



RAPPORT LNR 5306-2006

# Kontroll av massebalanse i Løkken gruveområde i Meldal kommune

Undersøkelser i perioden  
01.09.2005-31.08.2006



*Gruveavfall på Løkkensiden 1984  
Foto: Eigil Iversen*

**Hovedkontor**

Gaustadaléen 21  
0349  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

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

**Vestlandsavdelingen**

Postboks 2026  
5817 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Kontroll av massebalanse i Løkken gruveområde i Meldal kommune. Undersøkelser i 2005-2006	Løpenr. (for bestilling) 5306-2006	Dato 27.november 2006
	Prosjektnr. Undernr. O-25176	Sider 66
Forfatter(e) Iversen, Eigil Rune	Fagområde Miljøgifter	
	Geografisk område Sør-Trøndelag	Trykket 2006

Oppdragsgiver(e) Bergvesenet	Oppdragsreferanse Best. nr. 12/05
---------------------------------	--------------------------------------

**Sammendrag**

Tiltaksplanen til Løkken Gruber som ble satt i drift i 1992 har vært fulgt opp i alle år med et særskilt program. Etter at en påviste en betydelig forverring i vannkvaliteten til utgående vann fra gruva i 2004-2005, ble den foreliggende undersøkelsen startet for å gi mer informasjon om årsaker og gi et bedre grunnlag for nye tiltaks vurderinger. En har hatt å gjøre med problemer. Det som har hatt størst betydning er at en måtte ta nødoverløp til Raubekken som følge av at innløpet i gruva var gått tett. Etter at innløpet i gruva ble lagt om høsten 2005, har situasjonen bedret seg for utgående vann ved Wallenberg pumpestasjon. Det er ikke påvist noen vesentlige endringer ved forurensningskildene i området. Man vil derfor være avhengig av tiltak som virker i området for å beholde dagens gode vannkvalitet i Orkla. Det knytter seg usikkerhet til hvor lenge eksisterende tiltaksplan vil gi tilfredsstillende effekt. Dette gjør det nødvendig med god kontroll med tilstanden i lang tid framover.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kisgruve</li> <li>2. Drensvann</li> <li>3. Tungmetaller</li> <li>4. Løkken Verk</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pyrite Mining</li> <li>2. Acid Rock Drainage</li> <li>3. Heavy Metals</li> <li>4. Loekken mine, Norway</li> </ol>
---	--



*Eigil Rune Iversen*  
Prosjektleder



*Helge Liltved*  
Forskningsleder  
ISBN 82-577-5037-9

*Jarle Nygard*  
Fag- og markedsdirektør

O-25176

**Kontroll av massebalanse i Løkken gruveområde i  
Meldal kommune**

Undersøkelser i 2005-2006

## Forord

Undersøkelsene i Løkken gruveområde i 2005-2006 er finansiert av Bergvesenet. Vår kontaktperson har vært Steinar Nilssen.

NIVAs instrumentral ved Arne Veidel og Morten Willbergh har vært ansvarlig for montasje og drift av målestasjonene for vannføring.

Vi vil takke Orkla Industrimuseum og Meldal kommune for all assistanse under montasje av målestasjoner og for den rutinemessige prøvetaking. Vi vil også takke Kraftverkene i Orkla som har hatt ansvaret for prøvetakingen i Raubekken og i Orkla og for hjelp under montasje av vannstandslogger i Raubekken.

Oslo, 27. november 2006

*Eigil Rune Iversen*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>8</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>9</b>
<b>2. Løkken gruveområde</b>	<b>11</b>
2.1 Kort historisk oversikt	11
2.2 Forurensningskilder	12
2.2.1 Gruveavfall	12
2.2.2 Gruvevann	13
2.2.3 Avgangen i Bjønndalsdammen	14
2.3 Gjennomførte tiltak	14
2.3.1 Tidligere tiltak	14
2.3.2 Løkken Grubers tiltaksplan	14
2.4 Spredningsveier	15
2.4.1 Drenering mot Bjørnlivatn	15
2.4.2 Drenering fra Løkkensiden til Raubekken	15
<b>3. Resultater</b>	<b>17</b>
3.1 Tidligere undersøkelser	17
3.2 Arbeidsopplegg	17
3.2.1 Etablering av målestasjoner	17
3.2.2 Prøvetaking og analyse	18
3.3 Hydrologi og klima	19
3.4 Vannkvalitet på Løkkensiden	21
3.4.1 Stasjon A. Stallgata pumpestasjon	21
3.4.2 Stasjon B. Drenerør fra Nordre berghald	21
3.4.3 Stasjon C. Grøft i Gammelgruva	22
3.5 Vannkvalitet på Bjørnlivatsiden	23
3.5.1 Bjønndalsdammen	23
3.5.2 Fagerlivatn	24
3.5.3 Wallenberg sjakt – Wallenberg pumpestasjon	25
3.5.4 Utløp Bjørnlivatn	30
3.5.5 Astrup gruveområde	32
3.6 Vassdragsstasjoner	33
3.6.1 Raubekken ved inntak kraftverk	33
3.6.2 Orkla ved Vormstad	34
<b>4. Massebalanse</b>	<b>37</b>
4.1 Vannbalanser	37
4.1.1 Bjørnlivatn - Raubekken	37
4.1.2 Vannbalanse på Wallenberg gruve	39
4.2 Materialbalanse på Wallenberg gruve	43
4.3 Forurensningstransport fra hovedkildene	47

---

<b>5. Samlet vurdering</b>	<b>49</b>
<b>6. Referanser</b>	<b>52</b>
<b>Vedlegg A. Fysisk/kjemiske analyseresultater</b>	<b>53</b>
<b>Vedlegg B. Kart over Wallenberg gruveområde</b>	<b>65</b>

## Sammendrag

Tiltaksplanen til Løkken Gruber fra 1991 tok sikte på å samle opp mest mulig forurenset drensvann på Løkkensiden og lede dette inn i Wallenberg gruve for å utnytte gruvas kapasitet til å adsorbere kobberioner. Vannstanden i gruva har vært holdt ved å pumpe fra Wallenberg sjakt. Inngående vann får derved en lang oppholdstid i den vannfylte gruva. Pumpestasjonen har avløp til Fagerlivatn som igjen har avløp til Bjørnlivatn og videre til Raubekken. Tiltaksplanen har vært fulgt opp etter et rutineprogram i alle år etter at tiltaket ble satt i drift i 1992. Etter 1995 har Bergvesenet hatt ansvaret for de oppfølgende kontrollundersøkelsene mens Meldal kommune har hatt ansvaret for den tekniske driften av pumpestasjoner og rutinemessig prøvetaking. NIVA har foretatt kjemisk analyse av kontrollprøver. I tillegg er det gjennomført utvidede undersøkelser i gruveområdet i tre perioder i 1992/1993, i 1997/1998 og i den foreliggende som gir en beskrivelse av situasjonen i perioden 2005/2006 pr. 31. august 2006.

I 2002 ble det påvist en kortvarig forverring i vannkvaliteten til utgående vann fra Wallenberg pumpestasjon. Denne situasjonen oppsto igjen i 2004-2005. Denne gang var problemene av mer langvarig art og en kunne også påvise økte kobberkonsentrasjoner i Orkla i 2005. Dette er bakgrunnen for gjennomføring av denne siste undersøkelsen.

Det er kartlagt at en har hatt med to problemer å gjøre:

1. Det som har hatt størst betydning for forurensningssituasjonen, er økte utslipp fra Løkkensiden da en måtte føre drensvann som nødoverløp til Raubekken fordi innløpet i gruva var i ferd med å gå tett. Det ble da besluttet å flytte innløpet av oppsamlet drensvann fra Løkkensiden til Gammelsjakta. Disse arbeidene ble avsluttet høsten 2005.
2. Det andre alvorlige problemet var at pH-verdien i utgående vann fra Wallenberg sjakt var falt betydelig fra 5,5 til under 3. Dette medførte også økte tungmetallutslipp. Det ble påvist at årsaken til problemene hadde sammenheng med gjennomslag av survann fra Løkkensiden. Gruva greide ikke lenger å heve pH-verdien i inngående vann noe som førte til økte metallutslipp. De økte utslippene var imidlertid ikke så store at de hadde noen vesentlige konsekvenser for vassdraget nedenfor. Etter at omleggingen av drensvann til Gammelsjakta ble avsluttet, er vannkvaliteten til utgående vann fra Wallenberg pumpestasjon nå forholdsvis lik situasjonen slik den var før forurensningsproblemen startet. Det knytter seg imidlertid fortsatt usikkerhet til den langsiktige effekten av dette tiltaket. Den videre utvikling vil bli avgjørende for hvilke nye tiltak som må gjennomføres.

Selv om disse problemene ikke hadde noen vesentlig betydning for Orkla, var de likevel godt synlige i lokalmiljøet da det store utslippet av jern til Fagerlivatn satte et synlig preg på dette vassdragsavsnittet. Økte metalltilførsler til Raubekken satte også et synlig preg på bekken. Det er imidlertid klart at det ikke er akseptabelt at det etablerer seg en permanent situasjon med så lav pH-verdi i utgående vann fra gruva.

Det er ikke funnet noen vesentlige endringer i vannkvaliteten til inngående vann til gruva. De to største kildene er som før avrenning fra Nordre berghald og fra den mye mindre tippet med magnetittmalm som er deponert over de gamle gruveåpningene. Forvitningsaktiviteten er størst i den sistnevnte tippet. Et av problemene i området er at belastningen på gruva kan variere svært mye over korte tidsrom. Belastningen på gruva er i stor grad styrt av klima og nedbørforhold og skjer i form av kraftige støtbelastninger. Mesteparten av årsbelastningen foregår i nedbørrike perioder med mye regn.

For det hydrologiske året 2005-2006 har en beregnet følgende nøkkeltall for materialtransporten i Løkken gruveområde:

<b>Kilde</b>	<b>SO<sub>4</sub> Tonn/år</b>	<b>Fe Tonn/år</b>	<b>Cu Tonn/år</b>	<b>Zn Tonn/år</b>	<b>Cd Kg/år</b>	<b>Al Tonn/år</b>
Tilførsler til Wallenberg gr.	1701	306	25	24	91	68
Ut av Wallenberg pst.	926	69	0,98	7,7	16	6,5
Ut av Bjørnlivatn	1458	10	3,3	14	34	12
Transport i Raubekken	4100	130	18	46	119	69
Differanse (=Løkkensiden)	2630	120	15	32	85	57

Tilførslene fra de kildene som tiltaksplanen omfatter er fortsatt så stor at avrenningen ikke kan føres på Raubekken uten at det vil ha konsekvenser for forurensningssituasjonen i Orkla. En er derfor fortsatt avhengig av tiltak i området som virker.

Når det gjelder vannbalansen på gruva, kunne en i året 2005-2006 gjøre rede for ca 1/2-parten av inngående vannmengder til gruva. Av de 600.000 m<sup>3</sup> som ble pumpet ut av gruva gjennom Wallenberg pst. kom 18 % via drenerøret fra Nordre berghald, 12 % fra Stallgata pst, 12 % fra grøfta i Gammelgruva og 8 % fra Astrup gruve. De resterende vannmengder, ca 300.000 m<sup>3</sup>, blir hovedsakelig tilført gruva gjennom rasområdet i Fagerliåsen, via Fearnley sjakt, gjennom Gammelsjakta og som naturlige tilførsler gjennom berggrunnen.

Undersøkelsen gir ikke holdepunkter for å endre noen av konklusjonene fra tidligere undersøkelser der en har drøftet årsaker og virkninger til de prosesser som finner sted i den vannfylte gruva og som også er grunnlaget for tiltaksplanen fra 1991.



## Summary

Title: Loadings of heavy metals in the Lokken mining area, Norway

Year: 2006

Author: Eigil Rune Iversen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5037-9

The abandoned Loekken pyrite mine has for long time been the most polluting pyrite mine in Norway. During the operational period the mine water was the main source of pollution. Different mitigative measures were carried out between 1972 and 1992. Flooding the 450 m deep mine in the period from 1983 to 1992 and pumping acid drainage from the dumps through the flooded mine led to a 95 % reduction of the copper run-off from the area. The initial pH of the mine water was about 2.3. After flooding the pH raised to 5.5-6. In 2002-2005 pH in the outcoming water dropped from 6 to below 3 in periods. Elevated concentrations of copper, zinc, aluminium and ferrous iron were observed as well. At the end of 2005 the acid drainage was diverted to an alternative shaft. This led to a positive effect. However, the positive effect may be limited in time and a continuous monitoring programme will be necessary for indefinite time. In 2005-2006 a third run-off study in the mining field was accomplished. No significant changes in the transport of pollutants from the most important sources were observed. It was however found that the acid drainage from the dumps is moving through the two upper levels of the mine. Consequently, the retention time is in the range of some months. The theoretical retention time in the flooded mine is about 8 years.

# 1. Innledning

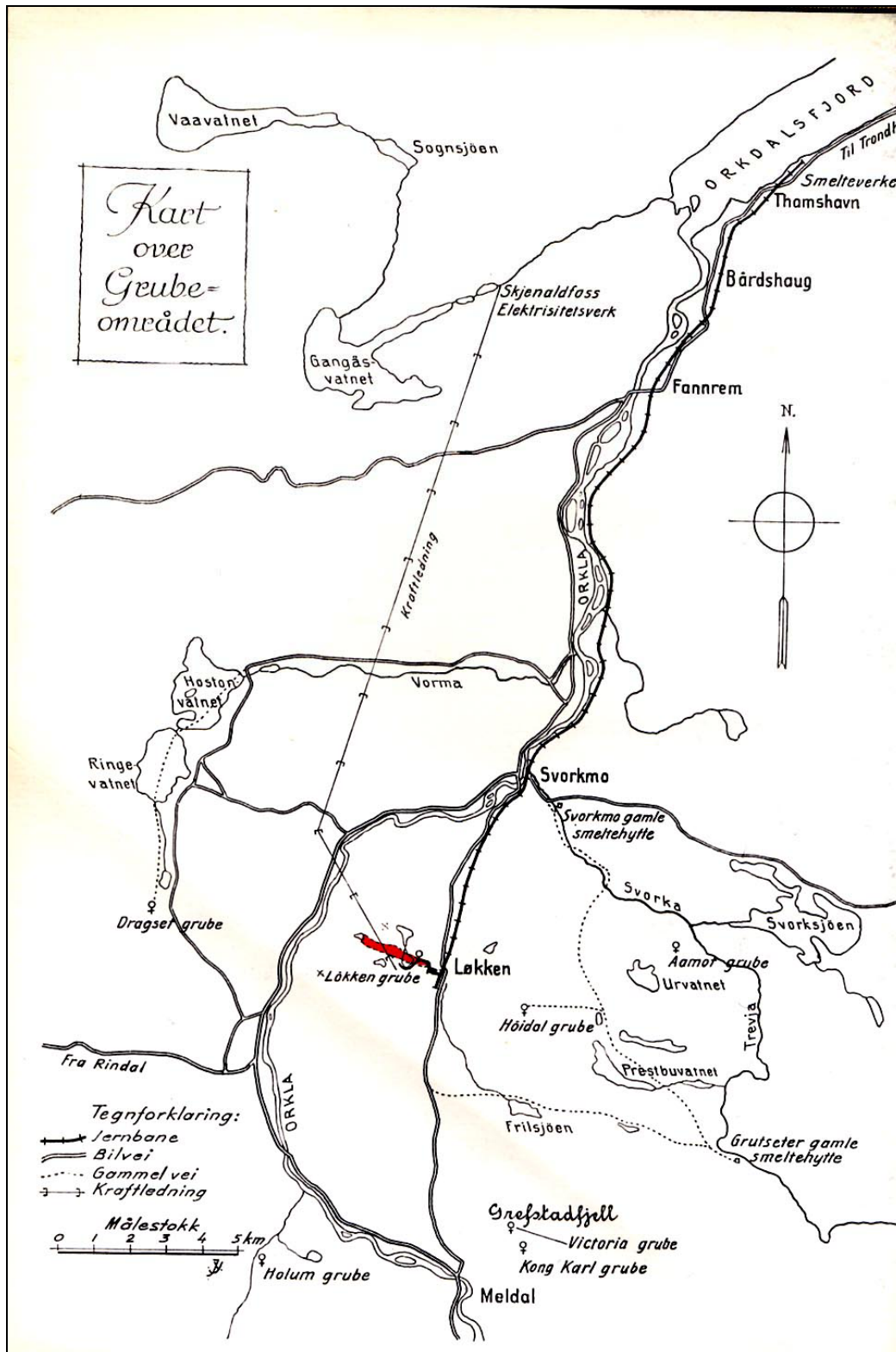
Løkkengruva har lenge forårsaket forurensningsproblemer i nedre del av Orklavassdraget. Det nye gruveselskapet som ble etablert i 1909 var allerede den gang klar over forurensningsproblemene og spesielt den virkning utslipp av kobber hadde på laksefisk. Etter hvert som produksjonen og den nye stordriften kom i gang, medførte dette også en betydelig økning i utslippene. Selskapet grep fatt i problemene og startet allerede i 1928 et omfattende miljøprogram. Dette var nesten 50 år før noe tilsvarende ble startet ved andre kisgruver i Norge. Det ble opprettet en rekke prøvetakingsstasjoner i gruveområdet og i vassdraget. Det ble utført tungmetallanalyser med den beste teknikken som var til rådighet og det ble også målt vannføringer slik at det var mulig å sette opp forurensningsbudsjetter for kildene. Flere av de valgte stasjonene omfattes også av dagens undersøkelsesprogram. Ut over i 1930-årene ble problemene så store at det var nødvendig å vurdere rensetiltak. Det ble startet forsøk med kalking av dreinsvann. Avfallet fra den perioden er deponert i området (se den brune haugen omtrent midt i forsidebildet). I 1950 ble det bygget en separat rørledning for gruvevann ned til Thamshavn med utslipp i Orkdalsfjorden for å redusere problemene i selve Orkla. Dette tiltaket var i drift fram til 1984 da en stoppet pumping av gruvevann. I en periode mens smelteverket var i drift ble det tatt ut kobber fra gruvevannet vha felling som kobbersulfid vha dannet hydrogensulfid under smelteprosessen.

Norsk institutt for vannforskning overtok miljøprogrammet for gruveselskapet i 1974 i forbindelse med driften av det nye avgangsdeponiet i Bjønndalen. Programmet pågikk fram til 1995. Orklavassdraget ble regulert i begynnelsen av 1980-årene og i den forbindelse ble det gjennomført omfattende undersøkelser i nedbørfeltet. I perioden 1980-2004 har oppfølgingen av forurensningstilstanden i Orkla vært omfattet av det Statlige program for forurensningsovervåking. Etter 1995 har tilstanden i gruveområdet vært fulgt opp vha avsatte fondsmidler. Bergvesenet har hatt ansvaret for oppfølging av tiltaksplanen til Løkken Gruber, mens Meldal kommune har hatt ansvaret for drift av pumpestasjoner og prøvetaking etter avtale med Bergvesenet.

Løkken Gruber fikk godkjent sin tiltaksplan i 1991. Denne har hatt som strategi å utnytte den vannfylte Wallenberg gruves kapasitet til å adsorbere kobberioner. Forurenset dreinsvann på Løkkensiden ble samlet opp og ledet inn i Gammelgruva mens vannstanden i gruva stabiliseres ved pumping fra Wallenberg sjakt med utslipp av vann til Fagerlivatn som har avløp til Bjørnlivatn. Tiltaket ble satt i drift i april 1992. Programmet som NIVA har gjennomført i tiden etter har vært enkelt, men tilstrekkelig for å ha en oversikt over situasjonen.

Da en begynte å observere dårligere vannkvalitet i utgående vann fra Wallenberg pumpestasjon i 2002, ble prøvetakingsopplegget forsterket. I 2005 ble situasjonen vurdert å være så alvorlig at Bergvesenet fant det nødvendig å foreta en mer omfattende kartlegging i området og en oppdatering av det erfaringsmaterialet som ble innhentet ved tilsvarende utvidede undersøkelser som ble gjennomført i 1992-1993 og i 1997-1998. Norsk institutt for vannforskning utarbeidet et programforslag for de nye undersøkelsene i brev av 28. april 2005 som ble lagt til grunn for undersøkelsene. Undersøkelsene har omfattet månedlig prøvetaking ved 7 prøvetakingsstasjoner i gruveområdet og i vassdraget. I tillegg måling av vannføring kontinuerlig ved 6 stasjoner med fjernavlesning fra NIVA ved 3 av stasjonene. Hensikten med programmet er å beregne massebalanse for forurensningskomponenter inn og ut av den vannfylte gruva, beregne vannbalansen på gruva og beregne forurensningstransport fra de to hovednedbørfelter i Løkken gruveområde. En får derved også en bedre oversikt over virkningsgraden til tiltaksplanen. I tillegg er det også tatt en del supplerende prøver ved andre lokaliteter som i Bjønndalsdammen, Wallenberg sjakt og i Fagerlivatn

Feltundersøkelsene ble startet i juli 2005 og ble avsluttet 31. august 2006. Programmet ble foreløpig forlenget med ett år fram til 31.08.2007. Denne rapporten gir en beskrivelse av situasjonen pr. 31. august 2006.



**Figur 1.** Kart over nedre del av Orklavassdraget med markering av Løkken grubeområdet (kilde: Løkken Verk 1654-1954, En norsk grube gjennom 300 år. Orkla Grube-Aktiebolag, 1954).

## 2. Løkken gruveområde

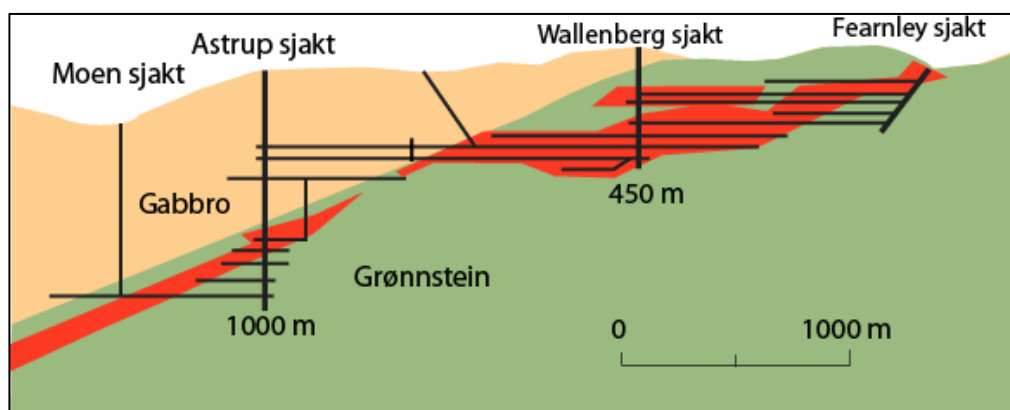
### 2.1 Kort historisk oversikt

Løkkenforekomsten ble oppdaget i 1652 og den første driften ble satt i gang i 1654. Gruvedriften på Løkken pågikk i 333 år fram til 1.juli 1987 da driften ble nedlagt. Området hører derfor til de eldste områdene for kisgruvedrift i Norge. Over et så langt tidsrom har virksomheten vært mangesidig. En rekke forskjellige driftsformer og oppredningsprosesser er benyttet. Dette er også årsaken til at forurensingssituasjonen i området er så kompleks idag.

I de første hundreårene fram til 1844 ble gruva drevet som en kobbergruve med lokal røsting og smelting av kobbermalm ved smeltehytter på Svorkmo og Grutseter. Virksomheten var relativt beskjeden i de første hundreårene, selv etter norsk målestokk. I 1851 ble driften omlagt til kisdrift. Kisen ble eksportert og ble benyttet som råstoff for produksjon av svovelsyre. I 1909 skjedde en ny stor omlegging som også fikk stor betydning for forurensningssituasjonen. Produksjonen ble økt betydelig og nye moderne prosesser ble tatt i bruk. Kisen ble eksportert. I en periode ble det også produsert svovel ved smelteverket på Thamshavn, mens restmetallene ble eksportert for videreforedling. I 1974 skjedde den siste store endringen i oppredningsprosessen. Man gikk over til produksjon av kobber- og sinkkonsentrat vha selektiv flotasjon mens svovelkis/magnetkis ble deponert under vann i den nyanlagte dammen i Bjønndalen.

I tillegg til hovedgruva på Løkken har det også vært drift ved flere satelittgruver: Dragset Verk, Høydalsgruva, Åmot gruve og Grefstadjellet gruver (se figur 1). Forurensningssituasjonen ved disse er beskrevet tidligere (Iversen, 1996) og omfattes ikke av denne rapporten.

Driften ved Løkkengruva startet som et dagbrudd og endte til slutt ca 1000 meter under overflaten. Løkkengruva kan deles inn i 3 hovedområder, Gammelgruva, Wallenberg gruve og Astrup gruve. Figur 2 viser en prinsippskisse av Løkkengruva i vertikalsnitt med markering av malmkroppen, sideberget og de viktigste sjaktene.



**Figur 2.** Prinsippskisse av Løkkengruva.

I vedlegg B bak i rapporten er vist et kart over Wallenberg gruveområde med Gammelgruva.

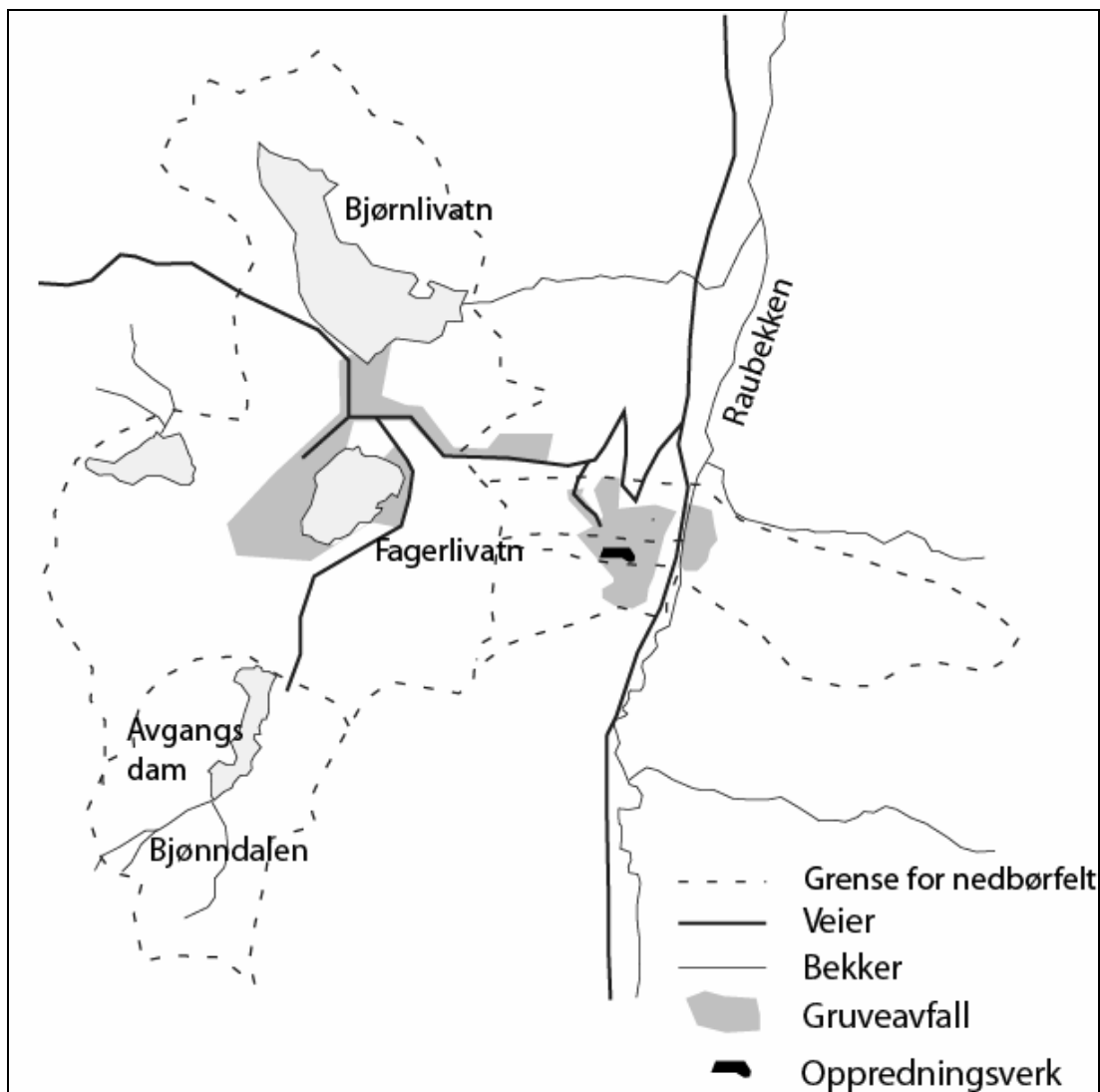
## 2.2 Forurensningskilder

### 2.2.1 Gruveavfall

I Løkken gruveområde er det deponert mye avfall av forskjellig opphav. Selv om en del er gammelt avfall i området som er lagt ut før stordriften startet i 1909, er mesteparten lagt ut i perioden 1909-1987. NIVA gjennomførte en tiltaksutredning i 1989 (Øren et al, 1990) der det bl.a ble gitt en oversikt over de viktigste avfallstypene og deres innbyrdes betydning. Det ble den gang tatt ut forholdsvis store prøvemengder av avfallet (vha boring og med gravemaskin) som ble knust ned på gruvas laboratorium før analyse. Avfallet er samlet i de to hovedområder:

- Avfall på Løkken-siden og som drener til Raubekken
- Avfall i Fagerlivatn/Bjørnlivatn-området som drenerer til Liabekken som har innløp i Raubekken nedstrøms Løkken sentrum

Figur 3 viser Løkken gruveområde med markering av det viktigste gruveavfall. I tabell 1 og tabell 2 er samlet noen nøkkeltall for avfallet.



**Figur 3.** Kart over Løkken gruveområde med markering av gruveavfall.

**Tabell 1.** Gruveavfall på Løkkensiden

Utlagt	Avfall	Tonn	%S	%Cu	%Zn
1920-1968	Søndre berghald	254.000	5	0,1	0,03
1670-199	Tipp utenfor Gammelgruva	115.000	3	0,1	0,02
1654-1958	Nordre berghald	330.000	13,8	0,35	0,50
1968-1971	Magnetittmalm	57.000	22,5	1,04	1,00
1952-1974	Ovenfor flotasjonsverk	21.000			
1963	Vei Vedmyrtoppen	38.500	6	0,35	0,50
	<b>Sum velter</b>	<b>816.000</b>			
19??-1974	Slamdam Løkken, sum	138.500	25,5	2,43	2,23
1987-1988	Gruveberg, overdekking	46.300	2,0	0,10	0,10
1987-1988	Synk/flyt-avgang, overdekking	6.900	1,2	0,05	0,05
	<b>Sum slamdam Løkken</b>	<b>192.000</b>			

**Tabell 2.** Gruveavfall på Fagerlivatn/Bjørnlivatn-siden

Utlagt	Avfall	Tonn	%S	%Cu	%Zn
1916-1949	Gruveberg	650.000	2,0	0,10	0,15
1961-1965	Gruveberg	151.000	3,0	0,15	0,20
1966-1983	Gruveberg	200.000	4,0	0,15	0,20
1983-1987	Gruveberg	70.000	2,0	0,10	0,10
1964-1965	Skeidet berg	26.000	6,7	0,30	0,70
1964-1965	Synk/flyt-avgang	67.000	4,5	0,35	0,40
1964-1965	Jig-avgang	11.000	9,0	0,50	0,50
1951-1974	Flotasjonsavgang	500.000	4,4	0,30	0,35
1971	Gruveberg/Synk-flytavg-jig-avg. (vei-Moshaugen-råmalmsilo)	126.000			
	<b>Sum avfall</b>	<b>1.801.000</b>			
1974-1987	Flotasjonsavgang, Bjønndalen	3.245.000	36,3	0,24	0,32
	<b>Samlet sum avfall</b>	<b>5.046.000</b>			

I tillegg til dette er det også benyttet en god del forurensende masser i veier og til andre oppfyllingsformål i hele området. I perioder med nedbør er dette lett synlig på sigevannet.

Ved undersøkelsen i 1988-1989 (Øren et al, 1990) ble det funnet at veltene på Løkkensiden bidro med nærmere 90 % av total avrenning av kobber fra området. I den perioden var det intet utslipp av gruvevann.

### 2.2.2 Gruvevann

Under driftsperioden var gruvevannet i særklasse den største forurensingskilden i området. Gruveselskapet startet regelmessige analyser av det utpumpede vannet allerede i 1928 og foretok også kontroll av vannmengdene slik at transporten kunne beregnes. Gruvevannet ble pumpet direkte på Raubekken fram til 1952. Da konsentrasjoner og vannmengder økte betydelig etter 1948 pga ras omkring Wallenberg sjakt, ble gruvevannet ledet på rørledning fram til Thamshavn for å redusere belastningen på Orkla. Fram til nedleggelsen av smelteverket i 1962 ble gruvevannet rensset for kobber før det ble sluppet ut i fjorden. I perioden fra 1962 og fram til oktober 1983 ble gruvevannet sluppet urensset til fjorden. Fra og med oktober 1983 til april 1992 ble det ikke sluppet ut gruvevann mens Wallenberg gruve var under oppfylling ved naturlig tilsig. Under driftsperioden i Astrup gruve ble gruvevannet herfra pumpet til Wallenberg gruve (1983-1987). I tiden etterpå ble deler av Astrup gruve også vannfylt ved naturlig tilsig, men etter at virksomheten til Nammo NAD kom i gang, ble vannet igjen ledet til Wallenberg gruve gjennom en ventilasjonsstigort (skråsjakten på figur 2).

Pumpestasjonen i Wallenberg sjakt kom i drift i april 1992. Det tas månedlige prøver av utgående vann samtidig som vannmengdene registreres. Pumpa er nivåstyrt slik at når gruve er pumpet ned til laveste nivå, tar det noen tid før pumpa begynner å virke igjen. Det er derfor perioder hvor det ikke er noe utslipp.

Pumpingen fra Astrup er også uregelmessig. Vannspeilet i gruva er senket ved noen anledninger. Dette har periodevis ført til økt belastning på Wallenberg gruve. Vannkvaliteten kan også endre seg mye avhengig av hva slags vann som pumpes. Det brukes en del rent overflatevann for å holde tømmerkledningen av sjakten fuktig. Vannet samles i en sump på nivå 311 for videre transport opp i dagen og ned i orten til Wallenberg. Det foretas registrering av utpumpet mengde.

### **2.2.3 Avgangen i Bjøndalsdammen**

Bjøndalsdammen ble bygget for å motta avgang fra den nye oppredningsprosessen som ble igangsatt i 1974. Som oppført i tabell 2 er det deponert ca 3,2 mill tonn avgang i dammen med et høyt svovelinnhold. Med et svovelinnhold på 36,3 % og et kobberinnhold på ca 0,2 % innebærer dette at dammen har et meget høyt forurensningspotensiale. Etter at deponeringen opphørte i 1987, ble tilførselen av vann også stoppet. I tiden etter 1987 har det bare vært naturlig tilsig fra et lite nedbørfelt på ca 0,6 km<sup>2</sup>. Vannkvaliteten i dammen er fulgt opp ved noen anledninger, siste gang i juli 2006. Den framtidige utvikling av vannkvaliteten i dammen er vurdert i en NIVA-rapport (Arnesen, 1993). Dette materialet ble senere presentert på konferansen ICARD IV i Vancouver, Canada i 1997 (Arnesen et al, 1997). På grunn av beskjedne avrenning har tilførslene fra dammen liten betydning i det samlede forurensningsbildet.

## **2.3 Gjennomførte tiltak**

### **2.3.1 Tidligere tiltak**

Som tidligere nevnt begynte gruveselskapet å utrede tiltak allerede i mellomkrigsårene. I perioden 1952-1965 ble kobber fjernet fra gruvevannet på smelteverket på Thamshavn der en benyttet overskudd på hydrogensulfid til å fjerne kobber som kobbersulfid. I årene 1968-1973 og i 1975-1977 ble det gjort forsøk på å begrense forurensningstransporten fra avfall i dagen ved å lede bort overflatevann fra veltene på Løkkensiden. Det ble gravet ca 2500 m dreneringsgrøfter. Videre ble ca 75 da av berghaldene overdekket med morenemasse og tilsådd. Avrenning fra gruveavfall overfor veltene ble ledet mot gruva. Veifyllingene mellom Vedmyrtoppen og Berguggelåsen ble også overdekket med løsmasse og jord og tilsådd (Iversen, 1983).

Overdekkingen av avfall fortsatte fram til 1994 i området omkring Fagerlivatn. Avgangsdeponiet på Berguggelmyra som drenerer til Fagerlivatn ble også overdekket med myrjord og tilsådd.

### **2.3.2 Løkken Grubers tiltaksplan**

Etter oppdrag for Løkken Gruber gjennomførte NIVA en utredning av alternative tiltak i gruveområdet i 1990 (Øren et al, 1990). Ingen av disse alternativene ble gjennomført. I januar 1991 foreslo Løkken Gruber selv en egen tiltaksplan som tok utgangspunkt i de erfaringer som var gjort under oppfyllingen av Wallenberg gruve (Løkken Verk, 1991). NIVA gjennomførte regelmessig kontroll av vannkvaliteten i gruve ved prøvetaking i Wallenberg sjakt. Det ble da funnet at i den vannfylte gruva var kobberkonsentrasjonene forholdsvis lave, mens gruvevannet inneholdt mye toverdig jern og sink. Det var tydelig at gruva hadde evne til å adsorbere kobberioner. Denne effekten ble utnyttet i Løkken Gruber tiltaksplan. Forurenset drens vann på Løkkensiden ble samlet opp og ledet inn i Gammelgruva gjennom en synk mens vannstanden ble forutsatt kontrollert ved pumping fra Wallenberg sjakt. Utgående vann ble ledet til Fagerlivatn. Langs Raubekken ble det laget en oppsamlingsgrøft som ble anlagt så dypt som det var forsvarlig uten å ta inn vann fra Raubekken. Da en gravde ut grøfta, fant en surt drens vann under et hardt lag av sammenbrent morene. Det ble også

samlet opp drensvann vha en drensledning under Nordre berghald. Det første overløpet fra pumpestasjonen i Wallenberg sjakt kom i begynnelsen av april 1992.

NIVA har fulgt opp tiltaket i årene som har gått. I to årsperioder ble det gjennomført utvidede undersøkelser i området (Arnesen et al, 1994, Arnesen 1999). En nærmere utredning av de reaksjoner som finner sted i den vannfylte gruva er gitt av Arnesen et al, 1994 og Håøya et al, 1996. På konferansen ICARD IV i Vancouver, Canada ble tiltaket presentert (Arnesen et al, 1997). Konklusjonene fra disse undersøkelsene var at tiltaket var sterkt avhengig av gruvas evne til å heve pH-verdien. Dersom pH i utgående vann faller, vil en observere en kraftig økning i kobberkonsentrasjonene. Det ble også vurdert slik at tiltaket ville ha begrenset levetid, men at en ikke kunne si noe sikkert om tidsperspektivet. En overvåking av tiltaket på ubestemt tid vil derfor være nødvendig.

## **2.4 Spredningsveier**

Avrenningsforholdene i Løkken gruveområdet er meget kompliserte. Når det gjelder overflateavrenningen kan området deles i to hovedfelt:

- Drenering mot Bjørnlivatn
- Drenering fra Løkkensiden til Raubekken

### **2.4.1 Drenering mot Bjørnlivatn**

Følgende kilder drenerer til Bjørnlivatn:

- Bjønndalsdammen har avløp til Fagerlivatn
- Det er deponert gruveberg rundt Fagerlivatn
- Det er deponert avgang i Fagerlivatn som avgir metaller
- Deponiet på Berguggelmyra drenerer til Fagerlivatn
- Det er benyttet gruveberg til veibygging i området
- Wallenberg pumpestasjon har avløp til Fagerlivatn
- Gruvevann fra Astrup gruve ledes inn i Wallenberg gruve

Fagerlivatn har avløp til Bjørnlivatn gjennom en rørledning. Nivåforskjellen mellom Fagerlivatn og Bjørnlivatn er ca 5 meter. Området mellom Fagerlivatn og Bjørnlivatn er gjenfylt. Det er mulig at det også er en grunnvannstilførsel mellom de to innsjøene. Bjørnlivatn var tidligere oppdemmet. En har valgt å beholde dagens vannstand, bl.a for å unngå økt vanninntrengning i gruva. Utløpet av Bjørnlivatn er veldefinert og gir et tilfredsstillende uttrykk for tilførslene fra dette delnedbørfeltet. Bjørnlivatn har avløp til Raubekken via Liabekken.

### **2.4.2 Drenering fra Løkkensiden til Raubekken**

I dette området er avrenningsforholdene kompliserte. Før de siste tiltakene var deler av overflateavrenningen samlet i to mindre bekker som ble kalt Stallgata syd (ved "Dieselen") og bekk ved Langeng (tidligere butikk). I feltundersøkelsene som ble gjennomført i 1989 ble det funnet at disse to bekkene kun representerte ca 30 % av tilførslene fra Løkkensiden til Raubekken. Store deler av avrenningen fra velteområdet skjer derfor gjennom grunnen. Det ble også funnet at disse grunnvannstilførslene strømmer opp i Raubekken i et område mellom Løkken stasjon og biblioteket. Her presses grunnvannet opp da grunnvannstrømmen møter fast fjell som går på tvers av Raubekken.

De gamle gruveåpningene er gjenfylt med avgang og gruveberg. Tippen med den såkalte magnetittmalmen er også deponert over de gamle gruveåpningene. Det går en del drensvann gjennom de gamle gruveåpningene. Vannet samles opp i grøftesystemet i Gammelgruva og ledes inn i gruva.



Dette vannet har aldri hatt avløp direkte til Raubekken etter at pumping av gruvevann ble overført på ledningen til Thamshavn. Det samme kan sies om det vannet som samles opp intern i gruva fra de gamle områdene Indien og Bakindien og som i dag ikke er vannfylte.

Drensgrøfta under Nordre berghald er forbedret og føres inn i Gammelgruva. I perioder med stor avrenning forekommer det at dette vannet må føres på bekken. Drensvann fra områder ovenfor velteområdet føres inn i Gammelsjakta.

I 1991 ble det laget en samlegrøft i Stallgata for oppsamling av mest mulig av det resterende drensvannet fra velteområdet. Det var nødvendig å sprengte gjennom en "hardpan" for å få tak i drensvannet fra veltene ovenfor. Oppsamlet vann pumpes til Gammelgruva fra en pumpestasjon i Stallgata.

Den gamle avgangsdammen som ligger på østsiden av Raubekken ble funnet å bety relativt lite for kobbertilførslene til Raubekken under undersøkelsene i 1989. Sink var viktigste metall i avrenningen fra denne dammen. Avrenningen fra dammen skjer hovedsakelig gjennom grunnen til Raubekken. Nedsetting av grunnvannsbrønner i området tydet på at avrenningen foregikk oppå den omtalte "hardpan".

I tillegg til denne avrenning er det også tilførsler fra mindre mengder gruveavfall som er benyttet til oppfylling til veiformål og rundt bygninger.

Stasjonen i Raubekken er lagt til inntaket i kraftverket. Dette er veldefinert og gir et uttrykk for samlet avrenning fra området. Før overføringstunnelen ble anlagt ble den rutinemessige prøvetaking foretatt i Raubekken ved Salberg eller ved Skjøtskift. Resultatene fra disse stasjonene er sammenlignbare med dagens punkt.

Den foreliggende undersøkelsen er den første der en har kontinuerlige mengdemålinger ved alle stasjoner. En vil derved oppnå mer pålitelige data for betydningen av de to hovednedbørfelter. En vil derved også kunne vurdere hvor effektiv oppsamlingen av drensvann på Løkkensiden er.

## 3. Resultater

### 3.1 Tidligere undersøkelser

Gruveselskapet startet allerede i slutten av 1920-årene et program for å ha tilsyn med vannkvalitet i gruveområdet og i vassdraget. Programmet omfattet også måling av vannføring ved flere av lokalitetene. Noe av de prøvetakingslokalitetene som ble valgt er fortsatt i bruk. En har således et stort erfaringsmateriale for hvordan forurensningssituasjonen har utviklet seg i området i løpet av de siste 80 år. Noe av dette materialet ble presentert på konferansen Securing the Future i Skellefteå i 2001 (Iversen et al, 2001). Det ble her bl.a gjort en beregning av utslippene av kobber for perioden 1928-2000. NIVA videreførte kontrollundersøkelsene i 1974 etter oppdrag fra gruveselskapet. Etter at en del overdekkingsiltak ble gjennomført på Løkkensiden i 1970-årene, gjennomførte NIVA en avrenningsundersøkelse i gruveområdet i 1982-1983 (Iversen, 1983). Etter at gruedriften ble nedlagt i 1987, fikk NIVA i oppdrag å gjennomføre en tiltaksutredning (Øren et al, 1990). Denne utredningen ga ny informasjon om betydningen av de enkelte kilder. Etter at Løkken Grubers egen tiltaksplan ble valgt, har tiltaket vært fulgt med et eget kontrollprogram fra tiltaket begynte å virke i 1992. I tiden etter har det vært gjennomført 2 mer omfattende undersøkelser (Arnesen et al, 1994 og Arnesen, 1999) før denne. I denne rapporten vil vi hovedsakelig vurdere resultatene fra siste års undersøkelser i forhold til resultatene for perioden 1992-1993 og 1997-1998.

### 3.2 Arbeidsopplegg

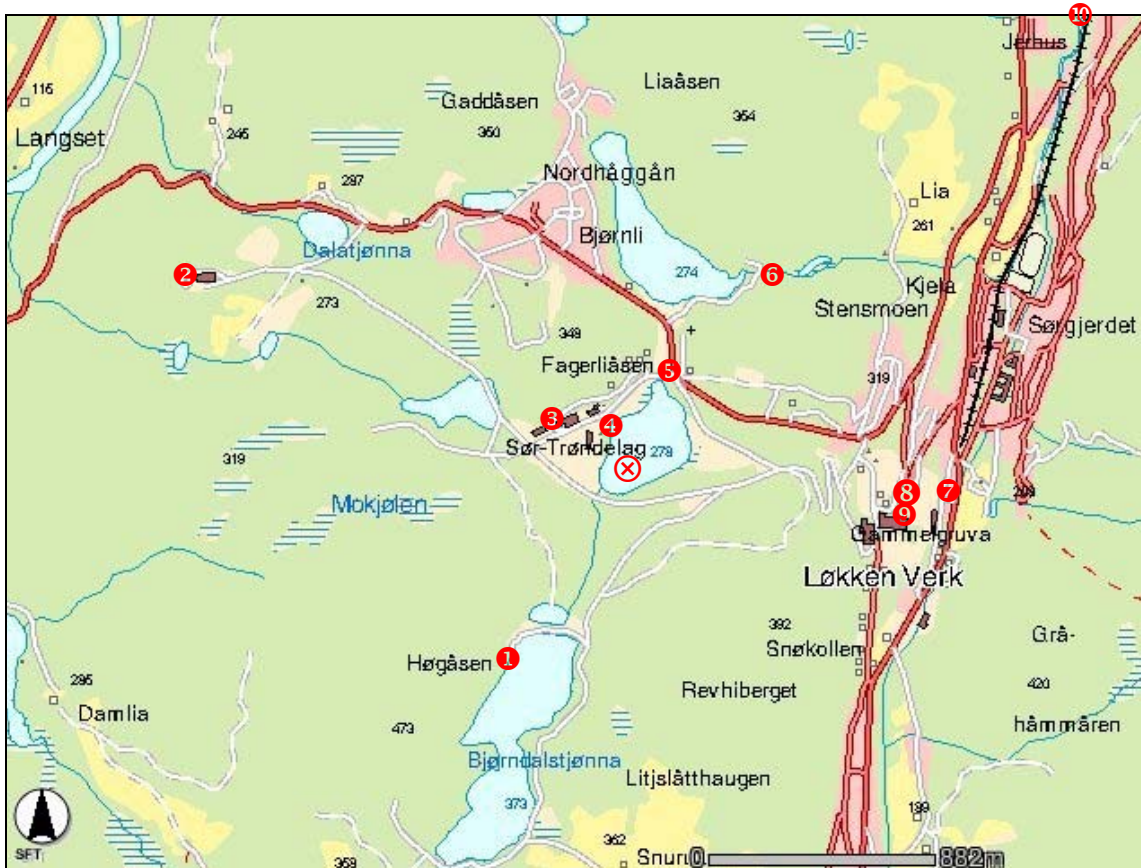
#### 3.2.1 Etablering av målestasjoner

I tabell 3 er gitt en oversikt over prøvetakingsstasjoner som er benyttet under feltundersøkelsen

**Tabell 3.** Prøvetakingsstasjoner for feltundersøkelsen

Stasjon	Opplegg
A. Stallgata pumpestasjon	Stikkprøve i pumpestasjonen 1x mnd. Kontinuerlig registrering av vannmengde (evt ukemengder)
B. Drensrør fra Nordre bergwald	Stikkprøve av utløpet av røret ved synken i Gammelgruva 1 x mnd. Kontinuerlig. registrering av vannmengde (må etableres).
C. Grøft i Gammelgruva (sig fra tipp med magnetittmalm)	Stikkprøve i grøfta 1 x mnd. Kontinuerlig registrering av vannmengde (må etableres).
Wallenberg pumpestasjon	Månedlig stikkprøve som tidligere. Kontinuerlig registrering av vannmengder (evt ukemengder).
Utløp Bjørnlivatn	Månedlig stikkprøve ved utløpet under gammel steindam. Kontinuerlig registrering av vannmengde (må etableres).
Wallenberg sjakt	Kontroll av vannkvalitet ved hovednivåene 2 x i året (nivåene under 200 kun 1 x i året) Manuell prøvetaking av NIVA ved befaringer.
Utløp Fagerlivatn	Stikkprøvetaking 2 x i året av NIVA for kontroll av vannkvalitet.
Fagerlivatn ved største dyp	Prøvesnitt i forbindelse med kalking for testing av beredskap
Raubekken ved inntak kraftverk	Månedlig stikkprøve, manuell avlesning av vannstandsmerke. Opplegg som tidligere
Orkla ved Vormstad	Månedlig prøvetaking og analyse som tidligere
Gruvevann fra nivå 311, pumpeump Astrup	Prøver tas av NAD. Utpumpet vannmengde journalføres
Overløp slamdam Bjønndalen	Stikkprøve under befaring

Ved stasjonene B, C, utløp Bjørnlivatn og i Raubekken måles vannføring kontinuerlig. Ved stasjonene, A, Wallenberg pumpestasjon og Astrup pumpestasjon nivå 311 er innhentet data for utpumpet mengde som er registrert ved pumpestasjonene. Alle prøvetakingsstasjonene er markert på figur 4 som viser et kartutsnitt over området.



**Figur 4.** Kart over gruveområdet med markering av prøvetakingsstasjoner:

- |                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1: Overløp Bjørndalsdammen       | 6: Utløp Bjørnlivatn               |
| 2: Astrup pumpestasjon           | 7: A.Stallgata pumpestasjon        |
| 3: Wallenberg sjakt              | 8: B. Drensrør fra Nordre berghald |
| 4: Avløp Wallenberg pumpestasjon | 9: C. Grøft i Gammelgruva          |
| 5: Utløp Fagerlivatn             | 10: Raubekken ved inntak kraftverk |
| ⊗: Fagerlivatn ved største dyp   |                                    |

### 3.2.2 Prøvetaking og analyse

Alle prøver er tatt som stikkprøver. Meldal kommune har hatt ansvaret for prøvetakinger ved Wallenberg pumpestasjon, utløp Bjørnlivatn og ved Stallgata pumpestasjon. Orkla Industrimuseum har tatt prøvene i Gammelgruva ved stasjonene B og C. Kraftverkene i Orkla har tatt prøvene i Raubekken og i Orkla ved Vormstad. Prøvene er tatt på prøvetakingsflasker utsendt av NIVA. Prøvetakingen i Wallenberg sjakt ble utført av NIVA. Alle analyser er utført av NIVA. Det er benyttet samme analyseteknikk (ICP) for analyse av drensvann i alle år etter 1992. Tungmetallanalysene i Orkla er utført vha ICPMS-teknikk.

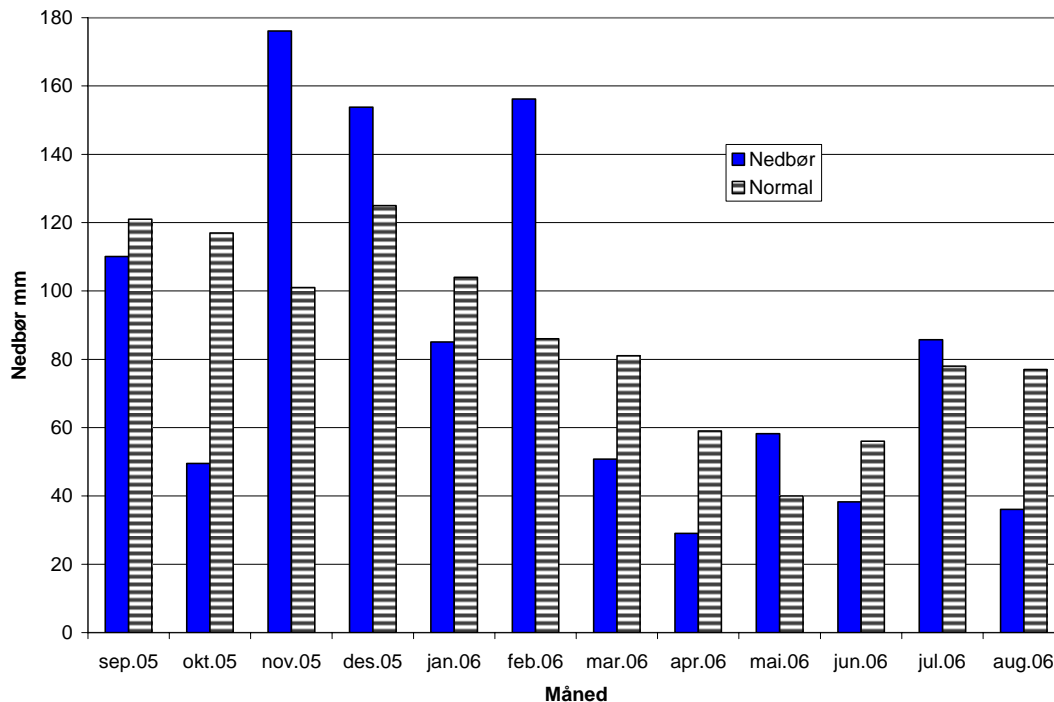
### 3.3 Hydrologi og klima

En av målsettingene med prosjektet er å beregne vannbalansen på gruva. Vannføringsmålingene benyttes også for å beregne forurensningstransporten. Det er laget et budsjett for inngående og utgående stoffmengder til gruva. Likeledes er det laget et budsjett for de to hovednedbørfelter og for totaltransporten i Raubekken. I tabell 4 er gitt en oversikt over hydrologiske data for de viktigste nedbørfeltene.

**Tabell 4.** Noen hydrologiske data for nedbørfeltene (Øren et al 1990).

Nedbørfelt		Areal km <sup>2</sup>	Avrennings- koeffisient l/s km <sup>2</sup>	Midlere vannføring l/s
Raubekken		37,88	26	980
Bjørnlibekken	Utl. Bjønndalsdammen	0,71	25	18
”	Utløp Fagerlivatn	2,19	25	55
”	Bjørnlivatn	0,97	25	
Sum utløp Bjørnlivatn		3,87	25	97
Velteområdet på Løkkensiden		0,385	25	10

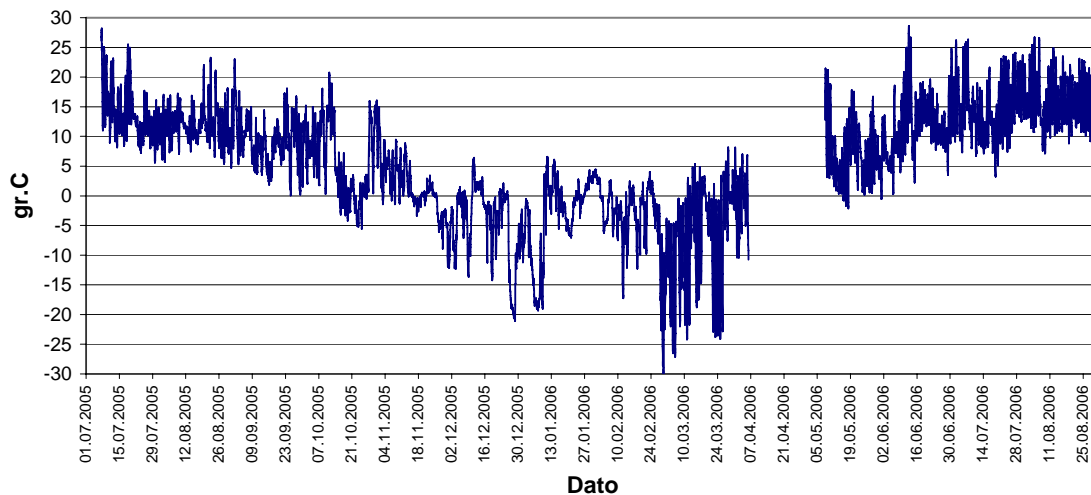
Temperatur og nedbør har stor betydning for vannbalansen på gruva. I dette området viser avrenningskoeffisientene store lokale variasjoner (NVE, 1987). I denne undersøkelsen vil ta med nedbørdata for den nærmeste meteorologiske stasjonen til Det norske meteorologiske institutt (DNMI), 66210 Hoston. Figur 5 viser månedlige nedbørhøyder og normaler for perioden 2005-2006.



**Figur 5.** Månedlige nedbørhøyder og normaler ved DNMI 66210 Hoston i 2005-2006.

En ser at det falt spesielt mye nedbør i månedene november, desember og februar. Månedene oktober, mars, april, mai, juni og august var forholdsvis nedbørfattige. I det hydrologiske året 2005-2006 falt det 98,5 % nedbør i forhold til et normalår.

Ved målestasjonen under dammen på Bjørnlivatn er det utplassert en temperaturmonitor for lufttemperatur. Figur 6 viser observasjonsmaterialet som foreligger for måleperioden. En ser at det var lange perioder med temperaturer over 0 i prioden november 2005-februar 2006. Da det også falt mye nedbør i dette tidsrommet, innebar dette at mye nedbør falt som regn.



**Figur 6.** Lufttemperatur ved Bjørnlivatn 2005-2006.

### 3.4 Vannkvalitet på Løkkensiden

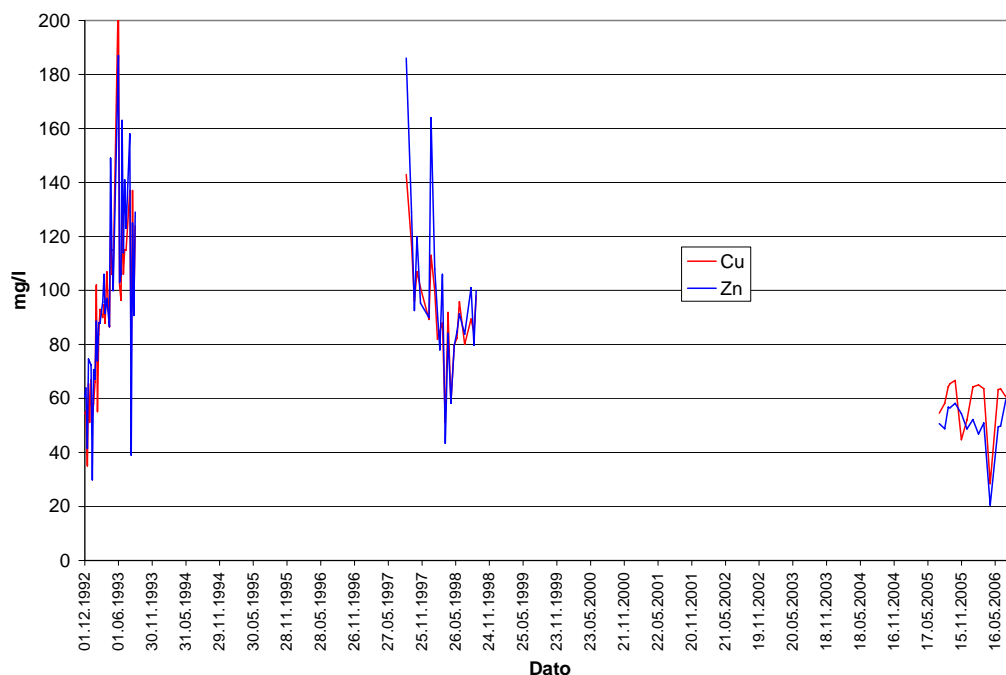
#### 3.4.1 Stasjon A. Stallgata pumpestasjon

Resultatene for de prøvetakinger som er gjort i perioden er samlet i tabell 21 i vedlegget bak. I tabell 5 er det gjort en sammenligning mellom middelverdiene for observasjonsmaterialet for de tre måleperiodene som er gjennomført etter at tiltaksplanen ble satt i drift.

**Tabell 5.** Middelverdier for prøver fra Stallgata pst i 1992-1993, 1997-1998 og 2005-2006.

	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Al mg/l	Si mg/l
1992-1993	2,53	466	4783	343	172	818	93,3	97,2	0,369	8,90	0,55	2,48	201	58,1
1997-1998	2,50	493	4566	374	141	738	80,7	81,8	0,338	7,49	0,51	2,46	170	49,0
2005-2006	2,53	469	4221	337	134	622	58,8	51,1	0,208	7,45	0,51	2,03	156	53,7

En ser at det ikke har skjedd noe med pH-verdiene i perioden, mens det ser ut til å være fallende konsentrasjoner for sulfat og metaller, og spesielt for kobber og sink. Dette fremgår også av figur 7 som viser observasjonsmaterialet for kobber og sink for de tre måleperiodene som er gjennomført. Det må imidlertid bemerkes at prøvetakingsfrekvensen var omtrent den dobbelte ved de to foregående undersøkelsene. Det er mulig at dette kan ha en viss betydning for bredden i observasjonsmaterialet for siste undersøkelsesperiode.



**Figur 7.** Kobber- og sinkobservasjoner ved Stallgata pumpestasjon i perioden 1992-2006.

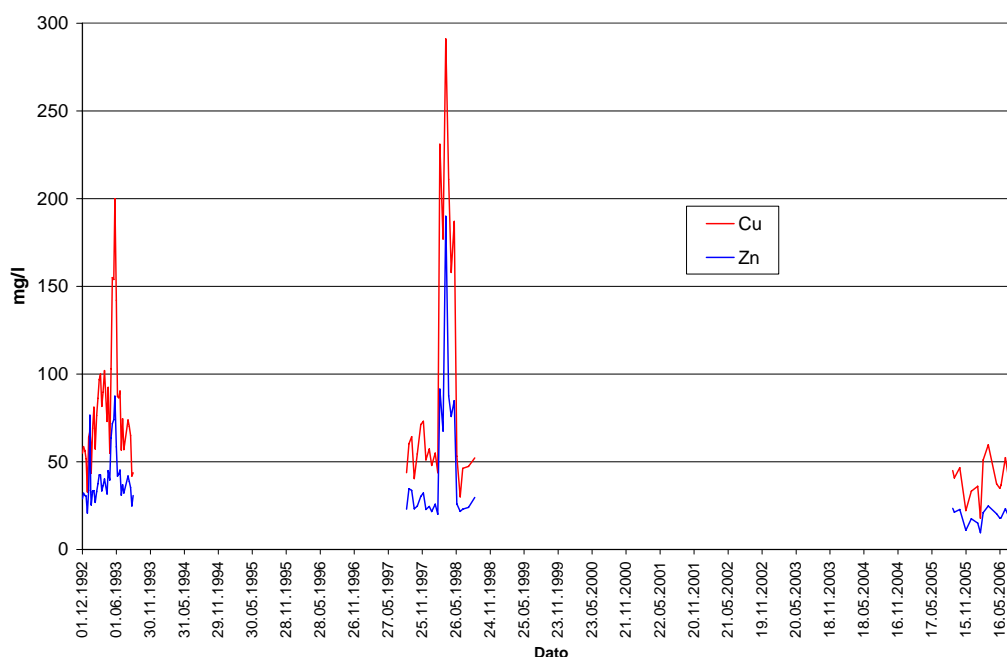
#### 3.4.2 Stasjon B. Drensrør fra Nordre berghald

Analyseresultater for prøver som er tatt i 2005-2006 er samlet i tabell 22 i vedlegget bak. I tabell 6 er gjort en beregning av middelverdier for de tre måleperiodene som er gjennomført.

Som for stasjon B ser en at det ikke har skjedd noen endringer i pH-verdien i perioden. Når det gjelder metallene, ser en at ved denne stasjonen har konsentrasjonene falt enda mer enn for stasjon A. Figur 8 viser en grafisk fremstilling av observasjonsmaterialet for kobber. En ser at det er spesielt stor forskjell mellom de to siste måleperiodene.

**Tabell 6.** Middelerverdier for prøver fra drenerør fra Nordre berghald i 1992-1993, 1997-1998 og 2005-2006.

	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd µg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Al mg/l	Si mg/l
1992-1993	2,38	539,8	6663	203	196	1740	80,3	40,6	0,185	6,42	0,39	3,07	238	32,2
1997-1998	2,36	612,7	7817	183	217	2049	93,3	45,1	0,255	5,98	0,33	3,98	259	29,0
2005-2006	2,44	422,2	3901	144	95,8	893	40,1	19,2	0,075	3,61	0,22	1,70	116	26,8



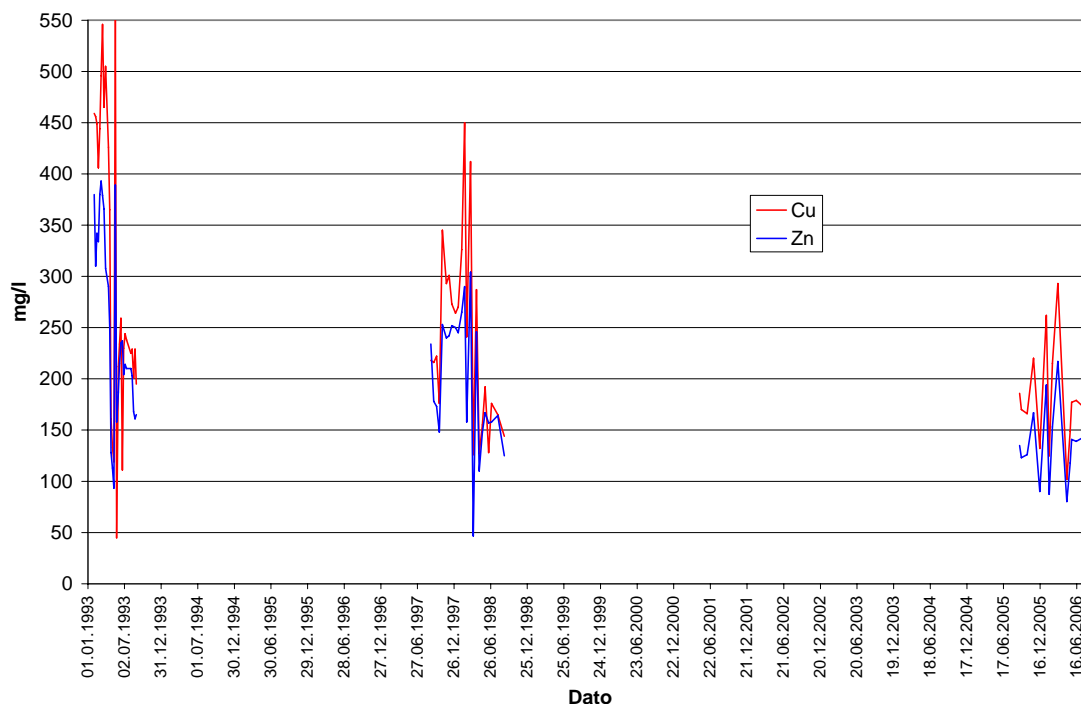
**Figur 8.** Kobber- og sinkobservasjoner i drenerør fra Nordre berghald 1992-2006.

### 3.4.3 Stasjon C. Grøft i Gammelgruva

Resultatene for prøvetakingene i 2005-2006 er samlet i tabell 23 i vedlegget bak. Tabell 7 gir en oversikt over middelerverdier for de viktigste analyseparametre for de tre måleperiodene. Resultatene viser som for de to andre stasjonene en tilsvarende avtakende trend for sulfat- og metallkonsentrasjoner, men ikke så sterkt som for stasjon B. Metallkonsentrasjonene var en del lavere i siste undersøkelsesperiode i forhold til de to foregående.

**Tabell 7.** Middelerverdier for prøver fra stasjon C. Grøft i Gammelgruva i 1992-1993, 1997-1998 og 2005-2006.

	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd µg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Al mg/l	Si mg/l
1992-1993	2,45	916	17108	348	706	4119	309	252	0,880	20,1	1,19	9,79	807	38,6
1997-1998	2,47	928	14964	311	668	3068	239	198	0,766	18,0	1,17	9,26	753	37,2
2005-2006	2,51	840	12169	299	558	2390	182	137	0,529	17,9	1,13	8,15	572	37,4

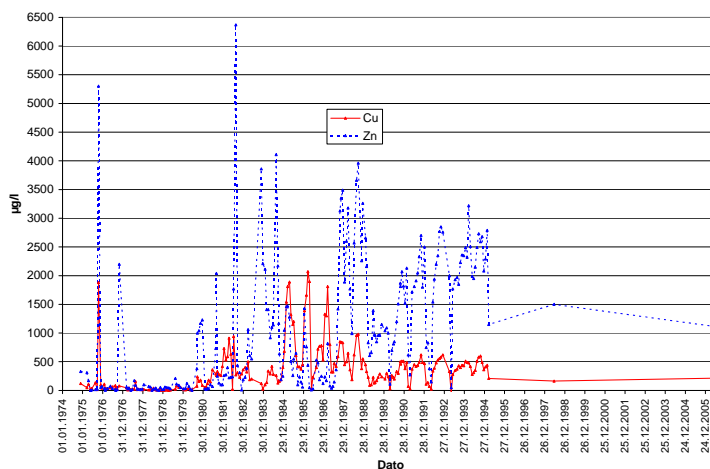


Figur 9. Kobber- og sinkobservasjoner i grøft i Gammelgruva 1992-2006.

### 3.5 Vannkvalitet på Bjørnlivatsiden

#### 3.5.1 Bjørndalsdammen

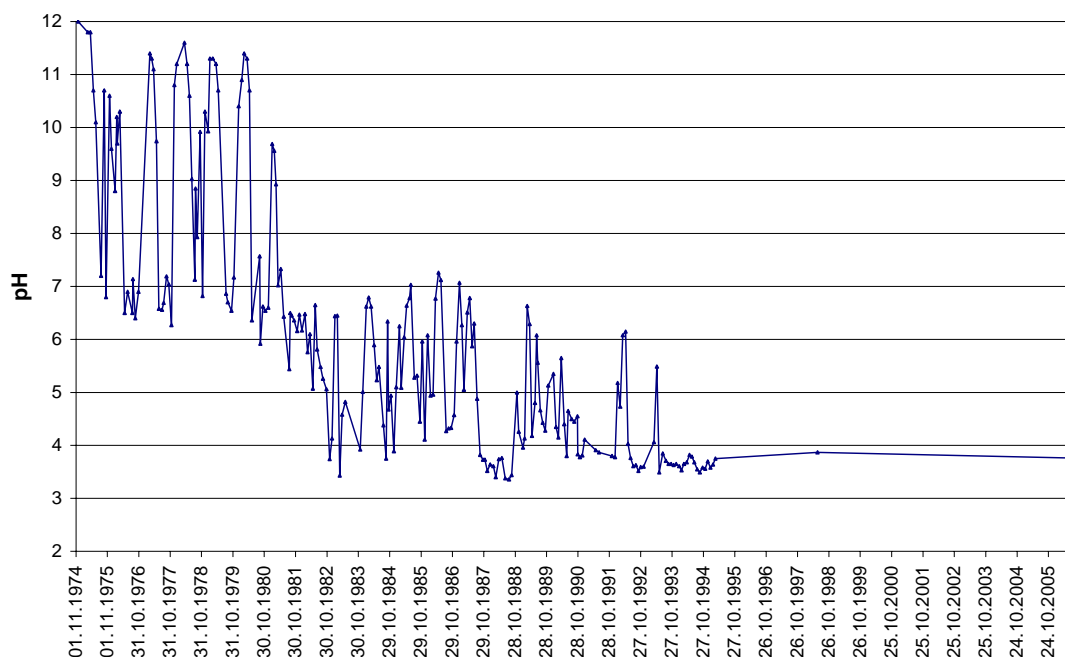
Vi vil her gi en kort omtale av vannkvaliteten i avgangsdeponiet Bjørndalsdammen. Etter at deponering opphørte sommeren 1987 falt metallkonsentrasjonene raskt i den første tiden. Etter 1995 har vannkvaliteten endret seg lite. Sommeren 2006 var vannkvaliteten fortsatt sterkt sur med et moderat metallinnhold. Årsaken til den lave pH-verdien har sammenheng med at avfallet i dammen forvitrer og avgir toverdigg jern til de frie vannmassene. Toverdig jern oksiderer til treverdigg som hydrolyserer og felles ut som treverdigg jernhydroksid. Denne prosessen avgir syre. Analyseresultatene for stikkprøve tatt ved overløpet av deponiet i 2006 er samlet i tabell 29 i vedlegget mens figur 10 viser observasjonsmaterialet for kobber og sink i overløpsvannet fra deponiet fra 1974 til 2006.



Figur 10. Kobber- og sinkkonsentrasjoner i overløpsvann fra Bjørndalsdammen 1974-2006.



Figur 11 viser utviklingen i pH-verdiene. Årsaken til at pH falt de siste årene under driften, var at avgangen inneholdt mye tiosulfat som oksiderte til sulfat i dammen under dannelse av syre. Vannkvaliteten har endret seg lite i løpet av de 10 siste årene.



Figur 11. pH-verdier i overløpsvann fra Bjønndalsdammen 1974-2006.

### 3.5.2 Fagerlivatn

Fagerlivatn mottar vann fra Wallenberg pumpestasjon. Innløpet fra pumpestasjonen er dykket litt under overflaten. Innsjøen mottar også avrenning fra gruveavfallet som er deponert rundt innsjøen, tilførsler fra Bjønndalsdammen og tilførsler fra deponert avgang i selve innsjøen. I dagens situasjon er vannkvaliteten i innsjøen mest påvirket av utslippene fra Wallenberg pumpestasjon. Publikum observerer at innsjøen skifter farge (se figur 12). Dette har sin årsak i det høye jerninnholdet i vannmassene og hvordan jernet foreligger. Etter at pumpestasjonen kom i drift, har avløpet stort sett hatt en relativt høy pH-verdi. Jerninnholdet har vært økende og det foreligger i hovedsak som toverdigg i selve utslippsvannet. Ute i innsjøen oksiderer toverdigg jern til treverdigg, noe som fører til at pH-verdien faller pga hydrolyse av treverdigg jern, en prosess som avgir syre. I de senere år har en hatt episoder utslippsvannet har vært forholdsvis surt. Jernet har imidlertid fortsatt vært toverdigg, men tiltakende surhet har også ført til økende jernkonsentrasjoner. Dette har ført til en forverring av vannkvaliteten i Fagerlivatn.

For å teste et beredskapsopplegg for å kunne bringe uventede og brå endringer i vannkvaliteten i utgående vann fra gruva under kontroll, ble det gjennomført en utprøving av overflatekalking av Fagerlivatn i november 2005. I den forbindelse er det også gjennomført en særskilt oppfølging av vannkvaliteten ved utløpet av Fagerlivatn. Det er også tatt prøvesnitt i innsjøen i det dypeste området ved et par anledninger. Resultatene fra det særskilte prøvetakingsprogrammet for Fagerlivatnet og for utløpet av Fagerlivatn er samlet i tabell 26, tabell 27 og tabell 28 i vedlegget bak. Resultatene viser at Fagerlivatn var sterkt surt før kalkingen i november 2005. Kalkingen hadde den effekt at den førte til en tilstrekkelig pH-heving slik at det ble en god utfelling av kobber og aluminium. Tiltaket viste at det var mulig å kontrollere en uventet endring i forurensningssituasjonen på denne måten. pH-verdien ble imidlertid ikke så høy at det førte til noen utfelling av toverdigg jern eller sink. I tiden som har gått etter tiltaket, har flere hendelser hatt betydning for situasjonen. Kalkingen medførte at innsjøens bufferkapasitet økte en tid. Samtidig har også utslippene av kobber og jern fra pumpestasjonen vært mindre utover i 2006 som følge av overføring av drens vann fra Løkkensiden til Gammelsjakt.



Figur 12. Fagerlivatn den 30.08.2006 (foto: E.R. Iversen)

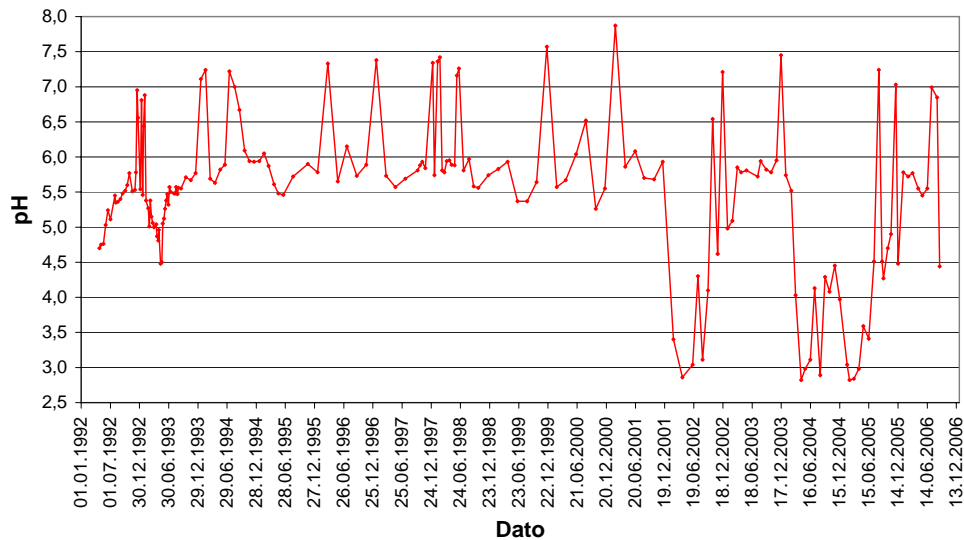
### 3.5.3 Wallenberg sjakt – Wallenberg pumpestasjon

Det er ført kontroll med vannkvaliteten i den vannfylte gruva siden 1986 ved prøvetaking i sjakta ved hvert hovednivå i gruva (se figur 2 og figur 42 i vedlegget). Avløpet fra pumpestasjonen har vært kontrollert ved regelmessig stikkprøvetaking siden den ble satt i drift den 9.april 1992. Prøvetakingsfrekvensen har variert fra ukentlig til hver annen måned i tiden etter. Fra 2002 da en påviste en forverring i vannkvaliteten til utgående vann, er det tatt prøver hver måned. Resultatene fra siste års prøvetaking er samlet i tabell 24 i vedlegget. I tabell 8 er gjort en beregning av tidsveiede årsmiddelverdier.

Tabell 8. Wallenberg pumpestasjon. Tidsveiede årsmiddelverdier hydrologiske år.

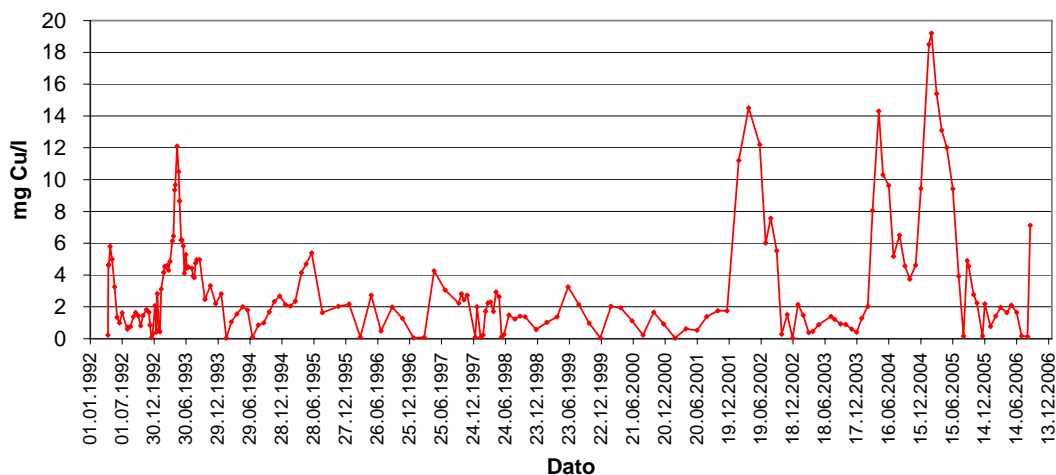
År	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l	Volum m <sup>3</sup>
1992-1993	5,47	304,5	2210	436,7	258,6	3,73	101,4	3,78	24,33	0,049	7,71	0,18	0,78	14,3	582048
1993-1994	6,18	253,2	1664	402,0	188,3	3,72	68,3	1,92	14,35	0,023	7,76	0,09	0,51	12,7	458600
1994-1995	5,85	289,8	1859	454,3	186,6	3,50	79,8	2,79	17,77	0,070	8,90	0,12	0,68	13,8	631492
1995-1996	6,14	231,5	1313	367,3	141,9	2,97	63,2	1,52	12,37	0,017	6,06	0,12	0,30	11,5	513821
1996-1997	5,98	248,5	1628	397,2	162,4	4,90	85,9	1,83	14,11	0,015	6,38	0,14	0,55	13,4	550965
1997-1998	6,56	232,2	1507	362,4	155,7	4,16	90,7	1,62	14,27	0,026	5,84	0,12	0,58	12,4	681638
1998-1999	5,63	298,3	2055	458,8	195,8	5,07	149,5	1,59	19,78	0,032	6,55	1,23	0,74	12,7	481092
1999-2000	6,15	232,0	1561	355,4	147,6	3,40	97,6	1,08	12,18	0,022	4,58	0,11	0,53	12,3	676796
2000-2001	6,04	272,7	1903	402,6	187,0	1,91	109,3	0,86	12,39	0,016	4,78	0,11	0,54	12,7	363598
2001-2002	4,16	332,6	2408	426,2	196,3	33,3	197,9	7,71	27,77	0,053	6,57	0,20	0,92	20,2	685408
2002-2003	5,60	280,3	1798	400,2	174,9	10,4	126,1	1,36	14,77	0,024	4,92	0,14	0,61	15,3	381328
2003-2004	4,79	283,0	1928	368,9	156,3	23,2	148,3	4,86	19,44	0,046	4,75	0,16	0,72	17,4	623033
2004-2005	3,73	325,2	2420	373,5	162,3	45,6	226,4	9,54	31,15	0,084	5,40	0,21	1,01	23,1	618505
2005-2006	5,50	239,9	1546	345,4	133,2	10,9	115,8	1,63	12,90	0,026	3,59	0,17	0,55	14,1	599112

Figur 13 viser pH-verdier for alle prøver som er tatt ved pumpestasjonen siden starten i 1992. Vanligvis har pH-verdiene ligget i området 5,5-6. Når den av og til er høyere, skyldes dette at pumpestasjonen hovedsakelig pumper relativt rent overflatevann som trenger inn i rasområdet rundt sjakta. Vinteren 2002 inntraff en uventet hendelse ved at pH-verdien falt til under 3. Det samme gjentok seg vinteren 2004. Varigheten siste gang varte lenger og fram til høsten 2005.

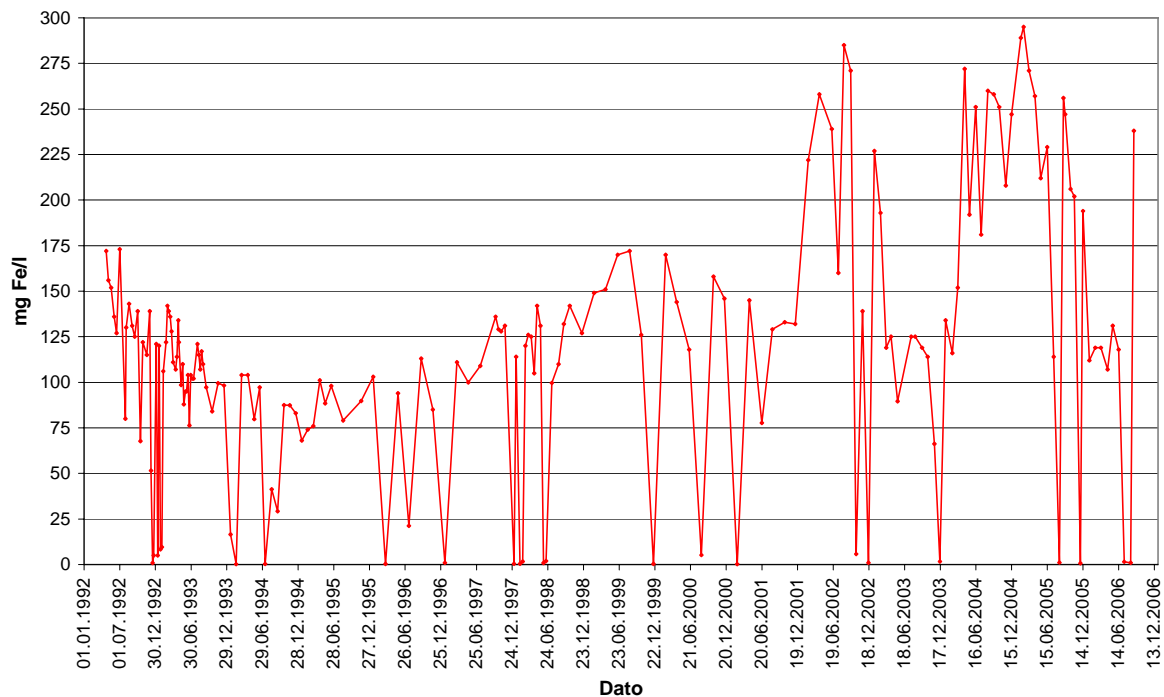


**Figur 13.** pH-observasjoner ved Wallenberg pumpestasjon 1992-2006.

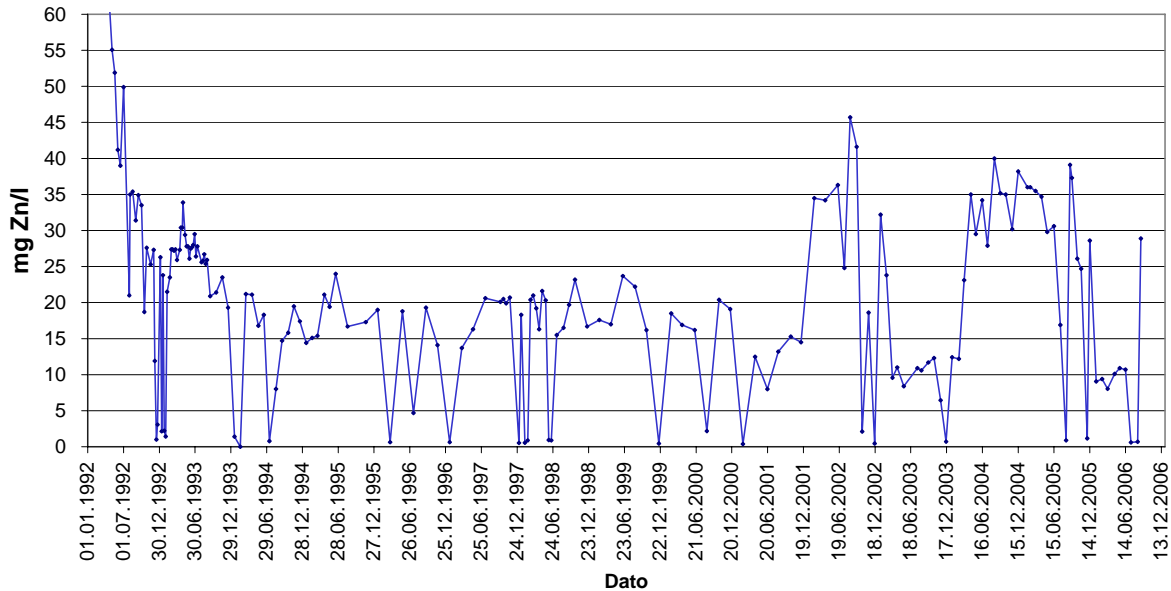
Når pH faller så mye som til under 3, er dette dramatisk. Som figur 14, figur 15 og figur 16 viser, førte dette også til en betydelig økning i metallkonsentrasjonene.



**Figur 14.** Kobberkonsentrasjoner ved Wallenberg pumpestasjon 1992-2006.



**Figur 15.** Jernkonsentrasjoner ved Wallenberg pumpeasjon 1992-2006.

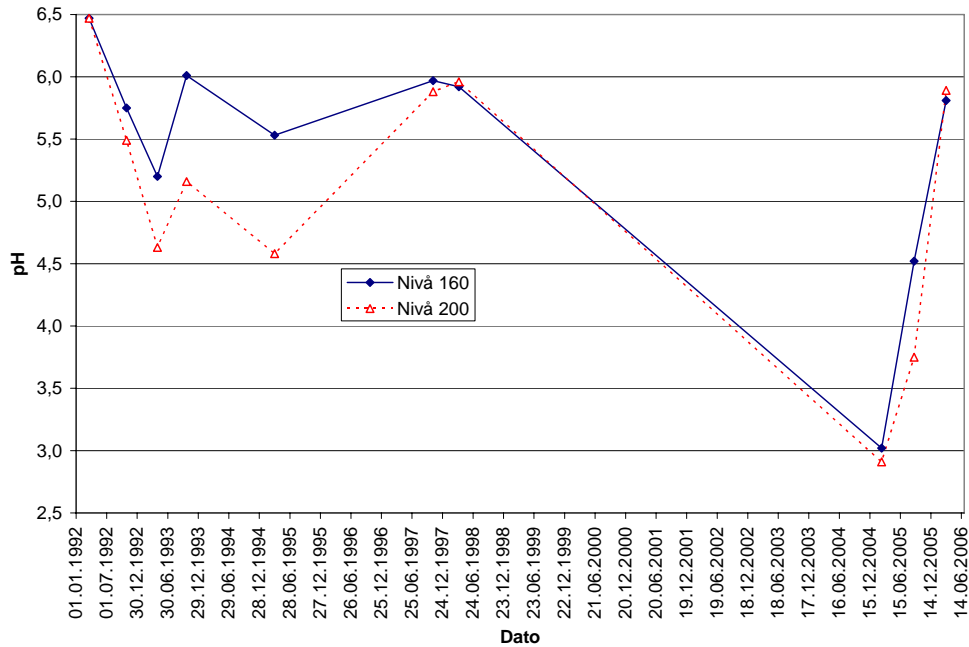


**Figur 16.** Sinkkonsentrasjoner ved Wallenberg pumpeasjon 1992-2006.

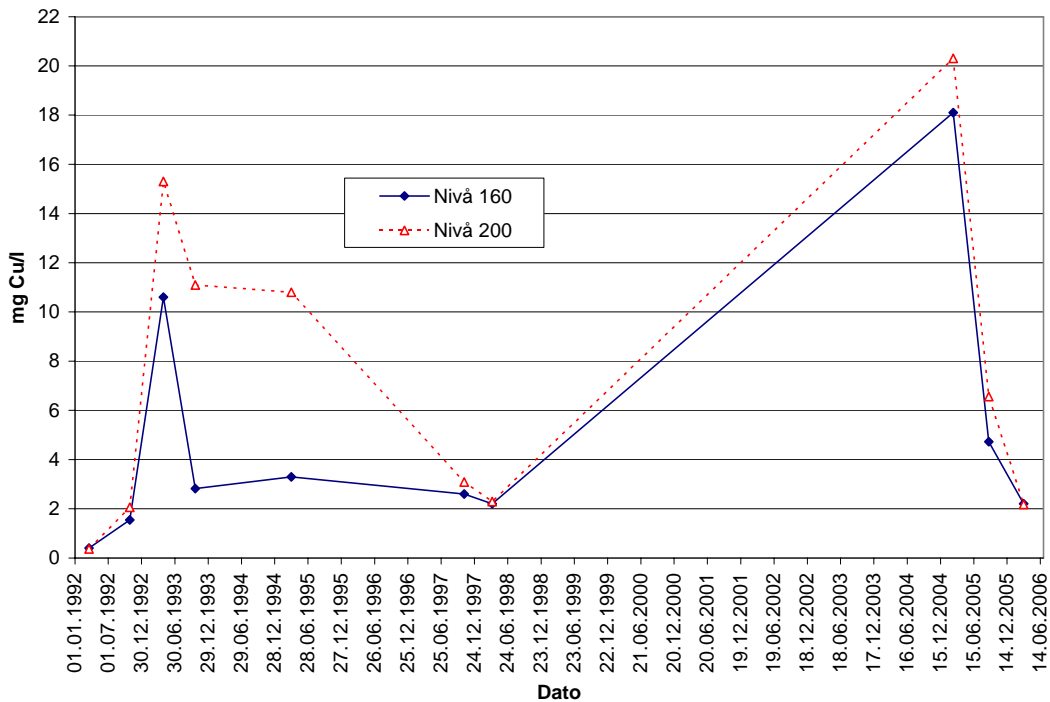
Fra sommeren 2005 og fram til omleggingen av drensvann fram til Gammelsjakta var ferdig sent på høsten, hadde gruva redusert belastning ved at drensvann ble ledet på Raubekken.

Prøvetakingen i Wallenberg sjakt i februar 2005 viste at vannet var uvanlig surt ved de to øverste nivåene i gruva (se tabell 25 i vedlegget). Det ble vurdert slik at det var mest sannsynlig at det var gjennomslag av surt vann fra Løkkensida. Dette var også årsaken til at dette foreliggende prosjektet

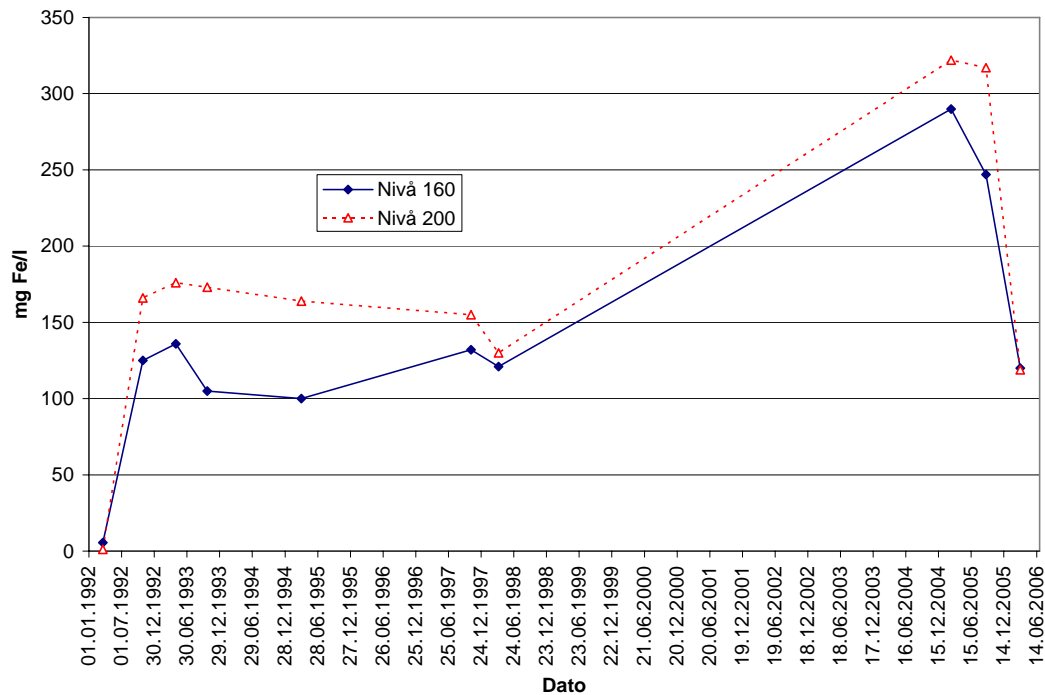
ble startet. Figur 17, figur 18 og figur 19 viser grafisk resultatene for pH, kobber og jern for de prøver som er tatt ved nivåene 160 og 200 siden 1992.



Figur 17. pH-observasjoner ved nivåene 160 og 200 i perioden 1992-2006.



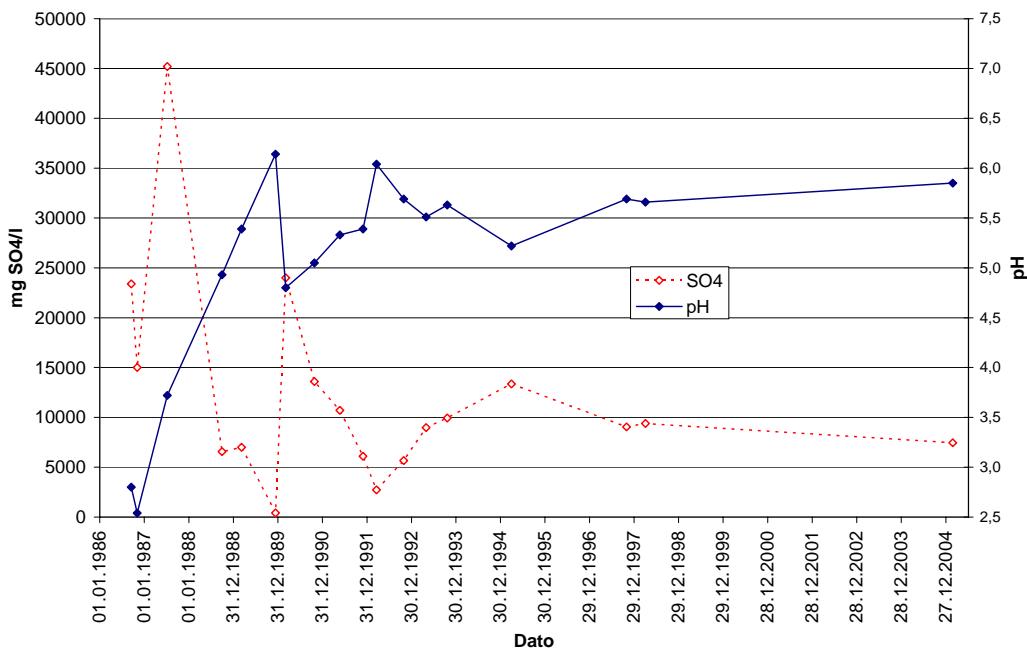
Figur 18. Kobberkonsentrasjoner ved nivåene 160 og 200 i perioden 1992-2006.



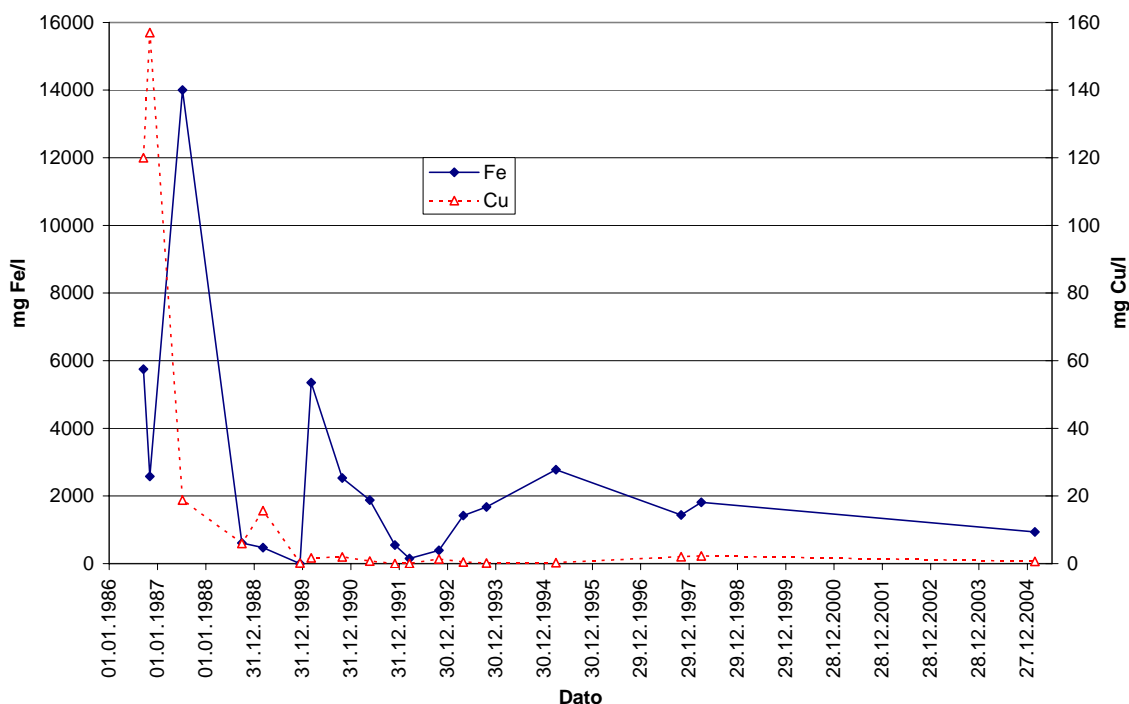
Figur 19. Jernkonsentrasjoner ved nivå 160 og 200 i perioden 1992-2006.

Figurene viser at situasjonen normaliserte seg igjen fram til siste observasjon i mars 2006. Siden survannet nå ledes inn i nye arealer i gruva, kan det ta noen tid før ny likevekt innstiller seg og en ser virkningene av omleggingstiltaket.

Det kan også være interessant å se på vannkvaliteten ved nivå 380, det nivået hvor vannet fra Astrup kommer inn. Figur 20 og figur 21 viser observasjonsmaterialet for pH, sulfat, kobber og sink.



Figur 20. pH- og sulfatobservasjoner ved nivå 380 i perioden 1992-2005.



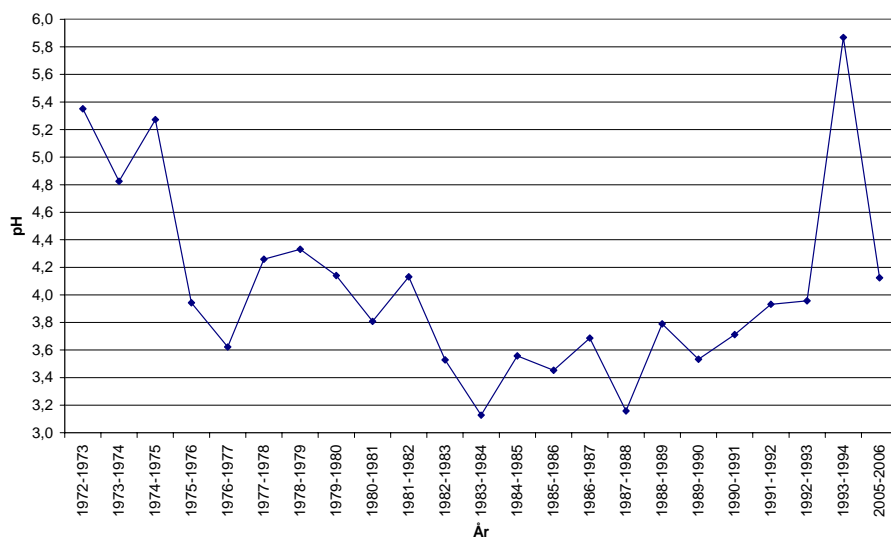
**Figur 21.** Kobber- og jernkonsentrasjoner ved nivå 380 i perioden 1992-2005.

Resultatene viser svakt synkende metallnivåer og økende pH-verdier i løpet av de 12 siste årene. En merker således ingen effekter av tilførslene fra Astrup på vannkvaliteten ved nivå 380 i Wallenberg sjakt.

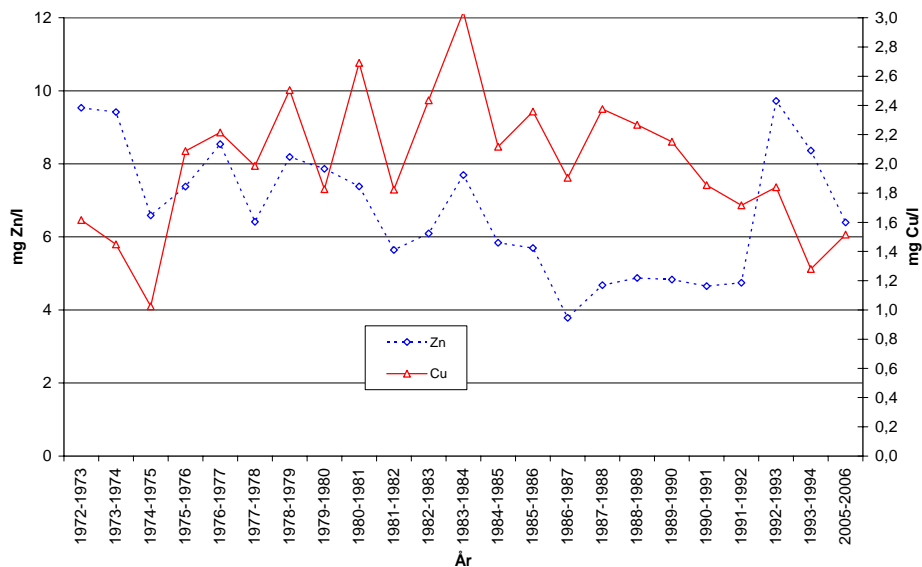
### 3.5.4 Utløp Bjørnlivatn

Stasjonen ved utløpet av Bjørnlivatn ble opprettet av gruveselskapet i sin tid. NIVA har data tilbake til 1972. Vannkvaliteten har endret seg mye opp gjennom årene som følge av de forskjellige aktivitetene i nedbørfeltet. Etter at gruvedriften opphørte og oppryddingstiltakene ble avsluttet, bedret vannkvaliteten seg ved at pH-verdien økte betydelig. Metallkonsentrasjonene falt også. Vannet så "rent" ut for publikum selv om vannkvaliteten fortsatt var betydelig tungmetallbelastet. Grunnen til at vannet så rent ut, skyldtes særlig at særlig jernkonsentrasjonene falt betydelig. Figur 22, figur 23 og figur 24 viser grafisk beregnede årlige middelerverdier. En har ikke observasjoner fra 1995 og fram til det foreliggende programmet startet. Det generelle trekk for dagens vannkvalitet er at pH-verdien har sunket betydelig etter 1997 (har resultater fra stikkprøve tatt i 1997). Kobberkonsentrasjonene falt fram til observasjonene i 1994. Det har vært beskjedne utslipp av kobber fra Wallenberg pumpestasjon. Kobberkonsentrasjonene økte litt i siste måleperiode. Etter at Wallenberg pumpestasjon kom i drift, medførte dette økte sinkkonsentrasjoner i Bjørnlivatn. Det var relativt store utslipp av sink i de første årene. Etter 1995 har det også vært store utslipp av sink, men dette fremgår ikke av figur 23 da en ikke har observasjoner for disse årene.

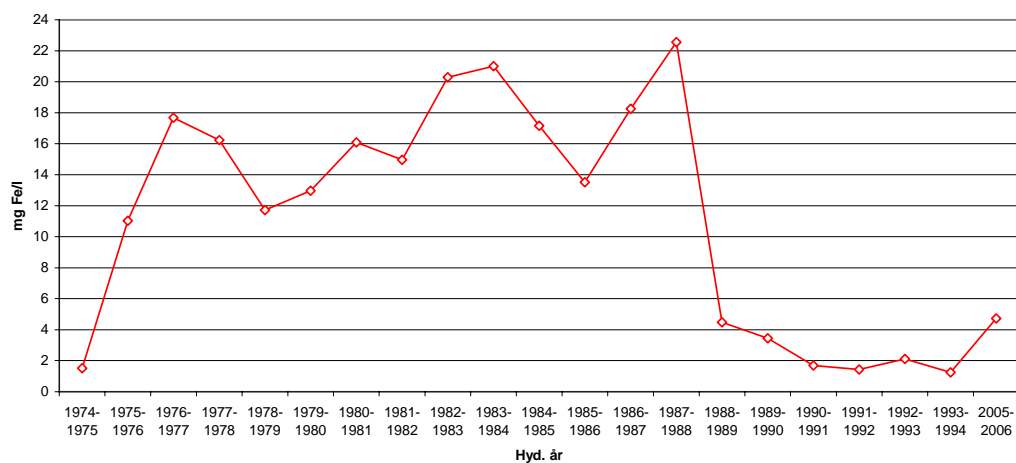
Resultatene for året 2005-2006 er samlet i tabell 19 i vedlegget. pH-verdiene var forholdsvis lave ved programmets start. Etter at kalking av Fagerlivatn ble gjennomført i november 2005, økte pH-verdien merkbart og tungmetallkonsentrasjonene falt også betydelig. Virkningen av kalkingen var forholdsvis kortvarig hva pH-verdiene angår. Dette har delvis sammenheng med at en ikke oppnådde noen nevneverdig fjerning av toverdiggjern fra Fagerlivatn. I tillegg fikk en etter hvert nye tilførsler av toverdiggjern. Metallkonsentrasjonene ble etterhvert betydelig lavere enn ved programmets start. Dette skyldes forbedret vannkvalitet i utgående vann fra gruva.



Figur 22. Årlige middelværdier for pH ved utløpet av Bjørnlivatn. Hydrologiske år 1972-2006.



Figur 23. Årlige middelværdier for kobber og sink ved utløp Bjørnlivatn. Hydrologiske år 1972-2006.



Figur 24. Årlige middelværdier for jern ved utløp Bjørnlivatn. Hydrologiske år 1972-2006.



### 3.5.5 Astrup gruveområde

Gruvevannet fra Astrup samles i en sump på nivå 311 og pumpes derfra opp i dagen og ledes ned i en ventilasjonsstigort som munner ut i Wallenberg gruve på nivå 380. Vannet som samles i sumpen kommer fra flere kilder. En del rent vann brukes til å holde tømmerkledningen i Astrup sjakt fuktig. Øvrige kilder kan være overflatevann fra den vannfylte del av gruva og drensvann fra andre områder i gruva.

Vannkvaliteten kan variere svært mye avhengig av hva slags vann som til enhver tid har samlet seg i sumpen når prøvene er tas. I tabell 30 i vedlegg A er samlet de viktigste analyseresultater for alle prøver som er tatt ved nivå 311. I tabell 9 er beregnet middelverdier for noen av resultatene, i alt 23 stikkprøver.

**Tabell 9.** Middelverdier for analyse av 23 stikkprøver fra nivå 311 i perioden 1995-2006.

<b>Antall</b>	<b>pH</b>	<b>Kond</b>	<b>SO<sub>4</sub></b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>obs.</b>		<b>mS/m</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>
23	3,46	365	2464	317	93,8	56,3	276,1	73,6	169,3	0,59

Vannet er sterkt surt og har et betydelig metallinnhold. Metallinnholdet har sin årsak i forvitring av kisminerale i gruva.

## 3.6 Vassdragsstasjoner

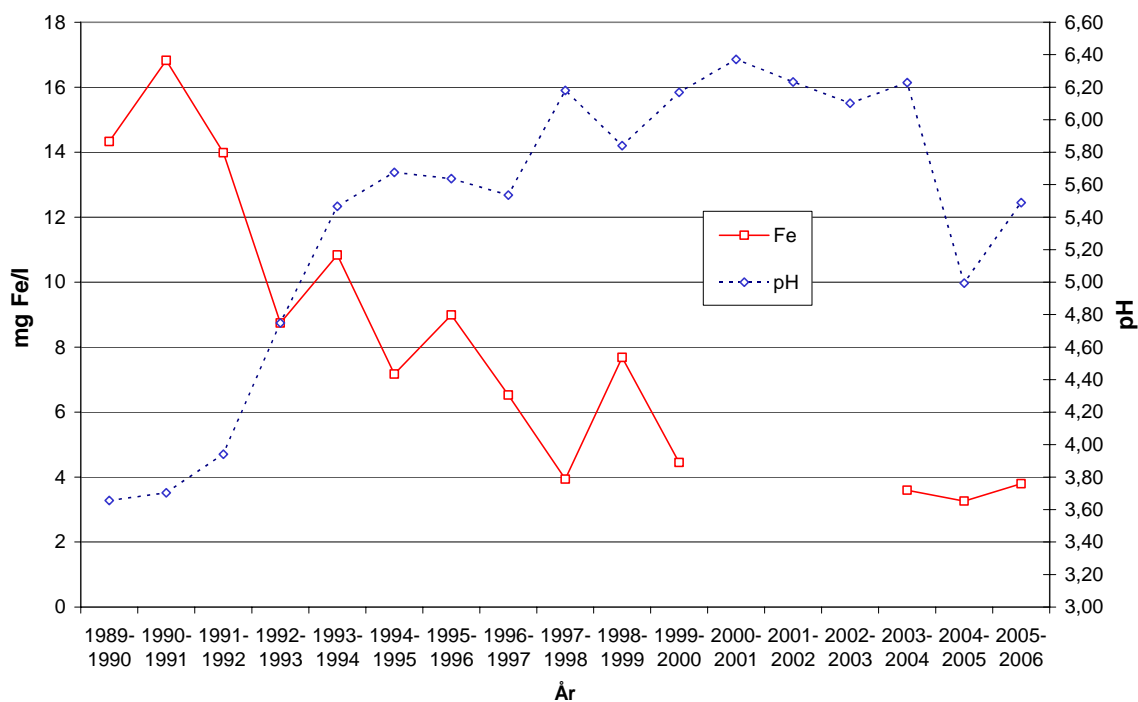
### 3.6.1 Raubekken ved inntak kraftverk

Resultatene for siste år er samlet tabell 20 i vedlegg A. I tabell 10 er samlet tidsveiede årlige middelveier for hydrologiske år fra 1989/1990. Etter at tiltaksplanen ble satt i kraft i 1992, har vannkvaliteten bedret seg. Det har vært noen episoder med økte tilførsler fra Løkkensiden som følge av brudd på drensledninger eller styrte utslipp av overskuddsvann pga problemer med innløpet i gruva. Disse har vært relativt kortvarige og har stort sett skjedd mens fortynningssituasjonen i bekken også var god. Disse episodene har kun gitt seg ubetydelige utslag i årsmiddelveierne mht konsentrasjoner. De mest langvarige utslippene var i året 2004-2005. En ser da også at dette ga seg utslag i en lavere middelveier for pH.

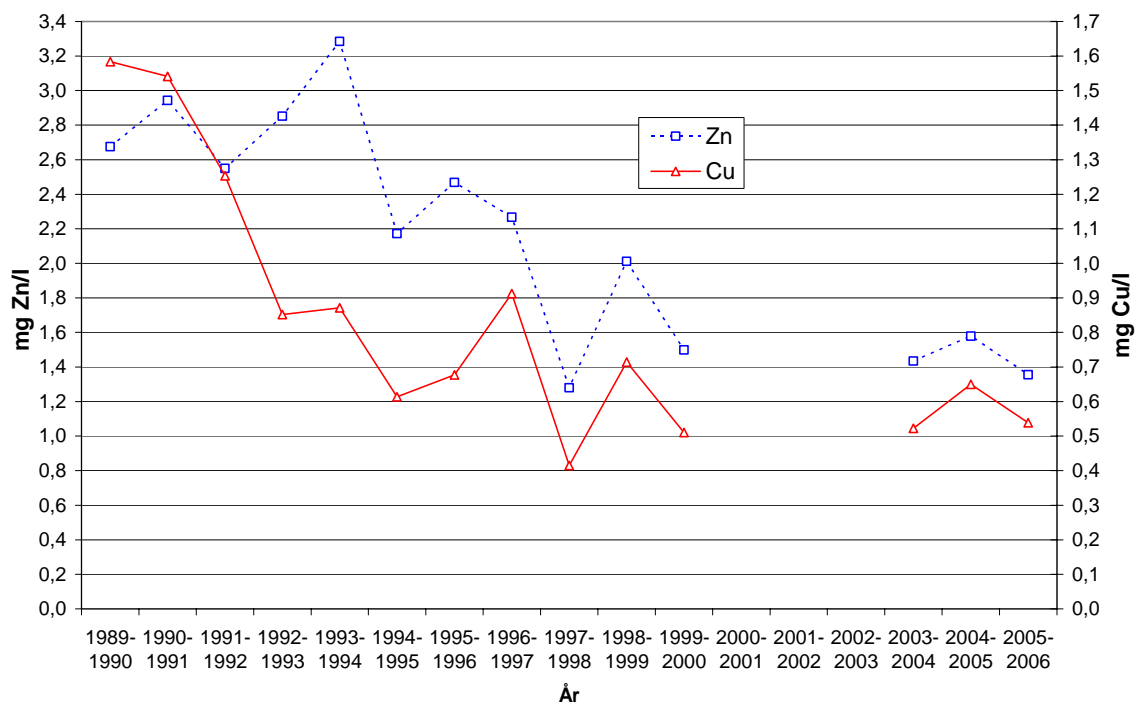
**Tabell 10.** Årlige middelveier for Raubekken ved inntak kraftverk. Hydrologiske år 1989-2006.

Hyd.år	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd µg/l
1989-1990	3,66	35,2	126,5	25,19	5,39		14,33	1,58	2,67	5,1
1990-1991	3,70	37,2	147,6	28,84	5,10		16,82	1,54	2,94	6,7
1991-1992	3,94	38,8	138,1	28,01	5,63		13,98	1,25	2,55	4,9
1992-1993	4,75	37,0	162,1	39,52	11,79	2,63	8,74	0,85	2,85	5,9
1993-1994	5,47	45,3	201,0	47,49	15,10	2,37	10,84	0,87	3,28	6,1
1994-1995	5,68	34,8	151,5	40,64	10,66	1,70	7,17	0,61	2,17	4,6
1995-1996	5,64	40,4	173,0	42,73	11,29	2,28	8,99	0,68	2,47	5,4
1996-1997	5,54	37,3	155,4	38,09	10,08	2,60	6,53	0,91	2,27	5,8
1997-1998	6,18	26,3	102,3	29,36	7,17	1,20	3,94	0,41	1,28	3,1
1998-1999	5,84	36,4	162,6	41,04	10,70	2,38	7,68	0,71	2,01	4,4
1999-2000	6,17	30,3	124,5	34,65	8,57	1,45	4,45	0,51	1,50	3,2
2000-2001	6,37	39,9	171,0							
2001-2002	6,23	31,4	110,8							
2002-2003	6,10	33,2	140,8							
2003-2004	6,23	31,1	127,1	34,81	8,85	1,69	3,60	0,52	1,43	3,3
2004-2005	4,99	28,4	124,5	29,09	7,24	2,24	3,26	0,65	1,58	1,6
2005-2006	5,49	32,2	119,6	31,64	7,41	2,02	3,80	0,54	1,36	3,5

Figur 25 og figur 26 viser grafisk utviklingen i årsmiddelveierne for pH, jern, kobber og sink. Selv om en ikke har data for metaller for årene 2000, 2001, 2002 og 2003, tyder utviklingen på at det har vært beskjedne endringer i forurensningssituasjonen de siste år når en ser på årsmiddelveierne. En mindre forverring inntraff i 2004-2005 da innløpet til gruva var i ferd med å gå tett og drensvann måtte ledes på bekken. Dette ble som nevnt rettet på høsten 2005.



Figur 25. Årlige middelværdier for pH og jern i Raubekken. Hydrologiske år.



Figur 26. Årlige middelværdier for kobber og sink i Raubekken. Hydrologiske år.

### 3.6.2 Orkla ved Vormstad

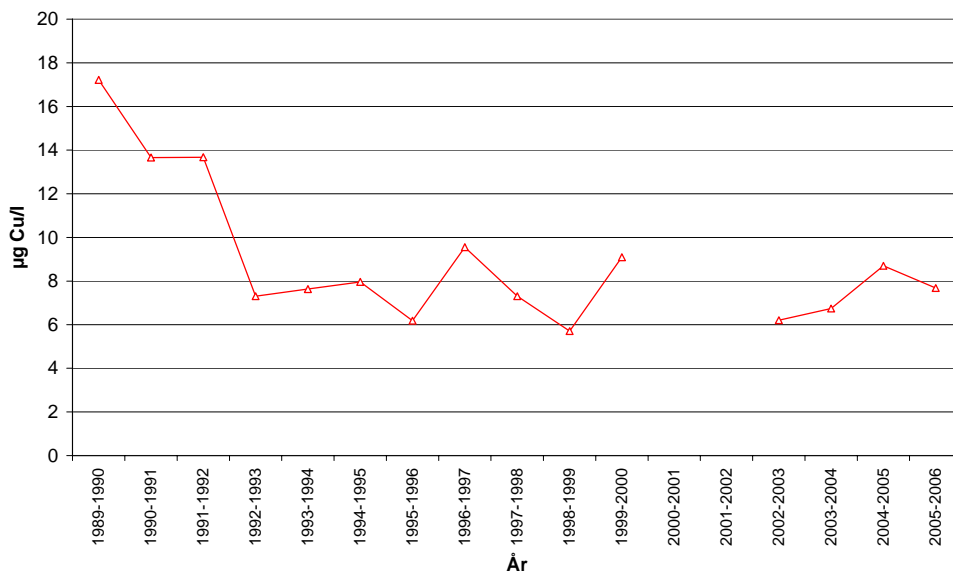
Stasjonen ved Øyum bru ved Vormstad ble i sin tid opprettet av gruveselskapet og det foreligger data for denne stasjonen for en lang rekke år. I denne rapporten tar vi med datamateriale for perioden like før og etter at tiltaksplanen ble satt i drift. I tabell 31 i vedlegg A er samlet analyseresultater for prøver

som er tatt i 2005-2006. I tabell 11 er gjort en sammenstilling av beregnede tidsveiede årsmiddelverdier for de viktigste metaller i perioden 1989-2006.

**Tabell 11.** Tidsveiede årsmiddelverdier, hydrologiske år. Orkla ved Vormstad.

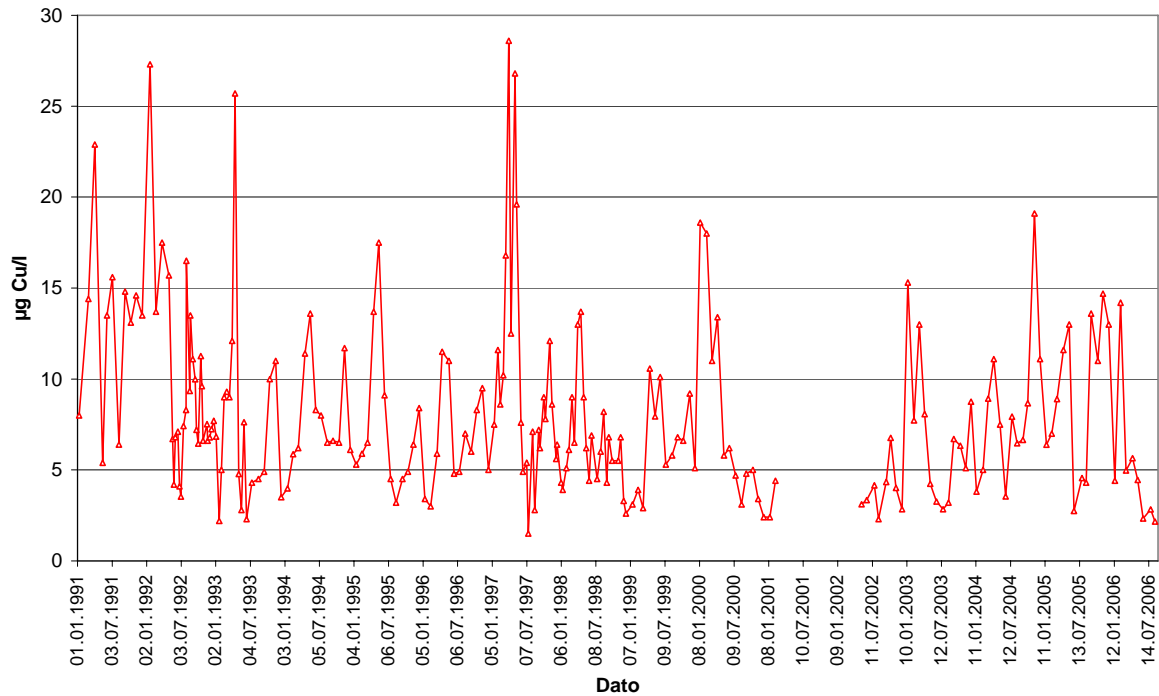
Hyd.år	Fe µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Al µg/l
1989-1990	386	17,2	31,2	
1990-1991	222	13,7	30,6	
1991-1992	263	13,7	28,4	
1992-1993	211	7,3	32,4	
1993-1994	151	7,6	26,2	
1994-1995	146	8,0	24,1	
1995-1996	113	6,2	18,5	
1996-1997	166	9,6	29,1	
1997-1998	140	7,3	17,8	
1998-1999	118	5,7	15,5	
1999-2000	144	9,1	27,4	
2000-2001	108			
2001-2002	143			
2002-2003	125	6,2	16,8	
2003-2004	124	6,7	18,0	
2004-2005		8,7	22,1	
2005-2006	112	7,7	19,4	54

Figur 27 viser en grafisk fremstilling av middelverdiene for kobber. En ser at da tiltaksplanen ble satt i drift i 1992, førte dette umiddelbart til lavere kobberkonsentrasjoner i Orkla. Etter 1992 har årsmiddelverdien alltid vært lavere enn 10 µg/l. Stasjonen ble ikke prøvetatt i 2001 og 2002.



**Figur 27.** Tidsveiede årsmiddelverdier for kobber i Orkla ved Vormstad.

Når det gjelder biologiske effekter i vassdraget, er det mest interessant å sammenligne med den reelle konsentrasjon til enhver tid. Figur 28 viser resultatene for kobber for alle prøver som er tatt etter 1991.



**Figur 28.** Kobberobservasjoner i Orkla ved Vormstad 1991-2006.

Resultatene viser at etter at tiltaksplanen ble satt i drift, har en hatt flere episoder med kobberkonsentrasjoner over 10 µg/l. Den første alvorlige episoden inntraff våren 1997 pga brudd på drensledningen under Nordre berghald. Det tok en måneds tid før den ble reparert. For øvrig hadde en flere episoder i 2004-2005 som for en stor del skyldes at drensvann på Løkkensida måtte føres på bekken da innløpet i gruva var i ferd med å gå tett. I den siste perioden var det også økte tilførsler av kobber fra Wallenberg pumpestasjon via Bjørnlivatn. Etter at innløpet til gruva ble flyttet til Gammelsjaktå senhøstes 2005, ser en at konsentrasjonene falt betydelig utover i 2006.

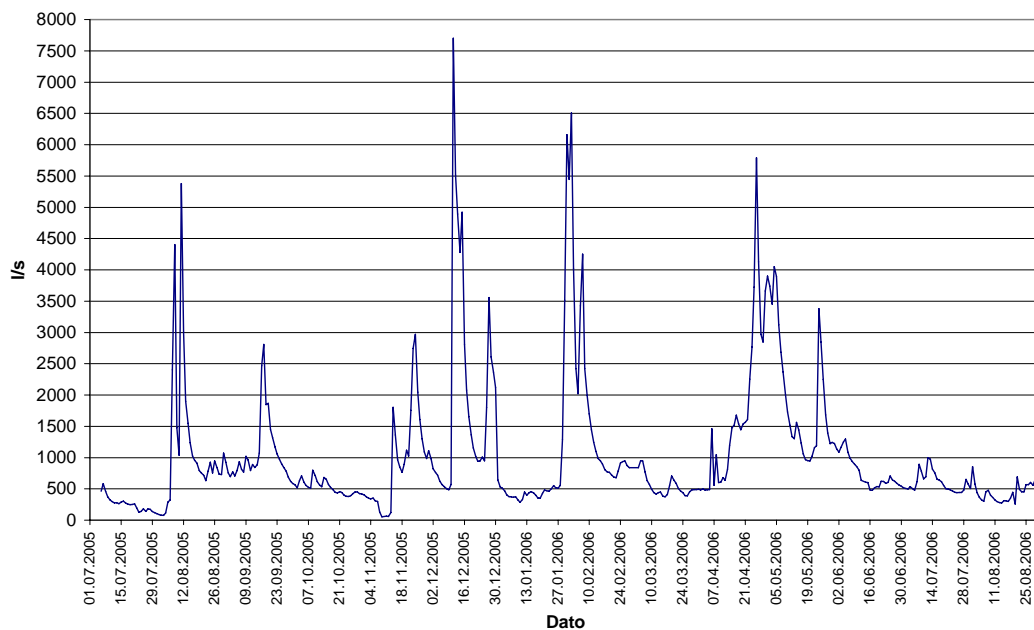
## 4. Massebalanse

### 4.1 Vannbalanser

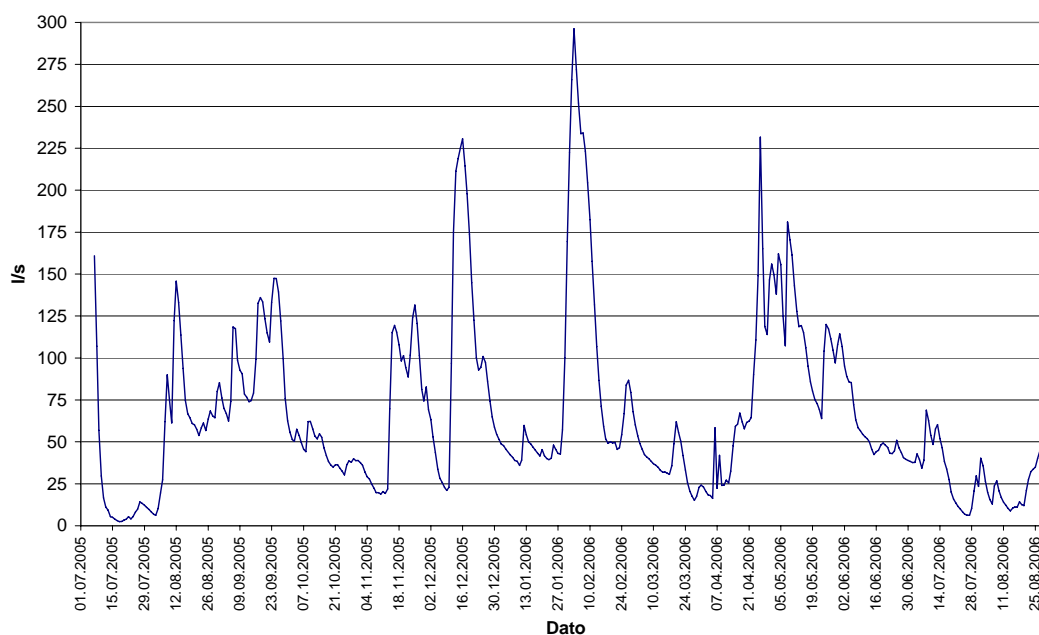
#### 4.1.1 Bjørnlivatn - Raubekken

Vannføringene i Raubekken måles ved en profil i bekken like før inntaket i kraftverket. Kraftverkene i Orkla (KVO) har tidligere (1989) kalibrert en vannføringskurve for profilen som er lagt til grunn for angivelse av vannføring i alle år. Vi supplerte stasjonen med en vannstandslogger og benyttet eksisterende vannføringskurve. Kurven ble kontrollert vha en intern metode der vi doserer kjent mengde salt til bekken og måler forløpet av ledningsevneøkningen. Et særskilt instrument beregner vannføringen. Det ble funnet god overensstemmelse med eksisterende kurve. Ved utløpet av Bjørnlivatn ble den gamle 120 graders trekantprofilen i stål satt på plass igjen før programmets start i juli 2005. Observerte verdier ble også her kontrollert vha "saldoseringsmetoden".

Figur 29 og figur 30 viser hvordan døgnmiddelvannføringene i Raubekken og ved utløpet av Bjørnlivatn varierte i måleperioden.



**Figur 29.** Døgnvannføringer i Raubekken 2005-2006.



**Figur 30.** Døgnmiddelvannføringer ved utløpet av Bjørnlivatn 2005-2006.

Begge bekker er typiske flombekker der vannføringen kan variere mye i løpet av korte tidsrom. Vannføringen ved utløpet av Bjørnlivatn er noe påvirket av tilførselene fra Wallenberg pumpestasjon som ble satt i drift i april 1992. Vårflommen inntraff i månedsskiftet april-mai 2006. De høyeste vannføringene hadde en imidlertid under vintersituasjonen i desember og i begynnelsen av februar. Dette hadde sammenheng med at en på disse tidspunkter fikk mildvær og nedbør i form av regn, noe som også førte til kraftig snøsmelting. Ved hjelp av døgnmiddelvannføringene har en i tabell 12 beregnet årsavrenningen og gitt en oversikt over middelvannføring, samt høyeste og laveste døgnmiddelvannføring.

Middelvannføringen for Raubekken i det hydrologiske året er omkring det normale (se tabell 4), mens middelvannføringen ved utløpet av Bjørnlivatn er betydelig lavere enn beregnet ut fra avrenningskoeffisienten. En avrenningskoeffisient på  $25 \text{ l/s/km}^2$  er åpenbart for høy for Bjørnlivatn og dermed også for Bjønndalsdammen. I deler av året har Bjønndalsdammen intet avløp. Dersom en trekker tilførselene fra Løkkensiden ( $250.000 \text{ m}^3$ ) fra beregnet årsavrenning fra Bjørnlivatn, kan det beregnes at avrenningskoeffisienten for Bjørnlivatn var  $15 \text{ l/s/km}^2$  i 2005-2006. Teoretisk verdi er angitt til  $25 \text{ l/s/km}^2$  (NVE, 1987). For Raubekken stemmer den teoretiske avrenningskoeffisienten. Benytter man  $15 \text{ l/s/km}^2$  som avrenningskoeffisient for Bjønndalsdammen, får man en middelvannføring for året på  $11 \text{ l/s}$ , vel  $\frac{1}{2}$ -parten av det som ble anslått i tiltaksutredningen fra 1990 (Øren et al, 1990). For Bjønndalsdammen som ligger øverst i nedbørfeltet kan kanskje avrenningskoeffisienten være enda lavere. Avrenningen fra Bjørnlivatn utgjorde 6,4 % av samlet avrenning i Raubekken i 2005-2006.

**Tabell 12.** Avrenning fra Bjørnlivatn og i Raubekken.

		<b>Raubekken</b>	<b>Bjørnlivatn</b>
Avrenning	$\text{m}^3$	34186737	2184444
Gj.snitt	$\text{l/s}$	1084	66,1
Max	$\text{l/s}$	7700	296
Min	$\text{l/s}$	55	2,48
Median	$\text{l/s}$	684	50,4

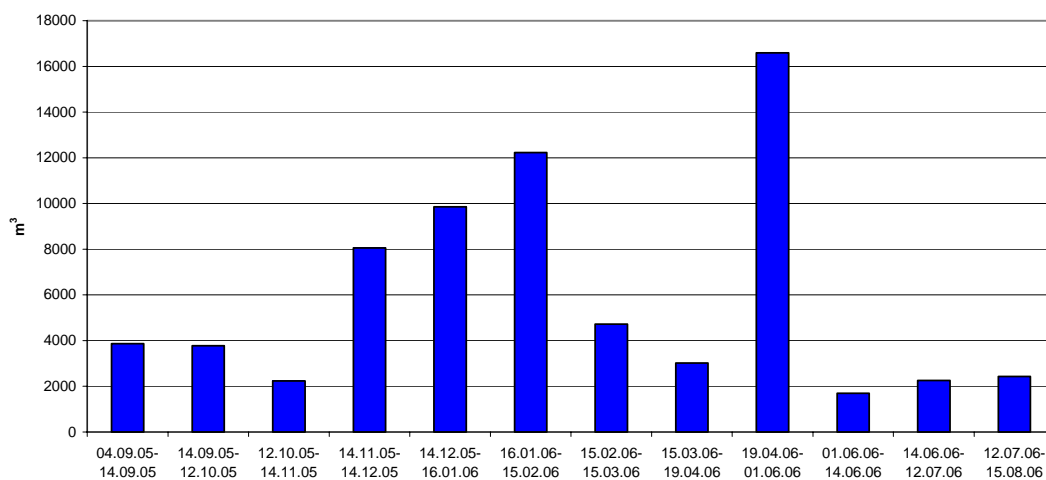
#### 4.1.2 Vannbalanse på Wallenberg gruve

I tiltaksrapporten fra 1990 (Øren et al, 1990) er gjort greie for området vannbalanse. Det er et svært omfattende arbeid som må til for at det skal bli god overensstemmelse mellom målte og beregnede vannføringer. Det er mange kilder som det ikke er mulig å gjøre rede for ved feltmålinger. Meteorologiske forhold har stor betydning for vannbalansen i området. Når det gjelder gruva, får denne tilførsler fra følgende kilder:

- Fra Stallgata pumpestasjon (stasjon A)
- Drensrør fra Nordre berghald (stasjon B)
- Drensrør i Gammelgruva (stasjon C)
- Tilførsler fra Astrup gruveområde (måles av NAD)
- Tilførsler av vann til Gammelsjakta fra overflaten (ikke målt)
- Tilførsler til Fearnley sjakt (ikke målt)
- Naturlig tilsig gjennom berggrunnen
- Tilsig gjennom grunnen fra innsjøene over gruva
- Tilførsler gjennom rasområdet i Fagerliåsen

Vannstanden i gruva holdes ved utpumping fra Wallenberg sjakt. Pumpestasjonen er styrt av vannstands nivået i gruva. Når gruva er nedpumpet til laveste nivå og hvis det er lite tilsig, kan det ta noen tid inntil vannstanden blir høy nok slik at pumpa kommer i drift igjen.

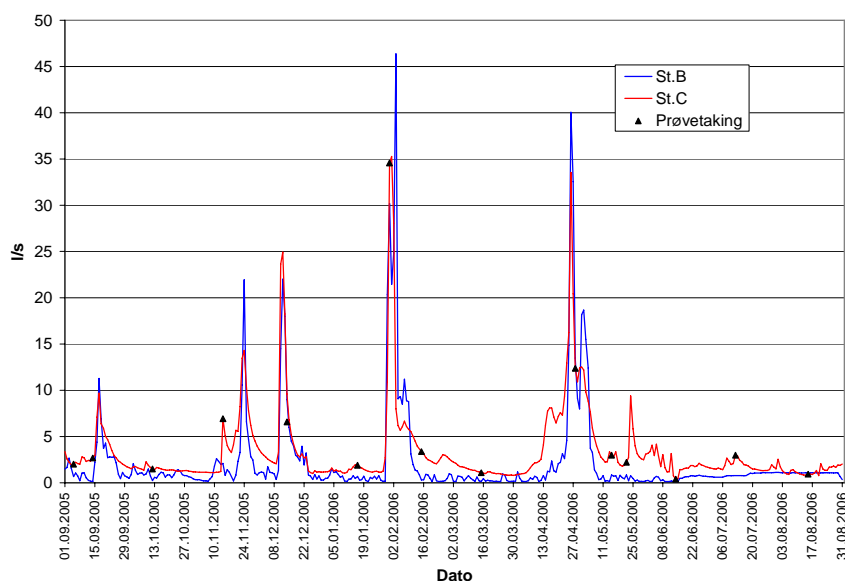
Ved stasjon A - Stallgata pumpestasjon leses pumpestanden av ved hver prøvetaking. Figur 31 viser grafisk utpumpet vannmengde side foregående prøvetaking i perioden 2005-2006. Det ble pumpet spesielt mye vann i perioden november 2005-februar 2006 og i mai 2006. I tabell 13 er beregnet årsvolumer for de to foregående måleperiodene og for perioden 2005-2006.



**Figur 31.** Stasjon A. Stallgata pst. Utpumpet vannmengde siden foregående prøvetaking

Nedbørfeltet til stasjon B – Drensrør fra Nordre berghald er lite. Vannføringen kan derfor endre seg mye over korte tidsrom avhengig av nedbør og lufttemperatur. Vannføringen måles vha en målekasse som er montert under utløpsrøret som fører inn i synken i Gammelgruva. Målestedet er også benyttet ved de to foregående måleperiodene og opplegget er det samme. En datalogger måler overløpshøyden i målekassa som har en 90 graders overløpsprofil. Vannføringen blir målt hver time og det beregnes en døgnmiddelvannføring er lagt til grunn for beregning av årsavrenningen. Målekassa har en maksimal overløpshøyde på 40 cm som tilsvarer en vannføring på 136 l/s. Opplegget vil gi god målenøyaktighet ned til overløpshøyder på 5 cm som tilsvarer en vannføring på 0,8 l/s.





**Figur 32.** Døgnmiddelvannføringer ved stasjon B, Drensrør fra Nordre berghald og stasjon C, Grøft i Gammelgruva i 2005-2006 med markering av prøvetakingstidspunkter.

I tabellen under er samlet noen nøkkeldata for året 2005-2006:

Årsvolum	105821 m <sup>3</sup>
Gj.snitt	3,36 l/s
Maks.verdi	35,27 l/s
Min.verdi	0,39 l/s
Median	1,89 l/s

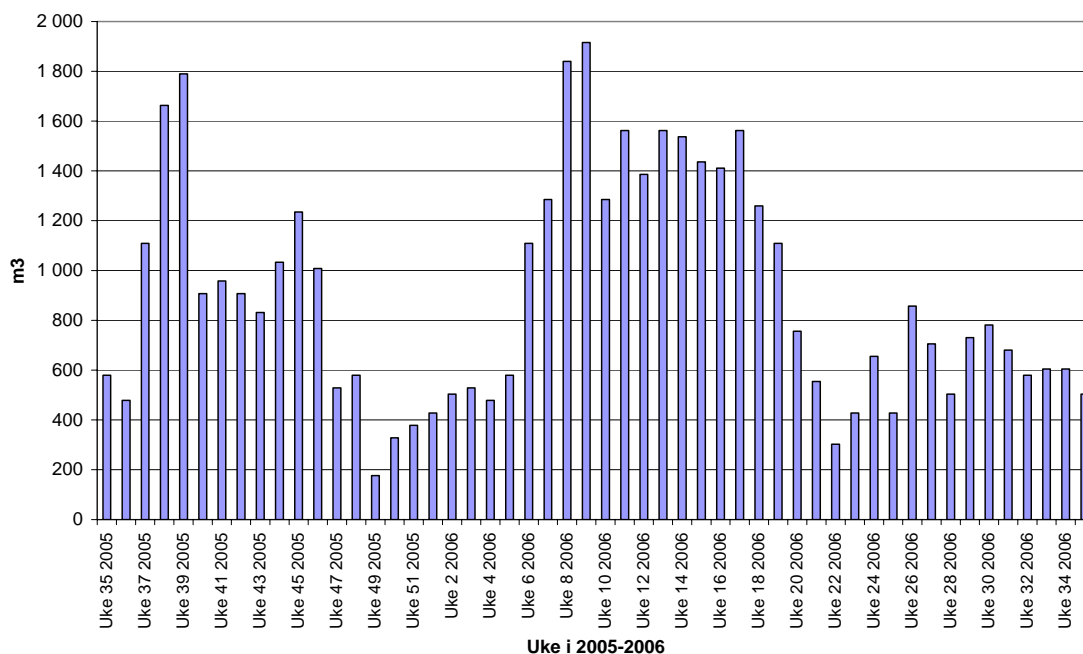
I måleperioden har det vært 2 episoder med avvik som kan ha hatt litt betydning for volumberegningene. I desember 2005 kom det så mye nedbør i form av regn at pumpa i synken ikke greide å ta unna. Det ble flom i gruva og målekassa kom ut av stilling. Den ble stemplet fast i samme posisjon igjen av Orkla Industrimuseum etter noen dager. Dette medfører at flomtoppen kan ha vært høyere. I juli måned sviktet nivåsensoren som styrer pumpa i synken. Dette medførte at vannstanden i synken steg så mye før pumpa begynte å virke at det i perioder av døgnet ikke ble noe naturlig overløp fra målekassa. 3-5 målinger pr. døgn synes likevel å være representative for vannstanden i målekassa. Vi har derfor benyttet laveste vannstand i målekassa i hvert døgn for beregning av døgnmiddelvannføringen. Totalt sett vurderes likevel de beregnede verdier å gi et pålitelig bilde av tilførselen til gruva gjennom drensledningen. I de to månedene som gikk med reduserte målinger pr. døgn var relativt nedbørfattige: Vannføringen varierte lite. Det ser en av observasjonene for stasjon C som virket normalt.

Ved stasjon C – Grøft i Gammelgruva ble det lagt ned et 200 mm plastrør i grøfta. Vannføringen måles vha en sensor som måler vannhøyde og vannhastighet. Vannføringen beregnes og lagres i en datalogger hver time. Figur 32 ovenfor viser også forløpet av døgnmiddelvannføringene ved stasjon C. I tabellen under er samlet noen nøkkeltall for stasjon C:

Årsvolum	70981 m <sup>3</sup>
Gj.snitt	2,25 l/s
Maks.verdi	46,4 l/s
Min.verdi	0,14 l/s
Median	0,77 l/s

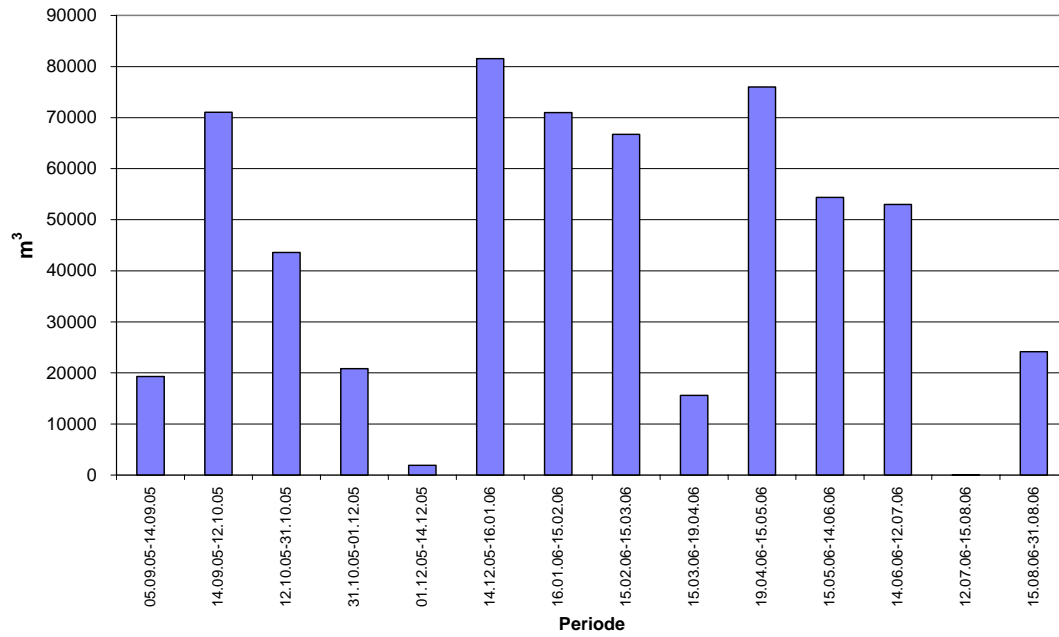
Som en ser av figur 32 foran, kan vannføringen i enda større grad variere mye over korte tidsrom enn ved stasjon B. Siden nedbørfeltet er mindre enn ved stasjon B, kan det synes ulogisk at målt maksimumsvannføring er høyere enn ved stasjon B. Vannføringen i mesteparten av året er stort sett lavere enn ved stasjon B. Forholdene var imidlertid meget spesielle da flomtoppene inntraff. Det falt nedbør nedbør i form av regn på snøen som lå i terrenget. Det kan derfor kanskje være tilfeldig hva slags vannføringer en får under slike forhold. Det knytter seg likevel litt usikkerhet til forholdene under disse flomperiodene da synken i Gammelgruva var helt vannfylt, noe som også kan ha hatt innvirkning på måleresultatene. På den annen side blir det opplyst fra Orkla Industrimuseum at vannstanden i grøfta ikke var så stor at vannet rant utenom profilen og ut i gangveien. Under flomtoppene var profilen fullstendig fylt og det sto en liten dam foran innløpet. Av kurver for fullstendig fylte rør kan det avleses at vannføringen gjennom et 200 mm rør (med et fall på 1:100) vil være omkring 48 l/s (målestasjonens datalogger angir 47,9 l/s). Observert maksimal vannføring synes derfor rimelig ut.

Det føres pumpelogg for pumping av vann fra Astrup gruveområde. Figur 33 viser ukentlige pumpemengder i måleperioden. En ser at de største volumene ble pumpet ut i uke 37-46 i 2005 og i uke 6-19 i 2006. I alt ble pumpet ut ca 47.000 m<sup>3</sup> i perioden 2005-2006.



**Figur 33.** Pumping av vann fra Astrup gruve i 2005-2006.

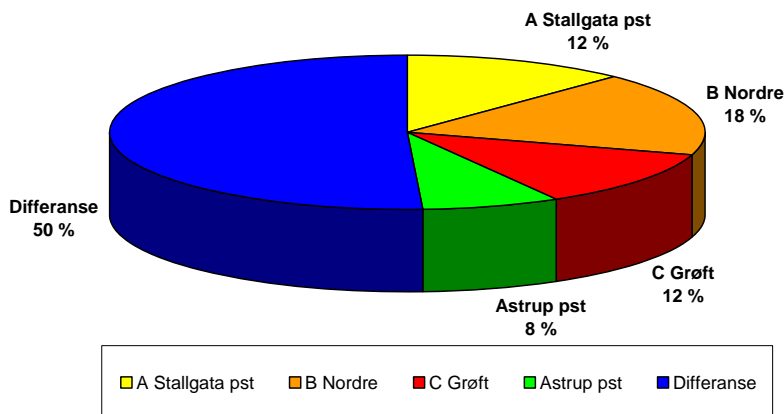
Som for Stallgata pumpestasjon blir pumpestanden ved Wallenberg pumpestasjon avlest ved hver prøvetaking. Figur 34 viser grafisk hvor mye vann som er pumpet mellom hver prøvetaking i 2005-2006. For det hydrologiske året 2005-2006 ble i alt pumpet ut nær 600.000 m<sup>3</sup>. Figuren viser at pumpingen er ujevnt fordelt i løpet av året og er styrt av tilrenningen. De største vannmengdene gikk ut i september-oktober 2005, i perioden desember 2005 - mars 2006 og i april - mai 2006.



Figur 34. Pumping av gruvevann fra Wallenberg pst i 2005-2006.

Tabell 13. Samlet vannbalanse for målestasjonene.

Periode	A. Stallgata pst. m³	B. Nordre berghald m³	C. Grøft m³	Astrup pst. m³	Sum inn m³	Wallenberg pst. m³
1992-1993	48900	52600	18200		119700	625500
1997-1998	72497	93131	32354	30000	228000	635734
2005-2006	73211	105821	70981	46000	297000	600000



Figur 35. Vannbalanse på Løkkengruva 2005-2006. Fordeling på kilder i %.

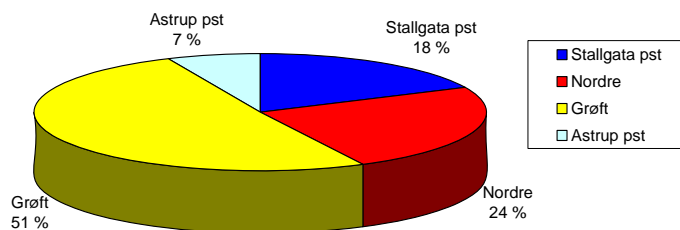
## 4.2 Materialbalanse på Wallenberg gruve

Å beregne stofftransporten i området med stor presisjon er en svært omfattende oppgave. Når en likevel har valgt å gjennomføre slike beregninger i dette prosjektet og i de to foregående, har målsettingen vært å skaffe informasjon om betydningen av de enkelte kilder. For slike formål mener vi at presisjonen er tilfredsstillende. Det er flere måter å beregne stofftransporten på. I de to foregående prosjektene har prøvetakingsfrekvensen vært den dobbelte i forhold til siste undersøkelse. Årstransporten ble da beregnet ved å multiplisere målt øyeblikksvannføring med korresponderende analyseverdier og summere transporten for to og to uker. Vannføringen ved pumpestasjonene ble den gang avlest ukentlig.

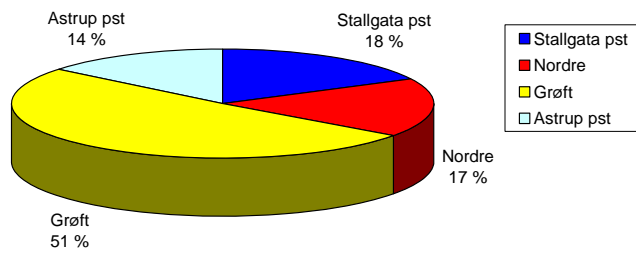
I det foreliggende prosjektet er årstransporten beregnet på en annen måte. For stasjonene på Løkken-siden har en erfart at bredden i konsentrasjonsvariasjonene er mye mindre enn for vannføringene. For å beregne årstransporten har en derfor gjort den forenkling å multiplisere tidsveiet middelverdi for analyseresultat med årsvolumet. Årsvolumet er beregnet vha døgmmiddelvannføringer og summering av avrenningen for alle døgn i året. På denne måten er det i tabell 14 gjort en beregning av materialbalansen på gruva for siste måleperiode.

**Tabell 14.** Materialbalanse på Wallenberg gruve i 2005-2006.

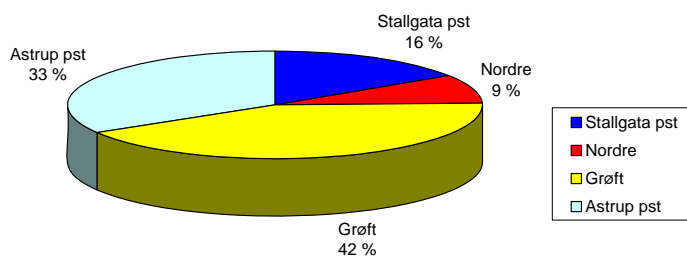
Stasjon	SO <sub>4</sub> tonn	Fe tonn	Cu tonn	Zn tonn	Cd kg	Al tonn
A. Stallgata pst	308	46	4,3	3,7	15,2	11,4
B. Nordre berghald	414	95	4,3	2,0	8,0	12,3
C. Grøft Gammelgruva	864	153	12,5	10,0	40,0	42,1
Astrup pst	116	13	3,5	7,9	27,7	2,6
<b>Sum tilførsler</b>	<b>1701</b>	<b>306</b>	<b>24,5</b>	<b>23,7</b>	<b>90,9</b>	<b>68,4</b>
<b>Avløp Wallenberg pst</b>	<b>1025</b>	<b>82</b>	<b>1,4</b>	<b>9,8</b>	<b>21,2</b>	<b>9,7</b>



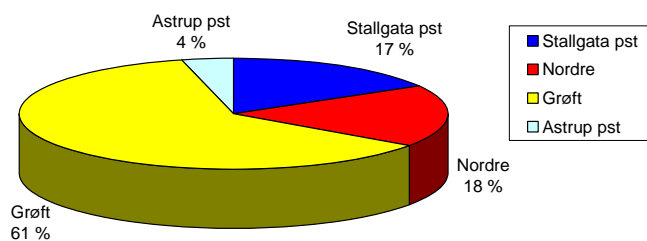
**Figur 36.** Jernbalanse på Wallenberg gruve. Fordeling på kilder i %.



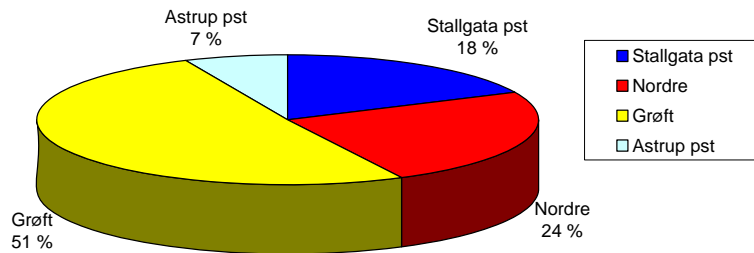
**Figur 37.** Kobberbalanse på gruva. Fordeling på kilder i %.



**Figur 38.** Sinkbalanse på gruva. Fordeling på kilder i %.



**Figur 39.** Aluminiumbalanse på gruva. Fordeling på kilder i %.



**Figur 40.** Sulfatbalanse på gruva.. Fordeling på kilder i %.

I tabell 15 har en samlet beregnede transportverdier for de tre måleperiodene som er gjennomført. I Tabell 16 gir en oversikt over årlig materialtransport ved Wallenberg pumpestasjon for alle år etter at den kom i drift.

**Tabell 15.** Metallbalanse på Wallenberg gruve for de tre undersøkelsesperioder som er gjennomført.

Stasjon	SO <sub>4</sub> tonn	Fe tonn	Cu tonn	Zn tonn	Cd kg	Al tonn
A. Stallgata 1992-1993	290	52	5,9	5,9		
A. Stallgata 1997-1998	354	58	6,2	6,3	26	
A. Stallgata 2005-2006	308	46	4,3	3,7	15	11
B. Nordre 1992-1993	319	83	3,9	2,0		
B. Nordre 1997-1998	580	151	7,3	3,7	19	
B. Nordre 2005-2006	414	95	4,3	2,0	8	12
C. Grøft 1992-1993	887	65	5,0	4,0		
C. Grøft 1997-1998	423	89	6,7	5,3	20	
C. Grøft 2005-2006	864	153	12,5	10,0	40	42
Astrup pst 2005-2006	116	13	3,5	7,9	27,7	2,6
Wallenberg pst. 1992-1993	939	42	2,1	10,2	28	2,2
Wallenberg pst. 1997-1998	976	61	1,1	9,5	16	2,8
Wallenberg pst. 2005-2006	926	69	0,98	7,7	16	6,5

**Tabell 16.** Materialtransport ved Wallenberg pst. 1992-2006.

År	SO <sub>4</sub> tonn	Fe tonn	Cu tonn	Zn tonn	Cd kg	Mn tonn	Ni tonn	Co tonn	Pb kg	Al tonn	Vannmengde m <sup>3</sup>
1992-1993	1286	59,0	2,20	14,2	28,4	4,49	0,10	0,45		2,2	582048
1993-1994	763	31,3	0,88	6,58	10,5	3,56	0,04	0,23		1,7	458600
1994-1995	1174	50,4	1,76	11,2	44,3	5,62	0,08	0,43		2,2	631492
1995-1996	675	32,5	0,78	6,36	9,0	3,11	0,06	0,15		1,5	513821
1996-1997	897	47,3	1,01	7,77	8,1	3,51	0,08	0,30		2,7	550965
1997-1998	1027	61,8	1,11	9,73	17,9	3,98	0,08	0,40		2,8	681638
1998-1999	989	71,9	0,77	9,52	15,3	3,15	0,59	0,36		2,4	481092
1999-2000	1056	66,1	0,73	8,25	14,6	3,10	0,07	0,36		2,3	676796
2000-2001	692	39,7	0,31	4,51	5,6	1,74	0,04	0,20		0,7	363598
2001-2002	1650	135,7	5,28	19,0	36,3	4,50	0,14	0,63	28,8	22,8	685408
2002-2003	686	48,1	0,52	5,63	9,3	1,87	0,05	0,23	4,3	3,9	381328
2003-2004	1201	92,4	3,03	12,1	28,7	2,96	0,10	0,45	12,3	14,5	623033
2004-2005	1496	140,0	5,90	19,3	52,2	3,34	0,13	0,62	25,1	28,2	618505
2005-2006	926	69,4	0,98	7,73	15,8	2,15	0,10	0,33	6,6	6,5	599112

### 4.3 Forurensningstransport fra hovedkildene

Da denne undersøkelsen også for første gang omfatter kontinuerlige vannføringsmålinger både ved utløpet av Bjørnlivatn og i Raubekken kan en derved beregne hva tilførslene fra Bjørnlivatn betyr for den samlede transport i Raubekken. Det er derved også mulig å gi et anslag over hvor stor transporten fra Løkkensiden er, dvs si noe om effektiviteten til dreneringstiltaket som ble avsluttet i 1991.

I tabell 17 har en samlet årstransporten for Raubekken for alle år etter 1989. En ser årstransporten avtok merkbart etter at tiltaksplanen ble satt i verk. Problemene med gjentetting av tilløpet gjennom synken i Gammelgruva og nødoverløp til Raubekken førte til at transporten igjen ble omtrent den samme som i de siste årene før tiltaksplanen. I tillegg fikk en også økte tilførsler fra Wallenberg pumpestasjon. Den store sulfatøkningen skyldes for en stor del tilførsler fra gruva. Transporten i Raubekken var også høyere enn normalt i første halvår 2006 da det periodevis fortsatt gikk en del drensvann i overløp til Raubekken. I figur 41 er årstransporten for kobber fremstilt grafisk. I tabell 18 har en sammenlignet årstransporten i Raubekken med tilførselen fra Bjørnlivatn i undersøkelsesperioden. Resultatene viser at Løkkensiden er den dominerende forurensningskilde i området, men at tilførslene fra gruva via Bjørnlivatn bidro med en del sulfat og sink.

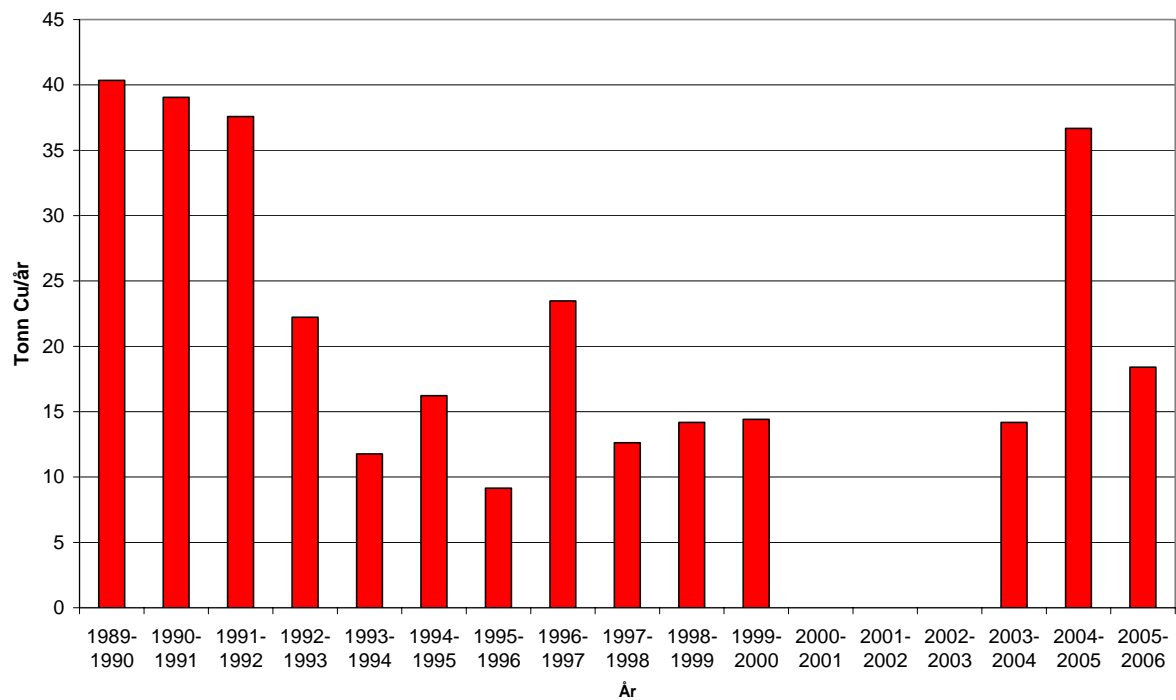
**Tabell 17.** Materialtransport i Raubekken. Hydrologiske år 1989-2006.

Hyd.år	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	Cu	Zn	Cd
	Tonn	Tonn	Tonn	Tonn	Tonn	Kg
1989-1990	3040		383	40,4	65,8	130
1990-1991	4480		478	39,1	72,7	199
1991-1992	4195		434	37,6	72,3	190
1992-1993	4490	65,6	229	22,2	76,7	173
1993-1994	2761	29,4	133	11,8	43,8	82,3
1994-1995	3764	39,4	166	16,2	54,0	116
1995-1996	2431	29,1	112	9,1	33,2	73,3
1996-1997	4517	54,6	180	23,5	63,9	156
1997-1998	3484	36,7	117	12,6	42,7	101
1998-1999	3554	46,5	158	14,2	43,1	93,7
1999-2000	3707	40,2	126	14,4	44,7	95,6
2000-2001	2020					
2001-2002	3398					
2002-2003	3516					
2003-2004	3520	48,2	101	14,2	39,4	87,1
2004-2005	7156	126,5	192	36,7	90,7	273
2005-2006	4088	69	130	18,4	46,3	119

**Tabell 18.** Transport i Raubekken og utløp Bjørnlivatn i 2005-2006.

Stasjon	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	Cu	Zn	Cd
	Tonn	Tonn	Tonn	Tonn	Tonn	Kg
Raubekken	4088	69	130	18,4	46,3	119
Utløp Bjørnlivatn	1458	12	10	3,3	14,0	34
Differanse (= Løkkensiden)	2630	57	120	15,3	32,3	85





**Figur 41.** Kobbertransport i Raubekken, hydrologiske år 1989-2006.

## 5. Samlet vurdering

En har nå gjennomført kontroll av forurensningssituasjonen i Løkken gruveområde i 15 år etter at tiltaksplanen ble iverksatt. Kontrollen har i perioder vært enkel, men tilstrekkelig for å ha god kontroll med forurensningssituasjonen. I perioden 1992-2006 er det gjennomført tre mer omfattende kontroller av vannkvalitet og forurensningstransport. Denne siste kontrollen ble gjennomført etter at det ble påvist en foruroligende utvikling av vannkvaliteten til utgående vann fra Wallenberg gruve.

I perioden 2004-2005 ble pH-verdien i utgående vann fra gruva svært lav, noe som også førte til en betydelig økning i tungmetalltransporten fra gruva. Publikum har reagert på synlige endringer i vannkvaliteten i Bjørnlivatn. Dette har sammenheng med en betydelig økning i tilførslene av jern fra gruva. I utgående vann foreligger jernet i overveiende grad som toverdigg. Toverdigg jern oksiderer til treverdigg jern i Fagerlivatn og Bjørnlivatn og felles ut som brunfarget hydroksid i vannmassene. Denne prosessen forårsaker et ytterligere pH-fall. Ved programmets start var pH ved utløpet av Bjørnlivatn som lav som 3,1. Undersøkelsene har vist at økte utslipp av toverdigg jern forårsaker en sekundær effekt i de to innsjøene ved at tiltakende surhet fører til utløsning av metaller fra sedimenter og gruveavfall i strandsonen i tillegg til økte tungmetallutslipp fra gruva. Årsaken endringer i vannkvaliteten ved Wallenberg pumpestasjon ble påvist å ha sammenheng med gjennomslag av survann fra Løkkensiden. Vannet beveget seg mot Wallenberg sjakt gjennom de to øverste nivåene i gruva. Etter at omleggingen av innløpet i gruva på Løkkensiden var ferdig, har vannkvaliteten forbedret seg betydelig og er for tiden omtrent slik den var før problemene oppsto. Usikkerheten knytter seg imidlertid fortsatt til hvilken varighet den positive effekten av omleggingstiltaket vil ha og hva som vil hende på lengre sikt.

Økte tilførsler fra Bjørnlivatsiden har ikke ført til noen vesentlig endring i vannkvaliteten i Raubekken. Selv om situasjonen ble karakterisert som bekymringsfull, hadde ikke utslippene fra Bjørnlivatsiden noen vesentlige konsekvenser for vassdraget nedenfor. Økte utslipp fra Løkkensiden som følge av at en måtte føre nødoverløp til Raubekken da innløpet gikk tett er årsaken til økt forurensningstransport i Raubekken i 2004-2005. Også i siste årssyklus har det vært nødoverløp til Raubekken i perioder da den nye pumpestasjonen i synken i Gammelgruva ikke har greid å ta unna uventet stor vanninntrengning som følge av mildvær og regn vinteren 2005/2006. Tilførsler fra Løkkensiden er største forurensningskilde i området. Mye tyder på at oppsamling av drens vann i grøfta i Stallgata ikke er så effektiv som en kunne ønske, men det er vanskelig å kvantifisere dette nærmere pga perioder med nødoverløp til Raubekken. En vil komme tilbake til dette etter at oppfølgingsprogrammet for 2006-2007 er ferdig.

Som i tidligere perioder har en gjort en vurdering av vannbalanse og metallbalanse på gruva. Dette er gjort ved å måle kontinuerlig alt inngående vann som det er mulig å kartlegge på en enkel måte, samt utgående vann til gruva og gjennomføre analyse av stikkprøver av de målte kildene. Resultatene viser som tidligere at de største vannmengdene til gruva ikke kan registreres ved direkte målinger. Vi greier bare å gjøre rede for ca 1/2-parten av inngående vannmengder. Den største vanntilførselen til gruva skjer sannsynligvis gjennom rasområdet omkring Wallenberg sjakt i Fagerliåsen. En kan også observere at det går inn en del vann ned Gammelsjakta og Fearnley sjakt. I tillegg kommer naturlige tilførsler gjennom grunnen og gjennom sedimentene fra innsjøene over. Vi antar at de tilførslene en ikke kan måle består for det meste av forholdsvis lite metallbelastet vann. Dette kan en se på analyseresultatene for utgående vann fra gruva. I perioder med mye nedbør ser en bl.a på konduktivitetmålingene at utgående vann er betydelig fortynnet med lite forurenset som er trengt inn fra overflaten omkring Wallenberg sjakt.

Metallbalansen er viktig for å kunne forstå hvilke prosesser som pågår i gruva og for å kunne planlegge videre tiltak. Da metallbelastningen på gruva i stor grad er knyttet til utvasking av forvittrings-

produkter fra avfallet som drenerer til gruva, blir vannføringsmålingene spesielt viktige. Ved de tre kildene på Løkkensiden er forholdene slik at konsentrasjonene i dreinsvannet varierer mye mindre enn vannføringen. Dette skyldes av forvitringen i gruveavfallet på overflaten pågår hele tiden, mens utvasking av forvitningsproduktene er styrt av nedbøren. Den største metallbelastningen på gruva skjer derfor når det er mye nedbør i form av regn eller når det er snøsmelting. Valg av prøvetakingsstrategi har betydning for beregning av årstransporten. I dette tilfelle har en gjort den forenkling å multiplisere årsmiddelverdi for konsentrasjon med beregnet årsavrenning basert på døgnmiddelvannføring. Erfaringsmessig gir dette en god informasjon om størrelsesordenen på transporten, dvs man kan vurdere de enkelte kildene i forhold til hverandre. Man kan øke presisjonen ved å øke prøvetakingsfrekvensen. Når det gjelder de to stasjonene i Gammelgruva, ser en at når vannføringen øker med en faktor på ca. 100, fører dette kun til en halvering av konsentrasjonen. Siden en har prøvetatt både ved høye og lave vannføringer (se figur 32 foran), oppnås et forholdsvis godt anslag over årstransporten. Når det gjelder stasjonene i Gammelgruva, er det imidlertid flere forhold en har liten kunnskap om. Ved stasjon C har vi sett at selv om vannføringen økte fra 0,3 til 30 l/s, avtok kobberkonsentrasjonen bare med ca 50 %. Det er tydelig at mye nedbør forårsaker stor utvasking av forvitningsprodukter som er lagret i avfallet. Store andeler av metallinnholdet i dreinsvannet foreligger sannsynligvis i partikulær form og suspendert i vannmassene. Vannføringen kan endre seg betydelig bare i løpet av noen timer. Vi har ingen kunnskap om hva som foregår i de første timene under en flomsituasjon. Det vil derfor være en forholdsvis stor oppgave å øke presisjonen i transportberegningene i betydelig grad.

En har nå innhentet erfaringer fra tre undersøkelsesperioder, 1992/1993, 1997/1998 og den siste i 2005/2006. Det er mulig å sammenligne vannkvalitet og materialtransport for de viktigste kilder. Beregningene kan tilsynelatende se noe sprikende ut. Noen forhold må tas hensyn til ved vurdering av materialet. Resultatene fra den første perioden kan være undervurdert da den ikke omfattet et helt år. Undersøkelsen omfattet ikke høsten 1992. Analysene gir uttrykk for "totalt" metallinnhold ved at det analyseres på syrekonserverte, ubehandlede prøver. I vannstrømmene transporteres også en del subbus, dvs materiale som har sedimentert i grøftene eller kommer fra avfallet over Gammelgruva. Analysene gir uttrykk for hva som transporteres til gruva, men gir ikke alltid informasjon om det som har direkte sammenheng med forvitring. Eksempelvis kan nevnes at sulfattransporten ved stasjon C var omtrent den samme i siste periode som i 1992/1993, mens metalltransporten var mye høyere. En mulig forklaring kan være at en under de store flomperiodene i mellom november 2005 og februar 2006 har fått vasket ut mye subbus fra magnetittmalmen over gruva. Transportberegningen gir derfor ikke uttrykk for noen økt forvitningsaktivitet i tippet, men en økt transport som følge av utvasking av utfelt materiale som er lagret i tippet. Slikt avfall inneholder for en stor del utfelte metall-oksider/hydroksider og mindre mengder vannløselige sulfater. Undersøkelser i 1989 viste at denne tippet var betydelig mer forvitret og inneholdt mer finstoff enn Nordre berghald. Det transporteres også en del fint materiale fra Nordre berghald. Dette kan også være en medvirkende årsak til at synken i Gammelgruva gikk tett. Konsentrasjonene ved stasjon C var en del lavere i 2005/2006 enn de var i 1997/1998. Det har neppe skjedd noen omfattende endringer i forvitningsprosessene i tippet siden 1998. Reduserte konsentrasjoner ved stasjon C antas derfor å ha sammenheng med fortynningsforhold, dvs at det har gått mer vann i grøfta i siste periode sett i forhold til den foregående. Vi anser vannmengdemålingene ved stasjon C å være mer pålitelige nå enn ved de to foregående periodene. Måleprinsippet er bedre ved at en måler vannhastighet og vannhøyde i et rør. Bruk av trekantprofiler vil ved denne lokaliteten gi dårligere presisjon ved lave overløpshøyder som det som regel er ved denne lokaliteten. Vi trenger imidlertid noe mer erfaring for hvor ofte vi må rengjøre sensoren for å oppnå at kvaliteten skal bli optimal. Dette gjelder i første rekke ved lave vannføringer da hastigheten i røret er liten. Datafangsten ved stasjon C har vært tilfredsstillende.

Beregnet årsavrenning for stasjon B kan være noe for lav da vi mistet flomtoppen i desember da målekassa kom ut av stilling på grunn av flomsituasjonen. Vannstanden i synken steg til over kassa. Vannføringen for den tiden kassa var ute av stilling måtte derfor skjønnsmessig vurderes i forhold til de andre stasjonene. Problemene i synken må vurderes nærmere. Pumpa i synken synes ikke å være dimensjonert for å ta slike ekstreme vannmengder en hadde vinteren 2005/2006. Et mulig tiltak kan

være å strupe innløpet. En vil da kunne måle riktige vannmengder, men en del vann vil gå i overløp til Raubekken. Måleopplegget vil gi riktige vannmengder så lenge pumpa tar unna slik at det alltid er luftet overløp på målekassa. En annen mulighet kan være å supplere måleopplegget med en monitor til montert inne i innløpsrøret (samme måleprinsipp som for stasjon C). Da vil en alltid måle flomvannsmengdene. Denne sensoren vil imidlertid ha problemer med å måle de lave vannføringene da målecella ikke vil bli fullstendig dekket med vann.

Når det gjelder stasjon A, Stallgata pumpestasjon, har en gode tall for hva som pumpes til gruva. Det er imidlertid vanskelig å sammenligne transportverdiene for stasjon A med de to stasjonene i Gammelgruva da en ikke vet hvor mye av det oppsamlede vannet i drenggrøfta som også drenerer videre til Raubekken. Mest sannsynlig kommer store deler av metalltransporten i Raubekken fra områder som drenerer mot oppsamlingsgrøfta i Stallgata.

Tilførselene fra Astrup er beskjedne mht volum. Datamaterialet er for lite til å beregne denne tilførselen med samme presisjon som for de andre. Sink synes å være viktigste metall ved denne kilden. En har ikke kunnet påvise noen virkninger av tilførselene fra Astrup ved prøvetaking i Wallenberg sjakt. En kunne eventuelt spore tilførselene bedre ved å analysere på totalnitrogen/ammonium, parametre som er mer spesifikke for avløpet fra Astrup. Gruvevannet fra Astrup har alltid inneholdt mye tungmetaller allerede før virksomheten til NAD tok til.

Når den ser bort fra periodene der avløpet fra Wallenberg sjakt var sterkt surt, viser resultatene fra siste periode at så lenge pH-verdien holder seg over 5, virker tiltaket etter sin hensikt. Tiltaket fjerner i første rekke mye kobber. Store andeler av jernmengdene til gruva felles også ut. Det er noe overraskende at tiltaket også fjerner relativt mye sink. Dette kan skyldes at pH-verdien kan være relativt høy lokalt i den vannfylte gruva. Selv ved pH 6 kan en få mye medfelling av sink (og aluminium) sammen med de store mengdene jernslam som felles ut. Det felles også ut sulfat. En mulig forklaring på dette kan være at en får utfelling av gips når det sterkt sulfat- og kalsiumholdige drengvannet fra Løkkensiden passerer gjennom de delene av gruva som er gjenfylt med grønnstein.

I denne rapporten kommer vi ikke inn på de prosesser som finner sted i gruva og som er årsaken til at tiltaksplanen fra 1991 virker eller også kan slutte å virke. Drøfting av disse er gjort i tidligere undersøkelser. De resultater som foreligger pr. 31.08.2006 gir ingen grunn til endringer i konklusjonene i forhold til de som ble gitt i den foregående rapporten fra 1999.

Det innebærer en del usikkerhet når en sammenligner inn- og utgående materialstrømmer. Oppholdstiden i gruva er ukjent slik at helst burde vurdere resultatene over et lengre sammenhengende tidsrom enn ett år for å eliminere virkningen av slike forhold. For første gang får en nå sammenhengende data over 2 år ved at undersøkelsene vil vare fram til september 2007.

## 6. Referanser

- Arnesen, R.T. og Bjerkeng, B., 1993. Fremtidig utvikling i avgangsdeponier under vann. Hjerkinndammen, Hjerkinns – Bjønndalsdammen, Løkken. NIVA-rapport, L.nr. 2962, O-92186, 49 s.
- Arnesen, R.T., Christensen, B., Iversen, E.R., Nygaard, K, Slørdahl, A., og Bollingmo, Å. 1994. Vannfylling av Wallenberg gruve. NIVA-rapport, L.nr. 3079, O-92174, 79 s.
- Arnesen, R.T. and Iversen, E.R., 1997 : The 'Loekken project' - Flooding a Sulfide Ore Mine. Proc. Fourth Int. Conference on Acid Rock Drainage. Vancouver, B.C. Canada, May 31 – June 6, 1997.
- Arnesen, R.T., Bjerkeng, B. and Iversen, E.R., 1997 : Comparison of Model Predicted and Measured Copper and Zinc Concentrations at Three Norwegian Underwater Tailings Disposal Sites. Proc. Fourth Int. Conference on Acid Rock Drainage. Vancouver, B.C. Canada. May 31 - June 6, 1997.
- Arnesen, R.T., 1999. Løkken Gruber – Oppfølgende undersøkelser. NIVA-rapport, l.nr. 4028-99. O-97122. 32 s.
- Håøya, A.O., Arnesen, R.T. og Aagaard, P., 1996. Vannforurensning fra kisgruver. Geokjemisk modellstudie av reaksjoner i kolonner med kis og grønnstein fra Løkken. NIVA-rapport, O-94014, l.nr. 3517. 43s.
- Iversen, E.R., 1983. Løkken Verk. Forurensningstilførsler fra gruveområdet ved Løkken sentrum 1982-1983. NIVA-rapport, L.nr. 1572, O-82062, 60 s.
- Iversen, E.R., 1996. Dragset Verk og Høydalsgruva. Kartlegging av forurensningstilførsler. NIVA-rapport, O-94153, l.nr. 3577, 38 s.
- Iversen, E.R. and Arnesen, R.T., 2001. Monitoring Water Pollution from Loekken Mines after Mitigative Measures. The Swedish Mining Association. Proc. Securing the Future. Int. Conf. on Mining and the Environment, Skellefteå June 25 - July 1, 2001.
- Løkken Gruber A/S & Co. Tiltaksplan. Vurdering av forurensningsstatus og alternative tiltak for å redusere forurensningstilførslene fra grubeområdene. Løkken Verk, januar 1991, 18 s.
- Løkken Verk. En norsk grube gjennom 300 år. Orkla Grube- Aktiebolag, 1954. 507 s.
- NVE (1987). Avrenningskart over Norge. Norges vassdrags- og energiverk. Vassdragsdirektoratet, hydrologisk avdeling. 1987.
- Øren, K., Arnesen, R.T., Iversen, E.R., Knudsen, C-H., Lundgren, T. og Skjelkvåle, B.L., 1990. Løkken Gruber A/S & Co. Vurdering av forurensningsstatus og alternative tiltak for å redusere forurensningstilførslene fra gruveområdet. NIVA-rapport. L.nr. 2400, O-88226, 163 s.

## **Vedlegg A. Fysisk/kjemiske analyseresultater**

**Tabell 19.** Analyseresultater. Utløp Bjørnlivatn 2005-2006.

<b>Prøve tatt</b>	<b>pH</b>	<b>Kond mS/m</b>	<b>SO<sub>4</sub> mg/l</b>	<b>Ca mg/l</b>	<b>Mg mg/l</b>	<b>Al mg/l</b>	<b>Fe mg/l</b>	<b>Cu mg/l</b>	<b>Zn mg/l</b>	<b>Pb mg/l</b>	<b>Cd mg/l</b>	<b>Mn mg/l</b>	<b>Ni mg/l</b>	<b>Co mg/l</b>	<b>Si mg/l</b>	<b>Vannf l/s</b>
05.09.2005	3,17	155,5	907,2	153	43,8	13,5	11,5	3,48	10,2	0,02	0,029	1,80	0,076	0,322	7,79	74,1
14.09.2005	3,14	163,5	844,3	167	52,9	15,2	13,0	3,68	11,0	0,01	0,031	1,96	0,081	0,347	7,86	74,5
12.10.2005	3,16	165,0	907,2	176	55,4	14,7	14,7	3,41	11,6	<0,01	0,031	2,08	0,084	0,355	8,73	53,5
31.10.2005	3,15	175,0	916,2	185	56,9	15,1	16,8	3,33	11,5	0,031	0,010	2,16	0,085	0,363	8,86	38,9
14.11.2005	3,28	142,2	859,3	167	51,5	13,1	12,4	3,00	10,4	0,01	0,028	2,00	0,078	0,326	8,34	69,6
14.12.2005	6,38	17,0	39,5	17	1,42	0,34	0,777	0,34	0,49	<0,01	0,002	0,05	<0,004	0,010	1,34	218,9
16.01.2006	3,44	144,0	703,6	171	42,3	6,57	5,63	1,65	7,17	<0,01	0,019	1,51	0,059	0,231	6,09	46,7
15.02.2006	3,52	126,4	631,7	163	42,8	4,60	2,74	1,31	6,15	<0,01	0,016	1,36	0,049	0,207	4,70	71,1
15.03.2006	3,76	127,6	739,5	178	47,4	4,40	1,03	1,32	6,42	<0,01	0,016	1,51	0,056	0,225	5,87	37,6
19.04.2006	4,88	84,1	431,1	116	27,7	1,96	1,51	0,79	3,63	<0,01	0,009	0,91	0,033	0,128	4,17	57,9
15.05.2006	4,25	113,0	628,7	157	42,8	2,38	1,46	1,08	5,47	<0,01	0,013	1,32	0,050	0,196	5,06	115,1
14.06.2006	4,44	121,3	718,6	169	48,0	1,49	1,08	0,85	5,40	<0,01	0,013	1,45	0,053	0,209	4,48	45,6
12.07.2006	4,98	122,4	766,5	172	50,0	1,03	0,696	0,63	5,12	<0,01	0,012	1,51	0,054	0,213	4,42	57,8
15.08.2006	4,28	127,2	742,5	182	52,8	0,62	1,09	0,42	4,63	<0,01	0,010	1,61	0,052	0,214	3,78	10,6
Gj.snitt	3,99	127,4	702,6	155	44,0	6,78	6,03	1,81	7,08	0,02	0,017	1,52	0,062	0,239	5,82	69,4
Maks.verdi	6,38	175,0	916,2	185	56,9	15,2	16,8	3,68	11,6	0,03	0,031	2,16	0,085	0,363	8,86	218,9
Min.verdi	3,14	17,0	39,5	16,7	1,42	0,34	0,7	0,34	0,49	0,01	0,002	0,05	0,033	0,0098	1,34	10,6

**Tabell 20.** Analyseresultater. Raubekken ved inntak kraftverk 2005-2006.

<b>Dato</b>	<b>pH</b>	<b>Kond</b> <b>mS/m</b>	<b>SO<sub>4</sub></b> <b>mg/l</b>	<b>Ca</b> <b>mg/l</b>	<b>Mg</b> <b>mg/l</b>	<b>Fe</b> <b>mg/l</b>	<b>Cu</b> <b>mg/l</b>	<b>Zn</b> <b>mg/l</b>	<b>Cd</b> <b>µg/l</b>	<b>Mn</b> <b>mg/l</b>	<b>Ni</b> <b>mg/l</b>	<b>Co</b> <b>mg/l</b>	<b>Al</b> <b>mg/l</b>	<b>Si</b> <b>mg/l</b>	<b>Vannf</b> <b>l/s</b>
05.09.2005	4,89	36,0	170,1	35,0	9,04	3,40	0,812	2,090	5,7	0,365	0,016	0,063	2,88	3,23	880
12.09.2005	4,85	31,6	135,3	33,1	8,36	3,56	0,712	1,820	5,1	0,327	0,015	0,056	2,75	3,08	1030
17.10.2005	4,66	40,9	183,5	42,7	10,80	5,34	0,932	2,500	6,6	0,442	0,020	0,075	3,52	3,84	630
31.10.2005	4,47	49,3	231,1	52,6	13,90	6,23	1,120	3,060	7,9	0,563	0,024	0,094	4,64	4,45	520
14.11.2005	6,62	12,37	31,7	14,0	2,25	6,19	0,242	0,435	0,5	0,524	0,006	0,015	1,79	2,45	3800
14.12.2005	5,56	18,6	68,6	18,8	4,32	1,40	0,282	0,702	2,0	0,151	0,006	0,023	1,12	2,11	3550
16.01.2006	5,64	31,7	127,5	35,8	7,75	3,56	0,526	1,490	4,0	0,287	0,010	0,044	2,02	3,27	820
15.02.2006	5,07	29,5	119,2	32,8	7,50	3,35	0,491	1,360	3,0	0,262	0,010	0,040	1,75	2,90	750
15.03.2006	5,66	36,6	156,0	41,5	9,88	3,91	0,625	1,620	4,4	0,347	0,015	0,053	2,32	3,48	120
19.04.2006	6,50	18,41	64,7	21,8	4,13	1,93	0,295	0,664	2,0	0,142	0,007	0,021	0,93	2,55	1620
16.05.2006	6,30	24,5	97,9	27,7	6,79	2,04	0,340	1,020	2,0	0,220	0,010	0,031	1,08	2,29	1440
14.06.2006	5,00	70,5	158,7	41,0	10,10	4,24	0,585	1,540	3,8	0,356	0,015	0,053	1,86	3,10	690
24.07.2006	4,83	26,8	112,0	27,6	6,26	5,38	0,622	1,170	3,0	0,252	0,010	0,038	2,14	3,21	470
15.08.2006	6,16	27,1	106,0	29,6	6,72	4,66	0,525	1,080	3,0	0,265	0,010	0,036	2,00	3,22	380
Gj.snitt	5,44	32,4	125,9	32,4	7,70	3,94	0,579	1,468	3,8	0,322	0,012	0,046	2,20	3,08	1193
Maks.verdi	6,62	70,5	231,1	52,6	13,9	6,23	1,120	3,060	7,9	0,563	0,024	0,094	4,64	4,45	3800
Min.verdi	4,47	12,4	31,7	14,0	2,25	1,40	0,242	0,435	0,5	0,142	0,006	0,015	0,93	2,11	120



**Tabell 21.** Analyseresultater. Stasjon A. Drensvann fra Stallgata pumpestasjon 2005-2006.

Dato	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Al mg/l	Si mg/l	Telleverk m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> utpumpet fra forrige avlesn.
18.07.2005	2,54	455	4072	379	130	524	54,6	50,7	0,213	8,02	0,496	1,89	146	55	366745	
16.08.2005	2,46	469	3922	344	124	577	58,2	48,8	0,202	7,03	0,467	1,83	142	56	369131	2386
05.09.2005	2,53	502	4731	371	138	702	64,4	56,8	0,220	8,01	0,550	2,23	163	59,5	371600	2469
14.09.2005	2,50	504	4641	373	143	708	65,5	56,6	0,220	8,23	0,570	2,27	170	59,1	375464	3864
12.10.2005	2,48	509	4790	380	156	715	66,7	58,2	0,230	8,70	0,590	2,39	171	60,4	379237	3773
14.11.2005	2,77	315	2560	204	80,3	357	44,8	54,4	0,216	4,59	0,296	1,26	90,1	30,4	381474	2237
14.12.2005	2,54	415	3353	305	95,5	527	52,1	48,7	0,190	5,35	0,400	1,62	118	49,6	389534	8060
16.01.2006	2,46	524	4850	364	155	723	64,3	52,2	0,219	8,21	0,551	2,29	177	55,8	399395	9861
15.02.2006	2,48	515	4551	360	147	693	65,0	46,8	0,203	7,65	0,557	2,28	182	57,6	411622	12227
15.03.2006	2,43	508	4910	372	164	747	63,7	50,9	0,210	8,84	0,600	2,40	193	57,0	416344	4722
19.04.2006	2,55	350	2587	155	83,6	392	28,4	20,5	0,086	3,55	0,241	1,01	104	37,4	419363	3019
01.06.2006	2,51	492	4641	363	143	686	63,3	49,5	0,200	7,91	0,550	2,21	167	58,0	435959	16596
14.06.2006	2,48	495	4671	376	149	701	63,6	49,8	0,200	8,33	0,570	2,29	172	58,6	437659	1700
12.07.2006	2,60	482	4281	356	134	572	60,7	59,3	0,262	8,01	0,510	2,04	150	53,7	439915	2256
15.08.2006	2,50	483	4311	406	148	558	61,5	60,5	0,250	9,46	0,610	2,16	167	61,0	442342	2427
Gj.snitt hyd.år	2,53	469	4221	337	134	622	58,8	51,1	0,208	7,45	0,507	2,03	156	53,7		
Maks.verdi	2,77	524	4910	406	164	747	66,7	60,5	0,262	9,46	0,610	2,40	193	61,0		
Min.verdi	2,43	315	2560	155	80,3	357	28,4	20,5	0,086	3,55	0,241	1,01	90,1	30,4		

**Tabell 22.** Analyseresultater. Stasjon B. Drensvann fra Nordre berghald 2005-2006.

<b>Dato</b>	<b>pH</b>	<b>Kond mS/m</b>	<b>SO<sub>4</sub> mg/l</b>	<b>Ca mg/l</b>	<b>Mg mg/l</b>	<b>Fe mg/l</b>	<b>Cu mg/l</b>	<b>Zn mg/l</b>	<b>Cd mg/l</b>	<b>Mn mg/l</b>	<b>Ni mg/l</b>	<b>Co mg/l</b>	<b>Al mg/l</b>	<b>Si mg/l</b>	<b>Vannf l/s</b>
05.09.2005	2,43	483	4581	180	108	996	45,0	23,5	0,089	4,35	0,26	1,92	129	35,8	2,02
14.09.2005	2,42	436	3862	170	98,6	847	40,8	21,3	0,083	4,04	0,25	1,68	117	33,4	2,68
12.10.2005	2,37	472	4491	168	114	1010	46,7	22,9	0,086	4,39	0,26	1,97	133	33,7	1,49
14.11.2005	2,73	274	2192	136	57,9	433	22,2	11,0	0,045	2,42	0,15	0,91	66,7	20,5	6,94
14.12.2005	2,48	372	3024	126	79,9	674	33,2	17,5	0,068	3,23	0,19	1,33	98,7	24,6	9,59
16.01.2005	2,45	387	3443	113	85,1	820	36,0	15,1	0,062	3,07	0,18	1,52	102	21,3	1,89
31.01.2006	2,59	243	1446	91,1	40,7	261	17,8	9,56	0,040	1,79	0,10	0,69	47,9	15,6	34,57
15.02.2006	2,38	512	4910	140	122	1250	51,0	21,0	0,089	4,01	0,23	2,11	154	22,3	3,37
15.03.2006	2,33	540	5988	150	139	1490	59,7	24,9	0,099	4,76	0,29	2,67	175	27,2	1,05
28.04.2006	2,44	393	3323	141	82,0	744	37,4	20,3	0,074	3,22	0,21	1,50	98,9	23,9	12,37
15.05.2006	2,45	381	3144	141	78,7	722	34,9	17,9	0,066	3,07	0,20	1,45	93,1	23,8	2,99
22.05.2006	2,43	405	3563	138	86,7	824	36,8	18,1	0,068	3,21	0,21	1,57	106	24,8	2,21
14.06.2006	2,33	502	5269	158	123	1240	52,3	23,3	0,091	4,46	0,27	2,23	147	31,3	0,39
12.07.2006	2,53	390	3533	137	84,5	727	33,1	16,1	0,067	3,26	0,19	1,46	96,2	28,3	2,99
15.08.2006	2,28	543	5749	173	137	1360	55,2	24,8	0,099	4,92	0,32	2,46	172	35,8	0,93
Gj.snitt	2,44	422	3901	144	95,8	893	40,1	19,2	0,075	3,61	0,22	1,70	116	26,8	5,70
Maks.verdi	2,73	543	5988	180	139	1490	59,7	24,9	0,099	4,92	0,32	2,67	175	35,8	34,57
Min.verdi	2,28	243	1446	91	40,7	261	17,8	9,56	0,040	1,79	0,10	0,69	47,9	15,6	0,39

**Tabell 23.** Analyseresultater. Stasjon C. Grøft i Gammelgruva 2005-2006.

<b>Dato</b>	<b>pH</b>	<b>Kond mS/m</b>	<b>SO<sub>4</sub> mg/l</b>	<b>Ca mg/l</b>	<b>Mg mg/l</b>	<b>Fe mg/l</b>	<b>Cu mg/l</b>	<b>Zn mg/l</b>	<b>Cd mg/l</b>	<b>Mn mg/l</b>	<b>Ni mg/l</b>	<b>Co mg/l</b>	<b>Al mg/l</b>	<b>Si mg/l</b>	<b>Vannf l/s</b>
05.09.2005	2,57	866,0	11677	317	550	2460	186	135	0,496	17,2	1,10	8,77	508	37,6	0,67
14.09.2005	2,55	818,0	10958	308	500	2180	170	123	0,456	16,0	1,10	7,54	493	38,3	0,14
12.10.2005	2,52	779,0	10659	314	476	2030	166	126	0,481	16,3	1,00	7,00	484	39,7	0,25
14.11.2005	2,59	831,0	14012	371	700	2770	220	167	0,653	21,3	1,33	9,11	663	51,2	2,08
14.12.2005	2,49	675,0	8772	279	353	1880	132	90,1	0,335	12,7	0,90	5,93	361	37,8	9,00
16.01.2006	2,46	1118,0	17545	296	812	3650	262	194	0,760	25,1	1,53	12,20	839	37,0	0,69
31.01.2006	2,50	638	8413	267	315	1850	125	87,3	0,320	11,2	0,80	5,66	324	29,3	30,19
15.02.2006	2,52	953	14461	286	652	2810	215	153	0,588	20,7	1,35	9,84	685	37,5	0,32
15.03.2006	2,39	1170	20329	306	964	4060	293	217	0,864	28,5	1,71	13,4	1020	39,0	0,59
28.04.2006	2,52	594	7126	257	319	1310	102	80,4	0,300	11,0	0,76	4,75	321	31,6	13,48
15.05.2006	2,47	774	10030	282	483	1890	149	118	0,450	15,3	0,98	6,68	502	35,0	0,84
22.05.2006	2,52	859	12335	295	589	2310	177	141	0,548	18,2	1,10	7,99	611	35,9	0,84
14.06.2006	2,51	843	12395	285	579	2320	179	139	0,553	18,1	1,10	7,91	593	34,7	0,15
12.07.2006	2,62	821	12024	317	512	2184	174	142	0,563	18,6	1,12	7,75	581	38,8	0,77
15.08.2006	2,48	854	11796	310	569	2150	176	141	0,564	18,1	1,10	7,73	593	37,1	1,06
Gj.snitt	2,51	840	12169	299	558	2390	182	137	0,529	17,9	1,13	8,15	572	37,4	4,07
Maks.verdi	2,62	1170	20329	371	964	4060	293	217	0,864	28,5	1,71	13,4	1020	51,2	30,19
Min.verdi	2,39	594	7126	257	315	1310	102	80,4	0,300	11,0	0,76	4,75	321	29,3	0,14

**Tabell 24.** Analyseresultater. Avløp fra Wallenberg pumpestasjon 2005-2006.

Dato	Telleverk m <sup>3</sup>	Utpumpet fra forrige avlesn.	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l	Pb mg/l
05.09.2005	505279	52470	4,51	313	2515	422	183	47,9	256	4,91	39,1	0,083	6,19	0,25	1,13	25,5	0,045
14.09.2005	524753	19324	4,27	334	2509	405	181	46,4	247	4,56	37,3	0,079	6,03	0,24	1,08	25,4	0,040
12.10.2005	595792	71039	4,70	317	2314	404	177	25,4	206	2,77	26,1	0,053	5,12	0,92	0,87	22,1	0,030
31.10.2005	639397	43605	4,90	307	2156	408	178	24,5	202	2,24	24,7	0,048	5,17	0,19	0,85	20,7	0,030
01.12.2005	660208	20811	7,03	83,2	335,3	127	24,4	0,17	0,67	0,17	1,16	0,005	0,19	0,01	0,05	6,22	<0,01
14.12.2005	662095	1887	4,48	305	2087	385	169	15,2	194	2,19	28,6	0,047	5,13	0,20	0,89	16,5	<0,01
16.01.2006	743623	81528	5,78	277	1760	437	173	4,72	112	0,77	9,06	0,016	4,35	0,13	0,59	15,0	<0,01
15.02.2006	814606	70983	5,72	274	1766	434	165	6,61	119	1,42	9,40	0,019	4,38	0,13	0,60	13,0	<0,01
15.03.2006	881310	66704	5,77	270	1413	345	126	7,32	119	1,97	8,05	0,019	3,53	0,12	0,50	12,8	<0,01
19.04.2006	896938	15628	5,55	275	1737	425	167	3,59	107	1,64	10,10	0,022	4,48	0,13	0,60	11,9	0,01
15.05.2006	972944	76006	5,45	274	1790	444	169	8,98	131	2,10	10,90	0,025	4,44	0,14	0,66	16,3	<0,01
14.06.2006	27318	54374	5,55	270	1871	435	166	6,69	118	1,65	10,70	0,023	4,50	0,14	0,63	15,4	<0,01
12.07.2006	80329	53011	6,99	99,9	428	145	31,0	0,55	1,50	0,178	0,61	0,002	0,15	0,008	0,024	7,34	<0,01
15.08.2006	80369	40	6,85	104	434	157	35	0,66	0,95	0,14	0,69	0,003	0,17	0,010	0,026	6,97	<0,01
31.08.2006	104541	24172	4,44	337	2512	438	173	44,4	238	7,12	28,9	0,086	5,23	0,213	0,981	25,9	0,030
Aritm.middel																	
Sum vannmengde		599112	5,47	256	1709	361	141	16,2	137	2,255	16,4	0,035	3,94	0,19	0,63	16,07	<0,01

**Tabell 25.** Analyseresultater. Prøver fra Wallenberg sjakt 2005-2006.

Dato	Nivå	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l	Pb mg/l	Temp gr.C
23.02.2005	160	3,02	379	2877	416	181	60,9	290	18,1	39,6	0,120	6,70	0,28	1,35	24,5	0,051	11,2
	200	2,91	421	3204	454	202	68,5	322	20,3	44,4	0,130	7,51	0,32	1,50	25,9	0,063	11,5
	300	6,03	537	3503	508	665	2,74	70,9	0,91	4,64	0,011	5,81	0,057	0,28	14,8	<0,01	13,0
	340	6,15	600	3892	531	774	1,88	122	0,58	2,12	0,005	6,65	0,028	0,14	14,4	<0,01	13,5
	380	5,85	1019	7455	512	1220	2,01	935	0,64	4,56	0,006	13,7	0,12	0,767	15,9	<0,01	14,4
	430	5,24	2540	31737	429	2530	7,07	11400	0,88	1090	0,041	93,7	1,61	19,3	11,8	<0,1	14,4
05.09.2005	160	4,52	315	2494	405	176	44,8	247	4,73	37,8	0,08	5,98	0,23	1,1	25,2	0,046	
	200	3,75	379	3293	450	203	66,4	317	6,56	50,2	0,11	7,37	0,30	1,4	31,6	0,060	
15.03.2006	160	5,81	274	1778	431	164	10,3	120	2,20	10,2	0,023	4,54	0,14	0,63	15,6	<0,01	12,1
	200	5,89	274	1689	430	163	10,4	119	2,18	9,95	0,023	4,54	0,14	0,62	15,5	<0,01	12,1

**Tabell 26.** Analyseresultater. Utløp Fagerlivatn 2005-2006.

Prøve tatt	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Pb mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l
05.09.2005	3,09	216	1332	226	73,1	21,1	36,6	4,79	17,5	0,020	0,047	2,83	0,120	0,520	12,6
31.10.2005	3,21	216	1350	252	91,8	19,6	43,5	3,18	16,7	0,041	0,02	3,09	0,120	0,528	12,9
10.11.2005	4,81	209													
14.11.2005	5,98	202	1377	390	78,1	0,201	2,98	0,467	7,26	0,019	<0,01	2,05	0,063	0,273	6,17
22.11.2005	6,00	103													
01.12.2005	5,28	80,6													
14.12.2005	4,48	62,7													
16.01.2006	4,90	183	1117	289	70,1	1,59	18,9	0,906	8,23	<0,01	0,019	2,01	0,071	0,284	6,84
15.02.2006	5,19	155,9													
15.03.2006	5,48	184,5	1159	303	90,9	0,42	20,1	0,789	7,22	<0,01	0,016	2,45	0,083	0,342	7,77
19.04.2006	4,05	65,5													
15.05.2006			877	206	64	0,289	12,6	1,09	6,98	<0,01	0,016	1,82	0,07	0,274	6,2
14.06.2006	5,77	163,1													
12.07.2006	6,50	176,8													
15.08.2006	5,94	168,9													

**Tabell 27.** Analyseresultater. Fagerlivatn ved største dyp (12 m) den 31.10.2005 før overflatekalking.

Prøve dyp m	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Pb mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l
1	3,30	214	1338	252	93,1	19,7	43,0	3,20	16,9	0,041	0,02	3,11	0,120	0,522	13,1
5	3,35	253	1500	285	109	15,8	67,3	2,59	17,6	0,041	0,02	3,69	0,130	0,578	12,1
10	5,27	324	2171	445	201	<0,005	185	0,0087	19,4	0,043	<0,01	6,85	0,165	0,817	7,08

**Tabell 28.** Analyseresultater. Fagerlivatn ved største dyp etter overflatekalking den 14.11.2005 og 15.03.2006.

14.11.2005

Prøve dyp m	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Pb mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l
1	6,23	205	1404	400	80,2	0,179	1,96	0,488	7,38	0,019	<0,01	2,07	0,067	0,277	6,40
2	6,32	207	1425	401	80,6	0,174	2,24	0,463	7,28	0,019	<0,01	2,09	0,066	0,278	6,37
4	7,25	230	1494	472	79,3	0,110	0,91	0,091	1,42	0,006	<0,01	1,62	0,036	0,150	4,15
6	6,59	271	1787	528	122	0,036	25,7	0,166	13,4	0,031	<0,01	3,85	0,092	0,435	6,71
8	5,91	322	2231	544	192	0,086	118	0,362	20,0	0,047	<0,01	6,53	0,162	0,792	9,45
10	5,93	334	2266	551	200	0,100	125	0,314	19,9	0,045	<0,01	6,71	0,167	0,834	9,46
12	6,35	344													

15.03.2006

Prøve dyp m	Temp gr.C	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Pb mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l
2	5,1	5,76	187	397	313	93,3	0,403	24,9	0,740	7,31	0,0160	<0,01	2,53	0,084	0,353	397
4	5,6	5,75	212	469	394	89,8	0,226	8,84	0,239	5,76	0,0130	<0,01	2,25	0,067	0,278	469
6	6,5	5,96	271	622	514	136	0,055	56,2	0,060	16,1	0,0372	<0,01	4,49	0,110	0,526	622
8	7,5	5,98	311	751	538	188	0,042	114	0,350	19,3	0,0451	<0,01	6,28	0,154	0,784	751
10	7,7	5,99	318	727	544	196	0,078	112	0,376	17,8	0,0413	<0,01	6,06	0,146	0,762	727

**Tabell 29.** Analyseresultater. Overløp fra Bjønndalsdammen 2005-2006.

Dato	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Co µg/l	Si mg/l	Vannf l/s
04.07.2006	3,76	23,9	63,5	16,8	1,40	0,42	286	213	1110	<10	3	106	<4	17	1,52	<<1

**Tabell 30.** Analyseresultater. Utpumpet gruvevann fra Astrup gruveområde, nivå 311 1995-2006.

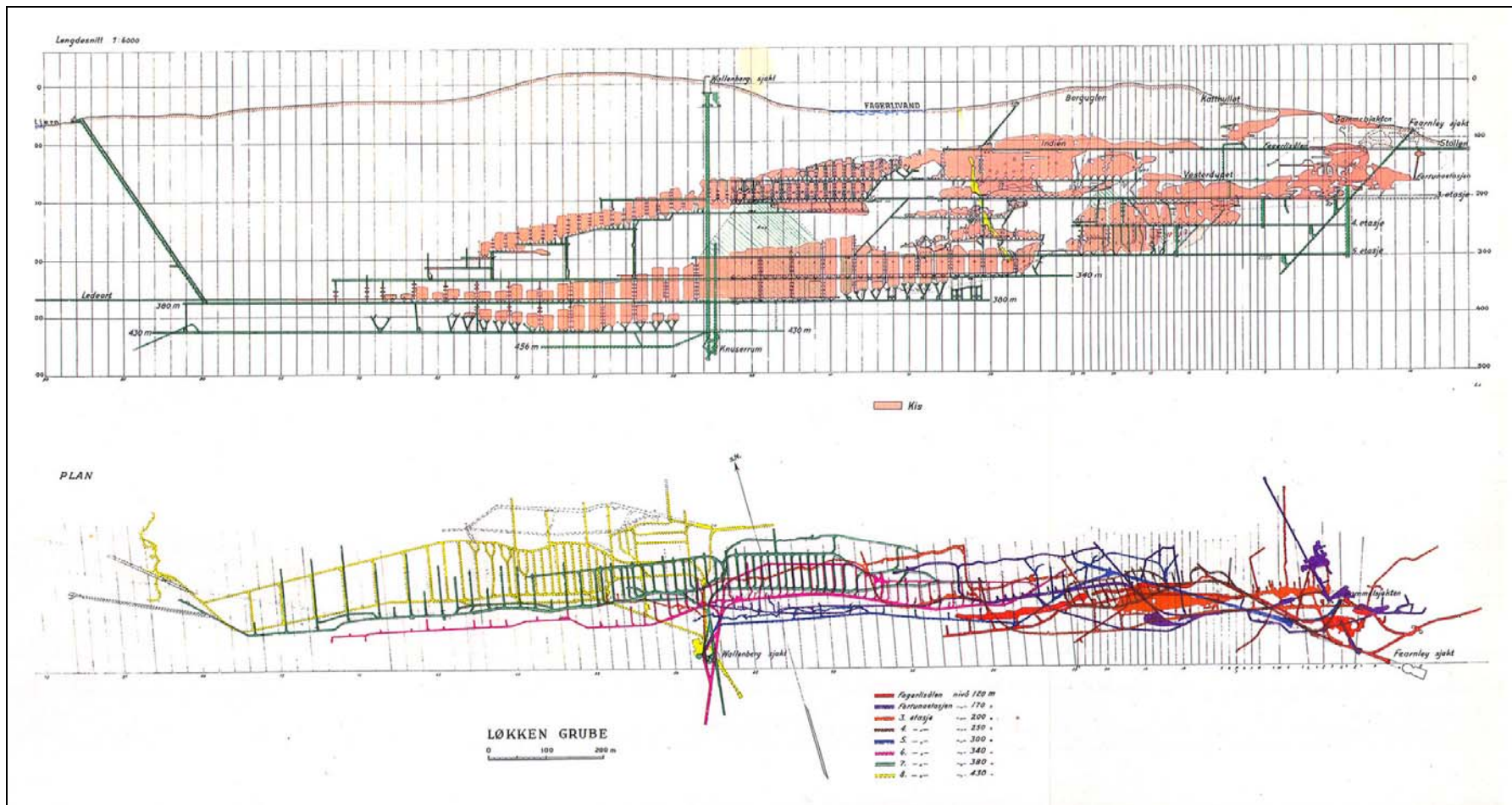
Prøve Tatt	pH	Kond mS/m	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Cr mg/l	Si mg/l	As µg/l
03.04.1995	7,23	298	1796	540	81,0	2,00	15,60	3,00	75,0	<0,04	7,20	<0,04	0,80		13,80	
15.11.1995	7,36	283	1614	501	59,3	1,15	9,5	1,42	53,4	0,042	5,76	0,03	0,67		6,08	
13.02.1996	7,08	251	1635	474	60,0	2,03	15,8	1,72	58	0,041	5,63	<0,01	0,63		9,2	
03.05.1996	2,79	323	1928	263	84,7	46,3	131	69	142	0,399	5,8	<0,01			15,6	
17.06.1996	2,52	404	2928	139	87,0	73,0	502	122	241	0,757	5,65	0,42			20,9	
19.07.1996	2,44	407	3401	156	102,0	82,0	548	140	271	0,804	6,39	0,59			21	
25.02.1997	4,09	84,1	416	77	22,6	3,04	1,7	3,67	10,1	0,02	4,16	0,05			9,54	
14.05.1997	2,55	438	3581	217	132,0	107	497	151	307	0,92	8,32	0,58			30,7	
26.09.1997	2,80	204	958	111	39,4	20,7	48,1	21,5	44,1	0,15	2,24	0,14			16,7	
15.01.1998	3,71	178	979	241	33,6	4,02	20,5	8,15	35,5	0,09	2,58	0,07	0,39		8,39	
27.02.1998	4,56	252	1539	442	61,6	3,01	16,5	7,27	52,8	0,09	4,84	0,10	0,63		7,20	
15.09.1999	2,52	475		193	149,0	118	721	156	382	1,21	9,74	0,70	3,1	1,25	27,5	<1
07.02.2000	2,64	453		207	133,0	114	580	133	319	1,02	8,54	0,59	2,75		32,2	
10.02.2000	2,54	461		193	139,0	102	690	148	340	1,22	8,58	0,77	3,23	0,8	26,3	77,0
18.06.2002	2,93	345	2171	492	68,3	26,3	48,0	35,8	99,9	0,306	5,66	0,205	0,928	0,077	13,4	2,93
18.09.2002	2,78	499	1174	362	52,2	<0,005	60,1	0,004	9,65	<0,001	3,57	0,11	0,374	<0,002	13,7	33,5
17.01.2003	2,78	377	2560	493	84,0	30,8	106	42,7	139	0,436	8,83	0,32	1,51	0,12	12,7	4,49
05.05.2004	2,58	466	3892	324	127	99,5	473	122	231	0,839	9,09	0,58	2,64	0,41	33,8	<20
11.06.2004	2,54	515	4760	357	148	120	664	157	279	1,05	10,4	0,71	3,18	0,55	38,8	44,4
07.01.2005	2,62	410	3832	237	110	89,4	503	117	192	0,739	6,84	0,485	2,22	0,418	30,7	26,5
17.02.2005	3,03	313	2018	487	55,3	15,2	37,3	21,3	73,4	0,22	4,76	0,16	0,726		9,5	
31.01.2006	2,51	635	5988	302	275	161	624	206	478	1,85	24,4	1,57	4,73	0,581	40,6	33,1
13.03.2006	3,01	320	2114	479	52,7	17,1	37,6	25,4	61,8	0,194	4,24	0,12	0,671	0,074	9,98	2,68
Gj.snitt	3,46	365	2464	317	93,8	56,3	276,1	73,6	169,3	0,59	7,10	0,42	1,88	0,48	19,49	23,5



**Tabell 31.** Analyseresultater. Orkla ved Vormstad (Øyum bru).

<b>Dato</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Al</b>
	<b>µg/l</b>	<b>µg/l</b>	<b>µg/l</b>	<b>µg/l</b>
12.09.2005	13,6	33,1		
17.10.2005	11,0	27,0		69,1
14.11.2005	14,7	63,2	200	93,7
14.12.2005	13,0	34,7	140	98,3
16.01.2006	4,41	10,7	59	38,0
15.02.2006	14,2	21,4	140	52,5
15.03.2006	4,97	12,2	75	36,4
19.04.2006	5,65	12,5	100	45,1
16.05.2006	4,45	7,00	98	65,8
14.06.2006	2,33	3,95	38	30,1
24.07.2006	2,83	5,17	51	23,5
16.08.2006	2,16	4,58	67	32,8
Gj.snitt	7,78	19,6	97	53,2
Maks.verdi	14,70	63,2	200	98,3
Min.verdi	2,16	3,95	38	23,5

## **Vedlegg B. Kart over Wallenberg gruveområde**



**Figur 42.** Kart over Wallenberg gruveområde med Gammelgruva (kilde: Løkken Verk 1654-1954, En norsk grube gjennom 300 år. Orkla Grube-Aktiebolag, 1954)