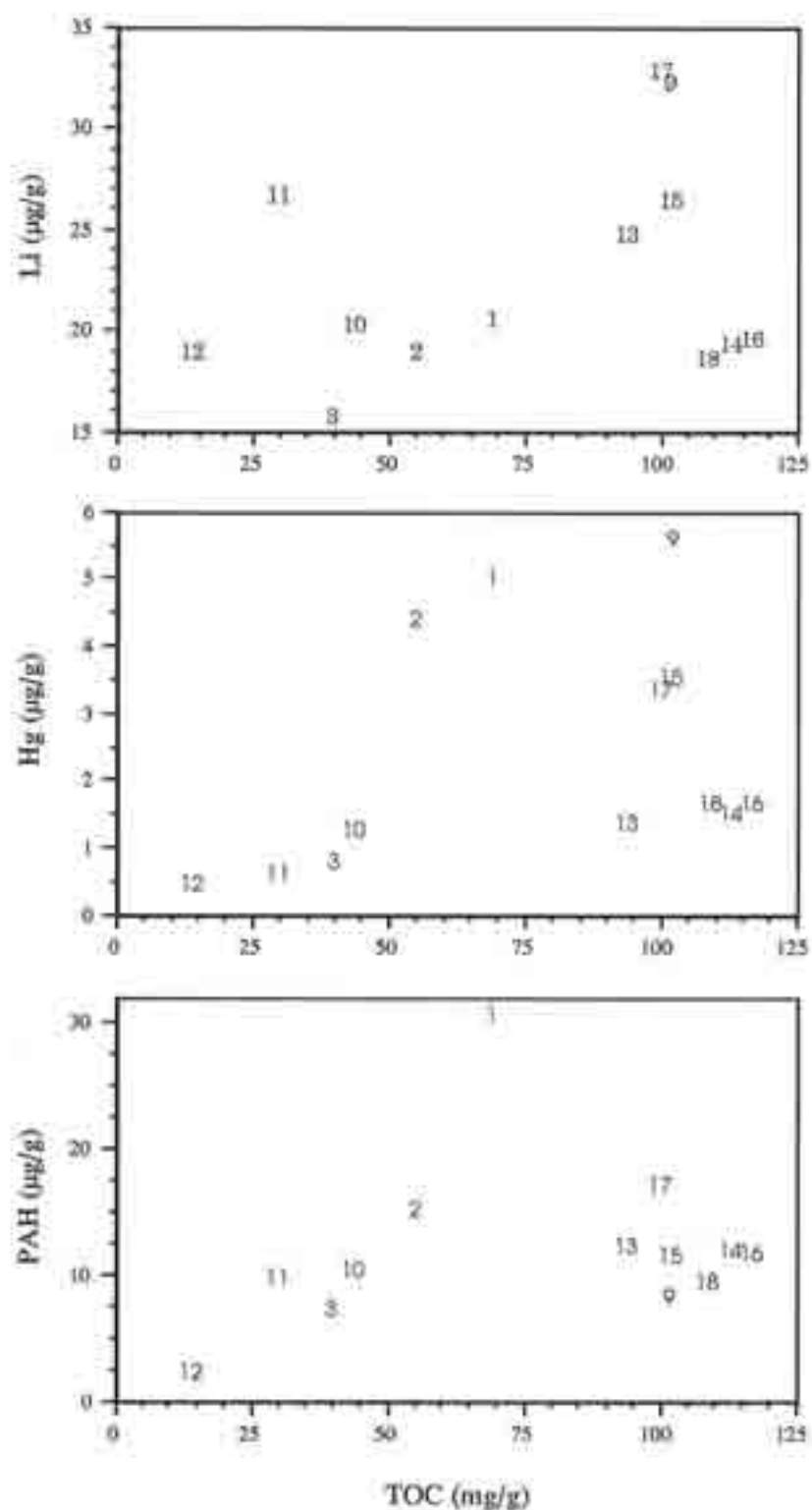
Kjerneproven fra Strømvik viste små variasjoner med dypet. Li viste avtagende tendens mot toppen av sedimentene mens kvikksølv viste økende tendens. Kobber og organisk materiale var høyere i topplaget 0-5cm enn i laget under (5-10cm).

Innholdet av metaller og PAH i sedimentenes topplag (0-2 cm) på alle stasjoner i Strømvik og Hillevågsvatnet er gitt i Tabell 1. Tabellen viser også forurensingstilstand og overkonsentrasjoner i forhold til nasjonale grenseverdier for høyt bakgrunnsnivå (Molvær et al., 1997). Konsentrasjoner i topplaget er plottet mot organisk karbon i Figur 5 og Figur 6 og vertikalfordelingene på stasjon 10 i Strømvik og stasjon 14 i Hillevågsvatnet er vist i Figur 7.

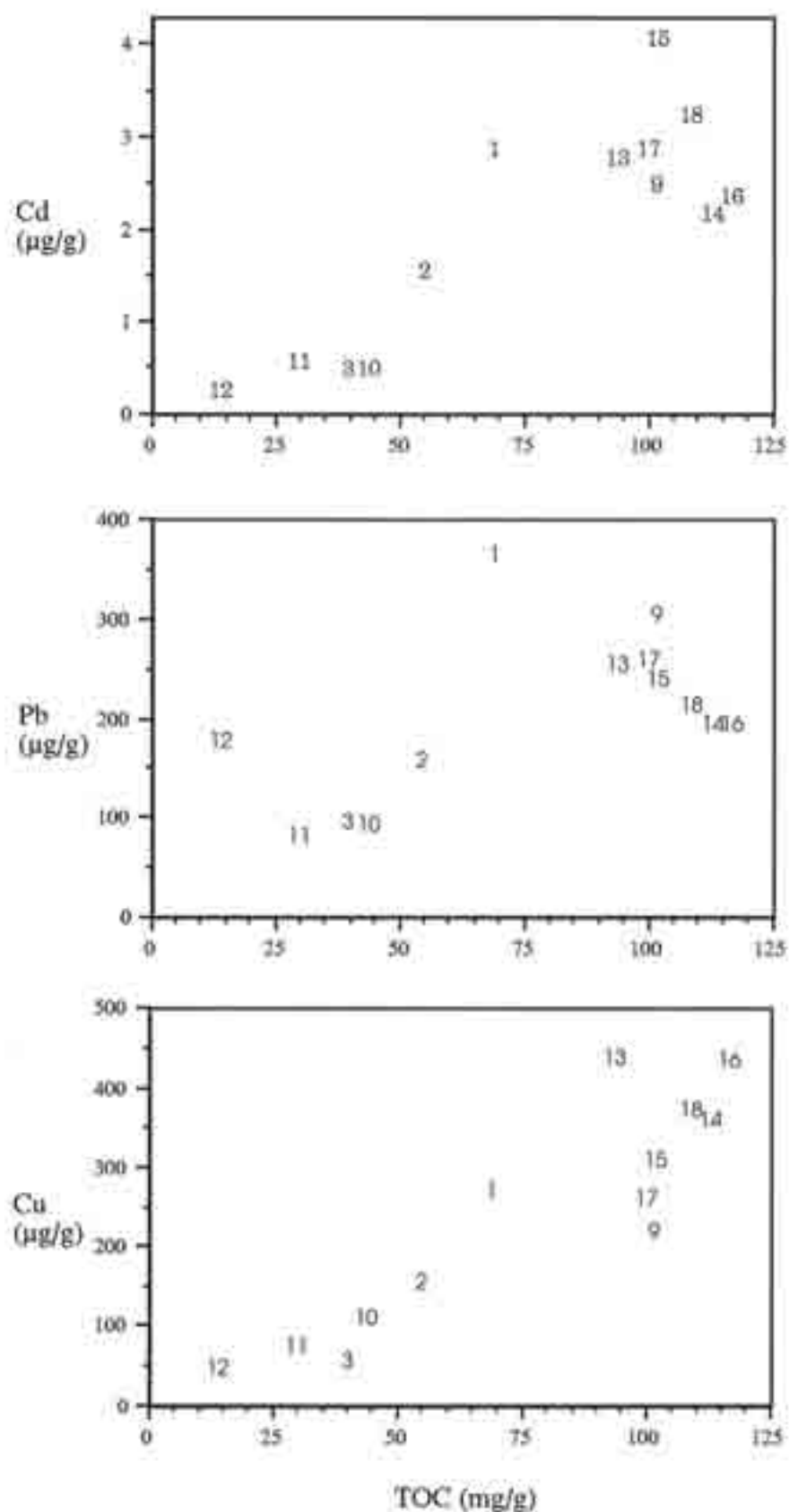
Korrelasjonskoeffisienter beregnet ved lineær regresjonsanalyse er vist i Tabell 2. Tabellen viser at kobber, kadmium, bly og PAH var signifikant korrelert med nitrogen mens kvikksølv og PAH var korrelert med litium. Fordelingsmønstrene for Cd og Pb vil derfor ofte ligne på fordelingsmønstret for kobber, mens fordelingsmønstret for PAH vil ha en tendens til å ligne mer på fordelingsmønstret for Hg.

Tabell 2. Korrelasjon mellom miljøgifter og hhv nitrogen og litium i sedimentenes topplag (0-2cm) fra 10 stasjoner (n=10) i Hillevågsvatnet og Strømvik. Skraverte felt viser signifikante korrelasjoner (p<0,05).

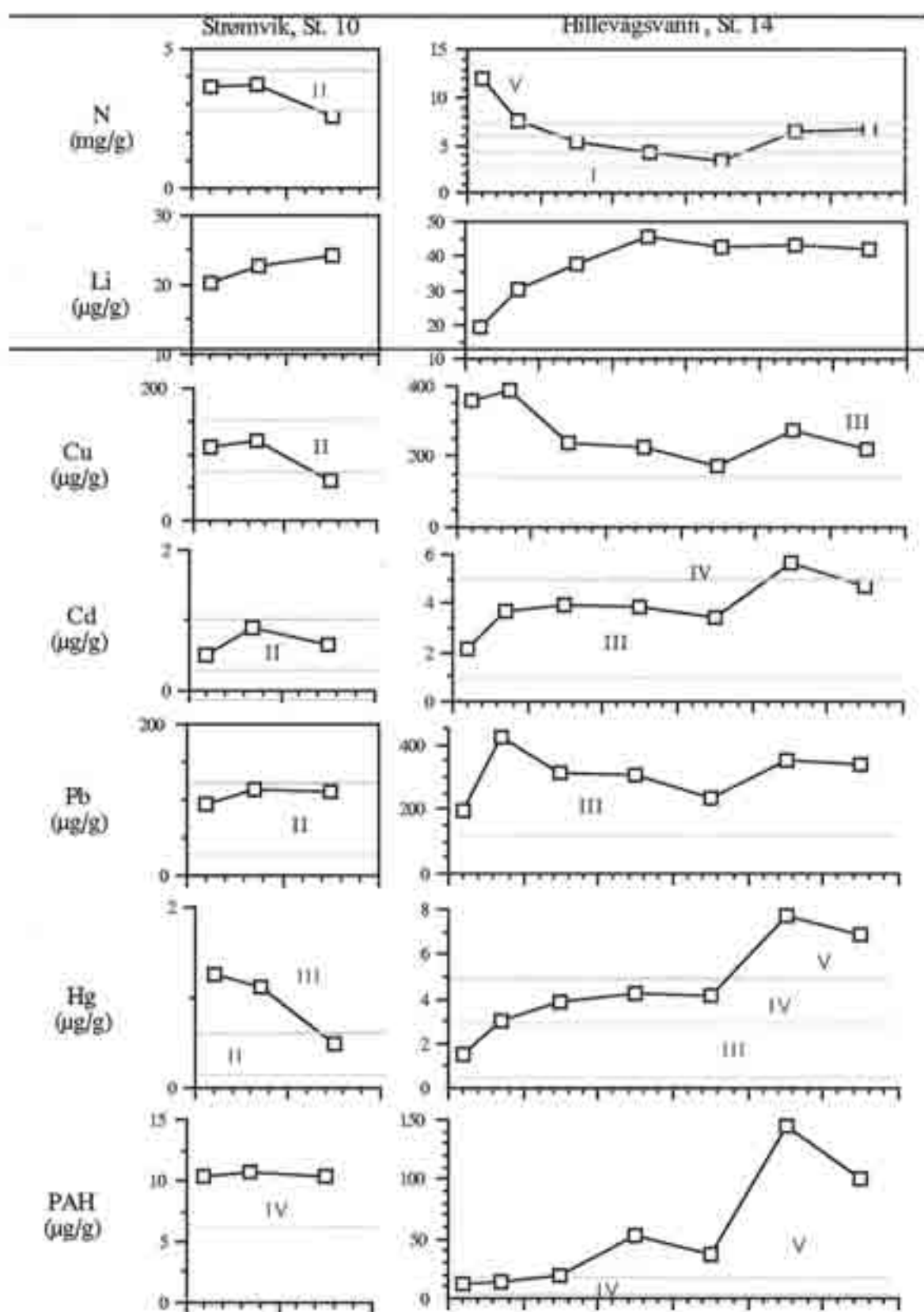
Parameter	Korrelasjon med N	Korrelasjon med Li
	r ²	r ²
Cu	0,847	0,018
Cd	0,654	0,167
Pb	0,478	0,179
PAH	0,460	0,459
Hg	0,346	0,401



Figur 5. Litium (Li, øverst), kvikksølv (Hg, midten) og tjærestoffer (PAH, nederst) plottet mot organisk karbon i 0-2cm skiktet av sedimenter fra Strømvik og Hillevågsvatnet. Stasjonsnummer er brukt som plotsymboler.



Figur 6. Kadmium (Cd, øverst), bly (Pb, midten) og kopper (Cu, nederst) plottet mot organisk karbon i 0-2cm skiktet i sedimenter fra Strømvik og Hillevågsvatnet.



Figur 7. Vertikalfordeling av nitrogen, metaller og PAH i sedimenter fra Strømvik (venstre side) og Hillevågsvannet (høyre side). Grenseverdier for tilstandsklassene i det aktuelle området er plottet i h.h.t. definisjoner gitt i Molvær *et al.*, (1997) (metaller og PAH) og Rygg og Thelin (1993) (nitrogen).

Litium (Li)

På stasjonene i Strømvik varierte Li fra 15,7 µg/gTS på stasjon 3 til 32,2 µg/g TS på stasjon 9. Kjernen fra stasjon 10 viste svakt økende konsentrasjoner av Li med dypet.

I Hillevågsvatnet varierte konsentrasjonene fra 18,6 til 19,5 µgLi/gTS i topplaget på de tre stasjonene nærmest midten av bassenget til 32,8 µgLi/gTS på stasjon 17 på østsiden av bassenget. Kjernerprøven viste økende konsentrasjoner med økende dyp til et maksimum på 45,2 µgLi/gTS i 10-15 cm dyp etterfulgt av et minimum i 15-20 cm dyp.

Høyeste konsentrasjon av litium var mindre enn 3x større enn laveste konsentrasjon. Tilsvarende variasjoner i sedimentenes innhold av miljøgifter vil kunne skyldes naturlige variasjoner i mineralogi og sedimentasjonsforhold snarere enn nærhet til punktkilder. Miljøgiftene nedenfor var imidlertid ofte tilstede i konsentrasjoner 5x-10x større enn laveste konsentrasjon. Det synes derfor vanskelig å forklare de høyeste konsentrasjonene som naturlige variasjoner innenfor et område med relativt høy diffus belastning.

Kvikksølv (Hg)

Laveste konsentrasjoner av kvikksølv (0,47 - 1,26 µg/gTS, tilstandsklasse II-III) ble observert i topplaget på stasjonene 3, 10, 11 og 12 i Strømvik. På de tre andre stasjonene i dette området (1, 2 og 9) var konsentrasjonene meget høye (4,39 - 5,59 µg/gTS, tilstandsklasse IV-V).

Kjernerprøven fra stasjon 10 viste en økning fra 0,49 µgHg/gTS i 5-10 cm dyp til 1,26 µgHg/gTS i 0-2 cm. Tendensen var den samme uansett normalisering mot organisk materiale eller litium. Hg:N-forholdet økte således fra 0,19 i 5-10 cm dyp via 0,31 i 2-5 cm til 0,35 i 0-2 cm dyp, og Hg:Li-forholdet økte fra 0,020 i 5-10 cm dyp, via 0,050 i 2-5 cm til 0,062 i 0-2 cm. Kjernerprøven fra Strømvik ga således ingen indikasjoner på at det har skjedd en historisk reduksjon i tilførslene av Hg i dette området.

I Hillevågsvatnet var konsentrasjonen av kvikksølv størst på de to grunne stasjonene nær nordenden og langs østbredden. Konsentrasjonene på 3,34 µgHg/gTS på stasjon 15 og 3,54 µgHg/gTS på stasjon 17 tilsvarte tilstandsklasse IV. På de fire dypeste stasjonene varierte konsentrasjonene i topplaget fra 1,37 til 1,66 µg/gTS. Dette tilsvarte tilstand III.

Kjernerprøven fra stasjon 14 viste at konsentrasjonene økte nedover i sedimentet, spesielt under 20 cm dyp der konsentrasjonene økt fra et svakt minimum i 15-20 cm til 7,68 µgHg/gTS i 20-25 cm dyp og 6,84 µg/gTS i 25-30 cm. Tilstanden forverret seg med dypet fra klasse III i 0-5 cm via klasse IV i 5-20 cm til klasse V under 20 cm dyp.

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

Som vist i Tabell 1 var sedimentenes topplag sterkt forurensset (7,2-17,1 µgPAH/gTS, tilstandsklasse IV) med PAH på alle stasjoner i Hillevågsvatnet og på stasjonene 2, 3, 9, 10 og 11 i Strømvik. Høyeste konsentrasjon (30,6 µgPAH/gTS, tilstandsklasse V), ble observert på stasjon 1 i Strømvik, mens laveste konsentrasjon ble observert på stasjon 12 (2,3 µgPAH/gTS, tilstandsklasse III). Stasjon 9 som var en av de mest forurensede med hensyn til Hg og Pb, viste forholdsvis moderate mengder PAH (Figur 5 og Figur 6). Kjernerprøven fra Strømvik (stasjon 10) viste små variasjoner med dypet, mens kjernerprøven fra stasjon 14 viste økende konsentrasjoner med dypet, spesielt under 20 cm dyp der sedimentene var meget sterkt forurensset med hensyn til både Hg og PAH. Analysene viste at en PAH-

fraksjon dominert av komponenter med lavere molekylvekter (NPD-fraksjonen) utgjorde 8-15% av Σ PAH i Strømvik og bare 3-10% i prøvene fra Hillevågsvatn. Dette bekreftet konklusjonen i Bokn *et al.* (1995), om dominans av forbrenningsrelaterte PAH.

Kadmium (Cd)

Som for Hg ble de laveste konsentrasjonene av Cd (0,26–0,57 $\mu\text{gCd/gTS}$, tilstandsklasse II) observert på stasjonene 3, 10, 11 og 12 i Strømvik. På de tre andre stasjonene varierte Cd fra 1,54 $\mu\text{g/gTS}$ på stasjon 2 til hhv 2,49 og 2,88 $\mu\text{gCd/gTS}$ (tilstandsklasse III) på stasjon 9 og 1. Kjerneprøven fra stasjon 10 viste lavere konsentrasjon av Cd i topplaget 0-2 cm (0,49 $\mu\text{gCd/gTS}$) enn på 2-5 cm dyp (0,90 $\mu\text{gCd/gTS}$). Normalisering mot organisk materiale (Cd:N-forholdet) viste avtagende tendens fra 0,25 i 5-10 cm dyp via 0,24 i 2-5 cm dyp til 0,14 i topplaget 0-2 cm. Normalisering mot litium (Cd:Li-forholdet) viste også et lavere forhold (0,024) i 0-2 cm dyp enn i 2-5 og 5-10 cm dyp (hhv 0,040 og 0,027).

Til forskjell fra Hg var konsentrasjonene av Cd i topplaget 0-2cm generelt høyere i Hillevågsvatnet enn i Strømvik. Høyeste konsentrasjon (4,06 $\mu\text{gCd/gTS}$, tilstandsklasse III) ble funnet på stasjon 15 lengst nord i bassenget. Kjerneprøven fra stasjon 14 viste en vertikalprofil nesten identisk med Hg-profilen (Figur 7) med et litt tydeligere minimum i 15-20 cm dyp før økning til 5,66 $\mu\text{gCd/gTS}$ i 20-25 cm dyp. Dette var høyeste observerte konsentrasjon av Cd og den eneste tilsvarende tilstandsklasse IV.

Bly (Pb)

De laveste konsentrasjonene av bly (80-96 $\mu\text{gPb/gTS}$, tilstandsklasse II) ble observert på stasjonene 3, 10 og 11 i Strømvik. Som for Hg og Cd ble det observert høyere konsentrasjoner av Pb på stasjonene 2, 1 og 9. Høyeste konsentrasjon på 364 $\mu\text{gPb/gTS}$ (tilstandsklasse III) ble observert på stasjon 1. Ulikt alle de andre miljøgiftparametrene var konsentrasjonen av bly relativt høy på stasjon 12. Det observerte innholdet av 176 $\mu\text{g/gTS}$ tilsvarte tilstandsklasse III og syntes indikere nærhet til en bly-spesifikk kilde. Kjerneprøven fra stasjon 10, ikke langt unna, viste små variasjoner med dypet. Pb:Li-forholdet viste heller ikke noen entydig forandring med dypet, men normalisering mot organisk materiale (Pb:N) var tendensen avtagende fra 42 i 5-10 cm dyp via 31 i 2-5 cm dyp til 26 i topplaget 0-2 cm.

I Hillevågsvatnet ble det bare observert mindre variasjoner i topplaget fra fra 194 $\mu\text{gPb/gTS}$ på stasjon 14 og 16 til 258 $\mu\text{g/gTS}$ på stasjon 17. Konsentrasjonene tilsvarte tilstandsklasse III for alle sedimentprøver fra Hillevågsvatnet inkludert hele kjerneprøven fra stasjon 14. På samme måte som for både Cd, Hg og Li ble det observert et minimum i 15-20 cm dyp, men forskjellig fra Hg og Cd var høyeste konsentrasjonen av bly i 2-5 cm dyp like under topplaget.

Kopper (Cu)

De laveste konsentrasjonene av Cu ble observert i Strømvik og konsentrasjonene var lavere på stasjon 3, 10, 11 og 12 (48-111 $\mu\text{gCu/gTS}$, tilstandsklasse II) enn på stasjon 2, 1 og 9 (156-269 $\mu\text{g/gTS}$, tilstandsklasse III). Kjerneprøven fra stasjon 10 viste klart høyere kopperinnhold i topplaget 0-5 cm (111-121 $\mu\text{gCu/gTS}$) enn i 5-10cm laget (60 $\mu\text{g/gTS}$). Dette gjaldt uansett normalisering mot Li og N.

I Hillevågsvatnet varierte konsentrasjonen av Cu fra 262 og 308 $\mu\text{g/gTS}$ på hhv stasjon 17 og 15 til 361 - 439 $\mu\text{g/gTS}$ på stasjon 13, 14, 16 og 18. Som for bly tilsvarte konsentrasjonene i alle sedimentprøver fra Hillevågsvatnet, dypere lag inkludert, tilstandsklasse III. I dypere lag viste Cu, på

samme måte som de øvrige metallene, et minimum i 15-20 cm dyp etterfulgt av et maksimum i 20-25 cm dyp. Høyeste konsentrasjoner i kjerneprøven ble observert i topplaget (361 og 390 $\mu\text{gCu/gTS}$ i hhv 0-2 og 2-5 cm dyp). Normalisering mot Li viste økende tendens for Cu mot toppen av kjerneprøven fra Hillevågsvatnet, men normalisering mot N viste nedgang. Cu:N- og Cu:Li-forholdene i topplaget er vanskelig å tolke fordi nitrogeninnholdet var svært høyt og litiuminnholdet svært lavt sammenlignet med resten av kjernen.

3.1.4. PCB

I Strømvik var konsentrasjonen av PCB (ΣPCB_7) på 93 ng/g noe lavere enn 113 ng/g målt i 1995 (Bokn *et al.*, 1996). Stasjonenes beliggenhet er ikke identiske og forskjellen vurderes som liten i forhold til de tilfeldige variasjoner som kan forventes innenfor prøvetakingsområdet. Det bør derfor ikke tillegges for stor vekt at tilstanden faktisk har bedret seg fra "sterkt" til "markert" forurensset. Sannsynligvis er det riktigere å si at området ligger i grenselandet mellom de to tilstandsklassene.

I Hillevågsvatnet (St. 14) var konsentrasjonen av ΣPCB_7 194 ng/g tilsvarende "sterkt forurensset".

3.1.5. DDT

Konsentrasjonene av DDT (ΣDDT) på 14 ng/g i Strømvik og 73 ng/g i Hillevågsvatnet tilsvarte h.h.v. "sterkt" og "meget sterkt" forurensset.

3.1.6. Tinnorganiske forbindelser

Konsentrasjonene av TBT på 540 ngTBT-Sn/g i Strømvik og 1400 ngSn/g i Hillevågsvatnet var høye sammenlignet med grenseverdien på 100 ngTBT/g (tilsvarende ca 40 ngTBT-Sn/g) for "meget sterkt forurensset" oppgitt i Molvær *et al.*, 1997. Denne grenseverdien er imidlertid basert på analyser etter en eldre metode og kan være urimelig lavt satt (Knutzen, pers.med.). De observerte konsentrasjonene er sammenlignbare med observasjoner fra belastede havneområder (ofte 1000-3000 ngTBT-Sn/g, Harstad havn, Håkonsvern) og høyere enn observasjoner fra Hvaler og Færder i Ytre Oslofjord (ofte 100-500 ngTBT-Sn/g) (Berge *et al.*, 1997).

3.1.7. Klorcyclohexaner

Klorcyclohexaner (bl.a. Lindan) var knapt tilstede i detekterbare mengder.

3.1.8. Klorbenzener

Hexaklorbenzen var tilstede i konsentrasjoner tilsvarende "moderat forurensset" i Hillevågsvatnet, "lite forurensset" i Strømvik.

3.2. Vannkvalitet

3.2.1. Resultater og diskusjon

Temperatur og oksygen

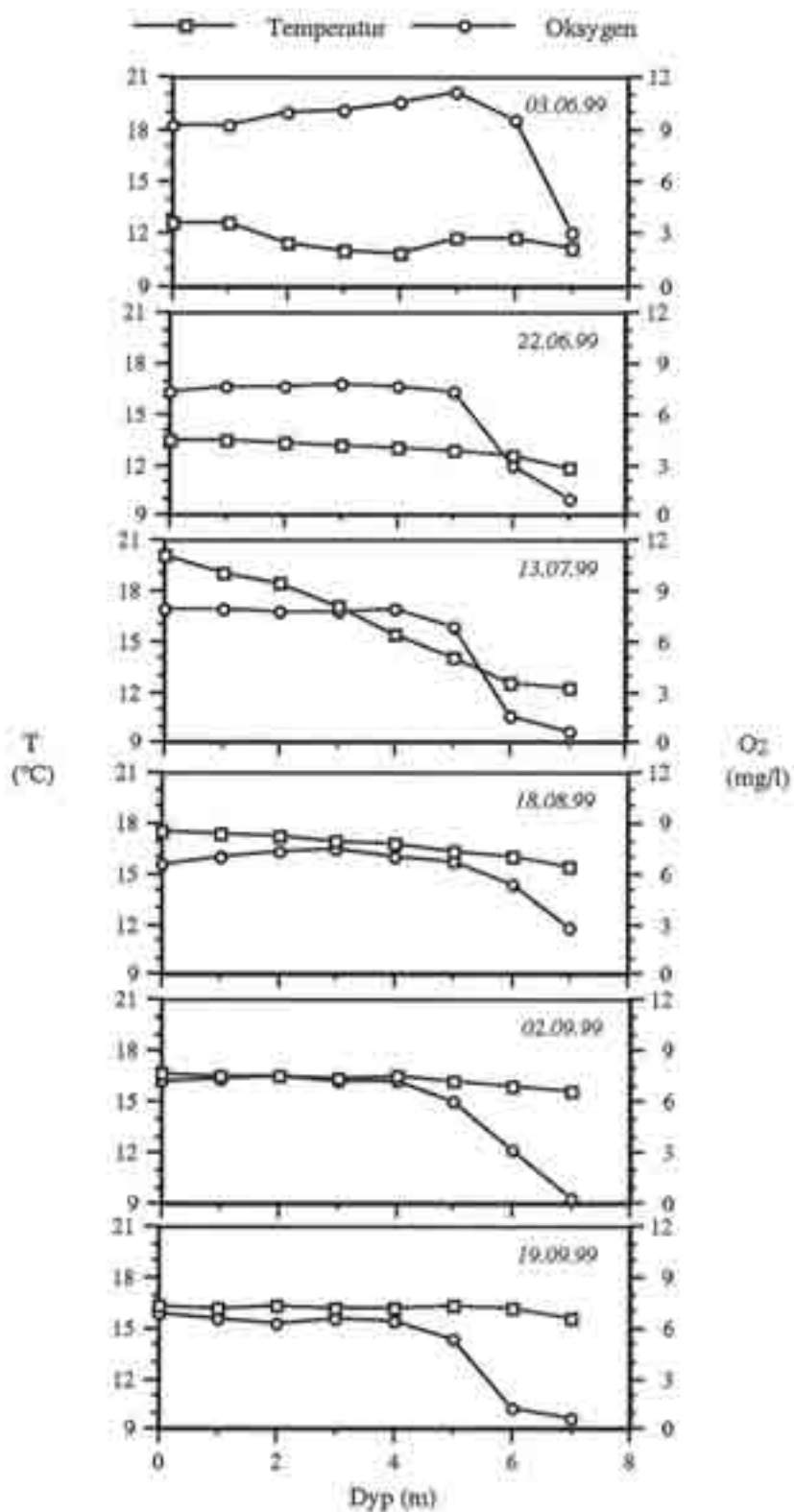
Temperaturene målt med sonden (Figur 8 og Figur 9) viser en betydelig oppvarming av overflatelaget fra 12,7 °C den 03.06. til maksimumstemperatur 20,1 °C den 13.07. Ved bunnen steg temperaturen fra 11,1 °C den 03.06. til maksimum 16,6 °C den 02.09. Den 13.07. ble det observert en temperaturforskjell på 7,8 °C fra overflaten til bunnen. På øvrige tokt varierte denne forskjellen mellom 0,8 og 2,2 °C.

Oksygeninnholdet (Figur 8 og Figur 9) varierte lite i de øvre 4-5 m av vannsøylen, men avtok sterkt nær bunnen. Prøvene fra 7 m dyp var ofte anoksiske med betydelig innhold av H₂S. Winkler titreringer og sonde viste stort sett god overensstemmelse på 3 m dyp (Tabell 3), men sonden kan ikke registrere H₂S og er dårlig ved lave konsentrasjoner av O₂. I Figur 9 er derfor målingene med sonden fra 7 m dyp erstattet med Winkler-titreringene vist i Tabell 3.

Både sonden og Winklertitreringene viste en midlertidig bedring av oksygenforholdene nær bunnen den 18.08. Samtidig ble det observert en vertikal temperaturutjevning med avtagende temperatur i 0-3 m laget og stigende temperatur i 4-7 m laget (Figur 8). Den midlertidige bedringen kan derfor like gjerne skyldes vertikal blanding internt i Hillevågsvanet som utskifting av bunnvannet ved innstrømming av tyngrer vann over terskelen.

Tabell 3. Sammenligning av måling med sonde og tradisjonell kjemisk metode (Winkler titrering). Konsentrasjoner i ml/l. H₂S vist som negativ O₂.

	3 m dyp			7 m dyp		
	Sonde	Winkler	delta-O ₂	Sonde	Winkler	delta-O ₂
03.jun	7,08	7,05	0,03	2,10	2,07	0,03
22.jun	5,47	5,83	-0,36	0,70	-2,99	3,69
13.jul	5,47	6,50	-1,03	0,42	-5,00	5,42
18.aug	5,26	5,55	-0,29	1,89	2,47	-0,58
02.sep	5,05	5,18	-0,13	0,28	-1,36	1,64
19.sep	4,56	4,68	-0,12	0,49	0,28	0,21
mean	5,48	5,80	-0,32	0,98	-0,76	1,74
stdev	0,85	0,87	0,38	0,80	2,93	2,37



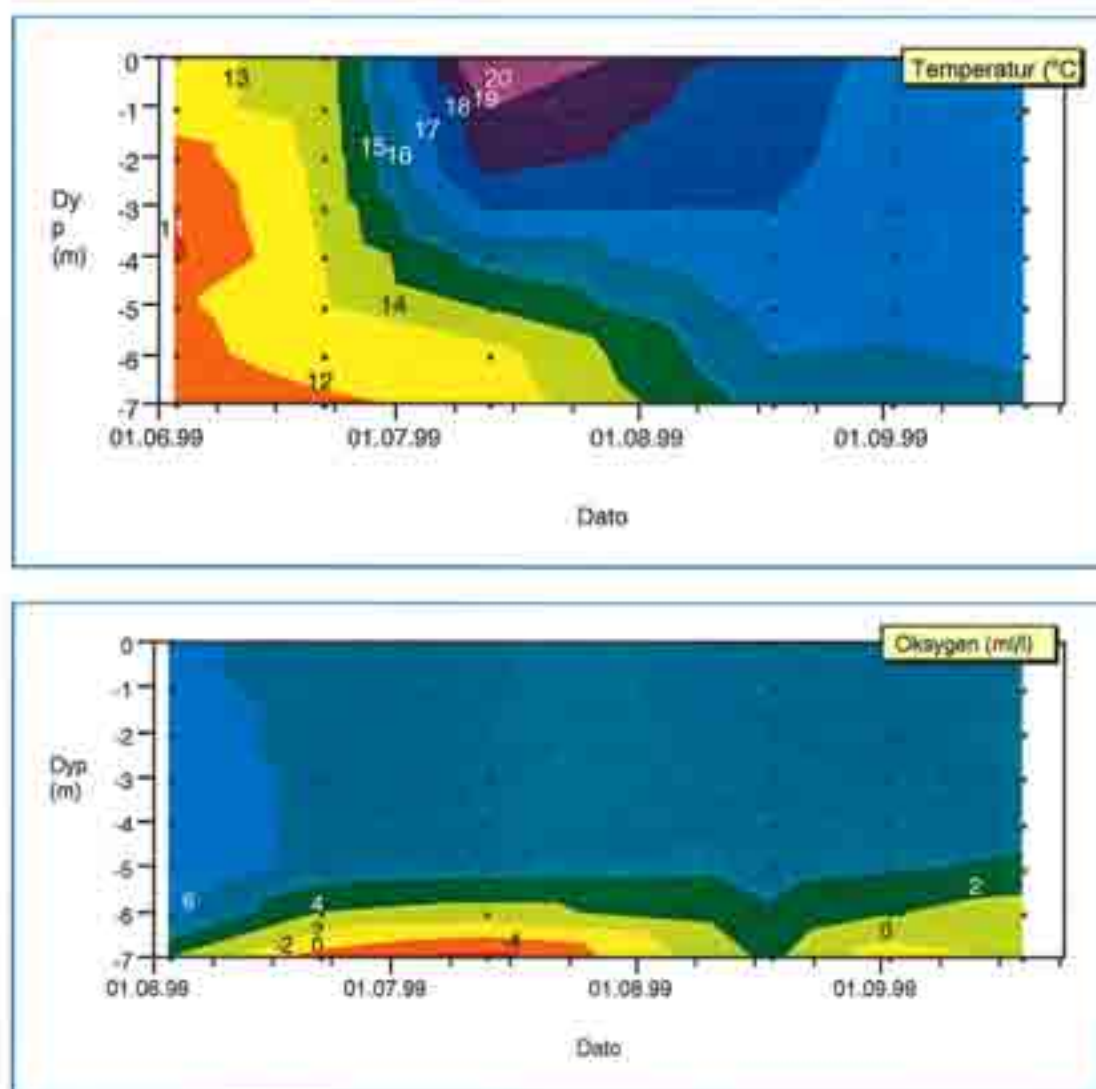
Figur 8. Vertikalprofiler av temperatur og oksygen målt med sonde på stasjon H1 i Hillevågsvatnet.

Ammonium og fosfat

Innholdet av næringssaltene ammonium og fosfat (figur 10) viste små variasjoner ned til 5 m og en kraftig økning fra 5 til 7 m dyp. Tilsvarende den midlertidige bedringen i oksygenforholdene viste næringssaltene i bunnvannet et markert minimum den 18.08. Vannmassene høyere opp viste ingen tegn på vertikal transport av næringssaltene i denne perioden. Økningen i 1-5 m dyp mot slutten av observasjonsperioden kombinert med avtagende konsentrasjon på 7 m, kan skyldes oppadrettet transport ved vertikal blanding, muligens kombinert med mineraliseringsprosesser (nedbrytning) og langsommere fiksering i planktonalger mot slutten av vekstsæsonen.

Partikulært N og P

Partikulært innhold av fosfor (PP = Tot.-P - PO_4) og nitrogen (PN = Tot.N-NH₄-NO₃) var også betydelig høyere ved bunnen enn i overflatelaget. PP økte 5-10x fra ca 10 ug/l i overflatelaget til 50-100 ug/l i bunnvannet, mens nitrogenet bare økte 2-4x fra ca 250 ug/l i overflatelaget til 500-1000 ug/l nær bunnen.

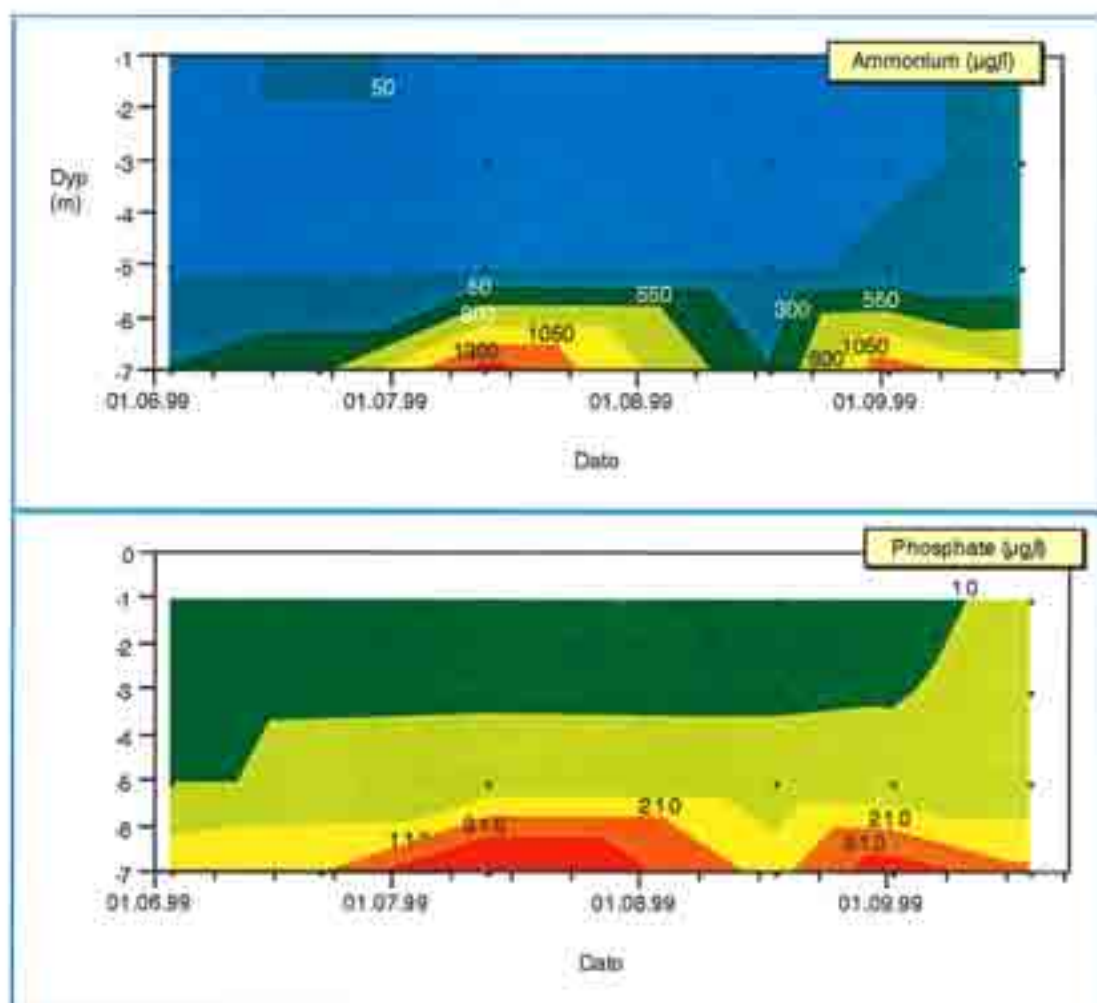


Figur 9. Temperatur og oksygen i Hillevågvatn sommeren 1999. Negative oksygen betyr H₂S. Oksygen (H₂S) på 7 m dyp er målt med Winkler-titrering, øvrige data er målt med sonde.

N:P forhold

I overflatelaget var N:P forhold (mol-basis) ca. 16 for oppløste næringssalter ($\text{NH}_4+\text{NO}_3/\text{PO}_4$), mens PN:PP var ca. 40-60. Det relativt lave innholdet av fosfor i partiklene indikerte fosfatbegrenset algevekst mesteparten av sesongen. Ved bunnen var forholdet PN:PP ca. 16 mens $\text{NH}_4:\text{PO}_4$ var ca. 5. Dette skyldes trolig at nitrogenoverskuddet i algene frigjøres raskere enn fosfat pga raske deamineringsprosesser. En skulle derfor forvente høye $\text{NH}_4:\text{PO}_4$ -forhold i bunnvannet. Økningen av fosfat og ammonium i bunnvannet i de to stagnerte periodene 03.06.-13.07. og 18.08.-02.09. gir et N:P flux-forhold på 8-9 som også viser at enten er fosfat-tilførselen mye høyere eller ammoniumtilførselen mye langsommere enn det forholdstallet i algene skulle tilsi. Disse forholdene skyldes mest sannsynlig en kombinasjon av to prosesser:

1. fjerning av ammonium ved kombinert nitrifikasjon-denitrifikasjon i grenseskiktet mellom oksisk og anoksisk vann, og
2. frigjøring av fosfat adsorbent til jern(III)oksyder når vannmassen blir anoksisk.



Figur 10. Ammonium og fosfat i Hillevågsvatnet sommeren 1999.

Tilstandsvurdering

Observasjonene gir grunnlag for vurdering av tilstand etter nasjonale kriterier gitt i Molvær et al., 1997. En tilsvarende vurdering er tidligere gjort for en observasjonsserie for Hillevågsvatnet sommeren 1995 (Bokn et al., 1996). For å kunne gi en tilfredstillende vurdering av hvorvidt tilstanden er blitt bedre eller dårligere må det tas hensyn til variasjonen i de to observasjonsseriene. Resultatene av en slik variansanalyse (One way ANOVA) er gitt i tabell 4.

Tabellen viser tilstand II ("god") i overflatelaget for samtlige parametere i 1999. Alle parametrene unntatt TP viste noe høyere middelkonsentrasjon for sommeren 1999, men det var ingen signifikant forskjell på noen av parametrene mellom 1995 og 1999. I Strømvik var konsentrasjonene av nitrat og total fosfor signifikant lavere enn i Hillevågsvatnet og tilstandsvurderingen ga klasse I "meget god" for fire av de fem kriteriene gitt i tabellen.

I dypvannet (tabell 5) var det i gjennomsnitt negativ konsentrasjon av O₂ både i 1995 og 1999. Konsentrasjonene av N- og P-forbindelser var lavere i 1999 enn i 1995, men variansanalysen (enveis ANOVA) viste at sjansene for at forskjellene var tilfeldig varierte mellom 15 og 40%. Det forhold at alle parametrene varierte i samme retning skyldes trolig kovarians som følge av at alle parametrene i hovedsak kontrolleres av biologisk omsetning av organisk materiale og blandingsprosesser i vannmassene. Det forhold at fem ulike parametere varierer i samme retning vil derfor i liten grad redusere sjansene for at variasjonen er tilfeldig.

Tabell 4. Tilstandsvurdering av vannkvaliteten i overflatelaget (1 m) Hillevågsvatnet 1995 og 1999 og Strømvik 1999. Kolonnene lengst til høyre viser signifikansnivået (p) for Eventuell forandring hhv. fra 1995 til 1999 og mellom de to stasjonene i Hillevågsvatnet og Strømvik i 1999. Forskjellen anses signifikant når p<0,05.

	Hillevåg 1m;95		Hillevåg 1m;99		Strømvik 1m;99		Sign. forskjell (p)	
	kons.	tilst.	kons.	tilst.	kons.	tilst.	H95-H99	H99-S99
NO ₃	10.4	I	19.7	II	9.5	I	0.1382	0.0321
NH ₄	13.7	I	38	II	17	I	0.0933	0.1701
TN	267	II	293	II	267	II	0.5192	0.4458
PO ₄	3.4	I	5.5	II	3.0	I	0.3517	0.2889
TP	20.0	III	15,8	II	10.3	I	0.3395	0.0256

Tabell 5. Sammenligning av vannkvaliteten ved bunnen av Hillevågsvatnet i 1995 og 1999.

	H895		H799		forskjell p
	kons.	tilst.	kons.	tilst.	
O ₂	<0	V	-0.76	V	
NH ₄	1420	-	760	-	0.2981
TN	2364	-	1288	-	0.1580
PO ₄	345	-	281	-	0.4015
TP	436	-	338	-	0.3179

4. Oppsummering og konklusjoner

4.1. Strømvik

Vannprøvene innsamlet på 1 m dyp seks ganger i løpet av sommeren (juni-september) viste at vannkvaliteten i overflatelaget tilfredstilte kravene til tilstandsklasse I "meget god". Elektrodemålingene viste generelt gode forhold i sedimentenes topplag med positive E_h - og høye pS-verdier (lite H_2S) på de fleste stasjoner. Sulfidelektroden viste noe aktivitet på stasjonene 2 og 8 og under topplaget på stasjoner der det ble tatt kjerneprøver.

Langs hele kullkaia lyktes det ikke å få opp sedimentprøver. Dette viser at området er dominert av hard bunn (fjell, stein, grus) eller grovkornet sediment med lite akkumulasjon av finfraksjoner. Selv om finfraksjoner kan finnes i beskyttede groper eller mellom steiner, er det lite sannsynlig at dette området inneholder betydelige mengder kontaminerte sedimenter.

På de øvrige stasjonene varierte innholdet av organisk materiale fra tilstandsklasse I til IV (klassifisert på grunnlag av total nitrogen), mens innholdet av metaller (Cu, Cd, Pb, Hg) og PAH varierte fra tilstandsklasse II til V.

Konsentrasjonene av kopper, kadmium og bly var i avtagende rekkefølge korrelert med organisk materiale og de høyeste konsentrasjonene (klasse III) ble observert ved stasjon 1 lengst syd i området og ved stasjon 9 i nærheten av overløpsutslippet nord for kullkaia. Laveste innhold av organisk materiale og alle miljøgifter unntatt bly ble observert på stasjon 12 ved veibroen og marinaen nærmest innløpet til Hillevågsvatnet. Bly viste et markert signal tilsvarende tilstandsklasse III. Blyholdig bensin er den mest sannsynlige kilden i dette området.

Innholdet av PAH og kvikksølv var meget høyt (tilstandsklasse V) på stasjon 1. Konsentrasjonene var høye også på stasjon 2 tvers over bukta. Prøver av massene på landsiden, mindre enn 100 m fra stasjon 1, viste stedvis høye konsentrasjoner av PCB, bly, kvikksølv og PAH, sannsynligvis knyttet til stolpeimpregnering og vedlikehold/repasjoner av småbåter på tomta (Otternes og Riste, 1999).

Den høyeste konsentrasjonen av kvikksølv ble imidlertid observert i sedimentprøven fra stasjon 9. Til forskjell fra stasjonene 1 og 2 var innholdet av organisk materiale og litium også relativt høyt på denne stasjonen, mens konsentrasjonen av PAH ikke skilte seg ut fra det generelle nivået i Strømvik. Noe forhøyet C:N-forhold kan skyldes påvirkning fra terrestrisk materiale. Kjerneprøven viste bløte sedimenter ned til 15 cm dyp og lignende materiale i grabben fra stasjon 8 indikerte at akkumulasjonsområdet har en viss horisontal utstrekning. Lokale sedimentasjonsforhold kunne kanskje forklare forhøyete konsentrasjoner av kopper, kadmium og bly, men konsentrasjonen av kvikksølv var en klar indikasjon på en lokal punktkilde. Den nærliggende rørledningen tilfører overløpsvann fra området med sykehus og tidligere småindustri (ullvare, hermetikk, metall).

De mest forurensete stasjonene i Strømvik synes således å representere to relativt små og adskilte områder, det ene i bukta ved Kvaleberg (stasjon 1 og 2) og det andre i bukta nord for kullkaia (stasjon 8 og 9). Begge områdene var meget sterkt forurenset med kvikksølv, men den nordlige kilden adskiller seg fra kilden ved Kvaleberg ved lite PAH og et noe forhøyet C:N-forhold. Begge områdene har tilsynelatende gode forhold for bunnlevende organismer og risiko for spredning av miljøgifter til marine næringskjeder må anses å være betydelig.

4.2. Hillevågsvatnet

Vannkvaliteten i Hillevågsvatnet tilsvarte klasse II ("god") på en meter dyp, klasse V ("meget dårlig") på 7 m dyp. Vannprøvene viste ingen endring av vannkvaliteten sommeren 1999 sammenlignet med tilsvarende undersøkelse sommeren 1995.

N:P forholdene både i løst og partikulær fase syntes å indikere at fosfor var mest begrensende i forhold til primærproduksjon i overflatelaget.

I perioden 22.06.-13.07. førte sommeroppvarming til etablering av en temperaturgradient fra 12°C ved bunnen til 21°C ved overflaten. Samtidig ble det observert en kraftig økning i konsentrasjonen av H₂S og næringsalter under 5 m dyp. Temperaturutjevning og gjenoppretting av oksygenholdig bunnvann i perioden fra 13.07. til 18.08. viste at sporadisk vertikalblanding kan omfatte hele vannsøylen. Slike hendelser kan gi episodisk gjødning av overflatelaget ved resirkulering av næringsalter fra de stagnerte vannmassene nær bunnen.

Sedimentene i det dypeste partiet av pollen (8m dyp) var dekket av et 12-15 cm tykt svart slam med meget høyt innhold av organisk materiale (klasse V). Under 12-15 cm var sedimentene lagdelte med alternerende grå og svarte skikt. Lagdelingen ble ikke funnet i kjernene innsamlet fra 4-7 m dyp. Dersom det antas en sedimenttilvekst på 2-3 mm/år, som anses vanlig for et slikt område, kan skillet mellom lagdelte og ikke lagdelte sedimenter indikere en vesentlig endring av redoksforholdene i dypvannet under 7 m dyp mellom 1925 og 1950. Det kan være naturlige årsaker til et slikt skille, men tatt i betraktning pollens lille areal og sentrale beliggenhet bør eventuelle forklaringer primært søkes knyttet opp mot kjente sivillatoriske inngrep (mudringsarbeider, utgravninger i terskelområdet, byggevirksomhet i strandsonen, o.l.).

Redokspotensialer og pS var lave og avtagende med dypet i alle kjerner. Laveste pS tilsvarte konsentrasjoner av H₂S i størrelsesorden 1 mM. Typisk E_h i disse sedimentene var -160 mV.

Konsentrasjonene av miljøgifter i sedimentenes topplag varierte lite mellom stasjonene innenfor terskelen i Hillevågsvatnet. De to grunneste stasjonene (stasjon 15 lengst nord og stasjon 17 på vestsiden av pollen) som også var de eneste utenfor vertikalprojeksjonen av småbåthavna, viste lavere innhold av kopper enn de øvrige stasjonene. Forevrig var begge stasjonene mer forurenset med kvikksølv enn de øvrige stasjonene og pollens høyeste konsentrasjon av PAH og bly ble observert på stasjon 17, mens høyeste konsentrasjon av kadmium ble observert på stasjon 15. Innholdet av kopper, kadmium og bly tilsvarte klasse III (markert forurenset) på alle stasjonene, mens innholdet av kvikksølv økte til klasse IV på stasjon 15 og 17. PAH tilsvarte klasse IV på alle stasjoner.

Konsentrasjonene av PAH og kvikksølv økte til meget høye maksimumsverdier (klasse V) 20-25 cm under sediment-vann grenseflaten.

Fjerning av kontaminerte masser fra Hillevågsvatnet vil innebære risiko for spredning av miljøgifter som idag ligger relativt godt beskyttet i anoksiske sedimenter med liten eksponering mot flercellede marine organismer. Dersom bunnen ble hevet med noen få meter ville en samtidig fjerne problemet med anoksiske vannmasser nær bunnen. I utgangspunktet synes det derfor lite hensiktsmessig å fjerne forurensete sedimenter fra Hillevågsvatnet. I stedet anbefales det å vurdere overdekking med duk og/eller rene masser (Skei, 1998). I forbindelse med en eventuell større renovasjon av området vil Hillevågsvatnet også kunne representere et egnet deponeringsområde for forurensete masser fra Strømvik eller fra land. Det er per idag begrenset erfaring med etablering av undervannsdeponier i Norge, men lignende tiltak for deponering av forurensete masser fra Oslo havn er under utredning.

Før slike løsninger eventuelt iverksettes kan det være nødvendig å utrede deponeringsmassenes fysiske og kjemiske egenskaper såvel som forholdene i deponiområdet. I Hillevågsvatnet bør det spesielt gjøres en vurdering av mulige konflikter mellom et slikt deponi og båt-trafikken i pollen samt en grundigere undersøkelse av vannutskiftingen (tetthetsvariasjoner) i pollen for bedre å kunne vurdere til hvilket dyp sjøbunnen må heves for å gi tilfredstillende oksygenforhold i hele vannsøylen.

5. Litteratur

- Berge, J.A. Berglund, L. Brevik, E.M. Følsvik, N. Green, N. Knutzen, J. Konieczny, R.M. Walday, M., 1997. Levels and environmental effects of TBT in marine organisms and sediments from the Norwegian coast. A summary report. SFT Overvåkingsrapport; 693/97. NIVA rapport LNR 3656.
- Berner, R.A., 1963. Electrode studies of hydrogen sulfide in marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27:563-575.
- Bokn, T., T.M.Johnsen, J.Knutzen, E.Lømsland, F.Moy, K.Nygaard og B.Rygg, 1996. Resipientundersøkelser 1995 i sjøområder rundt Stavangerhalvøya. NIVA rapport LNR 3493-96.
- Boulegue, J., 1978. Electrochemistry of reduced sulfur species in natural waters - I. The H_2S-H_2O system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42:1439-1445.
- Davis, W.R., A.F.J.Draxler, J.F.Paul and J.J.Vitaliano, 1998. Benthic biological processes and Eh as a basis for a benthic index. *Environmental Monitoring and Assessment* 51:259-268.
- Molvær J., J.Knutzen, J.Magnusson, B.Rygg, J.Skei og J.Sørensen, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. SFT Veiledning 97:03. TA-1467/1997, 36ss.
- Ottemes, P.O. og Ø.Riste, 1999. Innledende miljøtekniske grunnundersøkelser. Noteby rapport nr 500072-1, 12. 08.99. 8s + vedlegg.
- Rygg, B. & Thelin, I. (1993). Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. Short version. SFT-Veiledning nr. 93:02. ISBN-82-7655-102-5. 20pp.
- Schaaning, M., 1991. Effekter av fiskeoppdrett på marine sedimenter. Jordforsk-rapport 212.409-1, 44pp. ISBN 82-7467-024-8.
- Skei, J. 1998. Deponering av forurensete masser i anoksiske bassenger. NIVA Årsberetning 1998. s. 20. ISBN 82-577-3669-4.

Vedlegg A. Analyseresultater

Tabell A1. Feltobservasjoner og vanninnhold i sedimenter fra Strømvik og Hillevågsvatnet innsamlet med grabb (G) eller kjerne (K). E_h = redokspotensialet, pS = $-\log[H_2S]$.

Stasjon nr.	Dyp m	Prøvetaker	Snitt cm	Vann %	E_h mV	pS M	Visuell beskrivelse
Strømvik							
1	5	K	0-2	88,1	182	18,6	mørk grå
			2-5	81,7	62	9,2	
2	8	G	0-2	55,1	-17	5,4	
3	18	K	0-2	39,1	496	12,0	lys sandig
			2-5	34,5	-49	10,5	
4	-	G	-	-	-	-	rester av brun tang
5	-	G	-	-	-	-	rester av grovkornet sediment, gråsort
6	-	G	-	-	-	-	som stasjon 5
7	-	G	-	-	-	-	som stasjon 5
8	10	G	0-2	56,0	-38	7,5	gråsort
9	12	K	0-2	75,3	122	12,9	grått topplag
			2-5	71,0	-31	12,8	sort, løsere konsistens
			5-10	82,7	-40	11,3	
			10-15	80,8	-165	8,2	
10	10	K	0-2	60,5	144	13,8	brunt
			2-5	49,3	-137	8,9	grå-grønt
			5-10	47,3	6	8,6	
			10-12	46,6	-18	9,3	
11	8	G	0-2	56,4	11	13,6	lyst brunt topplag over gråsort
12	6	K	0-2	38,3	188	16,2	lyst brunt
			2-5	39,6	-37	6,6	gråsort
Hillevågsvatnet							
13	8	K	0-2	82,8	-104	4,4	sort homogent
			2-5	76,8	-80	4,2	sort homogent
			5-10	72,6	-97	4,0	sort homogent
			10-15	49,8	-138	3,2	grå skikt leirsediment fra 12 cm
			15-20	48,9	-168	2,6	skarpe lyse grå skikt
			20-25	69,8	-188	2,3	skarpe lyse grå skikt
			25-30	67,6	-164	2,4	skarpe lyse grå skikt
14	8	K	0-2	94,5	-107	6,1	sort homogent
			2-5	81,9	-79	4,8	sort homogent
			5-10	75,8	-117	3,8	sort homogent
			10-15	72,2	-137	3,3	sort homogent
			15-20	69,3	-158	2,9	grå skikt leirsediment fra 15 cm
			20-25	75,3	-164	2,7	skarpe lyse grå skikt
			25-30	75,8	-161	2,8	skarpe lyse grå skikt
15	4	K	0-2	83,0	164	8,5	mørkt slam
			2-5	69,8	-8	7,5	
			5-10	71,4	-75	5,2	
			10-15	70,0	-124	3,4	
16	7	K	0-2	89,3	-94	4,5	rådlig belegg på sort sediment
			2-5	84,4	-79	4,3	sort
			5-10	79,6	-135	3,7	sort
			10-15	73,9	-151	3,1	gråsort
			15-20	69,6	-161	2,7	gråsort
			20-25	78,0	-158	2,5	gråsort
17	4	K	0-2	73,6	-27	6,2	mørkt brunt slam
			2-5	71,7	-123	3,6	
			5-10	80,0	-146	3,3	
			10-15	69,4	-142	3,2	
18	7	K	0-2	91,1	-89	3,9	hvit bakteriematte på sort sediment
			2-5	86,7	-124	3,5	sort
			5-10	69,0	-159	3,5	rester av blåkjefiskall
			10-15	74,5	-159	3,2	gråsort
			15-20	78,2	-162	2,8	gråsort

Tabell A2. Organisk materiale (N og org.C), tungmetaller, litium og sum PAH i sedimenter fra Strømvik og Hillevågsvatnet. Enkeltkomponenter av PAH er vist i tabell A4.

Stasjon nr.	Snitt cm	N (mg/g TS)	Org. C (mg/g TS)	C:N at ratio	Hg	Cd	Pb	Cu	Li	ΣPAH
Strømvik										
1	0-2	5,5	68,7	14,6	5,02	2,88	364,0	269,0	20,5	30,6
2	0-2	4,1	55,3	15,7	4,39	1,54	159,0	156,0	18,9	15,2
3	0-2	3,5	39,9	13,3	0,80	0,48	96,2	55,0	15,7	7,2
9	0-2	7,0	102,0	17,0	5,59	2,49	304,0	217,0	32,2	8,2
10	0-2	3,6	43,5	14,1	1,26	0,49	93,1	111,0	20,3	10,4
	2-5	3,7	41,9	13,2	1,13	0,90	114,0	121,0	22,6	10,8
	5-10	2,6	33,8	15,2	0,49	0,66	110,0	60,0	24,2	10,3
11	0-2	2,4	30,4	14,8	0,59	0,57	79,8	73,1	26,7	9,8
12	0-2	1,0	14,3	16,7	0,47	0,26	176,0	47,7	18,9	2,3
Hillevågsvatnet										
13	0-2	8,3	94,1	12,9	1,37	2,77	255,0	439,0	24,7	12,3
14	0-2	12,0	113,0	11,0	1,50	2,16	194,0	361,0	19,3	12,0
	2-5	7,6	95,9	14,7	2,99	3,66	424,0	390,0	30,2	13,5
	5-10	5,5	68,2	14,5	3,88	3,94	312,0	340,0	37,6	20,1
	10-15	4,3	60,6	16,4	4,20	3,85	306,0	236,0	45,2	22,6
	15-20	3,5	47,7	15,9	4,12	3,39	232,0	173,0	42,3	37,5
	20-25	6,5	92,9	16,7	7,68	5,66	340,0	274,0	43,3	144,8
	25-30	6,8	85,1	14,6	6,84	4,68	338,0	218,0	41,8	100,6
15	0-2	8,8	102,0	13,5	3,54	4,06	239,0	308,0	26,4	11,5
16	0-2	12,4	117,0	11,0	1,64	2,36	194,0	435,0	19,5	11,7
17	0-2	9,9	100,0	11,8	3,34	2,88	258,0	262,0	32,8	17,1
18	0-2	10,5	109,0	12,1	1,66	3,23	213,0	372,0	18,6	9,4

Tabell A3: Organiske miljøgifter (andre enn PAH) i sedimenter fra Strømvik og Hillevågsvatnet. Alle konsentrasjoner i ng/g TS.

	Strømvik	Hillevåg
	stasjon 10	stasjon 14
PCB		
CB28	1,8	10
CB52	3,9	23
CB101	11	34
CB118	11	33
CB106	6,4	18
CB153	21	33
CB138	27	42
CB156	3,4	4,9
CB180	17	19
CB209	<0,4	0,74
Sum PCB7	93	194
Klorbenzener		
pentaklorbenzen	<0,2	0,75
hexaklorbenzen	0,28	2,1
Klorocyclohexaner		
α -HCH	<0,6	0,64
γ -HCH (Lindan)	<0,6	<0,6
OCS	<0,2	<0,2
DDT		
pp-DDE	2,9	10
pp-DDD	14	53
pp-DDT	8,2	10
Sum DDT	14	73
Organisk tinn		
MBT	59	120
DBT	110	320
TBT	540	1400
MPhT	42	82
DPhT	38	43
TPhT	190	270
Sum tinorganisk	979	2235

Tabell A4. PAH-komponenter (ng/g TS) i sedimentprøver fra Hillevågsvatnet og Strømvik.

Stasjon	Slutt (ng)	TPAH	ΣTPAH	ΣNPD	Nylen	Σmepnylen	Σmepnylen	Acenaphen	Fluorenylen	Fluoren	Fenanthren	Antren	Meqylfluoren	Thiophen	Pyren	Benzo(a)pyren	Benzo(a)pyren	Benzok(a)pyren	Benzo(b)pyren	Benzo(k)pyren	Benz(e)pyren	Benzo(g,h)pyren	Benzo(i)pyren	Benzo(a,h)ant	Benzo(g,h)perylene					
1	0-2	30620	10360	4033	490	120	260	265	355	230	140	140	140	140	340	1460	530	1030	4300	4400	2540	1920	3200	1740	3280	620	1900	440	1820	
2	0-2	15196	5270	1852	230	120	88	77	80	77	70	64	120	940	270	330	2150	2220	1200	960	1800	840	1070	320	980	320	980	220	070	
3	0-2	7160	2965	928	120	100	84	86	100	18	32	144	58	280	81	100	730	650	620	520	1150	470	585	160	480	160	480	130	460	
4	0-2	8221	2870	849	98	73	51	92	68	26	34	60	385	140	140	1230	1210	680	530	950	480	600	170	520	120	530	170	520	120	530
10	0-2	10351	3555	1366	79	54	45	77	105	29	54	75	115	690	320	320	1580	1360	900	615	1120	570	730	190	660	190	660	145	620	
	2-5	10763	4520	1036	94	61	42	69	81	23	37	38	67	490	150	230	1380	1360	800	620	1800	670	870	200	750	200	750	170	730	
	5-10	10279	3510	1307	93	46	42	32	56	55	43	110	110	740	240	440	1570	1450	920	560	1210	490	660	160	590	160	590	130	550	
11	0-2	9808	3050	1389	300	100	95	115	113	27	72	30	105	670	330	79	1660	1350	900	570	960	450	570	200	510	200	510	110	490	
12	0-2	2336	934	181	13	8	33	9	8	7	28	12	100	27	15	290	290	180	130	340	155	175	54	200	54	200	39	215		
13	0-2	12302	4993	1195	140	96	59	23	64	23	56	86	88	350	130	200	1340	1360	700	820	2180	920	940	280	980	280	980	105	1060	
14	0-2	12020	4890	880	98	55	33	42	123	24	49	59	70	440	123	70	1380	1440	770	820	1880	940	990	300	1030	300	1030	210	1060	
	2-5	13492	5640	979	140	78	50	28	170	64	35	57	66	410	140	74	1160	1770	680	810	2360	1140	1130	340	1270	340	1270	240	1320	
	5-10	20142	6035	1171	230	96	53	35	86	35	30	36	81	560	215	110	1470	3100	860	980	3990	1760	1950	460	1870	460	1870	365	1770	
	10-15	52569	24430	1980	390	150	91	180	110	140	62	29	140	1030	507	180	4450	8680	4410	2740	9750	3950	4720	1130	4670	1130	4670	880	3980	
	15-20	37546	17330	2064	440	160	93	87	97	75	55	54	165	1070	480	145	2610	5780	3030	1980	7280	2950	3130	970	3210	970	3210	680	3000	
	20-25	144762	70370	4239	830	210	120	73	140	145	120	89	315	2500	1240	350	10700	23200	14200	8500	27500	11200	13600	4160	12400	4160	12400	2670	10900	
	25-30	100565	39550	6535	1280	355	340	1070	2460	980	120	250	330	1550	760	390	9200	19300	10800	4410	11500	5000	3300	1800	12700	1800	12700	2250	11500	
15	0-2	11515	4700	846	115	75	37	27	54	18	17	95	57	390	115	80	1120	1560	600	720	2050	940	870	335	980	335	980	200	1040	
16	0-2	11742	4950	758	110	68	33	51	27	26	40	68	390	120	52	1110	1320	600	730	1940	1040	1000	310	1180	310	1180	230	1250		
17	0-2	17095	7160	1128	200	100	75	155	83	35	32	47	75	540	185	78	1770	2010	970	960	2600	1480	1490	399	1760	399	1760	340	1710	
18	0-2	9419	3710	738	87	61	37	48	107	30	28	42	39	340	96	64	940	1250	520	590	1470	800	740	220	820	220	820	160	930	

Tabell A5. Nitrogen og fosfor i vannprøver fra Hillevågsvatnet (H1m...H7m) og Strømvik (S1m). TP=total fosfor, PP (partikulært fosfor) =TP-PO4, TN=total nitrogen. PN (partikulært nitrogen) = TN-NH4-NO3. Konsentrasjoner er gitt i µg/l, forholdstallene er gitt i mol:mol.

	TP						PP						PO4											
	H1m		H7m		S1m		H1m		H7m		S1m		H1m		H7m		S1m							
	H1m	H7m	H1m	H7m	H1m	S1m	H1m	H7m	H1m	H7m	H1m	S1m	H1m	H7m	H1m	H7m	S1m							
03-jun	12	223	9	0	47	7	3	3	0	176	2													
22-jun	18	208	8	14	55	6	4	-		215	2													
13-jul	12	553	11	10	56	8	2	5	25	497	3													
18-aug	15	272	13	10	95	10	5	4	26	177	3													
02-sep	14	433	8	11	47	6	3	7	23	386	2													
19-sep	24	279	13	8	43	7	16	27	25	236	0													
gjennomsnitt	15,8	338	10,3	10,3	57	7,3	5,5	9,2	21,0	281	3,0													
standard avvik	4,5	127	2,3	2,1	19	1,5	5,2	10,1	8,5	131	1,5													
	TN						PN						NH4						NO3					
	H1m		H7m		S1m		H1m		H7m		S1m		H1m		H7m		S1m		H1m		H7m		S1m	
03-jun	260	765	230	244	441	191	7	11	5	320	26	4	13											
22-jun	370	965	240	265	495	225	26			470	5	10												
13-jul	255	2070	389	341	662	358	6	12	28	1409	13	8	10											
18-aug	280	983	295	226	655	278	32	16	16	339	17	8												
02-sep	255	1580	190	232	380	175	23	26	83	1200	11	4												
19-sep	340	1365	265	228	521	234	83	79	113	840	29	13												
gjennomsnitt	293	1288	267	236	526	241	38	29	40	760	17	9,5												
standard avvik	50	484	66	18	114	66	34	29	47	463	9	2,8												
	TN/PP						PP/PP						(NO3+NH4)/PO4											
	1m		2m		S1		1m		2m		S1		1m		2m		S1		1m		2m		S1	
03-jun	47,9	7,6	56,5	27,1	9,4	27,3	11,8	4,1	43,1															
22-jun	45,5	8,0	66,3	18,9	8,3	37,5	58,0	4,8	16,6															
13-jul	47,0	8,3	76,4	24,1	11,8	44,8	15,3	6,3	16,2															
18-aug	41,3	8,0	30,2	22,6	6,9	27,0	23,9	4,1	18,4															
02-sep	40,3	8,1	32,5	19,3	8,1	29,2	31,7	6,9	16,6															
19-sep	31,3	10,8	45,1	28,5	12,2	32,0	15,5	7,9	15,1															
gjennomsnitt	42,2	8,5	57,8	23,4	9,6	33,8	19,7	5,7	16,6															
standard avvik	6,1	1,2	11,6	3,9	2,1	7,0	8,1	1,6	1,2															

