


O-88226

Løkken Gruber A/S & Co

Vurdering av forurensningsstatus og alternative tiltak for å redusere forurensningstilførslene fra gruveområdet



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor
Postboks 69, Korsvoll
0808 Oslo 8
Telefon (02) 23 52 80
Telefax (02) 39 41 89

Sørlandsavdelingen
Tølleveien 1
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033
Telefax (041) 43 033

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752
Telefax (065) 78 402

Vestlandsavdelingen
Breiviken 5
5035 Bergen-Sandviken
Telefon (05) 95 17 00
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.:
0-88226
Undernummer:
Løpenummer:
2400
Begrenset distribusjon:
SPERRET

Rapportens tittel:	Dato:
LØKKEN GRUBER A/S & Co. Vurdering av forurensningsstatus og alternative tiltak for å redusere forurensningstilførslene fra gruveområdet.	
Forfatter (e):	Prosjektnummer:
Arnesen, Rolf Tore, NIVA Iversen, Eigil Rune, NIVA Knudsen, Carl-Henrik, CHK A/S Lundgren, Tom, Terratema AB Skjelkvåle, Brit Lisa, NIVA Øren, Kjell, NIVA	0-88226
	Faggruppe:
	Industri
	Geografisk område:
	Sør-Trøndelag
	Antall sider (inkl. bilag):

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
Løkken Gruber A/S & Co.	

Ekstrakt:
Feltundersøkelser viser at materialtransporten fra Løkken gruveområde for tiden hovedsaklig skyldes tilførsler fra gruveavfall på Løkkensiden. Avrenningen foregår for en stor del gjennom grunnen til Raubekken. Det er foreslått 3 alternative tiltak for å redusere tilførslene til Raubekken.


4 emneord, norske:

1. Kisgruve
2. Drensvann
3. Tiltak
4. Løkken gruveområde

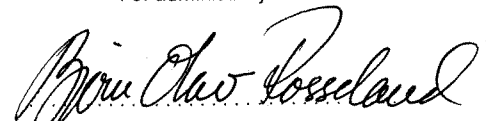
4 emneord, engelske:

1. Pyrite Mining
2. Acid Mine Drainage
3. Measures
4. Løkken mines, Norway

Prosjektleder:


Kjell Øren

For administrasjonen:


Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-1705-3

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
Oslo**

0 - 88226

LØKKEN GRUBER A/S & Co.

**VURDERING AV FORURENSNINGSSTATUS OG ALTERNATIVE TILTAK
FOR Å REDUSERE FORURENSNINGSTILFØRSLENE FRA GRUVEOMRÅDET**

Oslo, 11. mai 1990

Forfattere:

Rolf Tore Arnesen, NIVA
Eigil Rune Iversen, "
Carl-Henrik Knudsen, CHK A/S
Tom Lundgren, Terratema ab
Brit Lisa Skjelkvåle, NIVA
Kjell Øren, NIVA

INNHALDSFORTEGNELSE

	SIDE
FORORD	4
1. INNLEDNING	5
1.1 Historisk oversikt	5
1.2 Miljøundersøkelser	6
2. PROBLEMSTILLINGER	8
2.1 Forurensningssituasjonen i vassdraget	8
2.2 Gruveavfallet	12
3. AVFALLET	14
3.1 Avfallstyper, mengder, lokalisering	14
3.2 Metallinnhold	20
3.3 Forvittrings- og utvaskingsegenskaper	21
4. OMRÅDETS VANNBALANSE	23
4.1 Geologi og topografi	23
4.2 Hydrologi	25
4.3 Drensvann	30
4.4 Gruvevann	32
4.5 Grunnvann	34
4.5.1 Aktuelle grunnvannstrømmer	34
4.5.2 Grunnvann som drenerer til gruva	34
4.5.3 Grunnvann i tilslutning til veltene ved oppredningsverket	35
4.5.4 Grunnvannstrøm under Bjørndalsdammen, Fagerlivatn og Bjørnlivatn	36
4.5.5 Grunnvannstransport under den "gamle slamdammen"	37
4.5.6 Grunnvannsforholdene når gruva er fylt med vann	37
5. METALLTRANSPORTEN	39
5.1 Spredningsveier	39
5.2 Metalltransporten i Raubekken med tilførsler	41
5.2.1 Raubekken	41
5.2.2 Overløp slamdam Bjørndalen	43
5.2.3 Utløp Fagerlivatn	43
5.2.4 Utløp Bjørnlivatn	43
5.2.5 Bekk ved Langeng og ved Stallgata syd	44
5.3 Beregning av metallbalanser	45
5.4 Varighet	53

6.	AKTUELLE TILTAK	54
6.1	Tiltakenes hensikt	54
6.2	Enkle tiltak	56
6.3	Hovedalternativ A. Oppsamling og rensing av dremsvann	57
6.4	Hovedalternativ B. Overdekking på stedet	61
6.4.1	Forutsetninger	61
6.4.2	Arrendering og avledning av overflate- og grunnvann	62
6.4.3	Utforming av tettesjikt	65
6.4.4	Valg av dekkjikt	68
6.4.5	Valg og tillempling av teknikk i Løkken	69
6.5	Hovedalternativ C. Deponering under vann	73
6.5.1	Oksidasjonsprosessen	73
6.5.2	Alternativ C.1. Deponering i Astrup gruve...	74
6.5.3	Alternativ C.2. Deponering i Fagerlivatn ...	75
7.	KOSTNAD/EFFEKTIVITETS-ANALYSE AV TILTAK	78
7.1	Vurdering av kostnad og effektivitet	78
7.2	Kostnader	79
7.2.1	Hovedalternativ A - renseanlegg	79
7.2.2	Hovedalternativ B - overdekking av veltene på stedet	81
7.2.3	Hovedalternativ C- deponering i i Fagerlivatn	82
7.3	Effektivitet	84
7.3.1	Hovedalternativ A - renseanlegg	84
7.3.1.1	Hovedalternativ A - renseanlegg, alt 1., fase 1	84
7.3.1.2	Hovedalternativ A - renseanlegg, alt 1., fase 1+2	85
7.3.1.3	Hovedalternativ A - renseanlegg, alt 2., fase 1	86
7.3.1.4	Hovedalternativ A - renseanlegg, alt 2., fase 1+2	87
7.3.2	Hovedalternativ B - overdekking av veltene på stedet	88
7.3.3	Hovedalternativ C - deponering i Fagerlivann	89
7.4	Sammenstilling av kostnad og effektivitet	90
8.	VEIVALG OG OPPSUMMERING	92

BILAG 1	LITTERATUR. MILJØVERNUNDERSØKELSER	94
BILAG 2	RESULTATER FRA FELTUNDERSØKELSER AV AVFALLSMASSER	96
BILAG 3	ANALYSERESULTATER FOR UNDERSØKELSE AV OVERFLATEAVRENNING	109
BILAG 4	FELTUNDERSØKELSER MAI 1989 UNDERSØKELSER AV GRUNNVANNSFORHOLD	125
BILAG 5	DETALJUNDERSØKELSER AV RAUBEKKEN GJENNOM LØKKEN SENTRUM	136
BILAG 6	OPPSAMLING OG RENSING AV SIGEVANN OG GRUVEVANN	141

FORORD

Løkken Gruber ble nedlagt i juli 1987. I forbindelse med oppryddingsarbeidet etter nedleggelsen har Statens forurensningstilsyn (SFT) pålagt Løkken Gruber å utrede aktuelle tiltak mot tungmetallavrenning fra området og kartlegge de enkelte forurensningskilder.

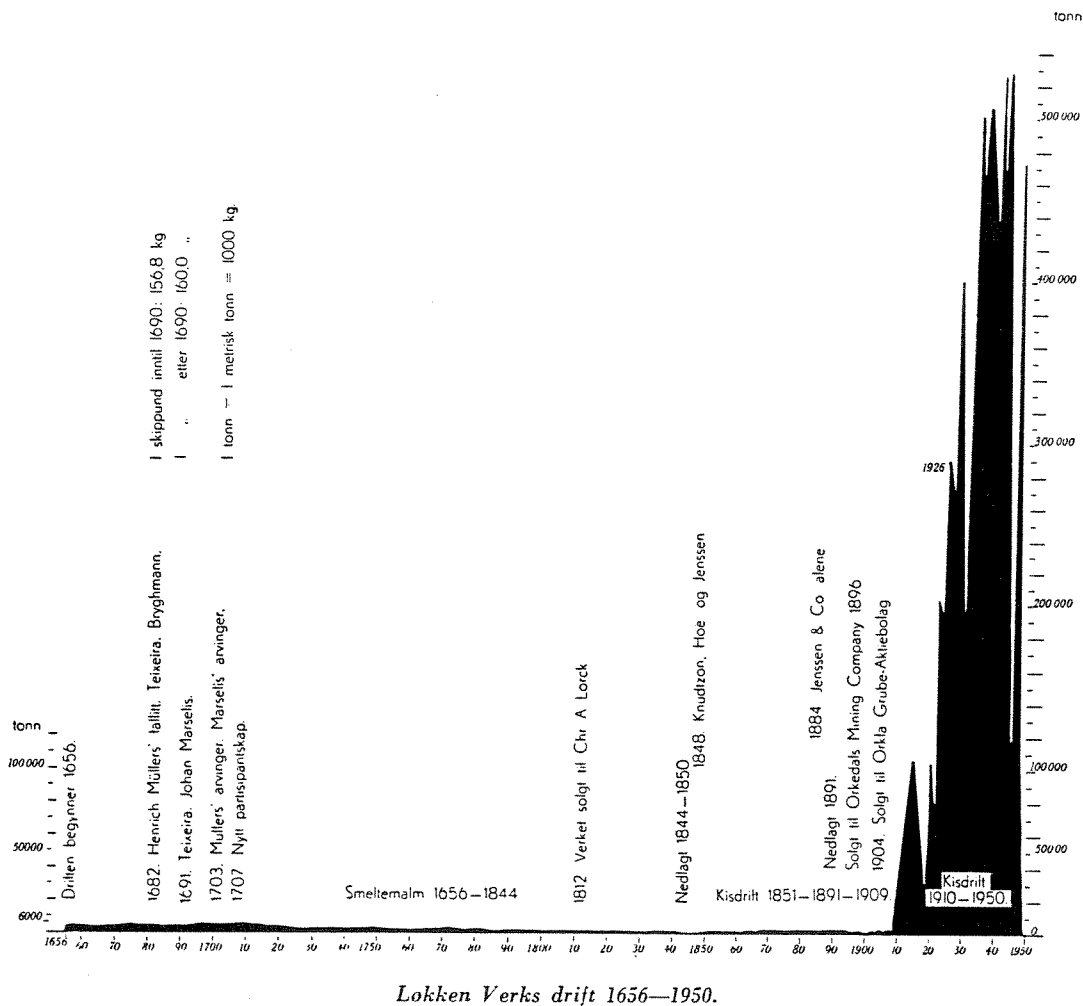
Norsk institutt for vannforskning (NIVA) fikk i desember 1988 i oppdrag av Løkken Gruber å kartlegge forurensningstilførslene fra gruveområdet og foreslå tiltak for å redusere tungmetallbelastningen på vassdraget. Til å bistå instituttet i dette utredningsarbeidet har NIVA engasjert Tom Lundgren, Terratema AB, Linköping, når det gjelder klarlegging av transport til grunnvannet og til vurdering av overdekningsstrategi. Carl-Henrik Knudsen, CHK A/S, Drammen, har bistått i forbindelse med rensetekniske spørsmål. Løkken Gruber har bistått under feltundersøkelsene og har også bidratt med opplysninger om avfallet.

Feltundersøkelsene har bestått i kartlegging av fast avfall med hensyn til mengde og forvittringsstatus, kartlegging av spredningsveier for overflateavrenning og beregning av metallbalanser for gruveområdet. Feltundersøkelsene ble avsluttet i desember 1989. Analysearbeidet er delvis utført ved Løkken Grubers laboratorium og delvis ved NIVA. Vi takker NOTEBY A/S for all bistand i forbindelse med prøvetaking med bormaskin i bergveltene.

1. INNLEDNING

1.1 Historisk oversikt

Selve gruvedriften ved Løkken begynte i 1656 og ble fram til 1844 drevet på tradisjonelt vis som en kobbergruve med røsting og smelting av kobbermalm. I 1851 ble driften omlagt til kisdrift der eksportkisen som ble produsert, var råstoff for svovelsyreproduksjonen. I 1909 skjedde igjen en ny stor omlegging der ny teknologi og nye prosesser medførte en betydelig økning av produksjonen. I perioden 1909–74 ble forskjellige oppredningsteknikker og videreforedlingsprosesser benyttet. Fra 1974 og fram til nedleggelsen i 1987 ble råmalmen oppredet ved selektiv flotasjon av kobber- og sinkkonsentrat, mens den svovelkisholdige avgangen ble deponert i slamdammen i Bjønndalen.



Figur 1.1 Løkken Verk. Råmalmproduksjon 1956–1950.

I Figur 1.1 er gjengitt en figur fra Løkken Verks historie (1954) (1), der produksjonen er fremstilt grafisk for perioden 1656-1950. Av figuren ser en at produksjonen var meget beskjeden fram til moderne tid da stordriften startet i 1909. Utviklingen i gruvedriften har følgelig også stor betydning for utviklingen i forurensnings-situasjonen. En har liten kjennskap til hvordan situasjonen i vassdraget var i de første hundreår. Det er sannsynlig at en forholdsvis raskt fikk et surt gruvevann, og at det oppsto en produksjon av surt drenevann fra utskeidet "gråberg". Da Løkken hovedgruve skulle lenses i 1902 etter driftshvilen, ble det rapportert om store korrosjonsproblemer på pumper og rør (Løkken Verks historie, 1954). Det ble dessuten tatt ut 10 tonn kobberholdig slam v.h.a. sementering på jernskrap. Dette viser at gruvevannet på det tidspunkt hadde en betydelig surhet og inneholdt betydelige tungmetallkonsentrasjoner. Det er sannsynlig at belastningen på vassdraget økte raskt i tiden etter at stordriften kom i gang i 1909 som en følge av raskt økende avfallsopplag i dagen og økningen av eksponerte flater i gruva. En ble etter hvert klar over miljøproblemene. I perioden 1925-30 ble det gjort forsøk med rensing av gruvevann ved hjelp av sementering på jernskrap og utfelling av hydroksidslam med kalk. Forsøkene ble oppgitt på grunn av de store hydroksidmengdene som ble dannet. I 1952 ble det bygget en 25 km lang treledning til Thamshavn, og i årene 1953-62 ble gruvevannet rensert i det igangværende smelteverket ved hjelp av felling med sulfid. Da smelteverket ble nedlagt i 1962, ble gruvevannet ført til Orkdalsfjorden fram til oktober 1984. Wallenberg gruveområde har siden da vært under oppfylling og er beregnet å få overløp i 1992-93. Overløp kan imidlertid skje allerede i 1991 med dagens oppfyllingstempo.

1.2 Miljøundersøkelser

Løkken Gruber har i mange år foretatt kjemisk analyse av vannkvalitet i avrenning fra området og i nærmeste vassdragsstrekning i Orkla. I 1974 ble gruveselskapet pålagt å benytte ekstern konsulent for å føre kontroll med utslipp fra gruveområdet. NIVA har utført disse kontrollundersøkelsene, og resultatene er samlet i årlige rapporter.

I perioden 1982-83 utførte NIVA en spesialundersøkelse av avrenningen fra området der materialtransporten fra de viktigste kilder ble beregnet. I denne undersøkelsen ble også resultater fra tidligere undersøkelser utført av Løkken Gruber tatt med og vurdert. Kraftverksutbyggingen i Orkla startet i begynnelsen av 1980-årene. I den forbindelse ble det i 1977-78 utført en større undersøkelse av hele Orklavassdraget med hensyn til vannkvalitet og hydrobiologiske forhold.

Fra og med 1981 er Orklavassdraget tatt med i det Statlige program for forurensningsovervåking. Resultatene fra disse undersøkelser er samlet i årlige rapporter.

Situasjonen i Orkdalsfjorden er beskrevet i rapport for det Statlige program for forurensningsovervåking av Trondheimsfjorden for 1983.

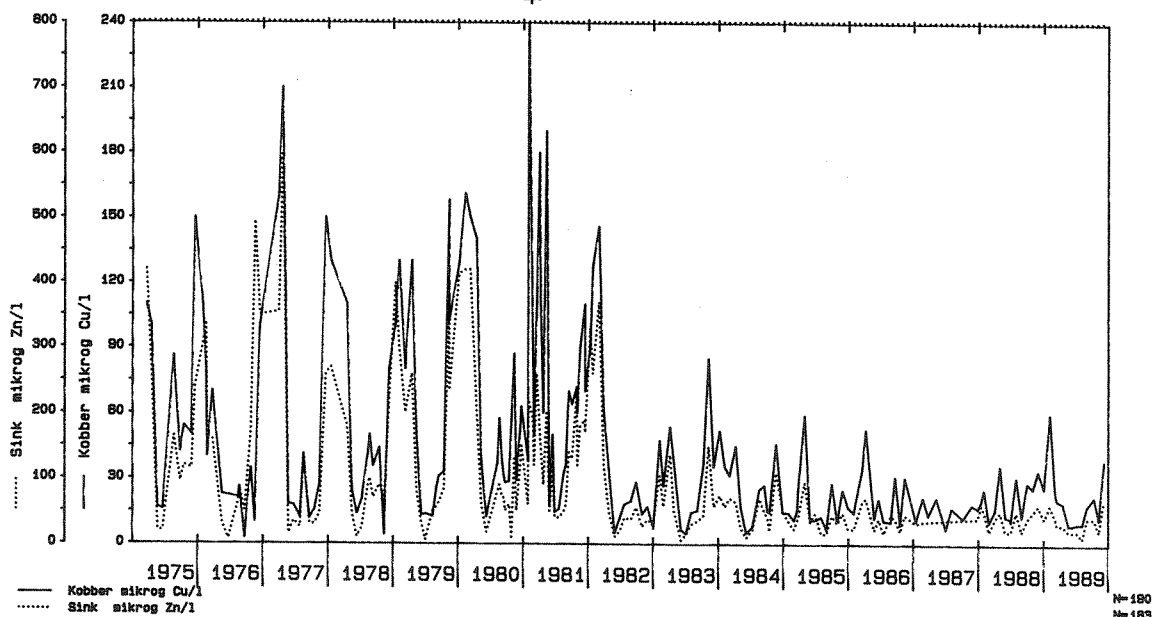
Siden 1986 er Orkdalsfjorden tatt med i det felles europeiske overvåkingsprogram (JMG - Joint Monitoring Group) der formålet bl.a. er å vurdere miljøgifters geografiske spredning og tidsutvikling. Resultatene for Orkdalsfjorden er tatt med i årsrapporten til det Statlige program for forurensningsovervåking. I bilag 1 er samlet litteraturreferanser for miljøundersøkelser.

2. PROBLEMSTILLINGER

2.1 Forurensningssituasjonen i vassdraget

Orkla nedstrøms Raubekkenes munning har vært påvirket av avrenning fra Løkken gruveområde i lang tid. I denne rapporten vil i første rekke vurdere forurensningssituasjonen i vassdraget slik den har utviklet seg i løpet av de siste 15 år.

Figur 2.1 ORKLA VED VORMSTAD
Kobber- og sinkkonsentrasjoner 1975 - 1989



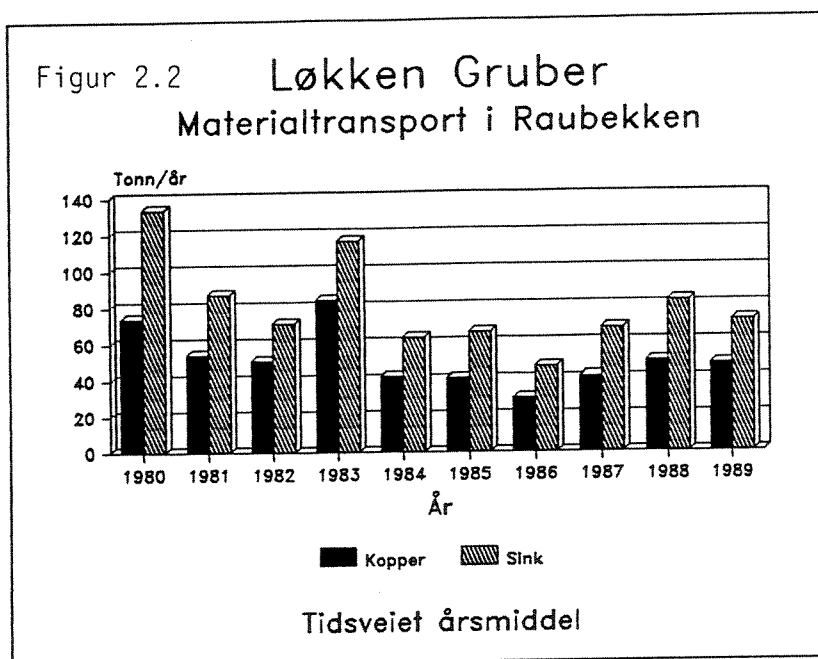
Figur 2.1 viser utviklingen i kobber- og sinkkonsentrasjonene i Orkla ved Vormstad for perioden 1975-1989. Da oppredningsprosessen ble omlagt til selektiv flotasjon av kobber- og sinkkonsentrater i 1975, medførte dette neppe noen endringer av betydning for situasjonen i Orkla. Karakteristisk for perioden 1975-82 er store variasjoner i kobber- og sinkkonsentrasjonene. Verdier på 250 µg Cu/l og 700 µg Zn/l ble målt. De store variasjonene hadde også stor betydning for de biologiske forhold i Orkla nedstrøms Raubekkenes munning. Vegetasjonen var her ekstremt fattig. Det samme kunne også sies om dyresamfunnene. Opp gjennom årene er det også rapportert om episoder med fiskedød, siste gang høsten 1981 (6-bilag 1). Etter at vassdraget ble regulert og kraftverkene kom i drift i perioden 1981-1985, ble tungmetallkonsentrasjonene nedstrøms Svorkmo betydelig utjevnet som følge av at vintervannføringen i vassdraget ble mye høyere. De

biologiske forhold i vassdraget har også endret seg, og forholdene ved Vormstad er nå tilnærmet normale når det gjelder bunndyrsmfunnene. Årsakene til og forbedringen skyldes effekter av reguleringen, en forbedring av vannkvaliteten i Raubekken. Middelerverdiene for kobber og sink har avtatt i løpet av perioden, dessuten varierer ikke konsentrasjonene så mye i løpet av året. Etter at overvåkingsundersøkelsene ble startet i 1980, er det tatt minimum 2 prøver i måneden i Raubekken. Ved hjelp av beregnet vannføring (se avsnitt 4.2.) og analysedata, er materialtransporten av kobber og sink for de siste 10 år beregnet:

Tabell 2.1. Materialtransport i Raubekken. (tidsveide middelerverdier).

År	Kobber tonn/år	Sink tonn/år
1980	73.0	133.1
1981	53.7	83.7
1982	50.4	70.8
1983	83.4	115.6
1984	41.5	62.7
1985	40.5	65.4
1986	29.3	46.9
1987	41.0	47.9
1988	49.5	82.4
1989	47.7	71.1

Resultatene er også fremstilt i figur 2.2.



Resultatene tyder på en nedadgående tendens i metalltransporten. Da de årlige variasjonene er så store, og da det er mange faktorer som har innvirkning på transporten, er det nødvendig med stor innsats i feltundersøkelsene og langvarig oppfølging for å ha et godt grunnlag for trendanalyser og for å si noe om årsaker til eventuelle endringer i materialtransporten.

I tillegg til overflatetilførslene til Raubekken kom gruvevannet. Dette ble inntil oktober 1983 ledet på treledningen til Orkdalsfjorden. Utslipet til fjorden var på årsbasis (årsmiddel 1961-1975):

Kobber	451	tonn/år
Sink	780	"
Jern	2970	"
Kadmium	2.4	"

Det ble i 1983 påvist betydelige skadeeffekter på bløtbunnsfaunaen (bilag 1), og overkonsentrasjoner av tungmetaller i tang i Orkdalsfjorden. Resultatene fra 1988 viser en klar forbedring av forholdene i fjorden. Det er i dag ingen helsefare forbundet med konsum av fisk og blåskjell fra fjorden.

De totale tilførsler fra Løkken gruveområde til Orkla og Orkdalsfjorden er i dag betydelig lavere enn de var i 1983. Et av spørsmålene i forbindelse med tiltakene i gruveområdet er hvor stor belastning gruvevannet vil bidra med når det blir overløp fra Wallenberg gruve. Det er gitt en utredning om disse problemene i kapittel 4.4. Vannmengde og konsentrasjoner vil trolig bli betydelig lavere enn i 1983. Følgende problemstillinger er derfor aktuelle:

1. Gruvevannet lar seg ikke stoppe.
2. Avrenning fra velter er idag største forurensningskilde i området.
3. Avfallsmassene er svært forskjellige m.h.t. forvittringsstatus, noe som kompliserer tiltaksvurderingen.
4. Oppgavene for denne undersøkelsen er å se alle forurensningskilder i sammenheng og komme fram til tiltaksløsninger som samlet vil sikre best mulige forhold i Orkla.

På denne bakgrunn har SFT krevd en utredning om hvilke tiltak som er aktuelle for å redusere belastningen på resipientene.

Ved vurdering av tiltak blir de helt sentrale spørsmål:

- Hvilken målsetting skal tiltaket ha ?
- Hvor mye er det nødvendig å redusere tungmetallavrenningen med?
- Hvilke kvalitetskrav skal stilles til tiltaket?
- Hvilken varighet skal tiltaket ha?
- Hvilken økonomisk innsats er nødvendig å sette inn?
- Hvis de økonomiske ressurser er begrensede, hvilken strategi skal man så velge med de midler som er tilgjengelige?,

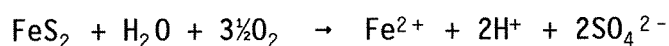
Et annet viktig forhold å ta hensyn til, er at dersom ettertiden vurderer våre tiltak som utilstrekkelige eller kvalitetsmessig for dårlige, er det viktig at de tiltak vi iverksetter ikke ødelegger eller fører til økte kostnader for ettertiden.

2.2 Gruveavfallet

De fleste bergarter og mineraler er utsatt for forvitring. Dette er naturlige prosesser som imidlertid er sterkt avhengig av forhold som tilgang på oksygen (luft) og vann, mineraltype, overflate, beliggenhet (over eller under grunnvannsspeilet), vannets pH-verdi etc.

Når det gjelder sulfidmineraler, forvitrer disse langsomt i selve berggrunnen, men forvitningsprosessene på overflaten er ofte et synlig tegn på en malmforekomst. Når gruvedrift starter, vil det alltid oppstå avfallsberg i en eller annen form. I slike avfallsprodukter har sulfidmineralene fått en mye større overflate, og er tilgangen til luft og vann gunstig, får man etter en tid en kraftig økning i forvitringen. Tilførsler av nedbør vasker ut forvitningsproduktene som deretter tilføres resipienten. Forvitningsprosessene som oppstår, er meget kompliserte, og det er en rekke faktorer som er bestemmende for hvor raskt forvitringen går. Prosessene er heller ikke fullt ut forstått.

Forenklet kan en si at når svovelkis forvitrer, dannes først toverdige jern og sulfat samtidig som det dannes syre (H⁺), det dannes med andre ord svovelsyre:



Dersom pH blir tilstrekkelig lav (pH<5) kan det også oppstå bakteriell forvitring av kismineralene ved at en spesiell type bakterier, som bruker svovel og treverdige jern som energi for sin vekst, fører til en økt nedbrytning av kismineralene. Slike bakterier er:

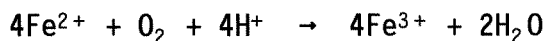
Thiobacillus thiooxidans som oksiderer svovelet i svovelkisen.

Thiobacillus ferrooxidans som oksiderer både svovel og Fe²⁺.

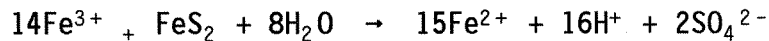
Ferrobacillus ferrooxidans som oksiderer Fe²⁺ til Fe³⁺.

Bakteriell forvitring kan føre til en kraftig økning av forvitringshastigheten. Bakteriene er spesielt effektive i pH-området 2-4, men setter også krav til temperatur og fuktighet.

Det toverdige jernet som dannes, oksiderer lett videre til treverdige ved tilstrekkelige tilførsler av luft:



Tilstedeværelse av treverdige jern kan oksidere mere svovelkis samtidig som mer toverdige jern dannes osv:



Det er verdt å merke seg at denne delreaksjonen ikke er avhengig av at luft er tilgjengelig. Under visse betingelser kan altså forvitringen pågå selv om avfallet er mettet med vann.

Forvitringshastigheten er avhengig av en rekke forhold, som bl.a.:

- Type kismineral.
- Type gods. Jo større spesifikk overflate - jo større forvitring.
- Innhold av buffrende bergartsmineraler.
- Redoksforhold. Avfallstyper som en f.eks. har på Løkken som består av magnetitt og magnetkis forvitrer kraftig da jern forekommer i forskjellig oksidasjonstrinn i avfallet.
- Tilgang på luft og fuktighet.

På Løkken er alle slike varierende betingelser tilstede. Det kisholdige avfallet finnes i alle kornstørrelser fra nedmalte produkter til relativt grovt gods i blokker. Avfallet er også deponert på forskjellig vis, under vann og i tipper med god tilgang til luft og fuktighet. Alderen på avfallet er også meget forskjellig. Avfallet er derfor svært forskjellig i sin forvittringsstatus, noe som gjør det vanskelig å vurdere tiltak som både skal ha kortsiktige og langsiktige effekter.

Det finnes store mengder avfall som har et stort forurensningspotensiale, men som i dag bidrar med beskjedne tilførsler. I andre typer har forvitringen kommet meget langt, kanskje viser materialtransporten en nedadgående tendens i visse avfallstyper.

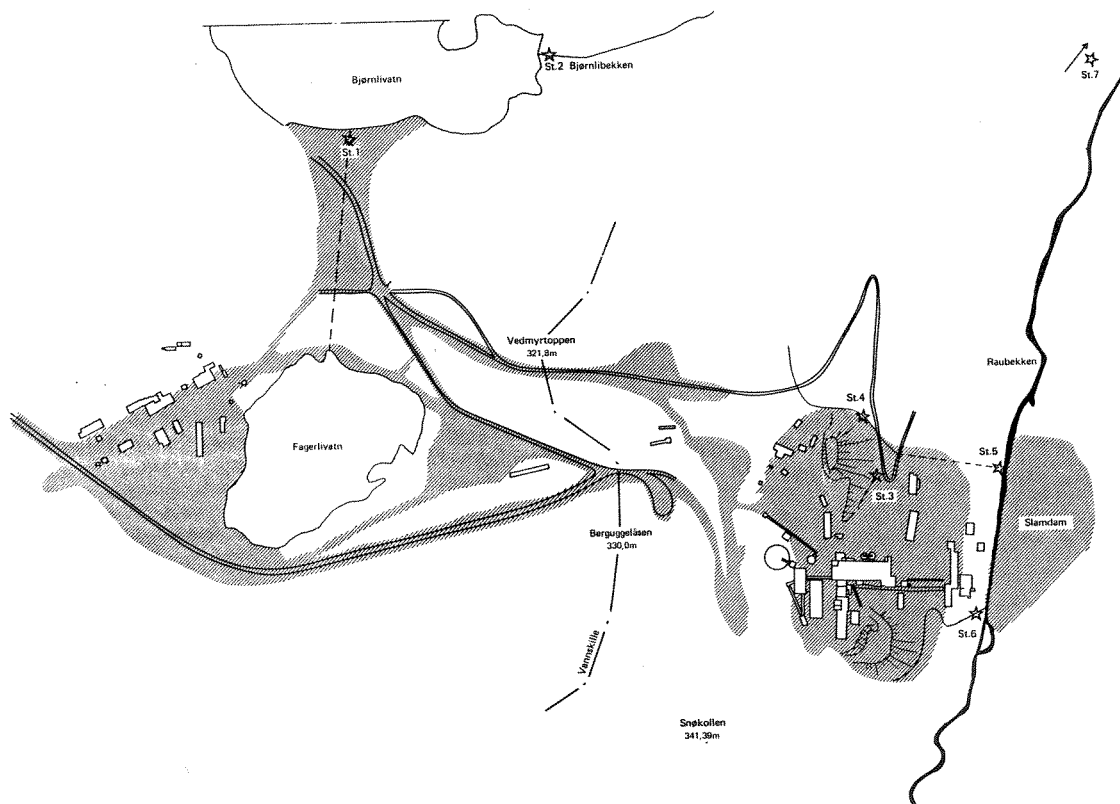
Situasjonen i området synes i dag stabil i den forstand at det neppe vil oppstå dramatiske endringer i avrenningen fra fast avfall med mindre det skjer uforursette ting som f.eks. ras i tippene, dambrudd osv.

Dette innebærer at dersom man ønsker å redusere forurensningstilførslene, bør tiltakene ha varig verdi, dvs. at ettertiden ikke skal påføres store kostnader med fremtidig vedlikehold eller at tiltaket må gjøres om igjen.

3. AVFALLET

3.1 Avfallstyper, mengder, lokalisering

Figur 3.1 fremstiller en kartskisse over Løkken gruveområde. I gruveområdet er deponert en rekke forskjellige avfallstyper i løpet av den tiden gruve drift har pågått. Mesteparten er imidlertid deponert i dette århundre da også produksjonen har vært størst.



Figur 3.1 Områder som er berørt av gruve drift (skravert).

Avfallet kan lokaliseres til to hovedfelter:

- A. Avfall som drenerer til Fagerlivatn, Bjørnlivatn og Bjørnlivabekken. Avfallstyper = Flotasjonsavgang, gruveberg.
- B. Avfall lokalisert på Løkken-siden og som drenerer direkte til Raubekken. Avfallstyper = Gruveberg, avgangsslam.

I det følgende vil vi i tabellform kort gå gjennom de viktigste avfallstyper, alder, mengder og gehalter.

Gehaltene som er oppgitt i tabellene, er basert på skjønn og analysemateriale fra den tiden da avfallet ble utlagt.

Tabell 3.1 Felt A. Fagerlivatn/Bjørnlivatn-området.

UTLAGT	PRODUKT	TONN	ANALYSER		
			% S	% Cu	% Zn
1916-49	Grubeberg	650.000	2.0	0.10	0.15
1961-65	"	151.000	3.0	0.15	0.20
1966-83	"	200.000	4.0	0.15	0.20
1983-87	"	70.000	2.0	0.10	0.10
1964-65	Skeidet berg	26.000	6.7	0.30	0.70
1964-65	Synk/flyt-avgang	67.000	4.5	0.35	0.40
1964-65	Jig-avgang	11.000	9.0	0.50	0.50
1951-74	Flotasjonsavgang	500.000	4.4	0.30	0.35
Sum		1.675.000	3.3	0.20	0.25

Mesteparten av avfallet er grubeberg tatt opp fra Wallenberg gruveområde. Avfallet er brukt til oppfylling rundt Fagerlivatn og mellom Fagerlivatn og Bjørnlivatn, samt til bygging av jernbanefundament. Noe avfall er også deponert langs Bjørnlivatn fram til den gamle steindammen. En del avfall er benyttet til veiformål. Størst betydning i forurensningsmessig sammenheng har veien fra Fagerlivatn/Bjørnlivatn opp til Vedmyrtoppen. Denne er for en stor del bygget av synk/flyt-avgang. Flotasjonsavgangen deponert i perioden 1951-74 er deponert i østre del av Fagerlivatn og er i dag overdekket med gråberg og myrjord.

Tabell 3.2 Felt A. Bjørndalsdammen.

UTLAGT	PRODUKT	TONN	ANALYSER		
			% S	% Cu	% Zn
1974-87	Flotasjonsavgang	3.245.000	36.3	0.24	0.32

Avfallet i Bjønnaldsdammen er fra siste driftsperiode, og er avgang etter selektiv flotasjon av kobber- og sinkkonsentrat. Avfallet er lagret under vann. Overløpet fra dammen går direkte til Bjørnlivatn.

Tabell 3.3 Felt A. Vei Moshaugen - Råmalmsilo.

UTLAGT	PRODUKT	TONN
1971	Gruveberg	14.375
	Synk/flyt-avgang	105.573
	Jig-avgang	6.168
Sum		126.116

=====

Tabell 3.4 Felt B. Bergvelter på Løkken-siden.

UTLAGT	PRODUKT	TONN	ANALYSER		
			% S	% Cu	% Zn
1920-1968	Søndre v/mek.verkst.	254.000			
1670-1900	Ved Gammelgruva	115.000			
1654-1958	Nordre	330.000	13.8	0.35	0.50
1968-1971	Magnetittmalm	57.000	22.5	1.04	1.00
1952-1974	Ovenfor flot.verk	21.000			
1963	Vei v/ Vedmyrtepp	38.500	6.0	0.35	0.50

Søndre berghald er lagt opp i vårt århundre etter at stordriften etter kis kom igang. Velten består hovedsakelig av jig-avgang iblandet noe gruveberg. Noe gruvetømmer og jernskrap finnes også i avfallet. Jig-avgangen består av nedknuste masser og mineralkornene har således stor overflate. Velten er lagt opp på ras i to terrasser. Dette gir gode vilkår for tilgang på luft og vann i avfallet som forvitrer lett med den store overflaten det har. Overflaten av velten har karakter av sand. Største mektighet er ca. 12 m.

Velten utenfor Gammelgruva er fra gruve driftens eldste periode og består av gruveberg med varierende gehalter. På toppen er utlagt noe slagg og røstet gods fra kobbersmelting. Velten er lagt opp på ras, men har en større flate på toppen hvor det i dag er plassert et service-bygg i forbindelse med drift av museumsgruve. Mektigheten er ca. 8 m. Sidene på velten er dekket med myrjord og nylig tilsådd.

Nordre berghald er det største og eldste avfallsopplag i området. Velten ligger på ras i det skrånende terrenget med en mektighet opp til 20 m. Velten er overdekket med morene og tilsådd. Toppen av velten er flat. Velten har en "terrasse" lenger ned på nivå med badebygningen. På dette nivå er for øvrig tatt ut en del masse for prøveoppredning på midten av 1960-tallet. Velten består av forholdsvis grovt gods med større blokker, noe som gir gode muligheter for skorsteinseffekter i avfallet. På gamle foto fra århundreskiftet er dette eneste velte av noen størrelse som er synlig. Dette betyr at avfallet hovedsaklig er lagt opp på 1600- og 1700-tallet.

Magnetittmalmen like ved nordre berghald er lagt opp på toppen av gråbergmasser som inneholder lite kis (masse fra tunneldrift av jernbane). Velten består av magnetitt og magnetkis med en del kobber og sink. Avfallet forvitrer kraftig, så kraftig at varmeutviklingen kan observeres og føles på overflaten. Deler av velten drenerer trolig til Fearnley gruveområde gjennom et rasområde.

Ovenfor flotasjonsverket er også utlagt en del avfall.

Veien opp til Vedmyrtoppen er bygget av samme type avfall som på andre siden av toppen ned til Fagerlia. Veien ble bygget i 1963.

Tabell 3.5 Felt B. Slamdam Løkken.

UTLAGT	PRODUKT	TONN	ANALYSER		
			% S	% Cu	% Zn
19? -74	Slam, østre dam	66.500	27.4	2.47	2.22
19? -74	Slam, vestre dam	46.000	26.2	2.56	2.64
19? -74	Slam, nordvestre dam	12.000	25.2	2.26	2.35
1969-74	Slam, nordre dam	14.000	14.8	1.93	0.85
	Slam, sum	138.500	25.5	2.43	2.23
1987-88	Grubeberg	46.300	2.0	0.10	0.10
1987-88	Synk/flyt-avgang	6.900	1.2	0.05	0.05
	Sum	191.700	19.0	1.78	1.64

Slamdammen

Slamdam Løkken ble anlagt i årene 1912-15 for å samle opp fingsods etter spyling og vasking av malmen. I perioden fram til 1960 er fem atskilte dammer bygget opp. Overløp fra dammen gikk til Raubekken. Gehaltene i det finkornige slammet er betydelige. Det har vært gjort flere mislykkede forsøk på å ta inn slammet i produksjonen. Forvittringsprosessene går meget langsomt i det finkornige slammet. Ved graving i avfallet (1987) er observert at forvittringssonen har nådd bare noen få cm ned i avfallet.

Dammene ble overdekket med et lag gråberg i 1987/88.

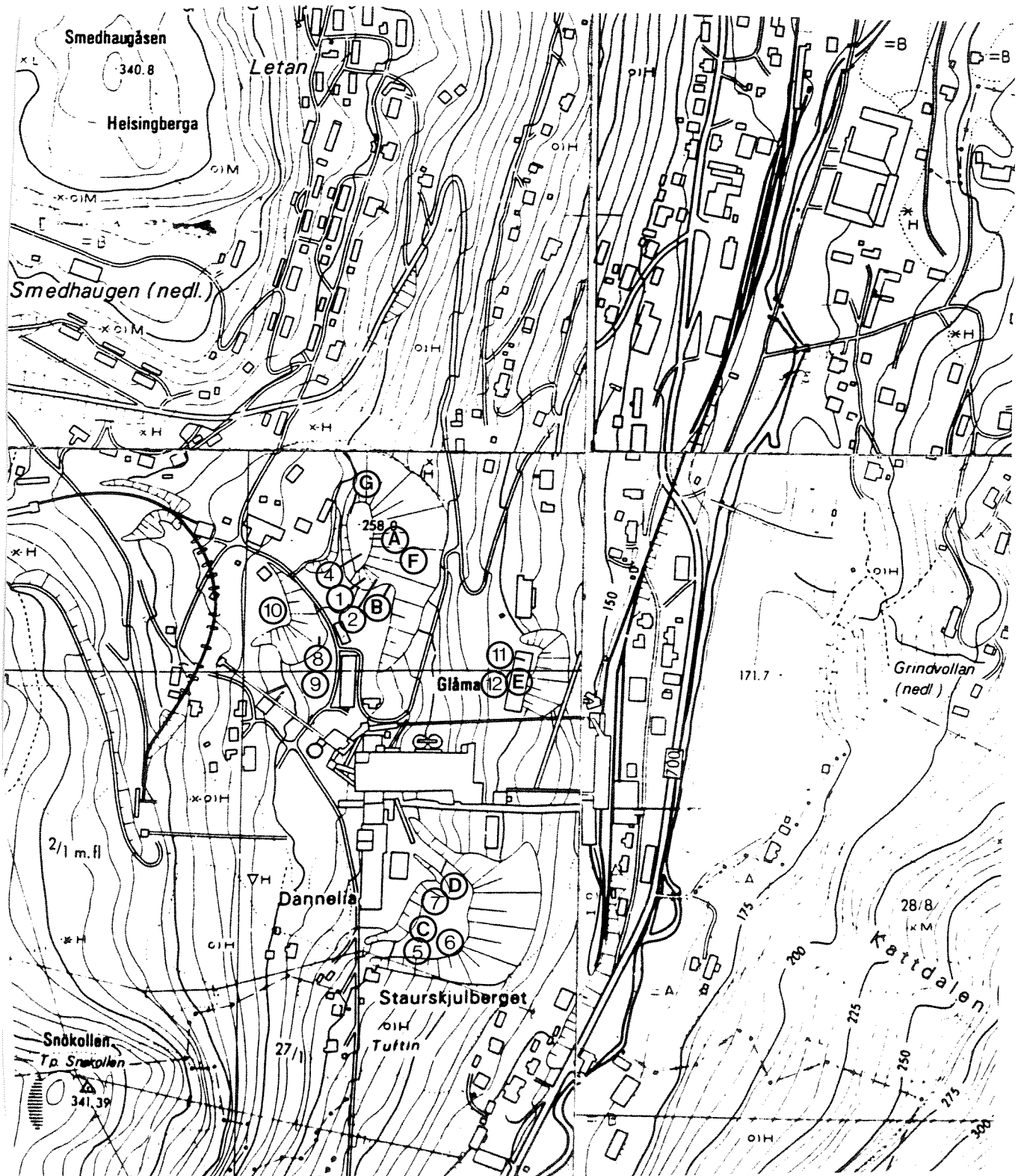


Figure 3.2 Kartskisse over velteområdet i Løkken med prøvetakingssteder i avfallet.

3.2 Metallinnhold

Feltundersøkelsene av avfallet har hatt følgende opplegg:

1. Prøvetaking med gravemaskin, 0-2 m.
2. Prøvetaking med boring (odex).

Prøvematerialet ble tørket, knust og oppsluttet med oksiderende syreblanding. I bilag 2 er gjort greie for analysemetodikk og observasjoner under prøvetakingen.

Det ble foretatt prøvetaking med gravemaskin i nordre berghald, søndre berghald, berghald utenfor gammelgruva og av magnetittmalmen. Det ble boret i nordre og søndre berghald og i berghalden utenfor gammelgruva. Borepunktene er angitt på kartskissen over området. I tabell 3.7 - 3.14 i bilag 2 er beregnet Fe-, Cu-, Zn- og S-innholdet i avfallet. Det er også beregnet hvor mye Fe som er bundet til pyritt, når en gjør den forenkling at svovelinnholdet foreligger som sulfid. Videre er beregnet forholdet mellom kobber og sink.

Tabell 3.6 Prøvetakingssteder i avfallsmasser.

Bet	Sted	Borprøver	Gravemaskin
A	Nordre velt	x	
B	Nordre velt	x	
C	Søndre velt	x	
D	Søndre velt	x	
E	Gammelgruva	x	
F	Nordre velt	x	
G	Nordre velt	x	
1	Nordre velt		x
2	Nordre velt		x
4	Nordre velt, toppen		x
5	Søndre velt		x
6	Søndre velt		x
7	Søndre velt		x
8	Magnetitt velt, nedre del		x
9	Magnetitt velt, gråberg		x
10	Magnetitt velt, toppen		x
11	Gammelgruva		x
12	Gammelgruva		x

3.3 Forvittrings- og utvaskingsegenskaper

For å bestemme forvittringsgrad er det gjort utvaskingsforsøk i laboratorieskala på prøver av avfallet. I bilag 2 er gjort greie for hvordan forsøkene er utført og hvilke erfaringer som er gjort.

I tabell 3.15-3.21 i bilag 2 er samlet data for pH og konduktivitet i vaskevannet og for utvaskbart kobber- og sinkinnhold. Videre er beregnet forholdet mellom kobber og sink i vaskevannet.

Slike data som her er oppnådd, kan videre benyttes til å si hvilken forurensningsfare avfallet representerer og hvilken effekt tiltak vil gi. Det lille antall prøver som er tatt gir stor usikkerhet av flere årsaker:

- Vi vet at avfallet i veltene, spesielt nordre, er svært inhomogent. Det er derfor usikkert hvor representative prøvene er.
- Nordre velt og velten utenfor gammelgruva består av til dels meget grovt gods. Bormaskinen greide ikke å ta prøver i slike godstyper. Heller ikke i gods som var løst opplagt (lå på ras).
- Det er vanskelig å finne en egnet vaskemetodikk som passer for alle avfallstyper. En del avfall har sterkt basiske egenskaper, et forhold som påvirker pH i vaskevannet. Dersom vasketiden blir for lang.

I tabell 3.7-3.14 i bilag 2 er det gjort beregninger for å belyse forvittringsgrad i avfallet.

Beregningen er basert på den forenkling at en regner at svovelinnholdet i avfallet foreligger som sulfider. Da kobber- og sinkinnholdet er relativt beskjedent i forhold til jerninnholdet, kan det beregnes hvor mye av det totale jerninnhold som teoretisk kan være bundet til svovel som pyritt (FeS_2). Videre er beregnet forholdet mellom kobber og sink i vannuttrekk (tabell 3.15-3.21), noe som gir uttrykk for forhold som har med utvaskingen å gjøre. Det er også beregnet forholdet mellom totalt kobber- og sinkinnhold i avfallet.

Resultatene viser i grove trekk følgende forhold:

1. Prøvested A er mest representativ for nordre velt, idet det har var mulig å få opp prøver fra alle dyp.
2. I nordre velt er avfallet i bunnen mindre forvitret enn lengre opp.
3. Kobberinnholdet i nedre del av nordre velt er betydelig høyere enn lengre opp i velten. Dette kan skyldes to ting:
 - at skeidingen på den tid avfallet ble lagt opp var lite effektiv.
 - at utlagt kobber fra avfall lenger opp felles ut lenger ned i velten.
4. Utvaskingsforsøkene viser at utvaskbart kobberinnhold øker kraftig ved dypet i nordre velt.
5. I søndre velt avtar også forvittringsgraden med dypet, men mindre utpreget enn i nordre velt.
6. Avfallet i søndre velt er mer forvitret enn i nordre. Resultatene for en av prøvetakingene med gravemaskin i søndre velt viste at opptil 0.17 kg kobber/tonn avfall foreligger i lett tilgjengelig form ved utvasking med vann. Dersom hele søndre velt hadde hatt denne egenskap, ville dette representert en lett utvaskbar kobbermengde på 43 tonn.

4. OMRÅDETS VANNBALANSE

4.1 Geologi og topografi

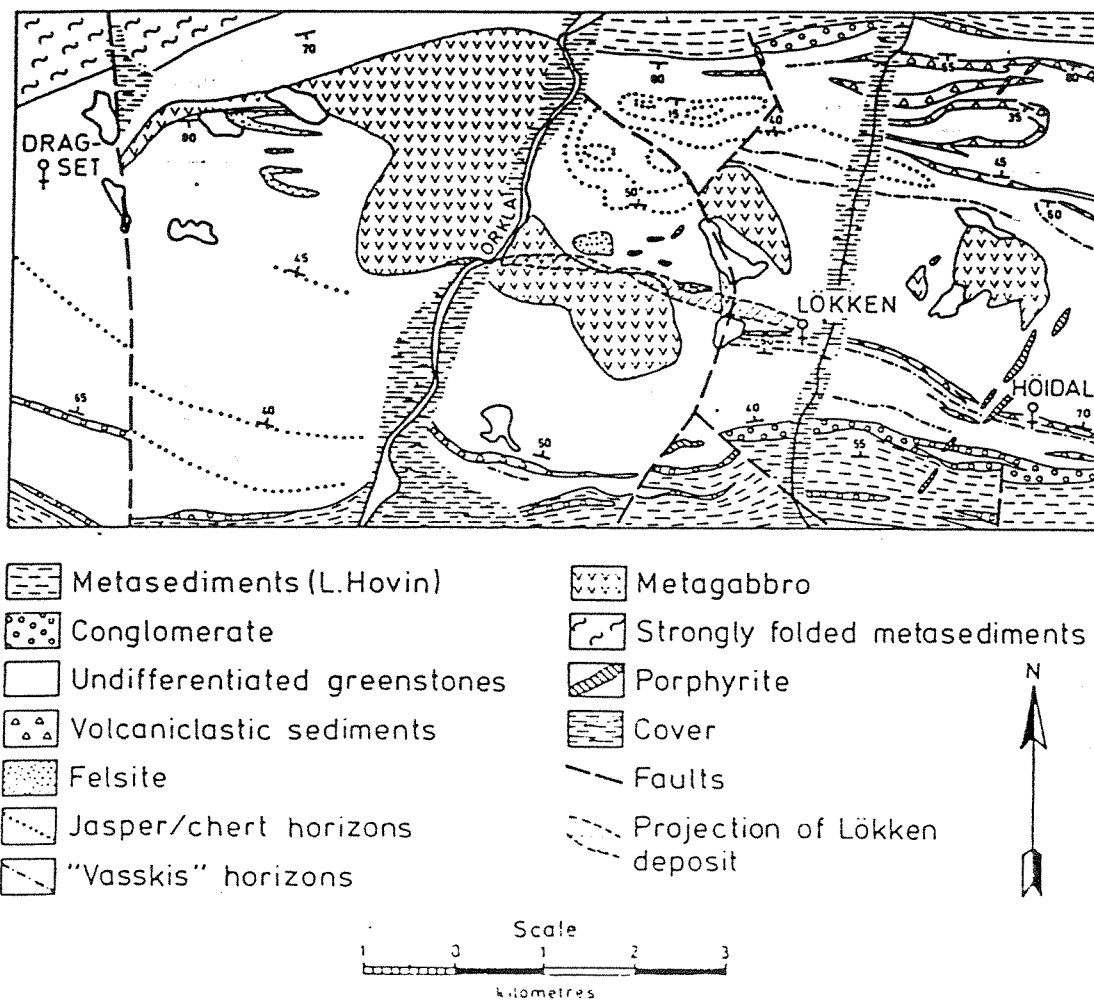
Løkken Gruber ligger i den vestlige delen av den geologiske enheten som kalles Trondheimsfeltet. Dette er en del av den kaledonske fjellkjeden som strekker seg som et bånd gjennom landet fra Haugesund i sør til Nordkapp i nord.

Den vestlige delen av Trondheimsfeltet er dominert av grønnsteiner (vulkanitter), som er en omdannet basalt. Grønnsteiner er mafiske bergarter som er karakterisert ved høyt innhold av magnesium og jern, og lavt innhold av silika i forhold til hva vi finner i f.eks. granitter og granittiske gneisser. Bergartene er dannet ved midt-ocean dyphavs vulkanisme hvor også sulfidmineraliseringen som Løkken Gruver drev på, er dannet.

Løkkenfeltet består hovedsakelig av grønnsteiner som veksler med lag av forskjellige typer sedimenter, også disse hovedsakelig av mafisk sammensetning, selv om også kalksteiner og intermediære bergarter er representert. Feltet har vært utsatt for flere deformasjonsfaser, som har bevirket sterk folding og noe forkastningsdannelse, hovedsakelig i Ø-V retning, men også noe i N-S retning.

De vulkanske bergartene kan grovt deles i to hovedtyper; en nedre enhet som består av tykke, massive lavaer og gabbro, og en øvre enhet som består av en veksling mellom forskjellige typer vulkanske bergarter, vasskis og jaspis.

De kvartære avsetningene i Løkken-området består stort sett av et tynt morenedekke med noe større mektigheter enkelte steder, som f.eks i et drag fra skytebanen til et vann merket 275 m på kartet, like sør for Fagerliåsen. (Arne Reite (NGU), pers.comm.)



Figur 4.1 viser et geologisk oversiktskart over Løkkenfeltet.

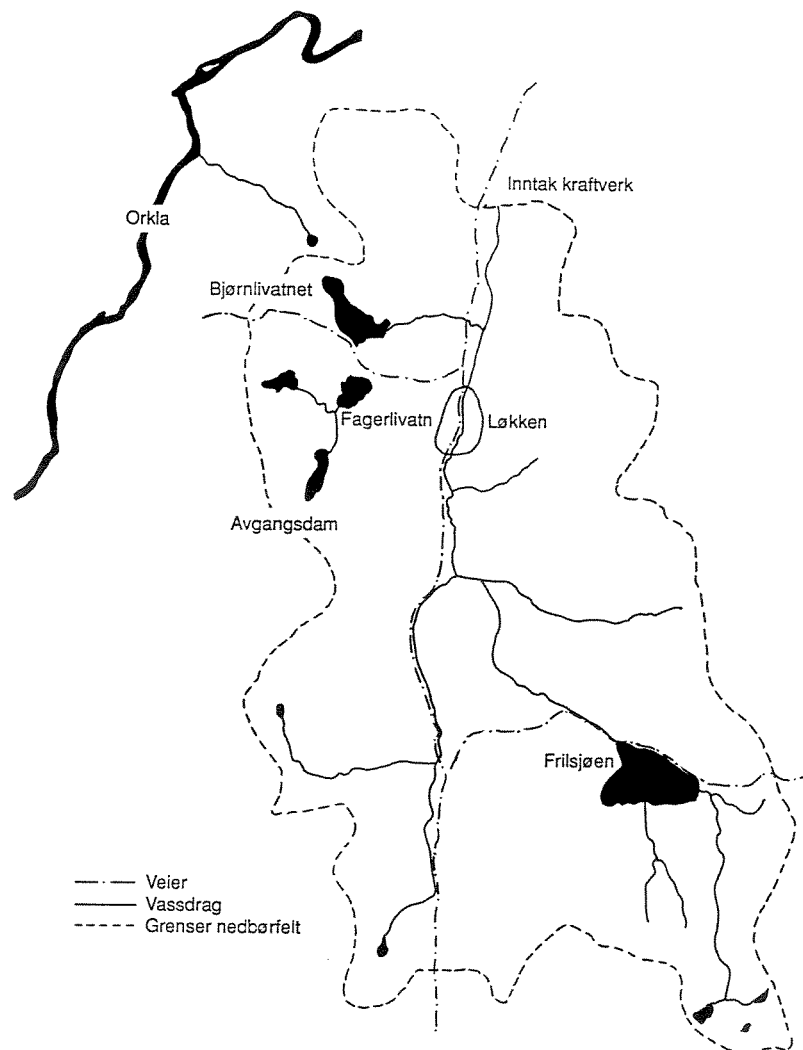
Sammensetningen av malmen fra Løkkengruvene har variert noe gjennom årene, men forholdsvis lite. Et typisk eksempel er:

Svovel	41,4	%
Jern	36,5	%
SiO ₂	13,7	%
Kopper	2,1	%
Sink	1,9	%
Kobolt	0,07	%
Mangan	0,07	%
Arsen	0,04	%
Bly	0,02	%
Kadmium	0,01	%
Selen	0,005	%
Nikkel	0,008	%
Sølv	19	g/tonn
Gull	0,2	g/tonn

En følge av de geologiske forhold er at området rundt Løkken er meget kupert, og nedbørfeltet for den lokale bekken, Raubekken, har betydelige høydeforskjeller, ca. 120 - 810 moh. Det er få innsjøer, i nedbørfeltet, og de er alle små. De største er Frilsjøen (350 moh) og Bjørnlivatn (274 moh).

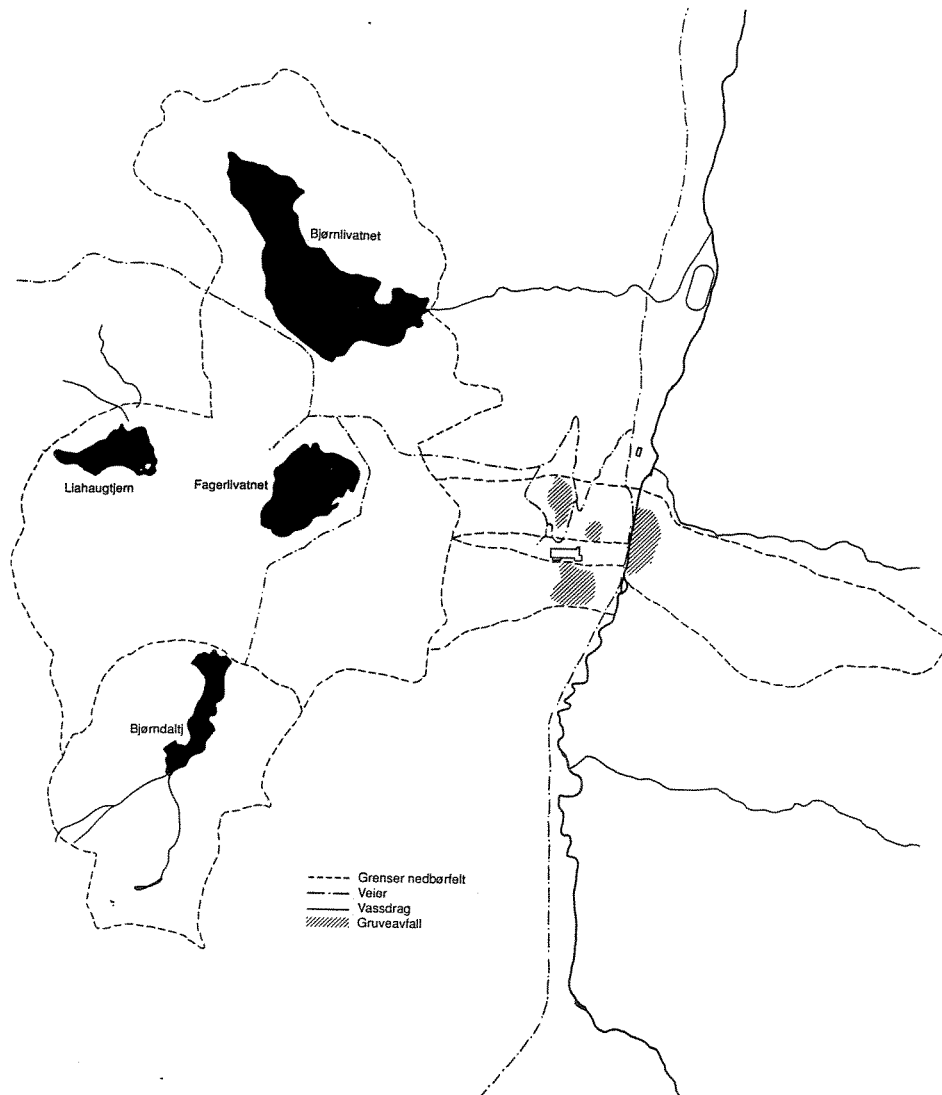
4.2 Hydrologi

Praktisk talt alt vann som er forurenset av gammel gruvedrift i Løkkenområdet drenerer til Raubekken. Et oversiktskart over Raubekkens nedbørfelt er vist i figur 4.2.



Figur 4.2 Raubekkens nedbørfelt.

Tilførslene av gruveforurensninger til Raubekken foregår på relativt korte strekninger i Løkken sentrum. Raubekken ovenfor Løkken er derfor ikke forurenset med tungmetaller og det kreves ikke tiltak i denne delen av vassdraget. Ved vurdering av hydrologiske forhold er det lagt hovedvekt på å beskrive de lokale forhold i Løkken. Det lokale nedbørfelt med inndeling i hovedområder er vist i figur 4.2.



Figur 4.3 Lokale nedbørfelt i gruveområdet.

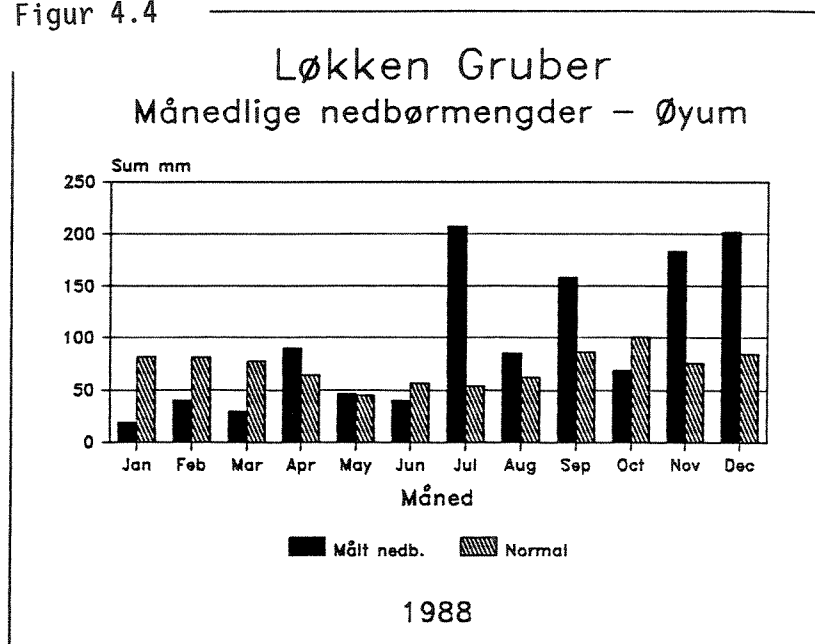
Vannføringen i et vassdrag er først og fremst avhengig av nedbør og temperatur. I tillegg har topografi, kvartærgeologiske forhold og andelen av innsjøer i vassdraget betydning.

Totaltransport av tungmetaller ut fra Løkkenområdet til Orkla, kan bestemmes ved regelmessig å måle konsentrasjon og vannføring i Raubekken nedenfor Løkken sentrum. Det har imidlertid ikke vært måleprofil for bestemmelse av vannføringen i de senere år. Først i midten av juli 1989 ble vannføringen rutinemessig avlest samtidig med prøvetakingen.

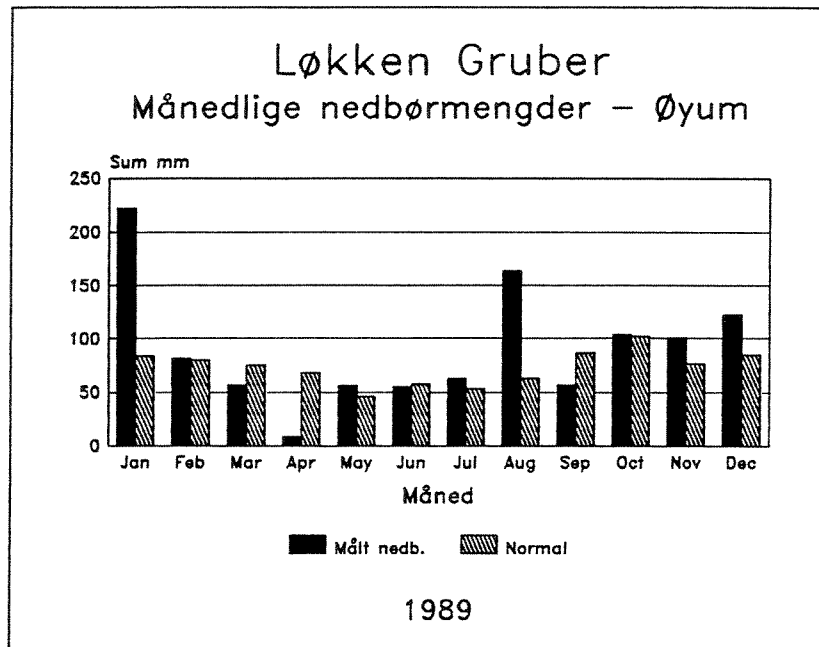
For å gjøre kvantitative sammenlikninger av forurensningsmengder fra år til år og fra lokalområde til lokalområde, har det vært nødvendig å anslå vannmengden i Raubekken. I hovedtrekk er disse anslagene gjort på grunnlag av meteorologiske observasjoner ved Øyum i Orkdalen, ca. 10 km nord for Løkken.

Bjørnlibekken som drenerer området omkring Fagerlivatn og Bjørnlivatn og tar opp avløpet fra avgangsdammen i Bjørndalen, kunne være en viktig transportvei for forurensninger til Raubekken. Det ble derfor etablert en målestasjon for temperatur og nedbør ved utløpet av Bjørnlivatn. Selvregistrerende utstyr for måling av vannføring i bekken ble etablert samtidig. Stasjonen ble etablert 7. mars 1989, men resultatene ble først brukbare etter en kalibreringsperiode frem til 21. mars. Nedbørmåleren ble først brukbar fra 12. april.

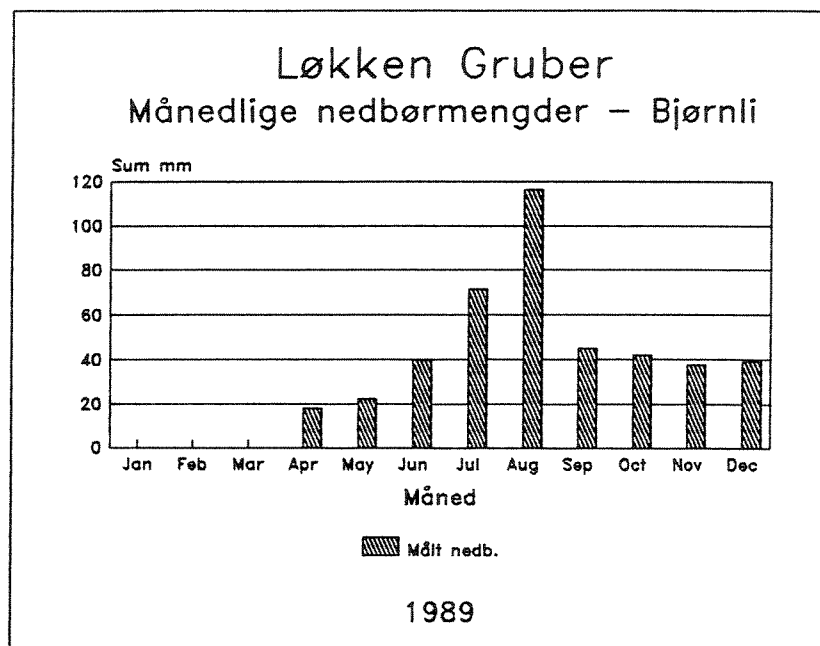
Figur 4.4



Figur 4.5



Figur 4.6



Fordi de fleste data som fordeler forurensningstransport på kilder er samlet i 1989, har de meteorologiske forhold det året stor betydning. I figurene 4.4 og 4.5 er månedlige nedbørhøyder for 1988 og 1989 vist. Figurene viser at nedbøren i januar og august var betydelig over normalen, mens den i april var uvanlig lav. I og med at nedbøren i november og desember 1988 også er svært høy, kan dette ha ført til en uvanlig høy vårflom i -89. Vi har vi ikke målinger av dette og beregningene som er gjort, kan vanskelig få med slike forhold.

I figur 4.6 er sum nedbør ved Bjørnlivann i månedene april - desember vist, som grunnlag for å bedømme representativitet av data fra Øyum. Det er klart at de målte nedbørmengdene ved utløp Bjørnlivatn i hele måleperioden bortsett fra april er betydelig lavere enn ved Øyum. Det er vanskelig å avgjøre om dette er en reell forskjell eller om det skyldes målefeil ved stasjonen i Løkken. NIVA har imidlertid for liten erfaring med slike stasjoner hittil, til at dette kan avgjøres sikkert. Antakelig er det en kombinasjonseffekt.

For å beregne transport av forurensninger fra de ulike deler av nedbørfeltet har det vært nødvendig å beregne vannføringer der de ikke er målt. I Raubekken er dette gjort med den såkalte HBV3-modellen (Bilag 1) som baseres på nedbør og temperaturdata fra området. Den modellen NIVA har tilgang til, er relativt tungvint i bruk og det er arbeidskrevende å tilpasse de mange koeffisienter til de måledata som foreligger.

Arbeidet er derfor ikke ført så langt at overensstemmelsen mellom målte og beregnede vannføringer er perfekt. Det foreligger for lite måleresultater til en god kalibrering. Resultatene gir likevel et noenlunde rimelig forhold mellom transportverdier fra år til år og fra område til område. Usikkerheten ligger først og fremst i beregningen av flomtopper. Transporttoppene blir tilsvarende for lave. Noen vesentlig betydning for videre beslutninger har dette ikke. Antakelig er vannføringen under slike forhold anslått for lavt.

Fordi det bare er en begrenset periode hvor det foreligger meteorologiske data fra Løkken, har det vært nødvendig å bruke data fra Øyum for beregning av vannføringer i Raubekken. Dette bidrar også til å skape usikkerhet i resultatet av vannføringsberegninger.

En meteorologisk informasjon som inngår ved beregning av vannføring er potensiell fordamping. Ved Øyum er månedsmiddel (i mm) for dette beregnet til:

Jan.	Feb.	Mars	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.
-0.2	-0.1	0.2	2.8	3.6	4.7	3.1	1.8	0.9	-0.1	-0.1	-0.1

For beregning av avrenning fra områdene som drenerer de store veltene ut mot dalen ved Løkken, er vannføringen beregnet som proporsjonal med vannføringen i Bjørnlibekken på samme dag.

4.3 Drensvann

I det følgende er samlet en del data om nedbørfeltene i Løkkenområdet. Alle data om vannføring referer til årlige "normalverdier". Å anvende slike data for et enkelt år, slik det er gjort i denne rapporten, kan gi feil i de absolutte transporttallene. Forholdet mellom de ulike kildene vil være mer pålitelige.

1. Raubekken

Samlet nedbørfelt til inntak krafttunnel:	37.88 km ²
Samlet nedbørfelt til sentrum (vanmerke):	32.13 "
Avrenningskoeffisient i nedbørfelt: (anslått):	26 l/s·km ²
Midlere vannføring inntak krafttunnel:	0.98 m ² /s
Midlere vannføring sentrum:	0.84 "

2. Bjørnlibekken

Nedbørfeltet består av følgende tre deler:

Bjørnlivatn (til utløp):	0.97 km ²
Fagerlivatn (til grense Bjørnlivatn):	2.19 "
Bjønndalsdammen (til utløp):	0.71 "
Avrenningskoeffisient i for hele området:	25 l/s·km ²
Midlere vannføring Bjørnlibekken:	97 l/s
Midlere vannføring Bjønndalsdammen:	18 l/s

3. Velter - vestsiden av Raubekken

Samlet areal nedbørfelt med velter o.l.: Regnet opp til vannskillet mot Fagerlivatn til Raubekken	0.385
Avrenningskoeffisient for arealet:	25 l/s
Midlere avrenning fra områdene med velter:	10 l/s

4. Gammel slamdam - øst for Raubekken

Totalt areal for nedbørfeltet med slamdam: Gjelder hele arealet som drenerer gjennom slamdammen til Raubekken.	0.43 km ²
Avrenningskoeffisient:	25 l/s·km ²
Midlere avrenning "gjennom" slamdammen:	11 l/s

4.4 Gruvevann

Overløp av gruvevann var ved oppfyllingens start antatt å komme en gang i 1993, men kan skje allerede i 1991. Dette tilsvarer en gruvevannsmengde på ca. 500 000 m³ pr. år. I januar 1989 var dette fortsatt ansett som et rimelig anslag. Gruvevannsmengden ventes å avta, men vi har ikke antatt vesentlig volummessig reduksjon i de videre beregninger her.

Gruvevannet var da oppfyllingen startet, sterkt forurenset, og måtte forventes å skape betydelige problemer ved utslipp i en resipient. Vannkvaliteten er av NIVA fulgt opp under oppfyllingen, og utviklingen er behandlet i et eget notat av 6. april 1989.

I den foreliggende utredning vil vi bare trekke frem noen momenter av betydning for eventuelle praktiske tiltak i Løkkenområdet.

Wallenberg gruve ble avstengt fra Astrup, og vannfyllingen tok til i 1984. Fra september 1986 har NIVA regelmessig tatt vannprøver fra Wallenberg sjakt. I denne tiden har vi kunnet konstatere en gradvis forbedring av gruvevannet til siste prøvetaking som fant sted i desember 1989. Tabell 4.1 viser de viktigste analyseresultatene fra denne prøvetakingen.

Tabell 4.1 Analyseresultater for vannprøver fra Wallenberg sjakt
12. desember 1989

Prøve- nivå m	pH	Kond mS/m	Sulfat mg/l	Alu- minium mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mikg/l
207	6.3	78.0	408	0.13	1.19	0.22	1.04	3.3
265	6.2	78.1	400	0.1	0.93	0.16	0.97	3.0
300	6.2	78.7	393	0.2	1.08	0.20	1.01	3.2
340	4.9	668	7000	28.5	640	22.4	153	430
380	6.1	78	415	0.2	1.15	0.17	0.98	3.0
430	4.4	2070	35000	140.8	11000	0.42	1760	30
490	4.1	2450	44200	674	13800	0.36	2390	3.0

Bortsett fra bunnsjiktet i gruva, 430 - 490 m, som antakelig ikke har nevneverdig utveksling med andre vannmasser i gruva, er det bare prøvene fra 340 m som har høye konsentrasjoner av tungmetaller.

Da gruvedriften var igang i Wallenberg, var konsentrasjonen av kopper i utpumpet gruvevann mer enn 500 mg Cu/l og 0,8 - > 1 gram sink pr. liter. Kvaliteten på det gruvevannet som idag står i gruva, er dermed forbedret betydelig.

Det er fortsatt vanskelig å fastslå med sikkerhet hvilken vannkvalitet man får i det vannet som med tiden kommer ut av Wallenberg gruve. Dette skyldes at en del av de forurensninger som idag finnes på nivå 340 m i gruve kommer fra forurenset vann som strømmer inn fra det gamle gruveområdet i Løkken. I tillegg foregår det fortsatt en utvasking av områder som ligger over vann. Her er utvaskbar forurensningsmengde ganske stor fordi det er områder med tidligere stor gruvevirksomhet og store mengder oksiderbart materiale.

Etter en tid vil en betydelig del av disse områdene være satt under vann, slik at oksidasjon og utvasking reduseres betydelig eller stanser. Det er rimelig å anta at vannkvaliteten i overløpet fra gruva kan holdes på mindre enn 5 mg/l. Dersom innstrømning av forurenset vann fra overflaten stanser, vil kvaliteten bli enda bedre, antakelig ned mot 1 mg Cu/l.

Sink er et mer mobilt metall i naturen og tilsvarende mengder for sink kan anslås til 50 mg Zn i første omgang, og med en reduksjon til ca. 2 mg Zn/l.

Disse anslagene må på mange måter bli en gjetning, fordi de er ikke bare avhengige av forhold som gjelder vannfylte gruverom, men tiltak på overflaten i Løkkenområdet og størrelse og egenskaper for de gruverom som blir igjen over vann.

Med et utgangspunkt som nevnt over, vil gruvevannsmengden i Løkken representere en forurensningsmengde på:

Kopper:	2,5 tonn	avtakende til	0,5 tonn/år
Sink :	25 tonn	avtakende til	5 tonn/år

4.5 Grunnvann

4.5.1 Aktuelle grunnvannstrømmer

Metalltransporten til Raubekken og gruva påvirker grunnvannet først og fremst gjennom følgende mulige transportveier i grunnen:

1. Grunnvann som drenerer til gruva
2. Grunnvann som dannes oppstrøms og under velter ved Gammelgruva og oppredningsverket.
3. Grunnvann som perkolerer under Bjørndalsdammen
4. Grunnvann som perkolerer under avfallet rundt Fagerlivatn.
5. Grunnvann som perkolerer under og gjennom den gamle slamdammen øst for Raubekken.

På bratte morenekledde skråninger, som de som vender mot Raubekken, bør det normalt infiltrere mellom 150 og 200 mm årlig, spesielt dersom de er kledd med grovere materiale enn morene. Dette er imidlertid mer enn hva et forholdsvis tynt jorddekke kan transportere lateralt, noe som fører til at grunnvannsnivået heves til det når overflaten, og det skjer utstrømning. Overskuddsvannet som akkumuleres suksessivt nedover i skråningen og renner av som overflatevann, sammen med det øvrige overflatevannet. Utstrømning av grunnvann skjer antakelig bare i korte perioder når omsetningen av vann er særlig stor, f.eks. i vårflommen.

4.5.2 Grunnvann som drenerer til gruva

Lekkasje av grunnvann til gruva er beregnet til 500 000 m³/år. Hvor stor del av denne vannmengden som er forurenset, har det ikke vært mulig å anslå. Det har heller ikke vært mulig å fastslå hvordan totalmengden fordeler seg på de ulike deler av gruva. Grunnvannets strømning i grunnfjellet er imidlertid alltid innhomogen, fordi bergets gjennomtrngelighet i hovedsak bestemmes av sprekksone og forkastninger. Disse sonene mates imidlertid igjen av mindre sprekker i sideberget og av jordlag og vannforekomster på overflaten over berggrunnen. Hvor stor grunnvannsdannelsen er avhenger av mange forhold som ikke kan omtales nærmere i denne utredningen. En normal verdi er 150 mm/år. Brukes denne verdien for Løkkengruva, fås et tilførselsområde på ca. 3 km².

Den største delen av tilførselsområdet til gruva ligger antakelig i tilslutning til dalførene med Bjørnlivatn og Fagerlivatn, respektive Liahaugtjern og Astrup sjakt. Så lenge vannstanden i gruva er betydelig lavere enn Raubekkens nivå, kan slike sprekksoner i hoveddalen som gruva kommuniserer med, også mate grunnvann til gruva. Etter hvert som vannivået i gruva stiger, avtar tilrenningen og tilrenningsområdet avtar, hvorved innrenningen fra sprekksonene under Raubekken mister sin betydning.

Lekkasje av vann fra sjøer, tjern og dammer til gruva er ikke så stor som man kunne tro, fordi bunnene inneholder tette sediment. De anslås til å stå for 10 - 25 % av den totale vanninnstrømmingen i gruva.

4.5.3 Grunnvann i tilslutning til veltene ved oppredningsverket

En del av det metallholdige vannet fra veltene ved oppredningsverket vil infiltreres i grunnen og danne grunnvann. Dette grunnvannet strømmer ned mot dalbunnen der det etter hvert trenger ut i Raubekken. For å få en pålitelig beregning av metalltransporten er det derfor viktig å kvantifisere både omsetning av vann og konsentrasjoner for de grunnvannsstrømmer som angår veltene. Spesielt er det viktig å beregne metalltransporten i feltet nedstrøms Berguggelåsen.

Forurensningstransporten fra selve gruveområdet nedstrøms Berguggelåsen berører maksimalt 700 meter av skråningen mot dalen. Infiltrasjonsoverflaten er ca 700 x 600 m eller 420 000 m². Den maksimale dreisvannsmengden fra dette arealet blir således 40 000 - 80 000 m³/år. Fordi en mindre del av vannet ikke kommer i kontakt med avfall eller forurenset vann, antas mengden forurenset vann å bli 60 000 m³/år.

Jordsmonnets evne til å transportere vann lateralt er imidlertid begrenset. Tross den bratte hellningen vil neppe mer enn maksimalt ca 7000 m³ grunnvann bli tilført Raubekken via de løse jordlagene på den aktuelle strekningen.

Overskuddet drenerer via berggrunnen, eller som overflatevann i de lavere partier av dalen. Berggrunnen dreneres i det aktuelle området i stor grad av gruva og innlekkasje dit er for tiden totalt 500 000 m³/år. Selv om det meste av det vannet som kommer inn i gruva ikke er forurenset, er det sannsynlig at en stor del av det forurensete grunnvannsoverskuddet fra nettopp dette området går til den nærliggende gruva, antydningvis ca 35 000 m³/år. Det utgjør da ikke mer enn 7 % av det årlige tilskuddet til gruvevannet. Utstrømming av grunnvann skjer som allerede nevnt bare i kortere perioder når omsetningen av vann er spesielt stor, f.eks. i vårflommen.

Under feltarbeidet ble det gravet en serie prøvegroper nedstrøms den aktuelle skråningen i dalsiden. Hensikten var å kontrollere grunnvannstrømmen i jordsmonnet. Tross flere forsøk, som ble utført i mai 1989, fant man ikke noe grunnvann her, se Terratema-rapport 1989-06-19. (bilag 4).

Lengre nord, ved Bjørnlibekkens kryssing av riksveien, fikk man derimot et grunnvannsnivå på ca 1,5 m dyp. Dette bekrefter at gruva drenerer vann fra veltene i dette området. Permeabiliteten for vann ble anslått i prøvegroperne. Nedstrøms veltene anslås den til å variere mellom $5 \cdot 10^{-6}$ og $1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Dette anslaget ligger til grunn for beregningen av at det fra området nedstrøms Berguggelåsen maksimalt kan tilføres 7000 m³/år.

Oppfølgingen av metalltransporten i Raubekken har avslørt en tydelig og konsentrert lekkasje av forurenset grunnvann ca 450 m nedstrøms den del av bekken som ligger rett ned for avfallstippene (bilag 5). Det tyder på at det er et område hvor vannet møter mindre motstand i grunnen, antakelig en sprekkzone som drenerer til bekken istedetfor til gruva. Transmissiviteten (permeabiliteten x mektigheten) anslås i så fall å være maksimalt $5 \cdot 10^{-4}$ m²/s. Med en hydraulisk gradient på 0,2, blir den største transportkapasiteten for et tverrsnitt av bekken (10 m langt) vel 30 000 m³/år (ca. 1 l/s). Hele strømmen kan imidlertid ikke bestå av forurenset drens vann. Vi antar at den forurensede andelen utgjør 15 000 m³/år.

4.5.4 Grunnvannstrøm under Bjørndalsdammen, Fagerlivatn og Bjørnlivatn

Det vannet som lekker gjennom sedimentene i bunnen av Bjørndalsdammen, anslagsvis ca 65 000 m³/år, er fordelt på tre transportveier:

- * Lekkasje via berggrunnen hovedsakelig til gruva
- * Perkolasjon via morenelaget til Fagerlivatn
 - Videre avrenning til Bjørnlivatn
 - Drenering inn i gruva

Morenens maksimale kapasitet til å transportere vann til Fagerlivatn er begrenset og anslås til ca 15 000 m³/år. Morenelaget i Bjørndalen transporterer imidlertid også annet grunnvann og en del av magasin vannet rekker å drenere til berggrunnen på vei mot Bjørnlivatn. Maksimalt 5 000 av de 65 000 m³/år antas å nå Fagerlivatn på denne måten. De resterende 60 000 m³/år drenerer derfor til gruva.

Grunnvannet i Fagerlibassenget derenerer også delvis til gruva, men også til basseng som ligger nedstrøms i terrenget, nemlig Bjørnlivatn. Den "vertikale" lekkasjen fra Fagerlivatn beregnes til ca 25 000 m³/år, hvorav det meste antas å gå til gruva. Lekkasje av grunnvann til Bjørnlivatn blir liten ettersom gradienten er liten og "passet" ved Kvernhuslia er trangt. Den beregnes til mindre enn 1 000 m³/år.

Grunnvannsdannelsen som følge av infiltrasjon av Bjørnlivatn beregnes til ca 65 000 m³/år. Også her antas det at bare en mindre andel kan lekke ut gjennom passpunktet, det vil si under dammen ved utløpet av Bjørnlivatn, anslagsvis 1 000 - 2 000 m³/år. Det er altså bare denne delstrømmen av vann fra gruveavfallet i Bjørndalsdammen og Fagerlibassenget som i form av "forurenset", fortynnet grunnvann kan nå Raubekken

4.5.5 Grunnvannstransport under den "gamle slamdammen"

Den "gamle slamdammen" øst for Raubekken og midt ut for gruvekontoret ligger innenfor utstrømningsområdet (foten av skråningen) til et østlig avrenningsområde til Raubekken. Det tilsvarer et areal på 0,43 km². Med den generelle avrenningskoeffisienten 25 l/s·km² får vi en total avrenning på ca 11 l/s. En del av dette vannet infiltrerer og danner grunnvann og en del renner av som overflatevann til Raubekken. Fordi slamdammen ligger midt foran avrenningsområdet, kan grunnvannet perkolere gjennom slamdammen på sin vei til bekken. Avgangen i dammen har imidlertid en begrenset permeabilitet for vann, og slipper kun gjennom en brøkdel av dette vannet. Ved hjelp av de geometriske forholdene og en alminnelig permeabilitetsverdi for avgang ($K = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s) beregnes denne grunnvannstrømmen til ca 10 000 m²/år (0,31/s).

4.5.6 Grunnvannsforholdene når gruva er fylt med vann

Når gruvesystemet er vannfylt, antas det at grunnvannet vil renne ut ved Gammelgruva, det vil si på nivå ca +185 m. Dette innebærer at en mindre del av gruva fortsatt vil bli tørrlagt. Dette innebærer igjen at gruva fortsatt vil drenere berggrunnen på åsen med Bjørndalsdammen, Fagerlivatn og Bjørnlivatn. Dreneringen kommer imidlertid til å bli mindre effektiv enn den er idag og gruvevannsmengden anslås å avta til omkring 300 000 m³/år.

Vannbalansen for Bjørndalsdammen, Fagerlivatnet og Bjørnlivatnet kommer sannsynligvis ikke til å endre seg vesentlig når oppfyllingen er avsluttet. Muligens kommer grunnvannslekkasjen til å minske litt og overflateavrenningen øker noe. For metallbalansen vil dette antakelig ikke få noen avgjørende betydning.

Vannfyllingen kommer heller ikke til å få noen betydning for lekkasjen gjennom den gamle slamdammen. Fordi den konsentrerte utlekkasjen i Raubekken nedstrøms dette området ikke antas å være berørt av gruva idag, vil vannfyllingen heller ikke kunne påvirke denne lekkasjen.

Lekkasje av forurenset vann fra bergveltene kan derimot bli påvirket av den reduserte drenering til gruva. Etter som hovedmengden av veltene kommer til å ligge over det stabile vannivået i gruva, kommer en stor del av vannet også i fremtiden å bli tilført gruvevannet. Lavere ned i skråningen kommer imidlertid grunnvannsnivået til å stige og tvinge grunnvann som er forurenset av gruveavfallet, opp til markoverflaten et stykke opp i foten av skråningen. Dette vannet vil naturligvis fortsatt renne til Raubekken.

5. METALLTRANSPORTEN

5.1 Spredningsveier

I avsnitt 4.3 (Overflatevann) og 4.5 (Grunnvann) er de fire viktigste, potensielle spredningsveiene for det sure metallholdige vannet fra Bergveltene omtalt:

1. Lekkasje til gruva - 35 000 m³/år
2. Lateral transport i jordsmonn til Raubekken - 5 000 m³/år
3. Overflatevann til Raubekken 5 000 m³/år
4. Grunnvann til Rabekken via antatte sprekksoner -
15 000 m³/år

Sum forurenset vann fra velter : 60 000 m³/år

Øvrige, aktuelle spredningsveier for metallholdig vann er:

5. Overflatevann som renner av i umiddelbar tilslutning til den gamle slamdammen - 330 000 m³/år.
6. Grunnvann som renner gjennom den gamle slamdammen - 10 000 m³/år
7. Overflatevann fra Bjørndalsdammen/Fagerlivatn/Bjørnlivatn via Bjørnlibekken vel 3 000 000 m³/år
8. Grunnvann under Bjørnlibekken - 1 000 - 2 000 m³/år
9. Lekkasje til gruva fra Bjørndalsdammen og Fagerlivatn - knapt 85 000 m³/år
10. Lekkasje til gruva fra Bjørnlivatn - knapt 65 000 m³/år

Sum mengde forurenset vann : 3 490 000 m³/år

Totalt : 3 550 000 m³/år

Beregning av fordelingen av forurenset vann på disse ulike spredningsveiene er usikker. Først og fremst er usikkerheten stor når det gjelder strømmen via berggrunnen., dvs de to viktigste spredningsveiene - til gruva eller til Raubekken via en antatt sprekksonen. Det er blant annet forutsatt at veltene er kilde for det forurensete vannet i den antatte sprekksonen. Dette er mest nærliggende, men det er ikke blitt verifisert. En annen mulig kilde er den gamle slamdammen. I tilfelle kreves det at det finnes en sprekksonen i berggrunnen eller eventuelt et grovkornet sjikt i jordlaget under slamdammen, og et utstrømningsområde vel 400 m lengre mot nord (ved utstrømningen i Raubekken). Det virker mindre sannsynlig. At avfallet ved Fagerlivatn skulle utgjøre noen kilde for denne transporten via berggrunnen er enda mindre sannsynlig, med tanke på at gruva burde drenere fjellgrunnen mellom Fagerliområdet og dalbunnen.

I vurderinger av metalltransporten gjennom de ulike spredningsveiene er det naturligvis meget viktig å finne så "riktige" verdier som mulig for de aktuelle vannstrømmer. For overflatevannet er variasjonene over tid vanligvis store både for konsentrasjoner og vannføringer. På den annen side fins det ofte mange måleresultater tilgjengelig. For grunnvannet gjelder det som det fremgår av avsnitt 4.5 at usikkerheten er stor i beregning og vurdering av vannføringens størrelse. På den annen side varierer ikke vannføringen så mye over tid. Problemet med metallkonsentrasjonene i grunnvannet er ikke at de er lave, men at det er vanskelig å få tak i relevante prøver av primært drensvann og fortynnet grunnvann der fortynningsgraden kan beregnes. I dette tilfellet er det tatt meget få prøver som kan representere et veldefinert grunnvann eller primært drensvann.

Metalltransportberegningene viser at det er vanskelig oppnå full balanse mellom den utgående metalltransporten - her i Raubekken og de målte verdiene i delstrømmene. Denne vanskeligheten deler Løkkenprosjektet med flere tilsvarende prosjekter i Sverige, f.eks. Falun, Garpenberg og Saxberget. I noen av disse tilfellene har det vist seg at man lett undervurderer konsentrasjonene i det vannet som primært er i kontakt med gruveavfallet i de tilfellene hvor beregning av metallbalansen baseres på vannstrømmen gjennom selve avfallet. Det kreves ofte stor innsats for å få tak i representative vannprøver. Når disse, ofte høye verdiene for drensvannet (ikke sjelden i størrelsesorden g/l for sink og kopper) får representere alt det aktuelle avfallet, pleier det å bli balanse i beregningene.

5.2 Metalltransporten i Raubekken med tilførsler

For undersøkelse av overflateavrenning er følgende faste stasjoner benyttet:

St.nr.	Navn	Program
1	Overløp slamdam Bjørndalen	Manuell vannmengdemåling
1a	Utløp Fagerlivatn	" "
2	Utløp Bjørnlivatn	Automatisk måling av vannføring lufttemperatur og nedbør
3	Raubekken ved Salberg (total avrenning)	Manuell vannmengdemåling.
5	Bekk ved Langeng	Manuell vannmengdemåling.
6	Bekk ved Stallgata syd	" "

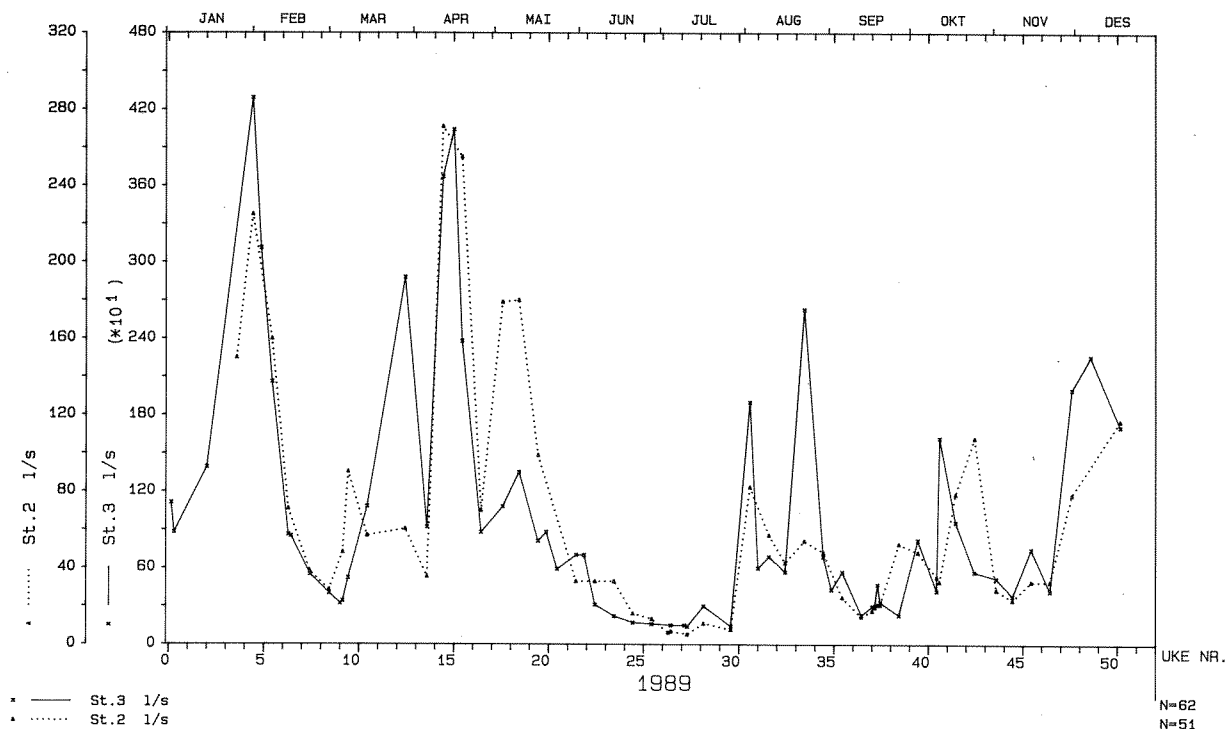
Ved en detaljert kartlegging av tilførslene til Raubekken ble det tatt prøver ved ca. 20 lokaliteter, delvis på begge sider av bekken, mellom nederste stasjon ved Salberg og ovenfor tilløp ved Stallgata syd. Disse analyseresultatene er samlet i bilag 5. Øvrige resultater er samlet i bilag 3.

5.2.1 St. 3 Raubekken

Det ble opprettet en fast måleprofil i Raubekken i juli 1989. Vannstand ble avlest og vannføring beregnet ved alle prøvetakinger resten av året. Vannføringer i den foregående del av året er teoretisk beregnet ved hjelp av data fra målestasjonen ved Bjørnlivatn der det ble målt vannføring, nedbør og lufttemperatur, og data fra den meteorologiske stasjonen på Øyum i Orkdal. Vi viser for øvrig til avsnitt 4.2 Hydrologi.

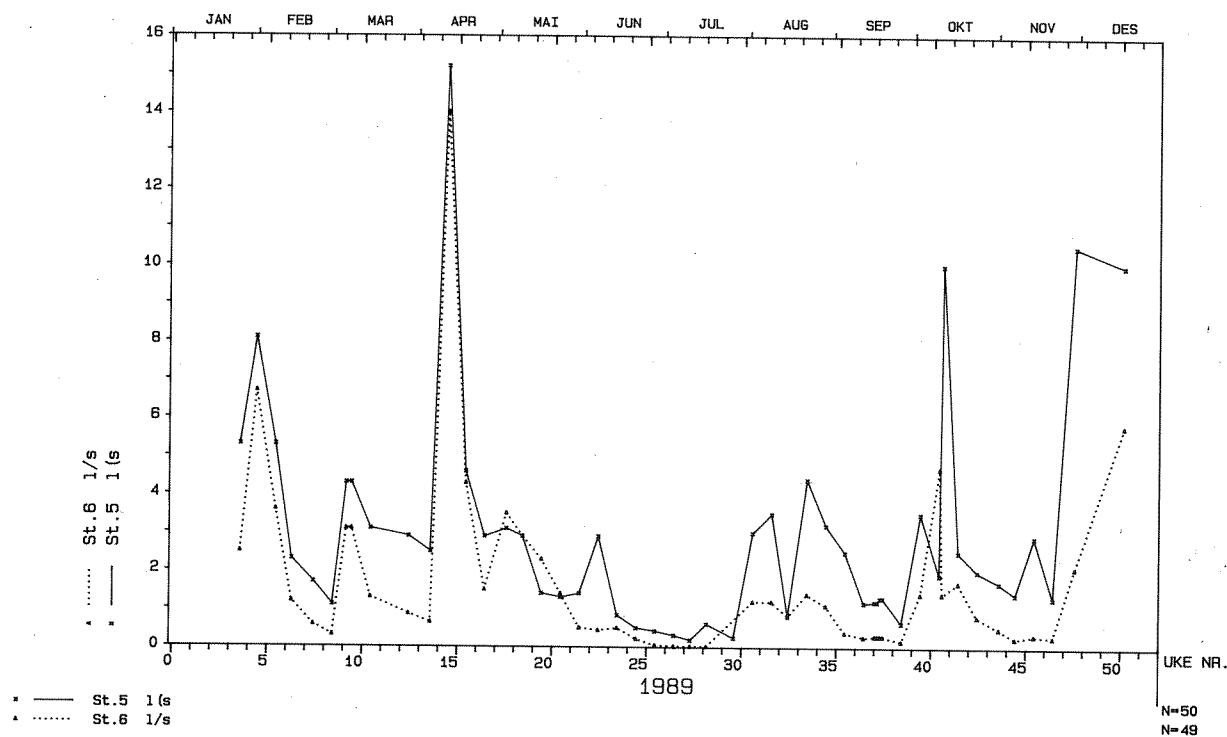
I bilag 3 er samtlige analysedata for Raubekken ved Salberg samlet i tabeller.

VANNFØRING



Figur 5.1 Vannføring i Raubekken (St. 3) og ved utløp Bjørnlivatn (St. 2).

VANNFØRING



Figur 5.2 Vannføring i bekk ved Langeng (St. 5) og bekk ved Stallgata syd (St. 6).

Tungmetalltransporten i Raubekken er forholdsvis jevn i store deler av året til tross for at vannføringen kan variere betydelig. Fig. 5.1 viser hvordan vannføringen, varierer med tiden. De høyeste metallkonsentrasjoner ble funnet i juli måned, noe som har sammenheng med den lave vannføringen på grunn av tørke. Vannføringsmønsteret for året er for øvrig unormalt med meget høye vannføringer i begynnelsen av året på grunn av mildvær og regn. Total avrenning for året var høyere enn normalt, noe som også har betydning for utvasking av forvittringsprodukter.

5.2.2 St. 1 Overløp slamdam Bjørndalen

Overløpet fra slamdammen føres direkte til Bjørnlivatn. Vannmengdene fra dammen er i dag meget beskjedne, p.g.a. det lille nedbørfeltet. I juli 1989 var det således intet overløp. Vannkvaliteten har variert en del siden deponeringen opphørte i juli 1987. Til å begynne med skjedde en forsurening. Etter at dammen har vært tilført kalk et par ganger, synes vannkvaliteten å ha stabilisert seg i løpet av 1989. Kobber- og sinkkonsentrasjonene var lavere enn i foregående år. For øvrig vises til tabellene i bilag 3 som viser analyseresultater for 1988 og 1989 og middelverdier for perioden 1975-89.

5.2.3 St. 1a Utløp Fagerlivatn

Ved utløpet av Fagerlivatn er det støpt en overløpsprofil som sikrer en relativt stabil vannstand. Dette kan ha en positiv effekt når det gjelder å redusere metalltransporten fra området. Vannkvaliteten er fortsatt sterkt sur ($\text{pH} < 4$) og varierer relativt lite i løpet av året. Kobber- og sinkkonsentrasjonene ligger i lange perioder i området 3.5-4.5 mg Cu/l og 7-10 mg Zn/l.

Det er ikke mulig å måle hele avrenningsmengden til Bjørnlivatn, da en stor del av tilførselen antas å passere som grunnvannstilførsel gjennom fyllingen mellom Fagerlivatn og Bjørnlivatn. Analyseresultater er samlet i tabeller i bilag 3.

5.2.4 St. 2 Utløp Bjørnlivatn

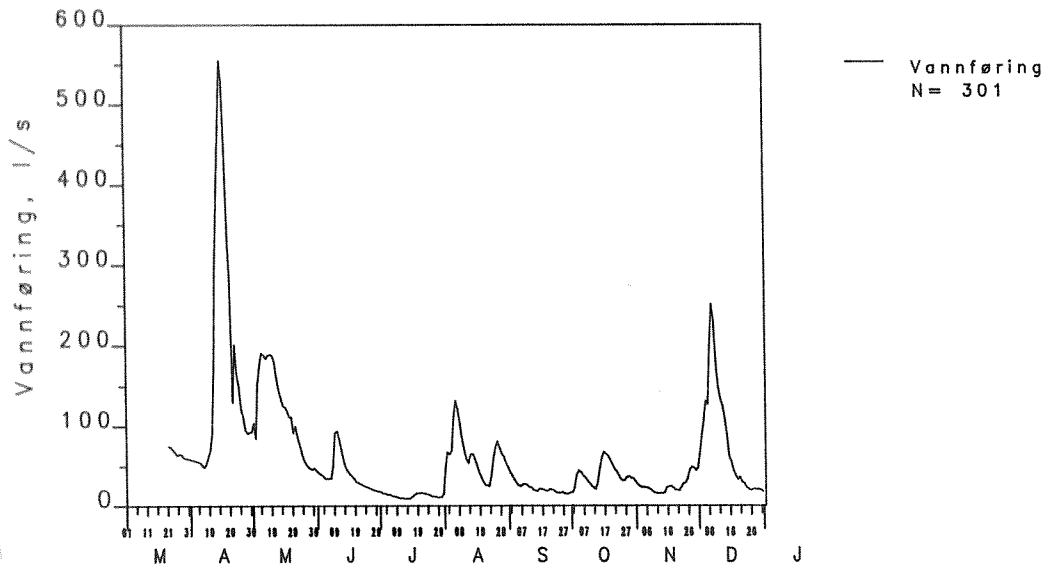
Vannføringen ved utløpet har i 1989 (fra mars måned) vært registrert automatisk (se fig. 5.3). Under vårflommen i april ble det meget kortvarig registrert vannføringer over 500 l/s, mens laveste vannføring ble målt til ca. 5 l/s i juli måned. Kobber- og

sinkkonsentrasjonene (bilag 3) var relativt stabile hele året igjennom og varierte i området 1.5-2.5 mg Cu/l og 4.0-5.5 mg Zn/l. Når det gjelder utviklingen i de årlige middelveier, har det skjedd en bemerkelsesverdig reduksjon i jernverdien (13 mg/l i 1988, 2.8 mg/l i 1989). Dette kan ha sin årsak i stabilisering av vannstanden i Fagerlivatn.

Løkken Gruber

Vannføring Bjørnlivbekken

26/ 1-1990 11:31



Figur 5.3 Utløp Bjørnlivvatn. Vannføring 1989 (kontinuerlige målinger).

5.2.5 Bekk ved Langeng og ved Stallgata syd

Begge bekker er typiske flombekker som samler overflateavrenning fra veltene på Løkken-siden. Vannføringen varierer sterkt og er også avhengig av hvor en måler. Det kan observeres at sigevann forsvinner i grunnen. Måling i bekkene vil således ikke fange opp all avrenning fra velteområdet. Vannkvaliteten varierer også sterkt. Metallkonsentrasjonene kan variere betydelig over relativt kort tid. Begge bekkene er sterkt sure med pH-verdier mellom 2.0 og 2.8 i løpet av året. Analyseresultatene er samlet i tabeller i bilag 3.

5.3 Beregning av metallbalanser

Ved hjelp av analysedata og vannføringsobservasjoner er det i tabellene i bilag 3. beregnet momentane materialtransportverdier for de viktigste parametre for de faste stasjonene. Middelerverdier (ikke tidsveide), maks.- og min.-verdier for de viktigste parametre er samlet i de følgende tabeller:

Tabell 5.1 Materialtransport i Raubekken 1989 (St. 3).
Samlet avrenning (inntak kraftverk.)

		Gj.snitt	Max	Min
Kobber	kg/døgn	115	508	12.3
Sink	"	174	678	14.7
Jern	"	1602	6990	200
Aluminium	"	294	690	60.1
Sulfat	tonn/døgn	9.8	31.4	1.6
Vannføring	l/s	1012	4290	140

Tabell 5.2 Materialtransport utløp Bjørnlivatn 1989 (St. 2).

		Gj.snitt	Max	Min	% av St. 3
Kobber	kg/døgn	11.4	43.2	1.2	9.9
Sink	"	24.8	36.6	2.5	14.3
Jern	"	16.7	58.4	1.7	1.0
Aluminium	"	20.6	62.0	7.6	7.0
Sulfat	tonn/døgn	2.6	6.4	0.24	26.5
Vannføring	l/s	65	271	5.2	-

Tabell 5.3 Materialtransport utløp Fagerlivatn 1989 (St. 1a).

		Gj.snitt	Max	Min
Kobber	kg/døgn	3.9	15.0	0.09
Sink	"	9.2	27.6	0.2
Jern	"	4.5	18.4	0.4
Aluminium	"	7.7	20.8	2.6
Sulfat	tonn/døgn	0.81	1.8	0.28
Vannføring	l/s	12	45	0.33

Tabell 5.4 Materialtransport - Overløp Slamdam, Bjørndalen 1989 (St. 1).

		Gj.snitt	Max	Min
Kobber	kg/døgn	0.12	0.39	0
Sink	"	0.70	2.6	0
Jern	"	0.42	2.0	0
Aluminium	"	0.18	0.98	0
Sulfat	tonn/døgn	0.14	0.52	0
Vannføring	l/s	7.9	50	0

Tabell 5.5 Materialtransport - Bekk fra Gamlebyen 1989 (St. 5).

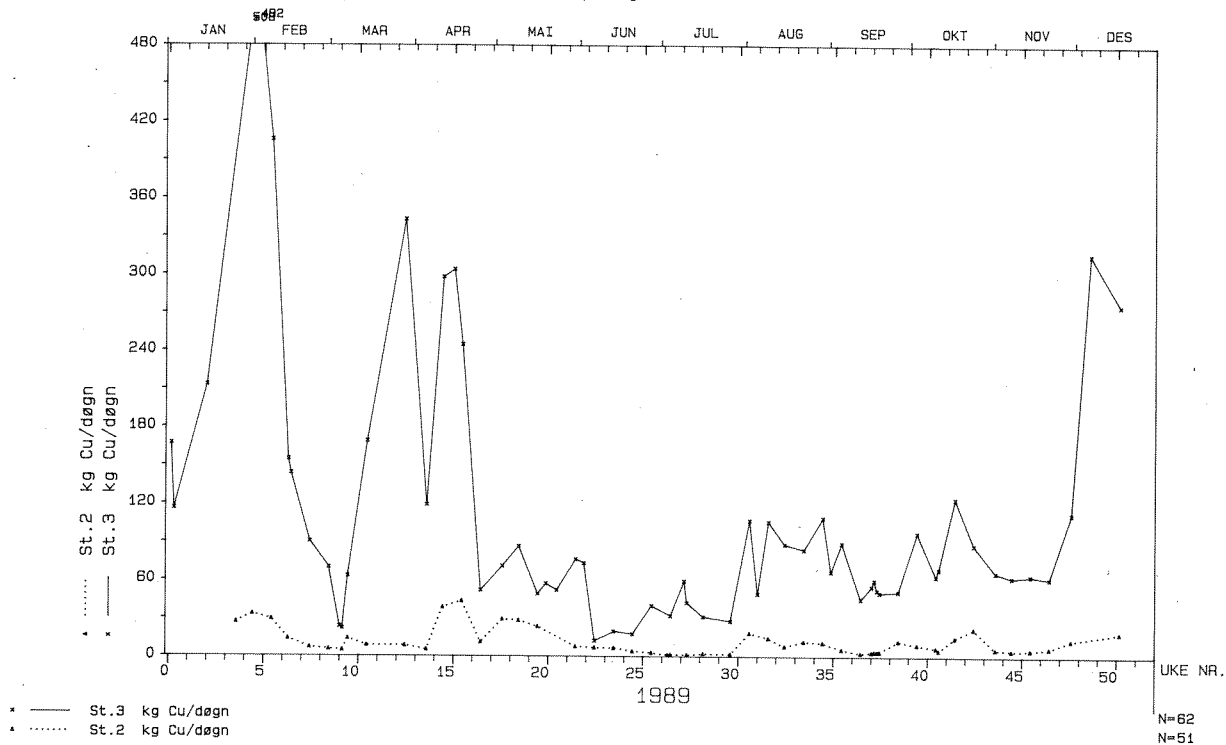
		Gj.snitt	Max	Min	% av St. 3
Kobber	kg/døgn	21.9	101	2.2	19.0
Sink	"	14.5	78.8	1.2	8.3
Jern	"	590	1790	50	36.8
Aluminium	"	69	231	11	23.5
Sulfat	tonn/døgn	2.5	7.7	0.25	25.5
Vannføring	l/s	3.0	15.2	0.19	-

Tabell 5.6 Materialtransport - Bekk Stallgata Syd 1989 (St. 6).

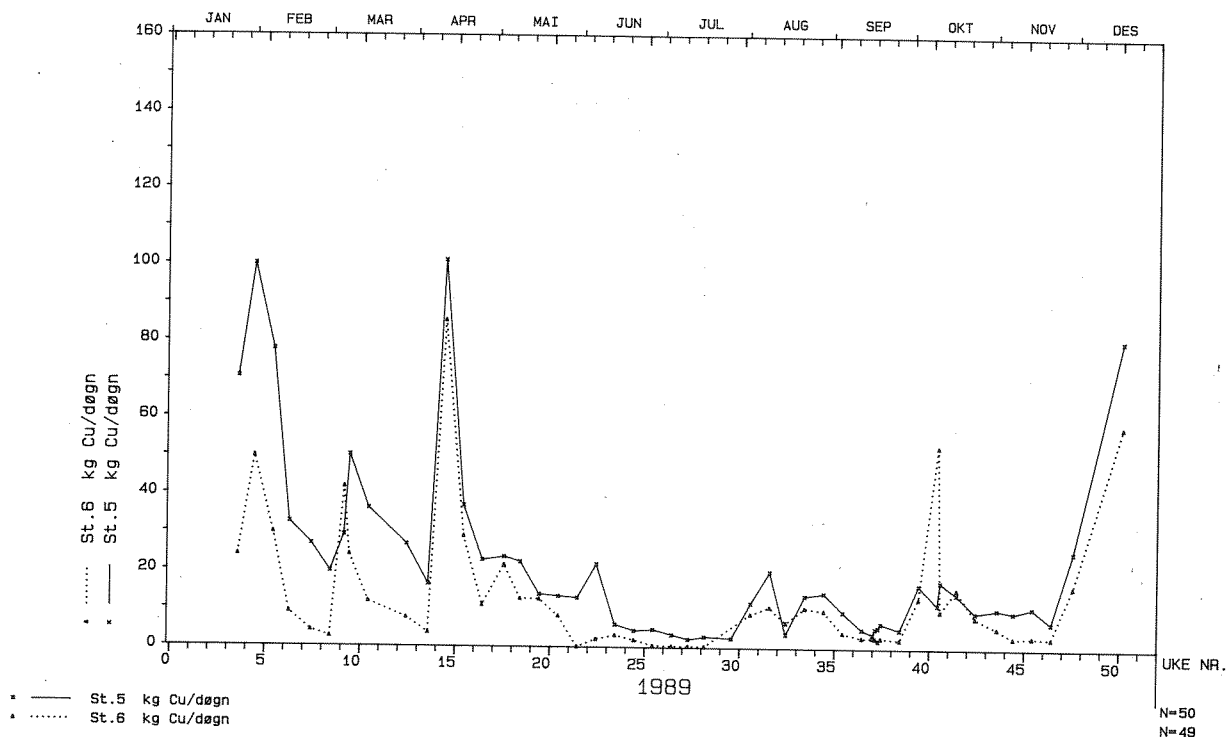
		Gj.snitt	Max	Min	% av St. 3
Kobber	kg/døgn	13.3	85.4	0.10	11.6
Sink	"	9.2	53.6	0.25	5.3
Jern	"	227	1025	3.5	14.2
Aluminium	"	39	134	7.4	13.3
Sulfat	tonn/døgn	1.2	4.8	0.02	12.2
Vannføring	l/s	1.7	14	0.03	-

Figurene 5.4 - 5.7 viser hvordan materialtransporten for kobber og sink varierer i løpet av året for St. 3 Raubekken, St. 2 Utløp Bjørnlivatn. St.5 Langeng og St.6 Stallgata syd. Resultatene viser at transporten fra feltet som drenerer til Bjørnlivatn i mesteparten av året, representerer vesentlig mindre enn 10% av den totale kobber- og sinktransport fra Løkken gruveområde. Det er bare ved lave vannføringer som følge av frost eller tørke at tilførslene fra Bjørnlivatn relativt sett er av betydning.

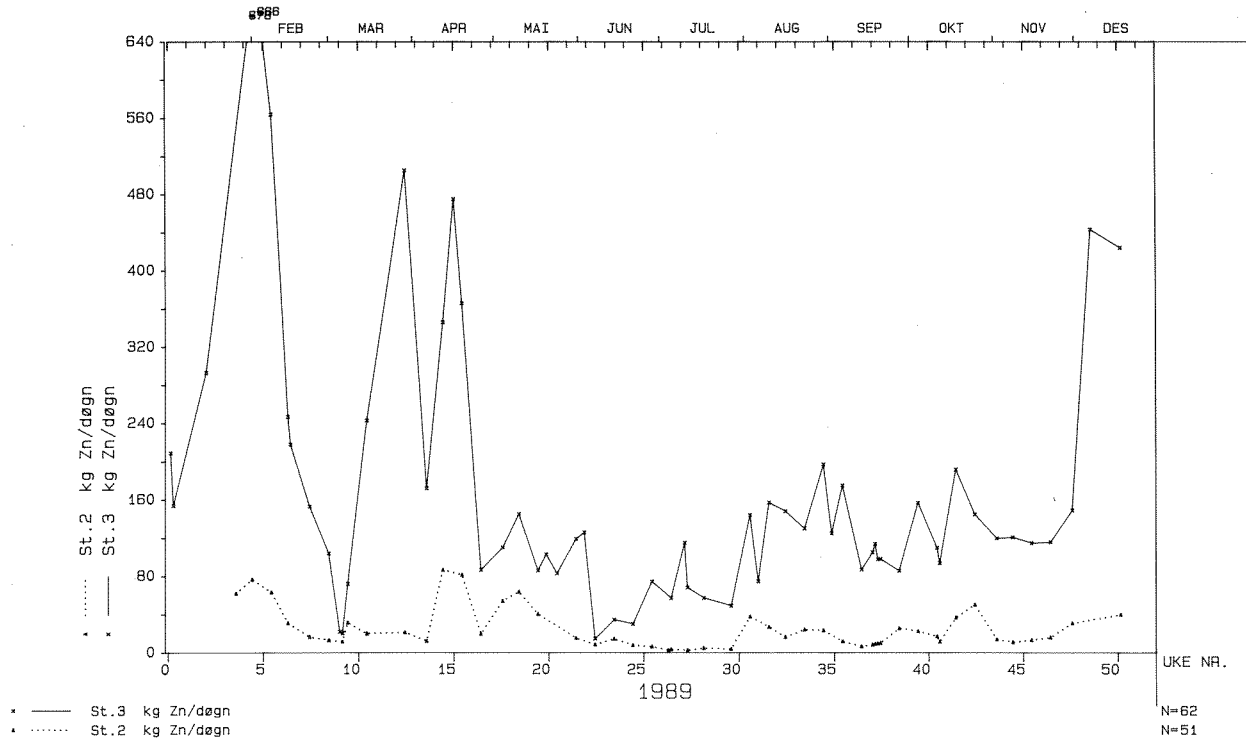
Figur 5.4 MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER – KOBBER
St.3 Raubekken og St.2 Utløp Bjørnlivatn



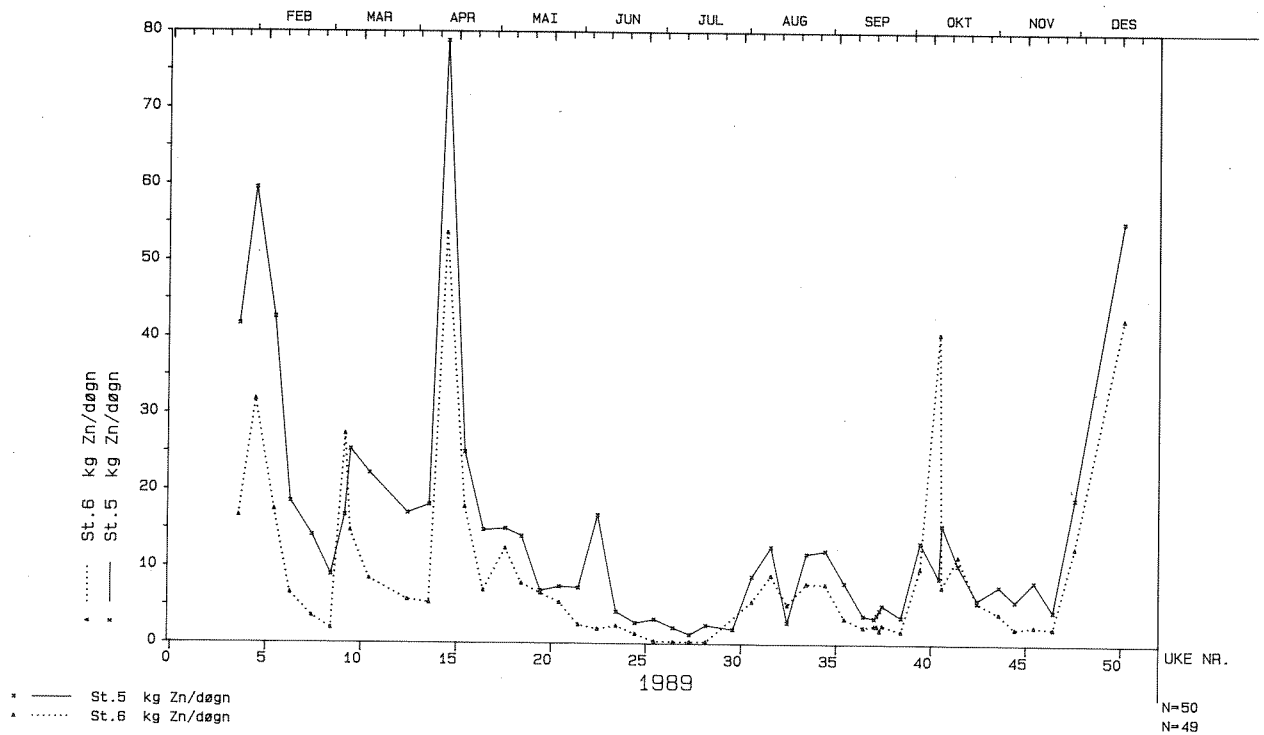
Figur 5.5 MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER – KOBBER
St.5 Langeng og St.6 Stallgt. syd



Figur 5.6 MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER - SINK
St.3 Raubekken og St.2 Utløp Bjørnlivatn



Figur 5.7 MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER - SINK
St.5 Langeng og St.6 Stallgt. syd



Ved å summere den midlere årlige materialtransport (ikke tidsveiet) for kobber og sink for de målte overflatetilførsler til Raubekken, kan beregnes hvor mye disse betyr for den totale transport i Raubekken:

	Cu kg/døgn	Zn kg/døgn	Cu % av St.3	Zn % av St.3
Sum St.2 + St.5 + St.6	46.6	48.9	40.5	28.1
St.3	115	174	100	100

Ved prøvetaking av overflatevann kan en således bare gjøre rede for henholdsvis ca. 40 og 30 % av kobber- og sinktilførslene til Raubekken på årsbasis. Dette er for øvrig i samsvar med de erfaringer som ble gjort under undersøkelsen i 1982/83.

Det ble derfor høsten 1989 foretatt en detaljkartlegging av tungmetallkonsentrasjonene på strekningen mellom Liabekkens tilløp og tilløp fra Stallgata syd for eventuelt å påvise andre tungmetallkilder. Prøvetakingssteder og resultater fra denne spesialundersøkelse er samlet i bilag 5. Undersøkelsen ble foretatt i tiden 18/9-21/9. Det ble i denne perioden midlertidig opprettet et nytt målepunkt i Raubekken ved Løkken sentrum der det tidligere har vært en dam/måleprofil. Her ble vannføring målt med flygel ved hver prøvetaking.

Ved hjelp av vannføring og analyseresultater er det beregnet materialbalanse for kobber og sink for prøvetakingsstasjonene.

Tabell 5.7 Materialbalanse for overflatetilførsler september 1989

	Dato	Cu kg/døgn	Zn kg/døgn	Cu % av St.3	Zn % av St.3
St. 2 Bjørnlivatn	18/9	3.4	8.4	6.2	8.0
	19/9	3.7	9.3	6.2	5.2
	20/9	3.9	9.7	7.5	4.9
	21/9	3.9	10.1	7.8	10.3
St. 5 Langeng	18/9	3.8	3.4	6.9	3.0
	19/9	5.2	3.9	8.7	3.4
	20/9	5.5	4.5	10.6	4.6
	21/9	6.6	5.1	13.1	5.2
St. 6 Stallgt.	18/9	2.9	2.4	5.3	2.3
	19/9	2.7	2.4	4.5	2.1
	20/9	2.1	1.8	4.0	1.8
	21/9	2.8	2.5	5.6	2.5
Raubekken dam Løkken sentrum	20/9	20.9	26.1	38.0	26.7
	21/9	18.6	25.7	31.1	26.2
St. 3 Raubekken, Salberg	18/9	55.0	105	100	100
	19/9	59.9	114	100	100
	20/9	52.0	97.9	100	100
	21/9	50.2	98.1	100	100
Sum St.2+St.5+St.6	18/9	10.1	14.2	18.4	13.5
	19/9	11.6	15.6	19.4	13.7
	20/9	11.5	16.0	22.1	16.3
	21/9	13.3	17.7	26.5	18.0

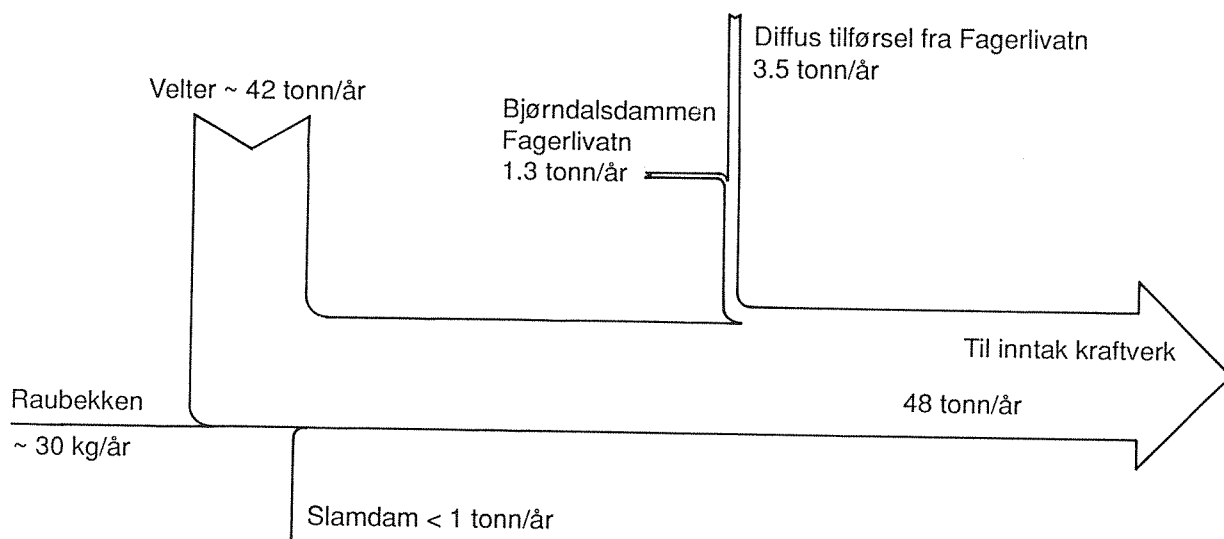
Resultatene viser at i denne perioden betydde overflatetilførslene St.5 og St.6 mindre enn for tilsvarende årsmiddelverdier. Ved dammen i Løkken sentrum økte kobber- og sinktransporten kraftig. Analyse av konduktivitet og metallinnhold i enkeltprøver viste en betydelig økning på elvestrekningen ned til biblioteket. Det var også mulig å se at grunnvann strømmet ut av kanaler i elvebunnen, særlig på den korte strekningen før bekken passerer over fast fjell i et lite stryk.

En sannsynlig forklaring på dette forhold kan være at sigevann fra velter og slamdam lagres som grunnvann som igjen presses opp når det møter fast fjell i dalbunnen.

Dersom en regner at kobber- og sinkkonsentrasjonene i sivevann fra veltene er tilnærmet like, kan sinkbidraget fra den gamle slamdammen på Løkken anslås til 10-15% av total transport i Raubekken. Kobbertransporten er sannsynligvis betydelig mindre, men vanskelig å beregne ved hjelp av de undersøkelser som hittil er utført.

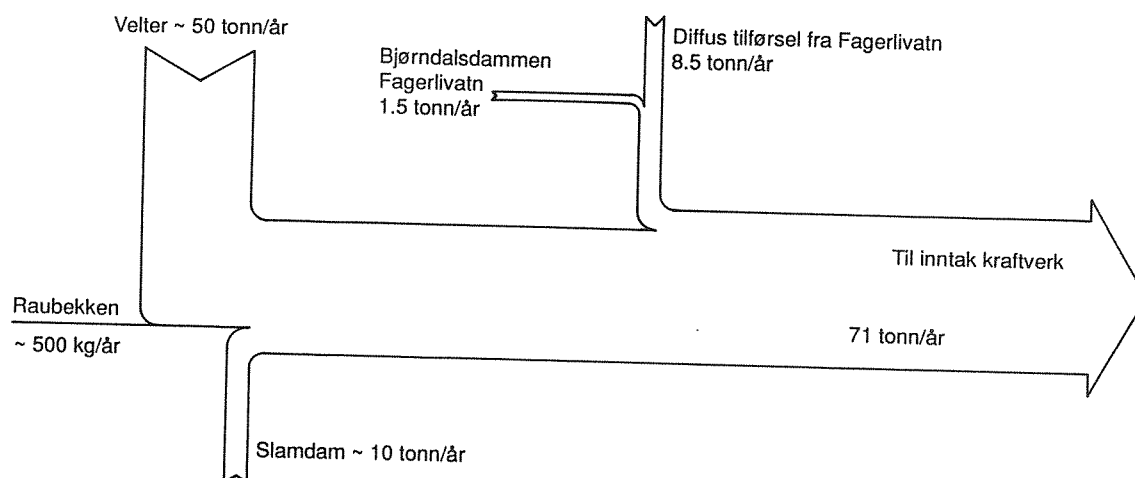
I figur 5.8 - 5.9 er materialtransporten for kobber og sink på årsbasis avbildet grafisk.

Figur 5.8 Transport av kopper, Løkkenområdet



Figur 5.9

Transport av sink, Løkkenområdet



5.4 Varighet

I forbindelse med valg av tiltaksstrategi vil det være av interesse også å vurdere avrenningens varighet. Her er gjort et regneeksempel for kobberavrenningen:

Avfall-tonn		Anslått Gehalt % Cu	Innhold Cu, tonn
Søndre velt	254 000 tonn	0.2	500
Nordre velt	330 000 tonn	0.35	1150
Gammelgruva	115 000 tonn	0.3	350
Magnetittmalm	57 000 tonn	1	600
Vei til Vedmyrtoppen	38 500 tonn	0.35	130
			2730

Avrenning: 40 tonn/år

Varighet med dagens mengde: ca 70 år

I praksis vil Raubekken være betydelig forurenset i mange hundre år framover. Om transporten er avtagende eller økende i øyeblikket er vanskelig å avgjøre. Observasjoner siste 10 år tyder på at den er avtagende. En av forklaringene på dette kan være at søndre velt er sterkest forvitret og at transporten herfra avtar mest i øyeblikket da forvitringen har passert et maksimum.

På denne bakgrunn er det mye som tyder på at materialtransporten fra Løkken av naturlige årsaker vil avta betydelig i løpet av de nærmeste 100 år.

6. AKTUELLE TILTAK

6.1. Tiltakenes hensikt

Når en har som målsetting å redusere forurensningstilførslene fra et gruveområde, vil en alltid stå overfor et valg mellom forskjellige strategier for å nå målet. Flere forhold er avgjørende for valg av tiltak:

- Ambisjonsnivå for tiltaket m.h.t. reduksjon av forvitring og utslipp i forhold til bestandighet og vedlikehold/kontroll.
- Forhold som har med selve avfallet å gjøre, som type, mengde, forvitringsgad, beliggenhet osv.
- Forhold som har med selve gruveområdets topografi å gjøre. Hvilke muligheter terrenget gir.
- Økonomiske forhold.

Tiltakene bygger i korthet på følgende prinsipper:

A. Reduksjon av sigevannsmengden.

Dette vil i praksis dreie seg om alt fra enkle tiltak som dreneringsarbeider til mer omfattende overdekkingstiltak.

B. Reduksjon av forvitringen.

Slike tiltak vil være mer omfattende og kan i korthet gjøres på to måter:

- Deponering under vann. Hvis denne muligheten foreligger, vil avfallets forvitringgrad avgjøre om denne metoden er tilrådelig.
- Deponering på land med egnet overdekking. Det vil bli stilt større krav til overdekkingen enn under A. Flere alternativer kan være aktuelle.

C. Rensing av drensvann og gruvevann.

Utfelling av tungmetaller i renseanlegg.

På Løkken er alle alternativer aktuelle. Valg av tiltak vil delvis være avhengig av målsettingen for tiltaket, det vil si det som er rimelige kriterier for mulige tiltak i Løkken.

Rent teknisk vil det sannsynligvis være mulig å redusere avrenningen fra Løkken med mer enn 90%. En slik ambisiøs målsetting vil imidlertid kreve stor økonomisk innsats. Uansett tiltak vil et krav til vannkvalitet i Raubekken nedstrøms Løkken som tar sikte på å opprettholde en bestand av fisk, være urealistisk i overskuelig fremtid. Tiltakene bør derfor i første rekke ha som målsetting å bedre forholdene i hovedvassdraget Orkla.

Situasjonen i Orkla nedstrøms Raubekkens tilløp er idag den at både biologiske og kjemiske forhold er bedre enn de har vært på svært lang tid. Selv om situasjonen ved Vormstad er tilnærmet normal, er likevel tungmetallkonsentrasjonene så vidt høye at selv små endringer i ugunstig retning kan føre til fiskedød. Slike episoder kan f.eks. være forverring av fortynningsforhold i forbindelse med drift av kraftverk, støtutslipp av sedimentert tungmetallslam i kraftverkstunnel.

Enhver reduksjon av tilførselene fra Løkken vil således være et bidrag til å sikre forholdene i Orkla. Hvor langt man skal gå m.h.t. reduksjon, vil være et politisk/økonomisk spørsmål. Hvis man f.eks. går inn for den generelle politiske målsetting om en halvering av tungmetallutslipp til sjøen, vil dette gi en vesentlig forbedret sikkerhetsmargin for fiskebestanden i Orkla.

Resultatene fra de feltundersøkelser som er gjennomført i Løkken gruveområdet, viser at det er avrenning fra gruveavfallet på Løkkensiden som betyr mest for den totale avrenning fra området. Ca. 90% av tungmetalltilførselene til Raubekken kommer idag fra Løkkensiden. Disse tilførselene har igjen hovedsakelig sin årsak i avrenning fra veltene. Slamdammen på Løkken bidrar sikkert også med noe kobber, men mest sink. På denne bakgrunn foreslår vi at forurensningsbegrensede tiltak i første omgang konsentreres om to områder:

1. Veltene på Løkkensiden.
2. Gruvevannet fra Wallenberg gruveområde.

Tiltak på disse to områdene vil ha størst betydning for å redusere tilførselene fra Raubekken. Når det gjelder de andre områdene, er status følgende:

Avgangsdam Bjønndalen

Avfallet inneholder mye tungmetaller bundet som sulfider. Tilførselene herfra betyr lite idag da avfallet har tilfredstillende overdekking med vann. Tiltak for å sikre dammen er avsluttet.

Fagerlivatn

Vannkvaliteten er betydelig forurenset, men tilførslene på årsbasis til Raubekken er relativt beskjedne. Det foreslås ikke utført ytterligere tiltak med mindre man velger Fagerlivatn som nytt deponeringssted.

Slamdamm Løkken

Det er ikke utført feltmålinger på selve dammen for å beregne tilførslene herfra. Tilførslene vurderes likevel som beskjedne ut fra de undersøkelser som er gjennomført på Løkkensiden. Hvis nødvendig vil det være mulig å utføre tiltak senere som f.eks. nedsetting av spuntvegg og tette overflaten.

Ved prioritering av tiltak er det sikkert mulig å kombinere flere prinsipper ved at en kan tenke seg forskjellige delløsninger, eller såkalte kombinerte tiltak. Etter en samlet vurdering har vi kommet til at i denne fase av planleggingen bør en velge mellom følgende hovedalternativer:

Hovedalternativ A: Rensing av drensvann/gruvevann.

Hovedalternativ B: Overdekking på stedet.

Hovedalternativ C: Deponering under vann.

6.2 Enkle tiltak

De undersøkelser som er gjort av avfallet, har vært konsentrert om de største avfallsmengdene. På Løkken-siden ligger også mye avfall utenfor de store veltene. Dette er vanskelig å kvantifisere og vurdere betydningen av. Slike diffuse tilførsler kan betraktes som "støy" i det totale avrenningsmønster.

Et av de enkle tiltakene vil være å konsentrere avfall på færrest mulig steder. Derved oppnås at overflaten som gir sigevann, reduseres. Det vil da være mest fornuftig å samle mest mulig avfall på de store veltene. Hvor mye avfall som må flyttes, er usikkert, men det meste antas å ligge ved viaduktbanen og i veien opp til Vedmyrtoppen. Ved å anlegge avskjærende grøfter kan sigevannsmengden reduseres samtidig som avfallet blir tilført mindre fuktighet. Dette kan ha en gunstig innvirkning på forvitningsprosessen. Det vil også være en fordel å utnytte de massene som flyttes til utflating av skråninger, fylling av terrasser og fordypninger på veltene. Derved oppnås at det ikke samles store snømengder på veltene.

Enkle tiltak alene vil neppe gi noen stor reduksjon i forurensnings-tilførslene fra Løkken. Slike tiltak kan imidlertid være aktuelle i forbindelse med andre tiltak.

6.3 Hovedalternativ A. Oppsamling og rensing av drensvann.

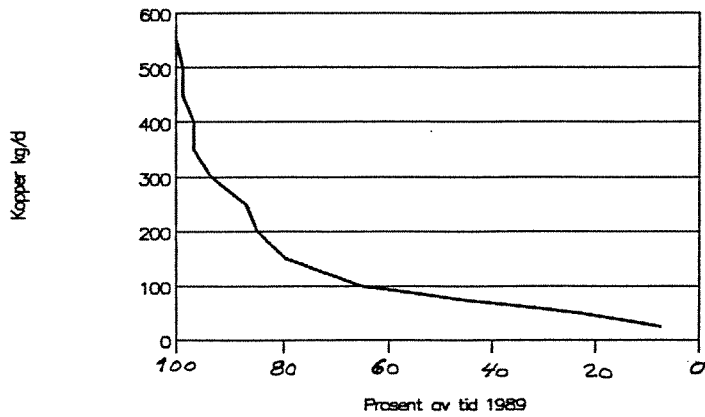
Dersom en av forskjellige grunner ikke ønsker å gjennomføre tiltak som innebærer flytting eller overdekking, kan rensing av sigevann være et alternativ. Slike tiltak er gjennomført i andre land. For at tiltaket skal bli så effektivt som mulig, er det nødvendig med en god oppsamling av drensvann. Oppsamling av drensvann tenkes gjennomført i to trinn:

Fase 1. Oppsamling av drensvann i utsprengt grøft fra Stallgata syd (Dieselen) til nedenfor bekk ved Langeng. Pumping av drensvann til gruverom, for fordrøyning og derfra til renseanlegg.

Fase 2. Dersom ikke trinn 1 gir tilfredsstillende resultat, gjennomføres også trinn 2 som innebærer at forurenset grunnvann pumpes fra grunnvannsbrønner til gruverom. Trinn 2 innebærer også at Raubekken legges i kulvert.

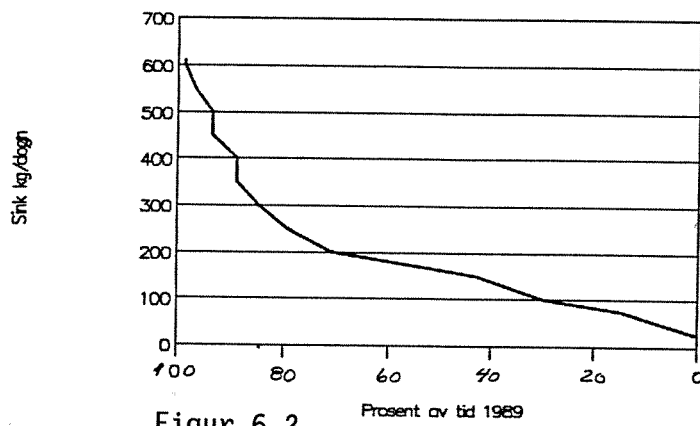
Som grunnlag for dimensjonering av renseanlegget er bl.a. brukt beregnede varighetskurver for transporten fra Løkken-siden. Fig. 6.1-2 viser slike kurver for kobber og sink-transporten. Fig. 6.3 viser hvilken effekt som oppnås ved oppsamling av forskjellige drensvannsmengder for velteområdet på Løkken-siden. Beregningen er gjort m.h.t. kobbertransporten. Figuren viser at hvis en samler opp vannmengder opp til ca. 25 l/s, vil ca. 90% av årlig transport fra veltene kunne behandles i et renseanlegg.

Transport Løkken Fra velter og slamdam



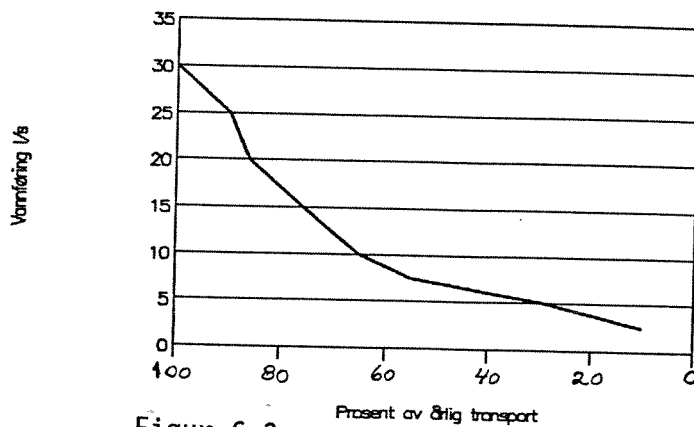
Figur 6.1

Transport Løkken Fra velter og slamdam



Figur 6.2

Transport Løkken Kopper fra velter (Ansl.)



Figur 6.3

Rensing av dreinsvann foretas i et kalkfellingsanlegg. Det antas at denne renseprosess er best egnet og rimeligst for denne type avløp. Prosessen går i korthet ut på:

- pH-heving til pH 8-9 med kalk.
- Oksidasjon av toverdig jern til treverdig.
- Slamutskilling.
- Slamavvanning.

Fordeler:

- Rensing av sigevann vil gi en rask respons i vassdraget.
- Anleggskostnader rimelige.
- Krever ingen store inngrep i avfallsmassene.
- På Løkken kan det trolig oppnås større effektivitet når det gjelder reduksjon i tungmetallavrenning enn for andre tiltak.
- Ødelegger ikke mulighetene for andre tiltak senere, dersom ettertiden ønsker det.
- Eneste tiltak som fjerner tungmetaller.

Ulemper:

- Årlige driftskostnader på ubestemt tid.
- Slammengdene. Slammet må deponeres på spesialdeponi med de kostnader det innebærer.
- Begrenset levetid på renseanlegget (tatt hensyn til i kostnadsvurderingen).

For plassering av renseanlegget foreslås to alternativer:

A.1 Renseanlegg i Løkken Sentrum.

Alternativ A forutsetter bruk av gruverom som fordrøyningsmagasin. Ved å jevne ut belastningen kan dimensjoner og kostnader reduseres betydelig. Det er i øyeblikket usikkert om det er teknisk mulig å utnytte gruva som fordrøyningsmagasin.

Vannstanden i Wallenberg gruveområde holdes konstant ved pumping av vann fra Wallenberg sjakt. Dersom gruvevann fra Wallenberg må renses, pumpes dette til fordrøyningsmagasin.

A.2 Renseanlegg i Fagerlia.

Dette alternativ har følgende opplegg:

- Pumping av drensvann til Fearnley sjakt.
- Pumping av vann fra Wallenberg sjakt til renseanlegg.
- Avløp renseanlegg til Fagerlivatn/Bjørnlivatn.

Dette alternativ har en rekke fordeler:

- Slammengdene blir trolig betydelig mindre da det vil skje en utfelling i gruva (positive erfaringer hittil i forbindelse med vannfyllingen i Wallenberg).
- Løser også problemet med gruvevann fra Wallenberg gruveområde.
- Da hele gruva utnyttes som fordrøyningsmagasin, er det mulig å drive renseanlegget med jevn belastning, noe som reduserer kostnadene.
- Renseanlegget kan også utnyttes til å rense kommunal kloakk i Bjørnlivatn/Fagerli-området.
- Gruvevannet er varmt (17°C). Store energimengder kan frigjøres i varmeveksler.

Usikkerheter:

- Vi kjenner ikke i dag i tiltrekkelig grad de prosesser som fører til metallutfelling i Wallenberg gruve, og følgelig heller ikke til hvilken kapasitet gruva har m.h.t. belastning.
- Vannkvaliteten til det vann som pumpes opp av Wallenberg sjakt, er usikker. Det er derfor forbundet med usikkerhet å beregne kalkbehov og slambehandlingsutstyr.

I bilag 6 er det gjort greie for et forslag til teknisk opplegg for oppsamling og rensing av drensvann.

6.4 Hovedalternativ B. Overdekking på stedet.

6.4.1 Forutsetninger

Generelt gjelder at overdekking av gruveavfall på stedet er gunstigere enn overdekking etter flytting av avfallet. I dette tilfelle er det små muligheter til å få til en optimal arrondering av avfallet på stedet. Av den grunn bør det også overveies å flytte avfallet til Fagerlivatn/Bjørnlivatn. Ulempene med en flytting er, foruten kostnadene, den tid det tar før de rensede arealene etter avfallet slutter å lekke metaller, selv om arealene kalkes etter flyttingen. I det følgende gis noen prinsippbeskrivelser av overdekkingsalternativ både for alternativet med overdekking på stedet og flytting før overdekking foretas.

Som det fremgår av avsnitt 3.1, er avfallet i dag lokalisert til 6 områder:

1. Slamdammene i dalbunnen ved Løkken sentrum.
2. Avgangsdammen i Bjørndalen.
3. Avfall i og rundt Fagerlivatn.
4. Søndre berghald.
5. Nordre berghald.
6. Berghald utenfor Gammelgruva.

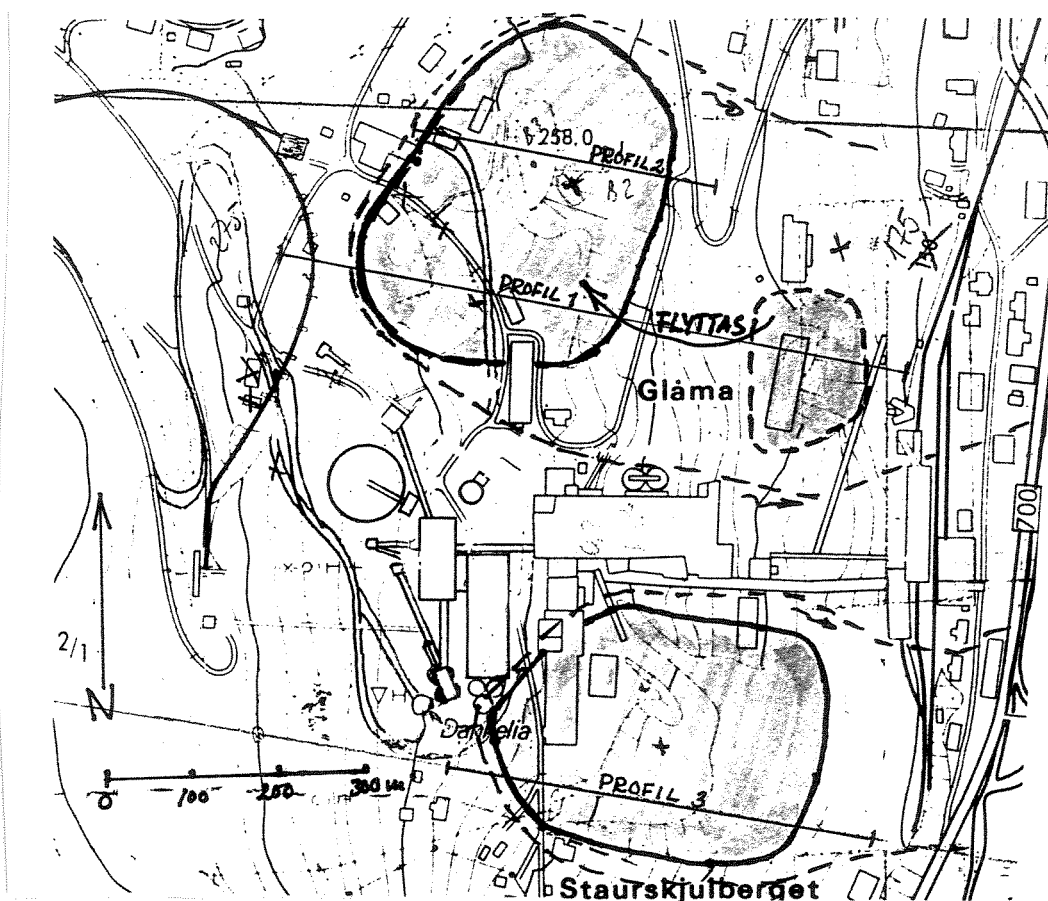
For de tre første områdene kan det utføres overdekkingstiltak på stedet, og det utredes derfor ingen alternativ her med flytting og overdekking. De tre siste områdene kan overdekkes på stedet, men bare under forutsetning av at de arronderes slik at en får mulighet til å avskjerme avfallet på alle sider og lede eksternt vann utenfor avfallet samt å begrense erosjonseffektene på overdekkingen i så stor grad som mulig. Under alle omstendigheter får en overdekking på stedet den konsekvens at overflaten til avfallet får en stor helningsvinkel, og at det blir liten plass mellom avfallsfoten og andre strukturer som bygninger, veier etc. nedenfor veltene.

Hensikten med en eventuell overdekking av avfallet i Løkken er å begrense både omsetningen av oksygen og vann og de aktuelle avfallsopplag. Dette innebærer at for mer porøst materiale (jordaktig type) etterstrebes en høy grad av vannmetning i overdekkingen samtidig som overskuddsvann bør ledes bort fra overdekkingen så raskt som mulig. Dette kan synes motstridende, men oppfylles automatisk med et overdekkingsmateriale med høy kapillaritet.

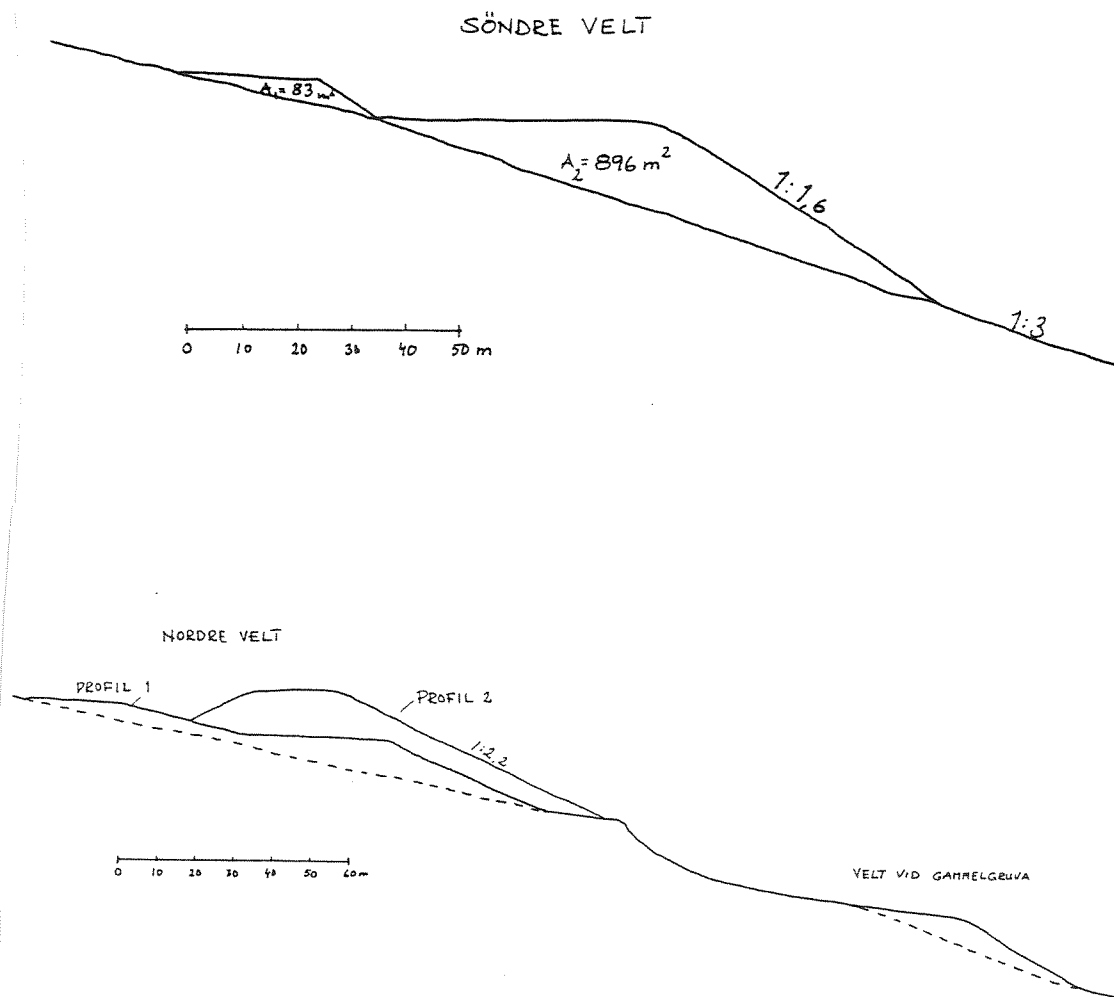
Andre materialer enn de porøse og som har høy tetthet mot vann, har også høy tetthet mot luft. På flate avfallstipper vil vanligvis ikke deksjiktet greie å lede bort det grunnvannet som dannes over tettesjiktet på grunn av tettesjiktets begrensende egenskaper m.h.t. vanngjennomtrenging. Dette innebærer at i hvert fall den nedre delen av deksjiktet kommer til å fungere som en ekstra barriere mot luftgjennomtrenging. Av denne grunn behøver en ikke stille like høye krav til tetthet mot luftgjennomtrenging på et flatt opplag som på et bratt. På den andre siden kommer overdekkingen på en bratt tipp til å fungere mer effektivt som en vannbarriere enn på en flat tipp.

6.4.2 Arrondering og avledning av overflate- og grunnvann

I figur 6.4 er gjort greie for et forslag til løsning for å avskjerme avfallet, lede bort vannet og begrense erosjonen. I figur 6.5 er løsningen vist i profil. Som det fremgår av fig. 6.4, kommer fortsatt Søndre berghald til å danne en enhet, mens de øvrige velter danner en enhet omkring Nordre berghald. Figur 6.5 viser at de nye tippenes helning varierer mellom 1:2 og 1:1,6. En så stor helning forårsaker store begrensninger i valg av overdekkingsmateriale og utforming av overdekkingen.

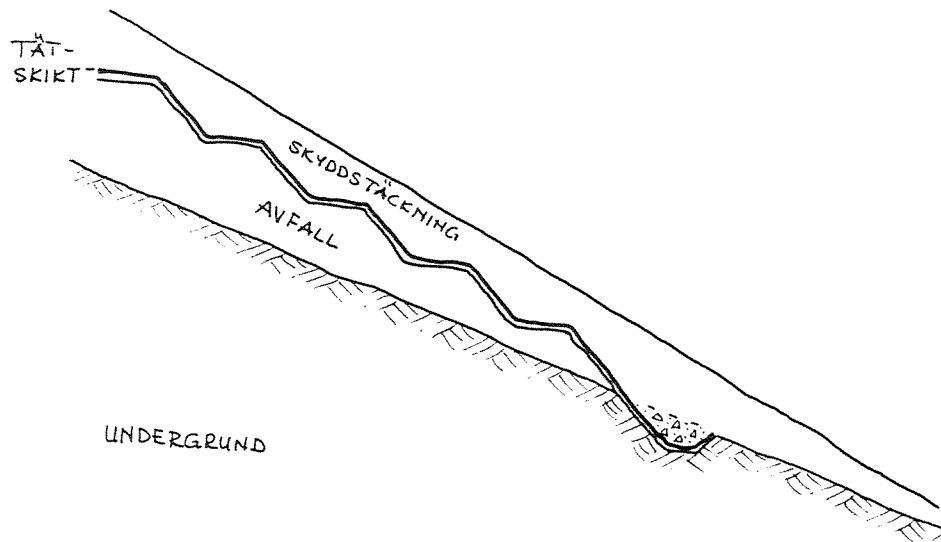


Figur 6.4 Avfallsdeponier ved overdekkningstiltak.



Figur 6.5 Avfallet sett i profil.

Det foreslås at en overdekking på stedet gjennomføres ved at avfallet konsentreres i to tipper, en ved Nordre berghald og en ved Søndre. Avfallet utenfor Gammelgruva samt andre mindre avfallsmasser føres til Nordre berghald. Nordre deponi kommer da til anslagsvis å bestå av 230.000–260.000 m³ og Søndre deponi ca. 120.000–140.000 m³. Overdekkingsarealet for Nordre deponi kan beregnes til ca. 27.000 m² og for Søndre til ca. 23.000 m². Den større effektiviteten for Nordre deponi skyldes først og fremst at området der er planere, men også at deponiet der fortsatt foreslås å være toppformet. Flytting av Søndre berghald til Nordre er også mulig av volummessige årsaker. Avfallet bør i så fall til den vestre (øverste) del. I dette tilfelle må en del bygninger samt viaduktbanen fjernes. Sannsynligvis er det billigere å dekke Søndre berghald på stedet selv om det ikke er like effektivt.



Figur 6.6 Utforming av overflaten på avfallet.

For visse overdekkingsalternativ er det fordelaktig om overflaten utformes i trappetrinn slik som vist i figur 6.6 Under alle omstendigheter er det ut fra et erosjonssynspunkt ikke fornuftig at hele toppoverflaten gis en plan utforming. Hensikten med utformingen av trappetrinn er å redusere hastigheten på vannet som renner av. På figur 6.4 er også markert hvor det bør anlegges grøfter som skal føre bort eksternt overflate- og grunnvann. Det som egentlig hindrer dette vannet å perkolere gjennom deponiet, er de tetteskjermer som anlegges på oppstrømsiden av veltene (se avsnitt 6.2). Grøftene forsterker deres effekt og motvirker erosjon og andre problemer som dette vannet kan forårsake. En prinsipiell utforming av grøftene fremgår av figur 6.7

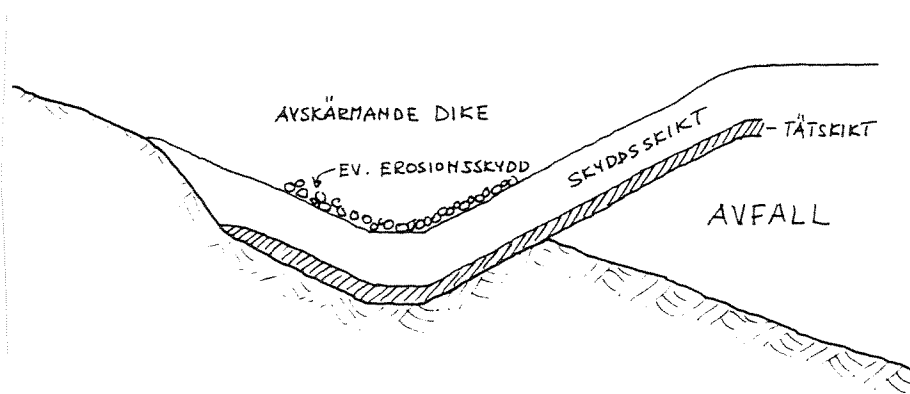


Figure 6.7 Prinsipp for avslutning av overdekking til omgivelsene.

6.4.3 Utforming av tettesjikt

Følgende materiale er anvendbart som tettesjikt på de bratte overflatene som det her dreier seg om:

- ° Cefyll (sementstabilisert aske) innstøpt i et sjikt av pukk.
- ° Plastmembran, 0.7-2mm
- ° Bentonittmatte, 4-8 mm
- ° Betongfylte madrasser.

Andre tettematerialer, som komprimert leire, bio-slam, eller bentonittblandet sand, krever skrittvis oppbygging som i "trappetrinnsprinsippet" ettersom materialet har så lav friksjonsvinkel (er så glatte) at selve pakkingen må skje på flate overflater. Dette medfører at tettingens mektighet blir meget stor, noe som også resulterer i høye kostnader. På Løkken finnes heller ikke den plassen som er nødvendig for en slik utforming.

Anvendelse av Cefyll i bratte skråninger krever en motfylling som vanligvis består av det overdekkingssjikt som skal legges oppå tettsjiktet. For at materialet fra dekkingsjiktet ikke skal trenge inn i tettesjiktet, kreves - særlig i bratte skråninger - at en særskilt materialeseparerende duk av typen fiberduk eller tynn plastduk legges

på. I bratte skråninger kan det være fordelaktig (fig. 3) å arrondere underlaget i ca. 1 m høye trappetrinn der vinkelen på opptrinnet kan gjøres bratt da det er begrenset høyde.

Inntrinnet på trappetrinnene anpasses etter vinkelen på samlet overflate og etter valg av delsjikt og om dekk sjiktet skal utjevne trinnene eller ikke (fig. 6.6).

Anvendelse av plastduker (geomembraner, "liners") krever nøyaktig utførelse, særlig når det gjelder skjøting. Materialvalget et betinget i dette tilfellet først og fremst av kravet til bestandighet. Membranen kommer neppe til å bli utsatt for det aggressive sigevannet, noe som letter problemstillingen. På den andre siden kommer avfallet til å generere et sterkt metallholdig sigevann i mange hundreår fremover. Derfor bør det stilles meget strenge krav til membranens bestandighet. Plastfabrikantene oppgir vanligvis ikke lenger holdbarhet på en plastmembran enn noen titalls år, selv om membranen er dekket av jord.

Utlekking av plastduker er relativt ukomplisert om en nøye følger leverandørens spesifikasjoner. Skjøtings- og kontrollteknikken er også godt utviklet. Problemene med plastduk som tettesjikt er først og fremst:

- ° Avhengig av tørt vær under skjøtingen.
- ° Dukene må forankres mot påvirkning av vind og ved jordoverdekking.
- ° Belastning av dekk sjiktet kan føre til gjennomhulling.
- ° De fleste duker har en meget lav skyvemotstand mot dekk sjiktet, noe som setter en øvre grense for helningsvinkel før en får ras. Sikkerheten mot en slik ustabilitet bør beregnes med høyeste mulige vannstand i dekk sjiktet.

Risiko for gjennomhulling er naturligvis avhengig av egenskapen til plastmembranen og til over- og underliggende masser samt membranens tykkelse. For denne type avfall bør ikke tynnere membran enn 0.7 mm tillates. Risikoen for gjennomhulling kan reduseres kraftig om en anvender fiberduker, bentonittmatter og sandsjikt.

De helningsvinkler som er aktuelle på veltene i Løkken, krever at det anvendes duker med særskilt utformet overflate som har høy friksjonsvinkel. Om avfallets overflate arronderes i trappetrinnsform (fig. 6.6 og 6.7), bedømmes dette til å forbedre mulighetene for å anvende plastduk på disse overflatene.

Bentonittmatter lages av doble geotekstilduker med et mellomliggende sjikt av ren bentonitt. Den evne disse mattene har til å slippe vann gjennom, er meget lav, men likevel betydelig høyere enn for plastduker. På grunn av mattenes begrensede tykkelse kommer den hydrauliske gradienten til å bli relativt høy gjennom sjiktet, noe som bidrar til økt vanntransport gjennom membranen. Tettheten m.h.t. vann- og trolig også oksyngjennomtrengning motsvarer tettheten til et 300 mm tykt sjikt av bentonittblandet sand der bentonittinnholdet ligger mellom 5 og 10%. Problemet med bentonittmatter er fremfor alt følgende:

- 0 Bentonitten suger til seg vann (sveller) og blir da plastisk. Da den ikke har noe bærende kornskjelett, kan den derfor presses ut av overflater med relativt stort kontaktrykk og ansamles i større porevolum. Dette reduserer transporten av vann gjennom visse overflater, men øker den gjennom andre. I gjennomsnitt innebærer dette likevel at vanngjennomtrengningen reduseres tilstrekkelig da tettheten likevel bedømmes som tilstrekkelig for de fleste typer gruveavfall.
- 0 Ved at bentonitten sveller ut i fiberduken, innebærer det en risiko for at friksjonsvinkelen nedsettes, hvilket innebærer det samme stabilitetsproblem som er beskrevet for plastduker. Trappetrinnsformet utforming er også her fordelaktig.

Fordelene med bentonittmatter er fremfor alt følgende:

- 0 Mattene er lette å legge og skjøte.
- 0 Bestandigheten bedømmes som meget god ut fra materialets kjemiske stabilitet og ut fra materialets geologiske og geokjemiske kjemiske historie (geologisk meget stabilt materiale).

Betongfylte madrasser anvendes først og fremst som erosjonsbeskyttelse og er en metode til å påføre betong i tynne, kontinuerlige sjikt selv i bratte skråninger. Madrassen består av to fiberduker som sys sammen som en dyne, slik at den kan fylles med betong til en jevntykk, ca. 150 mm tykk "madrass". Fiberduken er spesialvevd for å slippe gjennom overskuddsvann som betongen inneholder for å gjøre betongen

tilstrekkelig flytende for å fylle madrassen. De atskilte madrassene anlegges så tett at de "brenner sammen", slik at noen særskilt skjøting ikke behøves.

Metoden er anvendt som tettesjikt (Sverige) der det stilles store krav til stabilitet, eller der stabilitet kreves for at tetting skal kunne utføres. I slike tilfeller kan den billigere Cefyllen anvendes i stedet for konvensjonell betong. Ettersom Cefyll har bedre evne enn betong til å flyte ut i en slik madrass, kreves ikke noe overskudd av vann. Spesialduken, som konseptet (og formodentlig patentet) bygger på, behøves ikke. Den største ulempen med metoden, den høye kostnaden, blir derved delvis eliminert.

6.4.4 Valg av dekkjikt

Hensikten med dekkjiktet er først og fremst:

- 0 Beskytte tettesjiktet mot frost, uttørking og annen erosjon.
- 0 Skape muligheter for noen form for vegetasjon på det ferdig-behandlede deponi.

Kravet til dekkjiktets mektighet beror på hvilke krav til bestandighet en har og til motstandskraften til tettesjiktet. Da tilgangen på motstandskraftige materialer som morene og sprengstein er begrenset i Løkken, bør en ikke velge altfor følsomme materialer i tettesjiktet. Det finnes myrområder i området. Torv kan derfor være et tenkbart materiale. Torv gir en god beskyttelse mot frost og uttørking. Torv gir også gode muligheter for å etablere vegetasjon, men er ikke så bestandig mot erosjon.

De fleste tenkbare overdekningsmaterialer egner seg dårlig for bratte skråninger, deriblant torv. Dette kan imidlertid motvirkes ved å anvende et særskilt nett som holder torven på plass til tilstrekkelig med røtter er etablert i materialet for at det skal bli erosjonsbestandig. Denne teknikk er særlig egnet i kombinasjon med bentonittmatter da både mattene og nettet lett kan anpasses på deponiet ved hjelp av forankringsjern som slås ned i underlaget (avfallet). Forankringsjern kan ikke slås gjennom Cefyll. I så fall må forankringsjern, eller spesielle forankringskroker støpes fast i Cefyllen på forhånd. Der sprengstein eller gråberg er tilgjengelig, kan dette fordelaktig anvendes sammen med torv. Alternativet til torv er ellers morene, som hverken bør være for finkornig eller inneholde for store blokker.

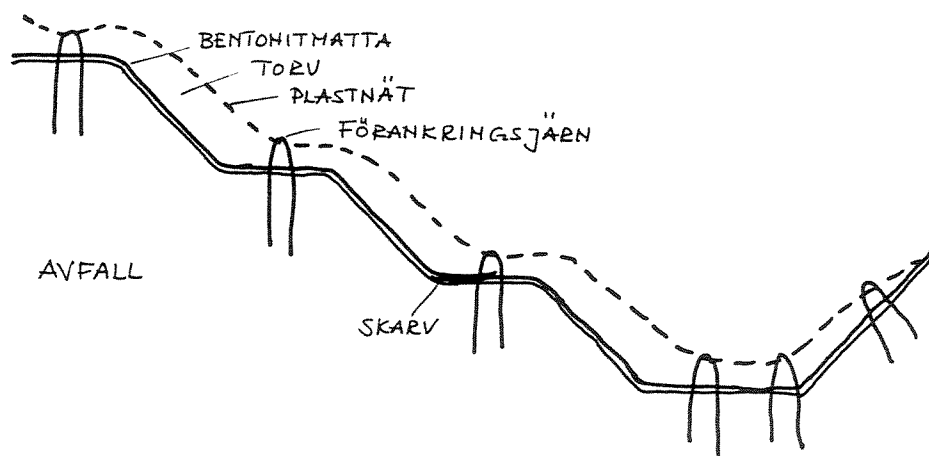
Om morene anvendes, bør arronderingen ta hensyn til at overgangen til terrenget ikke blir for bratt, og at det kan være fordelaktig med terrasser.

6.4.5 Valg og tillempling av teknikk i Løkken

Valg av tettemateriale må skje på bakgrunn av effektivitet, kostnader og formodentlig bestandighet. Dessuten må det tas hensyn til hvilke materialer som finnes lokalt til dekkjiktet. Her foreslås 3 alternativer som tar hensyn til disse forhold:

Alt C.1 Overdekking med bentonittmatte og torv.

Deponiene arronderes i trappetrinnsform. Bentonitt-matten dras ut fra toppen av velten og forankres på andre siden av drengroften rundt deponifoten og trykkes ned i denne ved hjelp av sprengstein eller gråberg (se fig. 6.8). Matten følger trappetrinnene fritt og skjøtes ved hjelp av ren bentonitt i pastaform. Over matten anbringes torv, ca. 0.7 m i upakket tilstand. Torven pakkes så langt det går på de horisontale overflatene, og over torven legges et plastnett av type hagenett eller "Tensor-nett" med maskevidde 30-60 mm. Nett, torv og bentonittmasse festes til underlaget ved hjelp av forankringsjern i U-form, ca. 0.7 m lange som slås igjennom hele pakkingen. Jernene kan lages av vanlig kamstål ($d = 5.8$ mm). Overflaten revegeteres med gressblanding som påføres ved hjelp av sprøyte-såmaskin som vegvesenet anvender.



Figur 6.8 Prinsipp for overdekking av veltene med bentonittmatter og torv.

Effektiviteten til den foreslåtte tettingen bedømmes sammen med mengde avfall til en reduksjon av sigevannspærkolasjonen med 90-95% og av oksygentilførselen med omtrent det samme. Med hensyn til at reduksjonen i metall-lekkasjen er omtrent proporsjonal med reduksjonen i oksygentransporten gjennom overdekkingen, bør følgelig reduksjonen i metalltransporten bli av størrelsesorden 99%. Det er ingen erfaringer m.h.t. denne type overdekking i Norge. Etter svenske forhold beregnes kostnadene å bli kr. 120/m² eller følgende:

1. Bentonittmatte med utlegging	60 kr/m ²
2. Torv fra området (0.5 m pakket)	15 kr/m ²
3. Utlegging av torv	10 kr/m ²
4. Plastnett med utlegging og forankring	20 kr/m ²
5. Tilsåing	<u>5 kr/m²</u>

Sum SEK 110/m²

eller NOK 120/m²

Alt. C.2 Overdekking med Cefyll/makadam og morene eller sprengstein.

Også dette alternativ utføres på en trappetrinnsformet overflate. Makadamen (pukkstein) må være ensartet (50-80 mm) og kubisk. Cefyllkvaliteten bedømmes etter særskilt test. Med en god flyveaske kreves normalt ca. 8% sement for å oppnå permeabilitetsgrensen $1 \cdot 10^{-9}$ m/S, noe som gir en god effekt m.h.t. oksygen- og vanntransporten og motsvarer det som oppnås med bentonittmatte i foregående alternativ. Da overdekkingens mektighet er liten, bør imidlertid tettesjiktet få en relativt høy motstandskraft mot frost. Dette oppnås med 10% sement og innblanding av sand i Cefyllen.

For at Cefyllpastaen skal kunne injiseres i makadamen i de sterke skråningene, kreves en motvekt av en støttefylling og for å hindre at materialet i støttefyllingen trenger inn i makadamen, kan en plast- eller fiberduk anvendes. Materialet i støttefyllingen bør bestå av morene eller sprengstein. Av hensyn til erosjonsrisikoen må ikke morenen være for finkornig. En torvfylling er for lett. Støpningen må startes fra bunnen av med de omsluttende tettemurene som lages på samme måte som tettesjiktet, og gradvis oppover. Det er viktig at støpeprosessen skjer langs hele nivålinjen innen en flytter oppover, slik at ikke Cefyllmassen renner avgårde ukontrollert. Ellers kan luftlommer eller dårlig utfylling i makadamen forekomme.

Om morene anvendes som dekk sjikt materiale, bør en legge et sjikt av drenerende materiale, som ensartet sand eller grus, over støttefyllingen. For å forhindre materialeseparasjon bør det omgis med fiberduker. Dreneringssjiktets funksjon er tredobbel. Den skal forsterke tettheten i tettesjiktet, forhindre uttørking samt forhindre at morenesjiktet blir mettet med vann. På grunn av den lave permeabiliteten i tettesjiktet og den begrensede kapasiteten i morenen til å transportere vann lateralt, kommer ellers overflaten til å bli utsatt for et høyt grunnvannsnivå og høye poretrykk, hvilket kan forårsake ustabilitet i den bratte overflaten. Også erosjonen på grunn av uttregende vann ved overflatens nedre del kan bli besværlig. Oppå dreneringssjiktet legges usortert morene til full høyde, dvs. 1 m. Dreneringssjikt og morenesjikt behøver ikke påfylles i samme takt som tettesjiktet og støttefyllingen. Av hensyn til erosjonsproblemet i støttefyllingen bør en imidlertid ikke vente lengre enn en måned med ferdigstillingen av arbeidet.

Pukkstein, 50-80 mm, 0.25 m mektighet, utlagt:	35 kr/m ²
Flyveaske inkl. transport:	30 kr/m ²
Sement og andre tilsatser:	20 kr/m ²
Morene, 0.8 m fra nærliggende områder, med utlegging:	25 kr/m ²
Sand eller grus, 0.2 m, med utlegging:	<u>25 kr/m²</u>

Sum SEK 135 kr/m²

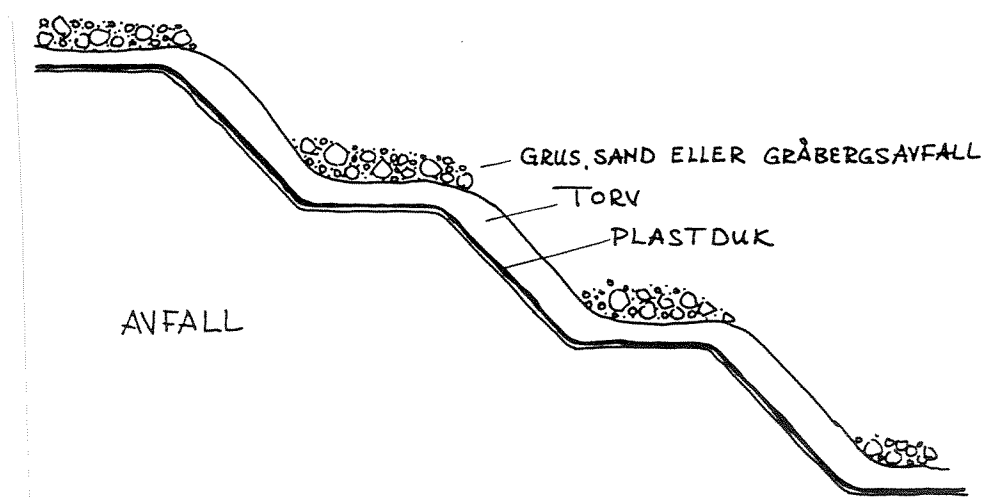
eller NOK 150 kr/m²

Alt. C.3 Overdekking med plastduk og torv

Av de foreslåtte alternativene er problemene størst når det gjelder stabilitet ved valg av plastduk. Derfor er den terrasseformede utformingen spesielt viktig i dette alternativ. Terrassene lages 2-3 m brede og høye. Dessuten foreslås at friksjonen mellom duk og jord forbedres ved å anvende plastduk med særskilt riflet overflate. Materialkvaliteten bør være HDPE (polyten med høydensitet) ettersom denne er spesielt motstandskraftig og har den lengste levetiden. En slik duk kan skaffes i 2 mm tykkelse. Desverre er det ikke kjent om den produseres i tynnere kvalitet. I så fall kunne 1-1.5 mm kanskje være tilstrekkelig.

For å redusere risikoen for gjennomhulling anbefales en grov fiberduk som underlag, i hvert fall på skråningene. På horisontale flater kan et sandsjikt være tilstrekkelig. Til overdekkingen foreslås anvendt torv (0.5 m) som "forankres" (se fig. 6.9) på de horisontale flatene med stein og grus (gråberg). Som det fremgår av figuren, foreslås det at også plastduken utgjør tetting mot grunnen ved at den føres ned i de omsluttende grøftene.

Effektiviteten bedømmes ved en riktig gjennomføring til å bli 100%, i det minste på kort sikt. Holdbarheten i konstruksjonen er vanskelig å bedømme. Den kommer sannsynligvis til å holde i minst 100 år dersom tettsjiktet ikke punkterer.



Figur 6.9 Overdekking med plastmembran og torv.

Kostnadene for alternativet med plastduk beregnes til SEK 140/m²:

Fiberduk, bruksklasse III, ca. 200 g/m ² , inkl. utlegging:	10 kr/m ²
Plastduk, MDPE 2 mm, riflet:	55 kr/m ²
Utlegging, skjøting og kontroll:	45 kr/m ²
Torv fra nærområdet, 0.5 m:	15 kr/m ²
Stein, grus, gråberg, ca. 0.15 m	<u>15 kr/m²</u>
Sum	SEK 140 kr/m ²
eller	NOK 155 kr/m ²

6.5 Hovedalternativ C. Deponering under vann

6.5.1 Oksidasjonsprosessen

Den viktigste faktor for reaksjonshastigheten ved oksidasjon av svovelholdig avfall fra gruvedrift, er tilgang på oksygen. Ved forsøk (Qvarfort, 1989) er det vist at oksygentilførselen må reduseres til et minimum (< 10% av atmosfærens innhold) for at det skal ha noen effekt på forurensningsproduksjonen.

Et av de midler som kan virke effektivt som forsegling, er vann. Riktignok kan vann under visse forhold bidra til å transportere oksygen frem til avfallet, men samtidig er det et medium som effektivt slutter tett omkring det som skal overdekkes.

I vann som strømmer, kan oksygen overføres oppløst i vannet proporsjonalt med strømningshastigheten. Vann som står i ro, vil transportere oksygen meget langsomt (molekylær diffusjon).

Ved deponering av avgang har vann gjennom mange år vært brukt til transport og overdekking. Her dreier det seg om nyknust materiale som har hatt kort oppholdstid før deponering. pH i den deponerte avgangen er dessuten minst 7. Erfaringene fra slike deponier er generelt meget gode. Uttransport av tungmetaller er stort sett beskjedne, pH-endringen over tid er liten etc. Mer detaljerte undersøkelser viser imidlertid at det er en viss lekkasje av forurensninger fra avgangsdeponier under vann. Det gjelder i hovedsak sink, og mengden synes bl.a. å være proporsjonal med den flate som er eksponert mot vann. Ved siden av eksponert areal synes det å være en sammenheng mellom avgangens sammensetning og mengden forurensning som produseres.

Deponering av allerede forvitrede masser fra bergvelter eller gamle tørrlagte avgangsdeponier finnes det foreløpig meget lite erfaring med både her i landet og internasjonalt.

Ut fra en analogivurdering er det nærliggende å anta at undervannsdeponering vil virke gunstig. Avfallsets oksidasjonsgrad, innhold av vannløselige forurensninger, partikkelstørrelse og mineralsammensetning har antakelig betydning for hva som vaskes ut på kort og lang sikt ved en undervannsdeponering.

Ved overføring av forvitrede masser til et undervannsdeponi kreves derfor omfattende sikkerhetstiltak. Det kreves løpende rensing av avløpsvann fra deponiet, f.eks. ved kalking og utfelling av hydrok-

sider. Overføringen må overvåkes nøye med et kjemisk analyseprogram. Dersom tilstrekkelige sikkerhetstiltak iverksettes ved deponeringen, vil et slikt tiltak gi en god reduksjon av forurensningsproduksjonen. Noen kvantitativt mål er det imidlertid vanskelig å gi.

For at et undervannsdeponi for sulfidholdig avfall skal virke etter sin hensikt, må følgende krav være oppfylt:

1. Vannet som omgir avfallet, må ikke perkolere gjennom det. Det vil si at deponiet må ha tett bunn og tette sider.
2. Avfallet må ligge i ro til enhver tid.
3. Vannkvaliteten i deponiet må ha en pH på minst 6, og det må ikke ha tilsig av surt vann med innhold av treverdige jern.

En ekstra sikring ved slik deponering kan oppnås ved en overdekking av avfallet med et inert materiale, f.eks. morene e.l. Tykkelsen av et slikt lag kan være meget liten, under forutsetning av at det ligger fullstendig i ro.

Når det gjelder deponering under vann, foreligger to muligheter i Løkken:

6.5.2 Alternativ C.1 Deponering i Astrup gruve

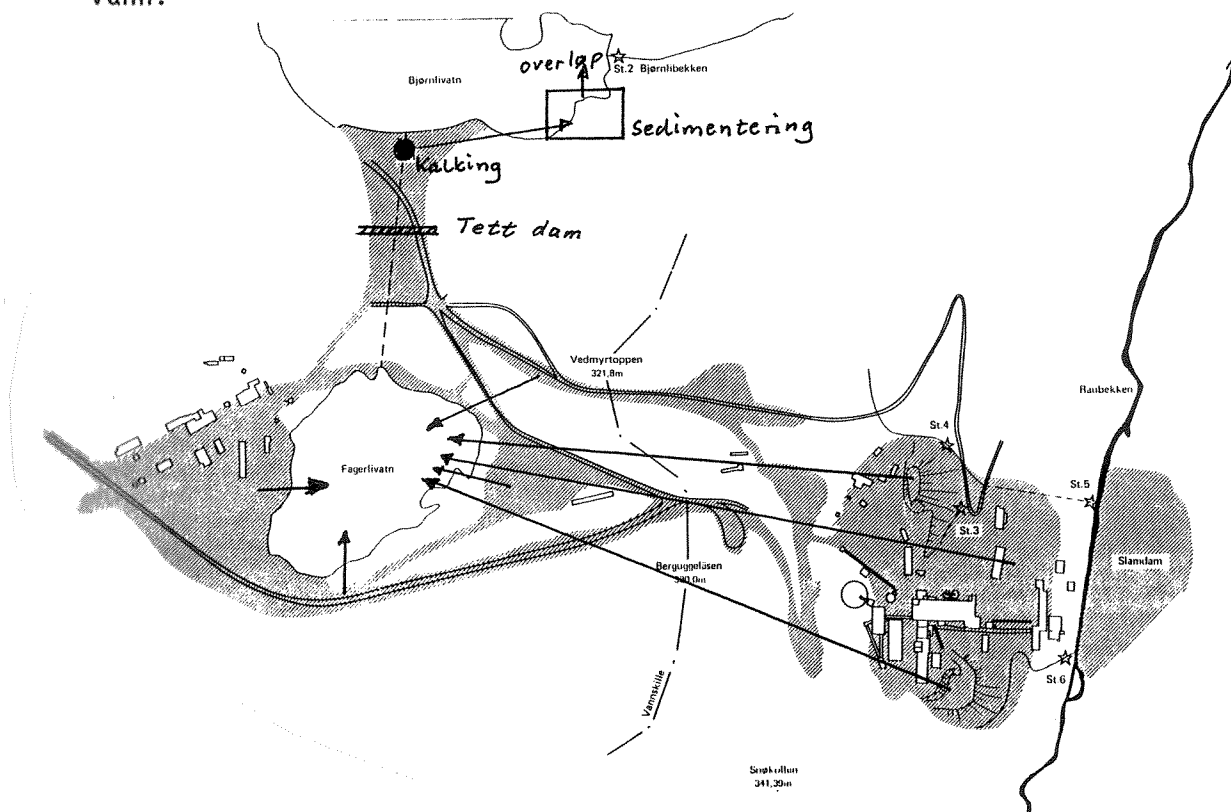
Utnyttelse av Astrup gruve som deponeringsområde vil by på en rekke fordeler. Avfallet vil bli liggende under vann uten tilgang på oksygen. Det vil bli meget liten utveksling av vann med omgivelsene. Erfaringene fra Wallenberg gruve hittil er at det vil bli en pH-heving i gruvevannet samtidig som det skjer en metallutfelling, spesielt kobber. Astrup gruve egner seg derfor godt til problemavfall, det vil si avfall som er kommet langt i forvitningsgrad og som inneholder store mengder tungmetaller som løses ut i vann.

Teoretisk er det plass til de største veltene fra Løkken-siden i Astrup gruve, men et slikt tiltak er neppe praktisk gjennomførbart uten omfattende anleggsvirksomhet som vil bli tidkrevende og kostbar. Det bør tas stilling til en eventuell utnyttelse av Astrup gruve så snart som mulig. Tiltaket bør også eventuelt gjennomføres inneværende år. En av avfallstypene som det er spesielt aktuelt å deponere i Astrup gruve, er magnetitt-tippen. Denne er sterkt forvitret og avgir for tiden mye metaller. Hvis det er plass til mer avfall, bør så mye som mulig av Søndre berghald deponeres i Astrup. Den rimeligste og

raskeste måten å gjennomføre tiltaket på vil være å dumpe avfallet i reservesjaken og kjøre det ut i gruva. Den tekniske gjennomføringen bør eventuelt utredes videre. Det er usikkert om dette er noe realistisk alternativ da det i øyeblikket også er andre interesser som knytter seg til bruken av Astrup gruve.

6.5.3 Alternativ C.2 Deponering i Fagerlivatn

Ved oppdemning av Fagerlivatn til kote 281 (se fig. 6.11) vil det teoretisk være plass til Nordre og Søndre berghald. Et åpent spørsmål er om det er fornuftig å deponere alle avfallsmasser under vann. Utvaskingsforsøkene tyder på at Søndre berghald og de eldste deler av Nordre ikke egner seg for deponering under vann da massene inneholder store mengder tungmetaller som er lett utløsbare ved deponering under vann.



Figur 6.10 Prinsipp for deponering i Fagerli området.

Fagerlivatn er heller ingen ideell deponeringsplass da det til tross for nivåheving fortsatt vil være surt. Dette skyldes avrenning fra gruveavfall rundt innsjøen som det ikke er mulig å sette under vann uten å berøre de bygninger som er i Fagerlia. Dersom Fagerlivatn velges som deponeringsområde, må massene i veien opp til Vedmyrtoppen

også fjernes da disse er en medvirkende årsak til surheten i Fagerlivatn. Vannstanden i Fagerlivatn kan heves ved å lage en tett fyllingsdam ved utløpet. Dersom en ønsker full kontroll med avrenningen fra Fagerlivatn til Bjørnlivatn, er det nødvendig med mer omfattende damarbeider. Store deler av tilførslene fra Fagerlivatn til Bjørnlivatn skjer som grunnvannstilførsler gjennom fyllingen mellom de to innsjøer (se fig 6.10).

Ved en eventuell deponering i Fagerlivatn vil det være nødvendig å tilføre kalk for å redusere forurensningsfaren i flytteperioden. Det er imidlertid usikkert hvor effektivt tiltaket vil være på lang sikt. Vi har i dag ingen erfaring for hva som vil bli de langsiktige konsekvensene ved deponering av forvitret gruveavfall under slike betingelser som i Fagerlivatn. Tiltaket vil sannsynligvis tilfreds-
stille målsetningen om en betydelig reduksjon i tungmetalltilførslene til Orkla. Hvor stor reduksjonen vil bli, er avhengig av hvor godt en greier å redusere de sure tilførslene til Fagerlivatn. pH-verdien må heves i forhold til dagens pH-verdi (3.5) da det ellers er fare for at treverdige jern som er i deponiet, vil gå i løsning og forårsake ny forvitring av kismineraler.

Et annet moment å ta i betraktning ved valg av denne løsning er at dersom tiltaket senere betraktes som utilstrekkelig, vil det være meget vanskelig å gjøre noe med forholdene.

Ved å velge deponering under vann som tiltaksløsning vil en trolig redusere tilførslene fra den delen av avfallet som blir deponert under vann i betydelig grad. Hvor effektivt tiltaket totalt sett vil bli, vil også være avhengig av hva som skal gjøres med den delen av avfallet som ikke flyttes. Det vil også være store mengder lett tilgjengelige tungmetaller i løsmassene under avfallstippene. Tilførs-
lene herfra vil øke etter at veltene er fjernet selv om arealene kalkes, men vil avta etter en tid. En flytting av velter vil således også medføre en del oppryddingstiltak på de arealer det har ligget veltegodt på. Flere tiltak er aktuelle i denne sammenheng:

- Kalking av arealene.
- Flytting av løsmasser i særskilt deponi og overdekking.
- Pumping av sigevann til gruva.

Selv om en deponering under vann teknisk sett blir vellykket, vil denne løsning medføre en større sinktransport fra området enn ved et overdekkingstiltak. Effektiviteten vil derfor ikke bli like stor som en vellykket overdekkingsløsning.

Den tekniske gjennomføringen av tiltaket tenkes i korthet gjennomført slik:

1. Fagerlivatn pumpes ned.
2. Vann fra Fagerlivatn kalkes hele tiden.
3. Kalket avløp føres til sedimentering som foretas i basseng i strandsonen ved Bjørnlivatn. Overløp til Bjørnlivatn. Alternative metoder for slamutfelling kan være aktuelle.
4. Avfallsmasser transporteres og doses ut i Fagerlivatn. Kalking kan være nødvendig ved nedbør.
5. Avfallet bør overdekkes med 10 cm morene før vannstanden heves.
6. Bjørnlivatn berøres ikke, men benyttes som en sikkerhetssone der en eventuell kalking kan gjennomføres hvis tiltaket går ut av kontroll.
7. Drensgrøft nedenfor avfallet på Løkken samler opp sigevann i anleggsperioden. Sigevann pumpes til Fearley sjakt. Vannstanden i gruva holdes ved pumping fra Wallenberg sjakt.

Deponering under vann i Fagerlivatn setter strenge krav til vannkvalitet for å oppnå optimale forhold. Dersom slike forhold ønskes, er det usikkert hvor mye av avfallsmassene rundt Fagerlivatn det er plass til under vannspeilet. Vannspeilet kan imidlertid heves ytterligere for å få plass til alt. Dette vil da berøre bygninger som står på området. Alternativt kan det gjennomføres et overdekkingstiltak på den delen av avfallet som blir liggende over grunnvannstanden. Dette vil føre til en kostnadsøkning. I denne undersøkelsen er det imidlertid ikke foretatt prøvetaking av avfall rundt Fagerlivatn for å vurdere hvor mye av avfallet det eventuelt er nødvendig å flytte. Vi mener likevel det er mulig å ta stilling til tiltaket selv om det foreløpig er manglende kunnskap om flere forhold.

7. KOSTNAD/EFFEKTIVITETS-ANALYSE AV TILTAK

7.1 Vurdering av kostnad og effektivitet

Nytten av et tiltak knyttes til virkningen for brukerinteressene i vassdragene nedstrøms Løkken, som del av en helhetlig vannbruksplan for området. Dette krever at reduksjon i tilførslene og endret vannkvalitet omsettes til brukerkonsekvenser. Nyttefaktoren søkes deretter målt i økonomiske termer. På denne måten vil man ved kvantitative metoder søke å omsette samfunnsmessig nytte til økonomisk målbare størrelser. Slike vurderinger krever omfattende utredninger, befinner seg faglig sett på et tidlig stadium, og vil i alle tilfeller medføre mange skjønsmessige betraktninger.

I våre vurderinger i denne utredningen har vi derfor valgt å knytte nyttebegrepet til det laveste og direkte målbare nivået, reduksjon i tilførsler av tungmetaller på årsbasis. En mer korrekt betegnelse vil derfor være en effektivitets-vurdering av tiltakene. På effektsiden må man bygge på rimelige forventninger av hva tiltakene vil føre til av reduksjon i tilførslene. Det finnes lite datagrunnlag og praktiske erfaringer for en del av tiltakene. Vi har derfor benyttet vårt beste faglige skjønn ved anslag av effektene.

For de aktuelle tiltakene er det mulig å beregne gjennomsnittlige årlige samfunnsmessige kostnader. Disse beregnes ved å neddiskontere investeringer, drifts- og vedlikeholdskostnader med 7 % rente p.a. (anbefales benyttet av Finansdepartementet for samfunnsøkonomiske investeringer), og fordele dem over tiltakets levetid som årlige annuiteter. Dersom man ønsker å legge bedriftsøkonomiske betraktningmåter til grunn, vil en rente på 13 % p.a. gi et mer korrekt anslag ved de økonomiske vurderingene. Vi har derfor også sett på hvilken innvirkning dette vil ha på tiltakenes økonomi.

Kostnadsberegningene er gjort på et oversiktlig nivå, og det knyttes usikkerheter til anslagene. På kostnadssiden er det renseanlegg-alternativet det finnes best datagrunnlag for. Kostnader ved de andre alternativene er mer usikre. Vi vurderer at tallmaterialet likevel gir en korrekt rangering av alternativene. Før gjennomføring må den valgte løsning detaljprosjekteres og kostnadsberegnes på nytt.

7.2 Kostnader

7.2.1 Hovedalternativ A - renseanlegg

Kostnadsoverslaget er redegjort for i rapporten fra konsulentfirmaet C.H.-Knudsen A/S (bilag 6). Nedenfor gjengis en oppsummering fra rapporten. Kostnadsanslagene er i dette tilfelle basert på erfaringstall for renseanlegg og ledningsnett, og bedømmes være det best mulige estimat i en forprosjektfase. Det er derfor ikke gjort spesielle påslag, utover de kostnader som er angitt for hver enkelt post.

INVESTERINGSKOSTNADER (alle tall i mill kr.)

	Alternativ 1		Alternativ 2	
	fase 1	Tillegg fase 2	fase 1	Tillegg fase 2
1. Avskjærende drengroft	1,85		1,85	
2. Observasjonsbrønn grunnvann	0,10		0,10	
3. Ledninger til/fra utjevning	0,70		0,70	
4. Bekkeinntak	0,30		0,30	
5. Grunnvannsbrønner og transportsystem		1,95		1,95
6. Pumpestasjon og renseanlegg	6,50	1,00	6,50	1,00
7. Pumpestasjon v/Løkken			0,30	
8. Tetting av Raubekken		4,70		4,70
9. Wallenberg, opphenting av gruvevann	0,60		0,80	
10. Overføring Wallenberg- utjevning	1,20			
11. Slamdeponi	2,00		2,00	

SUM INVESTERINGER	13,25	7,65	12,55	7,65

	Fase 1	Fase 1+2	Fase 1	Fase 1+2
TOTALE INVESTERINGER	13,25	20,90	12,55	20,20

ÅRSKOSTNADER

	Alternativ 1		Alternativ 2	
	Fase 1	Fase 1+2	Fase 1	Fase 1+2
Årskostnader invest. (7 %, 20 år)	1,250	1,975	1,185	1,910
Årlig drift og vedlikehold	1,865	2,559	1,355	1,950
SUM ÅRSKOSTNADER	3,115	4,534	2,540	3,860

	Fase 1	Fase 1+2	Fase 1	Fase 1+2
	Årskostnader invest. (13%, 20 år)	1,887	2,976	1,787
Årlig drift og vedlikehold	1,865	2,559	1,355	1,950
SUM ÅRSKOSTNADER	3,752	5,535	3,142	4,827

NÅVERDI AV PROSJEKTET

Nåverdi (7 %, 50 år)	43,0	62,6	35,1	53,3
Nåverdi (13 %, 50 år)	28,8	42,5	24,1	37,0

Ambisjonsnivåene i fase 1 og i fase 1+2 i begge alternativer er det samme. Den vesentligste grunnen til at alternativ 2 framstår som kostnadsmessig gunstigere, er at kalktilsettingen og derved slammengdene i dette alternativet er vesentlig redusert grunnet utjevningen i gruva.

7.2.2 Hovedalternativ B - overdekking av veltene på stedet

Kostnadsoverslaget for dette tiltaket er mindre detaljert enn renseanlegg-tiltaket. Anslagene bygger hovedsaklig på tidligere opplysninger fra Løkken Gruber a/s & Co og erfaringer fra Sverige for tilsvarende arbeider, justert for våre vurderinger. Kostnadspostene for drenggrøft og oppsamling er vurdert ut fra tilvarende poster for renseanlegg-tiltaket. På grunn av usikkerhetene har vi gjort et påslag på investeringskostnadene i størrelsesorden 20 %.

INVESTERINGSKOSTNADER

1. Flytting av avfall, arrondering 100 000 m ³ a kr. 15,-	1,5	mill kr.
2. Overdekking, inkl. membran og dekkmasse 50 000 m ² a kr. 175,-	8,8	mill kr.
3. Drenggrøft, pumpestasjon og ledning til gruve	1,7	mill kr.
4. Diverse kostnader og uforutsett (20 %)	2,5	mill kr.

SUM INVESTERINGER	14,5	mill kr.

ÅRSKOSTNADER

Årskostnad investering (7 %, 50 år)	1,05	mill kr.
Årlig drift og vedlikehold (1,5 % av inv.)	0,22	mill kr.

SUM ÅRSKOSTNADER	1,27	mill kr.

Årskostnad investering (13%, 50 år)	1,89	mill kr.
Årlig drift og vedlikehold (1,5 % av inv.)	0,22	mill kr.

SUM ÅRSKOSTNADER	2,11	mill kr.

NÅVERDI AV PROSJEKTET

Nåverdi (7 %, 50 år)	17,5	mill kr.
	=====	
Nåverdi (13%, 50 år)	16,2	mill kr.
	=====	

7.2.3 Hovedalternativ C - deponering i Fagerlivann

Kostnadsvurderingene bygger på tidligere vurderinger fra Løkken Gruber A/S & Co, justert for våre anslag og nødvendige tilleggsarbeider. For drenerings- og oppsamlingssystemet i Løkken er kostnadene vurdert ut fra tilsvarende poster i renseanlegg-alternativet. På grunn av usikkerhetene, som vi også i dette tilfelle antar vil medføre tilleggs kostnader, har vi gjort et påslag på tilnærmet 20 % i investeringskostnader.

INVESTERINGSKOSTNADER

1. Transportkostnader, inkl. opplasting og planering		
425 000 m3 a kr. 35,-	14,9	mill kr.
2. Dambygging, arrondering	2,0	mill kr.
3. Ny veg ved Vedmyrtoppen	1,0	mill kr.
4. Kalktilsetting	1,0	mill kr.
5. Vegvedlikehold	0,2	mill kr.
6. Opprydding	0,5	mill kr.
7. Midlertidig rensing ved Fagerlivann	1,5	mill kr.
8. Drensgrøft, pumpestasjon og ledning til gruve	1,7	mill kr.
9. Overdekking i Fagerlivann		
10 000 m3 a kr. 50,-	0,5	mill kr.
10. Diverse kostnader, uforutsett (20 %)	4,7	mill kr.

SUM INVESTERINGER	28,0	mill kr.

ÅRSKOSTNADER

Årskostnad investering (7 %, 50 år)	2,03	mill kr.
Årlig drift og vedlikehold (0,5 % av inv.)	0,14	mill kr.

SUM ÅRSKOSTNADER	2,17	mill kr.

Årskostnad investering (13%, 50 år)	3,65	mill kr.
Årlig drift og vedlikehold (0,5 % av inv.)	0,14	mill kr.

SUM ÅRSKOSTNADER	3,79	mill kr.

NÅVERDI AV PROSJEKTET

Nåverdi (7 %, 50 år)

29,9 mill kr.
=====

Nåverdi (13 %, 50 år)

29,1 mill kr.
=====

7.3 Effektivitet

7.3.1 Hovedalternativ A - renseanlegg

7.3.1.1 Hovedalternativ A - renseanlegg, alt 1., fase 1

	Årlig bidrag før tiltak tonn Cu/år	Årlig bidrag etter tiltak tonn Cu/år
Veltene ved Løkken	42,0	10,1

Forventet oppsamlingseffekt	80 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(0,80*0,95)*100 % =	76 %	
Øvrige diffuse tilførsler ved Løkken	1,0	1,0

Forventet oppsamlingseffekt	0 %	
Forventet renseeffekt	0 %	
Forventet reduksjon		
(0,0*0,0)*100 % =	0 %	
Gruvevann ved overløp		

Astrup (12000 m ³ * 5 g/m ³)	0,1	0,1
Wallenberg (500000 m ³ * 5 g/m ³)	2,5	0,1

Forventet oppsamlingseffekt	100 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(1,00*0,95)*100 % =	95 %	
Bjørnli-området	4,8	4,8

SUM	50,4	16,1

REDUKSJON ETTER TILTAK	34,3 tonn Cu/år	
REDUKSJON ETTER TILTAK	68 %	

7.3.1.2 Hovedalternativ A - renseanlegg, alt. 1, fase 1+2

	Årlig bidrag før tiltak tonn Cu/år	Årlig bidrag etter tiltak tonn Cu/år
Veltene ved Løkken	42,0	6,3

Forventet oppsamlingseffekt	90 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(0,80*0,95)*100 % =	85 %	
Øvrige diffuse tilførsler ved Løkken	1,0	0,2

Forventet oppsamlingseffekt	90 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(0,90*0,95)*100 % =	85 %	
Gruvevann ved overløp		

Astrup (12000 m ³ * 5 g/m ³)	0,1	0,1
Wallenberg (500000 m ³ * 5 g/m ³)	2,5	0,1

Forventet oppsamlingseffekt	100 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(1,00*0,95)*100 % =	95 %	
Bjørnli-området	4,8	4,8

SUM	50,4	11,5

REDUKSJON ETTER TILTAK	38,9 tonn Cu/år	
REDUKSJON ETTER TILTAK	77 %	

7.3.1.3 Hovedalternativ A - renseanlegg, alt.2, fase 1

	Årlig bidrag før tiltak tonn Cu/år	Årlig bidrag etter tiltak tonn Cu/år
Veltene ved Løkken	42,0	10,1

Forventet oppsamlingseffekt	80 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(0,80*0,95)*100 % =	76 %	
Øvrige diffuse tilførsler ved Løkken	1,0	1,0

Forventet oppsamlingseffekt	0 %	
Forventet renseeffekt	0 %	
Forventet reduksjon		
(0,0*0,0)*100 % =	0 %	
Gruvevann ved overløp		

Astrup (12000 m ³ * 5 g/m ³)	0,1	0,1
Wallenberg (500000 m ³ * 5 g/m ³)	2,5	0,1

Forventet oppsamlingseffekt	100 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(1,00*0,95)*100 % =	95 %	
Bjørnli-området	4,8	4,8

SUM	50,4	16,1

REDUKSJON ETTER TILTAK	34,3	tonn Cu/år
REDUKSJON ETTER TILTAK	68	%

7.3.1.4 Hovedalternativ A - renseanlegg, alt.2, fase 1+2

	Årlig bidrag før tiltak tonn Cu/år	Årlig bidrag etter tiltak tonn Cu/år
Veltene ved Løkken	42,0	6,3

Forventet oppsamlingseffekt	90 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(0,80*0,95)*100 % =	85 %	
Øvrige diffuse tilførsler ved Løkken	1,0	0,2

Forventet oppsamlingseffekt	90 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(0,90*0,95)*100 % =	85 %	
Gruvevann ved overløp		

Astrup (12000 m ³ * 5 g/m ³)	0,1	0,1
Wallenberg (500000 m ³ * 5 g/m ³)	2,5	0,1

Forventet oppsamlingseffekt	100 %	
Forventet renseeffekt	95 %	
Forventet reduksjon		
(1,00*0,95)*100 % =	95 %	
Bjørnli-området	4,8	4,8

SUM	50,4	11,5
	-----	-----
REDUKSJON ETTER TILTAK	38,9 tonn Cu/år	
REDUKSJON ETTER TILTAK	77 %	

7.3.2 Hovedalternativ B = overdekking av veltene på stedet

		Årlig bidrag før tiltak tonn Cu/år	Årlig bidrag etter tiltak tonn Cu/år
Veltene ved Løkken		42,0	12,6

Forventet reduksjon	70 %		
Øvrige diffuse tilførsler ved Løkken		1,0	1,0

Gruvevann ved overløp			

Astrup		0,1	0,1
Wallenberg		2,5	2,5

Bjørnli-området		4,8	4,8

SUM		50,4	21,0
		-----	-----
REDUKSJON ETTER TILTAK		29,4	tonn Cu/år
REDUKSJON ETTER TILTAK		58	%

7.3.3 Hovedalternativ 3 - deponering_i_Fagerlivann

	Årlig bidrag før tiltak tonn Cu/år	Årlig bidrag etter tiltak tonn Cu/år
Veltene ved Løkken	42,0	4,2

Forventet reduksjon	90 %	
Øvrige diffuse tilførsler ved Løkken	1,0	1,0

Gruvevann ved overløp		

Astrup	0,1	0,1
Wallenberg	2,5	2,5

Bjørnli-området	4,8	8,0

Deponering i Fagerlivann, forutsatt kravene i pkt. 6.5.1 oppfylt ($3,2 \cdot 10^6$ (m ³ /år)*2,5 (g/m ³))		
	-----	-----
SUM	50,4	15,8
	-----	-----
REDUKSJON ETTER TILTAK	34,6	tonn Cu/år
REDUKSJON ETTER TILTAK	69	%

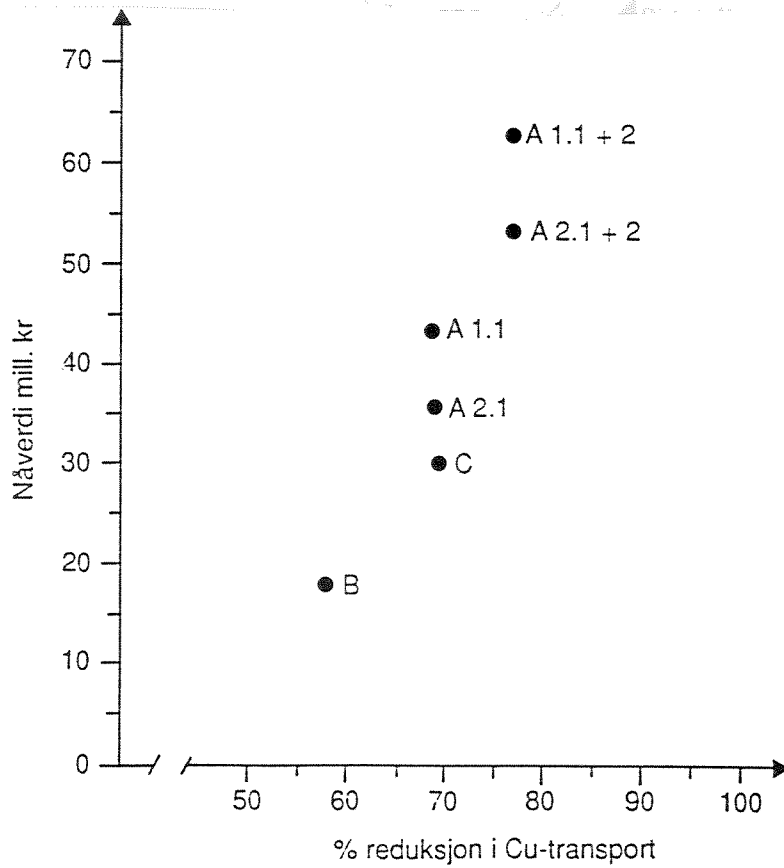
7.4 Sammenstilling av kostnad og effektivitet

I tabell 7.1 er det gjort en sammenligning av kostnad og effektivitet ut fra beregningene i kapittel 7.2 og 7.3.

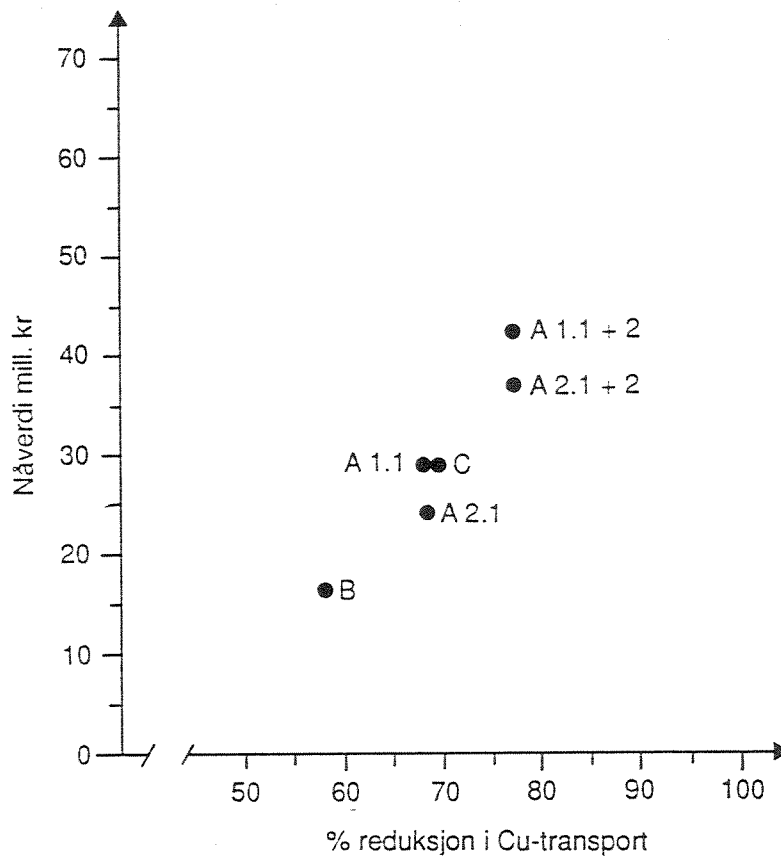
De samme opplysningene er også framstilt i figurene 7.1 og 7.2.

Tabell 7.1 Sammenligning av kostnad og effektivitet for ulike tiltaksalternativ.

Tiltak	: Nåverdi : mill kr. : 7 % rente	: Nåverdi : mill kr. : 13 % rente	: Reduksjon : tonn Cu/år	: Reduksjon : %
Hovedalternativ A	:	:	:	:
alt.1, fase 1	: 43,0	: 28,8	: 34,3	: 68
fase 1+2	: 62,6	: 42,5	: 38,9	: 77
alt.2, fase 1	: 35,1	: 24,1	: 34,3	: 68
fase 1+2	: 53,3	: 37,0	: 38,9	: 77
Hovedalternativ B	: 17,5	: 16,2	: 29,4	: 58
Hovedalternativ C	: 29,9	: 29,1	: 34,6	: 69



Figur 7.1 Nåverdi av alternativene ved rente 7% p.a. som funksjon av %-vis reduksjon i Cu-tilførslene.



Figur 7.2 Nåverdi av alternativene ved rente 13% p.a. som funksjon av %-vis reduksjon i Cu-tilførslene.

8. VEIVALG OG OPPSUMMERING

Ved prioritering av tiltak står man overfor et veivalg. I korthet vil man ta stilling til følgende valgmuligheter:

1. Er det aktuelt å benytte Astrup gruve til deponeringsformål?
Et slikt tiltak har mange fordeler. Man får neppe mulighet til å vurdere dette på et senere tidspunkt. I våre forslag til hovedalternativ er det ikke forutsatt å benytte Astrup gruve.
2. Skal man flytte avfall eller skal man la det ligge?
Hverken nasjonalt eller internasjonalt har man tilstrekkelig erfaringsgrunnlag til å si noe sikkert om hva en deponering under vann vil innebære for slikt avfall som på Løkken. Erfaringer fra tiltak i andre land er at man ikke ønsker å flytte avfall hvis det kan unngås. Vi tilrår derfor at minst mulig avfall flyttes. Velger man likevel å flytte avfall til Fagerlivatn, vil man også der kunne få til en akseptabel deponeringsløsning hvis man er villig til å ta den risiko det innebærer.
3. Renseanlegg eller overdekking?
Valg av renseanlegg vil sannsynligvis gi en bedre effekt i vassdraget. Ulempen er at man binder seg økonomisk på lang sikt samtidig som anlegget produserer et avfall som må på spesialdeponi.

Velger man overdekking som tiltaksløsning, tar man en liten forurensningsmessig risiko, men det ligger en del tekniske utfordringer i valg av metode. Tiltaket kan medføre noe kostnader i forbindelse med vedlikehold av dekkingsjiktet.

Ved valg mellom disse alternativer er det også naturlig å trekke inn andre momenter som ikke omfattes av denne utredning:

- Estetiske forhold. Ønsker man å beholde gruveområdet og miljøet slik det er idag?
- Ønsker kommunen å benytte seg av muligheten til å rense kommunal kloakk og drensvann i samme anlegg?

4. Hva gjør man med gruvevannet ?

Når Wallenberg gruve får overløp, regner vi med at tilførselene fra gruva vil bety relativt lite i forhold til den totale transport fra Løkken. I hovedalternativ A, renseanlegg, har man mulighet til også ta med gruvevannet hvis det er nødvendig. I de to andre

alternativene har vi ikke forutsatt noen rensing av gruvevann. For å avgjøre om tiltak er nødvendig etter at det blir overløp, må man gjøre et valg m.h.t. håndtering av dette ved alt. B og C:

- Gruvevannet må enten føres på røret til fjorden eller på bekken i en prøveperiode på min. 2 år for å vurdere sammen-setning og mengde.
- Dersom dette ikke er aktuelt, foreligger intet annet alternativ enn å holde vannstanden i Wallenberg gruve ved å pumpe fra Wallenberg sjakt til Fagerlivatn /Bjørnlivatn. Vi regner med at denne vannkvaliteten vil være vesentlig bedre enn framme på Løkken. Ved valg av denne løsning får man imidlertid aldri vite hva som blir vannkvaliteten ved naturlig overløp og man blir avhengig av et teknisk opplegg som med-fører vedlikehold og kontroll.

5. Konklusjon

Tiltakene som er foreslått i denne rapport har som strategi å konsentrere innsatsen om de største forurensningskildene, d.v.s. tilførselene til Raubekken fra Løkken-siden, slik at samlet avrenning fra gruveområdet blir tilstrekkelig redusert for å sikre en akseptabel situasjon i Orkla. De foreslåtte tiltak er konsentrert til 3 hovedalternativer:

- A. Rensing av drenevann
- B. Overdekking på stedet
- C. Deponering i Fagerlivatn

Ut fra en samlet forurensningmessig vurdering av alle alternativ vil vi anbefale at alternativ B, overdekking på stedet, velges som tiltaksløsning i Løkken. Vi forutsetter da at det samtidig aksepteres at overløp fra Wallenberg gruveområde slippes ubehandlet til Raubekken. Dersom dette ikke er akseptabelt, vil alternativ A, renseanlegg, være eneste aktuelle alternativ. Denne prioriteringen begrunnes med at tiltaket vil gi en akseptabel effekt og at man tar liten forurensningmessig risiko ved å gjennomføre tiltaket.

Hvis det fra myndighetenes side kreves forurensningsbegrensende tiltak ut over det overdekkingsalternativet gir, anbefaler vi at renseanleggalternativet velges.

B I L A G 1

LITTERATUR

MILJØUNDERSØKELSER

1. Arnesen, R.T., Iversen, E.R, 1975-1988. Orkla Industrier A/S, Løkken Gruber A/S & Co. Kontrollundersøkelser i nedre del av Orklavassdraget. Årsrapporter 1975-1987.
2. Bergström, S., 1976. Development and application of a conceptual runoff model for scandinavian catchments. Institutionen för teknisk vattenresurslära, Lund.
3. Grande, M. 1981-1989. Rutineovervåking i Orkla. Årsrapporter 1980-1988. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 9/81, 41/82, 83/83, 154/84, 187/85, 242/86, 289/87, 326/88 og 368/89.
4. Grande, M., 1979. Orklavassdraget. Vannkvalitet og hydrobiologiske forhold. NIVA-Rapport 0-75122, 144 s.
5. Green, N., NIVA. Felles europeisk overvåkingsprogram i (JMP) i Norge. Overvåkingsresultater 1987. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 330/88.
6. Korsen, I., Møkkelgjerd, P.I., 1982. Undersøkelser omkring fiskedøden i Orkla høsten 1981. Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk, Trondheim.
7. Orkla Grube - Aktiebolag 1954. Løkken Verk. En norsk grube gjennom 300 år.
8. Qvarfort, U. 1989. Förlopp vid sulfidvittring. - En laboratoriestudie. Uppsala universitet. Uppsala.
9. Rygg, B. 1984. Trondheimsfjorden. Biologiske undersøkelser 1983. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 126/84.

B I L A G 2**RESULTATER FRA FELTUNDERSØKELSER AV AVFALLSMASSER**Innhold:

1. UNDERSØKELSE AV AVFALL

- 1.1 Prøvetaking med gravemaskin
- 1.2 Prøvetaking med bormaskin

2. ANALYSE AV PRØVER

- 2.1 Opparbeiding av prøver for total analyse
- 2.2 Utvaskingsforsøk
- 2.3 Resultater

1. UNDERSØKELSE AV AVFALL

1.1 Prøvetaking med gravemaskin

Avfallet ble prøvetatt med gravemaskin ved følgende steder:

1. Nordre velt. Ca. 2 m dyp. Lite forvitret grovt gods.
2. Nordre velt. Ca. 1.0-1.2 m dyp. Sone med grått, lite forvitret gods.
3. Nordre velt. Ca. 0.5-1 m. Sone med brunt forvitret gods.
4. På toppen av nordre velt i nærheten av borhull A. 1.5-2 m dyp. Blandet materiale, noe forvitret gods mellom grovere steiner som var lite forvitret.
5. Søndre velt 3. På terrasse nedenfor snekkerverksted. Ca. 3 m dyp. Sand- og grusaktig materiale tildels sammenbrent i klumper. Også noe uforvitret kis.
6. Søndre velt. I samme grop 0.2-0.7 m. Materialet var sterkt forvitret og hadde sand/gruskarakter.
7. Søndre velt. På samme avsats. Sterkt sammenbrent gods.
8. Nedre del av magnetittavfall i veikant. Uforvitret gods.
9. Samme sted som 8. Prøve av "gråberg".
10. På toppen av magnetittvelten.
Sterkt forvitret gods. Grå-gul masse forvitret til grus-størrelse.
11. Velt utenfor gammelgruva.
Sterkt sammenbrent gods i klumper. 0.4-2 m.
12. Velt utenfor gammelgruva.
Samme prøvegrop.

Prøvetaking med gravemaskin gir et godt inntrykk av avfallets tilstand. Nordre velt har et lag av ca. $\frac{1}{2}$ m morene på overflaten. Under morenen er en hard skorpe av sammenbrent, forvitret gods med mektighet 0.5-1 m. Under denne sone synes godset relativt upåvirket. Sonen med forvitret gods synes å være forholdsvis tett idet varm, fuktig luft strømmer ut når det blir gravet hull i sonen (skorsteinseffekt).

Søndre velt virker mer homogen der godset stort sett er i sterkt forvitret tilstand iblandet en del blokker som er lite forvitret. Godset virker løst lagt opp, noe som bevirker lett tilgang på luft og fuktighet.

På velten utenfor gammelgruva ligger et lag av ca. 20 cm avbrann med slagg på toppen. Under er avfallet blandet med store uforvitrede blokker med forvitret gods mellom av sand/grus karakter.

Magnetittavfallet er sterkt forvitret på toppen. Avfallet er varmt (ca. 40 °C) og i kaldt, fuktig vær kan damp observeres. Avfallet er overdekket med myrjord på toppen.

1.2 Prøvetaking med bormaskin

Borearbeidet ble utført av NOTEBY A/S. Det ble benyttet Odex borhode og prøvene ble blåst ut med pressluft. Det ble samlet opp blandprøve av hver rørlengde på 1.20 m.

Det viste seg at ved flere prøvetakingssteder og dyp lykkes det ikke å få opp prøver. Dette skyldes sannsynligvis at godset var meget grovt slik at borhodet bare skjøv det grove materialet til side i det løst opplagte avfallet. Selv i finere godstyper som i søndre velt, var det også vanskelig å få opp prøver, særlig i ytterkant av velten. Dette skyldes at velten er lagt opp på ras slik at det er mye luft i avfallsmassene. Erfaringene fra prøvetaking med gravemaskin var at særlig nordre velt et stykke nedi, besto av relativt store blokker som ikke var forvitret og som bare hadde et tynt lag av forvitningsprodukter på overflaten. Ved prøvetaking med denne type bormaskin skjer det derfor en utvelgelse av prøve idet store blokker som ikke er forvitret, ikke blir prøvetatt. Analyseresultatene bli derfor noe misvisende.

Prøvetakingen med gravemaskin vurderes som mest representativ, men det var bare mulig å komme ned ca. 3 m i avfallet med gravemaskin.

Følgende hull ble boret:

Kode	Sted	Anmerkna
A.	På toppen av nordre velt.	Fast fjell på 18.5 m
B.	Avsats nedenfor A på nordre velt.	Fast fjell på 10 m.
F.	På terrasse ovenfor sig fra nordre velt ved Tårnbakken	Fast fjell på 9.8 m.
G.	På toppen av nordre velt ved garasje	Fast fjell på 4.8 m.
C.	Søndre velt på terrasse nedenfor snekkerverksted	Fast fjell på 10 m.
D.	Søndre velt, samme terrasse, nærmere gamle oppredningsverk	Fast fjell på 8.4 m.
E.	På velt utenfor Gammelgruva	Fast fjell på 7.8 m.

I tabellene for analyseresultatene er det bare angitt hvilke dyp det kom opp prøvemateriale fra. Fra mellomliggende dyp kom det intet prøvemateriale ut av boret, noe som indikerer problemene med denne prøvetakingsmetodikken.

2. ANALYSE AV PRØVER

2.1 Opparbeiding av prøver for total analyse

Prøvene ble tørket, knust ned i knusere til analysefinhet. Uttatt prøve ble oppsluttet med Lunges væske og analysert m.h.t. tungmetaller. Svovelinhold ble bestemt i svovelanalysator (Carlo Erba).

2.2 Utvaskingsforsøk

Hensikten med utvaskingsforsøkene var i første rekke å vurdere hvor mye metaller avfallet kan avgi ved deponering i vann, det vil si vurdering av forvitningsstatus. Det ble først gjort en del innledende forsøk for å bestemme forsøksbetingelsene. Utvaskingene ble gjort i porselensmølle (11 og 51). Det ble funnet at behandling i porselensmølle er en relativt hårdhendt behandling av godset. Det oppstår lett nye, friske flater. En får forskjellige resultater,

avhengig av godstype og vasketid. Avfallet i f.eks. nordre velt inneholdt mye grønnstein, som er en basisk bergart, iblandet kisminerale. Ved for lang vasketid (2-24 t) inntraff pH-heving i vaskevannet. pH steg fra 3 til 8! Det ble også påvist H₂S-lukt i noe avfall!

Det ble besluttet å gjennomføre følgende vaskeprosedyre for avfall tatt med bormaskin: 250 g avfall (ikke tørket) ble tilsatt 500 ml destillert vann og vasket i porselensmølle i 5 minutt. Vann ble filtrert og analysert. Større godsmengder (1-2 kg) og tilsvarende mer vann ble benyttet for gods tatt med gravemaskin.

Alle analyseresultater er samlet i de følgende tabeller.

Tabell 3.7 Undersøkelser av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull A. Øverste platå nordre velt.

Dyp m	Beteg- nelse	Tot. innhold				Teor. %Fe-Pyr. av tot. Fe	Cu/Zn
		% Cu	% Zn	% Fe	% S		
0-1.2	A1	0.071	0.014	13.4	3.57	23.18	5.1
3.6-4.8	A4	0.14	0.041	15.6	7.31	40.77	3.4
4.8-6.0	A5	0.19	0.056	22.5	4.41	17.05	3.4
6.0-7.2	A6	0.063	0.014	15.2	2.07	11.85	4.5
7.2-8.4	A7	0.079	0.017	13.1	2.16	14.35	4.6
8.4-9.6	A8	0.050	0.016	13.2	1.92	12.65	3.1
9.6-10.8	A9	0.11	0.014	9.89	1.79	15.75	7.9
10.8-12.0	A10	0.96	0.012	8.27	5.42	57.02	80.0
12.0-13.2	A11	1.40	0.0089	9.84	9.05	80.02	157.3
13.2-14.4	A12	0.23	0.015	15.2	12.1	69.49	15.3
14.4-15.6	A13	1.30	0.011	18.0	15.3	73.71	118.2
15.6-16.8	A14	1.52	0.051	20.9	16.7	69.64	29.8
18.0-19.2	A16	0.59	0.035	18.2	12.3	58.70	16.9

Tabell 3.8 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull B. Nordre velt.

Dyp m	Beteg- nelse	Tot. innhold				Teor. %Fe-Pyr av tot. Fe	Cu/Zn
		% Cu	% Zn	% Fe	% S		
0-1.2	B1	0.70	0.033	26.2	15.7	52.20	21.2
1.2-2.4	B2	0.36	0.035	31.1	12.6	35.33	10.3

Tabell 3.9 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull C. Søndre velt.

Dyp m	Beteg- nelse	Tot. innhold				Teor. %Fe-Pyr. av tot. Fe	Cu/Zn
		% Cu	% Zn	% Fe	% S		
0-1.2	C1	0.14	0.024	23.6	4.99	18.40	5.8
1.2-2.4	C2	0.056	0.025	19.0	3.15	14.42	2.2
2.4-3.6	C3	0.043	0.020	13.9	4.54	28.42	2.2
3.6-4.8	C4	0.048	0.019	12.5	6.67	46.42	2.5
4.8-6.0	C5	0.081	0.020	13.6	6.85	43.82	4.1
6.0-7.2	C6	0.11	0.039	12.8	6.68	45.40	2.8
7.2-8.4	C7	0.075	0.040	12.4	5.91	41.47	1.9
8.4-9.6	C8	0.037	0.019	4.46	1.22	23.80	1.9

Tabell 3.10 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull D. Søndre velt.

Dyp m	Beteg- nelse	Tot. innhold				Teor. %Fe-Pyr. av tot. Fe	Cu/Zn
		% Cu	% Zn	% Fe	% S		
0-1.2	D1	0.087	0.036	13.1	2.46	16.34	2.4
1.2-2.4	D2	0.088	0.064	13.7	3.75	23.81	1.4
2.4-3.6	D3	0.10	0.060	17.0	6.02	30.81	1.7
3.6-4.8	D4	0.12	0.042	12.3	4.19	29.64	2.9
4.8-6.0	D5	0.15	0.047	14.5	6.46	38.76	3.2
6.0-7.2	D6	0.10	0.075	10.4	5.38	45.01	1.3
7.2-8.4	D7	0.16	0.058	14.4	6.87	41.51	2.8
8.4-9.6	D8	0.13	0.016	6.89	3.19	40.28	8.1
9.6-10.8	D9	0.037	0.016	6.67	2.47	32.22	2.3
10.8-12.0	D10	0.056	0.023	7.59	2.67	30.60	2.4
12.0-13.2	D11	0.026	0.016	5.05	1.24	21.36	1.6

Tabell 3.11 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull E. Velt utenfor Gammelgruva.

Dyp m	Beteg- nelse	Tot. innhold				Teor. %Fe-Pyr. av tot. Fe	Cu/Zn
		% Cu	% Zn	% Fe	% S		
0-1.2	E1	0.046	0.018	8.90	1.92	18.77	2.6
1.2-2.4	E2	0.097	0.023	12.3	3.79	26.81	4.2
2.4-3.6	E3	0.057	0.035	11.1	2.25	17.64	1.6
3.6-4.8	E4	0.069	0.026	10.8	3.10	24.97	2.7
7.2-8.4	E7	0.026	0.016	8.13	0.99	10.59	1.6

Tabell 3.12 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull F. Nordre velt nedre avsats rett opp
for Tårnbakken.

Dyp m	Beteg- nelse	Tot. innhold				Teor. %Fe-Pyr. av tot. Fe	Cu/Zn
		% Cu	% Zn	% Fe	% S		
2.4-3.6	F3	0.17	0.035	11.2	3.03	23.54	4.9

Tabell 3.13 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull G. Nordre velt. Øvre platå ved
garasje.

Dyp m	Beteg- nelse	Tot. innhold				Teor. %Fe-Pyr. av tot. Fe	Cu/Zn
		% Cu	% Zn	% Fe	% S		
0-1.2	G1	0.24	0.014	19.9	3.99	17.44	17.1
1.2-2.4	G2	0.075	0.0053	25.2	2.24	7.73	14.2
2.4-3.6	G3	0.094	0.013	25.0	7.73	26.90	7.2
3.6-4.8	G4	0.052	0.012	26.6	5.98	19.56	4.3

Tabell 3.14 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med gravemaskin.

Prøvested	Tot. innhold				Teor. %Fe-Pyr. av tot. Fe	Cu/Zn
	% Cu	% Zn	% Fe	% S		
(1)	0.26	0.094	18.3	13.5	63.90	2.8
(2)	0.038	0.021	7.1	6.96	84.81	1.8
(4)	0.072	0.021	15.4	9.05	51.13	3.4
(5)	0.075	0.041	13.0	2.62	17.53	1.8
(6)	0.094	0.026	9.52	0.69	6.31	3.6
(7)	0.070	0.017	11.7	3.41	25.36	4.1
(8)	0.32	0.21	33.7	10.7	27.52	1.5
(9)	0.093	0.078	8.46	0.99	10.18	1.2
(10)	0.13	0.019	33.6	4.11	10.64	6.8
(11)	0.079	0.043	9.07	2.45	23.50	1.8
(12)	0.096	0.078	8.26	1.64	17.27	1.2

Tabell 3.15 Undersøkelser av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.

Prøvested: Borhull A. Øverste platå nordre velt.

Utvaskingsforsøk

Dyp m	Beteg- nelse	Vannuttrekk					
		% TS	pH	Kond. mS/m	Cu mg/kg tørr vekt	Zn mg/kg tørr vekt	Cu/Zn
0-1.2	A1	81.0	4.23	66.5	0.54	2.2	0.25
3.6-4.8	A4	89.2	-	-	-	-	-
4.8-6.0	A5	87.2	-	-	-	-	-
6.0-7.2	A6	86.2	3.35	58.3	3.4	16.2	0.21
7.2-8.4	A7	81.2	3.24	69.5	4.4	12.1	0.36
8.4-9.6	A8	81.0	3.49	32.7	3.2	20.2	0.16
9.6-10.8	A9	80.9	3.27	59.5	10.8	15.9	0.68
10.8-12.0	A10	81.2	3.49	61.0	34.9	24.1	1.4
12.0-13.2	A11	82.9	3.60	126	50.4	23.4	2.2
13.2-14.4	A12	85.7	3.36	262	24.3	6.2	3.9
14.4-15.6	A13	85.9	3.49	262	155	4.9	31.6
15.6-16.8	A14	85.5	3.90	250	253	6.0	42.2
18.0-19.2	A16	88.7	3.61	245	62.7	24.6	2.5

Tabell 3.16 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.

Prøvested: Borhull B. Nordre velt.

Utvaskingsforsøk

Dyp m	Beteg- nelse	Vannuttrekk					
		% TS	pH	Kond. mS/m	Cu mg/kg tørr vekt	Zn mg/kg tørr vekt	Cu/Zn
0-1.2	B1	91.0	2.74	385	90.8	5.87	5.87
1.2-2.4	B2	94.2	2.62	625	118	20.7	20.7

Tabell 3.17 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull C. Søndre velt.

Dyp m	Beteg- nelse	Vannuttrekk					
		% TS	pH	Kond. mS/m	Cu mg/kg tørr vekt	Zn mg/kg tørr vekt	Cu/Zn
0-1.2	C1	89.9	3.03	292	30.0	8.79	3.4
1.2-2.4	C2	91.4	3.53	255	5.56	6.50	8.6
2.4-3.6	C3	85.1	3.28	262	7.10	7.40	0.96
3.6-4.8	C4	85.2	3.13	278	16.0	7.32	2.2
4.8-6.0	C5	83.8	3.22	273	19.1	9.67	2.0
6.0-7.2	C6	88.2	3.22	280	22.9	13.6	1.7
7.2-8.4	C7	87.7	3.37	288	23.5	31.0	7.6
8.4-9.6	C8	90.3	3.48	357	76.6	66.2	1.2

Tabell 3.18 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull D. Søndre velt.
 Utvaskingsforsøk

Dyp m	Beteg- nelse	Vannuttrekk					
		% TS	pH	Kond. mS/m	Cu mg/kg tørr vekt	Zn mg/kg tørr vekt	Cu/Zn
0-1.2	D1	91.4	2.82	322	53.2	7.37	7.2
1.2-2.4	D2	94.4	-	-	-	-	-
2.4-3.6	D3	94.4	-	-	-	-	-
3.6-4.8	D4	90.6	-	-	-	-	-
4.8-6.0	D5	90.4	-	-	-	-	-
6.0-7.2	D6	93.0	-	-	-	-	-
7.2-8.4	D7	95.2	-	-	-	-	-
8.4-9.6	D8	87.3	3.05	300	30.5	23.4	1.3
9.6-10.8	D9	88.3	2.75	380	71.1	35.1	2.0
10.8-12.0	D10	83.4	2.71	445	90.6	43.9	2.1
12.0-13.2	D11	90.3	2.96	385	68.7	44.4	1.5

Tabell 3.19 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull E. Velt utenfor Gammelgruva.
 Utvaskingsforsøk

Dyp m	Beteg- nelse	Vannuttrekk					
		% TS	pH	Kond. mS/m	Cu mg/kg tørr vekt	Zn mg/kg tørr vekt	Cu/Zn
0-1.2	E1	92.0	5.10	222	0.15	2.11	0.07
1.2-2.4	E2	89.4	4.66	230	1.21	7.67	0.14
2.4-3.6	E3	89.1	3.60	240	6.35	10.7	0.59
3.6-4.8	E4	89.9	-	-	-	-	-
7.2-8.4	E7	91.9	3.95	210	2.57	8.38	0.31

Tabell 3.20 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med bormaskin.
Prøvested: Borhull G. Nordre velt. Øvre platå ved
 garasje.
 Utvaskingsforsøk

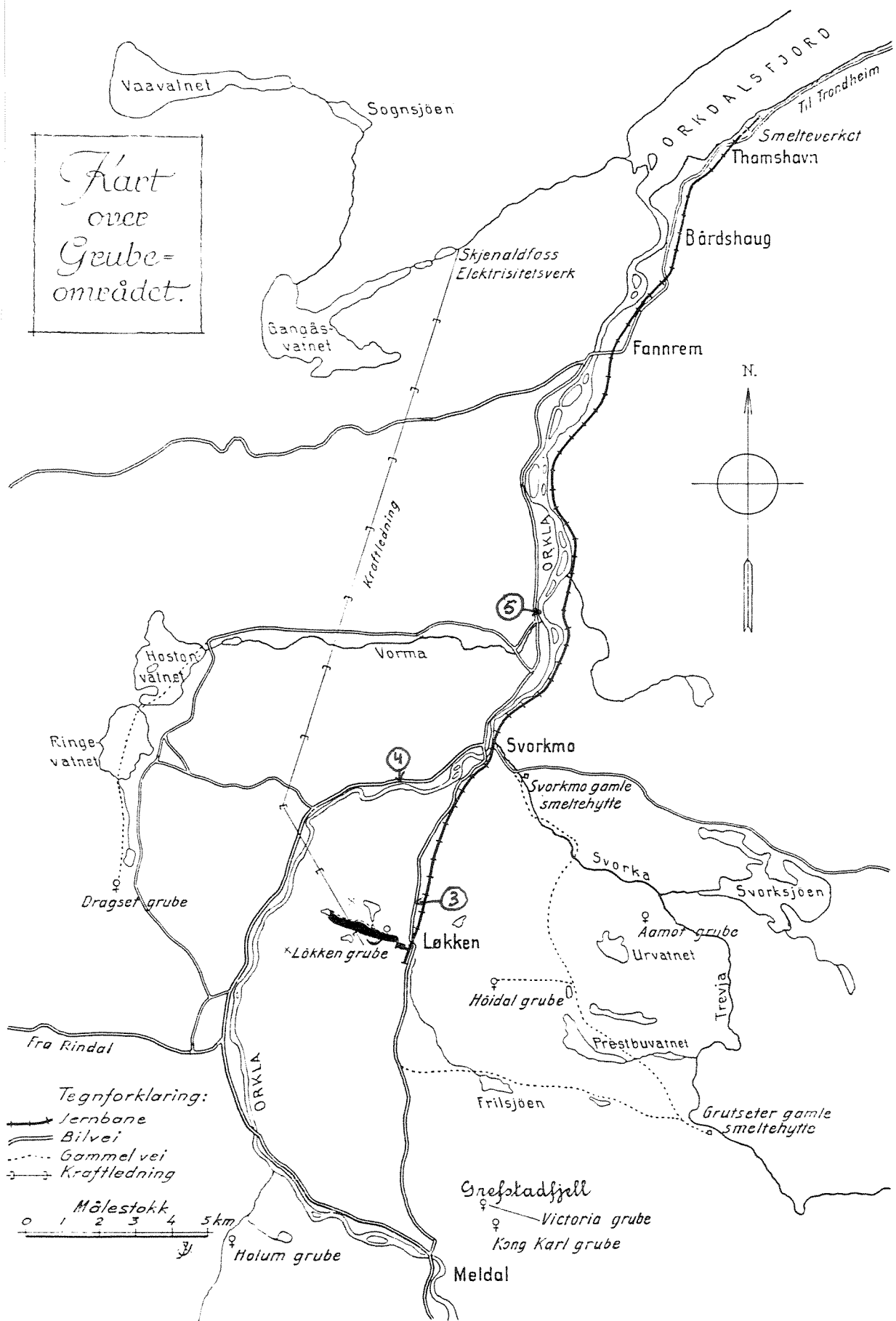
Dyp m	Beteg- nelse	Vannuttrekk					
		% TS	pH	Kond. mS/m	Cu mg/kg tørr vekt	Zn mg/kg tørr vekt	Cu/Zn
0-1.2	G1	82.7	3.25	129	23.5	10.2	2.3
1.2-2.4	G2	81.8	2.55	348	54.3	3.0	18.1
2.4-3.6	G3	85.5	2.44	606	69.7	26.7	2.4
3.6-4.8	G4	81.6	2.25	589	67.6	15.9	4.3

Tabell 3.21 Undersøkelse av bergvelter. Prøvetaking med gravemaskin.
Utvaskingsforsøk

Prøvested	Vannuttrekk				
	pH	Kond. mS/m	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Cu/Zn
(1)			-	-	-
(2)	2.42	257	48.4	4.8	10.1
(4)	-	-	-	-	-
(5)	5.15	208	0.88	8.24	0.11
(6)	3.62	226	165	4.16	39.7
(7)	3.10	255	39.8	4.96	8.0
(8)	-	-	-	-	-
(9)	-	-	-	-	-
(10)	2.20	856	50.4	5.12	9.8
(11)	4.86	214	7.76	27.0	0.29
(12)	4.37	219	60.8	140	0.43

B I L A G 3

**Analyseresultater for undersøkelse
av overflateavrenning**



Nedre del av Orklavassdraget med gruveområder og prøvetakingsstasjoner.

=====

NIVA *
*
MILTEK *
===== *
PROSJEKT: 88226 *
*
DATO: 24 JAN 90 *

TABELL NR.:
KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
STASJON: ST 1 SLAMDAM, BJØNNDALEN ARLIGE MIDDELVERDIER

=====

AR	PH	KOND MS/M	SO4 MG/L	CA MG/L	MG MG/L	AL MIK/L	FE MIK/L	CU MIK/L	ZN MIK/L	CD MIK/L	VANNF L/S
1975	9.90	224.	866.	391.	2.10		353.	265.	661.		
1976	8.00	175.	640.	169.	8.00		229.	57.0	245.		
1977	8.60	212.	789.	312.	1.10		263.	36.0	45.0		
1978	9.51	181.	775.	360.	1.13		284.	14.3	38.6		
1979	9.07	173.	656.	413.	1.79		336.	27.0	74.3		
1980	8.57	194.	1124.	425.	2.82		774.	77.9	465.		
1981	7.20	188.	859.	467.	2.35		871.	230.	303.		
1982	5.48	206.	901.	457.	4.41		1515.	484.	893.		
1983	4.95	167.	678.	326.	4.98		576.	251.	1273.		
1984	5.38	148.	713.	310.	4.45		694.	240.	1385.		
1985	5.67	171.	798.	373.	3.33		722.	988.	648.		
1986	5.51	194.	852.	446.	1.82		290.	952.	390.		
1987	5.29	192.	1047.	427.	2.73		2275.	823.	1110.		
1988	3.76	136.	791.	276.	3.65		5724.	564.	2614.	12.0	
1989	5.01	68.5	335.	115.	2.25	288.	489.	219.	1180.	2.6	7.9

=====

NIVA *
*
MILTEK *
===== *
PROSJEKT: 88226 *
*
DATO: 24 JAN 90 *

TABELL NR.:
KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
STASJON: ST 2 UTLØP BJØRN LIVATN ARLIGE MIDDELVERDIER

=====

AR	pH	KOND MS/M	SO4 MG/L	Ca MG/L	Mg MG/L	Al MG/L	Fe MG/L	Cu MG/L	Zn MG/L	Cd MIK/L	VANNF L/S
1975	4.40	125.	688.	105.	10.2		6.87	1.49	5.99		
1976	4.00	182.	640.	120.	10.2		16.5	2.30	8.36		
1977	3.70	157.	789.	182.	11.1		17.0	2.26	8.14		
1978	3.95	148.	613.	240.	10.5		14.0	2.31	7.16	33.0	
1979	4.31	137.	687.	274.	8.77		10.7	1.97	7.88	26.9	
1980	4.09	151.	864.	239.	10.7		15.4	2.18	8.27	30.9	
1981	4.13	139.	746.	300.	7.97		15.6	2.23	6.27	22.7	
1982	3.79	183.	943.	327.	9.43		17.8	1.72	5.34	17.8	
1983	3.58	163.	810.	199.	14.3		20.9	3.19	7.38	20.5	
1984	2.99	176.	868.	239.	12.7		19.0	2.40	6.86		
1985	3.45	160.	875.	269.	9.75		15.5	1.99	4.69		
1986	3.44	164.	898.	297.	11.1		16.0	2.41	5.64		
1987	3.71	167.	845.	290.	9.69		22.2	1.87	3.82		54.5
1988	3.43	132.	659.	198.	11.0		13.0	2.43	4.85	18.2	40.4
1989	3.63	91.0	465.	121.	9.63	3.83	2.81	2.19	4.83	14.7	65.1

=====

NIVA *
*
MILTEK *
===== *
PROSJEKT: 88226 *
*
DATO: 24 JAN 90 *

TABELL NR.:
KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
STASJON: ST.3 RAUBEKKEN, SALBERG ARLIGE MIDDELVERDIER

=====

AR	pH	KOND MS/M	TURB PTU	SO4 MG/L	Ca MG/L	Hg MG/L	Al MG/L	Fe MG/L	Cu MG/L	Zn MG/L	Cd MIK/L	VANNF L/S
1975	3.60	70.4	32.0	251.	24.5	9.00		17.0	3.07	8.46		
1976	3.30	93.7	66.0	416.	45.1	11.6		24.3	4.13	11.2		
1977	3.40	80.3	44.0	335.	47.1	8.80		20.3	2.95	6.67		
1978	3.24	82.1	52.0	336.	76.6	9.88		27.6	3.70	7.69	30.0	
1979	3.54	77.2	54.0	327.	117.	8.32		21.4	2.96	6.67	21.7	
1980	3.37	73.4	51.6	289.	57.0	7.41		26.5	3.27	6.20	23.4	
1981	3.40	81.0	58.9	383.	98.4	11.6		20.9	3.02	5.42	19.1	
1982	3.37	95.1	38.2	476.	107.	8.45		28.5	3.51	6.07	19.1	
1983	3.90	55.8	26.1	255.	53.9	4.60		19.4	2.22	3.58	9.54	
1984	3.43	77.8	47.2	318.	66.6	8.12		22.5	2.59	4.45	15.7	
1985	3.35	81.3	32.0	427.	90.1	7.87		24.5	2.13	3.63	12.4	
1986	3.22	91.7	30.7	421.	96.0	8.18		25.0	2.49	3.94	11.9	
1987	3.61	62.5	42.4	327.	64.5	6.58		23.1	1.84	3.48	6.90	
1988	3.42	57.5	58.6	225.	43.8	6.73		24.2	2.14	3.71	10.0	
1989	3.70	40.4	34.6	145.	22.2	4.47	3.72	16.9	1.55	2.55	6.70	1012.

AR	pH	KOND mS/m	TURB FTU	SO4 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mik/l	Cu mik/l	Zn mik/l	Cd mik/l
1975	7.30	6.91	0.87	4.4	8.80	0.92	69.0	11.3	7.0	
1976	7.20	7.42	0.88	4.4	10.6	0.90	139.	12.0	17.0	
1977	6.90	6.96	0.75	4.6	10.3	0.92	118.	19.0	9.5	
1978	7.08	6.86	0.45	4.6	9.91	0.87	85.0	8.9	8.6	1.1
1979	7.19	8.29	0.70	6.4	12.6	1.03	84.5	7.5	19.4	0.25
1980	7.28	8.10	0.92	5.5	11.5	0.96	110.	4.6	9.8	0.28
1981	7.42	8.50	1.45	5.5	12.9	1.05	98.8	6.8	12.7	0.26
1982	7.33	7.32	0.89	4.7	9.52	1.55	103.	1.9	6.1	0.12
1983	7.33	6.58	0.62	4.1	8.89	0.75	151.	2.4	8.1	0.12
1984	7.42	7.26	0.57	4.6	10.3	0.84	117.	2.1	13.5	0.06
1985	7.38	6.70	1.35	4.5	10.4	0.82	180.	2.2	8.9	0.03
1986	7.45	6.58	0.59	4.8	9.88	0.82	143.	2.9	9.4	0.04
1987	7.47	6.41	0.56	4.4	10.9	0.74	116.	4.9		0.06
1988	7.48	7.28	0.43	4.8	11.2	0.84	79.9	2.5	5.8	0.05
1989	7.32	6.02	0.55	3.6	9.45	0.83	133.	3.5	7.5	0.06

AR	pH	KOND mS/m	TURB FTU	SO4 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mik/l	Cu mik/l	Zn mik/l	Cd mik/l
1975	7.30	8.35	2.0	8.5	10.7	1.12	367	69.3	162	
1976	7.20	9.75	2.0	11.8	13.7	1.19	390	45.0	185	
1977	7.00	8.33	2.4	12.5	12.5	1.09	612	66.0	154	
1978	7.11	8.01	1.9	10.2	11.5	1.02	450	50.3	106	0.58
1979	7.09	9.03	2.4	13.2	13.4	1.14	443	60.0	151	0.47
1980	7.16	9.98	3.3	17.5	14.2	1.18	598	75.1	172	0.83
1981	7.29	10.4	3.8	14.3	15.6	1.20	533	79.2	130	0.67
1982	7.18	9.61	2.0	14.6	12.1		437	47.9	113	0.40
1983	7.22	9.07	1.6	8.4	11.9	0.79	413	30.9	59.6	0.08
1984	7.26	6.81	1.2	7.2	10.3	0.85	298	25.9	50.9	0.13
1985	7.27	6.09	1.5	8.0	9.13	0.77	331	19.0	37.8	0.11
1986	7.33	6.57	1.0	7.2	10.2	0.80	308	22.6	38.4	0.12
1987	7.27	5.90	0.87	6.3	8.56	0.69	260	15.2		0.11
1988	7.33	6.02	1.0	5.5	7.74	0.69	290	21.1	38.5	0.07
1989	7.22	5.77	1.2	5.0	8.10	0.77	380	21.2	33.8	0.07

=====

NIVA *
 *
 MILTEK * TABELL NR.:
 *
 =====* KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
 *
 PROSJEKT: 88226 *
 * STASJON: OVERLØP SLAMDAM BJØRNDALEN
 *
 DATO: 24 JAN 90 *
 =====

DATO/OBS.NR.	pH	KOND mS/m	SO4 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mik/l	Fe mik/l	Cu mik/l	Zn mik/l	Cd mik/l	VANNF l/s
890127	3.96	93.9	515.	172.	3.07		1360.	450.	2660.	5.2	9.0
890215	4.13	77.7	374.	129.	2.75		1260.	330.	2160.	3.9	10.3
890316	6.63	39.4	160.	64.1	2.20	213.	340.	230.	830.	2.1	11.3
890413	6.29	32.3	121.	44.5	1.57	226.	470.	90.0	610.	1.3	50.0
890511	4.18	34.0	123.	45.4	1.19	340.	530.	100.	660.	1.5	8.7
890615	4.80	71.0	348.	117.	2.20	600.	280.	230.	1390.	2.6	1.1
890705	6.08	81.3	400.	143.	2.16	186.	192.	130.	970.	2.2	0.00
890718	5.56	79.7	400.	144.	2.31		200.	140.	960.	2.3	0.33
890817	4.66	79.1	386.	136.	2.26	250.	280.	170.	850.	2.3	2.0
890914	4.43	77.3	400.	138.	2.40	262.	290.	230.	960.	2.2	0.028
891012	4.28	80.6	400.	130.	2.40	246.	300.	290.	960.	2.5	2.30
891116	5.13	76.0	393.	121.	2.44	270.	360.	240.	1150.	2.8	0.14

ANTALL	:	12	12	12	12	9	12	12	12	12	12
MINSTE	:	3.96	32.3	121.	44.5	1.19	186.	192.	90.0	610.	1.30
STØRSTE	:	6.63	93.9	515.	172.	3.07	600.	1360.	450.	2660.	5.20
BREDDE	:	2.67	61.6	394.	128.	1.88	414.	1168.	360.	2050.	3.90
GJ.SNITT	:	5.01	68.5	335.	115.	2.25	288.	489.	219.	1180.	2.57
STD.AVVIK	:	0.921	20.8	127.	41.2	0.487	125.	396.	104.	619.	1.05

=====

NIVA *
 *
 MILTEK * TABELL NR.:
 *
 =====* KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
 *
 PROSJEKT: 88226 *
 * STASJON: UTLØP BJØRNLIVATN
 *
 DATO: 24 JAN 90 *
 =====

DATO/OBS.NR.	pH	KOND mS/m	SO4 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mik/l	VANNF l/s
890127	3.75	90.4	453.	137.	9.20		1.67	2.06	4.78	15.0	150.
890202	3.50							1.69	3.94		225.
890209	3.60							2.10	4.57		160.
890215	3.90	83.9	820.	116.	9.30	4.07	2.03	2.24	5.06	17.0	71.0
890223	3.20							2.08	5.00		38.1
890302	3.70							2.17	5.28		28.6
890307	4.53	48.3	215.	66.1	5.40	2.53	1.33	1.09	2.75	9.0	48.2
890309	3.80							1.76	4.03		90.3
890316	4.57	65.0	316.	102.	8.10	3.13	0.530	1.69	3.97	14.0	57.0
890330	3.90							1.57	4.04		60.4
890407	4.18							1.62	3.97		35.4
890413	4.33	62.1	272.	85.4	6.70	2.65	1.85	1.63	3.70	11.7	271.
890420	4.15							1.96	3.70		255.
890427	3.95							1.78	3.23		70.0
890505	4.10							1.86	3.48		179.
890511	3.98	64.4	286.	94.6	7.70	3.48	2.56	1.79	4.09	13.7	180.
890518	3.85							2.71	4.71		98.8
890601	3.65							2.65	5.32		32.9
890608	3.55							2.35	3.00		32.9
890615	3.65	89.0	433.	110.	9.50	3.83	3.18	2.30	5.03	15.8	32.9
890622	3.25							2.89	5.58		16.1
890629	3.45							2.54	5.45		13.3
890705	3.63	93.9	448.	128.	10.5	4.91	3.18	2.26	4.75	15.2	6.10
890706	3.45							2.58	5.59		6.80
890712	3.35							2.66	5.57		5.20
890718	3.51	98.0	616.	138.	10.7		1.75	2.35	5.10	18.0	10.9
890728	3.30							2.66	5.37		7.70
890804	3.35							2.57	5.30		82.2
890811	3.40							2.91	5.44		57.2
890817	3.54	103.	504.	142.	11.1	4.78	1.90	2.17	4.44	17.0	42.8
890824	3.55							2.51	5.16		54.2
890831	3.50							2.61	5.59		48.2
890907	3.40							2.61	5.55		24.6
890914	3.45	113.	590.	166.	12.4	4.64	4.90	2.08	5.32	16.0	14.6
890918	3.40	109.						2.23	5.50		17.6
890919	3.52	101.						2.20	5.53		19.5
890920	3.50	106.						2.15	5.40		20.8
890921	3.56	108.						2.18	5.63		20.8
890928	3.35							2.67	5.61		52.6
891005	3.35							2.21	5.37		48.2
891012	3.45							2.21	5.62		35.3
891013	3.49	104.	528.	148.	11.6	3.72	5.08	1.77	4.05	15.0	32.9
891019	3.50							2.16	5.43		78.6
891026	3.40							2.34	5.40		108.
891103	3.35							2.37	5.68		28.6
891109	3.20							2.39	5.52		23.2
891116	3.52	109.	548.	141.	11.8	4.34	3.58	1.82	4.72	14.5	32.9
891123	3.45							2.34	5.66		32.9
891201	3.65							1.90	4.55		78.4
891219	3.77	91.7	480.	124.	10.8		5.78	1.85	3.95	13.4	117.

ANTALL	:	50	18	14	14	11	14	50	50	14	50
MINSTE	:	3.20	48.3	215.	66.1	5.40	2.53	1.09	2.75	9.00	5.20
STØRSTE	:	4.57	113.	820.	166.	12.4	4.91	5.78	2.91	5.68	18.0
BREDDE	:	1.37	64.7	605.	99.9	7.00	2.38	5.25	1.82	2.93	9.00
GJ.SNITT	:	3.63	91.0	465.	121.	9.63	3.83	2.81	2.18	4.83	14.7
STD.AVVIK	:	0.320	19.1	160.	27.3	2.05	0.822	1.56	0.383	0.801	2.31


```

=====
NIVA      *
          *   TABELL NR.:
MILTEK    *
===== *
          *   KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
PROSJEKT:  *
          *   STASJON: ST.1a UTLØP FAGERLIVATN
DATO:  9  FEB 90  *
=====

```

DATO/OBS.NR.	PH	KOND MS/M	CA MG/L	MG MG/L	S04 MG/L	AL MG/L	FE MG/L	CD MIK/L	CU MG/L	ZN MG/L	VANNF L/S
890127	3.65	105.	149.	14.6	535.		4.13	27.0	4.24	8.10	14.0
890202	3.30								4.31	7.90	20.8
890209	3.40								4.20	7.80	16.7
890215	3.84	125.	182.	19.4	690.		4.80	40.0	4.47	9.90	7.5
890223	3.40								4.64	9.72	4.2
890302	3.50								3.92	9.28	3.1
890307	3.99	104.	164.	16.3	535.	6.73	3.25	26.0	3.46	7.80	18.1
890309	4.35								3.26	7.24	18.1
890316	3.97	86.8	137.	14.2	453.	5.57	1.67	26.0	3.44	7.40	10.3
890330	4.00								3.28	8.35	8.7
890407	4.24								2.00	6.80	6.9
890413	4.02	91.1	127.	12.7	426.	5.35	4.73	29.1	3.86	7.10	45.0
890420	4.00								2.65	4.41	8.5
890427	3.95								2.35	3.97	14.0
890505	3.80								4.36	8.95	31.4
890511	3.63	129.	203.	19.8	715.	6.16	5.73	28.5	4.09	9.50	21.0
890518	3.58								5.09	9.75	21.0
890525	3.50								4.61	9.61	7.2
890601	3.50								4.61	10.2	10.5
890608	3.45								4.23	9.87	8.4
890615	3.67	137.	198.	20.6	745.	6.49	3.53	30.0	4.19	10.1	7.0
890622	3.40								4.22	9.88	3.5
890629	3.68								4.00	10.0	2.6
890706	3.40								3.03	7.49	0.33
890712	3.72								4.29	8.74	0.33
890718	3.63	148.	234.	24.4	813.		3.00	35.0	4.05	10.7	4.0
890728	3.52								4.02	10.1	2.2
890804	3.32								4.48	10.5	11.5
890811	3.33								4.57	10.1	10.5
890817	3.49	152.	233.	24.2	820.	7.85	3.12	24.0	3.90	10.0	8.4
890824	3.32								4.58	10.8	21.0
890831	3.55								4.14	11.5	14.0
890907	3.45								4.09	12.0	8.4
890914	3.68	155.	255.	26.0	833.	5.93	1.01	33.0	3.46	10.5	5.0
890918	3.68	143.							3.72	8.40	5.2
890928	3.65								3.95	12.2	4.2
891005	3.45								3.95	12.2	21.0
891012	3.74	157.	259.	26.0	903.	5.60	1.57	35.0	3.50	10.5	8.4
891019	3.70								3.87	12.0	10.0
891026	3.65								3.84	10.0	14.0
891103	3.65								3.72	11.4	7.0
891109	3.45								3.96	10.4	5.3
891116	3.70	154.	235.	25.3	878.	4.27	4.02	14.1	1.81	4.65	14.0
891123	3.55								3.92	10.8	14.0
891201	3.62								3.83	12.0	14.0
891219	3.81	123.	179.	15.8	683.		1.55	26.0	2.83	8.10	30.0

```

=====
ANTALL   : 46      14      13      13      13      9      13      13      46      46      46
MINSTE   : 3.30    86.8    127.    12.7    426.    4.27    1.01    14.1    1.81    3.97    0.33
STØRSTE  : 4.35    157.    259.    26.0    903.    7.85    5.73    40.0    5.09    12.2    45.0
BREDDE   : 1.05    70.2    132.    13.3    477.    3.58    4.72    25.9    3.28    8.23    44.7
GJ.SNITT : 3.65    129.    197.    19.9    695.    5.99    3.24    28.7    3.85    9.32    11.8
STD.AVVIK : 0.241   24.4    44.5    4.88    161.    0.999   1.46    6.37    0.685   1.96    8.76
=====

```

```

=====
NIVA *
MILTEK * TABELL NR.:
=====
KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
PROSJEKT: 88226 *
STASJON: RAUBEKKEN VED SALBERG
DATO: 24 JAN 90 *
=====

```

DATO/OBS.NR.	pH	KOND mS/m	TURB FTU	SO4 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mik/l	VANNF l/s
890103	3.25	46.2	31.0					23.9	1.74	2.18	6.6	1110
890104	3.00								1.52	2.02		880
890116	3.29	50.7		162.	27.3		4.64	21.1	1.77	2.44		1390
890202	3.20								1.37	1.83		4290
890205	3.31	48.9	82.0					26.0	1.83	2.48	7.4	3110
890209	3.40								2.28	3.17		2060
890215	3.23	59.4		189.	30.1	6.30	5.19	29.0	2.08	3.33	8.8	860
890216	3.20								1.96	2.97		850
890223	3.10								1.90	3.22		550
890302	3.20								2.02	3.01		400
890306	3.78	21.2	47.0	140.	9.40	2.39		14.6	0.840	0.790	2.3	320
890307	3.85	20.7		53.5	9.97	2.50	2.48	11.3	0.740	0.690	1.9	340
890309	3.30								1.40	1.60		520
890316	3.34	44.6		143.	23.3	5.20	5.03	20.6	1.81	2.60	8.0	1080
890330	3.50								1.38	2.03		2880
890407	3.44								1.50	2.16		920
890413	3.61	25.8		65.5	12.1	2.44	2.17	10.8	0.940	1.09	8.7	3670
890417	3.89	20.5	12.5	90.0				8.82	0.870	1.36	3.8	4040
890420	4.00								1.19	1.78		2380
890427	4.45								0.680	1.14		880
890505	4.28								0.760	1.18		1080
890511	4.35	20.0		64.0	16.4	2.59	2.10	7.26	0.740	1.24	3.6	1350
890518	4.02	20.2	21.9	65.5	16.3	2.60	2.02	6.14	0.700	1.23	3.1	810
890521	4.07	21.8	20.0	79.0				7.42	0.750	1.35	3.6	880
890525	4.05								1.02	1.63		590
890601	3.88								1.26	1.97		700
890604	3.41	41.2	37.0	99.4	20.0	4.60		11.7	1.21	2.09	5.0	700
890608	5.30								0.460	0.550		310
890615	3.74	29.4		94.7	17.6	3.40	3.16	10.5	1.03	1.81	4.4	220
890622	3.50								1.19	2.05		170
890629	3.20								2.87	5.38		160
890706	3.35								2.45	4.41		150
890711	3.01	112.	47.0	485.				40.8	4.57	8.90	23.0	150
890712	4.30								3.50	5.65		140
890718	3.75	34.6	39.3	116.	23.3	4.82		10.3	1.20	2.21	6.0	300
890728	3.23								2.29	4.06		140
890804	4.03								0.650	0.880		1900
890807	3.84	28.8	13.5	101.				7.30	0.950	1.44	4.8	600
890811	3.40								1.77	2.64		690
890817	3.40	51.3		174.	32.1	5.80	5.60	17.6	1.79	3.01	8.0	570
890824	4.37								0.370	0.570		2630
890831	3.63								1.82	3.30		690
890903	3.60	45.4	9.30	190.	13.9	6.40		21.1	1.79	3.37	8.5	431
890907	3.48								1.81	3.55		570
890914	3.30	65.1		257.	39.8	8.30	7.08	26.7	2.27	4.39	11.0	230
890918	3.64	45.7							2.12	4.04		300
890919	3.59	45.7							2.31	4.40		300
890920	4.42	27.9							1.28	2.41		470
890921	3.89	39.9							1.76	3.44		330
890928	3.62								2.57	4.32		230
891005	3.80								1.37	2.21		820
891012	4.10								1.74	3.04		420
891013	4.71	16.6	6.70	59.3	14.7	2.40	2.03	11.7	0.490	0.670	4.1	1620
891019	3.90								1.49	2.32		960
891026	3.65								1.78	2.95		570
891103	3.80								1.47	2.66		520
891109	3.52	51.4	3.10	193.				20.7	1.89	3.68	9.6	380
891116	3.85	30.2		118.	20.7	4.12	3.14	10.6	0.980	1.77	4.7	750
891123	4.00								1.69	3.21		420
891201	4.35								0.650	0.860		2000
891208	3.45	50.7	43.0	220.	42.8	5.80		18.2	1.62	2.27	7.0	2260
891219	3.33	55.9	105.	187.	29.4	6.30		28.8	1.87	2.87	7.7	1710

```

=====
ANTALL : 62 29 15 23 18 17 12 25 62 62 24 62
MINSTE : 3.00 16.6 3.10 53.5 9.40 2.39 2.02 6.14 0.370 0.550 1.90 140.
STORSTE : 5.30 112. 105. 485. 42.8 8.30 7.08 40.8 4.57 8.90 23.0 4290.
BREDDE : 2.30 95.4 102. 432. 33.4 5.91 5.06 34.7 4.20 8.35 21.1 4150.
GJ.SNITT : 3.70 40.4 34.6 145. 22.2 4.47 3.72 16.9 1.55 2.55 6.73 1012.
STD.AVVIK : 0.451 19.5 28.5 93.8 9.74 1.84 1.72 8.81 0.741 1.44 4.25 984.
=====

```

```

=====
NIVA *
MILTEK * TABELL NR.:
=====
PROSJEKT: 88226 * KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
DATO: 5 FEB 90 * STASJON: 4 ORKLA VED RØNNINGEN
=====

```

DATO/OBS.NR.	pH	KOND mS/m	TURB FTU	SO4 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mik/l	Cu mik/l	Zn mik/l	Cd mik/l
890103	7.22	7.00	0.65				83.0	3.1	<10	<0.10
890205	7.37	9.50	0.28				59.0	3.7	<10	<0.10
890306	7.69	9.30	0.67	5.7	12.8	1.00	75.0	4.1	<10	<0.10
890417	6.97	4.30	1.05	3.0			330.	4.5	<10	<0.10
890521	7.16	3.60	0.49	2.1			86.6	2.3	10	<0.10
890604	7.44	4.40	0.32	2.7	5.40	0.52	78.0	7.6	10	<0.10
890711	7.51	4.60	0.30	2.8			40.0	1.4	<10	<0.10
890807	7.35	4.20	0.91	3.3			220.	3.1	10	<0.10
890903	7.41	6.30	0.40	4.1	8.50	0.75	79.0	4.4	10	0.13
891013	7.05	5.00	1.00	3.1			440.	2.5	10	<0.10
891109	7.30	5.90	0.24	4.0			42.0	1.5	<10	<0.10
891208	7.40	8.10	0.34	5.4	11.1	1.04	65.8	3.2	10	<0.10

```

=====
ANTALL : 12 12 12 10 4 4 12 12 12 12
MINSTE : 6.97 3.60 0.240 2.10 5.40 0.520 40.0 1.40 5.00 0.050
STØRSTE : 7.69 9.50 1.05 5.70 12.8 1.04 440. 7.60 10.0 0.130
BREDE : 0.720 5.90 0.810 3.60 7.40 0.520 400. 6.20 5.00 0.080
GJ.SNITT : 7.32 6.02 0.554 3.62 9.45 0.827 133. 3.45 7.50 0.057
STD.AVVIK : 0.199 2.05 0.296 1.18 3.23 0.242 128. 1.66 2.61 0.023
=====

```

```

=====
NIVA *
MILTEK * TABELL NR.:
=====
PROSJEKT: 88226 * KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
DATO: 5 FEB 90 * STASJON: 5 ORKLA VED VORMSTAD
=====

```

DATO/OBS.NR.	pH	KOND mS/m	TURB FTU	SO4 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mik/l	Cu mik/l	Zn mik/l	Cd mik/l
890103	7.17	5.90	1.7				490	25.8	40	<0.10
890205	7.12	7.70	2.5				800	60.0	60	0.16
890306	7.25	6.00	2.3	6.1	7.90		700	23.6	40	0.11
890316	7.08	6.63		5.0				20.3	30	
890417	6.93	4.80	1.6	4.7			520	19.0	30	0.12
890521	7.16	4.00	0.62	3.0			155	9.0	20	<0.10
890604	7.43	4.60	0.44	3.4	5.60	0.56	138	9.0	20	<0.10
890711	7.43	4.80	0.41	3.6			106	9.7	20	<0.10
890807	7.28	5.00	0.94	3.8			240	9.6	10	<0.10
890903	7.34	6.70	0.60	6.1	9.30	0.82	240	17.7	40	<0.10
891013	7.11	5.90	1.1	5.3			460	21.9	40	<0.10
891109	7.38	6.00	0.46	5.1			190	11.6	20	<0.10
891208	7.17	7.00	1.7	8.5	9.60	0.93	520	38.4	70	<0.10

```

=====
ANTALL : 13 13 12 11 4 3 12 13 13 12
MINSTE : 6.93 4.00 0.410 3.00 5.60 0.560 106. 9.00 10.0 0.050
STØRSTE : 7.43 7.70 2.50 8.50 9.60 0.930 800. 60.0 70.0 0.160
BREDE : 0.500 3.70 2.09 5.50 4.00 0.370 694. 51.0 60.0 0.110
GJ.SNITT : 7.22 5.77 1.20 4.96 8.10 0.770 380. 21.2 33.8 0.070
STD.AVVIK : 0.149 1.08 0.744 1.57 1.82 0.190 233. 14.4 17.1 0.038
=====

```

```

=====
NIVA      *
          *   TABELL NR.:
MILTEK    *
===== *
          *   KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
PROSJEKT: *
          *   STASJON: ST.5 BEKK FRA GAMLEBYEN VED LANGENG
DATO: 9 FEB 90 *
=====

```

DATO/OBS.NR.	PH	KOND MS/M	S04 MG/L	CA MG/L	MG MG/L	AL MG/L	FE MG/L	CU MG/L	ZN MG/L	CD MIK/L	VANNF L/S
890127	2.22	903.	14600.	242.	345.		3550.	154.	91.0	390.	5.3
890202	2.20							143.	85.0		8.1
890209	2.00							170.	93.0		5.3
890215	2.19	995.	12400.	259.	357.	482.	3770.	164.	93.0	380.	2.3
890223	1.90							183.	96.0		1.7
890302	1.90							207.	94.0		1.1
890307	2.49	576.	5900.	156.	169.	233.	1570.	78.6	44.9	190.	4.3
890309	2.10							135.	68.0		4.3
890316	2.32	520.	11300.	256.	270.	378.	2690.	135.	83.0	320.	3.1
890330	2.00							107.	68.0		2.9
890407	2.25							76.0	84.0		2.5
890413	2.39	550.	5880.	206.	146.	176.	1360.	76.7	60.0	250.	15.2
890420	2.28							93.0	63.0		4.6
890427	2.10							91.0	59.0		2.9
890505	2.25							88.0	56.0		3.1
890511	2.41	624.	6780.	211.	185.	208.	1620.	88.9	56.0	210.	2.9
890518	2.25							114.	57.0		1.4
890525	2.05							118.	66.0		1.3
890601	2.12							107.	60.0		1.4
890608	2.30							87.0	67.0		2.9
890615	2.39	595.	7000.	211.	188.	233.	1550.	83.0	58.0	220.	0.83
890622	2.05							102.	63.0		0.50
890629	2.45							130.	88.0		0.42
890706	2.50							126.	78.0		0.31
890712	2.45							135.	74.0		0.19
890718	2.46	46.3	4680.	207.	128.		939.	55.3	46.2	150.	0.61
890728	2.59							116.	88.0		0.25
890804	2.70							45.0	34.0		3.0
890811	2.63							66.0	42.0		3.5
890817	2.44	456.	4360.	186.	115.	159.	868.	51.8	39.9	190.	0.82
890824	2.67							36.0	31.0		4.4
890831	2.75							52.0	44.0		3.2
890907	2.75							44.0	37.0		2.5
890914	2.49	450.	4580.	175.	117.	143.	1005.	50.1	37.0	160.	1.2
890918	2.43	387.						36.2	33.0		1.2
890919	2.47	427.						50.4	37.2		1.2
890920	2.47	443.						49.0	39.7		1.3
890921	2.60	477.						58.5	45.4		1.3
890928	2.25							89.0	64.0		0.64
891005	2.55							55.0	44.0		3.5
891012	2.60							70.0	53.0		1.9
891013	2.71	217.	1455.			54.7	337.	20.2	18.1	70.	10.0
891019	2.65							66.0	48.0		2.5
891026	2.60							55.0	34.0		2.0
891103	2.60							71.0	52.0		1.7
891109	2.35							79.0	47.0		1.4
891116	2.53	390.	4000.	160.	92.0	132.	664.	43.0	32.8	120.	2.9
891123	2.55							61.0	39.0		1.3
891201	2.82							28.0	21.0		10.5
891219	2.60	520.	5680.	276.	148.		1130.	93.4	64.0	250.	10.0

```

=====
ANTALL   : 50      17      13      12      12      10      13      50      50      13      50
MINSTE   : 1.90   46.3   1455.  156.    92.0   54.7   337.   20.2   18.1   70.0   0.190
STØRSTE  : 2.82   995.  14600. 276.    357.   482.  3770.  207.   96.0   390.   15.2
BREDDE   : 0.920  949.  13145. 120.    265.   427.  3433.  187.   77.9   320.   15.0
GJ.SNITT : 2.40   504.  6817.  212.    188.   220.  1619.   88.7   57.5   223.   3.03
STD.AVVIK : 0.235  219.  3733.  39.4    88.9  125.  1071.   42.7   20.7   95.3   3.01
=====

```

```

=====
NIVA      *
          *   TABELL NR.:
MILTEK   *
===== *
          *   KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.
PROSJEKT: *
          *   STASJON: ST.6 BEKK VED STALLGATA SYD
DATO: 9 FEB 90 *
=====

```

DATO/OBS.NR.	PH	KOND MS/M	S04 MG/L	CA MG/L	MG MG/L	AL MG/L	FE MG/L	CU MG/L	ZN MG/L	CD MIK/L	VANNF L/S
890127	2.50	549.	6400.	305.	188.		1170.	111.	77.0	310.	2.5
890202	2.40							86.0	55.0		6.7
890209	2.00							96.0	56.0		3.6
890215	2.56	483.	5030.	245.	149.	195.	852.	87.4	63.0	260.	1.2
890223	2.20							84.0	70.0		0.58
890302	2.20							96.0	72.0		0.31
890307	2.53	718.	8550.	303.	330.	469.	1360.	156.	102.	410.	3.1
890309	2.30							90.0	55.0		3.1
890316	2.52	504.	5927.	272.	191.	249.	920.	105.	75.0	280.	1.3
890330	2.10							102.	76.0		0.86
890407	2.50							66.0	95.0		0.64
890413	2.56	424.	3940.	233.	88.0	111.	847.	70.6	44.3	180.	14.0
890420	2.45							78.0	48.0		4.3
890427	2.25							84.0	53.0		1.5
890505	2.42							71.0	41.0		3.5
890511	2.65	386.	2820.	294.	68.0	88.0	550.	50.4	31.2	110.	2.9
890518	2.47							63.0	33.0		2.3
890525	2.32							67.0	44.0		1.4
890601	2.35							2.35	56.0		0.50
890608	2.35							56.0	50.0		0.44
890615	2.57	487.	4720.	320.	148.	188.	701.	74.0	54.0	200.	0.50
890622	2.18							101.	68.0		0.22
890629	2.52							109.	64.0		0.056
890706	2.65							155.	105.		0.028
890712	2.65							155.	107.		0.028
890718	2.49	652.	8000.	369.	263.		1450.	132.	103.	350.	0.028
890804	2.67							85.0	53.0		1.2
890811	2.65							103.	86.0		1.2
890817	2.50	559.	5660.	352.	209.	264.	757.	94.3	72.0	320.	0.82
890824	2.60							87.0	65.0		1.4
890831	2.78							103.	82.0		1.1
890907	2.60							121.	99.0		0.39
890914	2.59	605.	6520.	393.	240.	307.	1140.	116.	92.0	400.	0.278
890918	2.44	641.						113.	93.2		0.30
890919	2.47	629.						104.	93.2		0.30
890920	2.47	638.						82.9	71.0		0.30
890921	2.66	632.						108.	96.6		0.30
890928	2.30							158.	116.		0.17
891005	2.50							108.	82.0		1.4
891012	2.50							130.	100.		4.7
891013	2.51	438.	4720.			176.	792.	81.3	62.0	230.	1.4
891019	2.65							106.	78.0		1.7
891026	2.65							117.	79.0		0.81
891103	2.65							126.	94.0		0.50
891109	2.40							136.	97.0		0.25
891116	2.54	556.	6440.	323.	1860.	271.	1060.	110.	84.0	330.	0.33
891123	2.50							119.	88.0		0.28
891201	2.65							90.0	70.0		2.1
891219	2.49	652.	7560.	351.	188.		1470.	116.	85.0	330.	5.8

```

=====
ANTALL   : 49      17      13      12      12      10      13      49      49      13      49
MINSTE   : 2.00   386.   2820.  233.   68.0   88.0   550.   2.35   31.2   110.   14.0
STØRSTE  : 2.78   718.   8550.  393.  1860.  469.  1470.  158.   116.   410.  14.0
BREDDE   : 0.780  332.   5730.  160.  1792.  381.   920.  156.   84.8   300.  14.0
GJ.SNITT : 2.48   562.   5868.  313.   327.   232.  1005.  99.2   74.2   285.   1.69
STD.AVVIK : 0.163  95.1  1634.   48.5  488.   109.   296.   29.3   21.0   87.3   2.37
=====

```

```

=====
NIVA      *
          *   TABELL NR.:
MILTEK    *
===== *
PROSJEKT: *   MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER.
          *
          *   STASJON: OVERLØP SLAMDAM BJØRNDALEN
DATO: 9 FEB 90 *
=====

```

DATO/OBS.NR.	CU KG/D	ZN KG/D	FE KG/D	CD G/D	AL KG/D	S04 KG/D
890127	350.	2068.	1058.	4.04		400.
890215	294.	1922.	1121.	3.47		333.
890316	225.	810.	332.	2.05	208.	156.
890413	389.	2635.	2030.	5.62	976.	523.
890511	75.2	496.	398.	1.13	256.	92.5
890615	21.9	132.	26.6	0.247	57.0	33.1
890705	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
890718	3.99	27.4	5.70	0.066		11.4
890817	29.4	147.	48.4	0.397	43.2	66.7
890914	0.556	2.32	0.702	0.005	0.634	0.968
891012	57.6	191.	59.6	0.497	48.9	79.5
891116	2.90	13.9	4.35	0.034	3.27	4.75

```

=====
ANTALL   : 12      12      12      12      9      12
MINSTE   : 0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
STØRSTE  : 389.   2635.  2030.  5.62  976.   523.
BREDDE   : 389.   2635.  2030.  5.62  976.   523.
GJ.SNITT : 121.    704.   424.   1.46  177.   142.
STD.AVVIK : 149.    951.   648.   1.91  314.   178.
=====

```

```

=====
NIVA *
*
MILTEK *
===== *
PROSJEKT: *
*
DATO: 9 FEB 90 *
=====

```

TABELL NR.:

MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER.

STASJON: ST.1a UTLØP FAGERLIVATN

DATO/OBS.NR.	CU KG/D	ZN KG/D	FE KG/D	CD G/D	AL KG/D	SO4 KG/D
890127	5.13	9.80	5.00	32.7		647.
890202	7.75	14.2				
890209	6.06	11.3				
890215	2.90	6.42	3.11	25.9		447.
890223	1.68	3.53				
890302	1.05	2.49				
890307	5.41	12.2	5.08	40.7	10.5	837.
890309	5.10	11.3				
890316	3.06	6.59	1.49	23.1	4.96	403.
890330	2.47	6.28				
890407	1.19	4.05				
890413	15.0	27.6	18.4	113.	20.8	1656.
890420	1.95	3.24				
890427	2.84	4.80				
890505	11.8	24.3				
890511	7.42	17.2	10.4	51.7	11.2	1297.
890518	9.24	17.7				
890525	2.87	5.98				
890601	4.18	9.21				
890608	3.07	7.16				
890615	2.53	6.11	2.13	18.1	3.93	451.
890622	1.28	2.99				
890629	0.899	2.25				
890706	0.086	0.214				
890712	0.122	0.249				
890718	1.40	3.70	1.04	12.1		281.
890728	0.764	1.91				
890804	4.45	10.4				
890811	4.15	9.18				
890817	2.83	7.26	2.26	17.4	5.70	595.
890824	8.31	19.5				
890831	5.01	13.9				
890907	2.97	8.71				
890914	1.49	4.54	0.436	14.3	2.56	360.
890918	1.67	3.77				
890928	1.43	4.43				
891005	7.17	22.1				
891012	2.54	7.62	1.14	25.4	4.06	655.
891019	3.34	10.4				
891026	4.64	12.1				
891103	2.25	6.89				
891109	1.81	4.76				
891116	2.19	5.62	4.86	17.1	5.16	1062.
891123	4.74	13.1				
891201	4.63	14.5				
891219	7.34	21.0	4.02	67.4		1770.

```

=====
ANTALL : 46 46 13 13 9 13
MINSTE : 0.086 0.214 0.436 12.1 2.56 281.
STØRSTE : 15.0 27.6 18.4 113. 20.8 1770.
BREDDE : 14.9 27.4 18.0 101. 18.2 1489.
GJ.SNITT : 3.92 9.19 4.57 35.3 7.65 805.
STD.AVVIK : 3.06 6.48 4.92 28.4 5.74 495.
=====

```

```

=====
      NIVA      *
              *   TABELL NR.:
      MILTEK    *
=====*
PROSJEKT:      *   MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER.
              *
              *   STASJON: UTLØP BJØRNLIVATN
DATO:  9  FEB 90  *
=====

```

DATO/OBS.NR.	CU KG/D	ZN KG/D	FE KG/D	CD G/D	AL KG/D	S04 KG/D
890127	26.7	61.9	21.6	194.		5871.
890202	32.9	76.6				
890209	29.0	63.2				
890215	13.7	31.0	12.5	104.	25.0	5030.
890223	6.85	16.5				
890302	5.36	13.0				
890307	4.54	11.5	5.54	37.5	10.5	895.
890309	13.7	31.4				
890316	8.32	19.6	2.61	68.9	15.4	1556.
890330	8.19	21.1				
890407	4.95	12.1				
890413	38.2	86.6	43.3	274.	62.0	6369.
890420	43.2	81.5				
890427	10.8	19.5				
890505	28.8	53.8				
890511	27.8	63.6	39.8	213.	54.1	4448.
890518	23.1	40.2				
890601	7.53	15.1				
890608	6.68	8.53				
890615	6.54	14.3	9.04	44.9	10.9	1231.
890622	4.02	7.76				
890629	2.92	6.26				
890705	1.19	2.50	1.68	8.01	2.59	236.
890706	1.52	3.28				
890712	1.20	2.50				
890718	2.21	4.80	1.65	17.0		580.
890728	1.77	3.57				
890804	18.3	37.6				
890811	14.4	26.9				
890817	8.02	16.4	7.03	62.9	17.7	1864.
890824	11.8	24.2				
890831	10.9	23.3				
890907	5.55	11.8				
890914	2.62	6.71	6.18	20.2	5.85	744.
890918	3.39	8.36				
890919	3.71	9.32				
890920	3.86	9.70				
890921	3.92	10.1				
890928	12.1	25.5				
891005	9.20	22.4				
891012	6.74	17.1				
891013	5.03	11.5	14.4	42.6	10.6	1501.
891019	14.7	36.9				
891026	21.8	50.4				
891103	5.86	14.0				
891109	4.79	11.1				
891116	5.17	13.4	10.2	41.2	12.3	1558.
891123	6.65	16.1				
891201	12.9	30.8				
891219	18.7	39.9	58.4	135.		4852.

```

=====
ANTALL      :   50      50      14      14      11      14
MINSTE      :    1.19    2.50    1.65    8.01    2.59   236.
STØRSTE     :   43.2    86.6   58.4   274.    62.0  6369.
BREDDE      :   42.0    84.1   56.8  266.    59.5  6133.
GJ.SNITT    :   11.4    24.9   16.7   90.3   20.6  2624.
STD.AVVIK   :    10.2   21.6   17.8   83.1   19.5  2168.

```



```

=====
NIVA      *
          *   TABELL NR.:
MILTEK   *
          *   MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER.
PROSJEKT: *
          *   STASJON: RAUBEKKEN VED SALBERG
DATO: 9 FEB 90 *
=====

```

DATO/OBS.NR.	CU KG/D	ZN KG/D	FE KG/D	CD G/D	AL KG/D	SO4 KG/D
890103	167.	209.	2292.	633.		
890104	116.	154.				
890116	213.	293.	2534.		557.	19456.
890202	508.	678.				
890205	492.	666.	6986.	1988.		
890209	406.	564.				
890215	155.	247.	2155.	654.	386.	14043.
890216	144.	218.				
890223	90.3	153.				
890302	69.8	104.				
890306	23.2	21.8	404.	63.6		3871.
890307	21.7	20.3	332.	55.8	72.9	1572.
890309	62.9	71.9				
890316	169.	243.	1922.	746.	469.	13344.
890330	343.	505.				
890407	119.	172.				
890413	298.	346.	3425.	2759.	688.	20769.
890417	304.	475.	3079.	1326.		31415.
890420	245.	366.				
890427	51.7	86.7				
890505	70.9	110.				
890511	86.3	145.	847.	420.	245.	7465.
890518	49.0	86.1	430.	217.	141.	4584.
890521	57.0	103.	564.	274.		6007.
890525	52.0	83.1				
890601	76.2	119.				
890604	73.2	126.	708.	302.		6012.
890608	12.3	14.7				
890615	19.6	34.4	200.	83.6	60.1	1800.
890622	17.5	30.1				
890629	39.7	74.4				
890706	31.8	57.2				
890711	59.2	115.	529.	298.		6286.
890712	42.3	68.3				
890718	31.1	57.3	267.	156.		3007.
890728	27.7	49.1				
890804	107.	144.				
890807	49.2	74.6	378.	249.		5236.
890811	106.	157.				
890817	88.2	148.	867.	394.	276.	8569.
890824	84.1	130.				
890831	109.	197.				
890903	66.7	125.	786.	317.		7075.
890907	89.1	175.				
890914	45.1	87.2	531.	219.	141.	5107.
890918	55.0	105.				
890919	59.9	114.				
890920	52.0	97.9				
890921	50.2	98.1				
890928	51.1	85.8				
891005	97.1	157.				
891012	63.1	110.				
891013	68.6	93.8	1638.	574.	284.	8300.
891019	124.	192.				
891026	87.7	145.				
891103	66.0	120.				
891109	62.1	121.	680.	315.		6337.
891116	63.5	115.	687.	305.	203.	7646.
891123	61.3	116.				
891201	112.	149.				
891208	316.	443.	3554.	1367.		42958.
891219	276.	424.	4255.	1138.		27628.

```

=====
ANTALL   : 62      62      25      24      12      23
MINSTE   : 12.3    14.7    200.    55.8    60.1    1572.
STØRSTE  : 508.    678.    6986.   2759.   688.    42958.
BREDDE   : 495.    664.    6787.   2703.   628.    41386.
GJ.SNITT : 115.    174.    1602.   619.    294.    11238.
STD.AVVIK : 112.    151.    1638.   662.    197.    10528.
=====

```

```

=====
      NIVA      *
              *
      MILTEK    *
===== *
PROSJEKT:      *
              *
DATO: 9 FEB 90 *
              *
=====

```

TABELL NR.:

MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER.

STASJON: ST.5 BEKK FRA GAMLEBYEN VED LANGENG

DATO/OBS.NR.	CU KG/D	ZN KG/D	FE KG/D	CD G/D	AL KG/D	S04 KG/D
890127	70.5	41.7	1626.	179.		6686.
890202	100.	59.5				
890209	77.8	42.6				
890215	32.6	18.5	749.	75.5	95.8	2464.
890223	26.9	14.1				
890302	19.7	8.93				
890307	29.2	16.7	583.	70.6	86.6	2192.
890309	50.2	25.3				
890316	36.2	22.2	720.	85.7	101.	3027.
890330	26.8	17.0				
890407	16.4	18.1				
890413	101.	78.8	1786.	328.	231.	7722.
890420	37.0	25.0				
890427	22.8	14.8				
890505	23.6	15.0				
890511	22.3	14.0	406.	52.6	52.1	1699.
890518	13.8	6.89				
890525	13.3	7.41				
890601	12.9	7.26				
890608	21.8	16.8				
890615	5.95	4.16	111.	15.8	16.7	502.
890622	4.41	2.72				
890629	4.72	3.19				
890706	3.37	2.09				
890712	2.22	1.21				
890718	2.91	2.43	49.5	7.91		247.
890728	2.51	1.90				
890804	11.7	8.81				
890811	20.0	12.7				
890817	3.67	2.83	61.5	13.5	11.3	309.
890824	13.7	11.8				
890831	14.4	12.2				
890907	9.50	7.99				
890914	5.06	3.74	102.	16.2	14.5	463.
890918	3.75	3.42				
890919	5.23	3.86				
890920	5.50	4.46				
890921	6.57	5.10				
890928	4.92	3.54				
891005	16.6	13.3				
891012	11.5	8.70				
891013	17.5	15.6	291.	60.5	47.3	1257.
891019	14.3	10.4				
891026	9.50	5.88				
891103	10.4	7.64				
891109	9.56	5.69				
891116	10.8	8.22	166.	30.1	33.1	1002.
891123	6.85	4.38				
891201	25.4	19.1				
891219	80.7	55.3	976.	216.		4908.

```

=====
ANTALL      : 50      50      13      13      10      13
MINSTE      : 2.22     1.21     49.5     7.91     11.3     247.
STØRSTE     : 101.      78.8     1786.    328.     231.     7722.
BREDDE      : 98.5      77.6     1737.    320.     220.     7475.
GJ.SNITT    : 21.9      14.5     587.     88.6     69.0     2498.
STD.AVVIK   : 24.2      15.8     580.     96.0     66.2     2473.
=====

```

```

=====
      NIVA      *
              *   TABELL NR.:
      MILTEK    *
===== *
      PROSJEKT: *   MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER.
              *
      DATO: 9 FEB 90 *   STASJON: ST.6 BEKK VED STALLGATA SYD
=====

```

DATO/OBS.NR.	CU KG/D	ZN KG/D	FE KG/D	CD G/D	AL KG/D	S04 KG/D
890127	24.0	16.6	253.	67.0		1382.
890202	49.8	31.8				
890209	29.9	17.4				
890215	9.06	6.53	88.3	27.0	20.2	522.
890223	4.21	3.51				
890302	2.57	1.93				
890307	41.8	27.3	364.	110.	126.	2290.
890309	24.1	14.7				
890316	11.8	8.42	103.	31.4	28.0	666.
890330	7.58	5.65				
890407	3.65	5.25				
890413	85.4	53.6	1025.	218.	134.	4766.
890420	29.0	17.8				
890427	10.9	6.87				
890505	21.5	12.4				
890511	12.6	7.82	138.	27.6	22.0	707.
890518	12.5	6.56				
890525	8.10	5.32				
890601	0.102	2.42				
890608	2.13	1.90				
890615	3.20	2.33	30.3	8.64	8.12	204.
890622	1.92	1.29				
890629	0.527	0.310				
890706	0.375	0.254				
890712	0.375	0.259				
890718	0.319	0.249	3.51	0.847		19.4
890804	8.81	5.50				
890811	10.7	8.92				
890817	6.68	5.10	53.6	22.7	18.7	401.
890824	10.5	7.86				
890831	9.79	7.79				
890907	4.08	3.34				
890914	2.79	2.21	27.4	9.61	7.37	157.
890918	2.93	2.42				
890919	2.70	2.42				
890920	2.15	1.84				
890921	2.80	2.50				
890928	2.32	1.70				
891005	13.1	9.92				
891012	52.8	40.6				
891013	9.83	7.50	95.8	27.8	21.3	571.
891019	15.6	11.5				
891026	8.19	5.53				
891103	5.44	4.06				
891109	2.94	2.10				
891116	3.14	2.40	30.2	9.41	7.73	184.
891123	2.88	2.13				
891201	16.3	12.7				
891219	58.1	42.6	737.	165.		3788.

```

=====
ANTALL      : 49      49      13      13      10      13
MINSTE      : 0.102   0.249   3.51   0.847   7.37   19.4
STØRSTE     : 85.4    53.6   1025.  218.    134.   4766.
BREDDE      : 85.3    53.3   1021.  217.    127.   4746.
GJ.SNITT    : 13.3    9.21   227.   55.8    39.3   1204.
STD.AVVIK   : 17.4    11.5   313.   67.6    48.3   1505.
=====

```

B I L A G 4

Feltundersøkelser mai 1989

Undersøkelser av grunnvannsforhold

1 BAKGRUND

Brytningen och beredningen av sulfidmalmer har ägt rum i Lökken sedan mitten av 1600-talet. Stora mängder svavelhaltiga restprodukter har därvid producerats vilka genom vittring bildar svavelsyra som lakar ut ansevärliga mängder tungmetaller, främst koppar och zink. Dessa metaller belastar floden Orkla som är ett viktigt laxvatten. Myndigheterna i Norge har i likhet med Lökken verkens huvudman, Lökken Gruber AS & Co funnit att åtgärder måste vidtagas i Lökken för att väsentligt reducera tungmetallbelastningen på Orkla. Med anledning därav har Norsk Institutt for vannforskning (NIVA) engagerats för att klargöra hur detta bör ske. NIVA har i sin tur givit Terratema AB i uppdrag att bistå institutet vid fältarbeten rörande avfallet och vid den deponeringstekniska behandlingen.

Utredningsarbetet omfattar en värdering av föroreningsstatus och alternativa åtgärder för att reducera föroreningsstillförseln från gruvområdet. Arbetet är planlagt genom ett särskilt program utarbetat av NIVA 1988-12-05 (Johannesen, 1988). Programmet är indelat i 3 huvuduppgifter där den första innebär en genomgång av avrinningsförhållandena och avfallsmassorna i terrängen och den andra skall leda till en värdering av vilka föroreningskällor som är viktigast och hur mycket var och en betyder. Den tredje uppgiften omfattar en sammanställning av vilka alternativa åtgärder som är tänkbara samt en bedömning av vilken miljöförbättring och vilka kostnader som blir resultatet av respektive åtgärd.

Den fältinsats som redovisas här utgör en del av arbetet inom huvuduppgift 2. Syftet med deluppgiften är att klargöra vilka avfallsmassor som förorenar mest och vilken utveckling man kommer att få i framtiden. Detta innebär att oxidationsstatus i massorna samt avfallets typ, mängd och halter också måste bestämmas. Undersökningen av avfallet har planlagts i ett särskilt program, Terratema 1988-12-12.

2 GENOMFÖRANDE

2.1 Grävning av provgropar

Syftet med provgropsgrävningen nedströms upplagen i Lökken samhälle d v s nedanför de så kallade *Berghallerne* eller *Bergvelterne* har varit att klargöra hur stor del av föroreningstransporten som sker via grundvattnet i jordtäcket. Grävningen har skett med hjälp av en mindre grävmaskin och till sådant djup att bergytan påträffades. I några fall påträffades så hårda, cementerade skikt i moränen att grävmaskinen inte orkade gräva ända ned till bergytan. I dessa fall kontrollerades bergläget och grundvattenståndet i jordlagret i provgropen med hjälp av maskinsond.

Provgroparnas lägen har markerats på kartan i bilaga 1.

Provgropsgrävning har även företagits i avfallsupplagen, se bilaga 1. Syftet med denna grävning och provtagning har varit att registrera skillnader i sammansättning i avfallen samt att klargöra i vilken omfattning som vittring ägt rum och i vilken omfattning som de genom vittring mobiliserade metallerna inte transporterats bort från avfallet utan finns kvar och kan lakas ut, även om t.ex. vittringen upphör.

3 RESULTAT

3.1 Provgröpar i jord nedströms upplagen

Provgröp Nr Läge	Djup (m)	Jordart/Avfall/Vittring/Vatten
A1 Vid "dieselhuset", grävd i moränsluttning.		
	0 - 1,0	Siltig-lerig morän, relativt hårt packad I östra schaktväggen dock sandig-siltig. Block- och stenfattig. K-värdet uppskattas till omkring $1 \cdot 10^{-8}$ m/s.
	1,0-1,5	Mer sandig och löst packad morän. K-värdet uppskattas till omkring $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Gropen förblev helt torr under fältarbetena.
A2 Väster om "dieselhuset", vid foten av Söndre Berghall		
	0 - 2,0	Sandig - grusig, relativt välpackad morän innehållande kantiga stenar och järnutfällningar. Uppskattat k-värde: $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.
	2,0-2,75	Berg (maskinsondering) Gropen och borrhålen var helt torra 1989-05-11.
A3 Ca 25 norr om provgröp A2 och 10 m söder om bäcken, vid foten av Söndre Berghall.		
	0 - 1,3	Sandig-grusig morän med hög stenhalt, mindre välpackad än i provgröp A2. Uppskattat k-värde: $5 \cdot 10^{-6}$ m/s.
	1,3-2,0	Berg (maskinsondering) - inga berghällar exponerade i närheten. Gropen och borrhålet var helt torra 1989-05-11.
A4 Ca 25 m norr om lastsilo-byggnaden, i foten av moränslänt.		
	0 - 0,5	Vägfyllning
	0,5-0,75	Lerig silt (mjåla, stenfattig). Uppskattat k-värde kring $1 \cdot 10^{-9}$ m/s.
	0,75-0,9	Hårt packad bottenmorän. Uppskattat k-värde kring $1 \cdot 10^{-7}$ m/s eller något lägre.
	0,9-1,4	Berg från ca 1 m (maskinsondering). Under dagen (89 05 11) blev det lite fuktigt längst ner i gropen.

forts.

fortsättning från föregående sida:

A5 Vid daghemmet ("barnhagen").

0 -0,9 Lucker (löst packad), sandig, grusig morän
Uppskattat k-värde: $1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-5}$ m/s

0,9-ca 1,5 Hårt packad, sandig, grusig morän.
Uppskattat k-värde: $1 \cdot 10^{-7}$ m/s

1,5-2,2 Berg från ca 1,7 m (maskinsondering).

Grop och borrhål torrt 1989-05-11.

A6 Ca 5 m norr om Björnlibäcken, ca 20 m väster om landsvägen.

0 - 1,8 Sandig, molg morän med block.
Uppskattat k-värde: $1 \cdot 10^{-7}$ m/s - $1 \cdot 10^{-6}$ m/s

Grundvattennivå: 1,6 m under markytan (ca 1,0 m
under vattenytan i bäcken

Grundvattnets pH-värde konstaterades vara 5,1, medan bäckvattnets låg på 4,3.
Den elektrisk konduktiviteten var 20 respektive 30 mS/m.

3.2 Provgropar i avfall i upplagen

Provgrop Nr Läge	Djup (m)	Jordart/avfall
B1 Nordre berghall	0 - 0,5	Morän
	0,5-1,0	Relativt vittrad, sandig, grusig gruvvarp med sten.
	1,0-1,2	Skikt med grå ovittrad gruvvarp.
	1,2-2,5	Relativt ovittrad gruvvarp med stora opåverkade stenar (mörk, finkornig svavelkis samt ljusare kismineral).
B2 Nordre Berghall	0 - 2,0	Huvudsakligen ovittrad kis. Hela Nordre berghall emellertid utfylld med kraftigt vittrad varp sand-, grus- och stenstorlek vilken ligger i ytan ovanpå den ovittrade varpen. Volym vittrat material = ca 7500 m ³
B3 Nordre berghall Toppen av varphögen	0 - 0,5	Relativt vittrad varp av sand- och grusstorlek.
	0,5-?	Svagt vittrad varp av stenstorlek

forts.

Fortsättning från föregående sida:

B4 Söndre berghall	0 - 0,3	Sandigt, grusigt avfallsmaterial. Inte påtagligt vittrat.
	0,3-2,0	Blandat: stenigt material och sandigt-grusigt mtrl. Inte påtagligt vittrat. Torrt.
	0,2-0,3 1,5-2,0	Provtagning (sand/grus) Provtagning
B5 Söndre Berghall	0 - 3,0	Sand och grus med ett flertal vittrade stenar, men även en del ovittrad kis. Profilen är homogen med den gulaktiga sanden och grusen som utgör sekundärt vittringsmaterial.
	2,5-3,0	Vittrad sand/grus (1) Opåverkade stenar (2)
B6 "Magnetit-0 - 0,5 hallen" Grävning 0,5-0,0 i släntfot = grop 1	>1,0	Nedrasat grus från slänten Magnetitrik sand (mörkfärgad) som ej ser ut att vara påverkad av vittring. Gruvvarp med knytnävsstora stenar som dominerar över ett sandigt-grusigt mtrl som även förekommer.
B7 "Magnetit-0 - 2 hallen" = grop 2	> 2,0	Vittrad, grågul magnetit, homogen. Huvud- sakligen vittrad till grus- och stenstorlek Gråbergsvarp med endast litet kis, ej vittrad
	0-0,2 2,0	Provtagning: vittrad magnetit Provtagning: ovittrat, opåverkat gråbergsmaterial

Den vittrade magnetiten upptar en yta av ca 2 hektar med en medelmäktighet på högst 2 m. Volymen beräknas därför inte vara större än 40 000 m³. Lakvattnet från magnetitberghallen dränerar till schaktet för Gammelgruva via ett "rashål" som man fyllt igen med magnetitmassor.

B8 Gammel- gruva berghall	0 - 0,2	Fyllningsmaterial (grus)
	0,2-0,4	Aska
Provgrop Uppå på överytan	0,4-2,0	Blandat: vittringsprodukter (grus/sand) och vittrande stenar samt opåverkad grönsten. Relativt homogen blandning där det sekundära materialet dominerar över det opåverkade.
	0,4-2,0	Vittringsgrus och -sand (1)
	"-	Vittrande stenar (2)
	"-	Kishaltigt material (3)

Berghallens area är ca 2 500 m².

4 BERÄKNINGAR OCH SLUTSATSER

Vi känner inte till några enkla beräkningssätt för sambandet mellan influensavstånd och hydraulisk konduktivitet för fallet med en bäck eller ett dike som läcker ut vatten till sin omgivning. En motsvarande erfarenhetsekvation för en brunn under pumpning ges av Thurner (1967), där influensradien uttrycks som produkten av roten av konduktiviteten (permeabiliteten) och en faktor som i sig utgör produkten av konstanten 3000 och avsänkningen i brunnen. Om 5 meter utgör influensradien och avsänkningen vore 1 m skulle den hydrauliska konduktiviteten vara ca $3 \cdot 10^{-6}$ m/s. Detta är ett maximalvärde eftersom ett dike avbördar effektivare än en brunn och att jordmaterialet därför måste vara mindre genomsläppligt vid samma gradient (avsänkning eller förhöjning) av grundvattennivån.

Avsänkningen kring en tunnel är en bättre jämförelse. Utnyttjas den beräkningsmodell som redovisats av Carlsson och Olsson (1978) för avsänkningen kring en tunnel på fallet med ett läckande dike erhålls vid en grundvattenbildning om drygt 100 mm/år en hydraulisk konduktivitet kring $1 \cdot 10^{-8}$ m/s vid influensavståndet vid influensavståndet 6,5 m och $1 \cdot 10^{-7}$ m/s vid influensavståndet ca 15 m. Eftersom vi inte vet att provgropan motsvarar influensavståndet från bäcken, men att det inte gärna kan vara beläget på mycket större avstånd, kan vi bara sluta oss till att det okulärt bedömda värdet är rimligt och inte gärna kan vara så högt som $1 \cdot 10^{-6}$ m/s, eftersom detta skulle ge en influensradie på långt över 100 m.

Om förhållandena vid Björnlivbäcken är representativ för hela den jordtäcka bergslutningen kan man översiktligt beräkna grundvattenflödet i jordtäcket. Vi antar att flödet är konstant under året och berör de understa 1,5 meter av moränlagret (i genomsnitt). Terränglutningen antyder att den hydrauliska gradienten ligger kring 0,1. Flödet per breddmeter av slutningen blir då enligt Darcy's lag:

$$q = k \cdot i \cdot A = 1 \cdot 10^{-7} \cdot 0,1 \cdot 1,5 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{år} = \text{ca } 0,5 \text{ m}^3/\text{år}$$

Den lakvattenproducerande slänten mot Raubekken är ca 700 m, vilket ger ett totalt, beräknat, årligt flöde om 350 m³. Eftersom det förekommer mer genomsläpplig morän nedanför t.ex. Söndre berghall och dess mäktighet kan vara felbestämd, bör vi försiktigtvis utgå ifrån att lakvattenflödet är en tio-potens högre. Ändå kommer detta lakvattentransporten via grundvattnet inte att bli större än några få procent av ytvattenflödet. Detta styrks även av det faktum att alla provgropar inom berghallsområdet var torra vid tidpunkten för fältbesöket. Eftersom transporten med grundvattnet är så liten anser vi inte att man behöver genomföra ytterligare fältundersökningar för att precisera metallflödet i jordgrunden.

Utläckaget av surt metallhaltigt vatten till Raubekken berör 5 olika avrinningsområden kallade "Anläggningsområdet" (med Berghallerne), Björndal/Fagerliområdet, Björnlivvattnet, Björnlivbekken respektive Letanområdet (med delar av Gamlebyen), se kartan i bilaga 2. Av dessa innehåller de två sistnämnda inga avfallsprodukter varför inga betydelsefulla tillskott av metaller förväntas vid transporten därigenom. Tvärtom kan en viss fastläggning äga rum där.

I NIVA-rapport O-82062 (Iversen, 1983) anges att den genomsnittliga nederbörden för Lökkenområdet är 970 mm/år (1938-1983). Innan säkrare lokala avdunstningsdata erhållits från området antas preliminärt följande hydrologiska balans för Lökkenområdet:

Nederbörd 970 mm/år = Avdunstning (250 mm/år) + Avrinning (720mm/år)

Avrinningen antas fördelas generellt på ytavrinning (700 mm/år) och grundvattenavrinning (20 mm/år). Avbördningen av vatten från området fördelar sig då enligt följande:

AVRINNINGSOMRÅDE	YTSTORLEK (ha)	AVRINNING		SUMMA FLÖDE
		YTVATTEN (m ³ /år x 1000)	GRUNDV.	
Anläggningsområdet	62	434	12	446
Björndal/Fagerli-området	194	1358	39	1.397
Björnlivattnet	104	728	21	749
Björnlibekken	65	455	13	468
Letan-området	28,5	200	6	206
SUMMA	453,5	3.175	91	3.266

Enligt NIVA-rapport O-74078 (Iversen, 1987) innehåller vattnet från Björnlivattnet omkring 2 mg/l koppar och 5,5 mg/l zink. Eftersom vattenföringen därifrån motsvarar ca 730 000 plus 1.360 000 m³/år, blir den årliga metalltransporten av koppar ca 4,2 ton och av zink ca 11,5 ton. Grundvattnets transport av metaller är av storleksordningen under 100 kg/år från detta område, om inte halterna i grundvattnet är betydligt högre än i ytvattnet, vilket inte är sannolikt. Då har man bortsett ifrån läckaget av grundvatten till gruvan.

Tillskottet av lakvatten från gamla slamdammen strax öster om Raubekken är ungefär 11 900 m³/år. Metallhalterna i detta vatten är okänt, men kan försiktigtvis antas ligga kring 100 mg/l för koppar och 200 mg/l för zink. Transporten av metaller blir då av storleksordningen 1,2 ton/år respektive 2,4 ton/år för koppar och zink.

Transporten av metaller från anläggningsområdet med de äldre, vittrande avfallsupplagen antas redan i NIVA-rapporten O-82062 (Iversen, 1983) vara en av huvudkällorna. Utgår man från de genomsnittliga värden för metallhalterna i ytvattnet som redovisades i Rapport O-82062 och vattenomsättningen i tabellen ovan kan koppar- och zinktransporten beräknas till storleksordningen 30-35 ton koppar och ca 35 ton zink. Transporten med grundvattnet bör vara liten, högst 1 ton vardera av koppar och zink. Reducerar man denna transport för vattenomsättningen i områden, där avfall saknas även nedströms, reduceras också transporten till 20-25 (Cu) respektive 25 (Zn) ton/år. I beräkningen har kopparhalten 75 mg/l och zinkhalten 80 mg/l använts. Detta värde ligger mitt emellan de genomsnittsvärden som redovisades 1983 för ytvatten i två mätpunkter nedanför upplagen. Den ena mätpunkten ligger visserligen i norra utkanten av deponi-området, men sannolikt finns avfall i form av vägfyllningar även uppströms denna punkt. Beräkningarna tar inte hänsyn till att läckage förekommer till gruvan, speciellt via schaktet till "Gammelgruvan".

Inne i området förekommer en mätpunkt med betydligt högre halter än nedströms, vilket antyder att transporten kan vara högre. Eftersom läckage förekommer och fastläggning kan äga rum i och under upplagen görs emellertid inga beräkningar med dessa högre halter.

En preliminär sammanställning av metalltransporterna till Raubekken ser alltså ut som följer:

KÄLLA	KOPPAR (ton/år)	ZINK (ton/år)
Upplag inom anläggningsområdet	20 - 35	25 - 35
Gamla slammdammarna	1,2	2,4
Avfallssand från Fagerlivattnet och Björnlidammen	4,2	11,5
SUMMA:	25 - 40	39 - 49

4 DISKUSSION OCH FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

Den beräknade, totala metalltransporten är inte riktigt så stor som den man uppmätt i Raubekken (NIVA-Rapport O-82062). Detta kan bero på att metalltransporten till bäcken baseras på data från 1982 och -83 och att transporten minskat under senare år. Trots allt är nog inte alla källorna och transportvägarna tillräckligt väl kända ännu, men upplagen inom anläggningsområdet är med all sannolikhet den viktigaste eller möjligen en av de två viktigaste huvudkällorna.

Om metalläckaget till Raubekken fortfarande är större än 40 (Cu) plus 50 (zink) ton/år är den mest troliga förklaringen till underskottet i balansen att de utnyttjade värdena för den genomsnittliga halten i lakvattnet från avfallet inom anläggningsområdet varit för låg. Vidare kan avdunstningen ha överskattats, även om ett relativt lågt värde (250 mm/år) antagits på grund av den branta topografin och det nordliga läget.

Eftersom anläggningsområdet står för betydligt mer än hälften av metalltransporten till Raubekken och man har relativt god kontroll över de övriga avfallsupplagen genom det gemensamma utloppet vid Björnlivassdammen, föreslås att man intensifierar provtagningen av lakvatten från upplagen vid anrikningsverket samt från vagnytningarna upp mot Wallenberg- och Aastruschakten. Även metallflödets variation i tiden kan vara betydelsefullt och bör studeras vid ett par utvalda punkter.

Den redan inledda undersökningen av vitrings- och lakningsstatus är av avgörande betydelse för valet av åtgärder och kontrollinsatser. Den bör därför fullföljas.

5 REFERENSER

- Carlsson, A. & Olsson, T. (1978): "Vatteninläckning till berganläggningar - Förväntningsmodell av influensområde", Byggmästaren, Vol. 57, Nr 11, Stockholm, 1978
- Iversen, E. (1983): "Lökken verk - Forurensningstilførsler fra gruveområdet ved Lökken sentrum", Norsk institutt for vannforskning, Rapport Nr O - 82062.
- Iversen, E. (1987): "Lökken gruber AS & Co - Kontrollundersökelse i nedre del av Orklavassdraget 1986", Norsk institutt for vannforskning, Rapport Nr O - 74078.
- Johannesen, M. (1988): "Lökken Gruber A/S & Co - Vurdering av forurensningsstatus og alternative tiltak for å redusere forurensningstilførslene fra gruveområdet - Programutkast", Norsk institutt for vannforskning, Oslo 5. desember 1988.
- Turner, A. (1967): "Hydrogeologie", Springer Verlag, Berlin 1967.

Linköping 1989 06 19

Tom Lundgren

BILAGOR:

1. Plankarta över provgroparnas lägen.
2. Plankarta över berörda avrinningsområden.

B I L A G 5

**Detaljundersøkelser av Raubekken
gjennom Løkken sentrum**

Detaljundersøkelse av Raubekken gjennom Løkken sentrum

Den 19.9.89 ble det tatt en serie prøver av Raubekken for å få et bedre bilde av hvor forurensningstilførslene kommer inn. På en strekning gjennom sentrum ble det tatt prøver på begge sider av elven, hvor prøve A er tatt på østsiden (slamdamsiden) og B på vestsiden. Resultatene er samlet i tabell 1. Resultatene viser at det skjer en betydelig konduktivitets- og tungmetalløkning på strekningen mellom dammen i Løkken sentrum og biblioteket. Det ble derfor tatt nye prøver på denne strekning den 21.9.89. Resultatene er samlet i tabell 2. Resultatene tyder på en betydelig grunnvannstilførsel av forurenset vann mellom øvre ende av flomsikringsmur på østsiden og øvre ende av lokomotivstall. Det kunne her også observeres sterke utstrømninger av forurenset vann (vann strømmet ut av hull gjennom okerutfellingen i bunnen av Raubekken).

Prøvetakingsstedene er markert på kartskisse.

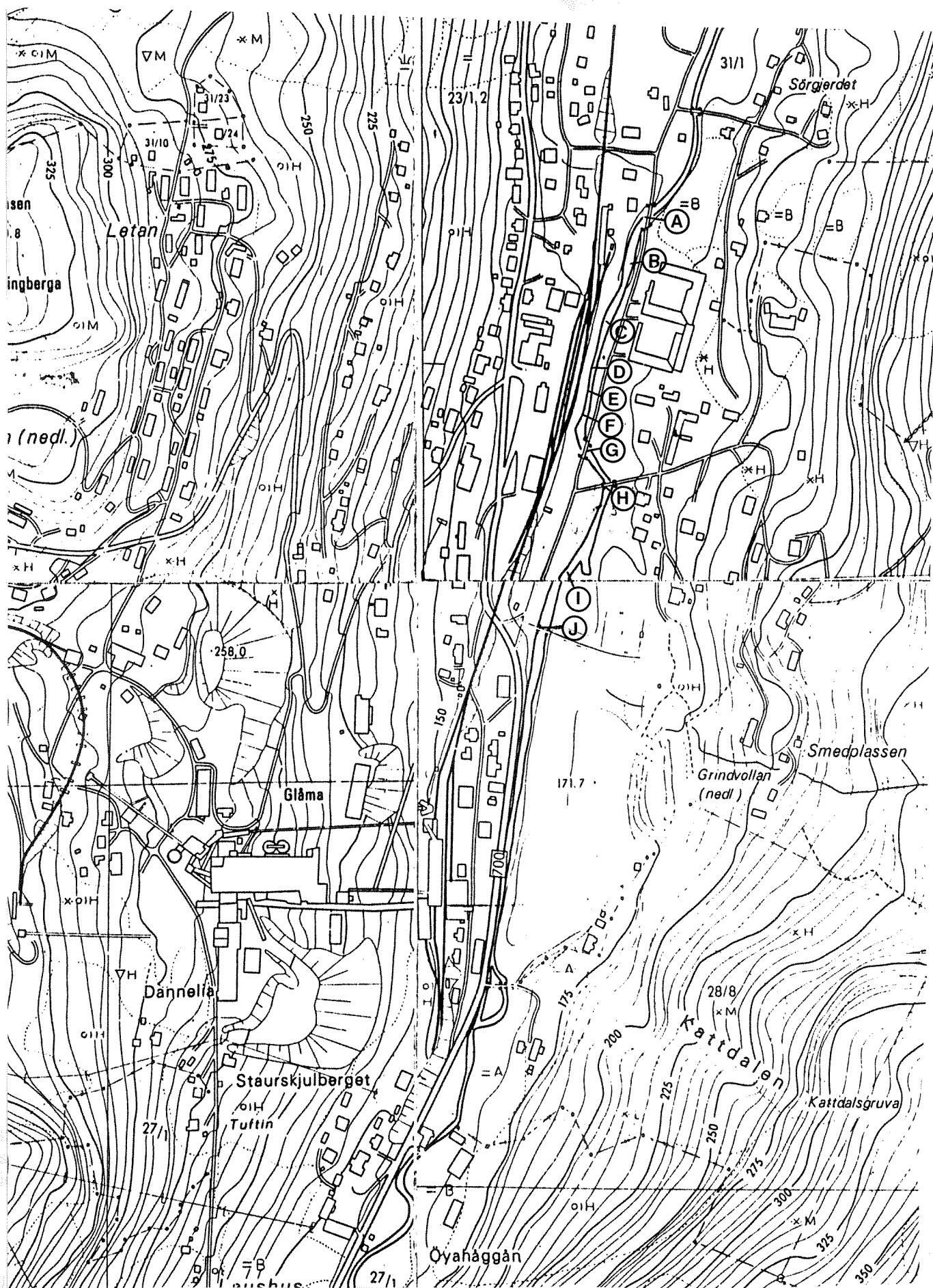
Tabell 1. Prøveserie 19.9.89 i Raubekken.

Stasjon		pH	Kond. m S/m	Cu mg/L	Zn mg/L
1	Måledam, inntak kraftverk	3.59	45.7	2.31	4.40
2	Ved sandtak nedenfor renseanlegg	3.60	51.9	2.37	4.46
3	Liabekken ved renseanlegg	3.66	94.5	2.30	4.74
4	Under jernbanebru ved renseanlegg	3.60	45.9	2.41	4.44
5	Ved brufundament ved nedre del av idrettsplass	3.58	46.0	2.43	4.53
6	Under bru ved øvre ende av idrettsplass	3.58	46.3	2.51	4.63
7	Bru ved svømmehall/skole	3.60	46.1	2.51	4.58
8	Bru ved bibliotek	3.61	46.1	2.53	4.61
9	Bru ved "Bergmannen"	4.32	26.0	1.53	2.69
10	Bekk fra slamdam ved innløp i Raubekk	6.60	8.69	0.09	0.28
11	Like ovenfor tilløp fra slamdam	4.39	22.1	1.37	1.90
12	Overløp gammel måledam	4.38	22.1	1.31	1.81
13 A	Nedenfor bekk fra Langeng	5.23	17.5	1.01	1.81
13 B	Ved luke i slamdam	4.71	18.7	1.18	1.68
14 A	Ovenfor tilløp av St. 5	5.41	16.4	0.94	1.63
14 B		5.37	15.9	0.99	1.50
15 A	Ved avkjøring ovenfor Langeng	5.43	16.7	0.93	1.75
15 B		5.24	16.9	1.06	1.55
16 A	Ved rørlegger VVS-butikk	5.25	18.8	0.93	2.05
16 B		4.94	18.1	2.10	2.76
17 A	Ved hus ovenfor rørgate til slamdam	6.07	12.4	0.56	0.59
17 B		6.04	13.1	0.60	0.61
18 A	Ovenfor slamdam og ovenfor øverste sig fra slamdam	6.41	11.0	0.31	0.36
18 B		5.58	14.7	0.96	0.90
19 A	Ovenfor tilløp fra St. 6	6.60	9.95	0.14	0.19
19 B		6.70	10.24	0.21	0.23
20 A	Ved bussholdeplass nedenfor Dieselen	6.75	9.38	0.05	0.10
20 B		6.73	10.70	0.28	0.29

Prøveserie 21.9.89 i Raubekken.

Prøver tatt midt i bekken mellom bru ved biblioteket og dam nedenfor Langeng.

Prøvested	Vannf. l/s	pH	Kond. mS/m	Cu mg/l	Zn mg/l
A Bru ved bibliotek		3.85	33.1	1.82	3.46
B Øvre ende lokomotivstall		3.89	33.8	1.85	3.51
C Telefonstolpe med kasse på		3.88	32.1	1.70	3.28
D Øvre ende parkeringsplass ved skole		3.98	30.9	1.71	3.35
E Telefonkiosk ved stasjon		4.35	22.8	1.29	2.27
F Øvre ende av flomsikringsmur		4.60	19.9	1.11	2.05
G Bru ved sving i bekken		4.70	19.2	1.08	1.96
H Bru til boligområde		4.74	18.3	1.01	1.62
I Før sig fra slamdam		4.69	18.2	1.06	1.51
J Overløp dam nedenfor Langeng	222	4.58	18.4	0.97	1.34



Prøvetakingspunkter for detaljundersøkelse av Raubekken gjennom Løkken sentrum, merket A-J.

BILAG 6

NIVA

**FORURENSNINGSTILFØRSLER FRA
GRUVEOMRÅDET VED LØKKEN
SENTRUM**

**OPPSAMLING OG RENSING AV
SIGEVANN OG GRUVEVANN
ALTERNATIVE LØSNINGER**

FORSTUDIE

A0421/90-040

DRAMMEN, 30. APRIL 1990



SIVILINGENIØR

CARL-H. KNUDSEN AS

RÅDGIVENDE INGENIØRER MRIF

N-3000 DRAMMEN

N-7500 STJØRDAL

N-2900 FAGERNES

Tlf. 03-82 45 70

Tlf. 07-82 68 00

Tlf. 061-31 077

INNHALDSFORTEGNELSE

1.	INNLEDNING	2
2.	GRUNNLAGSMATERIALE	4
2.1	Generelt	4
2.2	Områder med forurensningstilførsel som skal begrenses/reduseres	4
2.3	Vannføring Raubekken	4
2.4	Sigevannsmengder	5
3.	ALTERNATIVE LØSNINGER - OPPSAMLING AV SIGEVANN LØKKEN SENTRUM	6
3.1	Generelt	6
3.2	Tetting av Raubekken	6
3.3	Avskjærende drengrofter	6
3.4	Bekkeinntak	7
3.5	Grunnvannsbrønner	7
3.6	Overpumping og midlertidig lagring av forurenset vann	8
4.	WALLENBERG SJAKT - PUMPESTASJON	9
4.1	Prinsippforslag	9
4.2	Vannmengder	9
4.3	Tekniske installasjoner	9
5.	RENSEANLEGG ALTERNATIV 1 OG 2	10
5.1	Prosess-dimensjonering	10
6.	SUPPLERENDE UNDERSØKELSER	12
7.	KOSTNADER	13
7.1	Beregningsforutsetninger	13
7.2	Anleggskostnader - Alternativ 1 og 2	14
7.3	Årskostnader	16

TEGNINGSFORTEGNELSE

Tegn.nr.	1000	-	Oversiktskart M = 1:1000
"	1001	-	Tetting av Raubekken
"	1002	-	Wallenberg sjakt
"	1003	-	Prosessforslag renseanlegg (Lay-out)

A0421/90-040

1. INNLEDNING

Norsk institutt for vannforskning NIVA, har vurdert forurensningstilførsler fra gruveområdet ved Løkken sentrum (1982-83).

I forbindelse med videreføringen av prosjektet m.h.t. vurdering av forurensningsstatus og alternative tiltak for å redusere forurensningstilførselene fra gruveområdet, har NIVA gitt Sivilingeniør Carl-H Knudsen A/S i oppdrag å vurdere aktuelle tiltak for oppsamling og rensing av drensvann.

Utredningsarbeidet er nærmere spesifisert under pkt. 5.3, 6.3 og 6.4 i NIVA' rapport O-88226.

CHK har i foreliggende rapport vurdert tiltak for oppsamling av drensvann/sigevann til Raubekken.

Alternative tiltak for oppsamling, utjevning og behandling av sigevann er utarbeidet på grunnlag av observasjoner og analysedata fra NIVA samt befaring på Løkken 4. juli 1989.

Forstudien er å betrakte som en intern NIVA-CHK rapport. NIVA står fritt til å benytte hele/deler av rapporten.

Det er foreslått to alternative plasseringer for behandlingsanlegg for sigevann/gruvevann.

Alt. 1: Plassering av behandlingsanlegget i Løkken sentrum (pkt. A) med Raubekken som resipient for behandlet vann.

Alt. 2: Plassering av behandlingsanlegget ved utløpet av Wallenberg sjakt med Fagerlivatnet og/eller Bjørnlivatnet som resipient for behandlet vann.

Utbygging av alternativene er foreslått i to faser, der fase 2 innebærer tetting av Raubekken og oppsamling av forurenset grunnvann med grunnvannsbrønner.

Alternativ 1 - systemskisse 1 innebærer at sigevann/drensvann samles opp ved avskjærende systemer, dremsledninger og grunnvannsbrønner og pumpes til pumpestasjon og behandlingsanlegg i pkt. A. Utjevning av sigevannsmengder skjer i eksisterende magasin i pkt. D. Avrenningsvann fra gruveve pumpes ut av gruvesystemet ved pumper plassert i Wallenberg sjakt. Det synes usikkert om det blir nødvendig å behandle (rense) dette vannet. I alternativ 1 er forutsatt at gruvevannet pumpes til eksisterende utjevningmagasin i pkt. D og ledes derfra til behandlingsanlegget i pkt. A.

Alternativ 2 - Systemskisse 2 innebærer at sigevann/drensvann samles opp som i alternativ 1 og pumpes direkte til utjevningmagasinet og gruvesystemet for utjevning. Utjevnet oppumpet vannmengde pumpes sammen med gruvevannet opp fra

A0421/90-040

Wallenberg sjakt til behandlingsanlegg ved utløpet. Ved beregning av mengde fellingskjemikalie og slammengder fra behandlingsanlegget er det forutsatt av utjevningen i gruvesystemet reduserer forurensningskonsentrasjonene med 50 %.

2. GRUNNLAGSMATERIALE

2.1 Generelt

Grunnlagsmateriale nyttet ved arbeidene er basert på datamateriale i NIVA rapport O-82062, samt befaring og tilleggsopplysninger i forbindelse med NIVA's senere arbeider i området.

2.2 Områder med forurensningstilførsel som skal begrenses/reduseres.

I etterfølgende beskrevne tiltak søker en å fange opp avløp fra bekker, samt mere diffus overflateavrenning og grunnvannstilførsel til Raubekken.

Følgende områder/strekninger bør inngå;

- Stallgata, Syd med avrenning til Raubekken fra de store veltene i området, både i bekk samt et uspesifisert grunnvannsbidrag.
- Bekk fra Gamlebyen, samt grunnvannstilførsel. Til dette området drenerer vann som både har vært i kontakt med kisholdig materiale benyttet til veibygging, overflatevann fra bakenforliggende område samt sig fra velte ved Tårnbekken.
- Slamdam på østsiden av Raubekken med avrenning direkte til bekken samt bidrag til grunnvannet nedstrøms dam.
- Områdene ved Jernbanestasjonen. Tilførsel av forurensnet grunnvann.

2.3 Vannføring Raubekken.

Nedbørsfeltet til Raubekken har følgende karakteristiske data:

Samlet nedbørsfelt til inntak krafttunnel: 37.88 km²
Samlet nedbørsfelt til sentrum (vannmerke): 32.13 "

Avrenningskoeffisient i nedbørsfelt: (anslått): 26 l/s km²

Midlere vannføring inntak krafttunnel: 0.98 m³/s
Midlere vannføring sentrum: 0.84 "

Verdiene for vannføring i Raubekken er noe usikkert.

NIVA har observert en største vannføring på ca. 5 m³/s. Opplysninger tyder på at vannføringen i Raubekken meget sjeldent er større enn 10 m³/s.

I forbindelse med et broprosjekt ble det benyttet en vannføringsverdi i Raubekken på 40 m³/s.

Etterfølgende alternative løsninger med tetting av Raubekken med betongelementer er dimensjonert for en maks. vannføring på 40 m³/s.

2.4 Sigevannsmengder

Teknisk beskrivelse av oppsamlingssystem og behandlingsanlegg samt beregning av anleggs- og årskostnader er basert på følgende orienterende sigevannsmengder og tilførsel av forurenset gruvevann.

Fase 1 - (Alt. 1 og 2)

- Drensledning vest for Raubekken ca. 10 l/s
 - Drensledning langs slamdeponi ca. 10 l/s.
 - Fra Wallenberg sjakt ca. 10 l/s
- Sum vannmengde fase 1: 30 l/s - 108 m³/h.

Fase 2 - (Alt. 1 og 2)

- Fra grunnvannsbrønn Løkken sentrum, ca. 10 l/s
- Sum sigevannsmengder fase 1 og 2: 40 l/s - 144 m³/h

3. ALTERNATIVE LØSNINGER - OPPSAMLING AV SIGEVANN I LØKKEN SENTRUM

3.1 Generelt

Forslaget til konkrete tiltak for oppsamling av drensvann/sigevann er i prinsippet basert på følgende hovedelementer:

- * Tetting av Raubekken.
- * Avskjærende drenggrøfter.
- * Bekkeinntak.
- * Grunnvannsbrønner - infiltrasjonsanlegg.
- * Overpumping og midlertidig lagring av forurenset vann i nedlagt grube.

3.2 Tetting av Raubekken.

Tetting av Raubekken har som formål å hindre innsig av forurenset drensvann/sigevann i bunn og sider.

Tettingen foreslås utført ved nedsetting av prefabrikerte armerte betongelementer med skjøtejern for oppstøp av vanger. Vangene tilpasses terreng og bekkens løp.

For oppsamling av eventuelt sigevann i selve bekkeløpet, legges drengsrør i bunnen av Raubekken som vist på tegning 1001.

Sammenføyningen av elementene utføres ved påstøp i sliss i bunn og vanger.

Drengsrørene tilkobles kummer i eventuell drenggrøft langs Raubekken alternativt nedsettes separate inspeksjonskummer.

Med bunnbredde på 2,5 m og 45° vanger, vil Raubekken ved ulike fallforhold og vanddybde på 1,5 m ha følgende vannføringskapasitet:

-	Fall 10 %	Kapasitet ca. 39 m ³ /s
-	Fall 12 %	Kapasitet ca. 42 m ³ /s
-	Fall 15 %	Kapasitet ca. 47 m ³ /s

Drenggrøftene tilkobles pumpe-stasjon og oppsamlingsnettet forøvrig.

3.3 Avskjærende drenggrøfter

Langs vestbredden av Raubekken og i overkant av gammel, i-gjenfylt slamdam, anlegges grøfter for oppsamling av forurenset drensvann/sigevann.

A0421/90-040

Følgende drengsledninger er medtatt i forstudien:

- Strekning A-B Vestsiden av Raubekken
- Strekning E-F Overkant av slamdeponi.
- Strekning E-G Overkant av slamdeponi.

Drengsgrøftene tilkobles oppsamlingsnettet.

Utforming av drengsgrøftene er i prinsippet vist på tegning 1001.

Dybde og nøyaktig beliggenhet fastlegges etter nærmere forundersøkelser.

3.4 Bekkeinntak

2 bekker, fra Gamlebyen og fra Stallgata Syd er sterkt forurenset.

Normalvannføringen i bekkene tas inn via inntakskummer med ristarrangement og tilkobles oppsamlingssystemet.

Inntakskummene fra bekkene utstyres med flomoverløp.

3.5 Grunnvannsbrønner.

Aktuelle områder for plassering av grunnvannsbrønner er områdene på østsiden av Raubekken nedstrøms slamdammen samt områdene på vestsiden ved jernbanestasjonen.

Grunnvannsbrønner for uttak av forurenset grunnvann anlegges på begge sider av Raubekken mellom jernbanestasjonen og pkt. A.

Det er forutsatt ialt ca. 9 brønner med samlet kapasitet ca. 10 l/s. Grunnvannet pumpes til pumpestasjon/behandlingsanlegg i pkt. A.

3.6 Overpumping og midlertidig lagring av forurenset vann.

Avskjærende drengrofter i og langs Raubekken, i overkant av igjenfylt slamdam og i terrenget forøvrig samt grunnvann, samles i pumpestasjon i pkt. A. Til pumpestasjonen føres også forurenset vann fra bekk fra Gamlebyen og bekk fra Stallgata Syd.

Oppsamlet sigevann føres primært til renseanlegget. Under perioder når sigevannsmengden til pumpestasjonen er større enn kapasiteten på renseanlegget, lagres overskytende vannmengde i utsprengt magasin på ca. 40.000 m³ i pkt. D.

I perioder med sigevannstilførsel mindre enn renseanleggets hydrauliske kapasitet, hentes forurenset gruvevann/sigevann ut av magasinet og føres til renseanlegget.

Nevnte arrangement for utjevning av sigevannstilførselen til renseanleggets dimensjonerende kapasitet vil bestå av følgende anleggsenheter:

- Pumpestasjon i pkt. A
- Pumpeledning strekning A-D
- Returledning fra magasin i pkt. D til renseanlegg i pkt. A. Returvannstilførselen styres av ventiler i pumpestasjonen.

4. WALLENBERG SJAKT - PUMPESTASJON

4.1 Prinsippforslag

Gruvevannet utjevnes på årsbasis og foreslås hentet opp fra Wallenberg sjakt og ført til utjevningsbasseng i pkt. D alt til renseanlegg.

4.2 Vannmengder

Med utgangspunkt i tilgjengelig grunnlagsdata og beregninger, er den årlige gruvevannmengden anslått til ca. 250.000 m³, dvs. anslagsvis ca. 8-10 l/s.

4.3 Tekniske installasjoner

Gruvevannet hentes opp ved hjelp av 2 stk nedsenkbare grunnvannspumper hver med kapasitet 8-10 l/s ved 80-100 m løftehøyde. Pumpene forutsettes arbeide kontinuerlig og alternerer ved hjelp av tidsur.

Grunnvannspumpene monteres i ø150 mm styrerør av syrefaste stålrør fastboltet til sjaktveggen.

Oversiktsplan i M = 1:5000, tegning 1002.

5. RENSEANLEGG ALT. 1 OG 2

Behandlingsanlegg for oppsamlet og utjevnet avløpsvann er forutsatt utformet i prinsipp i henhold til prosess-skjema, tegning 1003. Behandlingsprosessen forutsetter at ulike typer metall-konsentrasjoner fells ut ved ulike pH-områder i tre seriekoblede prosess-enheter. pH reguleres ved tilsetning av kalk som kalkslurry foran de enkelte behandlingseenhetene.

Av den totale materialtransporten utgjør jern (Fe) ca. 75 % (NIVA).

Første enhetsoperasjoner i behandlingsanlegget er derfor basert på utfelling av jern i en fellingprosess med sedimentering av utfelte metallhydroksyder.

Utfelling av aluminium (ca. 12 %) og kobber/sink (ca. 13 %) forutsettes skje i oppstrøms sandfiltre med god lagringskapasitet for hydroksydslam. Eventuell mangan i avløpsvannet forutsettes bli redusert i det siste behandlingstrinnet.

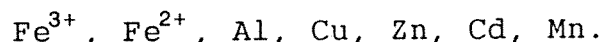
5.1 Prosess-dimensjonering

Forurenset sigevann/grunnvann og gruvevann behandles i renseanlegget i pkt. A alternativt ved Wallenberg sjakt.

Renseanlegget forutsettes belastet med jevn kontinuerlig vannstrøm. Årsutjevning skjer i eksisterende magasin. Renseanleggets dimensjonerende belastning $Q_{dim} = 108 \text{ m}^3/\text{h}$ i fase 1 og $144 \text{ m}^3/\text{h}$ i fase 2.

Utfelt slam fra de ulike separasjonsenhetene ledes til tre separate fortykkere/slamsilo med kontinuerlig omrøring og dekantering. Fra fortykkerne pumpes slammet til en kammerfilterpresse for avvanning. Det forutsettes at slammet kan avvannes til minimum 35 % TS. Slamvann og rejektivann ledes tilbake til behandlingsanleggets innløp. Behandlet vann ledes til resipient. Det forutsettes at behandlingsprosessen fjerner over 90 % av tilført forureningsmengde til anlegget. Avvannet slam transporteres til eget slamdeponi.

Forureningskomponenter som skal fjernes/redueres:



Utgangs-pH er meget lav, ca. 2.4 - 2.8.
Behandlingsprosessen er foreslått i tre trinn:

1. Avskillingsenhet for jernhydroksydslam ved pH 3-4.
Sedimenteringsenhet. Flatebelastning $3 \text{ m}^3/\text{h A} = 36 \text{ m}^2$ i fase 1 og 48 m^2 i fase 2.
En enhet.

A0421/90-040

2. Avskillingsenhet for Al-slam. Kontaktfiltre ved pH ca. 6.0. Flatebelastning 10-12 m/h. $A_{\text{tot}} = 13 \text{ m}^2$. Fordeles på 2 enheter.
3. Avskillingsenhet for Fe_{II} , Cu, Zn, Cd, Mn-slam ved pH ca. 6,5-9. Kontaktfilter. Flatebelastning 10-12 m/h, $A_{\text{tot}} = 13 \text{ m}^2$. Fordeles på 2 enheter.
4. Slamavvanning. Kammerfilterpresse.

6. SUPPLERENDE UNDERSØKELSER

I forbindelse med etablering av grunnvannsbrønner må det gjennomføres hydrogeologiske undersøkelser i aktuelle områder.

Undersøkelsene vil i korthet bestå av:

- * Sonder- og undersøkelsesboringer.
- * Kartlegging av grunnvannets strømningsmønster og kommunikasjonsforhold i avsetningene.
- * Fastsettelse av sedimentsammensetning, variasjon og mektighet.
- * Kapasitets- og de ulike forurensningskomponenters variasjoner i avsetningene.
- * Lokalisering/plassering av brønner samt dimensjonering av disse.

7. KOSTNADER

7.1 Beregningsforutsetninger

- * Kostnadsoverslagene er basert på lønns- og prisnivået våren 1990.
 - * Anleggskostnadene er beregnet med utgangspunkt i generelle kostnadskurver, erfaringspriser fra utførte anlegg samt innhentede enhetspriser. De virkelige kostnadene vil en først få ved detaljprosjektering, anbudsinnhenting og utførelse.
 - * Stedlig knust stein er forutsatt benyttet som tilbakemyllingsmasser i Raubekken og i drenggrøftene.
 - * Anleggskostnadene er gitt et tillegg på 15 20 % for administrasjon/planlegging, byggeledelse etc.
 - * Kostnader for eventuelle grunnerhverv er ikke medtatt.
 - * Renter i anleggsperioden er ikke medtatt.
- Avgift er ikke inkludert i kostnadsoverslagene.**

7.2 <u>Anleggskostnader - Alterantiv 1 og 2</u>		Alt. 1		Alt. 2	
		-----		-----	
7.2.1	Avskjærende drengroft	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
	På vestsiden av Raubekken.				
	* Strekning A-B 450 m	1,00	--	1,00	--
	I overkant av slamdeponi				
	* Strekning E-F 300 m				
	* Strekning E-G 250 m	0,85	--	0,85	--
7.2.2	Observasjonsbrønn - Grunnvann				
	* Etablering	0,10	--	0,10	--
7.2.3	Ledninger til/fra utjevningsmagasin i pkt. D				
	Pumpeledning fra pumpestasjon i pkt. A til magasin i pkt. D. Returledning fra magasin til pumpestasjon/ behandlingsanlegg.				
	* Strekning A-H-D. 370 m	0,70	--	0,70	--
7.2.4	Bekkeinntak				
	Inntaks- og flomoverløpskum for bekk fra Gamlebyen og fra Stallgata Syd	0,30	--	0,30	--
7.2.5	Grunnvannsbrønner og transportsystem				
	* Etablering	--	1,95	--	1,95
7.2.6	Pumpestasjon og behandlingsanlegg, pkt. A				
	$Q_{dim} = 30$ l/s. Fra Løkken sentrum.				
	* Bygningsmessige arbeider inkl. VVS 1.20 mill.kr.				
	* Prosess inkl. slamavvanning 5.30 mill.kr.	6,50	--	--	--
7.2.7	Kapasitetsøkning behandlingsanlegg i pkt. A				
	$Q_{dim} = 40$ l/s				
	Tillegg 10 l/s fra Wallenberg sjakt	--	1,00	--	--
7.2.8	Behandlingsanlegg v/Wallenberg sjakt				
	$Q_{dim} = 30$ l/s				
	Fra Løkken sentrum 20 l/s				
	Fra Wallenberg sjakt 10 l/s	--	--	6,50	--

A0421/90-040

	Alt. 1		Alt. 2	
	-----	-----	-----	-----
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
7.2.9 Kapasitetsøkning behandlingsanlegg v/Wallenberg sjakt Q = 40 l/s. Tillegg 10 l/s fra Løkken sentrum	--	--	--	1,00
7.2.10 Pumpestasjon i pkt. A Q _{dim} = 20 l/s. Overføring til utjevningsmagasin i pkt. D	--	--	0,30	--
7.2.11 Tetting av Raubekken Prefabrikerte betongelementer med plasstøpte vanger. Drensrør i bunn bekk. * Strekning A-B 450 m, 3,45 mill.kr. * Strekning A-C 150 m, <u>1,25 mill.kr.</u>	--	4,70	--	4,70
7.2.12 Wallenberg sjakt. Opphenting av grunnvann * Styrerør fastboltet til sjaktvegg Lengde 100 m. 2 grunnvannspumper i syrefast utførelse.	0,60	--	0,80	--
7.2.13 Overføring Wallenberg sjakt - utjevningsmagasin * Ledning til pkt. D 1300 m	1,20	--	--	--
7.2.14 Slamdeponi * Etablering. Kapasitet ca. 800.000 m ³	2,00	--	2,00	--
----- Sum anleggskostnader mill.kr. =====	13,25	7,65	12,55	7,65

De beskrevne anleggsdelene i de ulike alternativene er kostnadsberegnet og summert som totalinvesteringer for alternativene 1 og 2. I kostnadssammensstillingene er beregnede kostnader for tetting av Raubekken samt grunnvannsbrønner utover en observasjonsbrønn medtatt i fase 2. Overstående kostnader vil i hovedsak bli de samme i både alternativ 1 og 2.

7.3 Årskostnader

For hvert alternativ er beregnet årskostnader som sum av kapitalkostnader og driftskostnader.

Ved beregning av kapitalkostnader er benyttet en rentefot på 7 % og 20 års midlere avskrivningstid for anlegget. Dette gir en annuitetsfaktor på 9,44 %. Drifts- og vedlikeholdskostnader for pumpestasjoner og behandlingsanlegg er beregnet som 5 % av anleggskostnadene. Energikostnader til pumping er beregnet med en energipris på 30 øre/kWh inkl. eventuell effektavgift.

Kjemikaliekostnader, kalk som CaO, er i utgangspunktet forutsatt 50 % for alt. 2 i forhold til alt. 1. Kalkmengden i alt. 1 er beregnet til ca. 1000 tonn/år og i alt. 2 til ca. 500 tonn/år. Transportkostnadene for avvannet slam er beregnet etter 60 kr/m³ avvannet slam.

Slamproduksjonen i alt. 1 er i fase 1 beregnet til 3000 tonn/år og i fase 2 til 4000 tonn/år. Slammengden i alt. 2 er i fase 1 beregnet til 1500 tonn/år og i fase 2 til 2000 tonn/år.

7.3.1 Alternativ 1 - Fase 1

Kapitalkostnader 13,25 mill.kr. x 9,44 %	1.250.000,-
Drifts og vedlikehold 13,25 mill.kr. x 5 %	660.000,-
Energi 10 l/s x 100 m = 43.000,-	
0,5 x 20 l/s x 50 m = <u>22.000,-</u>	65.000,-
Kjemikalie 800 tonn à kr. 1.200,-	960.000,-
Transport 3000 tonn à kr. 60,-	<u>180.000,-</u>
Sum årskostnader alt. 1 fase 1	3.115.000,-
=====	

7.3.2 Alternativ 1 - Fase 2

Kapitalkostnader 20,90 mill.kr. x 9,44 %	1.975.000,-
Drift og vedlikehold 20,90 mill.kr. x 5 %	1.045.000,-
Energi 10 l/s x 100 m 43.000,-	
0,5 x 30 l/s x 50 m <u>32.000,-</u>	75.000,-
Kjemikalie 1000 tonn à 1.200,-	1.200.000,-
Transport 4000 tonn à 60,-	<u>240.000,-</u>
Sum årskostnader Alt. 1 fase 2	4.535.000,-
=====	

A0421/90-040

7.3.3 Alternativ 2 - Fase 1

Kapitalkostnader 12,55 mill.kr. x 9,44 %		1.185.000,-
Drift og vedlikehold 12,55 mill.kr. x 5 %		625.000,-
Energi 30 l/s x 90 m	116.000,-	
20 l/s x 50 m	<u>44.000,-</u>	160.000,-
Kjemikalie 400 tonn à 1.200,-		480.000,-
Transport 1500 tonn à 60,-		<u>90.000,-</u>
Sum årskostnader Alt. 2 fase 1		2.540.000,-
=====		

7.3.4 Alternativ 2 - Fase 2

Kapitalkostnader 20,20 mill.kr. x 9,44 %		1.910.000,-
Drift og vedlikehold 20,20 mill.kr. x 5 %		1.010.000,-
Energi 40 l/s x 90 m	155.000,-	
30 l/s x 50 m	<u>65.000,-</u>	220.000,-
Kjemikalie 500 tonn à 1.200,-		600.000,-
Transport 2000 tonn à 60,-		<u>120.000,-</u>
Sum årskostnader Alt. 2 fase 2		3.860.000,-
=====		

7.3.5 Sammenstilling årskostnader - Fase 1

	Alt. 1	Alt. 2
Kapitalkostnader	1.250.000,-	1.185.000,-
Drift og vedlikehold	660.000,-	625.000,-
Energi/kjemikalier/slamtransp.	<u>1.205.000,-</u>	<u>730.000,-</u>
Sum årskostnader fase 1	3.115.000,-	2.540.000,-
=====		

A0421/90-040

7.3.6 Sammenstilling årskostnader - Fase 2

	Alt. 1	Alt. 2
Kapitalkostnader	1.975.000,-	1.910.000,-
Drift og vedlikehold	1.045.000,-	1.010.000,-
Energi/kjemikalier/slamtransp.	1.515.000,-	940.000,-
Sum årskostnader fase 2	4.535.000,-	3.860.000,-

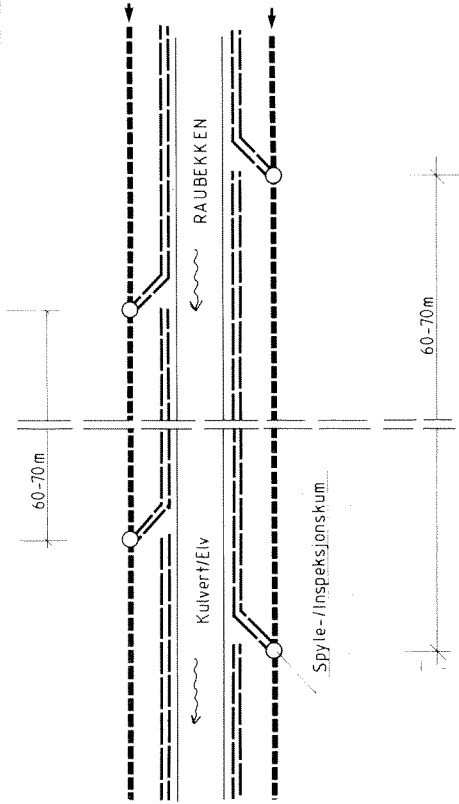
Drammen, 30. april 1990

Sivilingeniør
Carl-H Knudsen A/S
Rådgivende ingeniører MRIF

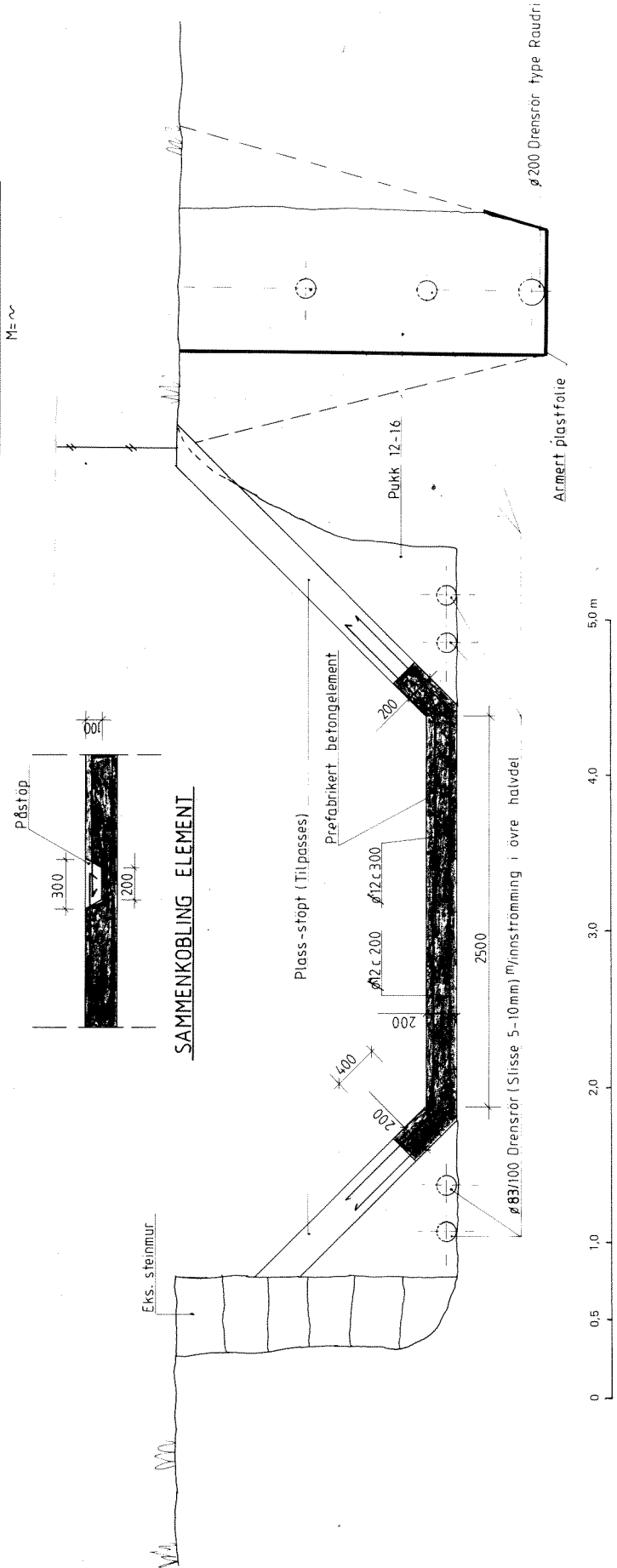


C-H Knudsen

REV	REVIDERENGEN OMFATTER		SIGN	DATE
	CHK KONTAKTMANN O. Høydaal Drammen, 30 apr 91	CARH KNUDSEN AS NIVÅ LØKKEN GRUVER OPPSAMLING OG RENSING AV SIGEVANN OG GRUNNVANN TETTING AV RAUBEKKEN		
	DRAMMEN TELEFON: 39 52 94 00 TELEFAX: 39 52 94 01 TELEPOST: 39 52 94 02 E-POST: 39 52 94 03	TEKNISKE DATA A04.21 1001		






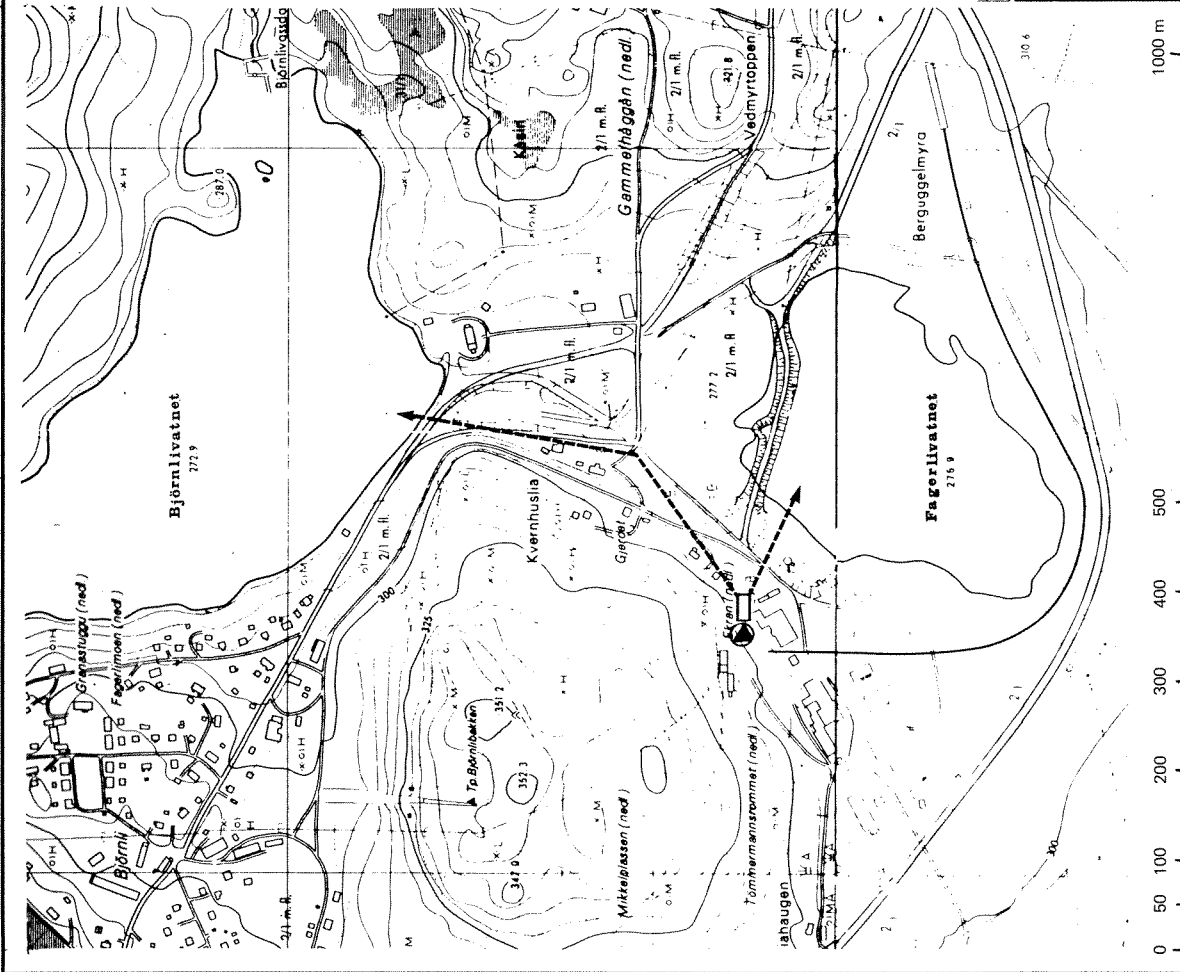
PRINSIPP DRENS-SYSTEM



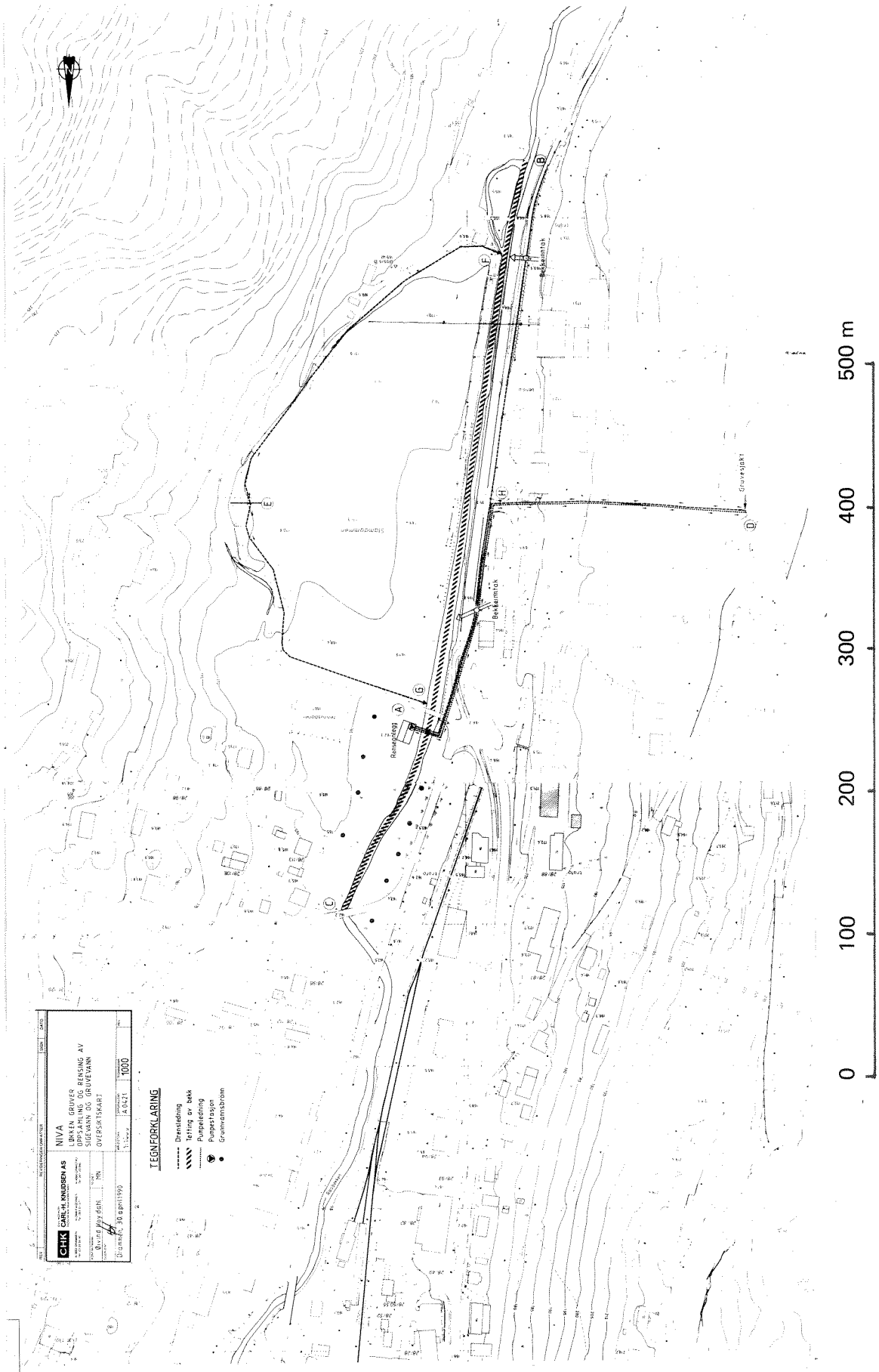
GENERELT SNITT

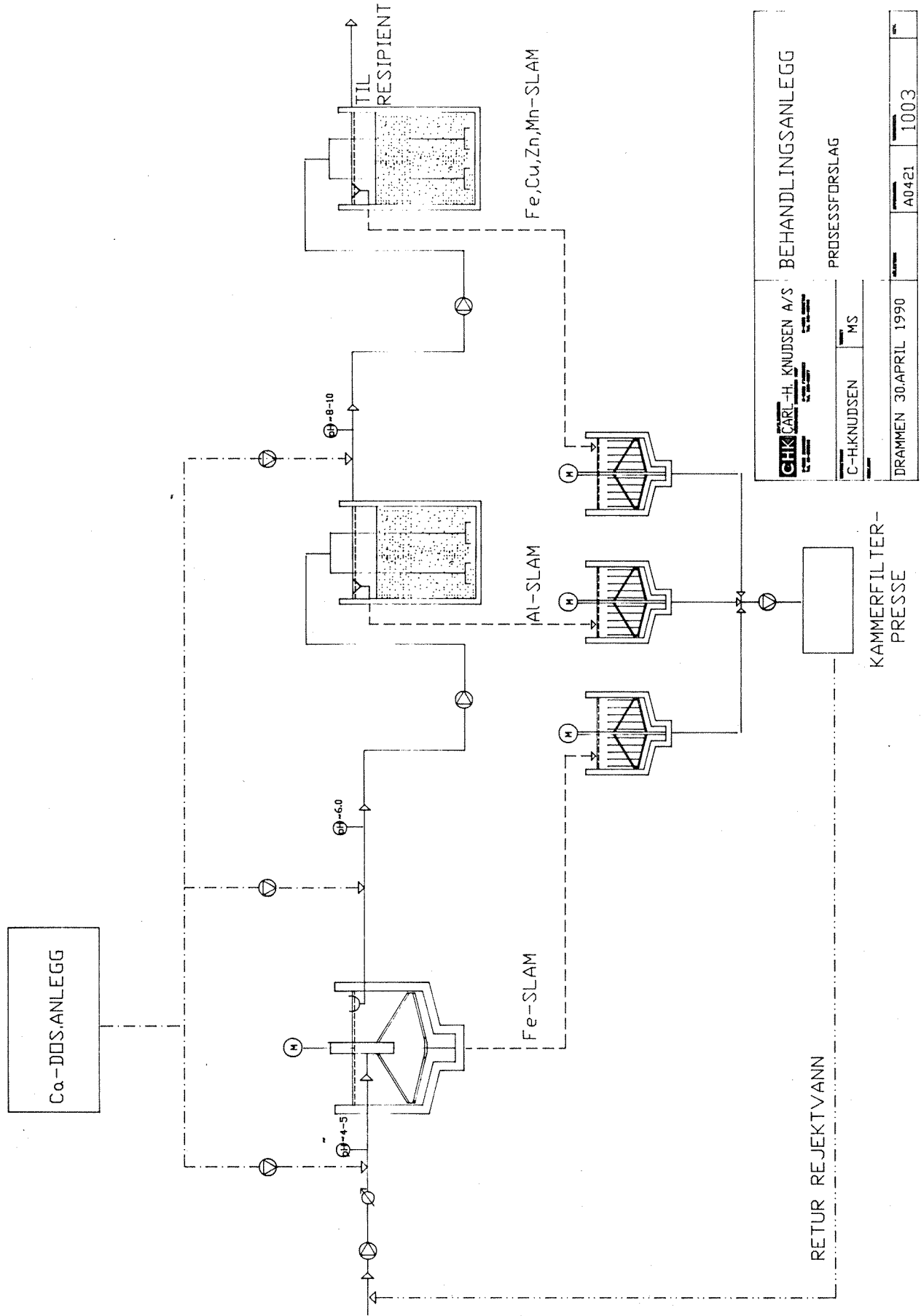
TEGNFORKLARING

-  Pumpestasjon i sjakt
-  Ledning for gruvevann
-  Renseanlegg



REV.	REVIDERENGEN OMFATTER	SGN	DATE
<p>CHIK SIVILINGENIØR CARL-H. KNUDSEN AS RÅDGIVENDE INGENIØRBYRÅ</p> <p>N: 2000 CRAMMEN Tlf: 02-42 80 40</p> <p>N: 2000 FAGERVANN Tlf: 02-41 077</p> <p>N: 2000 GRUVEVANN Tlf: 02-43 840</p>			
<p>KONTRAKTMANN Øivind Høydaahl</p>		<p>TEGNET MN</p>	
<p>Drammen, 30. april 1990</p>		<p>MALESTOKK A0421</p>	
		<p>TEGNINGSNR 1002</p>	
REV			





CHK CARL-H. KNUDSEN A/S <small>TEKNIKKONTORET</small> <small>DRAMMEN</small>	BEHANDLINGSANLEGG	
	PROSESSFORSLAG	
C-H.KNUDSEN	MS	
DRAMMEN 30.APRIL 1990	A0421	1003

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69, Korsvoll
0808 Oslo 8

ISBN 82-577 -1705-3