

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
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

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Killingdal gruve – avrenning fra velte, tilførsler til Gaula Undersøkelser 1999	Løpenr. (for bestilling) 4346-2001	Dato 31.01.01
	Prosjektnr. Undernr. 99086 99096	Sider 31
Forfatter(e) Eigil Rune Iversen	Fagområde Miljøteknologi	
	Geografisk område Sør-Trøndelag	Trykket NIVA 2001

Oppdragsgiver(e) Bergvesenet	Oppdragsreferanse Best.nr. 25/99 og Best.nr. 27/99
---------------------------------	--

<p>Sammendrag</p> <p>Sommeren 1991 ble det gjennomført et overdekkingsiltak med morene på velten i det eldste gruveområdet til Killingdal gruve. Høsten 1992 ble det montert en automatisk målestasjon for registrering av utetemperatur, nedbør, temperaturer i velten samt vannmengder som renner inn i gruva. Senere ble det også tatt med måling av vannføring i samlet avrenning til Grubbekken. Resultatene viser at morenelaget holder tilbake lite vann, men har i stor grad redusert omfanget av forvittringsprosessene i velten. I løpet av 1999 gikk rørsystemet som førte dreinsvann inn i gruva tett. Dette førte til en økt forurensningstilførsel til Gaula, men det kunne ikke påvises at tilførslene hadde noen konsekvenser av betydning når det gjelder fysisk/kjemisk vannkvalitet i Gaula. Da situasjonen ble vurdert som ustabil ble det planlagt tiltak for å forbedre overdekkingen i 2000.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kisgruve 2. Hydrologi 3. Tungmetaller 4. Måleteknikk 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pyrite mining 2. Hydrology 3. Heavy metals 4. Monitoring technique
---	---

Eigil Rune Iversen
Prosjektleder

Svein Stene-Johansen
Forskningsleder
ISBN 82-577-3981-2

Bente M. Wathne
Forskningsjef

O-99086

O-99096

Killingdal gruve

Avrenning fra velte – tilførsler til Gaula

Undersøkelser 1999

Forord

Forurensningstilførslene fra Killingdal gruve i Holtålen kommune har lenge hatt stor betydning for forurensningssituasjonen i den øvre delen av Gaulavassdraget. Norsk Institutt for Vannforskning har siden 1977 gjennomført flere prosjekter for å påvise effektene av disse tilførslene. I de senere år har innsatsen vært konsentrert om å følge opp virkningen av de tiltakene som er gjennomført i gruveområdet. Etter at velten ble arrondert og overdekket i 1991 ble det opprettet en automatisk målestasjon på velten høsten 1992 for registrering av virkningen av dette tiltaket. Etterhvert som en har innhentet resultater har målsettingen for driften av denne stasjonen endret seg til bl.a. også å omfatte overvåking av tilførslene til Grubekken. Det har hele tiden vært en stor utfordring å drive stasjonen på grunn av vanskelige forhold både når det gjelder adkomst og klima, noe som har gitt oss mange nyttige erfaringer.

Driften av denne stasjonen har hele tiden vært avhengig av lokal hjelp i forbindelse med ulike oppgaver. Vi vil takke gårdbruker John Bjørgård for innsatsen og for samarbeidet gjennom mange år.

Vi vil også takke Bergvesenet og spesielt senioringeniør Harald Ese for prosjektet og samarbeidet gjennom en årrekke.

Oslo, 31. januar 2001

Eigil Rune Iversen

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Feltundersøkelsene	8
3. Temperatur og oksygen	9
3.1 Temperaturer i velten	9
3.2 Oksygenmålinger	11
4. Nedbør og vannføring	12
5. Vannkvalitet	15
5.1 Drensvann til gruva	15
5.2 Samlet avrenning til Gruvebekken	16
6. Forurensningstransport	18
6.1 Transport til gruva	18
6.2 Transport til Gaula	18
7. Forholdene i Gaula	20
8. Samlet vurdering	23
9. Referanser	24
Vedlegg A. Analyseresultater	25
Vedlegg B. Beregnede tidstrender for temperaturmålingene	28

Sammendrag

Killingdal gruve var i drift i perioder fra 1674 til 1986. Anleggene er lokalisert i to områder, det øvre område oppe under Gaulåsen og i Bjørgåsen. Begge områder drenerer til Gaula. Avrenningen fra det eldste gruveanlegget til Killingdal gruve oppe under Gaulåsen har i lang tid vært viktigste kilde for tungmetalltilførsler til Gaula. Fram til nedleggelsen i 1986 var utpumping av gruvevann gjennom vannstollen i øvre område av stor forurensningsmessig betydning. Etter nedleggelsen har gruva stått under naturlig oppfylling med vann.

I 1991 ble det gjennomført et overdekkingsiltak i det øvre gruveområdet. Veltene som inneholdt betydelige mengder kismaterialer ble samlet i en tipp, arrondert og overdekket med morene. Sivevann som passerte gjennom deksjiktet ble ført inn i gruva som sto under naturlig ventilasjon. I foregående rapporter ble det konkludert med at inngående vannmengde var langt større enn den mengden som ble transportert ut med ventilasjonsluften. Dette hadde som konsekvens at vannstanden steg til over sentralstasjonen nede i gruva slik at gjennomtrekken i gruva opphørte sommeren 1994.

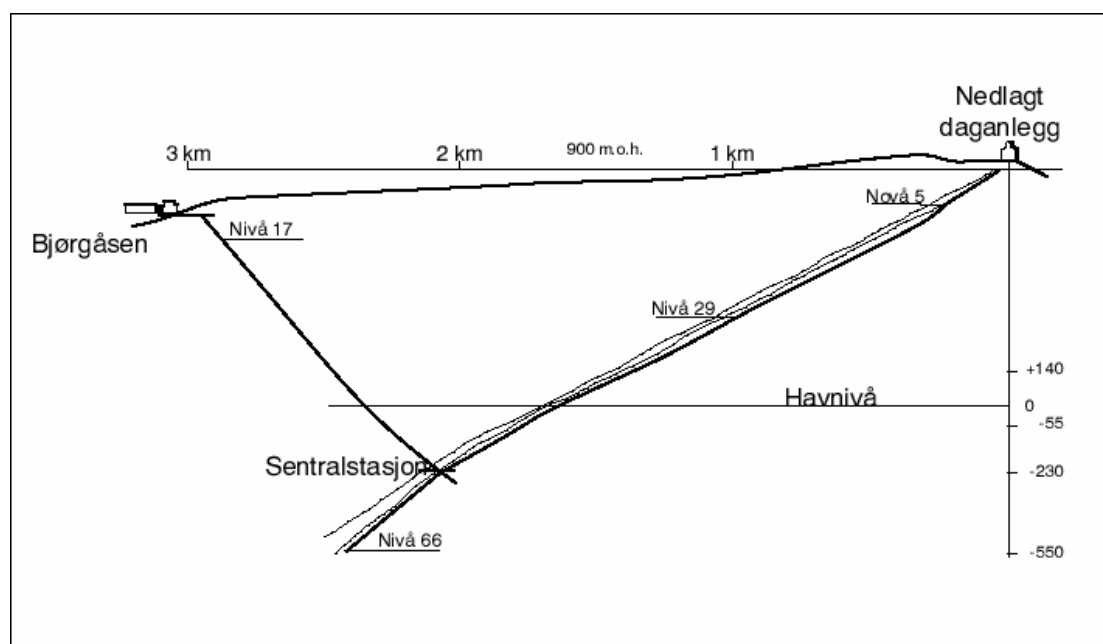
Da tiltaket ble planlagt, var det ikke forutsatt at dreneringsystemet skulle være evig eller at det skulle vedlikeholdes. Strategien med tiltaket var at deksjiktet etterhvert ble så tett at forurensningstransporten fra deponiet ville stabilisere seg på et akseptabelt nivå for Gaula. I 1998 ble det oppdaget at dreneringene begynte å gå tett slik at dreneringsvannet fra tippet etterhvert fant andre veier ut av deponiet og førte mot Grubebekken og Gaula. Høsten 1999 var rørene helt tette. Det ble også påvist en betydelig økning i forurensningstransporten fra området. Da det også kunne observeres erosjonsskader i nedre del av deksjiktet, ble det planlagt å forsterke deksjiktet sommeren 2000.

Den betydelige økningen i forurensningstransporten som ble påvist fra området i 1999 hadde ingen konsekvenser av betydning når det gjelder fysisk/kjemisk vannkvalitet i Gaula.

1. Innledning

Killingdal gruve ble åpnet første gang i 1674 og ble nedlagt i 1986. Utpumping av forurenset gruvevann og avrenning fra avfall deponert utenfor gruveåpningene har i lang tid påvirket vannkvaliteten i Gaula sterkt. NIVA foretok en kartlegging av denne avrenningen i 1977/78 (Arnesen et al, 1979) og i 1987 (Iversen, 1988) før tiltak ble gjennomført. Killingdal gruve drev også selv et kontrollprogram for overvåking av vannkvalitet ved faste stasjoner i gruveområdet og i Gaula. Flere av disse stasjonene er benyttet i de senere programmer for kontroll av vannkvaliteten i gruveområdet og i det statlige program for forurensningsovervåking av Gaula (Traaen et al 2000)

Pumping av det sterkt forurensete gruvevannet til Gaula opphørte i 1986 og gruva har deretter stått under naturlig oppfylling med vann. Gruvedriften startet først oppe under Gaulåsen. Det var også her gruvevannet ble pumpet ut. Utenfor gruveåpningene er det deponert forskjellige typer avfall med et relativt høyt innhold av kismineraler. Det er fra dette området at forurensningstilførslene har vært størst. I 1948 ble det startet driving av en ny sjakt fra Bjørgåsen, den såkalte Bjørgensjakten, for å lette adkomsten til gruva. I 1956 ble all fordring av malm overført hit og fraktet videre med bil ned til lastesiloen ved jernbanelinjen ved Storsvoll. Forurensningstilførslene fra dette området har alltid vært betydelig mindre og er ikke behandlet i denne rapporten. Figur 1 viser et vertikalsnitt av gruva. Figur 2 viser hvor gruveanleggene er lokalisert.

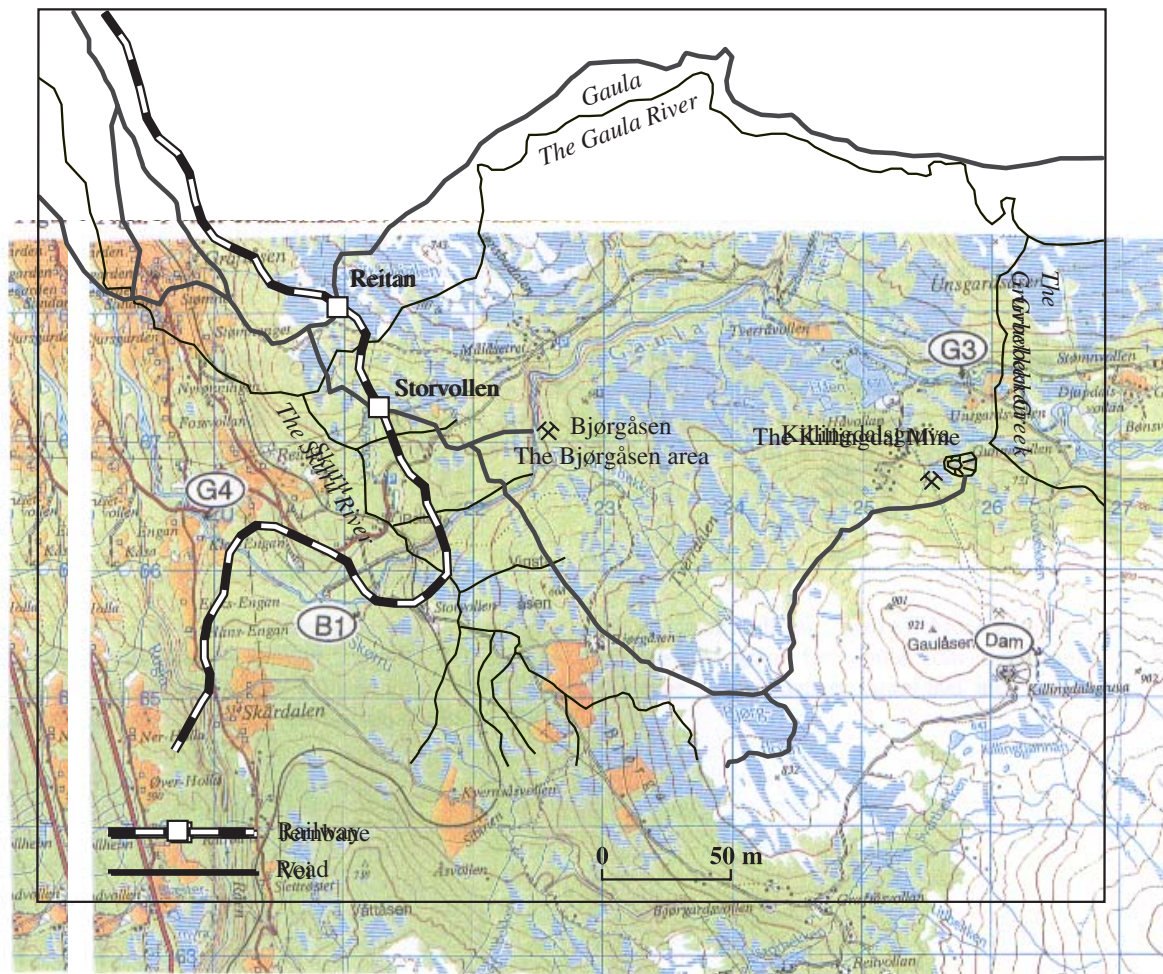


Figur 1. Vertikalsnitt av Killingdal gruve

I 1991 ble det gjennomført et tiltak for å begrense forurensningstilførslene fra det gamle gruveområdet under Gaulåsen. Alt gruveavfall ble samlet i en tipp omkring hovedsjakten og alle dagåpningene unnatt sjakten ble fylt igjen med avfallsmasser. Tippet ble overdekket med morene og gitt et beskyttende lag av sprengstein. Drensvann som passerer deksjiktet, samt drensvann fra avfallet ble samlet opp i et drensrørsystem og ført inn i gruva gjennom den gjenstøpte vannstollen. Strategien med dette tiltaket var opprinnelig å utnytte den naturlige ventilasjonen i gruva og dens evne til å fordampe vann slik at det ville ta meget lang tid før gruva eventuelt ble fylt opp til sentralstasjonen. En håpet også på at overdekkingen ville bremse forvitningsprosessene i tippet så vidt mye at forurensningsavrenningen fra

tippen ville bli såvidt liten at den kunne føres på Gaula dersom drenerørssystemet skulle gå tett. Drenerørssystemet ble ikke planlagt for langsiktig drift.

NIVA har gjennomført kontrollundersøkelser av tiltaket etter oppdrag fra Bergvesenet siden 1992. Prosjektene har vært delt i to hvor det ene har vært å gjøre rede for tilførselene fra området via Grubbekken til Gaula. Den andre delen har bestått i å kontrollere selve tiltaket med vannbalanse på velten, effekten av overdekkingen på forvitningsprosessene i avfallet, samt tilførselen av vann og forvitningsprodukter til gruva. Resultatene fra det sistnevnte prosjektet ble gitt en omfattende vurdering av Arnesen (1999). I 2000 ble det etterhvert klart at det var nødvendig å gjennomføre en forsterkning av eksisterende tiltak. Den foreliggende rapporten er derfor ment som et supplement til rapporten fra 1999 og en avsluttende rapport fra de prosjekter som er gjennomført i perioden 1992-1999. I rapporten er også samlet og vurdert resultatene fra kontroll av tilførselene til Grubbekken og Gaula.



Figur 2. Kartutsnitt fra kartblad 1770 IV Ålesund som viser anleggsmåten og beliggenhet til Killingdal gruve

2. Feltundersøkelsene

Høsten 1992 ble det etablert en automatisk målestasjon (se forsidebildet) for overvåking av en rekke parametre :

- Utetemperatur
- Nedbør
- Temperatur i utgående luft fra sjakten
- Relativ fuktighet i utgående luft
- Temperaturer ved tre dyp i tre ulike punkter i velte
- Inngående vannmengde gjennom dagstrosse og gjennom vannstoll

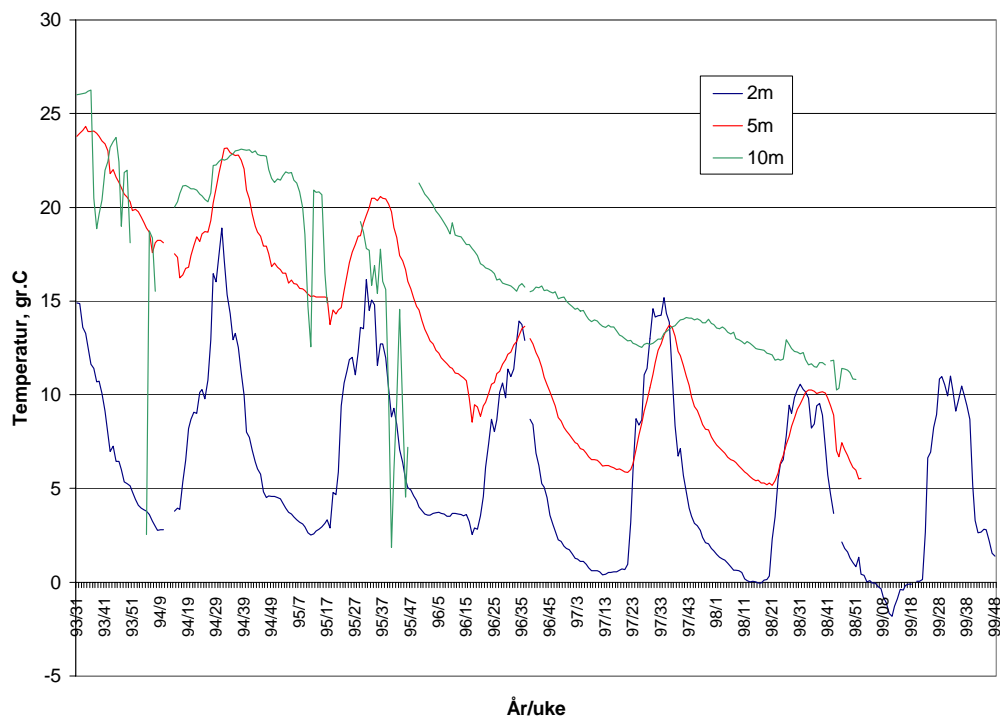
Etter at den naturlig ventilasjonen opphørte i juni 1994 da vannstanden i gruva steg over sentralstasjonen, sank også oksygenkonsentrasjonen betydelig inne i gruva. Det var derfor nødvendig å utvikle målestasjonene inne i gruva og prøvetakingen av drensvann. Måling av vannmender inn i gruva ble følgelig bare mulig ved å lage en overløpsprofil i innløpskummen, kum 3. Herfra ble det strukket kabel opp til målestasjonen. Høsten 1996 ble også måledammen for samlet avrenning til Gaula også tatt med i de kontinuerlige målingene ved at det ble strukket kabel fra måledammen opp til kum 3 for måling av vannstand i måledammen slik at vannføring over overløpsprofilen kunne overvåkes kontinuerlig. Årsaken til at man valgte å måle vannmengder kontinuerlig var at variasjonene i vannføring erfaringsmessig var betydelig større enn sivevannets sammensetning. For å beregne en pålitelig materialbalanse var det derfor nødvendig å prioritere vannmengdeobservasjoner fremfor antall vannprøver for analyse. Det ble tatt stikkprøver av drensvann i kum 3 og i måledam for samlet avrenning til Gaula med en månedlig frekvens dersom vær og snøforhold har tillatt det. Prøvetakingen har vært utført av lokal observatør som også har samordnet prøvetakingen med det pågående overvåkingsprogram for Gaula. NIVA har foretatt rutinemessige inspeksjoner til målestasjonen ca. 3 ganger i løpet av året for nødvendig vedlikehold. Målestasjonen har vært drevet på batteri med lading v.h.a. vindgenerator. Under NIVAs besøk ble det også foretatt manuelle målinger av oksygen i de tre borhullene i tippen.

3. Temperatur og oksygen

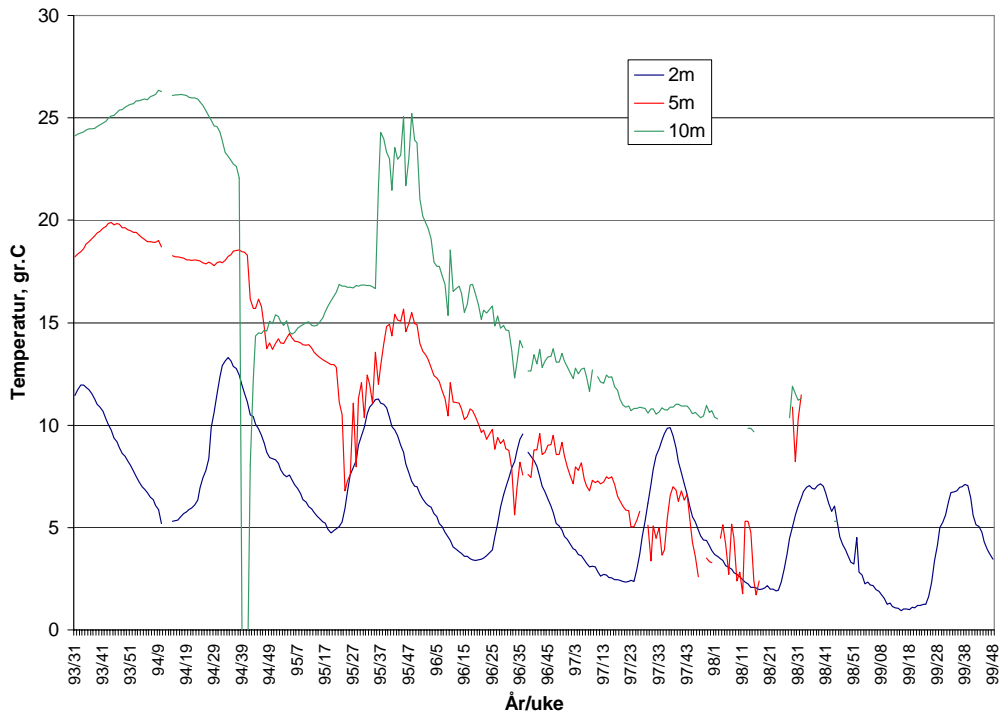
3.1 Temperaturer i velten

Når kismineraler oksiderer, frigjøres betydelige varmemengder. Målinger av temperaturer i en velte kan derfor gi informasjon om omfanget av forvitningsprosessene i gruveavfallet. Hensikten med overdekkingen av tippet var å redusere transporten av oksygen inn i tippet og dermed forvitringen. Ved å følge temperaturutviklingen kontinuerlig vil en derfor få et indirekte mål for effekten av overdekkingstiltaket. Resultatene for de tre borhullene er samlet i figur 3, figur 4 og figur 5. Bruddene i kurvene har sammenheng med driftsproblemer på stasjonen. Datafangsten er likevel så vidt stor at kurvene likevel viser tydelig at temperaturene i tippet hele tiden har vært fallende. Kurvene viser forøvrig at målingene nære overflaten også er influert av utetemperatur. Temperaturen har falt mest i borhull 1 som er øverst på velten. Her er også mektigheten i avfallsmengdene minst. Den nederste temperatursonden står forøvrig her sannsynligvis i fast fjell da borhullet trolig ble laget dypere enn mektigheten på tippet. Temperaturendringene var størst i den første tiden etter at overdekkingstiltaket var avsluttet. I 1997 ble også sjakten forseglet og mulighetene for inntrengning av oksygen inn i tippet opp gjennom dagstrossen ble redusert.

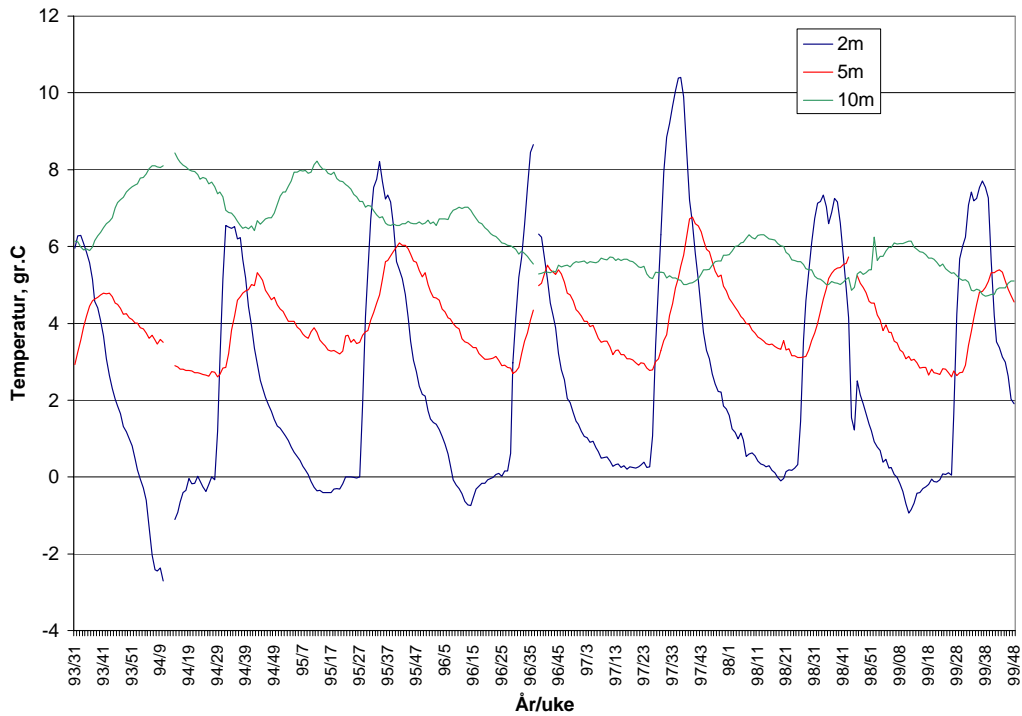
I foregående rapport er det gjort greie for en metode for å filtrere bort sesongvariasjoner på grunn av variasjoner i utetemperatur o.s.v. for å få fram tydeligere langsiktige endringer. Det er benyttet rutiner for tidsserieanalyser i dataprogrammet STATGRAPHIC Pluss for Windows. Resultatene som er presentert grafisk i vedlegg B viser at temperaturene i tippet ved borhull 1 og 2 og nederst i borhull 3 fortsatt var fallende ved utgangen av 1999.



Figur 3. Kontinuerlige målinger av temperatur på ulike nivå i borhull 1, 1993-1999.



Figur 4. Kontinuerlige målinger av temperatur på ulike nivå i borhull 2, 1993-1999.



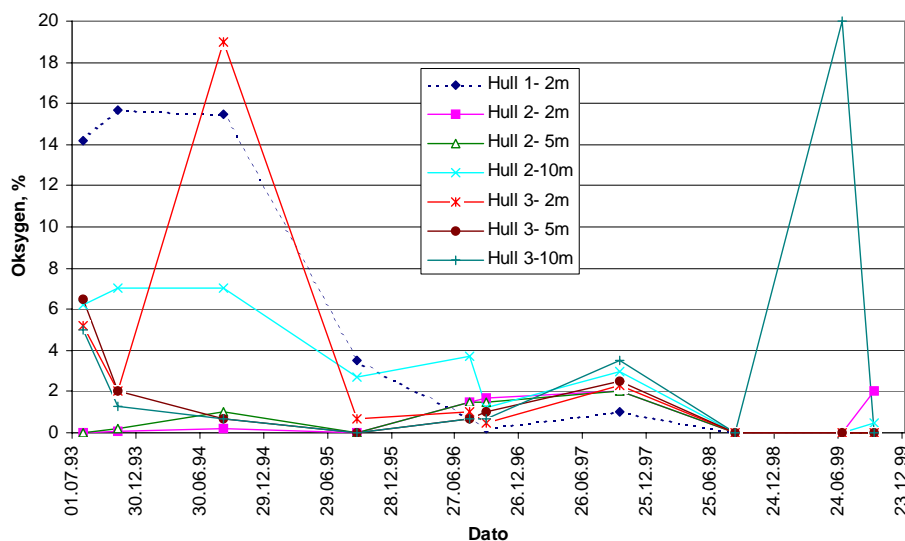
Figur 5. Kontinuerlige målinger av temperatur på ulike nivå i borhull 3, 1993-1999.

3.2 Oksygenmålinger

Under NIVAs befaringer ble det målt oksygen manuelt i de tre borhullene ved å pumpe fra plastslanger som ble montert i borhullene samtidig med temperatursensorene. De manuelle målingene gir et mål for tilgangen på oksygen og gir kun et øyeblikksbilde. Stikkprøvemåling kan imidlertid ikke gi informasjon om oksygentransporten inn i avfallet. Resultatene fra målingene er presentert i tabell 1. I figur 6 er de samme data presentert grafisk. Resultatene viser tydelig at oksygeninnholdet i tippen falt som følge av overdekkingstiltaket. Som nevnt i foregående rapport kan det påvises en mindre økning i oksygeninnholdet igjen i 1997, trolig som følge av et ras opp i dagen gjennom dagstrossen. Raset ble tettet senere på året. I juli 1999 ble det påvist mye oksygen på dypeste nivå i borhull 3 nederst i velten. Det er usikkert hva dette skyldes og om det kan ha sammenheng med økt uttrengning av vann fra tippen som følge av at drenerørsystemet var i ferd med å gå tett.

Tabell 1. Manuelle oksygenmålinger i velten oppgitt som % O₂. Normalt er innholdet i luft ca. 21 %.

Dato	Hull 1 2m	Hull 1 5m	Hull 2 2m	Hull 2 5m	Hull 2 10m	Hull 3 2m	Hull 3 5m	Hull 3 10m
02.08.93	14,2	Vann	0	0	6,2	5,2	6,5	5,0
08.11.93	15,7	Vann	0,1	0,2	7,0	2,0	2,0	1,3
07.09.94	15,5	Vann	0,2	1,0	7,0	19	0,7	0,7
20.09.95	3,5	Vann	0	0	2,7	0,7	0	0
08.08.96	0,7	Vann	1,5	1,5	3,7	1,0	0,7	0,7
25.09.96	0,2	Vann	1,7	1,5	1,2	0,5	1,0	0,7
09.10.97	1,0	Vann	2,0	2,0	3,0	2,3	2,5	3,5
03.09.98	0	Vann	0	0	0	0	0	0
05.07.99	0	Vann	0	0	0	0	0	20
06.10.99	0	Vann	2	0	0,5	0	0	0

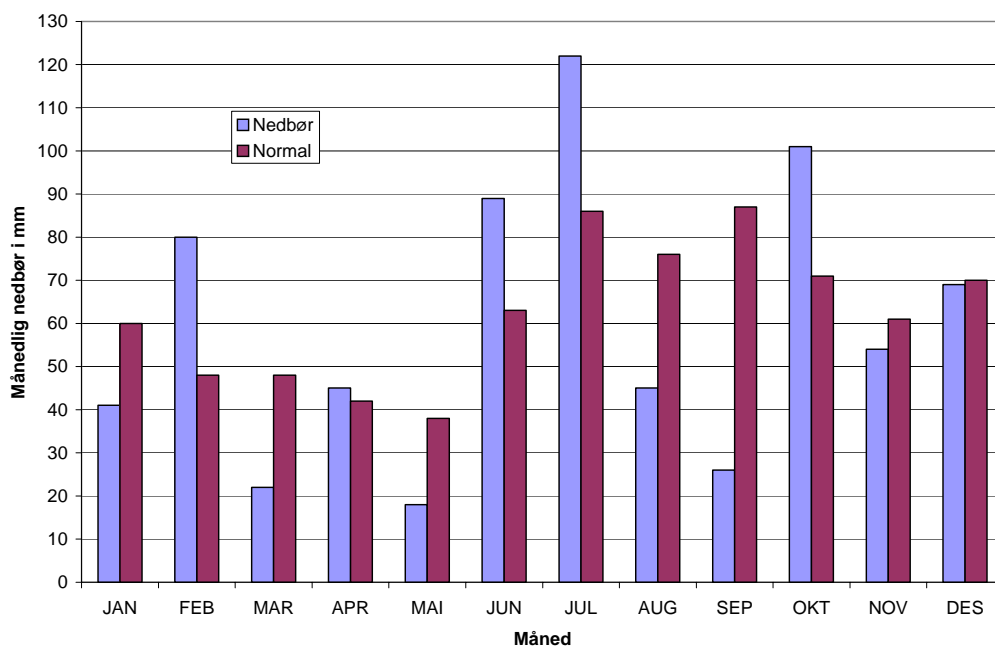


Figur 6. Oksygenkonsentrasjoner i velten målt i hullene 1, 2 og 3.

4. Nedbør og vannføring

Den opprinnelige målsettingen med prosjektet var å se på vannbalansen på den overdekkede tippen. Det skulle vurderes hvor tett dekket var. Det ble derfor gjennomført målinger av den vannmengden som passerte gjennom dekket fremkommet som sum av den vannmengde som gikk gjennom dagstrossen og vannmengden som ble ført inn i gruva gjennom vannstollen. Volumet ble vurdert i forhold til årsnedbøren i området. Nedbøren ble først målt i en enkel nedbørmåler som senere viste seg å gi utilstrekkelig presisjon. Det ble derfor gått over til å benytte nedbørdayta for den meteorologiske stasjonen i Haltdalen. Bakgrunnen for disse målingene er behandlet av Arnesen (1999). Det ble beregnet en korrelasjonskoeffisient mellom nedbør i Haltdalen og ved Killingdal gruve.

Da målsettingen med prosjektet senere ble endret til å gjøre greie for utviklingen i forurenstings-transporten til gruva sammenliknet med tilførslene til Gaula, er nedbørmålingene kun benyttet til å sammenligne målte vannmengder til gruva og beregnede ut fra nedbøren for å kontrollere effektiviteten til dreneringsystemet. Som figur 7 viser falt det mye nedbør i juni, juli og oktober 1999, mens august og september var relativt tørre.



Figur 7. Månedsnedbør i Haltdalen 1999.

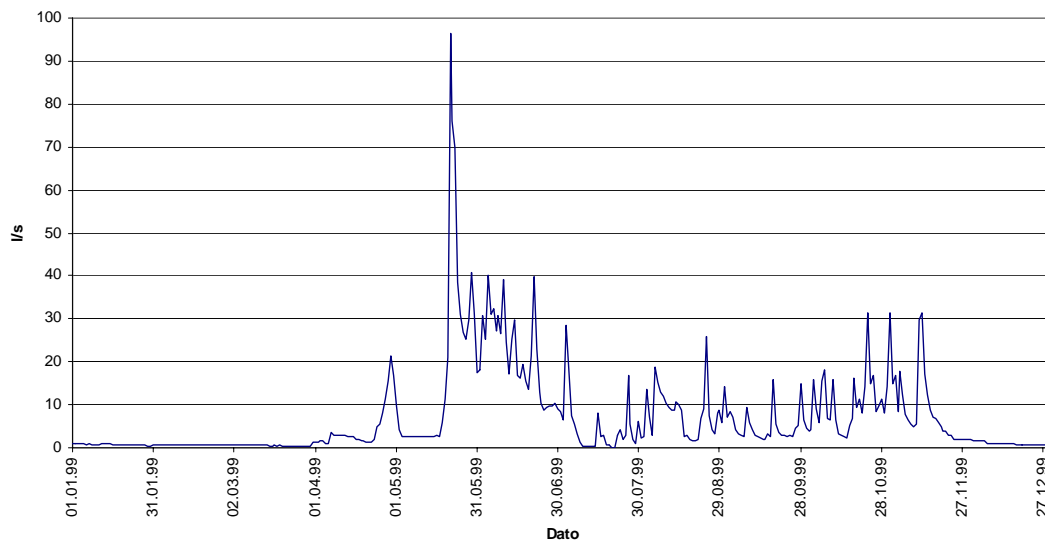
I tabell 2 er beregnet årlig volum av dreneringsvann som er ført inn i gruva og volum av den nedbøren som har falt på hele tippens areal for måleperioden 1993-1999. Målingene viser tydelig at dreneringsystemet etterhvert gikk tett i 1999. Under vår befaring i oktober gikk det praktisk talt ikke noe vann inn i kum 3.

Tabell 2. Årlig volum av drensvann som er ført inn i gruva fra tippa på Gaulåsen (kum 3).
Nedbør $\text{m}^3/\text{år}$ er volum av nedbør som faller på hele tippens areal (19000 m^2) pr. år.

År	Vannføring $\text{m}^3/\text{år}$	Nedbør mm	Nedbør $\text{m}^3/\text{år}$	Anm.
1993	12810	658	12495	Målt i sjakt
1994	9073	521	9899	Målt i sjakt
1995	9323	682	12954	Målt i sjakt
1996	10429	443	8415	Jan-sept beregnet
1997	10027	929	17652	Målt i kum
1998	12305	920	17475	Målt i kum
1999	5605	712	13528	Målt i kum. Tett drensør.
Middel 1993-99	10667*	695	13203	

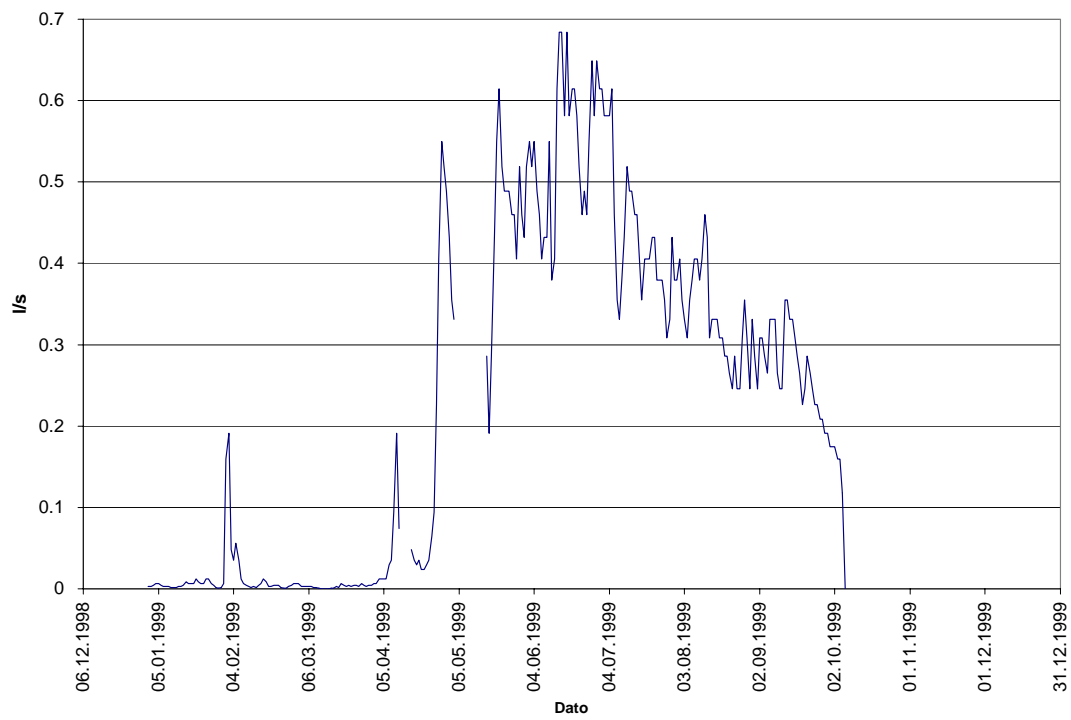
*1993-98

Figur 8 viser forløpet av vannføringsregistreringene ved måledammen for samlet avrenning til Gruvebekken og Gaula. Kurven viser at vårflommen som kom i siste halvdel av mai måned var forholdsvis kortvarig.



Figur 8. Vannføring i måledam for samlet avrenning til Gruvebekken 1999.

I figur 9 er vist observert vannføringer i kum 3. Vannføringene var beskjedne hele året sammenliknet med tidligere år. I månedsskiftet september-oktober stoppet vannføringen helt opp til tross for mild høst med betydelig nedbør i oktober.



Figur 9. Vannføring i kum 3 1999.

5. Vannkvalitet

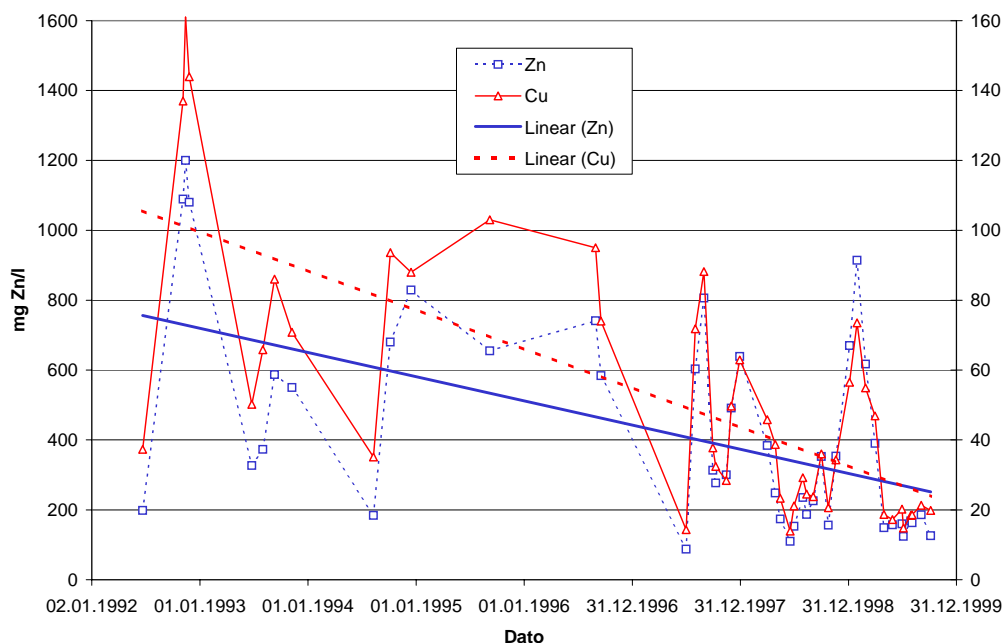
5.1 Drensvann til gruva

Værforhold og beliggenhet gjorde det vanskelig å ta prøver fra kum 3 om vinteren. Sommeren 1997 ble det laget et pumpesystem for å ta opp prøver fra kummen. Etter den tid er det tatt regelmessige prøver av dette drensvannet. Analyseresultater for enkeltprøver er samlet i tabell 8 i vedlegg A. I tabell 3 er det gjort en sammenstilling av beregnede årlige middelværdier for de prøver som er tatt. Som det fremgår av tabellen, er middelværdiene for årene 1992-1997 mer usikre enn for årene etter p.g.a. få prøvetakinger pr. år.

Tabell 3. Årlige middelværdier for kjemiske analysedata for drensvann i kum 3. I årene 1992-1994 ble prøvene tatt nede i sjakten ved enden av røret fra kum 3. Fra 1995 er prøvene tatt i kum 3. Middelværdiene for årene 1992-1997 er beregnet aritmetisk. For 1998 og 1999 er verdiene beregnet tidsveiet.

År	pH	Kond. mS/m	SO ₄ mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l
1992	2,59	636	11071	2682	119,8	892	2,14
Antall	4	4	4	4	4,0	4	4,00
St.avvik	0,14	227	5791	1625	55,9	466	1,09
1993	2,68	494	6056	1669	68,2	459	1,17
Antall	4	4	4	4	4,0	4	4,00
St.avvik	0,09	77	1971	785	14,8	128	0,29
1994	2,66	560	6776	1735	72,2	564	1,19
Antall	3	3	3	3	3,0	3	3,00
St.avvik	0,08	233	3731	1144	32,3	338	0,64
1995	2,63	661	9650	3068	103,0	655	1,69
Antall	1	1	1	1	1,0	1	1,00
St.avvik	-	-	-	-	-	-	-
1996	2,51	796	8512	2601	84,5	663	1,33
Antall	2	2	2	2	2,0	2	2,00
St.avvik	-	-	-	-	-	-	-
1997	2,53	613	7044	1978	48,2	440	0,87
Antall	8	8	8	8	8,0	8	8,00
St.avvik	0,16	216	3226	834	24,7	236	0,43
1998	2,63	487	4235	1231	28,3	235	0,56
Antall	11	11	11	11	11	11	11
St.avvik	0,11	115	1614	582	9,4	92	0,20
1999	2,63	494	5298	1463	30,1	286	0,61
Antall	12	12	12	12	12	12	12
St.avvik	0,068	333	5079	1709	20,3	268	0,53

I figur 10 er det gjort en grafisk fremstilling av kobber- og sinkobservasjoner i drensvannet for perioden 1992-1999. På figuren er også vist beregnede trendlinjer. Figuren viser en klart avtakende tendens. Tilsvarende forhold kan også påvises når det gjelder jern, sulfat og konduktivitet. Dette betyr at en i tiden etter at overdekkingstiltaket ble gjennomført har en fått en gradvis nedgang i transporten av forvitningsprodukter fra tippet. Tallene for 1999 tyder imidlertid på en mindre økning igjen. Da dekk-sjiktet på tippet ikke er helt tett, må en imidlertid regne med variasjoner som følge av naturlige variasjoner i nedbør og klima.



Figur 10. Konsentrasjon av kobber og sink i drensvann fra velte i kum 3.

5.2 Samlet avrenning til Gruvebekken

Analyseresultatene for 1999 er samlet i tabell 9 i Vedlegg A. I tabell 4 er gjort en beregning av tidsveiede årsmiddelverdier for det innsamlede datamateriale for perioden 1992-1999.

Tabell 4. Måledam for samlet avrenning til Gruvebekken. Tidsveiede middelverdier 1992-99.

År	pH	Kond mS/m	SO ₄ 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	Vannf l/s
1992	2.82	195.8	1163	79.9	41.1	57.4	160	14.8	89.6	0.26	10.1	0.20	0.40	6.05	
1993	2.96	132.7	642	49.8	23.8	28.5	87.4	6.65	48.2	0.12	4.75	0.14	0.20	9.3	
1994	2.98	154.2	840	77.9	32.4	34.9	100	7.80	62.0	0.13	5.33	0.14	0.22	11.2	
1995	2.91	153.1	799	62.8	27.3	33.0	92.6	8.20	58.7	0.14	4.73	0.16	0.20	11.6	
1996	2.88	172.3	946	79.3	35.2	42.4	122	9.07	66.1	0.15	4.74	0.12	0.18	12.4	
1997	2.77	187.5	1113	82.3	40.9	44.8	166	9.12	71.3	0.16	4.97	0.15	0.20	14.5	
1998	2.85	139.3	702	43.9	23.2	23.2	124	4.58	38.8	0.09	2.61	0.08	0.11	8.60	
1999	2.62	487.4	5117	124.5	132.7	138.5	1398	28.1	281	0.59	10.0	0.30	0.52	28.7	

Etter at overdekkingstiltaket ble gjennomført i 1991, viste sulfat- og tungmetallkonsentrasjonene en synkende tendens i tiden etter. I perioden har det vært tildels betydelige variasjoner i konsentrasjonene i løpet av året og fra år til år, noe som har sammenheng med naturlige variasjoner i nedbør og klima. Det har dessuten vært vanskelig å ta prøver om vinteren p.g.a. store snømengder. Om våren kan også forholdene av og til være problematiske p.g.a. mye overvann i det området der dammen står. I 1999 ble det observert en betydelig økning i metallkonsentrasjonene som følge av at dreneringssystemet under velten etterhvert gikk tett slik at stadig mer drensvann gikk i overløp til grøfta som fører fram til måledammen. Disse problemene ble først observert høsten 1998. I oktober 1999 gikk praktisk alt drensvannet fra tippen til Gruvebekken. Figur 11 gir en fremstilling av tidsveiede middelverdier for

kobber og sink for perioden 1992-1999. Konsentrasjonene var ved utgangen av 1999 av størrelsesorden ca. 5 ganger høyere enn i de foregående år.



Figur 11. Konsentrasjoner av kobber og sink ved måledam for samlet avrenning til Gaula. Tidsveiede middelerverdier 1992-1999.

6. Forurensningstransport

6.1 Transport til gruva

Ved hjelp av middelveier for de viktigste komponenter i vannet som går ned i gruva gjennom kum 3 og samlet årlig vannmengde er det i tabell 5 gjort en beregning av årlig forurensningstransport til gruva. I tillegg mottar også gruva forurensningstilførsler gjennom dagstrossen. Disse tilførslene er beregnet av Arnesen (1997) og er anslått til å være av samme størrelsesorden som for dreisvannet i kum 3. Det antas at tilførselen gjennom dagstrossen er uforandret eller viser tilsvarende variasjoner som for kum 3.

Tabell 5. Forurensningstransport fra kum 3 til Killingdal gruve

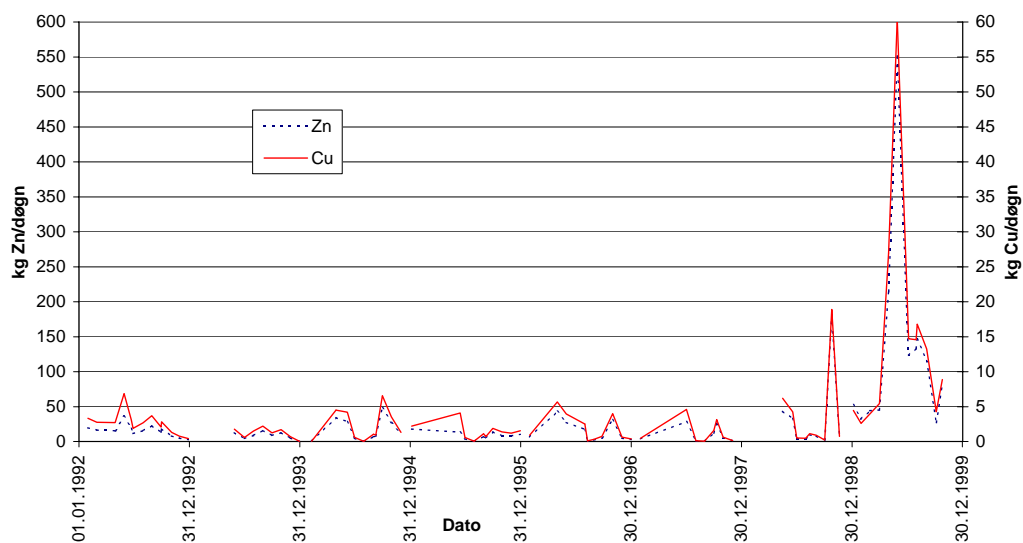
År	Sulfat tonn/år	Jern tonn/år	Kobber tonn/år	Sink tonn/år	Kadmium kg/år
1993	78	21	0,88	5,9	15,0
1994	61	16	0,66	5,1	10,8
1995	90	29	0,96	6,1	15,8
1996	89	27	0,88	6,9	13,8
1997	71	20	0,48	4,4	8,7
1998	52	15	0,35	2,9	6,9
1999	30	8,2	0,17	1,6	3,4

Forurensningstransporten gjennom kum 3 har avtatt vesentlig de to siste år. Fram til 1998 kan dette ha sammenheng med en redusert forvittringshastighet i gruveavfallet og at gamle avsatte forvittringsprodukter i avfallstippen etterhvert vaskes ut. I slutten av 1998 og i 1999 ble det observert at dreneringsrørene som fører fram til kum 3 var i ferd med å gå tett. I oktober 1999 gikk det praktisk talt ikke noe vann inn i kum 3 (se figur 9). Fra oktober 1999 gikk all avrenning fra tippen unntatt den som fortsatt går gjennom dagstrossen til Gruvebekken og Gaula.

6.2 Transport til Gaula

I likhet med kum 3 er det ved måledammen for samlet avrenning til Gruvebekken også foretatt kontinuerlige målinger av vannføringer. Prøvetaking for kontroll av vannkvalitet er foretatt med en månedlig frekvens. Ved hjelp av analyseresultater for kobber og sink og tilsvarende vannføringsobservasjoner er det i figur 12 vist en beregning av døgntransport for de to komponenter for perioden 1992-1999. Figuren viser som tidligere nevnt en markert økning i transporten til Gaula høsten 1998 som følge av gjentetting av dreneringsrørene under tippen. Avrenningen om vinteren er som regel liten og var ikke større vinteren 1999 enn at det ene dreneringsrøret som fortsatt kunne transportere litt vann, tok unna mye av avrenningen. Da vårflommen kom i mai måned, ser en tydelig at det ble en markert økning i forurensningstransporten fra området.

I tabell 6 er det gjort en beregning av den årlige forurensningstransporten fra området for årene 1992-1999. Beregningen er gjort ved å tidsveie døgntransportverdiene i figur 12. Dette gir tilnærmet arealet under transportkurven i figur 12. Beregningen viser at forurensningstransporten fra området økte tilsynelatende kraftig i 1999 og var av størrelsesorden fem ganger høyere i 1999 enn i det foregående år. En ser at transporten var høyest under vårflommen. Da prøvetakingsfrekvensen kun er en gang pr. måned er det imidlertid vanskelig å avgjøre varigheten til transportmaksimum, noe som har betydning for beregnet årstransport.



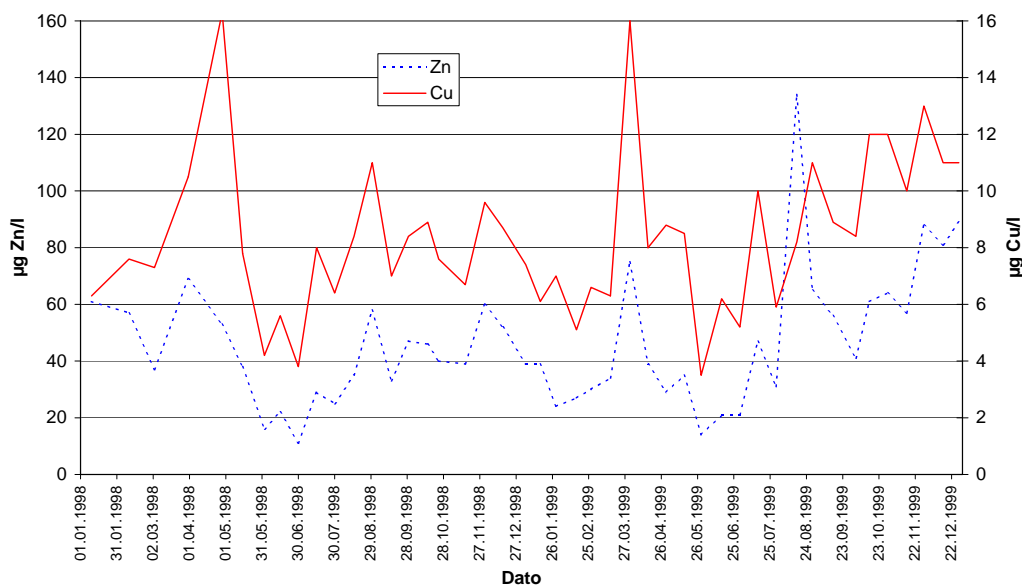
Figur 12. Døgntransport av kobber og sink ved overløp av måledam for samlet avrenning til Gaula i perioden 1992-1999.

Tabell 6. Tidsveiet årstransport ved måledam for samlet avrenning til Gaula 1992-1999.

År	SO ₄ tonn	Ca tonn	Al tonn	Fe tonn	Cu tonn	Zn tonn	Cd kg	Vannmengde m ³
1992	70.1	5.4	3.7	9.8	1.00	5.9	40	190595
1993	40.4	3.2	1.9	5.1	0.43	3.0	7.8	87375
1994	76.5	6.2	3.6	8.9	0.80	6.0	14.8	348811
1995	75.2	6.8	2.4	8.8	0.75	4.1	12.2	307915
1996	93.6	7.2	4.8	16.1	0.87	6.4	11.1	453952
1997	63.8	4.4	2.8	12.0	0.58	3.9	7.4	330890
1998	120	7.5	4.0	21.1	0.78	6.6	15.9	170914
1999	742	21.0	23.0	168.0	5.10	45.0	95	220000

7. Forholdene i Gaula

Det statlige program for forurensningsovervåkning av Gaula omfatter 6 stasjoner hvorav de to øverste stasjonene er lotalisert ovenfor tilløpet av Grubbekken. Den viktigste stasjonen i dette overvåkingsprogramet har i de senere år vært stasjon G4 som er lokalisert ved Reitan. Stasjon G4 fanger også opp tilførselene fra Bjørgåsen via Skuru, men disse tilførselene er av mindre betydning. Stasjonen blir prøvetatt to ganger pr. måned. Ved hjelp av vannføringsmålinger ved Eggjafossen kan vannføringen ved Reitan beregnes forholdsvis pålitelig. Derved kan også forurensningstransporten ved Reitan beregnes.

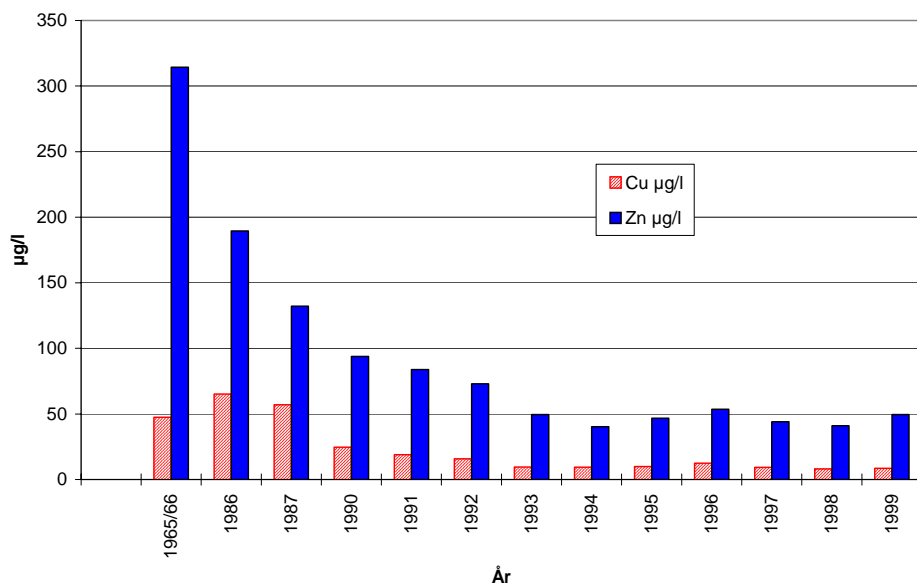


Figur 13. Kobber- og sinkkonsentrasjoner i Gaula ved stasjon G4 Gaula ved Reitan 1998-1999.

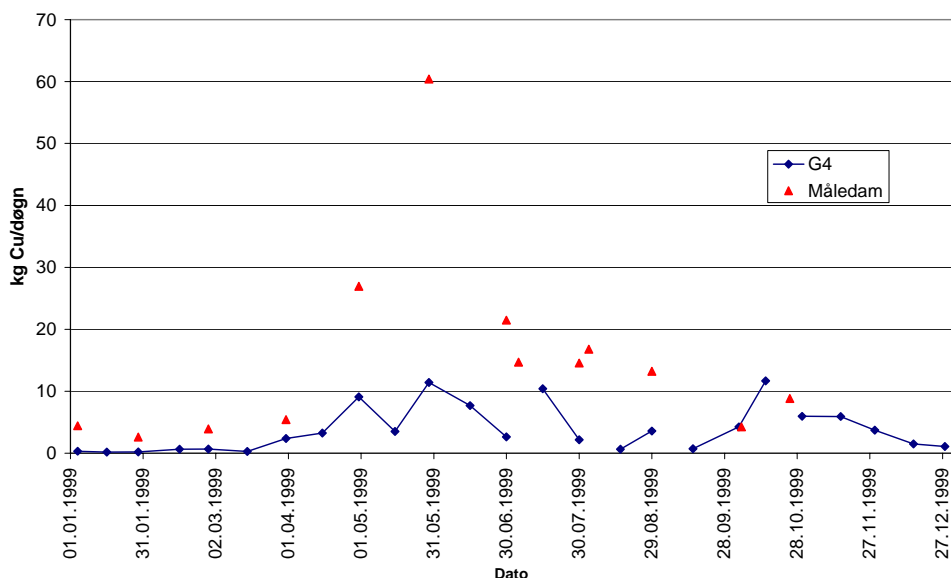
Tabell 7. Årlige middelerverdier for kobber og sink ved stasjon G4 Gaula ved Reitan.

År	Cu µg/l	Zn µg/l
1965/66	47.5	314.3
1986	65.2	189.5
1987	57.0	132.2
1990	24.6	93.9
1991	18.9	83.8
1992	15.7	72.9
1993	9.5	49.5
1994	9.5	40.2
1995	9.9	46.8
1996	12.5	53.6
1997	9.3	44.0
1998	8.0	40.9
1999	8.6	49.6

Figur 13 viser kobber- og sinkkonsentrasjoner ved stasjon G4 i 1998 og 1999. Figuren viser en viss økning i konsentrasjonene i siste halvår 1999, men nivåene var likevel ikke unormalt høye. Tabell 7 og figur 14 viser aritmetiske årsmiddelverdier for kobber og sink. Sinknivået økte noe i 1999 i forhold til de to foregående år. Middelverdiene var likevel betydelig lavere enn i 1992, det første året etter tiltaket.

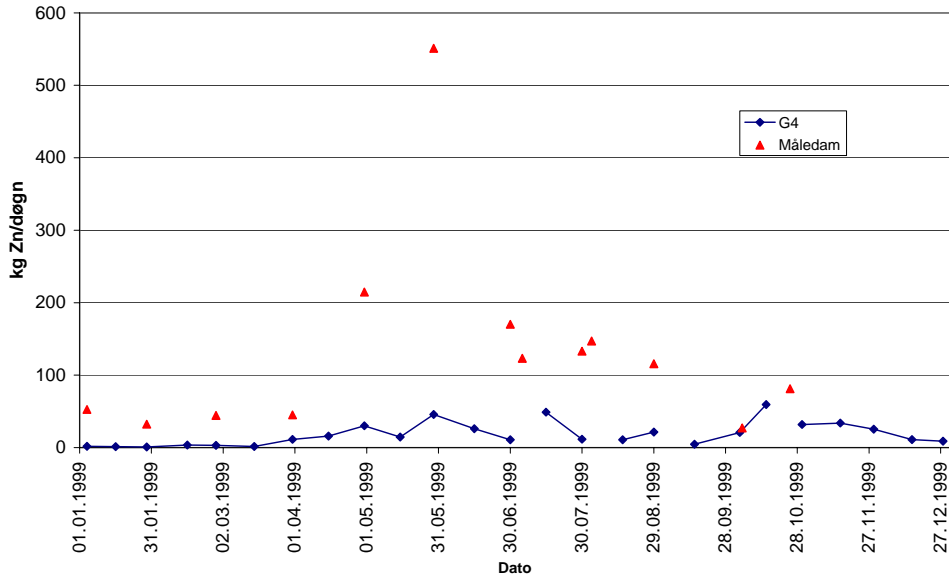


Figur 14. Årlige middelverdier for kobber og sink ved stasjon G4 Gaula ved Reitan



Figur 15. Enkeltobservasjoner av kobbertransport i Gaula ved stasjon G4 og ved overløp av måledam for samlet avrenning til Grubebekken og Gaula i 1999.

Ved hjelp av vannføringsobservasjoner ved G4 kan transprten beregnes. I figur 15 og figur 16 er beregnet enkeltobservasjoner for kobber- og sinktransport ved G4. I figuren er også vist beregnede transportverdier for kobber og sink ved måledammen for samlet avrenning til Gruvebekken og Gaula.



Figur 16. Enkeltobservasjoner av sinktransport i Gaula ved stasjon G4 og ved overløp av måledam for samlet avrenning til Gruvebekken og Gaula i 1999.

Figurene viser at det er store forskjeller i beregnede transportverdier både for kobber og sink mellom stasjon G4 og måledammen i perioden mai-august. Det er vanskelig å vurdere hva forholdet skyldes. Mulige årsaker kan ha sammenheng med følgende forhold:

- Transporten fra gruveområdet er sterkt varierende over tid
- Støtutslipp jevnes ut i Gaula
- Prøvetakingen i Gaula er ikke omfattende nok til å fange opp kortvarige utslipp fra gruveområdet
- Det skjer en utfelling på veien fra gruveområdet og ned til Reitan

8. Samlet vurdering

Det tiltaket som ble gjennomført i 1991 førte til en betydelig reduksjon i forurensningstilførslene fra gruveområdet under Gaulåsen til Gaula. Måleprogrammet som ble gjennomført i de første år viste imidlertid at morenen som tippen ble overdekket med, slapp igjennom mesteparten av den nedbøren som falt på velten. Da den vannmengde som ble ført ned i gruva etterhvert viste seg å være mye større enn den vannmengden som ble ført ut av gruva på grunn av den naturlige ventilasjonen, førte dette til at vannstanden nådde Sentralstasjonen i 1994. All ventilasjon stoppet dermed opp. Gruva vil derfor tilslutt få overløp gjennom Bjørgensjakten. Det er ikke mulig å si noe om når overløpet vil inntreffe uten å foreta vannstandsobservasjoner i Bjørgensjakten.

Selv om morenen som tippen ble overdekket med ikke hadde den kvalitet som var ønsket, har den likevel hatt stor evne til å holde på så mye fuktighet at transporten av luft inn i tippen har vært redusert betydelig. Dette understøttes av de temperatur- og oksygenmålinger som har vært gjort i borhullene i velten. Dette har ført til en redusert avrenning av forvittringsprodukter fra avfallet.

I slutten av 1998 kunne det påvises at drenerørsystemet under dekkjiktet var iferd med å gå tett. I oktober 1999 var drenerørene helt tette. Det kunne observeres at avrenningen fra tippen fant andre veier og førte mot Grubebekken. Det ble også påvist at forurensningstransporten fra tippen til Gaula økte betydelig i løpet av 1999. Tungmetallkonsentrasjonene ved overløpet av måledammen var av størrelsesorden fem ganger høyere i 1999 enn i 1998. Disse observasjonene gjorde at man vurderte det slik at det over tid kunne være fare for at dreneringsvannet fra velten kunne grave i morenen som tippen er overdekket med, noe som langsomt ville føre til en økt forurensningstransport fra området. Det ble derfor bestemt å forsterke overdekkingen under sommeren 2000.

Den betydelig økning i forurensningstransport som ble påvist av måleprogrammet i gruveområdet ble ikke fanget opp av måleprogrammet for Gaula. Det er vanskelig å vurdere hva dette skyldes. En mulig forklaring kan ha sammenheng med at prøvetakingen i Gaula ikke har vært omfattende nok til å fange opp kortvarige utslipp fra gruveområdet. Det er også rimelig å anta at det kan skje en viss utfelling av metaller på veien ned til målestasjonen i Gaula. De beregninger som er gjort av forurensningstransporten er usikre som følge av at prøvetakingsprogrammet har vært beskjedent. På den annen side er det imidlertid liten tvil om at forurensningstransporten økte betydelig fra 1998 til 1999. Dette understøttes bl.a. av de analysene som er gjort av sivevannet. Erfaringene fra dette prosjektet viser tydelig at overvåking nærmest kilden gir best og tidlig informasjon om forhold som kan ha forurensningsmessig betydning slik at tiltak kan bli satt inn på et så tidlig tidspunkt som mulig.

Avrenningen fra tippen etter at det nye overdekkingstiltaket ble gjennomført sommeren 2000 vil bli fulgt opp av et nytt kontrollprogram. Det nye tiltaket har som konsekvens at tilsiget til gruva vil bli betydelig redusert og at det dermed vil ta lengre tid før det blir overløp i Bjørgensjakten.

9. Referanser

- Arnesen, R.T., Grande, M. og Tjomsland, T. 1979. Vannforurensning fra gruver – Killingdal. NIVA-rapport. O-77061. L.nr. OR-1107.
- Arnesen, R.T., 1997. Killingdal Gruber – Avrenning fra velte. Resultater fra målinger i årene 1992-1996. NIVA-Rapport O-96105, L.nr. 3655-97.
- Arnesen, R.T. og Iversen, E.R., 1999. Killingdal Gruber. Avrenning fra velte. Resultater fra målinger 1993-1998. NIVA-Rapport O-99096. L.nr. 4122-99. 37 s.
- Iversen, E.R., 1988. Killingdal og Kjøli gruver. Forurensningstilførsler til Gaula. NIVA-rapport. O-87044. L.nr. 2094.
- Traaen, T.S., 2000. Overvåking av Gaula, Sør-Trøndelag. Vannkjemiske undersøkelser. Årsrapport for 1999. Overvåkingsrapport nr. 808/00. TA-nr. 1764/2000. NIVA-rapport O-90051. L.nr. 4257. 23 s.

Vedlegg A. Analyseresultater

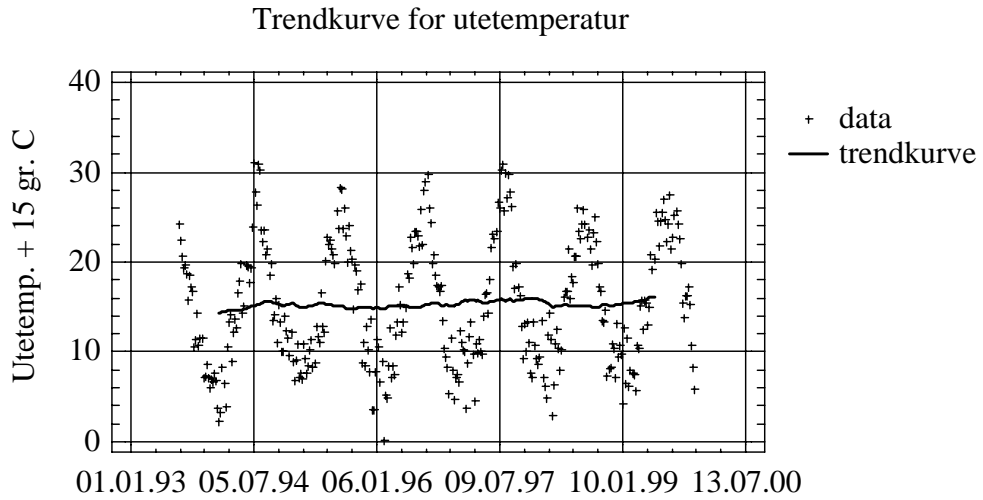
Tabell 8. Analyseresultater. Kum 3 1992-1999.

Dato	pH	Kond mS/m	SO ₄ 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
22.06.1992	2.78	297	2605	66.2	66.4	133.8	558	37.3	198	0.56	14.5	0.37	0.76	
05.11.1992	2.59	717	12190	208	315	443	2300	137.0	1089	2.30	45.2	1.16	2.28	
14.11.1992	2.52	785	15330	266	375	554	4180	161.0	1200	3.05	57.5	1.67	3.02	
26.11.1992	2.46	743	14160	255	342	524	3690	144.0	1080	2.63	53.7	1.38	2.82	
25.06.1993	2.57	396	3743	92	110	172	774	50.2	327	0.87	16.3	0.60	1.17	22.3
02.08.1993	2.68	469	5150	125	154	211	1270	65.8	373	0.98	18.0	0.65	1.05	33.3
10.09.1993	2.70	560	8054	171	216	275	2480	86.0	587	1.47	28.2	0.92	1.41	39.6
08.11.1993	2.78	552	7275	138	190	256	2150	70.8	550	1.35	27.4	0.90	1.36	34.6
10.08.1994	2.58	293	2488	78.4	79.1	116	418	35.1	184	0.46	10.9	0.49	0.41	23.6
06.10.1994	2.73	719	9281	195	258	347	2480	93.6	680	1.63	32.5	0.88	1.67	48.7
15.12.1994	2.67	668	8560	188	220	317	2306	88.0	829	1.49	24.7	0.75	1.29	49.2
07.09.1995	2.63	661	9650	155	224	299	3068	103.0	655	1.69	24.1	0.91	1.35	56.9
29.08.1996	2.46	852	9281	226	283	328	2944	95.0	741	1.48	24.5	0.52		52.0
17.09.1996	2.55	740	7743	178	223	253	2258	74.0	584	1.17	20.3	0.60	1.00	37.8
01.07.1997	2.64	231	1512	47.9	42	50.6	411	14.3	87.5	0.15	3.52	0.12	0.07	15.7
01.08.1997	2.15	723	8796	193	236	259	2315	71.8	603	0.95	17.3	0.55	1.03	41.0
30.08.1997	2.51	860	11796	236	326	357	2920	88.2	806	1.48	22.6	0.83	1.36	60.3
29.09.1997	2.56	553	5778	153	142	146	1710	37.7	313	0.74	11.4	0.38	0.50	39.3
09.10.1997	2.67	491	5120	143	123	126	1510	32.4	277	0.65	9.75	0.35	0.50	40.2
14.11.1997	2.53	509	5419	113	126	128	1650	28.4	300	0.57	7.3	0.27	0.49	31.0
30.11.1997	2.57	650	8174	162	201	210	2440	49.7	491	1.15	16.0	0.51	0.65	38.4
29.12.1997	2.59	889	9760	204	260	280	2870	62.9	639	1.29	19.9	0.54	0.97	40.3
01.04.1998	2.73	544	5479	137	161	207	1480	45.8	384	0.87	14.1	0.45	0.93	29.2
28.04.1998	2.52	365	2955	85.6	83.7	91.8	695	38.7	248	0.60	5.75	0.27	0.47	20.0
15.05.1998	2.52	344	2662	78.2	71.9	87.7	494	23.3	174	0.45	6.21	0.25	0.35	20.8
17.06.1998	2.81	293	2404	69.3	57.4	64.4	707	13.9	110	0.30	4.65	0.17	0.28	21.9
30.06.1998	2.48	358	3024	81.9	75.4	78.3	904	21.1	153	0.38	5.59	0.17	0.34	22.2
30.07.1998	2.54	489	4401	116	113	114	1220	29.2	235	0.58	8.01	0.27	0.43	30.7
12.08.1998	2.74	419	3952	113	93.8	94.4	1220	24.5	187	0.51	7.13	0.23	0.38	30.9
03.09.1998	2.68	504	4760	134	109	99.1	1550	23.8	226	0.50	8.13	0.19	0.41	25.4
01.10.1998	2.60	603	6916	166	159	150	2180	36.0	353	0.82	12.1	0.36	0.62	35.6
24.10.1998	2.56	363	3174	95.7	80.8	93.3	867	20.6	156	0.38	6.94	0.26	0.41	30.5
19.11.1998	2.56	638	6856	147	160	155	2220	34.3	354	0.82	12.2	0.37	0.50	31.6
04.01.1999	2.61	1005	12605	237	291	280	4200	56.5	670	1.41	21.1	0.54	0.84	41.3
29.01.1999	2.62	1222	17096	321	408	391	5570	73.5	914	1.81	28.5	0.56	1.29	50.6
27.02.1999	2.60	918	11108	220	283	284	3150	54.9	617	1.25	19.7	0.58	1.03	39.5
31.03.1999	2.68	643	7485	176	195	243	1690	46.9	390	0.90	17.0	0.37	0.98	40.6
30.04.1999	2.67	297	2320	61.1	69.0	79.9	561	18.7	149	0.33	5.62	0.24	0.34	22.2
29.05.1999	2.48	335	2362	65.4	74.2	78.6	413	17.2	157	0.31	5.65	0.26	0.32	21.8
30.06.1999	2.49	324	2344	62.3	65.2	68.9	579	20.2	160	0.36	4.83	0.20	0.27	21.7
05.07.1999	2.61	266	1964	56.4	56.8	58.4	473	14.8	124	0.27	4.24	0.18	0.26	20.9
30.07.1999	2.59	320	3413	81.4	80.8	83.8	1020	18.4	168	0.39	4.61	0.22	0.27	28.6
03.08.1999	2.62	344	3054	82.6	80.8	80.6	762	18.6	163	0.37	4.61	0.22	0.29	24.9
03.09.1999	2.58	409	3503	96.3	93.2	95.0	914	21.3	186	0.42	6.06	0.27	0.38	29.7
05.10.1999	2.71	302	2686	84.8	68.4	83.3	636	19.8	126	0.31	5.75	0.22	0.35	30.5

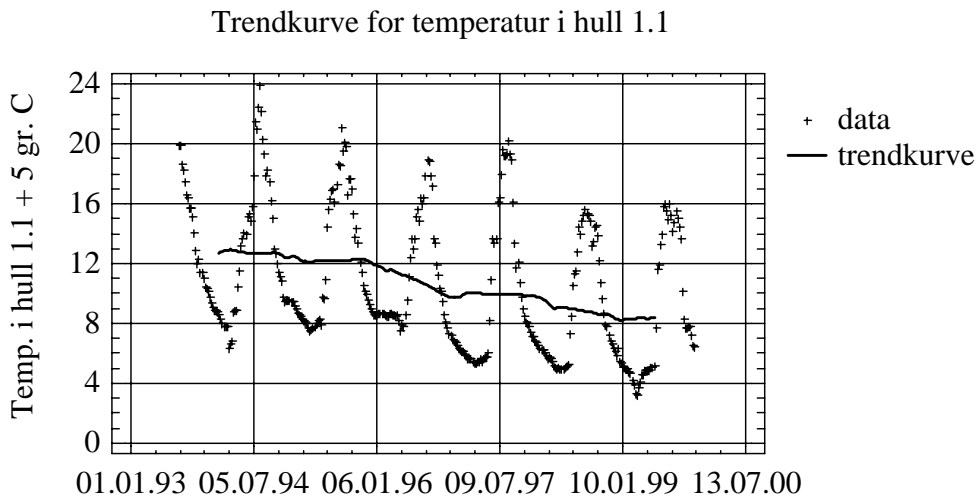
Tabell 9. Analyseresultater. Måledam for samlet avrenning til Gruvebekken og Gaula 1999.

Dato	pH	Kond mS/m	SO ₄ 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	Vannf l/s
04.01.1999	2.61	1005	12605	237	291	280	4200	56.5	670	1.41	21.1	0.54	0.84	41.3	0.91
29.01.1999	2.62	1222	17096	321	408	391	5570	73.5	914	1.81	28.5	0.56	1.29	50.6	0.41
27.02.1999	2.60	918	11108	220	283	284	3150	54.9	617	1.25	19.7	0.58	1.03	39.5	0.83
31.03.1999	2.68	643	7485	176	195	243	1690	46.9	390	0.90	17.0	0.37	0.98	40.6	1.34
30.04.1999	2.67	297	2320	61.1	69.0	79.9	561	18.7	149	0.33	5.62	0.24	0.34	22.2	16.68
29.05.1999	2.48	335	2362	65.4	74.2	78.6	413	17.2	157	0.31	5.65	0.26	0.32	21.8	40.64
30.06.1999	2.49	324	2344	62.3	65.2	68.9	579	20.2	160	0.36	4.83	0.20	0.27	21.7	12.31
05.07.1999	2.61	266	1964	56.4	56.8	58.4	473	14.8	124	0.27	4.24	0.18	0.26	20.9	10.75
30.07.1999	2.59	320	3413	81.4	80.8	83.8	1020	18.4	168	0.39	4.61	0.22	0.27	28.6	9.16
03.08.1999	2.62	344	3054	82.6	80.8	80.6	762	18.6	163	0.37	4.61	0.22	0.29	24.9	10.45
03.09.1999	2.58	409	3503	96.3	93.2	95.0	914	21.3	186	0.42	6.06	0.27	0.38	29.7	7.20
05.10.1999	2.71	302	2686	84.8	68.4	83.3	636	19.8	126	0.31	5.75	0.22	0.35	30.5	5.69
25.10.1999	2.74	175	967	48.7	31.4	33.5	202	6.14	56.4	0.11	3.11	0.09	0.14	10.7	16.68
29.11.1999	2.66	288	1979	92.3	61.0	62.2	302	11.4	113	0.23	5.87	0.17	0.25	19.3	
28.12.1999	2.49	378	2898	162	95.3	101	576	16.0	163	0.34	9.92	0.26	0.43	25.1	
Gj.snitt	2.62	489	5206	120	133	137	1462	28.5	285	0.61	9.8	0.29	0.50	28.7	10.23
Maks.verdi	2.74	1222	17096	321	408	391	5570	73.5	914	1.81	28.5	0.58	1.29	50.6	40.64
Min.verdi	2.48	175	967	48.7	31.4	33.5	202	6.14	56.4	0.11	3.11	0.09	0.14	10.7	0.41

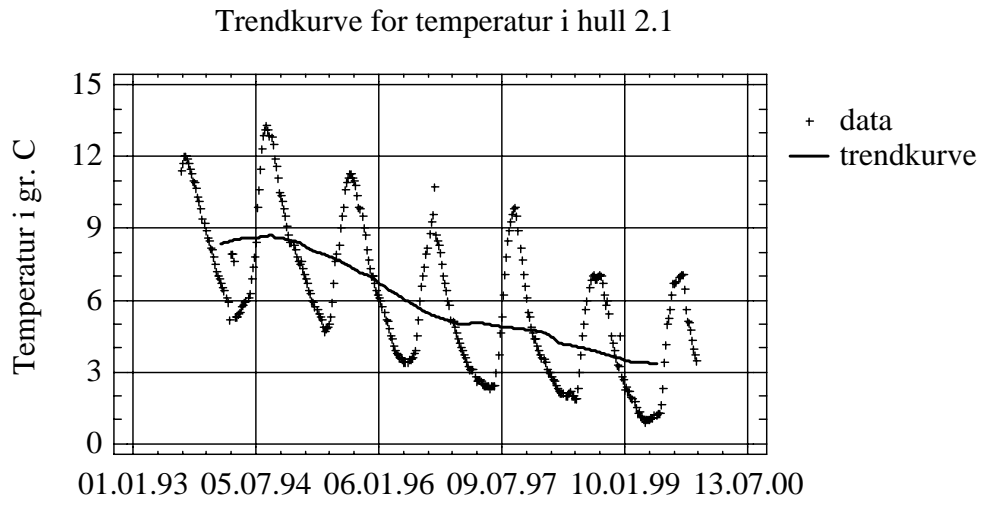
Vedlegg B. Beregnede tidstrender for temperaturmålingene



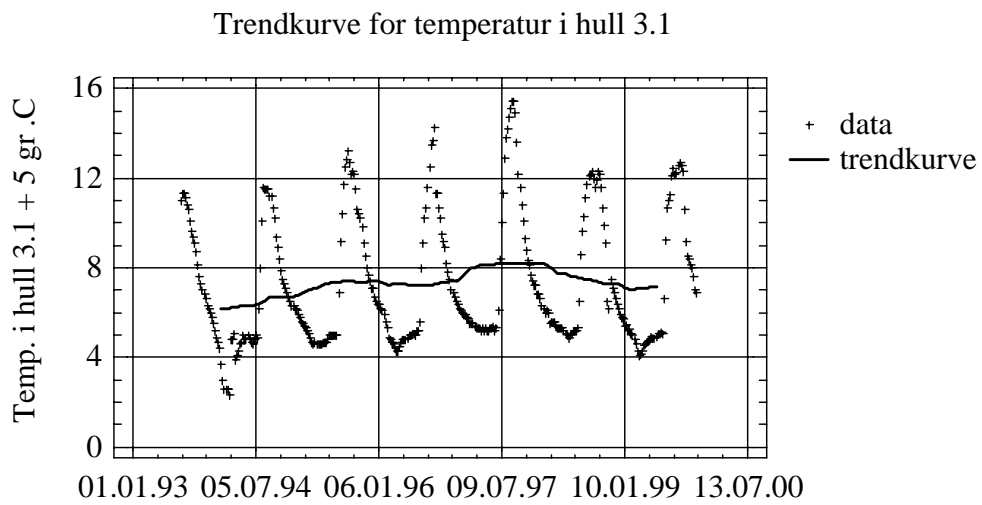
Figur 17. Trendkurve for utetemperatur på velten på Gaulåsen.



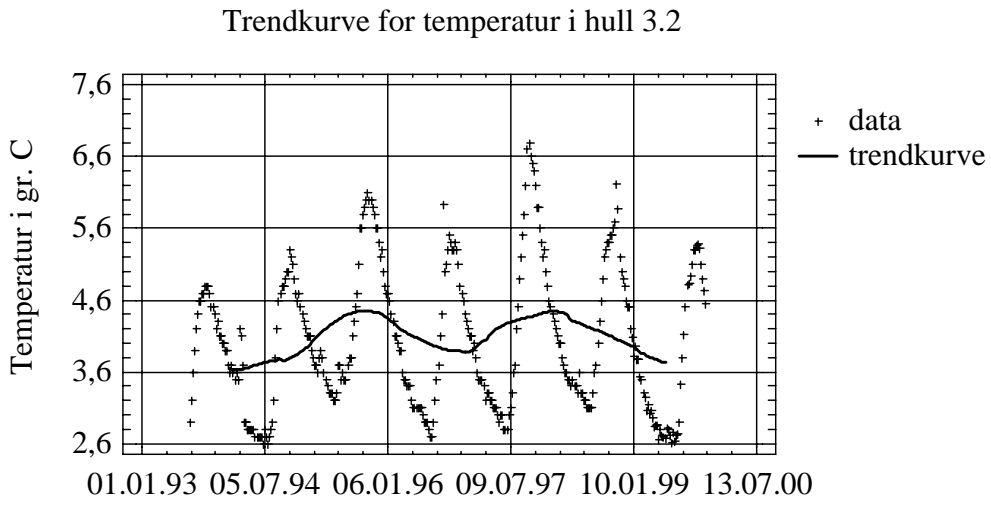
Figur 18. Trendkurve for temperaturen på 2 m dyp i borhull1 i velten på Gaulåsen



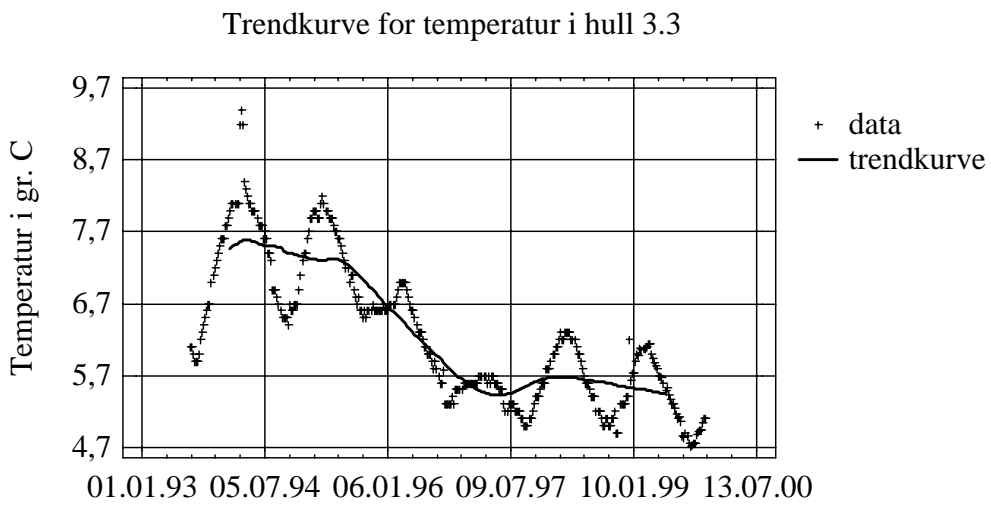
Figur 19. Trendkurve for temperaturen på 2 m dyp i borhull 2 i velten på Gaulåsen



Figur 20. Trendkurve for temperaturen på 2 m dyp i borhull 3 i velten på Gaulåsen



Figur 21. Trendkurve for temperaturen på 5 m dyp i borhull 3 i velten på Gaulåsen



Figur 22. Trendkurve for temperaturen på 10 m dyp i borhull 3 i velten på Gaulåsen