

RAPPORT LNR 3575-96

Gruveforurensning av
Storavatnet, Stord:
Resipientundersøkelse og
mulige konsekvenser av
foreslåtte tiltak



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 04 30 33
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 32 56 40
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

Søndre Tollbugate 3
9000 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Gruveforurensning av Storavatnet, Stord: Resipientundersøkelse og mulige konsekvenser av foreslåtte tiltak	Løpenr. (for bestilling) 3575-96.	Dato 15.11.96	
	Prosjektnr. Undernr. O - 96093	Sider 31	Pris kr 75,-
Forfatter(e) Hobæk, Anders Aanes, Karl Jan	Fagområde Miljøgifter ferskvann		Distribusjon
	Geografisk område Hordaland		Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Stord kommune	Oppdragsreferanse 223/96
--	------------------------------------


Sammendrag

Som basis for konsekvensvurdering av foreslåtte tiltak og inngrep i gruveområdet ved Litlabø er det foretatt en enkel resipientundersøkelse i Storavatnet ved Sagvåg, Stord. Undersøkelsen viser at Storavatn er sterkt påvirket av den tidligere gruvedriften, og betydelige mengder avgangsmasser finnes i dypere sedimenter over hele innsjøen. I bassenget nærmest vaskerifyllingen var bunnvannet stagnerende (trolig permanent), oksygenfritt, og inneholdt mye svovel og toverdig jern og mangan. Mengden andre tungmetaller var lav. I overflaten av Storavatnet var vannkvaliteten langt bedre, selv om forhøyede konsentrasjoner av jern, mangan og sulfat ble påvist. Bunnryssamfunnet i sedimentet var sterkt utarmet, og noen stasjoner var uten bunndyr.

Et dykket utslipp av vann fra gruvesynkene kan få uheldige konsekvenser i Storavatn, med øket omfang av stagnerende bunnvann og større fare for at dette blandes opp i ovenforliggende vannmasser.

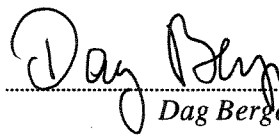
Utfylling av nye masser utenpå den eksisterende vaskerifyllingen vil trolig ikke medføre varige endringer i vannkvaliteten, men på kort sikt må det ventes økt innhold av metaller og svovel som følge av utpressing av porevann, og muligens som følge av utglidning og oppvirvling av masser i fyllingen.

Fire norske emneord 1. Innsjø 2. Dykket utslipp 3. Tungmetaller 4. Bunndyr	Fire engelske emneord 1. Lake recipient 2. Submerged discharge 3. Heavy metals 4. Benthos
--	---



Anders Hobæk
Prosjektleder

ISBN 82-577-3127-7



Dag Berge
Forskningsleder

**Gruveforurensning av Storavatnet, Stord:
Resipientundersøkelse og mulige konsekvenser av
foreslåtte tiltak**

Forord

Rapporten er vesentlig basert på data og materiale samlet inn ved befarings- og prøvetaking 3. mai 1996, der Oscar Ingebrigtsen (Stord kommune), Karl Jan Aanes (NIVA Oslo) og undertegnede (NIVA Vestlandsavdelingen) deltok. Vi har også benyttet dokumentasjon stilt til rådighet av Stord kommune. Eigil Iversen (NIVA Oslo), som kjenner Litlabømrådet fra tidligere, har vært konsultert gjentatte ganger, og Arne Godal (NIVA Oslo) har tatt spesielt hånd om metallanalysene for dette prosjektet.

Takk til Oscar Ingebrigtsen for konstruktivt samarbeid, og til Anders Haug (Stord Lærerhøgskole) som hjalp oss i et knipetak.

Bergen, 15. november 1996

Anders Hobæk

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	7
2. Områdebeskrivelse	8
3. Materiale og metoder	11
3.1 Stasjoner	11
3.1.1 Området ved Litlabø	11
3.1.2 Storavatnet.....	11
3.2 Prøvetaking og analyser	11
3.2.1 Vannprøver	11
3.2.2 Hydrografi og innsjøsediment.....	11
3.2.3 Kjemiske analyser	11
3.2.4 Bunndyr	12
4. Resultater	13
4.1 Hydrografi i Storavatnet	13
4.2 Vaskerifyllingen.....	13
4.3 Vannkvalitet i strandsonen og i Kiselvo	16
4.4 Bunnsedimenter i Storavatnet	17
4.5 Vannkvalitet i Storavatnet	20
4.6 Vassdragets bunnfauna	23
5. Diskusjon	25
5.1 Endringer over tid	25
5.2 Hva er naturlige bakgrunnsverdier?.....	26
5.3 Massetransport med Kiselvo	27
6. Vurdering og anbefalinger	29
6.1 Tilstand i Storavatnet	29
6.2 Avrenning fra synkene.....	29
6.3 Ny utfylling ved vaskerifyllingen	29
7. Henvisninger	31

Sammendrag

Tilstanden i Storavatn ved Sagvåg i Stord kommune er undersøkt for å skaffe grunnlag for å vurdere mulige konsekvenser av to aktuelle inngrep: I. Videre utfylling utenpå vaskerifyllingen ved Litlabø, og II. Oppsamling av overløpet av den vannfylte gruva med utslipp til dypet i Storavatn. Tilstandsbeskrivelsen er basert på prøvetaking ved befaring 3.05.96 i Kiselvo (som i dag mottar avrenningen fra gruve-området), til vaskerifyllingen og på fem stasjoner ute i Storavatnet (overflate og bunn). Prøvetakingen omfattet hydrografi, vannprøver og sedimenter for kjemisk analyse, og prøver av bunndyrsamfunnene. Dokumentasjon fra tidligere undersøkelser er også lagt til grunn.

Storavatn er kraftig påvirket av forurensning fra gruveområdet på Litlabø. Vannkvaliteten i innsjøens overflate viste forhøyet innhold av svovel, jern og mangan, mens forsuring ikke synes å utgjøre noe problem. Innsjøens bunnområder var sterkt preget av tidligere sedimenterte avgangsmasser, og var bortimot livløse over store områder. I bassenget nærmest vaskerifyllingen på Litlabø var bunnvannet (under 30 m dyp) stagnerende, oksygenfritt, og inneholdt høye konsentrasjoner av jern, mangan og svovel. I de andre bassengene ble det ikke påvist oksygenvinn. Kopper og sink ble målt i relativt lave konsentrasjoner i bunnvannet, og lå under deteksjonsgrensen i overflaten. Andre tungmetaller lå under eller på deteksjonsgrensen i både bunn- og overflatevann.

Oppslutning av metaller fra bunnsedimentene (øverste 5 cm) gav like høye verdier i sedimentene som i vaskerifyllingen. Sedimentene i innsjøen inneholdt foruten jern, mangan og svovel også kobber og sink i større mengder enn antatt naturtilstand. Videre var arsenmengden høyere enn normalt. Dagens omfanget når det gjelder utløsning av metaller fra sedimenter og fylling til vannfasen er usikker. Metallinnholdet utenom jern og mangan i vannfasen var stort sett lave. Trolig er porevann fra vaskerifyllingen den viktigste kilden for det stagnerende bunnvannet i nordre basseng, men okerutfellinger fra Kiselvo kan også bidra ved sedimentasjon. Det stagnerende bunnlaget kan være et resultat av akkumulasjon over lang tid.

Vaskerifyllingen består av finknust avgangsmasse fra vaskeriet, der kis ble skilt fra gråberg i en flotasjonsprosess. Porevannet inne i fyllingen var oksygenfritt, og inneholdt betydelige mengder av de samme elementene som sedimentene. I fyllingens ytre del var vannet oksygenert og surt (som følge av oksidasjon av sulfider) og inneholdt store mengder metaller. Vannet i strandsonen ved fyllingen holdt omtrent samme kvalitet som i innsjøens overflate ellers, og var dermed lite preget av fyllingen direkte. Vannet i Kiselvo var svært surt, og inneholdt mye metaller. Det ble påvist avgangsmasse i sedimentene fra alle deler av innsjøen, også i de isolerte sidebassengene. I bassenget utenfor fyllingen var lagene av avgangsmasse svært tykke.

Den beste biologiske tilstanden fant vi i strandsonen ved vaskerifyllingen, der bunndyrsamfunnet omfattet 7 ulike grupper. I Kiselvo og i bunnsedimentene var faunaen sterkt utarmet, og store områder var bortimot livløse. Kraftig okerutfelling og surt, metallholdig vann er årsaken til forholdene i Kiselvo, mens både oksygenvinn og gifteffekter av metaller og sulfid trolig bidrar til ulevelige forhold på og i sedimentene.

Et dykket utslipp av gruveavrenningen direkte til dypet i Storavatn vil bedre situasjonen i Kiselvo. Imidlertid vil det også gi en økt belastning på innsjøen i form av et økt oksygenforbruk, og muligens økning av det stagnerende bunnlaget. Trolig holdes dette i innsjøens nordre basseng av en terskel, og økt volum av bunnlaget kan dermed spille over terskelen og spre seg i det sentrale bassenget i innsjøen. Det er behov for mer informasjon om innsjøens hydrografi og vannkvalitet til ulike årstider for å avgjøre om dette skjer i dag, og hvordan et eventuelt dykket utslipp vil påvirke forurensningssituasjonen. Det er ikke ønskelig at det stagnerende bunnsjiktet får større omfang, fordi det også vil øke faren for oppblanding i vannmassen ved omrøring vår og høst eller ved sterk vindeksponering. Det vil også hindre at bunnfaunaen normaliseres over tid.

Siden omfanget av vaskerifyllingen er langt større enn hva som er synlig, vil en videre utfylling trolig ha liten effekt på vannkvaliteten på lengre sikt, såfremt massene som deponeres ikke er kisholdige. Under arbeidet med utfylling må man imidlertid vente en merkbar forverring av vannkvaliteten. Nye masser deponert oppå de gamle vil kunne komprimere fyllingen, og presse porevann ut i innsjøen. Den samme effekten vil tunge anleggsmaskiner kunne ha. Målingene fra dagens fylling viser at porevannet ved tilgang på oksygen blir svært surt, og frigir betydelige mengder metaller. Videre bør faren for utrasing av gamle masser vurderes nærmere, fordi disse ligger langt løsere i den bratte skråningen ut mot bassenget ved Litlabø enn i selve utfyllingsområdet. Et ras vil kunne eksponere avgangsmasser for oksidasjon, og i tillegg kunne føre til at det stagnerende bunnsjiktet forstyrres.

1. Innledning

Storavatnet ved Sagvåg, Stord kommune i Hordaland, er resipient for avrenning fra gruveområdet ved Litlabø (Stordø Kisgruber). Gruvedriften ble nedlagt i 1968, og i 1975 ble gruvene overtatt av kommunen. Stord kommune har utredet ulike alternativ for anvendelser av gruveområdet. Her inngår blant annet tiltak for å redusere forurensningen av Kiselvo som renner gjennom gruveområdet. Det er et definert miljømål at vannkvaliteten i elva skal kunne gi livsgrunnlag for fisk. Blant flere aktuelle tiltak inngår oppsamling av vannet fra gruvesynkene, og utføring av dette på dypt vann i Storavatn. Selv om dette tiltaket ikke vil endre belastningen på Storavatnet totalt sett, vil forurensningen av selve Kiselvo kunne reduseres. Det er imidlertid usikkert hvordan Storavatnet vil påvirkes av endringene. Et alternativt tiltak vil være å rense gruveavrenningen før utslipp til Storavatnet, men dette vil være langt mer kostnadskrevende enn et dykket utslipp.

En stor fylling av kisholdige avgangsmasser fra vaskeriet til Stordø Kisgruber ligger i den tidligere Kvednavikjo ved utløpet av Kiselvo. Fyllingen er planert og bebygget av Litlabø Kurs- og Treningscenter, som ønsker å utvide det utfylte arealet for anlegging av ballplass(er). Siden fyllingen avgir surt og jernholdig vann ved forvitring av kisen, knytter det seg usikkerhet til om videre utfylling kan medføre økt forurensning av Storavatnet.

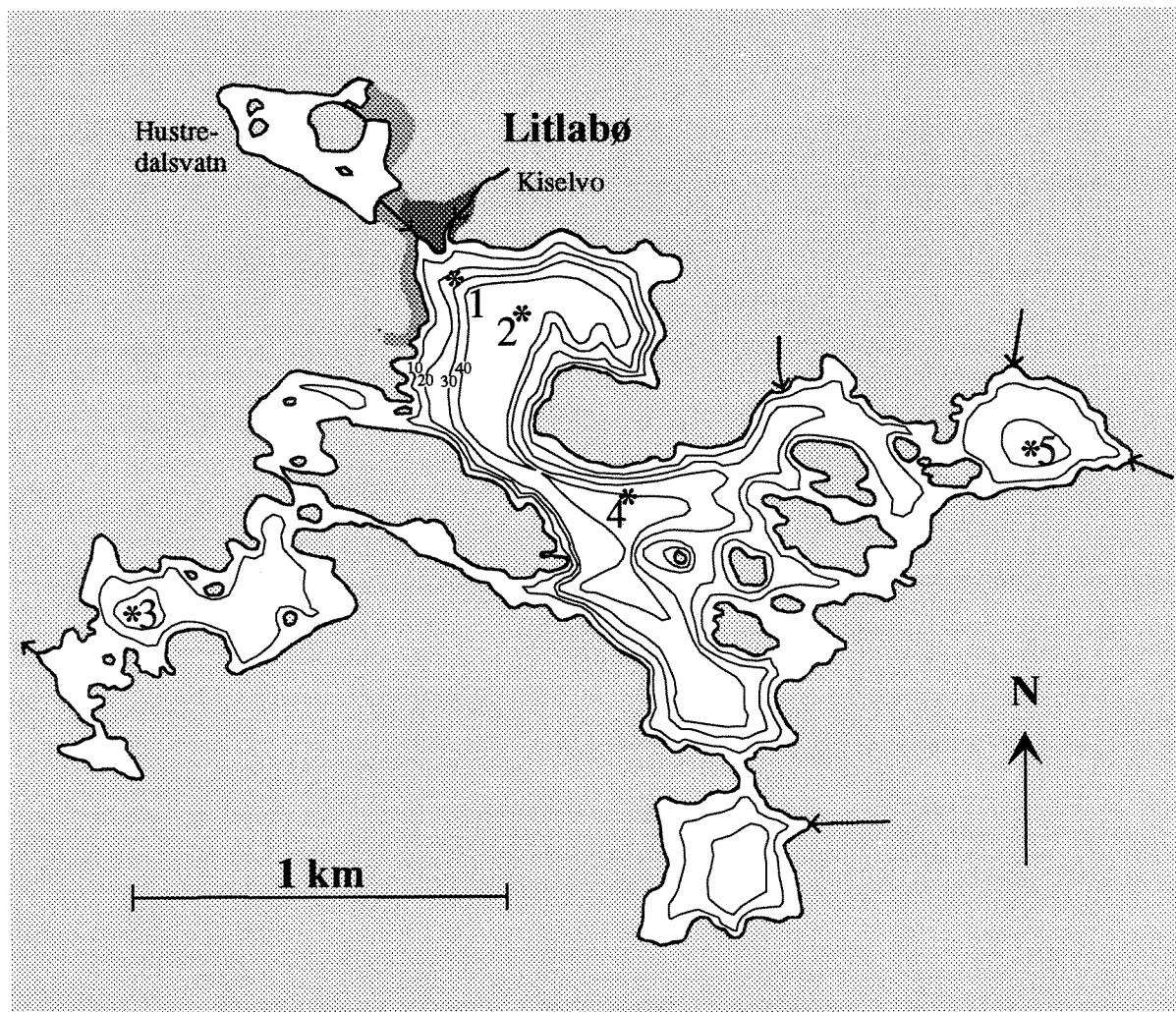
Utredningens formål har vært å vurdere effektene av de to tiltak beskrevet over sett i sammenheng med hverandre. Vurderingen er basert på bakgrunnsmateriale fra tidligere utredninger, og på befarings og prøvetaking i området 3.05.96. Det er her lagt mest vekt på undersøke tilstanden i Storavatnet i dag, spesielt forholdene i dypvannet og i sedimentene, siden tilgjengelige data ikke belyser disse forholdene. Utredningens omfang tillater ikke noen kvantifisering av den nåværende utlekking av metaller fra fyllingen. Det er likevel tatt prøver av fyllmassene og vannet inne i fyllingen, for å supplere bakgrunns materialet for vurderingene.

Foruten kjemiske analyser av vann og sediment, ble det tatt prøver av bunndyrfaunaen på flere stasjoner. Analyser av bunndyrsamfunn kan gi gode indikasjoner på langtidsvirkning av forurensningene, og derfor supplere det øyeblikksbildet som kjemiske analyser kan gi.

2. Områdebeskrivelse

Fra 1865 ble det drevet sporadisk gruvedrift i området rundt Litlabø. Stordø Kisgruber A/S ble stiftet i 1907, og produksjon av svovelkis startet for alvor fra 1910. Siden pågikk gruvedriften med mindre avbrudd fram til 1968, med høyest produksjon i mellomkrigstiden. Gruvene ble endelig nedlagt i 1968. Totalt er det tatt ut ca. 8 mill. tonn råmalm, med et svovelinnhold på 21-23%. Gruveområdet ble senere overtatt av Stord kommune.

Et oversiktskart over Storavatnet er vist i Figur 1. De utfylte områdene som tidligere var en del av innsjøen er skraveret. Kartet viser også grovt dybdeforholdene i Storavatn, basert på en ikke publisert opplodding NIVA utførte i 1994.



Figur 1. Oversiktskart over Storavatn. Mørk skravering indikerer utfylling med avgangsmasser fra vaskeriet, mens lys skravering viser andre fyllinger ('gråberg'). Bare fyllmasser over vann er vist. Dybdekontene er basert på opplodding utført i november 1994 (NIVA upublisert). De viktigste innløpsbekker og utløpselva er vist som piler. Stasjoner for prøvetaking i Storavatnet (St. I1 - I5) er også vist.

Storavatnet (9 moh.) har et areal på 1,5 km², og er sammensatt av flere bassenger atskilt av terskler som alle er grunnere enn 10 m. Maksimaldypet er 49,5 m. Det nordligste bassenget like utenfor Litlabø er det dypeste, men det sentrale bassenget er nesten like dypt (48 m). Mellom disse bassengene er det ifølge dybdekartet nesten ingen terskel. Mellom det sentrale og det vestre bassenget der utløpet ligger, er tersklene svært grunne (0,5 m). De perifere bassengene i vest, øst og sør har maksimaldyp på 25 - 27 m.

Det meste av nedbørfeltet til Storavatn er utmark dominert av furu- og blandingsskog. Terrenget er småkupert, med en del myr. Vannet i innsjøen har en tydelig gulbrun farge. Storavatn inngår i en landsomfattende undersøkelse av trofilitilstand i norske innsjøer som NIVA gjennomfører for SFT, og det ble i 1988 tatt fire prøver i overflatesjiktet for næringssalter og planteplankton (Faafeng m.fl. 1990). Resultatene viste at innsjøen var ganske næringsfattig, med midlere konsentrasjon av totalfosfor på 4,4 µg/l og av Klorofyll a på 1,1 µg/l. Tilstandsklasse for fosfor og Klorofyll a var klasse I, mens nitrogeninnholdet tilsvarte klasse III med 417 µg/l Tot-N i middelverdi. I klassifikasjonssystemet kalles klasse I "Meget god", klasse II "God" og klasse III "Mindre god". I tillegg er det med to dårligere klasser (IV og V; se SFT 1992 og senere revisjon [under trykking]).

Kismalmen ble finknust og behandlet i et vaskeri, der kisen ble skilt fra 'gråberget' vha. en flotasjonsprosess. Restene av malmen ble spylt ut med vannet fra vaskeriet, og deponert i Kvednavikjo. Opprinnelig lå vaskeriet ved bredden av Storavatnet, men i løpet av mange års drift vokste fyllingen av avgangsmasser i Kvednavikjo slik at denne er helt fylt opp. De finknuste avgangsmassene fulgte vaskevannet, og ble ført utover fyllingen i enkle renner som ble forlenget etter hvert som vika ble fylt opp. Sammen med utfylling av 'gråberg' ved bygging av jernbane til Sagvåg og senere bygging av veg har fyllingene ført til avsnøring av den tidligere Hustredalsvikjo (i dag Hustredalsvatn, som drenerer til Storavatn gjennom en kulvert under veien).

En skisse av det aktuelle utfyllingsområdet på Litlabø er vist i Figur 2. Den store fyllingen fra vaskeriet er i dag utjevnet, overdekket med jord og tilsådd. Litlabø Kurs- og treningssenter ligger på fyllingen. Vannkjemiske målinger i strandsonen har tidligere påvist høye konsentrasjoner av jern og svovel, mens ved utløpet av Storavatnet har konsentrasjonene ligget ganske lavt (Iversen & Arnesen 1990; Iversen 1994). Ved befaringen var strandkanten langs fyllingen tydelig preget av okerutfelling, men strandsonen var ikke helt livløs. Inn mot kulverten fra Hustredalsvatn vokste vegetasjonen ganske tett, og vi observerte her en stim med stingsild under befaringen. Bak kulverten videre innover mot Hustredalsvatnet er vegetasjonen tettere, og det var ingen synlig okerutfelling her. Massene som er deponert her er vesentlig avfall fra gråbergsprengning og fra skeideanlegget (Tufteland 1994). Det foreligger ikke anslag på omfanget av lekkasjer av metaller fra vaskerifyllingen til Storavatn.

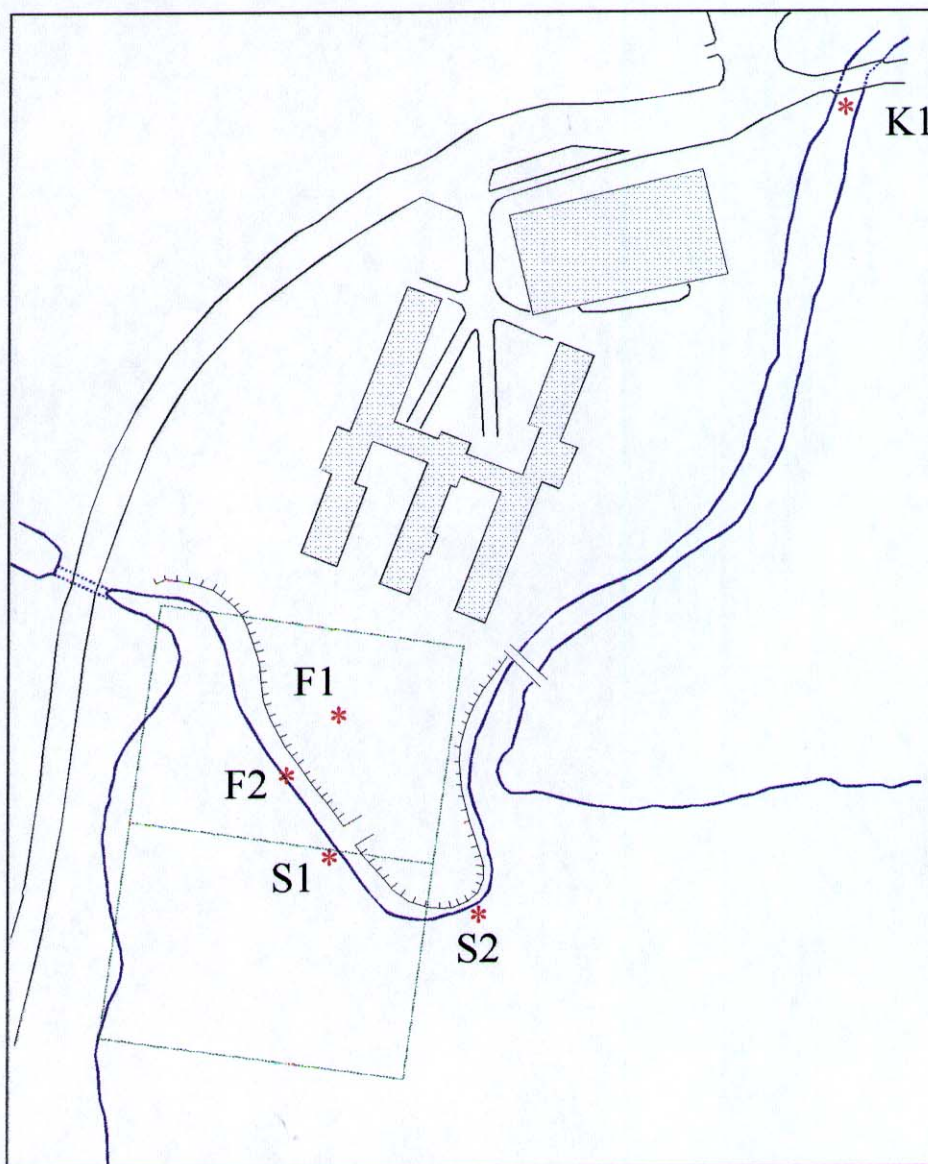
Kiselvo munner ut gjennom vaskerifyllingen. Elvebunnen mellom nedre gruvesynk og broen for fylkesveien (tilsvarer omtrent det opprinnelige utløpet i Storavatn) var helt overdekket av okerutfellinger, og det var ikke liv å se i elva. Ved elvebredden langs hele vaskerifyllingen var okerutfellingen også markert, flere steder med tydelige lekkasjepunkter fra selve fyllingen (se Figur 4). Vannet i Kiselvo var ganske grumset (turbid), trolig som følge av utfelling av treverdige jern. Ved broen var det for øvrig også tegn på en kloakklekkasje. I en miljøteknisk undersøkelse utført av Noteby (1994 a; b; 1996) ble stofftransporten med Kiselvo til Storavatn anslått slik:

Element	Mengde	Enhet
Jern	56,7	tonn·år ⁻¹
Mangan	8,83	tonn·år ⁻¹
Aluminium	6,30	tonn·år ⁻¹
Sink	252	kg·år ⁻¹

Anslagene er basert på målte konsentrasjoner og beregnet avrenning (middelvanntføring ca. 200 l/s i Kiselvo). Den viktigste kilden for jern, mangan og sink synes å være nedre gruvesynk, mens aluminium i langt større grad stammer fra gruvetipper lengre oppe i feltet (Jappaløken). Malmforekomstene ved Litlabø inneholder ganske ren pyritt (Iversen 1994), og mengden av andre metaller i avrenningen har ligget lavt i alle målinger. Dette gjelder også kobber, som ellers ofte kan ligge høyt i avrenning fra

kisgruver. For andre metaller enn oppgitt ovenfor foreligger ingen anslag for transport totalt, men tilførslene fra nedre synk er beregnet for kobber ($5,6 \text{ kg}\cdot\text{år}^{-1}$); kadmium ($0,1 \text{ kg}\cdot\text{år}^{-1}$); bly ($<0,3 \text{ kg}\cdot\text{år}^{-1}$); krom ($<0,3 \text{ kg}\cdot\text{år}^{-1}$) og nikkel ($5,1 \text{ kg}\cdot\text{år}^{-1}$). For noen av metallene var bare løste metaller (i ioneform) med i anslagene, siden prøvene ble filtrert før analyse (Noteby 1994 a; b).

Litlabø kurs- og treningssenter ønsker å fylle ytterligere ut på utsiden av nåværende fylling mot munningen av bekken fra Hustredalsvatnet, slik at kulverten mellom de to innsjøene blir forlengt. Det er klart at den gamle fyllingen av avgangsmasser strekker seg langt utover i innsjøen fra dagens strandlinje, og den foreslåtte utfyllingen vil bli lagt oppå disse avgangsmassene. Avgangsmassene i fyllingene skal være homogene, med en kornstørrelse på 1-2 mm (Tufteland 1994). Tykkelsen på dagens fylling under vann i det området som ønskes utfyllt er minst 8 m ifølge Tufteland (1994). Massene som er tenkt brukt er sprengstein fra Nysæter like vest for Storavatn.



Figur 2. Skisse over utfyllingsområdet på Litlabø. Området mellom veien og Storavatnet utgjøres av vaskerifyllingen, og Litlabø kurs- og treningssenter ligger oppå denne. Kiselvo munner til høyre (øst) på skissen, mens kulverten fra Hustredalsvatnet munner til venstre (vest). En blokksteinsmur langs fyllingens ytre del er antydnet med tannet linje. Plasseringen av det nye treningsfeltet (ballplassene) er antydnet. Den indre er planlagt som byggetrinn 1, og den ytre som trinn 2. Stasjoner for prøvetaking ved befaringen 3.05.96 er også vist (*).

3. Materiale og metoder

3.1 Stasjoner

3.1.1 Området ved Litlabø

I vaskerifyllingen ble det 3.05.96 gravet opp to hull (St. F-1 og F-2; Figur 2) for prøvetaking av porevann. Langs stranden ved fyllingen ble det også tatt vannprøver på to stasjoner (St. S-1 og S-2; Figur 2). På St. S-1 ble det også tatt bunndyrprøve. I tillegg ble det tatt vannprøver og bunndyr i Kiselvo like nedenfor veien (St. K-1).

3.1.2 Storavatnet

Det ble tatt prøver på 5 stasjoner ute i Storavatnet (Figur 1). Bassenget like utenfor vaskerifyllingen er det dypeste, og her tok vi prøver på St. I-1 (25 m dyp) og I-2 (45 m dyp). I det sentrale bassenget tok vi prøver på én stasjon (St. I-5; 44,5 m dyp). I tillegg ble det tatt prøver i to perifere basseng. St. I-3 lå i bassenget nærmest utløpet, og var 25 m dyp, mens St. I-4 lå i det østligste bassenget. Også denne hadde et dyp på 25 m. Prøvetakingen ute i innsjøen omfattet hydrografi, vannprøver, sedimentprøver og bunndyr.

3.2 Prøvetaking og analyser

3.2.1 Vannprøver

Vannprøver ble tatt på 0,5 liter plastflasker for generelle vannkvalitetsparametre. For metallanalyser ble det tatt prøver på egne spesialvaskete flasker (100 ml). Vannet som strømmet inn i oppgravde hull i vaskerifyllingen inneholdt mye partikler, og disse prøvene ble umiddelbart filtrert gjennom glassfiberfiltre (GF/F, porestørrelse ca. 0,7 µm). Filtrene var forhåndsvasket med destillert vann. For stasjoner i overflaten, ved strandkanten og i Kiselvo ble flaskene fylt direkte. Vannprøver fra innsjøen ble tappet direkte på prøveflaskene fra vannhenter eller sedimentprøvetaker (vann over sediment).

Vannprøver ble tatt opp fra ulike dyp på St. I-2 med en Ruttner vannhenter. Det ble tappet vann fra denne på lufttette flasker, for titrering av oksygeninnhold etter Winkler-metoden. Fra 0,5 m dyp ble det også tatt vannprøver for kjemisk analyse (generelle parametre og metaller) på alle fem stasjoner. I noen vannprøver fikk vi etter kort tid en markert utfelling av jern(III)hydroksid. Dette gjaldt prøvene fra St. F-1 i vaskerifyllingen og fra dypvannet (St. I-2). Utfellingen skyldes at vannet var oksygenfritt ved prøvetakingen, men ved tilgang på luft oksideres toverdige, løselige jern til treverdige jern som feller ut som hydroksid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). For å få det utfelte materialet med i analysene, ble disse prøvene oppsluttet i salpetersyre. Det kan nevnes at vi ikke fikk noen synlig utfelling under filtrering av de partikkelholdige prøvene fra vaskerifyllingen, men etter noen timer var utfellingen markert.

3.2.2 Hydrografi og innsjøsediment

På hver innsjøstasjon (St. I-1 - I-5) tok vi en hydrografisk profil fra overflate til bunn vha. en hurtigregisterende sonde, som logger temperatur, ledningsevne og oksygeninnhold (Seabird SBE 19). Data ble senere lastet ned til datamaskin for videre bearbeidelse.

Prøver av innsjøsedimentene ble tatt med en sedimentprøvetaker ('corer'). Denne hadde et pleksiglassrør med diameter 5 cm, og tok opp en 20 - 50 cm lang propp med sediment, sammen med vann over sedimentet. Etter at vi fikk prøven opp i båten, lot vi oppvirvlet materiale sette seg på sedimentoverflaten. Deretter tappet vi vha. en tynn plastslange av vannet over sedimentoverflaten for analyse. Sedimentet ble så skjøvet opp gjennom røret vha. et stempel, og de øverste 5 cm tatt over i et prøveglass for kjemisk analyse. En kort beskrivelse av sedimentprofilen ble notert, og resten av sedimentet kastet.

3.2.3 Kjemiske analyser

For vannprøvene ble det analysert pH, konduktivitet, alkalitet, sulfat og klorid etter standard metoder. I prøver fra dypvannet ble det også analysert TOC (totalt organisk karbon). For prøver med fast stoff ble

det bestemt tørrstoffinnhold og glødetap etter tørking, dessuten svovelinnhold. Metallanalysene ble utført vha. ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) både på vann, sedimenter og avgangsmasser. Prøver av fast stoff (sediment og vaskeriavgang) ble tørket til konstant vekt og homogenisert. Deretter ble en innveid mengde oppluttet (ekstrahert) med salpetersyre ved autoklaving (trykkoker, 120 °C). Denne opplutningen får med seg relativt lettløselige ioner fra fast stoff, men ikke alt som finnes i materialet. Også vannprøvene der utfelling hadde skjedd ble tilsatt salpetersyre før analyse av metaller, for å få alt materialet i løsning. Analysene ble kvalitetssikret med egne referanseprøver.

For sedimentprøver og avgangsmasser er innholdet av ulike elementer angitt pr. gram tørrvekt, og for vannprøver pr. liter (se resultatdelen).

3.2.4 Bunndyr

Bunndyrprøver ble samlet dels i strandsonen ved vaskerifyllingen (St. S-1), dels i Kiselvo (St. K-1) og dels fra bunnsedimenter ute i selve innsjøen (St. I-1 - I-5). I strandsonen og i elva ble sparkemetoden benyttet. Metoden følger Norsk Standard (NS 4719). Bunnssubstratet blir rotet opp med føttene, samtidig som en håv brukes til å fange opp det oppvirvlet materialet. Håvens maskevidde er 250 µm. Det ble rotet 3*1 minutt på hver stasjon, med små forflytninger mellom hver ett-minutts periode. Materialet som lå igjen i håven ble konservert med ethanol. Metoden er såkalt 'semikvantitativ', og brukes både i rennende vann og i strandsonen av innsjøer for å se på artssammensetning og dominans innen bunndyrsamfunnet.

Ute i innsjøen (St. I1-I5) ble det tatt kvantitative prøver av bunndyr med en Ekman grabb. Denne tok et hugg med areal 0,024 m² (15,5*15,5 cm). Grabben trengte 15-20 cm ned i substratet. Innholdet i grabben ble vasket ut i en filterpose med maskevidde 250 µm, og resten konservert med ethanol. Det ble tatt tre hugg med grabben på hver stasjon, og materialet ble etter utvasking kombinert i én prøve.

De konserverte prøvene ble senere opparbeidet under lupe. Bunndyrene ble sortert til gruppe og talt opp. Resultatene er gitt som antall individer pr. prøve. For grabbprøvene (St. I-1 - I-5) representerer hver prøve 0,072 m² sedimentoverflate.

4. Resultater

4.1 Hydrografi i Storavatnet

Resultatene av de hydrografiske målingene er vist på Figur 3. Det var tydelige forskjeller mellom bassengene, spesielt mhp. temperatur- og oksygenprofiler. St. I-2 og I-4 hadde en mindre skarp temperaturgradient i overflaten enn St. I-3 og St. I-5. Dette er naturlig, siden de større bassengene er mer eksponert for vind og omrøring. I det nordre bassenget (St. I-2) nærmest Litlabø fant vi en temperaturstigning i bunnvannet (Figur 3). Parallelt med denne sank oksygeninnholdet mot null, og konduktiviteten økte kraftig.

Det er klart at bunnvannet på St. I-2 har stagnert, dvs. det har ikke vært med i sirkulasjonen av vannmassene denne våren. Beregnet tetthet av vannet (Figur 3) viser en betydelig forskjell mellom det kalde vannet fra 10 til 30 m dyp og vannet under 30 m. Det er derfor godt mulig at bunnvannet stagnerer over lengre tid, dvs. flere år.

Det sentrale bassenget i Storavatn er nesten like dypt som det nordre. Profilen fra St. I-4 i det sentrale bassenget rakk bare til 40 m dyp. Her ble det ikke påvist et tilsvarende stagnerende lag av bunnvann. Figur 3 viser en svak økning i konduktivitet mot 40 m, men dette skyldes trolig at sonden har gått i bunnen. Forskjellen mellom St. I-2 og I-4 tyder på at det må finnes en terskel på rundt 30 m dyp mellom bassengene. Dette ble ikke registrert ved opplodding av innsjøen, og dybdekartet (Figur 1) er antagelig misvisende her.

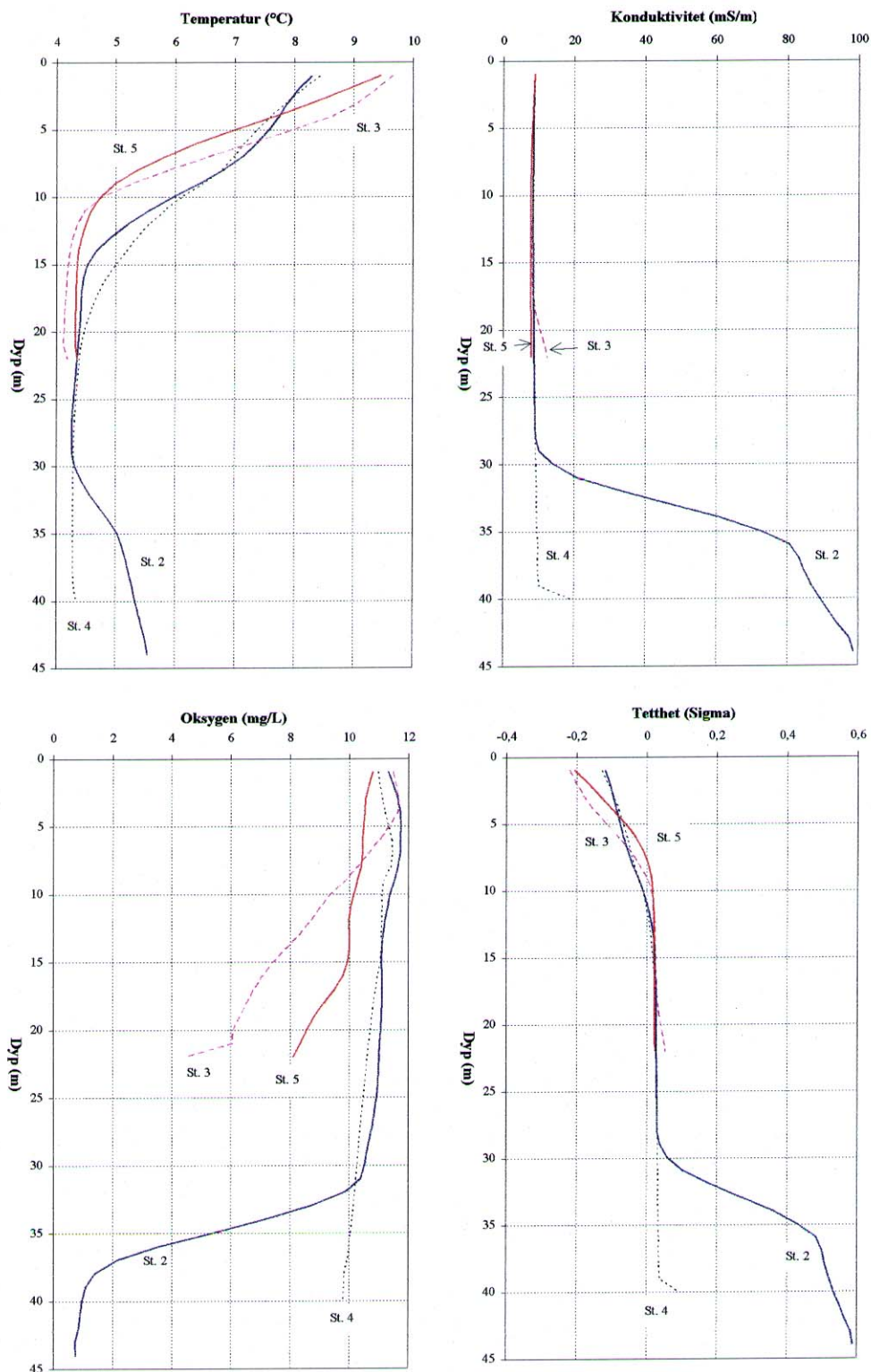
Oksygenelektroden på sonden får problemer med responstiden i svært skarpe gradienter, som på St. I-2. Verdiene i overgangssjiktet må derfor ikke leses som absoluttverdier, men som en indikasjon på hvor gradienten ligger i vertikalprofilen. Responsen mot null tar også lang tid, og derfor er kurven for St. I-2 (Figur 3) misvisende. I virkeligheten var oksygennivået null i hele bunnlaget på denne stasjonen.

4.2 Vaskerifyllingen

Avgangsmassene var i alt vesentlig ganske finknust i begge hullene som ble gravet opp. Under topplaget av jord på St. F-1 lå et lag av delvis oksidert masse med tydelig okerutfelling, og både tykkelsen og dybden av dette laget varierte. I det ytre hullet (St. F-2) lå det et mindre markert sjikt med okerutfelling like under overflaten av fyllingen. Under okerlaget virket massene nesten helt ferske (ikke oksiderte), spesielt i det innerste hullet (St. F-1). Idet hullene ble gravet opp seg det raskt vann inn, og dette indikerer at permeabiliteten i massene er stor.

Metallinnholdet i oppslutning fra massene på begge stasjoner er vist i Tabell 1. Foruten jern (Fe) og mangan (Mn), var innholdet av både kalsium (Ca), magnesium (Mg) og aluminium (Al) høyt. Av andre metaller ble det ellers påvist mindre mengder av sink (Zn), kobber (Cu), bly (Pb) og krom (Cr). Nikkel ble av tekniske grunner ikke analysert i disse prøvene.

Vannprøvene fra fyllingen viste surt vann, med lavest pH i det ytterste hullet (Tabell 2). Ledningsevnen lå høyt i forhold til Storavatnet, særlig p.g.a. av det høye sulfatinnholdet. Som ventet var mengden jern og mangan også høye. Mer overraskende var høye konsentrasjoner av magnesium og særlig kalsium, som det også må være mye av i avgangsmassene. Dette kan skyldes høyt innhold i selve malmen, eller kanskje også bruk av kalkholdige tilsetninger i flotasjonsprosessen i vaskeriet. I vannfasen fant vi også igjen flere av metallene, med unntak av krom som lå under deteksjonsgrensen. Dette gjaldt også nikkel, og bly lå meget lavt i begge prøver. Sink, kobber og arsen ble derimot påvist i høyere konsentrasjoner, og høyest i prøven fra det ytterste hullet (Tabell 2). Dette gjaldt i enda sterkere grad aluminium, som fantes i 60 ganger høyere konsentrasjon i ytterste hull. De vannkjemiske forskjeller mellom de to hullene gir uttrykk for oksidasjonsprosessene som foregår i ytre del av fyllingen, og viser klart at fyllingen har potensiale til å friggi store mengder jern og mangan og aluminium, men også enkelte tungmetaller.



Figur 3. Hydrografiske målinger fra fire stasjoner i Storavatn 3.05.96. Stasjonenes plassering er vist på Figur 1. Øverst temperatur (til venstre) og konduktivitet (til høyre). Nederst oksygeninnhold (til venstre) og tetthet (til høyre). Dataene ble registrert med en Seabird SBE 19 sonde. Se teksten for omtale av resultatene, spesielt mhp. nivået av oksygen.

Tabell 2. Kjemiske måleresultater fra vannprøver tatt i hull oppgravd i vaskerifyllingen. Stasjoner er vist på **Figur 2**. Prøven fra St. F-1 ble oppsluttet før metallanalyse pga. utfellinger etter prøvetaking.

Parameter	Enhet	St. F-1	St. F-2
pH	-	5,27	3,50
Konduktivitet	mS/m	233	257
SO ₄	mg/l	1600	1700
Cl	mg/l	7,6	11,0
Ca	mg/l	440	305
Mg	mg/l	18,9	17,3
Fe	mg/l	160	420
Mn	mg/l	25,6	36,8
Zn	µg/l	80	880
Cu	µg/l	8	60
Pb	µg/l	1	1
Cd	µg/l	<0,05	3
Al	µg/l	130	8.200
Ni	µg/l	<1	<1
Cr	µg/l	<1	<1
As	µg/l	70	150

Tabell 1. Metallinnhold i oppsluttede prøver av avgangsmasser deponert ved Litlabø. Stasjonene er vist på **Figur 2**.

Parameter	Enhet	St. F-1	St. F-2
Ca	mg/g	14,6	23,0
Mg	mg/g	8,57	6,70
Fe	mg/g	234	272
Mn	mg/g	20,9	13,9
Zn	µg/g	532	478
Cu	µg/g	78,7	111
Pb	µg/g	38,0	54,2
Cd	µg/g	1,34	0,95
Al	mg/g	14,9	13,3
Ni	µg/g	-	-
Cr	µg/g	28,1	22,6
As	µg/g	412	457

Tabell 3. Vannkjemiske analyser fra prøver tatt i strandsonen ved eksisterende fylling i Storavatn og i Kiselvo. Stasjonene er vist på **Figur 2**.

Parameter	Enhet	Kiselvo	Strand	Strand
		K-1	S-1	S-2
pH		3,75	6,30	6,34
Konduktivitet	mS/m	35,6	12,4	12,3
Alkalitet	mmol/l	0	0,129	0,109
SO ₄	mg/l	119	28	29
Cl	mg/l	7,6	10,7	10,7
Ca	mg/l	28,2	7,94	7,50
Mg	mg/l	3,10	1,48	1,45
Fe	mg/l	12,0	0,68	0,58
Mn	mg/l	2,70	0,39	0,40
Zn	µg/l	50	<5	<5
Cu	µg/l	5	<1	5
Pb	µg/l	<1	<1	<1
Cd	µg/l	<1	<1	<1
Al	µg/l	550	<50	<50
Ni	µg/l	<1	<1	<1
Cr	µg/l	<1	<1	<1
As	µg/l	<1	<1	<1

4.3 Vannkvalitet i strandsonen og i Kiselvo

Vannprøven fra Kiselvo (St. K-1) viste lav pH, høy konduktivitet, høyt innhold av sulfat, jern og mangan, dessuten av kalsium og magnesium (Tabell 3). Disse parametrene lå høyere i våre målinger enn i Noteby's måling i juni 1994 (Noteby 1994a). Aluminium lå derimot litt lavere enn i 1994 (0,55 mot 1,0 mg/l). Ellers forekom bare sink og kobber i målbare konsentrasjoner (Tabell 3).

To vannprøver fra strandsonen ved vaskerifyllingen (St. S-1 og S-2; Figur 2) viste en langt gunstigere vannkvalitet (Tabell 3). pH lå her rundt 6,3, sulfat på 28- 29 mg/l, jern under 1 mg/l og mangan rundt 0,4 mg/l. Kobber var såvidt målbart på den ene stasjonen (5 µg/l).

Kiselvo nedenfor fylkesvegen er stilleflytende, uten noe markert utløp. Langs vaskerifyllingen er det markerte utfellinger av oker i vassrenner fra fyllingen (Figur 4). Dette er et tydelig tegn på at tilførsler til elva også kommer fra selve fyllingen. Det foreligger ingen anslag for hvor mye disse tilførslene utgjør.



Figur 4. Vaskerifyllingen langs utløpsområdet for Kiselvo. Merk okerutfellinger i avrenning fra fyllingen.

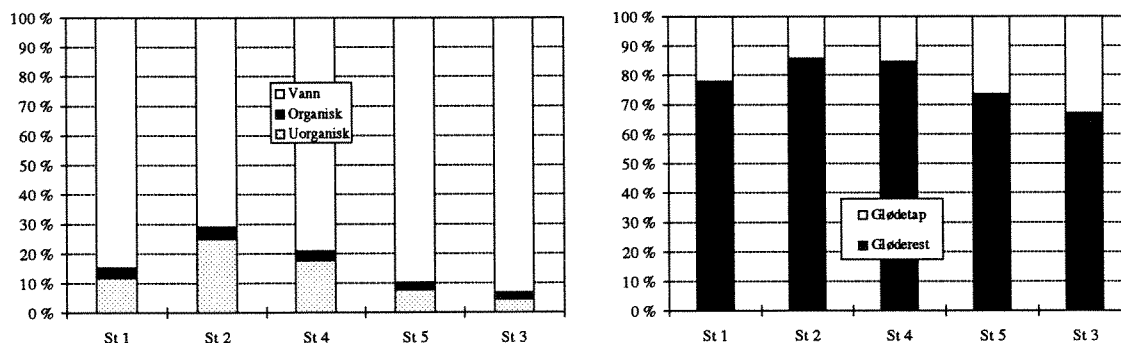
4.4 Bunnsedimenter i Storavatnet

Sedimentpropper ble tatt på de samme fem stasjoner som hydrografi og bunndyr (Figur 1). Analyse-resultater er sammenstilt i Tabell 4. Figur 5 viser sedimentenes innhold av vann, organisk og uorganisk materiale. Vanninnholdet lå lavest på St. I-2. Også St. I-1 og St. I-4 lå lavt. Dette skyldes åpenbart at det ligger betydelige avleiringer av avgangsmasser i sedimentene (Figur 8). Etter feltobservasjonene å dømme er innholdet av avgangsmasse betydelig større i sedimentene under de øvre 5 cm.

Forholdet mellom organisk og uorganisk materiale (dvs. glødetap/gløderest) i de øvre 5 cm av sedimentene er også vist i Figur 5.

Tabell 4. Analyseresultater fra sedimentprøver fra Storavatn. Prøvene representerer de øverste 5 cm av sedimentet. Stasjonene er vist på Figur 1. Verdiene for metaller representerer innhold etter oppslutning i salpetersyre.

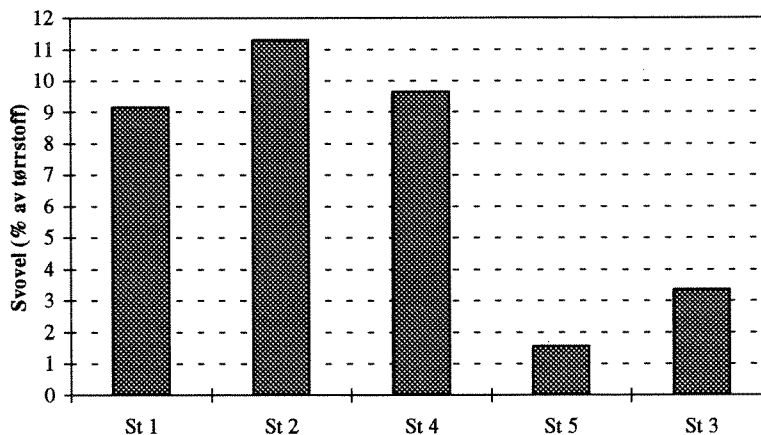
Parameter	Enhet	St. I-1	St. I-2	St. I-4	St. I-5	St. I-3
		25 m	46 m	44 m	25 m	25 m
Tørrstoff	g/kg	152	290	209	103	67,4
Gløderest	g/kg	779	858	846	737	672
	tørrstoff					
Svovel	% av tørrstoff	9,15	11,3	9,64	1,54	3,35
Ca	mg/g	6,52	7,04	4,29	4,57	5,72
Mg	µg/g	7,17	7,88	8,59	5,61	3,67
Fe	mg/g	258	292	267	242	299
Mn	mg/g	6,33	8,05	3,80	2,48	2,84
Zn	µg/g	353	590	469	456	729
Cu	µg/g	116	167	142	102	158
Pb	µg/g	77,0	66,9	71,9	93,7	114,0
Cd	µg/g	0,65	1,58	1,33	1,38	2,48
Al	mg/g	24,6	22,6	21,8	22,4	26,4
Ni	µg/g	-	-	-	-	-
Cr	µg/g	40,6	44,0	41,5	46,7	51,0
As	µg/g	433	484	427	190	170



Figur 5. Sammensetning av de øverste 5 cm i sedimentprøver fra Storavatn. Til venstre forholdet mellom vanninnhold og tørrstoff; til høyre sammensetning av tørrstoff i sedimentene. Stasjonene (I-1 - I-5) er vist på Figur 1.

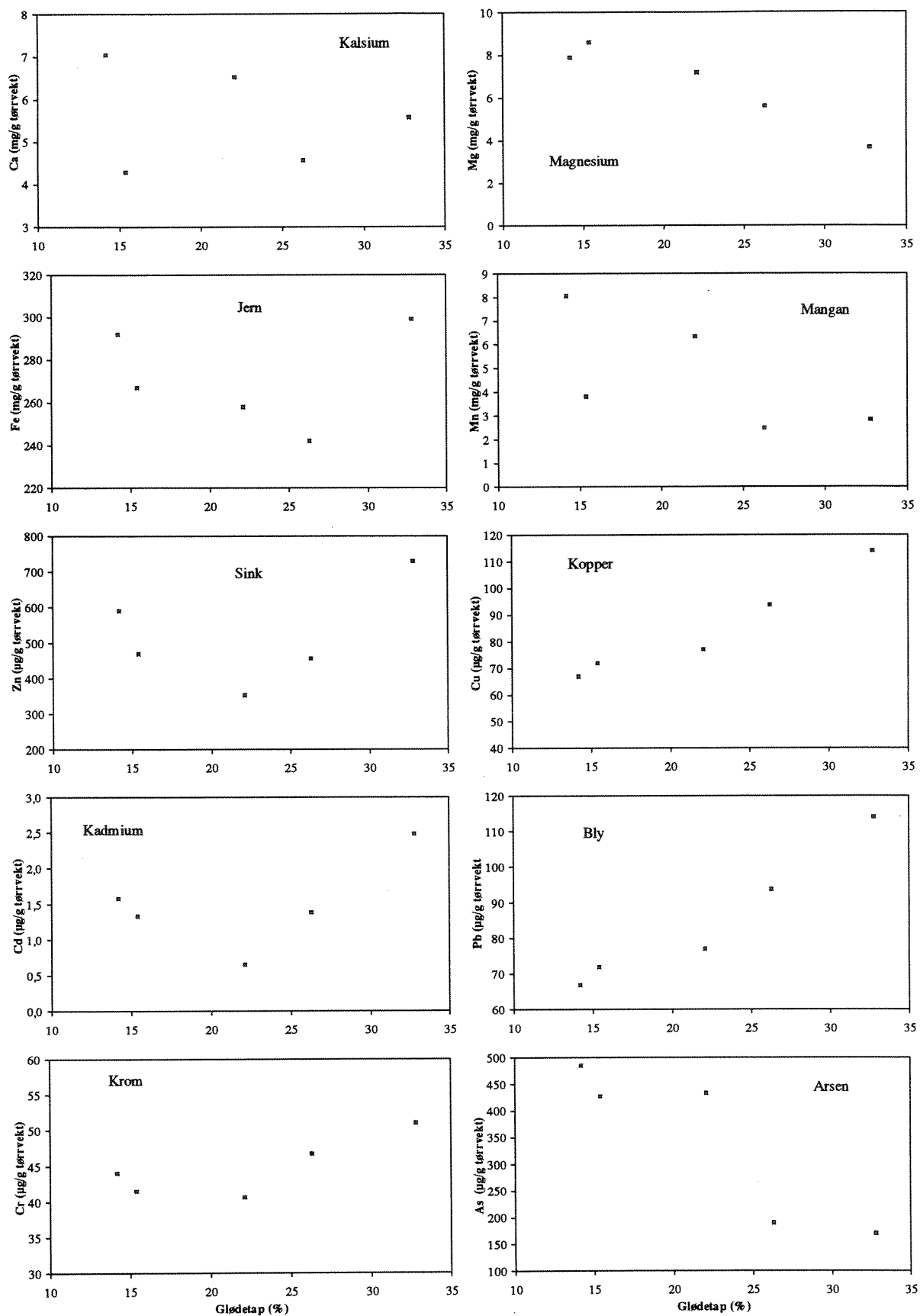
Glødetap representerer organisk innhold i sedimentet (vi ser her bort fra tap av uorganiske oksider. Glødetapet (Figur 5) varierte fra 32,8 % (av tørrstoff) på St. I-3 til bare 14,2 % på St. I-2. Dette gjenspeiler også et høyt innhold av uorganisk materiale på St. I-1, I-2 og I-4. Generelt sett lå glødetapet lavere enn man skulle vente i en innsjø som Storavatn. I kystnære innsjøer fant f. eks. Larsen m.fl. (1996) verdier på 40 - 70% glødetap.

Avgangsmasser var tilstede i alle sedimentproppene, men i langt mindre mengder i de to perifere bassengene der St. I-3 og St. I-5 ligger. Dette gjenspeiles tydelig i innholdet av svovel (Figur 6), der de perifere bassengene skiller seg klart ut. Men også sedimentprøvene fra disse stasjonene ligger høyere enn antatt bakgrunnsverdi, som trolig er godt under 1 % av tørrstoffet (Larsen m.fl. 1996).



Figur 6. Svovelinnhold i sedimentprøver fra Storavatn. Innholdet er vist som % av tørrstoff, og representerer de øverste 5 cm av sedimentet. Stasjonene er vist på **Figur 1**.

Innholdet av metaller i oppløst sediment er også vist i Tabell 2. Mengden oppløst kalsium lå vesentlig lavere i sedimentene (4,2 - 6,5 mg/g) enn i fyllingen (14,6 - 23 mg/g), mens verdiene for magnesium bare lå litt lavere enn i fyllingen. For magnesium var det en klar gradient med høyeste verdier i det nordlige og det sentrale bassenget (7,2 - 8,6 mg/g), og noe lavere i de perifere (3,7 - 5,6 mg/g). For kalsium var verdiene høyest i det nordlige bassenget. For jern var verdiene ganske like på alle stasjoner (242 - 299 mg/g), og den oppløstbare mengden lå like høyt som i avgangsmassene i fyllingen. Mangan lå derimot lavere enn i fyllingen (2,5 - 8,0 mg/g mot 13,9 - 20,9 mg/g), med laveste verdier i de perifere bassengene.



Figur 7. Innhold av ulike metaller i sedimenter fra Storavatn plottet mot glødetap (organisk innhold).

Figur 8. Sedimentpropp fra St. I-4 i Storavatn. Nederst et sort lag trolig fra før gruvedriften, ovenfor et grålig lag med nesten rene avgangsmasser. Midt i dette laget ligger varvete okerutfellinger. Øverst et brunlig lag med utfelt jern og mer organisk materiale. Proppens lengde er ca. 43 cm.



Oppsluttbart aluminium lå høyere i sedimentene enn i fyllingen, med verdier på 21,8 - 26,4 mg/g (13,9 - 14,9 mg/g i fyllingen). Mengden var nokså lik på alle stasjoner. For de andre metallene synes mengdene å variere dels med mengden avgangsmasse, og dels med organisk innhold. Figur 7 viser de ulike metallene plottet mot glødetap. For kobber og bly økte mengden med økende organisk innhold, mens for magnesium, mangan og arsen var forholdet motsatt. Også jerninnholdet så ut til å avta med økende organisk innhold, med unntak for St. I-5 som hadde mest organisk materiale (Figur 7). Her var jernmengden anrikt i forhold til andre stasjoner.

For mange elementer var den oppsluttbare mengden i innsjøsedimentene like høy eller høyere enn i selve avgangsmassene. Dette gjelder magnesium, jern, sink, kobber, bly, kadmium, aluminium, krom og arsen. Bly, aluminium og krom lå faktisk klart høyere i sedimentene (jfr. Tabell 1 og Tabell 4). Derimot var mengden av mangan klart lavere i sedimentene. Reservoaret av metallholdige masser i Storavatn er dermed langt større enn den synlige fyllingen i Kvednavikjo.

4.5 Vannkvalitet i Storavatnet

I overflaten av Storavatnet var vannkvaliteten ganske lik på alle stasjoner (Tabell 5). Kalsium, magnesium, jern og mangan lå jevnt høyt. Verdiene for jern og mangan var mange ganger høyere enn antatt naturtilstand. Svovelmengden (ca. 25 mg/l SO₄) var også markert forhøyet. En tidligere måling ovenfor Jappaløken viste 4,2 mg/l SO₄ (Noteby 1994a), og gir en antydning om bakgrunnsnivået (ca. 1/6 av nivået i Storavatn). Selv om svoveltilførselen fra gruveområdet i seg selv kunne hatt dramatiske forsureffekter, bufres dette ved at kalsium og magnesium også tilføres. Målingene av alkalitet i overflatevannet (Tabell 5) viser at det fortsatt er betydelig bufferkapasitet etter vestnorske forhold.

For andre metaller målte vi bare lave konsentrasjoner (Tabell 5).

Det ble påvist mindre forskjeller mellom stasjonene også i overflaten (Tabell 5). Både jern, mangan og svovel lå litt lavere på de perifere stasjonene (St. I-5 og særlig St. I-3). Dette gjenspeiler trolig naturlig fortynning med vann tilført fra andre kilder. Tilsvarende forskjell var mindre markert for kalsium og magnesium.

Generelt sett viser resultatene jevnt god vannkvalitet med god pH (6,4 - 6,6) og lave tungmetall-konsentrasjoner i overflatevannet på alle stasjoner (Tabell 5).

Tabell 5. Vannkjemiske måleresultater fra fem stasjoner i Storavatnet 3.05.96. Stasjonene er vist på **Figur 1**. På hver stasjon er det tatt prøver i overflaten og like over bunnen. I tabellen er verdiene fra overflateprøvene vist til venstre, og fra bunnvannet til høyre.

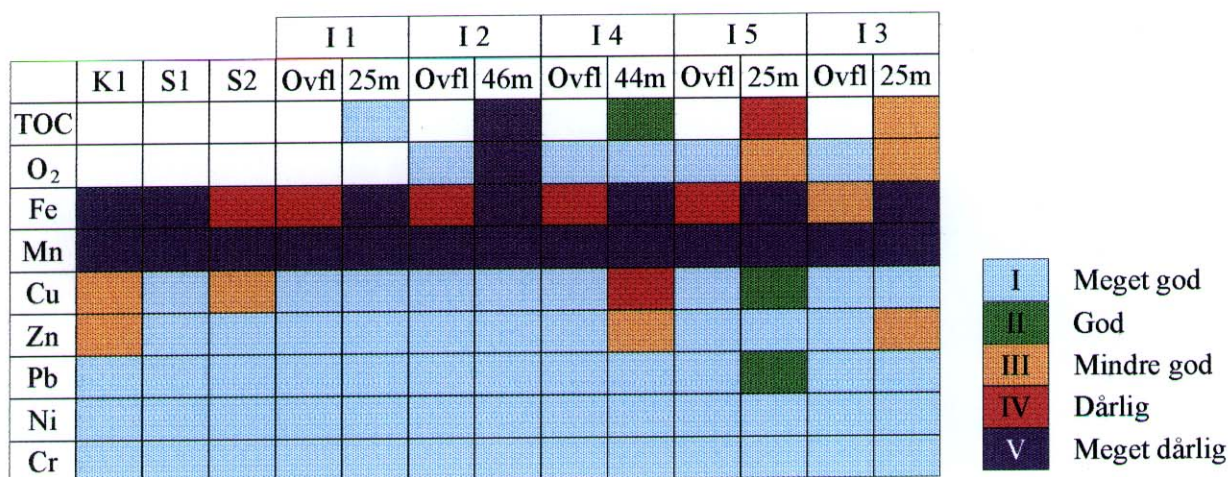
Parameter	Enhet	St. I-1	St. I-2	St. I-4	St. I-5	St. I-3	St. I-1	St. I-2	St. I-4	St. I-5	St. I-3
		Ovfl.	Ovfl.	Ovfl.	Ovfl.	Ovfl.	25 m	46 m	44 m	25 m	25 m
pH		6,43	6,46	6,47	6,59	6,62	6,14	5,59	6,23	6,31	6,63
Konduktivitet	mS/m	12,0	11,9	11,9	10,7	11,3	14,8	131	18,5	12,6	22
Alkalitet	mmol/l	0,132	0,134	0,133	0,138	0,170	-	-	-	-	-
SO ₄	mg/l	27	26	26	25	23	37	680	53	26	51
Cl	mg/l	10,7	11,1	10,7	10,9	10,5	10,7	31,6	12,2	12,0	12,6
TOC	mg/l	-	-	-	-	-	2,4	28,1	2,8	8,0	3,6
Ca	mg/l	6,90	7,66	7,40	6,72	6,80	9,90	165	14,3	7,08	14,1
Mg	mg/l	1,40	1,46	1,50	1,41	1,31	1,70	18,7	2,20	1,56	2,20
Fe	mg/l	0,48	0,47	0,50	0,40	0,25	0,86	120	1,20	0,67	2,30
Mn	mg/l	0,32	0,30	0,32	0,29	0,20	0,61	10,5	1,35	0,88	7,14
Zn	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	38	<5	49
Cu	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	24	3	<1
Pb	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1
Cd	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Al	µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	70	<50
Ni	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cr	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
As	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Analyseresultatene fra bunnvannet (Tabell 5) var mer ulike innbyrdes. Dette har sammenheng med at stasjonene hadde ulik dybde, og særlig at det var stagnerende bunnvann på St. I-2. Her var bunnvannet oksygenfritt, og sammen med reduserende forhold fulgte et langt høyere innhold av ioner (Tabell 5). Analysene viste her høye verdier av sulfat, klorid, kalsium, magnesium, jern og mangan. Av disse er det bare klorid som ikke direkte kan tilskrives gruveavgangen. Videre lå pH (5,59) lavere enn på andre stasjoner, og innholdet av organisk karbon vesentlig høyere (28 mg C/l). Både de hydrografiske målingene og vannkjemien tyder på at dette dypvannet ikke har vært med i sirkulasjonen våren 1996, og det er sannsynlig at det har stagnert over lengre tid (flere år).

Bortsett fra jern og mangan forekom andre metaller i små mengder i bunnvannet. Stasjon I-4 skilte seg her ut med påvisbare mengder av sink og kobber (Tabell 5). Den høyeste konsentrasjonen av sink (49 µg/l) ble imidlertid funnet på 25 m dyp på St. I-3. De målte verdiene er ikke spesielt høye. Det ser ikke ut til at de anoksiske forholdene på St. 2 har gitt seg utslag i utløsning av andre metaller enn jern og mangan. Bly, kadmium, nikkel, krom og arsen lå alle på eller under deteksjonsgrensen (Tabell 5). Et generelt inntrykk er at vannkvaliteten er tilstrekkelig bufret mot lav pH og dermed utløsning av metaller, og at noen metaller bindes til organisk materiale og forblir i sedimentet. Felling av metaller som sulfid

er også en mulig mekanisme som kan binde metallene i sedimentet. Det oksygenfrie bunnvannet hindrer også fortsatt oksidasjon av sulfidholdige sedimenter.

Den påvisbare forurensningen av vannmassene i overflaten er altså forhøyete konsentrasjoner av sulfat, jern og mangan, sammen med kalsium og magnesium. En sammenfatning av vannkvalitet vurdert etter SFT's system er vist i Figur 9.



Figur 9. Klassifisering av vannkvalitet ved Litlabø og i Storavatn etter SFT (1992 og revisjon i trykken) basert på prøver tatt 3.05.96. Hver kolonne angir tilstandsklasse for ulike parametre på én stasjon, som angitt øverst i kolonnen. Parametrene er gitt i venstre kolonne. Fargekoder for tilstandsklassene er vist nederst. Stasjonene er vist på Figur 1 og 2. For kadmium (Cd) var deteksjonsgrensen for høy til at klassifisering kunne gjøres, og for arsen (As) foreligger ikke klassifikasjonskriterier.

4.6 Vassdragets bunnfauna

Studier av vassdragets bunndyrsamfunn er mye brukt for å karakterisere helsetilstand i et vassdrag og graden av avvik fra vassdragets forventede naturtilstand. Ved denne undersøkelsen hadde vi få enkeltprøver som beskrev den fysisk-kjemiske vannkvaliteten. Det ble derfor viktig å få supplert denne informasjonen med data om bunndyrsamfunnenes variasjon og mengdemessige oppbygning. Vi ville derved få frem et integrert bilde av tilstanden i Storavatnet og Kiselvo for en periode som strekker seg 1/2 til 1 år tilbake i tid før selve prøvetakingstidspunktet.

Resultatene fra bearbeidelsen av bunndyrmaterialet er stilt sammen i Tabell 6. Materialet representerer forholdene i Kiselvo like før den renner ut i Storavatnet, og tilstanden i strandsonen like utenfor vaskerifyllingen (se Figur 2), samt på et utvalg av prøvestasjoner i selve Storavatnet (se Figur 1). Med unntak for strandsonen ved vaskerifyllingen viser materialet at bunndyrfaunen er meget fattig. Svært få bunndyrgrupper var representert i materialet, og bunndyrtettheten var meget lav. På tre av stasjonene ble det overhodet ikke funnet bunndyr i prøvene.

Tabell 6. Resultater fra bunndyrprøver fra Kiselvo og i Storavatnet 3.05.96. For St. K-1 (Kiselvo) og St. S-1 (strandsonen ved vaskerifyllingen) viser tabellen antall dyr pr. 3 minutters roteprøve, mens for sedimentprøvene (St. I-1 - I-5) er det gitt antall dyr i 3 grabbskudd pr stasjon. Stasjonene er vist på Figur 1 og 2.

Dyregruppe	Stasjon og dyp for prøvetaking						
	K 1	S 1	I 1	I 2	I 3	I 4	I 5
	-	-	24 m	46 m	22 m	40 m	22 m
Rundmark		3					
Børstemark	1	9			3		1
Muslinger		1					
Døgnfluer		3					
Vårfluer uten hus		1					
Fjærmygglarver	1	27					2
Sviknott		14					
SUM	2	58	0	0	3	0	3
Antall dyregrupper	2	7	0	0	1	0	2

Kiselvo (St. K-1) var på tross av gode strømforhold og et variert substrat nesten helt uten bunndyr. To grupper var representert i materialet, og da med arter som er meget tolerante for denne type miljøpåvirkning. Foruten surt vann og tildels høye metallverdier er det den pågående utfellingen av treverdig jernhydroksid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) og dannelsen av det markerte gulbrune okerbelegget i Kiselvo som virker ødeleggende. Dette virker kvelende på det dyrelivet som ellers ville kunne ha etablert seg i denne elven. Den lave produksjonen av bunndyr gir her ikke noe tilskudd til næringsgrunnlaget for fisken i Storavatnet. Normalt ville Kiselvo ha vært et viktig produksjons- og oppvekstområde for fisken i innsjøen.

Strandsonen utenfor vaskerifyllingen (St. S-1) hadde den rikeste bunnfaunaen av de prøvetatte stasjonene. Det ble her registrert 7 ulike grupper av bunndyr i prøvene (Tabell 6), men tettheten synes å være lav i forhold til det arealet som ble prøvetatt. I tillegg ble det også observert stingsild. Substratet bestod av finknust vaskeriavgang med innslag av andre fyllmasser. Vind og strøm fører til en stadig utskiftning av vannmassene i strandsonen. Dette vil vaske bort okerutfellinger, og gir god fortykning av eventuelle tilsig av syre og giftige tungmetaller fra oksidasjonsprosesser inne i deponiet. Det er mulig at tilsig av forurenset grunnvann fra vaskerifyllingen vesentlig tilføres innsjøen på et større dyp, og dette vil i så fall skjerme dyrelivet i strandkanten.

På St. I-1 og I-2 i det nordlige bassenget fant vi ingen dyr i prøvene, slik at bunndyrsamfunnet i hele dette bassenget synes ødelagt under strandsonen. Trolig er vannet like over substratet og i selve bunnsdimentet så giftig i perioder at ingen av de vanlige dyregruppene overlever her. Anoksiske forhold i og over substratet, perioder med dannelse av hydrogensulfid og/eller høye konsentrasjoner av tungmetaller i sedimentets porevann kan være nærliggende årsaker til at store deler av dette bassenget er uten noen bunndyrproduksjon. På stasjon I-4 i det sentrale bassenget ble det heller ikke funnet noen bunndyr i sedimentprøvene.

Det vestre bassenget like før utløpet av Storavatnet (representert ved St. I-3) er skjermet fra hovedbassenget med grunne terskler og mindre bassenger. En ville anta at dette skulle fungere som sedimentasjonsfeller i den perioden hvor deponeringen av vaskeriavfall foregikk. Prøvedypet var 22 m. I grabbprøven var bunnfaunaen her representert med kun 3 individer av en fåbørstemark. Sedimentet har også på denne stasjonen et markert innslag av avgangsmateriale.

St. I-5 ble lagt i det østligste bassenget lengst vekk fra deponeringsområdet, og det var meningen at denne stasjonen skulle fungere som en upåvirket referansestasjon. Men også her viste sedimentprøvene en meget fattig bunnfauna. Totalt to dyregrupper ble registrert på denne stasjonen, og det er representanter for de gruppene i bunndyrsamfunnet som er mest tolerante for denne type påvirkning. Individene som ble funnet var sterkt røde på farge på grunn av respirasjonspigmentet hemoglobin som letter oksygenopptaket ved lave oksygenkonsentrasjoner.

Som konklusjon på undersøkelsene av bunnfaunaen i Storavatnet kan vi si at innsjøen er meget sterkt påvirket fra tidligere tiders gruvedrift og oppredning av svovelkis. Innsjøens evne til selvrensing (omsetning av organisk materiale) er betydelig påvirket og bunndyrproduksjonen er i dag helt borte fra store deler av bunnområdene. Dette påvirker sterkt de økologiske forholdene i Storavatn og begrenser meget sterkt næringsgrunnet for innsjøens fiskeproduksjon.

Det er trolig flere årsaker til de resultatene som her er beskrevet. Oksygenvinn og utvikling av hydrogensulfid i vannmassene nær bunnen er nok i perioder en medvirkende årsak, men også de fysiske-kjemiske forholdene i de øvre sedimentlag må være en viktig årsak til at bunnfaunaen totalt er slått ut i store deler av innsjøens dypområder. Det er imidlertid viktig å presisere at også oksygenvinnet i stor grad må tilskrives forurensning fra gruveaktiviteten. Hvor viktige faktorene nevnt over er, kan bare avgjøres med mer detaljerte studier basert på sedimentprøver fra dypområdene. I et slikt testoppsett vil det være mulig å studere utlekking av giftige komponenter fra sedimentet, og hvordan aktuelle testorganismer (som en normalt ville vente å finne i denne innsjøen) utvikler seg og overlever i og på sedimentet. Et testopplegg som skissert over er gjennomført med sedimenter fra andre gruveresipienter for å studere slike forhold i detalj (Aanes 1996).

Et viktig moment er også hvor store deler av Storavatns bunnområder som er uten bunndyrproduksjon. Kartlegging av dette krever et mer omfattende prøvetakingsopplegg, basert på gradienter fra strandsonen ut mot dypområdene i innsjøen i alle bassengene. Det vil da være mulig å påvise ved hvilket dyp effektene på bunndyrsamfunnet begynner å gjøre seg gjeldende, og omfanget av skadene i innsjøen.

5. Diskusjon

5.1 Endringer over tid

Den generelt gode vannkvaliteten og lave konsentrasjoner av tungmetaller i overflaten stemmer godt overens med tidligere målinger fra utløpet av Storavatn (Iversen & Arnesen 1990; Iversen 1994). En oversikt over disse målingene sammenlignet med resultatene fra St. I-3 i denne undersøkelsen ser slik ut:

	pH	Kond	SO ₄	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb
Dato	-	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
25.09.87	6,62	13,1	38,2	13,3	1,52	21	170	-	0,8	10	<0,10		
14.10.92	6,97	11,6	26,0	11,5	1,39	-	119	198	1,1	6,5	0,07	1,4	0,57
03.05.96	6,62	11,3	23,0	6,80	1,31	<50	250	200	<1	<5	<1	<1	<1

Ved målinger i 1987 og 1992 lå kalsium, magnesium og sink høyere enn i 1996. En tilsvarende reduksjon over tid er ikke synlig for andre metaller. Jern og mangan synes ikke å vise noen synkende trend, mens sulfatmengden var betydelig høyere i 1987 enn i 1992 og 1996.

Overløpet fra nedre synk er prøvetatt ved flere anledninger (Iversen & Arnesen 1990; Iversen 1994; Noteby 1994a), og resultatene er sammenfattet nedenfor:

	pH	Kond	SO ₄	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb
Dato	-	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
15.02.89	5,74	233	1430	398	29,2	1040	158	-	19,6	380	-	-	-
14.10.92	5,98	198	1300	415	26,7	240	119	27,9	<50	290	<30	<50	<50
29.06.94	6,39	230	455	-	26,5	130	103	26,0	<1	140	0,39	18	<1

Avrenningen fra denne synken er altså ikke særlig sur i utgangspunktet, og innholdet av sulfat og aluminium viser tydelig reduksjon. I mindre grad gjelder dette også jern og sink, mens det ikke er mulig å konkludere for mangan. Kalsium- og magnesiuminnholdet ser ut til å ha forandret seg lite. Avrenningen fra øvre synk var derimot stadig svært sur i 1994 (Noteby 1994a), med pH rundt 3,0 og 1600 mg/l sulfat. Aluminium, jern, mangan, kobber og sink lå langt høyere enn ved nedre synk, og situasjonen syntes uforandret i forhold til 1992 (Noteby 1994a). Årsaken til forskjellen mellom synkene er ikke klar. Det er imidlertid å verdt å merke seg at i selve Kiselvo nedenfor nedre synk var surhetsgraden langt verre (pH 3,75) ved vår befaring enn i 1994. Det er sannsynlig at vannet fra nedre synk er oksygenfritt, og produserer svovelsyre og treverdige jern ved tilgang på oksygen. Selv om det kan spores en positiv utvikling for noen parametre ved nedre synk, må vi regne med at avrenningen fra synkene forblir forurenset i mange år framover.

5.2 Det stagnerende bunnlaget i Storavatn

Det er usikkert hvor stabil forurensningssituasjonen i dypvannet i Storavatn er, siden det ikke finnes data fra tidligere undersøkelser vi kan sammenligne med. Det synes klart at bunnvannet i nordre basseng utenfor vaskerifyllingen har stagnert over lengre tid, og har ikke blitt med i vårsirkulasjonen 1996. Sannsynligvis har det stagnert over en periode på flere år, kanskje tiår. Akkumulering av tungt vann med mye jern, mangan og svovel kan skyldes både sedimentasjon av tilførsler med Kiselvo og utlekking fra vaskerifyllingen. Et vesentlig moment vil være å få avklart i hvor stor grad dette bunnvannet påvirker vannkjemien i overflaten under sirkulasjonsperiodene vår og høst, og om bunnvannet i dette bassenget noen gang blir oksygenert. Det bør tas nye hydrografiske profiler og vannprøver ved ulike tidspunkt gjennom en årssyklus for å belyse dette momentet.

Det oksygenfrie bunnvannet kan ha en isolerende effekt i forhold til de underliggende sedimenter, ved at det hindrer videre oksidasjon av sulfider, og derved immobiliserer tungmetaller. Kobber og sink ble påvist i oksygenholdig bunnvann på flere av de andre stasjonene (Tabell 5), men ikke i det stagnerende og oksygenfrie bunnvannet. Oksygenprofilene fra de perifere bassengene tyder på et visst oksygenforbruk i vannmassene (Figur 3), og det er ikke utelukket at oksygenvinn kan opptre mot slutten av stagnasjonsperiodene sommer og vinter også i disse bassengene. I det vestre bassenget ble det imidlertid ikke funnet oksygenvinn høsten 1989 (Kambestad & Johnsen 1989). Av særlig betydning er forholdene i det sentrale bassenget. Her kan det tenkes at både overløp fra nordre basseng og vannmassens eget oksygenforbruk kan bidra til oksygenvinn.

En bedre forståelse av stabilitet og endringer i de hydrografiske og vannkjemiske forhold er nødvendig for å vurdere betydningen av stagnerende vann i bunnområdene av Storavatn. Det er også behov for flere målinger av metallinnhold i bunnvannet for å vurdere omfanget av utløsning av metaller fra sedimentene.

5.3 Hva er naturlige bakgrunnsverdier?

Prøvetakingen av sedimentene omfattet bare de øvre 5 cm. Vi burde også ha analysert metallinnholdet i dypere deler av sedimentet, for å sikrere kunne etablere det naturlige bakgrunnsnivået. Vår intensjon var å bruke St. I-5 i et perifert basseng som referansestasjon. Resultatene viste imidlertid at hele bassenget er påvirket av avgangsmasser, og det er derfor langt vanskeligere å etablere bakgrunnsverdier for forurensningen. I eventuelle oppfølgende undersøkelser bør dette kompenseres, f. eks. ved å ta prøver i en annen innsjø i området.

Sedimentenes innhold av ulike elementer varierer betydelig mellom innsjøer, og avhenger av mange faktorer. En analyse av en del av faktorene basert på innsjøer i Hordaland er nylig gjennomført av Larsen m.fl (1996), og landsomfattende data på enkelte tungmetaller er analysert av Rognerud & Fjeld (1990). Blant flere faktorer peker Larsen m.fl (1996) særlig på at berggrunnens sammensetning, innholdet av organisk materiale og avstand fra kysten betyr mye. Det er likevel klart at det forekommer mye variasjon som disse faktorene ikke forklarer tilfredsstillende. En oversikt over middelkonsentrasjoner fra sedimentoverflaten basert på Larsen m.fl. (1996) er vist Tabell 7. For Storavatnets del må det pekes på at områdets kisholdige bergarter også kan tenkes å ha påvirket sedimentene før gruvedriften tok til, og at bakgrunnsverdiene som er antatt derfor er satt i laveste laget.

Sammenholder vi de anslåtte bakgrunnsverdiene i Tabell 7 med måleresultatene fra sedimenter i Storavatn (Tabell 4), vil det gå fram at svovel, magnesium, jern, mangan, sink og kobber ligger høyere enn antatt bakgrunnsintervall. Kalsium, aluminium og krom ligger nær antatt bakgrunn, mens bly faktisk ligger vesentlig lavere. Noen nærmere angivelse av forurensningsgrad kan ikke forsvares uten analyse av materiale representativt for naturlig bakgrunn i Storavatn. I denne sammenligningen må vi være klar over analysemetodene til Larsen m.fl. (1996) var forskjellige fra våre, og at data fra Storavatn er basert på oppslutning med salpetersyre som ikke gir fullstendig oppløsning av elementene vi har analysert.

For vannanalyser er det enkelt å klassifisere vannkvaliteten basert på SFT's system. Men igjen er det vanskelig å etablere noen faste grenser for naturtilstand i Storavatnet. For sulfat antyder målinger ovenfor gruvefeltet på en bakgrunnsverdi rundt 4 mg/l. Jern ligger normalt godt under 50 µg/l og mangan under 20 µg/l, som er SFT's grenseverdier for tilstandsklasse I. Generelt vil avvik fra tilstandsklasse I indikere forurensning, muligens med unntak for oksygeninnhold i dypvannet. Det kan ikke utelukkes at oksygenmengdene har vært lave nær bunnen også under naturlige forhold.

Tabell 7. Middelerverdier for innhold av ulike elementer i den øverste delen av innsjøsedimenter fra 29 innsjøer i Hordaland (vekt pr g tørrvekt) etter Larsen m.fl. (1996). For elementer merket med * gjelder tallene vekt pr. g gløderest. Effektene av organisk materiale og avstand fra kysten er angitt slik: + -positiv sammenheng (elementet øker med økende verdi av faktoren); (+) -svakt positiv sammenheng; 0 - ingen klar sammenheng; - -negativ sammenheng (elementet minsker med økende verdi av faktoren). Tallene er basert på materiale innsamlet i 1989. Kolonnen 'Antatt intervall' angir aktuelle parameterverdier for kystnære innsjøer, uavhengig av organisk innhold og berggrunn.

Element	Middel konsentrasjon	Antatt intervall	Enhet	Organisk materiale	Avstand fra kysten
Ca	-	2-7	mg/g	0	0
Mg	-	1,7-2,6	mg/g	0	+
Fe	54	15-100	mg/g	-	+
Mn	1,04	-	mg/g	-	+
Al	39	-	mg/g	-	+
Cu	57	-	µg/g	-	0
Zn	182	75-280	µg/g	0	0
Cd	2,9	1,5-3,0	µg/g	-	(+)
Cr	85	30-50	µg/g	-	+
Ni	43	15-25	µg/g	-	(+)
Pb	196	200-400*	µg/g	0	0
S	4,6	-	mg/g	+	-

5.4 Massetransport med Kiselvo

Tidligere beregning av massetransport med Kiselvo til Storavatn er basert på tall for vannføring og konsentrasjoner av elementer (Noteby 1996). Konsentrasjonene ble målt én gang i 1994. Forskjellen mellom målingene på St. K-1 i 1994 og 1996 viser at vannkvaliteten i denne delen av elva er labil (pH fra 3,75 - 6,31). Dette betyr at det trengs flere målinger over tid for å kunne beregne massetransporten med noen grad av sikkerhet. Vi fant f. eks. nesten dobbelt så høy konsentrasjon av mangan i 1996 som i 1994, og også sulfat, jern, sink, og magnesium lå høyere i 1996.

Volumet av bunnvann under 30 m i nordre baseng utgjør omtrent 1,8 mill. m³ (foreløpig beregning basert på opplodning fra 1994). Konsentrasjonene som ble målt på St. I-2 (Tabell 5) tyder på at dette bunnvannet utgjør et reservoir på over 200 tonn jern (i alt vesentlig toverdige) og nesten 20 tonn mangan. Dette er metaller oppløst i vannet, i tillegg kommer det som er bundet i sedimentene. For tungmetaller viste den samme prøven lave verdier, og hvis vi setter kobber og sink til hhv. 1 og 5 µg/l får vi under 2 kg løst kobber og nesten 10 kg løst sink i dette bunnvannet. Disse anslagene er usikre - på St. I-4 (hvor vannet ikke var oksygenfritt) ble det målt 38 µg sink og 24 µg kobber pr. liter.

Dersom dagens transport med Kiselvo fanges opp ved synkene og føres ut i Storavatnet, vil dette bidra vesentlig til å øke mengden av elementene nevnt over dersom de slippes under 30 m dyp i det nordre bassenget. En vannmengde på 10 l/s utgjør over 315.000 m³ · år⁻¹, dvs. rundt 17% av dagens stagnerende bunnvann. Jernmengden tilsvarer 26%, og manganmengden 46% økning pr. år i forhold til anslått mengde i bunnvannet. For sink og kobber blir denne vurderingen mer usikker, men dersom de lave konsentrasjonene målt i bunnvannet er representative, vil mengden mangedobles. Det vil være svært uheldig å øke volumet av stagnerende vann, siden dette trolig holdes i det nordre bassenget av en terskel på 30 m eller mindre, og et økt volum vil kunne medføre at bunnvannet renner over denne og videre ut i det sentrale bassenget. Selv om bunnsjiktet synes stabilt (tyngre enn vannet over), representerer det en fare for Storavatnet dersom det blandes opp i vannmassen over, f.eks. ved ekstrem vind kombinert med

kaldt vann over. Innblanding av vann fra synkene vil trolig gjøre bunnvannet lettere, og dermed mindre stabilt mot oppblanding i ovenforliggende sjikt.

Det er videre klart at vannet som føres ut i ledning vil representere et øket oksygenforbruk i Storavatnet, og dagens situasjon med stagnerende bunnvann tyder på at oksygenbehovet allerede kan være større enn oksygentilgangen. Det er nødvendig med flere hydrografiske målinger til andre årstider for å vurdere dette nærmere. Gruvevannet blir i dag luftet ut i Kiselvo, og dette reduserer belastningen på Storavatn.

Storavatnet som fiskebiotop er langt viktigere enn Kiselvo, og det foreligger heller ikke noe behov for økt rekruttering til Storavatnets fiskebestander. Det synes usikkert om det ambisiøse miljømål som er satt for Kiselvo er innen rekkevidde selv om de foreslåtte tiltak gjennomføres, fordi annen avrenning fra gruveområdet og fra vaskerifyllingen vil fortsette å forurense elva. I dette perspektivet finner vi det vanskelig å tilrå at avrenningen fra synkene føres ut i Storavatnet.

6. Vurdering og anbefalinger

6.1 Tilstand i Storavatnet

Det er ingen tvil om at Storavatnet er kraftig påvirket av gruveaktiviteten på Litlabø. Dagens vannkvalitet i innsjøen viser tydelig forhøyet innhold av jern, mangan og svovel (sulfat). Avgangsmassenes betydelige innhold av kalsium og magnesium synes å kompensere forsuring som følge av oksidasjon av svovel. Det kan også tenkes at andre tilløp bidrar til god bufferevne i Storavatn. Avrenningen som når Storavatnet via Kiselvo er fortsatt sur i alle fall i noen perioder, men det ser ut til at dette har liten betydning for surhetsgraden i innsjøen. Resultatene bekrefter også at andre tungmetaller i liten grad preger innsjøens overflatevann.

Innsjøens bunnområder er nesten livløse og sterkt preget av tidligere avsatte avgangsmasser, og dette representerer et stort reservoar av både metaller og svovel. Målingene i det oksygenfrie bunnvannet tyder ikke på at de sedimenterte massene avgir store mengder tungmetaller, mens mengdene av jern, mangan og svovel var mange ganger høyere enn i overflatevannet. Det er ikke ønskelig å få dette vannet blandet opp i vannmassene, og heller ikke å øke omfanget av stagnerende bunnvann. Oksygenforbruket i Storavatnet bør derfor ikke økes, snarere reduseres.

Det bør foretas målinger av metallinnhold i vevsprøver av fisk i Storavatn, evt. også i andre organismer som er byttedyr for fisken. Dette aspektet mangler helt i resipientvurderingen, men siden fiskeinteresser (både fritidsfiske og oppdrett) er av stor betydning bør dette elementet tas hensyn til ved vurdering av hvilke inngrep som kan gjennomføres.

6.2 Avrenning fra synkene

Å føre avrenningen fra gruvesynkene ut på dypt vann representerer en økning i oksygenforbruket i Storavatn. Selv om transport av metaller ikke endres i seg selv, vil tilførslene foreligge i redusert form, og selve vannvolumet vil også være oksygenfritt. Det er mulig å lufte avrenningsvannet underveis, men dette vil medføre utfelling av tungmetallholdig oker (problemavfall) på samme måte som et renseanlegg.

Dersom det blir aktuelt å gjennomføre dette tiltaket, bør utslippspunktet vurderes nøye. Et dykket utslipp under 30 m bør trolig unngås. For å hindre videre oppbygging av stagnerende bunnvann, synes det mer aktuelt å slippe avrenningen høyere oppe i vannmassen, slik at oksidasjon og utfelling av jern kan foregå her. Flere målinger av hydrografiske profiler og deretter beregning av sprednings og fortynnings vha. modellverktøy vil være nødvendige for å vurdere effektene av dette, og finne en optimal løsning for et eventuelt utslipp.

Selv om avrenningen fra gruvesynkene avledes, vil Kiselvo fortsatt tilføres sur og metallholdig avrenning fra vaskerifyllingen i det nederste partiet. Det eneste tiltak som kan motvirke dette er tildekking eller spunsing av den delen av fyllingen som vender mot elva. I tillegg vil diffus avrenning fra gruveområdet sannsynligvis også bidra med noe sur avrenning, selv om hovedkildene avskjæres. Vi mener det er stor sjanse for at denne delen av elva vil få en vannkvalitet som ikke tilfredsstillende miljømålet om leve- og oppvekstvilkår for aure, selv om forholdene skulle bli tilfredsstillende i elva ovenfor.

6.3 Ny utfylling ved vaskerifyllingen

I utgangspunktet er vaskerifyllingen å betrakte som et avfallsdeponi, som bør få ligge mest mulig i fred. En utfylling og tildekking utenpå deler av dagens fylling under vann vil på lengre sikt kunne redusere utlekking av porevann med metaller og svovel fra nåværende fylling. Imidlertid er omfanget av fyllingen langt større enn hva som er synlig over vann, og avgangsmasser finnes i bunnsedimentet i nesten hele innsjøen. Det nordlige og det sentrale bassenget har tykke lag av avgangsmasser, men også sedimentene i de perifere bassengene er tydelig påvirket. Den delen av fyllingen som blir tildekket er derfor liten i

forhold til den totale utstrekning. På lengre sikt er det derfor trolig av liten betydning for vannkvaliteten i Storavatn om utfyllingen ved Litlabø kurs- og treningssenter blir gjennomført. Etter som tiden går, vil både sedimentasjon av organisk materiale i innsjøen og eventuelt overdekning av fyllingen bidra til hindre lekkasjer fra deponiene.

På kort sikt må det ved videre utfylling ventes en merkbar forverring i vannkvaliteten i Storavatnet. Graden av dette avhenger blant annet av hvor stabile massene i skråningen er, og hvor skånsomt utfyllingen kan gjøres. Toppfyllingen vil i seg selv kunne presse avgangsmassene sammen, og den samme effekten vil en kunne få av tunge anleggsmaskiner. Utenfor utfyllingsområdet skrår bunnen bratt mot dypet, og ved vår prøvetaking (St. I-1) viste disse massene seg å være ganske løse. Risikoen for utglidning og ras i dette området kan derfor være større enn i selve utfyllingsområdet, der bunnen skrår langt mindre. Dette forholdet bør i alle fall vurderes av kompetent ekspertise, men synes ikke å være tatt i betraktning ved tidligere vurdering av grunnforholdene (Tufteland 1994).

Dersom utfyllingen gjennomføres, er det flere momenter som bør tas hensyn til:

- Avklare om det er reell fare for utglidninger under vann i den ytre delen av fyllingen.
- Avgangsmassene under vann forvitrer mye langsommere enn i luft, og det er derfor viktig at eksisterende masser ikke flyttes opp over vannflaten under arbeidet.
- Maskinene som brukes bør være lettest mulig, for å unngå unødig sammenpressing av avgangsmassene.
- Kisholdige masser bør ikke deponeres. Det må avklares om massene fra Nysæter (der det iflg. Bjørnson [1991] også har vært drevet gruvedrift) tilfredsstillende dette kravet.
- Dersom dykket utslipp av gruveavrenningen blir aktuelt, bør dette ikke iverksettes mens anleggsarbeid ved fyllingen pågår. Den vannkjemiske situasjonen etter ett tiltak bør være stabil før man eventuelt går i gang med det neste inngrepet.

Utfylling av masser kan tenkes utført etter to strategier: Enten bør hele fyllingen legges ut i løpet av kortest mulig tid, slik at man får en kortvarig effekt av forurensningen; eller man kan satse på å fylle på tilgjengelige masser over lengre tid etter som masser blir tilgjengelige. Den siste modellen vil trolig være mest skånsom, men det kan også være uheldig med lang tids eksponering til noe lavere metallkonsentrasjoner i vannet. En nærmere vurdering av dette bør ta hensyn målinger av metallinnhold i organismer i innsjøen (først og fremst hos fisk), og til en vurdering av stabiliteten i massene som ligger i skråningen utenfor utfyllingsområdet.

Ved videre utfylling vil det trolig være fornuftig å legge opp en molo i ytterkant, og derved inneslutte et område som så fylles igjen etterhvert. Kravet til forsiktig anleggsarbeid vil være størst ved utlegging av moloen. Etter at denne er på plass vil det først og fremst være utpressing av porevann man bør prøve å unngå.

7. Henvisninger

- Bjørnson Ø. 1991. Gruva. Litlabøsamfunnet gjennom 100 år. Stord kommune. 333 s.
- Faafeng B., P. Brettum & D. Hessen. 1990. Landsomfattende undersøkelse av trofitalstanden i 355 innsjøer i Norge. Statlig Program for Forurensningsovervåking, SFT, rapport nr. 389/90. NIVA Inr. 2355. 57 s.
- Iversen E.R. 1994. Vannforurensning fra nedlagte gruver, Del III. NIVA-rapport Inr. 3045. 36 s.
- Iversen E.R. & R.T. Arnesen. 1990. Vannforurensning fra nedlagte gruver, Del II. NIVA-rapport Inr. 2363. 51 s.
- Kambestad, A. & G.H. Johnsen. 1989. Tilstandsrapport for Storavatn (nedre basseng) på Stord. Rådgivende Biologer A/S Rapport nr. 22. 15 s.
- Lien L. 1993. Lokalisering av forurensninger fra Heiane Næringsområde på Stord. NIVA rapport Inr. 2899. 10 s.
- Larsen J., J.F. Boyle & H.J.B. Birks. 1996. Variation in the geochemistry of recent lake sediments along a west-east pollution gradient in the Bergen area, Norway. *Water, Air, and Soil Pollution* 88: 47-81.
- Noteby 1994 a. Stordø Kisgruber. Forureining av Kiselva. Miljøteknisk undersøkning. Tiltak. Rapport nr. 51091. 1. 31 s. + vedlegg.
- Noteby 1994 b. Stordø Kisgruber. Forureining av Kiselva. Miljøteknisk undersøkning. Forprosjekt. Rapport nr. 51091. 2. 13 s. + vedlegg.
- Noteby 1996. Brev til Stord kommune av 27.02.1996. Ref. 51091/HS.
- Rognerud S. & E. Fjeld. 1990. Landsomfattende undersøkelse av tungmetaller i innsjøsedimenter og kvikksølv i fisk. SFT-rapport 426/90 (TA 714/1990). 79 s. + vedlegg.
- Tufteland, J. A/S 1994. Litlabø Kurs- og treningscenter. Treningsfelt ved Hustredalsbekken. Konsulentrapport 1. des. 1994
- Aanes, K.J. 1996. Tester med blyholdige sedimenter fra Store Bleikvann, Nordland fylke. NIVA rapport Inr. 3430-96. 83 s.