

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 Gruber, Avrenning fra velte Resultater fra målinger 1993 - 1998	Løpenr. (for bestilling) 4122-99	Dato November 1999
	Prosjektnr. Undernr. O-99096	Sider Pris 37
Forfatter(e) Rolf Tore Arnesen Eigil Rune Iversen	Fagområde Miljøteknikk	Distribusjon
	Geografisk område Sør-Trøndelag	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Bergvesenet	Oppdragsreferanse Best.nr.: 27/98 og 27/99
---------------------------------	--

Sammendrag

En automatisk målestasjon for registrering av utetemperatur, nedbør, temperatur i velte samt vannmengde som renner inn i Killingdal gruve har vært i drift siden høsten 1992. I tillegg er det tatt vannprøver for kjemisk analyse. Hensikten med målingene har vært å overvåke virkningen av tiltak som ble gjennomført i 1991. Velten utenfor gruva ble dekket med morene. Dreinsvannet fra velten ble så ført inn i gruva gjennom den tidligere vannstollen. Resultatene tyder på at morenelaget holder tilbake forholdsvis lite vann, men at det i stor grad hindrer oksidasjon av kis i velten. Temperaturmålinger i velten tyder på at oksidasjonen av kis er sterkt avhengig av tilgang på oksygen. I perioder har det vært åpninger inn til gruveavfallet, noe som har økt omsetningen. Transport av kopper og sink i vannet som føres inn i gruva er betydelig mindre enn det som tidligere ble sluppet ut fra gruveområdet. Årlig transport av tungmetaller i dreinsvannet som føres inn i Killingdal gruve var i 1998 0,35 tonn kopper og 2, 9 tonn sink.

Fire norske emneord 1. Gruve 2. Hydrologi 3. Tungmetaller 4. Måleteknikk	Fire engelske emneord 1. Mining 2. Hydrology 3. Heavy metals 4. Monitoring technique
--	--


 Rolf Tore Arnesen
 Prosjektleder


 Svein Stene-Johansen
 Forskningsleder
 ISBN 82-577-3731-3


 Bente M. Wathne
 Forskningssjef

Killingdal Gruber

Avrenning fra velte

Resultater fra målinger 1993 - 1998

Forord

NIVA har drevet undersøkelser i området ved Killingdal gruve i mer enn 20 år. I de første årene var arbeidet rettet mot å påvise effektene av forurensningene fra gruvedriften. Etter hvert ble det aktuelt å gjennomføre tiltak mot forurensningene, og arbeidet ble rettet mot det. Etter at velten ble arrondert og dekket med morene i 1991, fikk NIVA i oppdrag fra Bergvesenet å opprette en målestasjon som kunne registrere virkningen av tiltaket. Stasjonen ble etablert i 1992 og fikk etter hvert en høy grad av automatisering. I den første tiden ble det ofte en utfordring å få den til å fungere etter hensikten, ikke minst på grunn av de vanskelige værforholdene. Etter hvert endret situasjonen omkring tiltakene seg ved Killingdal, og målsettingen for programmet og den praktiske gjennomføring av arbeidet måtte endres. Dette har ført til at arbeidet med "Killingdalprosjektet" hele tiden har vært både interessant og avvekslende.

Gårdbruker John Bjørgård har vært NIVAs kontakt i Holtålen gjennom mange år. Han har bidratt til prosjektet ved prøvetaking og med ulike oppgaver ved drift av målestasjonen. Arbeidet er utført med stort engasjement og på en utmerket måte.

Vi takker Bergvesenet og spesielt senioringeniør Harald Ese som har vært NIVAs kontakt i Bergvesenet, for prosjektet og for et meget godt samarbeidet gjennom en årrekke.

Oslo, 3. november 1999

Rolf Tore Arnesen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn	7
2. Metoder og datamateriale	9
2.1 Måleutstyr	9
2.2 Datamaterialet	10
3. Temperatur og oksygen	12
3.1 Temperatur i velte	12
3.2 Oksygenmålinger	14
4. Nedbør og vannføring	17
4.1 Generelt	17
4.2 Nedbør	17
4.3 Vannføring	19
5. Vannkvalitet	23
6. Transport	24
6.1 Til Gruva	24
6.2 Til Gaula	26
7. Konklusjoner	28
8. Referanser	29
Vedlegg A	30

Sammendrag

Killingdal gruve ble åpnet i 1674 og siste gang nedlagt i 1986. All forurensning fra gruveområdene drenerer til Gaula, og denne avrenningen utgjorde tidligere en betydelig del av forurensningstilførslene til Gaula.

I 1991 ble det gjennomført tiltak for å redusere forurensningsbelastningen fra det øvre gruveområdet. Veltene ble arrondert på et minst mulig område rundt dagåpningene og dekket med morene. Drensvannet ble samlet og ført inn i gruva gjennom den gamle vannstollen. Hensikten var at nedbør skulle renne av på overflaten, mens forurenset vann skulle føres inn i gruva.

Etter bestilling fra Bergvesenet opprettet NIVA i 1992 en automatisk målestasjon som skulle samle inn data om avrenning og registrering av meteorologiske data. Utstyr for måling av temperatur og oksygeninnhold ble plassert på flere punkter inne i velten.

Praktisk talt all nedbør som faller på overflaten av tippen går gjennom dekkjiktet og blir ført inn i gruva gjennom den tidligere vannstollen. I årene 1993 - 98 var årlig gjennomsnittlig vannføring inn i gruva fra velten ca. 10000 m³.

Fordi oksidasjon av kis utvikler varme, er temperaturen i velten en indikasjon på forurensningsproduksjonen. Det er en klar sammenheng mellom oksygentilgang og temperaturutvikling. Ved redusert oksygentilgang er det påvist en raskere nedgang i temperaturen i velten enn i perioder med større tilgang på oksygen. Tetting av sjakten, ras i dagstrosse og utbedring av denne skaden ga klare endringer i temperaturutviklingen. Dette viser at det er av avgjørende betydning for forurensningstransporten fra velten at oksygentilgangen hindres effektivt.

Transport av kopper og sink fra velten er i dag betydelig mindre enn det som tidligere drenerte fra dette området til Gaula. Forurensningsmengden som nå føres inn i gruva har avtatt i de senere år og var i 1998 350 kg kopper og 2,9 tonn sink.

I undersøkelsesperioden har det forekommet gjentetting av drencrør og erosjon og skader på morenelaget på velten. Dersom dette skulle føre til at drensvannet tar veien til Grubekken ville dette bety en økning i kopper- og sinkkonsentrasjonen i Gaula ved Reitan på henholdsvis 17 og 35 %. Dersom dekkjiktet på velten samtidig skades kan konsentrasjonsøkningen etter hvert bli betydelig større.

Summary

Title: The Killingdal Mine, Drainage from Waste Rock Dump, Observations in the Years 1993 - 1998.

Year: 1999

Author: Rolf Tore Arnesen and Eigil R. Iversen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3731-3

The Killingdal Mine was first opened in 1674 and abandoned in 1986. All the acid mine drainage from the mining areas is draining to the Gaula River, and this drainage was earlier one of the main sources of pollution in the upper part of the Gaula River.

In 1991 measures were accomplished to reduce the pollution load from the upper mining area. The waste rock dumps were landscaped around the mine openings and then covered with moraine. The water draining from the dump was collected and diverted into the mine through the adit earlier used for the discharge of mine water. The objective was that unpolluted water would run off on top of the till, while polluted water would enter the mine.

Commissioned by the Directorate of Mining, NIVA established an automatic station, monitoring hydrological and meteorological data. Equipment for registering temperature and concentration of oxygen were placed at different locations within the dump.

Practically all the precipitation falling on the dump is going through the till cover, and is therefore diverted to the mine. During the years 1993 – 98 the mean annual amount of drainage into the mine was ca. 10 000 m³.

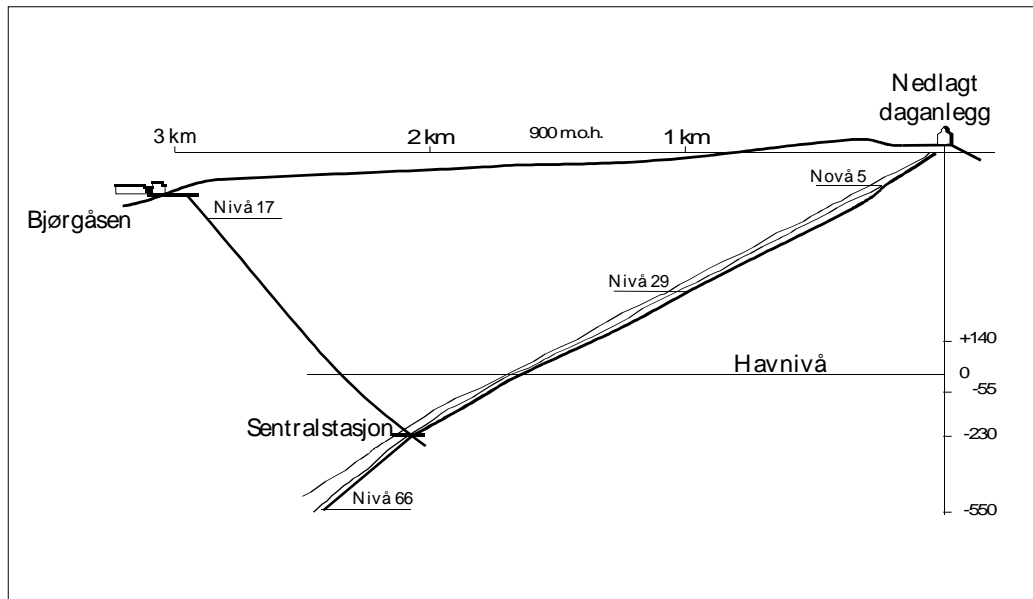
The oxidation of sulphide ore is an exothermal reaction. Therefore the temperature in the dump is an indicator to the production of pollution. The correlation between access to oxygen and temperature trend has been clearly shown. Sealing of the shaft, damage and repair of till cover is reflected in the measured temperature in different periods. It is therefore of great importance to maintain the till cover to avoid increased pollution production in the future.

The load of copper and zinc on the Gaula River from the waste rock dump, is today substantially less than the load from this area a few years ago. The load diverted into the mine was in 1998 350 kg copper and 1.9 tonnes of zinc pro year.

During the years these investigations have taken place, there have been incidents with blocking of pipes in the draining system and damages of the till cover. If such incidents should lead to a situation where the drainage is going to the Grubekken Creek, this would result in respectively 17 and 35 % increase in the copper- and zinc-concentration in the Gaula River. If the till cover is damaged at the same time, the increase in the concentrations can become much higher.

1. Bakgrunn

Killingdal gruve som første gang ble åpnet i 1674 ble nedlagt i 1986. Gruveområdet kan forurensningsmessig deles i to, det gamle gruveområdet på fjellet og området ved Bjørgåsen dit gruveriften ble flyttet da det ble etablert en ny skråsjakt i 1965. Gruva er vist i snitt i figur 1.



Figur 1. Vertikalsnitt av Killingdal gruve med hovedsjakt og Bjørgensjakten.

Alle forurensninger fra gruva drenerer til Gaula. Mens området på fjellet drenerer til Grubebekken som renner direkte til Gaula, drenerer området ved Bjørgåsen til Skuru som er en sideelv til Gaula.

Mens gruva var i drift, foregikk utpumping av gruvevann gjennom en vannstoll i det gamle anlegget på fjellet. Dette gruvevannet sammen med drensvann fra veltene i samme område utgjorde en betydelig andel av forurensningsbelastningen i Gaula. Avrenningen fra det nye driftsområdet i Bjørgåsen hadde i forhold til dette mindre forurensningsmessig betydning. Den tidligere forurensningstilførslen til Gaula fra det øvre gruveområdet er beskrevet i to NIVA-rapporter (Arnesen et al. 1979 og Iversen 1988). I 1995/96 hadde NIVA et måleprogram for å registrere avrenningen fra det nedre området. Resultatene fra denne undersøkelsen er rapportert i 1998 (Iversen).

I 1991 ble det gjennomført tiltak for å redusere forurensningsbelastningen fra det øvre gruveområdet. Veltene ble arrondert rundt dagåpningene og drensvannet ble samlet i rør som forbandt tre kummer i underkant av velten. Fra den siste kummen – ”Kum 3” - ble vannet ført inn i gruva gjennom den gamle vannstollen. Den arronderte velten ble dekket med morene og for å hindre erosjon ble det på toppen lagt grov stein.

Hensikten med tiltaket var at lite forurenset vann skulle renne av på overflaten, mens praktisk talt alt forurenset vann skulle samles opp og føres inn i gruva. Fordi Killingdal gruve har to store åpninger med en betydelig høydeforskjell, foregikk det ved nedleggelsen i 1986 en naturlig ventilasjon (”gjen-

nomtrekk") i gruva. I utgangspunkt var hensikten med å føre det forurensede vannet inn i gruva at det skulle fordampe og føres ut med ventilasjonsluften (Myran 1988).

I juni 1994 stanset denne naturlige ventilasjonen, noe som skyldtes at gruva var fylt med vann til sentralstasjonen, slik at begge sjakter ble blokkert (**Figur 1**). Fordi det ikke lenger var noen hensikt med en åpen sjakt på toppen av gruva, ble denne stengt med et betonglokk i september 1995. Dette førte samtidig til at lufttilførselen i bunnen av velten ble redusert og muligens fullstendig stanset. I så fall kan dette bidra vesentlig til å redusere oksidasjonen av kismineraler og derved produksjonen av forurensning. Ved å samle opp alt vannet som renner gjennom en slik velte blir det mulig å vurdere effekten av overdekkingen, både med hensyn på vannkvalitet og -mengde. Ut fra en slik vurdering opprettet NIVA etter bestilling fra Bergvesenet i 1992 et prosjekt, der vi ved hjelp av automatisk måleutstyr skulle samle inn data om avrenningen. Samtidig ble flere meteorologiske parametre registrert og utstyr for måling av temperatur og oksygeninnhold ble plassert på flere punkter inne i velten. Disse forholdene er nærmere beskrevet i en NIVA-rapport fra 1997 (Arnesen).

Våren 1997 ble det oppdaget at materialet i dagstrossen var rast inn. Dette førte til at morenedekket ble brutt i et område nær toppen av tippen. Åpningen ble tettet i oktober 1997, men våren og sommeren 1997 kan det ha vært en øket oksygentilførsel til toppen igjen.

Fordi den opprinnelige hensikten med tiltaket ikke lenger er oppfylt, kan det bli aktuelt å vurdere ytterligere tiltak. Det har i løpet av de årene undersøkelsene har pågått, skjedd endringer som kan få betydning for avrenningen fra det øvre gruveområdet til Gaula. Drensledningen virker ikke lengre etter hensikten, og morenedekket er skadet av innrasing og erosjon. Disse spørsmål er ikke tatt opp direkte i rapporten, men i den grad det avspeiles i måleresultatene, er de omtalt.

NIVA-rapporten fra 1997 la stor vekt på å beskrive avrenningen fra velten mengdemessig. Det viste seg at det meste av nedbøren, som falt på velten, gikk gjennom morenedekket og ble samlet opp i drensledningen som førte vannet inn i gruva. I og med at den naturlige ventilasjonen i gruva er opphørt, har vurdering av de hydrologiske forhold fått mindre oppmerksomhet i den foreliggende rapport. Det er lagt mer vekt på vannkvalitet og forurensningstransport.

På grunn av noen feil ved beregning av vannføring i rapporten fra 1997, er det gjort en ny gjennomgang av datamaterialet. De vannføringene som er angitt i den foreliggende rapporten, er de som best angir de reelle avrenningsforholdene. Forskjellene er ikke vesentlige i forhold til usikkerheten som ligger i metodene, og det er ikke grunn til å endre konklusjonene fra rapporten fra 1997.

2. Metoder og datamateriale

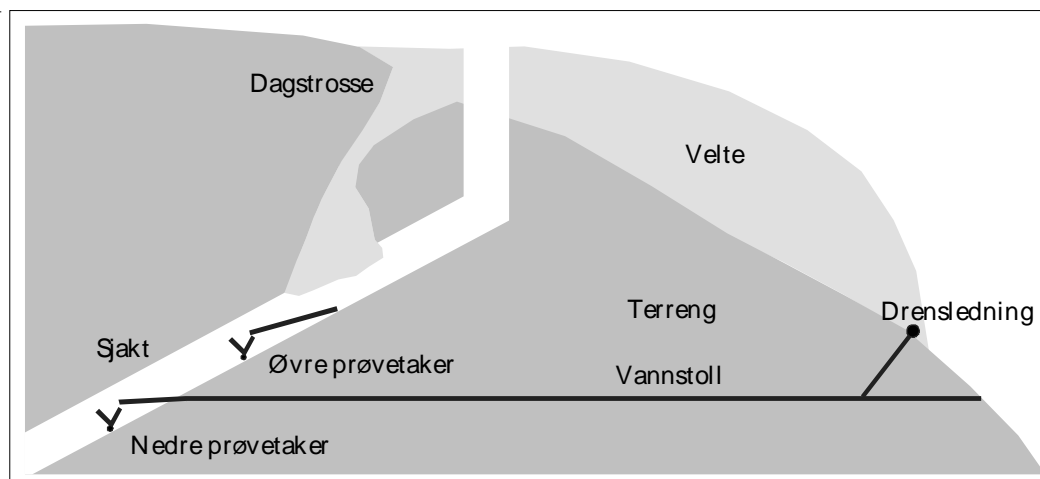
2.1 Måleutstyr

Da den automatiske målestasjonen som ble etablert i 1992, inneholdt den utstyr for måling av:

- Utetemperatur
- Nedbørmengde
- Temperatur i utgående luft fra gruva
- Relativ fuktighet i grueluft
- Temperatur på tre dyp i tre ulike punkter i velte
- Vannmengde på to delstrømmer av inngående vann

Stasjonen er automatisert og uavhengig av ekstern strømtilførsel. Alle måledata ble lagret kontinuerlig i datalogger og overført til NIVA ved oppringning til stasjonens mobiltelefon. Beskrivelse av stasjonens tekniske oppbygging finnes i rapporten fra 1997. Senere er det gjort endringer i utstyr og programmet er supplert med nye målesteder. Dette er omtalt nærmere i det følgende.

I tillegg er det på tatt prøver for kjemiske analyser av vannet som føres inn i inn i den øvre delen av gruva. På de to vannstrømmene (Kum 3 og dagstrosse) foregikk det fra starten kombinert prøvetaking og vannføringsmåling nede i gruva. Begge steder var det plassert såkalte vippeprøvetakere som består av en beholder som tømmes automatisk når den er fylt til et gitt volum. Prøvetakerne ble drevet rent mekanisk og virket uavhengig av tilgang på elektrisk strøm. Ved å registrere (mekanisk eller elektrisk) antall ganger beholderen vipper, ble vannføringen bestemt. Plassering av prøvetakerne er vist skjematisk i **Figur 2**.



Figur 2. Skjematisk skisse over prøvetakingssteder i øvre del av sjakten ved Killingdal gruve. Kum 3 er plassert på drensledningen som er markert i figuren

På grunn av prøvetakerens utforming kombinert med måten vannet ble ført inn i gruva på, er det sannsynlig at vannmengden er noe underestimert i de årene disse målepunktene var i bruk. Ved høye vannføringer kan en mekanisk prøvetaker bevege seg så langsomt at noe vann renner forbi når den tømmes.

Innføringen av vannet foregikk gjennom rør som til tider virket som hevert, slik at det selv ved lave vannføringer samlet seg vann i røret som så ble tømt meget raskt.

På grunn av at det til tider var begrenset tilgjengelighet i gruva, har det i praksis vært umulig å ta vannprøver regelmessig.

Oksygeninnholdet i luft fra velten er målt manuelt med Zieger Gas Scout med måleområde 0 - 25 %. Alle data bortsett fra kjemiske analyser er logget elektronisk og med jevne mellomrom overført til NIVA på mobiltelefon. Drift og vedlikehold av instrumenter og utstyr er utført av NIVAs instrument-sentral.

Stasjonen ble montert av NIVAs instrumentsentral i november 1992 og NIVA har hele tiden hatt ansvar for vedlikehold og drift. Det har vært noen problemer med driften. Stort sett skyldes dette uforutsette forhold, som lynnedslag, vanskelige meteorologiske forhold o.l. I 1993 ble det bl.a. et langt avbrekk i datamaterialet, fordi ventilasjonen i gruva ble hindret av is i Bjørgensjakten og det ble umulig å drive vedlikeholdsarbeid. Levetiden på stasjonens batterier var begrenset og det ble umulig å lade dem til rett tid. Vannmengdene ble til tider å bli betydelig større enn det som var forutsatt, og det ble en uventet stor belastning på måleutstyret. For å bli uavhengig av å komme ned i gruva for å bytte batterier ble alt utstyr unntatt vannmålerne flyttet opp i dagen. I tillegg ble det montert en vinddrevet generator som holder batteriene fulladet til enhver tid. Etter hvert er derfor regulariteten i datafangsten blitt betydelig bedre.

Da ventilasjonen stanset i juni 1994, ble det ikke lengre mulig å drive service på måle- og prøve-takingsutstyret nede i gruva. Da sjakten ble forseglet 6. september 1995 ble det derfor etablert et målepunkt i innløpskummen til vannstollen (Kum 3). Her ble det montert et 60° V-overløp med en trykk-celle for registrering av vannhøyden. I rapporten fra 1997 ble V-overløpets vinkel feilaktig oppgitt til 45°, og en del vannføringer ble beregnet ut fra det. Der det er uoverensstemmelse mellom den forrige rapporten og den foreliggende, er det den nyeste som har de mest pålitelige data.

I august 1996 ble denne trykkcellen ødelagt, antakelig av lynnedslag, og ny ble montert 9. september 1996. Normal drift på stasjonen ble imidlertid først etablert ca. 20. september. På grunn av de vanskelige værforholdene ved Killingdal, var det vanskelig å få kalibrert trykkcellen før den ble ødelagt. Det kan derfor være en noe større usikkerhet i vannføringsdata fra perioden september 1995 til august 1996 enn for resten av måleperioden.

1. juli 1997 ble det montert en målecelle for kontinuerlig registrering av elektrisk konduktivitet i gruvevannet i Kum 3. På grunn av gruvevannets kjemiske egenskaper ble det raskt avsetninger på cellens elektroder, og det viste det seg at den etter forholdsvis kort tid ga feil måleresultater. Data fra denne målecellen er derfor ikke benyttet.

2.2 Datamaterialet

Enkeltverdier for temperatur, vannføring osv. registreres to ganger pr. time. Datamaterialet fra den automatiske målestasjonen er derfor meget stort. Det er derfor umulig å presentere samtlige enkeltverdier på en oversiktlig måte. En nærmere omtale og presentasjon av datamaterialet er gjort i de følgende kapitler.

På grunn av den vanskelige tilgjengeligheten på prøvestedene ble det i de første årene tatt ut forholdsvis få vannprøver for kjemiske analyser. Fra 1. juli 1997 er det tatt vannprøver for kjemisk analyse hver måned så sant været har tillatt det. Dette gjør at transportverdier og utviklingstrender fram til 1997 er mer usikre enn i de senere år. Manglende vannføringsverdier har også skapt problemer den videre databehandlingen.

På grunn av problemer med måleutstyr og tekniske installasjoner har det blitt en del ”huller” i datamaterialet. For å få best mulig informasjon om vannføring og forurensningstransport i drenevannet fra tippen ved Killingdal, har det vært nødvendig å bruke statistiske metoder for om mulig å fylle noen av disse hullene. Metodene som er brukt, vil bli nærmere omtalt i de følgende kapitlene.

15. juni 1994 kunne det konstateres at det ikke rant vann inn i gruva i drenevannledningen fra velten. Dette til tross for at det sto vann i noen av kummene på denne ledningen. Det ble antatt at dette skyldtes frost. 17. juni begynte det igjen å renne vann inn i gruva denne veien uten at noe tiltak ble iverksatt. Tilsvarende situasjoner er observert på ettervinteren i de etterfølgende år. Vinteren 1992/93 har antakelig forholdene også vært slik. Fordi Bjørgensjakten ble stengt av en ispropp, stanset ventilasjonen i gruva i desember 1992 og det var ikke mulig å foreta reparasjoner og vedlikehold, slik at utstyret var ute av drift frem til juli/august 1993.

Våren 1998 gikk det ordinære innløpet fra Kum 3 til gruva tett. I stedet rant vannet inn i gruva gjennom et nødoverløp som lå høyere enn overfallslemmen som er montert i kummen. Dette medførte at vannføringen ikke lengre kunne måles. Feilen ble rettet i august/september samme år.

Målesondene for temperatur i veltene ble montert sommeren 1993. Utstyret har stort sett virket tilfredsstillende, men til tider varierer avlesningene sterkt. Dette skyldes at det av og til står vann rundt sondene. I slike perioder er datamaterialet mindre egnet for beregninger. Måling av oksygen foregår manuelt, og det foreligger derfor slike data bare fra enkelte dager i sommerhalvåret.

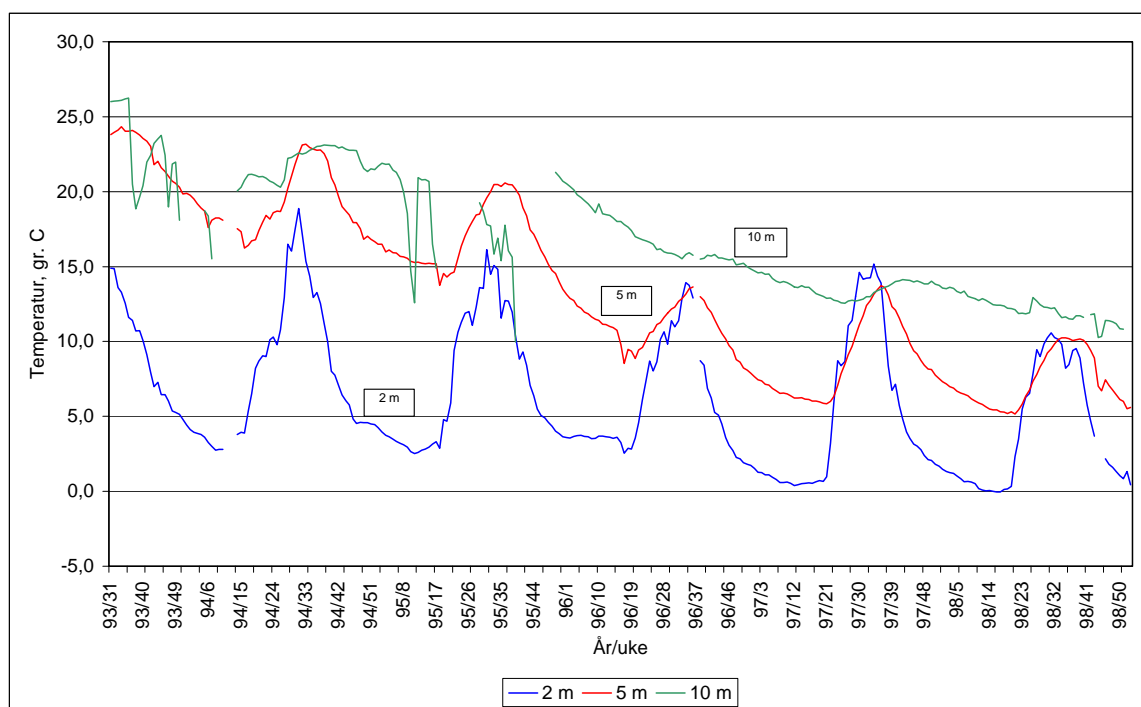
3. Temperatur og oksygen

3.1 Temperatur i velte

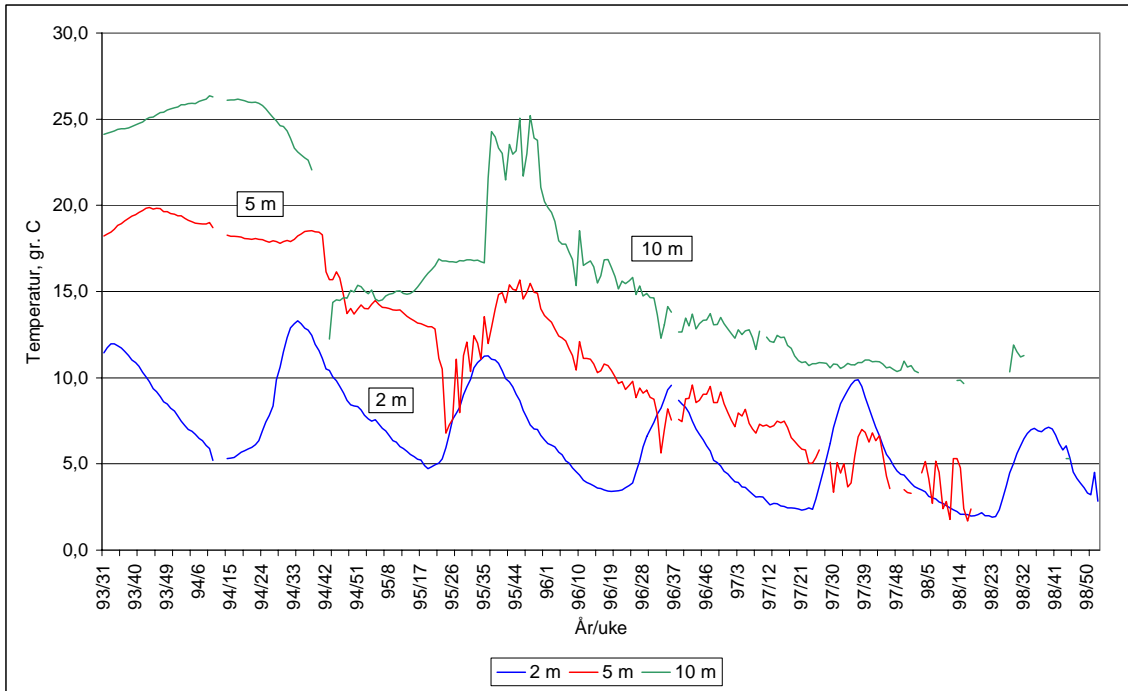
Oksidasjon av kismineraler frigjør en betydelig mengde varme, og under visse forutsetninger kan måling av temperatur i en gruvetipp gi informasjon om omfanget av de kjemiske reaksjonene som foregår, og i noen grad være et relativt mål på langtidsutviklingen. Høye temperaturer i velten indikerer høy oksidasjonsrate, og dermed stor produksjon av forurensningskomponenter.

Bortsett fra i perioder med driftsstans ved stasjonen er temperaturen i velten registrert kontinuerlig på tre nivåer i tre huller siden august 1993. Til tider er det registrert betydelig støy fra noen av temperatursondene. Det skyldes antakelig at de i særlig våte perioder står i vann. I utgangspunkt skulle de være vanntette, og dette skulle derfor ikke innvirke på målingene, men det har vært vanskelig å finne noen annen forklaring.

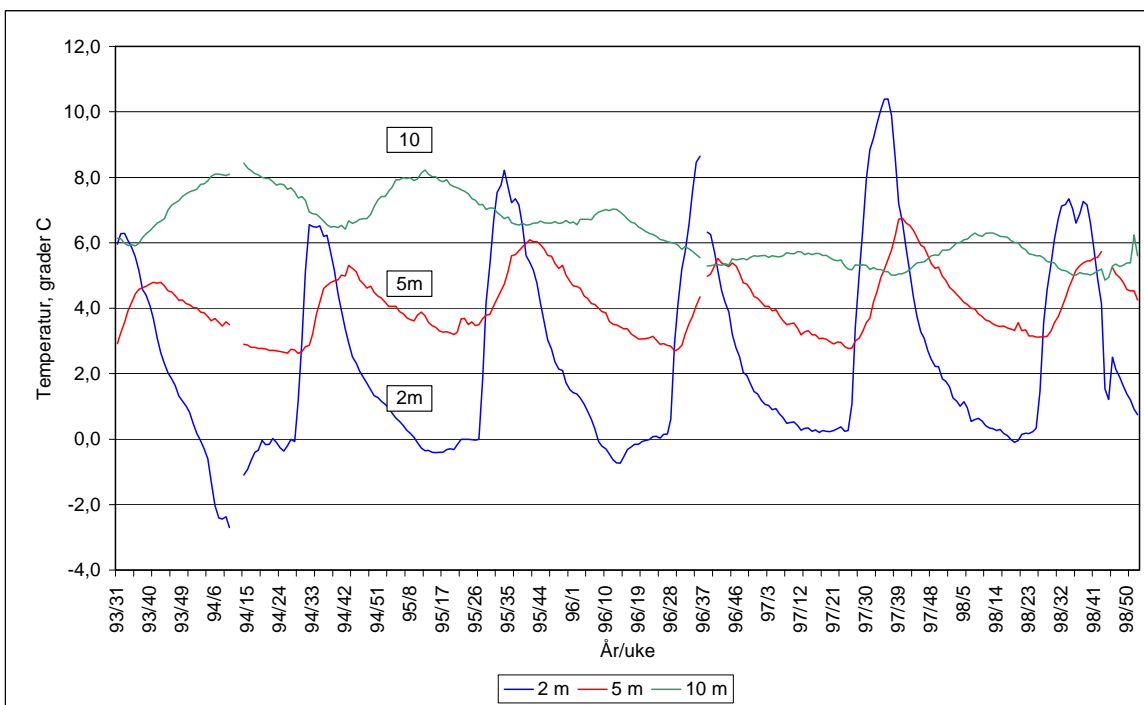
Resultatene av temperaturmålingene er fremstilt grafisk i **Figur 3** til **Figur 5**. For å redusere virkningen av tilfeldige feil og raske variasjoner er alle verdier angitt som ukemidler, og i grafene er tiden angitt med år og ukenr.



Figur 3. Kontinuerlig registrert temperatur på ulike nivåer i hull 1 i tippen ved Killingdal – øvre område.



Figur 4. Kontinuerlig registrert temperatur på ulike nivåer i hull 2 i tippet ved Killingdal – øvre område.



Figur 5. Kontinuerlig registrert temperatur på ulike nivåer i hull 3 i tippet ved Killingdal – øvre område.

På grunn av sesongvariasjoner og kortvarige svingninger både i utetemperatur og i tippet, er langtidstrendene ikke uten videre synlige. Ved hjelp av tidsserieanalyse kan slike variasjoner filtreres vekk, slik at langsiktige endringer kommer klarere fram. Dette er gjort ved hjelp av rutinene for tidsserieanalyser i dataprogrammet STATGRAPHICS Pluss for Windows. Resultatene er presentert som grafer i **Vedlegg A**.

Analysene viser følgende tendenser:

Hull 1 (Figur 3, Figur 15 og 16):

Temperaturen er konstant eller fallende fra 1993 til 1995. Da avtar den noe raskere fram til høsten 1996 der den blir tilnærmet uendret fram til årsskiftet 1997/98 hvorefter tendensen igjen er fallende. Temperaturen er fallende dersom hele perioden 1993 – 98 betraktes samlet. Mest utpreget er temperaturfallet i de to dypeste nivåene.

Hull 2 (Figur 4, Figur 17 - 19):

Det er en fallende tendens for hele perioden på alle dyp i hull 2, men også her er det perioder med varierende trender. I dyp 1 (5 m) faller temperaturen langsomt fram til sommeren 1995. Deretter synker den raskere til høsten 1996 da tendensen igjen flater ut fram til årsskiftet 1997/98 der temperaturen igjen synker raskere. I dyp 2 og 3 (10 og 15 m) er tendensen lite utpreget, men de samme tendensene som i de tidligere omtalte punktene gjør seg gjeldende.

Hull 3 (Figur 5, Figur 20 - 22):

De to øverste punktene (5 og 10 m) viser en gjennomgående svakt stigende trend. Stigningen er raskere fram til sommeren 1995 der stigningen avtar, og på dyp 2 (10 m) er det et fall fram til årsskiftet 1996/97. Temperaturen på dette nivået stiger så fram til 1998, hvorefter det igjen blir fallende tendens. På dyp 3 faller temperaturen fra 1993 til våren 1997, raskest fram til årsskiftet 1994/95. Fra våren 1997 til årsskiftet 97/98 stiger temperaturen igjen, for så å flate ut.

Trendanalysene tyder på at temperaturen har avtatt i alle punkter i tippet bortsett fra dyp 1 og 2 i hull 3, der det ser ut til å ha vært svak temperaturøkning (1 – 2 °C). En detaljert vurdering av hva temperaturendringene skyldes og hva de betyr krever betydelig innsats. Kort kan utviklingen sammenfattes slik:

Etter at tippet var arrondert i 1991 var tippet tilført oksygen, slik at oksidasjonen gikk relativt raskt. Overdekkingen førte til en begrensning i oksygentilførslen som ga redusert oksidasjon, mindre varmeutvikling og dermed redusert temperatur de fleste steder i tippet. Da sjakten ble lukket førte det til ytterligere reduksjon i oksygentilførslen og temperaturen sank raskere. I 1997 skjedde det et ras i dagstrossen som ga betydelig økning i oksygentilgangen med utflating eller stigning i temperaturkurvene. Etter at skadene etter raset var utbedret høsten 1997, ble oksygentilgangen igjen redusert, og temperaturen sank igjen.

Resultatene av temperaturmålingene bør sammenholdes med resultatene av oksygenmålingene.

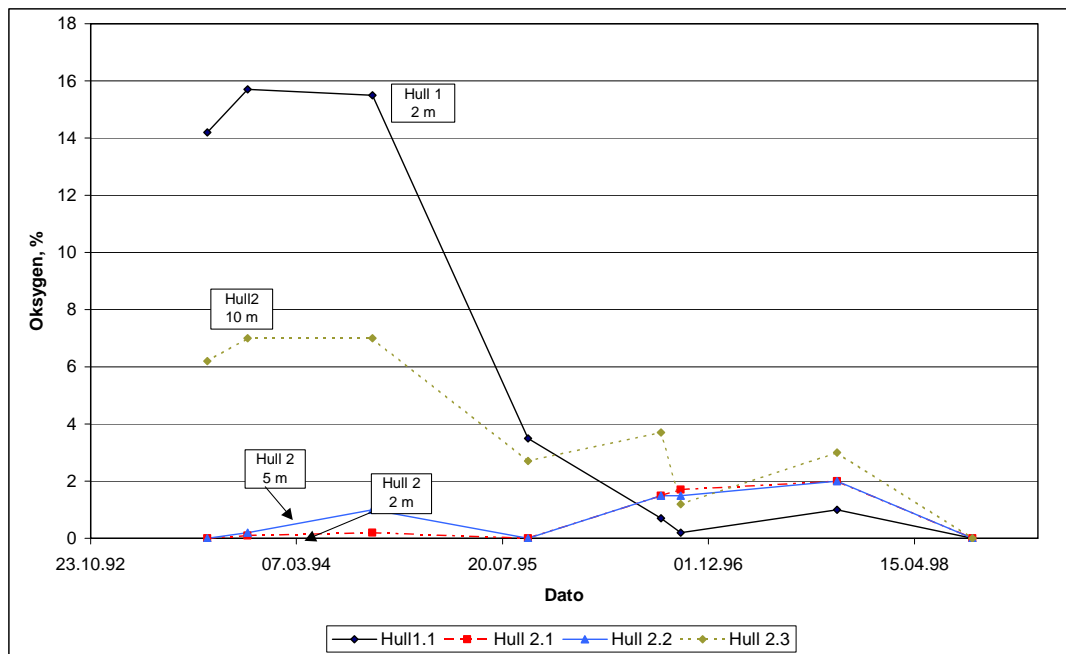
3.2 Oksygenmålinger

I de samme punktene i velten som temperatursondene er plassert, er også plassert slanger. Gjennom disse slangene kan luften inne i tippet pumpes ut for måling av oksygeninnhold. Dette gir i en viss grad et mål på tilgangen på oksygen. I **Tabell 1** finnes en oversikt over målingene som er utført. I **Figur 6** og **Figur 7** finnes de samme data grafisk framstilt.

Tabell 1. Resultater av oksygenmålinger i velten, Killingdal. Alle konsentrasjoner er angitt i % oksygen. Normalt innhold i luft er ca. 21 %.

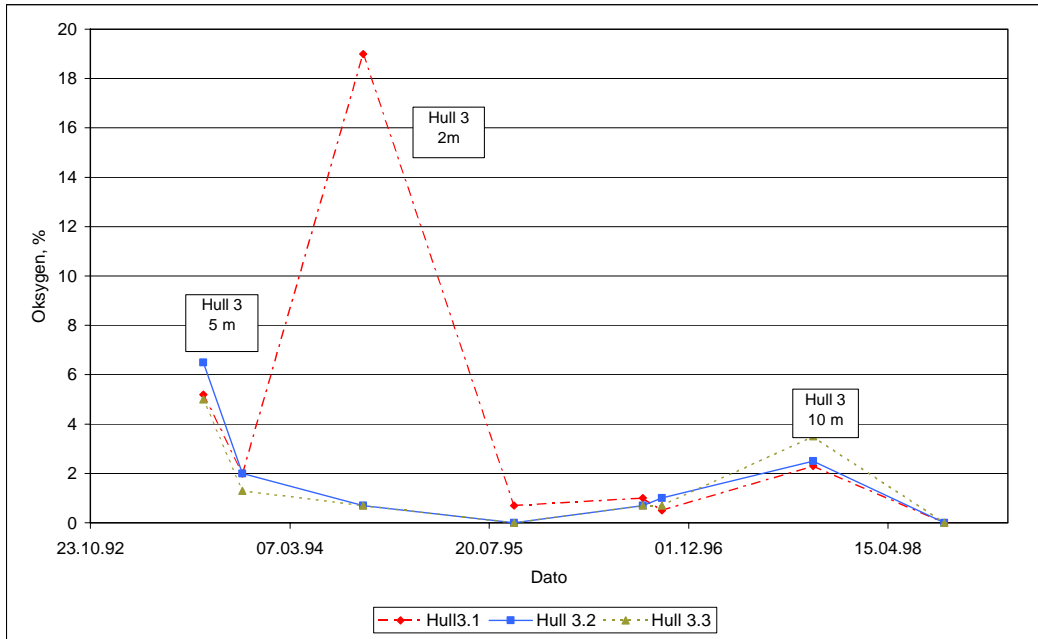
Dato	Hull 1	Hull 1	Hull 2	Hull 2	Hull 2	Hull 3	Hull 3	Hull 3
	2 m	5 m	2 m	5 m	10 m	2 m	5 m	10 m
02.08.93	14,2	Vann	0	0	6,2	5,2	6,5	5
08.11.93	15,7	Vann	0,1	0,2	7	2	2	1,3
07.09.94	15,5	Vann	0,2	1	7	19	0,7	0,7
20.09.95	3,5	Vann	0	0	2,7	0,7	0	0
08.08.96	0,7	Vann	1,5	1,5	3,7	1	0,7	0,7
25.09.96	0,2	Vann	1,7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

Oksygenmålingene viser stort sett samme tendenser i alle punktene. Fra starten i 1993 falt oksygenkonsentrasjonen stort sett, og var lav i alle punkter sommeren 1996. Sommeren 1997 viste målingene noe høyere verdier, mens det i 1998 ikke kunne påvises oksygen i noen av punktene.



Figur 6. Oksygenkonsentrasjon i velten målt i hullene 1 og 2.

Oksygenmålingene viser stort sett de samme tendenser som temperaturmålingene. Tetting av sjakten reduserte oksygentilførselen, mens raset i dagstrossen ga øket oksygentilførsel. Etter at skadene fra raset er utbedret ser det igjen ut til at oksygentilførselen er redusert.



Figur 7. Oksygenkonsentrasjoner i velten målt i hull 3.

4. Nedbør og vannføring

4.1 Generelt

Det opprinnelige hovedmålet for prosjektet var å anslå andelen av avrenningen som renner av på overflaten av velten i forhold til det som renner gjennom dekkjiktet og blir fanget opp i dreneringen rundt velten. I tillegg skulle den hydrologiske balansen i gruva vurderes ved å se på vannmengden som føres inn i forhold til det som transporteres ut med ventilasjonsluften. Disse problemstillingene er behandlet i rapporten fra 1997 (Arnesen). De videre undersøkelsene har ikke endret konklusjonene som ble presentert i denne rapporten.

Etter hvert som forholdene ved Killingdal er endret ved at ventilasjonen i gruva stoppet opp og dreneringen inn i gruva gradvis er gått tett, er spørsmål som gjelder endret forurensningstransport til Gaula blitt viktigere. I de senere år har derfor hovedmålet for undersøkelsene vært å samle data for beregning av forurensningstransporten inn i gruva. Avrenningen fra overflaten til Gruvbekken blir også registrert i det nåværende måleprogrammet, men dette er hittil rapportert separat.

På grunn av de klimatiske forholdene og den vanskelige tilgjengeligheten til stasjonen om vinteren er det blitt en del "huller" i datamaterialet. For å fylle dem best mulig er vannføringen beregnet på forskjellige måter. Blant annet ved å benytte nedbørhøydene som er målt ved Killingdal og ved den meteorologiske stasjonen i Haltdalen (DNMI 6770).

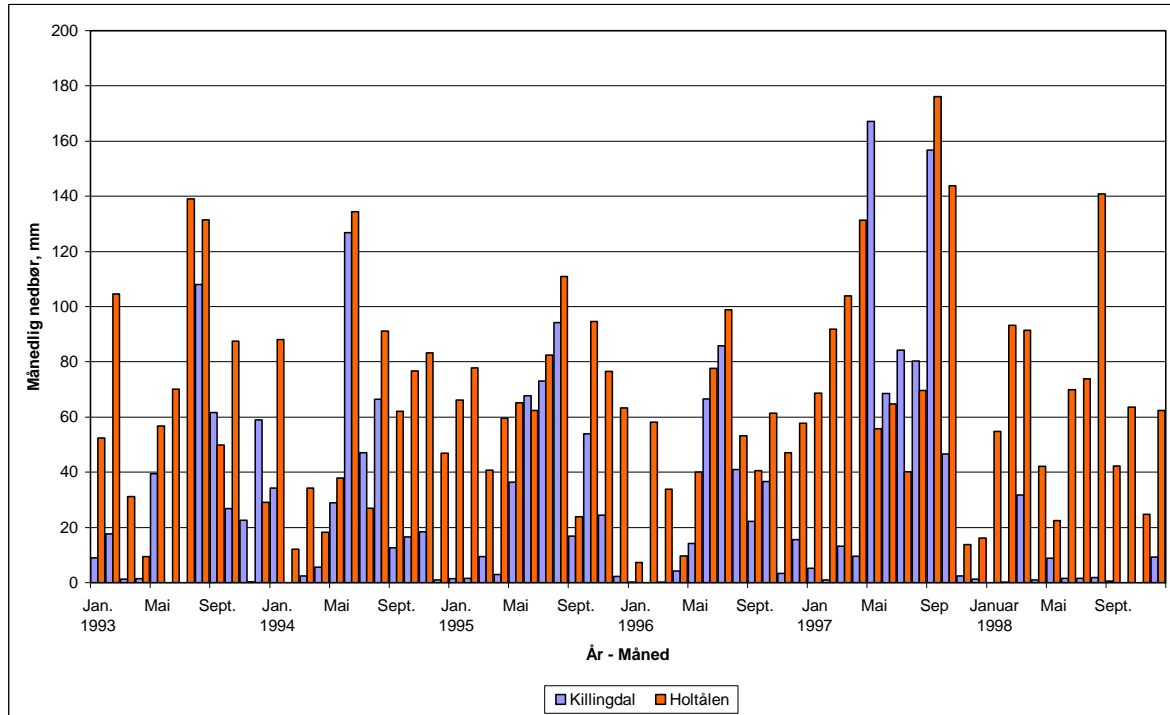
4.2 Nedbør

Vannføringen inn i gruva henger nært sammen med den nedbørmengden som faller innenfor dreneringsområdet for velten. Med de klimatiske forhold som hersker i det øvre området ved Killingdal

Tabell 2. Målte månedlige nedbørhøyder i mm ved Killingdal og i Haltdalen for årene 1993 – 98. H: Haltdalen, K: Killingdal. Ved beregning av årsmiddel er verdiene for Killingdal i 1998 ikke tatt med.

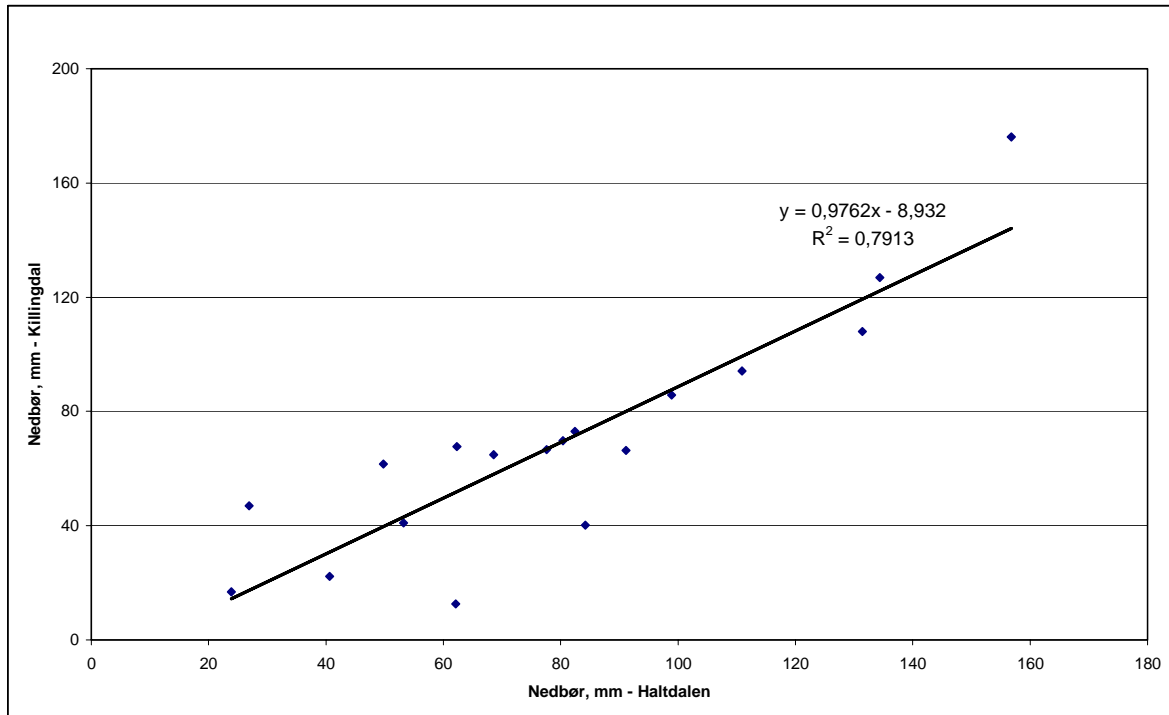
		Jan.	Feb.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.	År
1993	K	9	17,7	1,2	1,4	39,4			108	61,6	26,8	22,6	59	347
	H	52,4	104,6	31,2	9,4	56,8	70,1	139	131,4	49,8	87,5	0,3	29,1	762
1994	K	34,2	0	2,4	5,6	29	126,8	47	66,4	12,6	16,6	18,4	1	360
	H	88	12,1	34,3	18,3	37,9	134,4	26,9	91,1	62,1	76,7	83,3	46,9	712
1995	K	1,4	1,6	9,4	3	36,4	67,7	73	94,2	16,8	54	24,4	2,2	384
	H	66,2	77,8	40,8	59,6	65,1	62,3	82,4	110,9	23,9	94,6	76,5	63,3	823
1996	K	0,2	0	0,2	4,2	14,2	66,6	85,8	41	22,2	36,6	3,4	15,6	290
	H	7,3	58,2	33,9	9,7	40	77,6	98,9	53,2	40,6	61,4	47	57,7	586
1997	K	5,2	1	13,2	9,6	167,2	68,6	84,2	80,4	156,8	46,6	2,4	1,2	636
	H	68,7	91,9	104	131,3	55,7	64,8	40,2	69,7	176,1	143,8	13,8	16,2	976
1998	K	0	0,1	31,8	1	8,9	1,6	1,6	1,8	0,6			9,3	57
	H	54,8	93,2	91,4	42,2	22,5	70	73,9	140,9	42,3	63,6	24,7	62,4	782
Mid-del	K	10	4,1	5,3	4,8	57,2	65,9	58	78	54	36,1	14,2	15,8	403
Mid-del	H	56,2	73,0	55,9	45,1	46,3	79,9	76,9	99,5	65,8	87,9	40,9	45,9	773

gruve, er det meget vanskelig å måle nedbørhøyder nøyaktig. Vinden kan f.eks. i stor grad føre til at det ikke legger seg snø i nedbørmåleren og til dels på velten, uten at dette kan kvantifiseres. Det er derfor rimelig å vente for lave nedbørverdier om vinteren. For å vurdere påliteligheten av nedbørverdiene som er registrert på Killingdal, er de målte månedlige nedbørhøydene sammenliknet med tilsvarende verdier for Haltdalen. Verdiene finnes i **Tabell 2** og i **Figur 8** er de presentert grafisk.



Figur 8. Målte månedlige nedbørhøyder i mm ved Killingdal og i Haltdalen for årene 1993 – 98.

Det fremgår av **Tabell 2** og **Figur 8** at det til tider er stor forskjell mellom den målte nedbøren på de to stasjonene. Det må ventes på to steder med så ulikt klima, men det er systematiske forskjeller mellom situasjonen om sommeren og om vinteren. Verdiene fra Killingdal i vintermånedene er derfor ikke benyttet til beregning av vannføringer inn i gruva. I stedet er månedlige nedbørhøyder i slike perioder estimert ut fra nedbøren i Haltdalen. I **Figur 9** er nedbør i Haltdalen og ved Killingdal i aktuelle sommermåned fremstilt grafisk. Korrelasjonskoeffisienten ($R = 0,8896$, $n = 22$) viser at det er en signifikant sammenheng mellom nedbørhøydene på de to stedene. Ligningen i **Figur 9** er benyttet for å estimere nedbør ved Killingdal når de målte verdiene er åpenbart gale. Denne fremgangsmåten er selvfølgelig upålitelig. Det er sikkert stor lokal forskjell i nedbør mellom Haltdalen og Killingdal, men i store trekk er det likevel en sammenheng.



Figur 9. Grafisk framstilling av månedlige nedbørhøyder ved Killingdal og ved observasjonspunktet for Det Norske Meteorologiske Institutt i Haltdalen (6770). Beregningene er gjort med data fra sommermånedene juni – september i årene 1993 – 97.

4.3 Vannføring

Vannet som renner inn i Killingdal gruve kommer fra følgende ulike områder:

- Rundt tippen er det lagt et system av drengrofter som fører vannet til en Kum 3 der det er trukket rør ned i den tidligere vannstollen fra gruva (**Figur 2**).
- Den tidligere dagåpningen på toppen av gruva ble ved arronderingen fylt med stein og dekket med morene som resten av avfallet. Her drenerer vannet direkte inn i gruva. I rapporten er denne åpningen kalt "Dagstrosse".
- Gjennom sjakten i Bjørgåsen. Denne vannmengden er ikke vurdert i rapporten.
- Andre mindre åpninger der vann lekker inn i gruva. Dette vannet er i utgangspunkt lite forurenset og har liten innflytelse på forurensningssituasjonen.

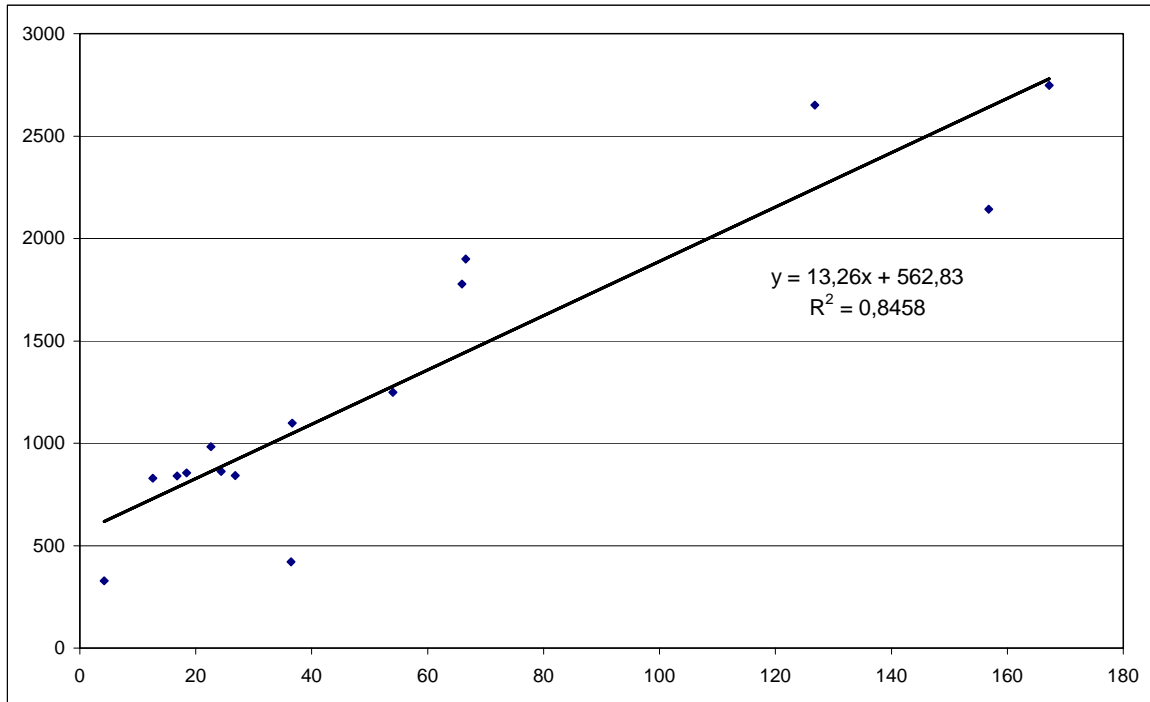
Vannmengden som renner til sjakten gjennom dagstrossen (øvre målepunkt) er nærmere omtalt i rapporten fra 1997. Etter at den rapporten ble avsluttet er det ikke registrert vannføring på dette punktet. Vannmengden som renner inn denne veien vil derfor kun bli beregnet forholdsmessig ut fra de verdiene som er registrert tidligere.

Vannføring er den viktigste parameter for beregning av forurensningstransport i en vannstrøm. Variasjonen i vannføringen er betydelig større enn i vannkvaliteten. Et begrenset antall enkeltprøver i

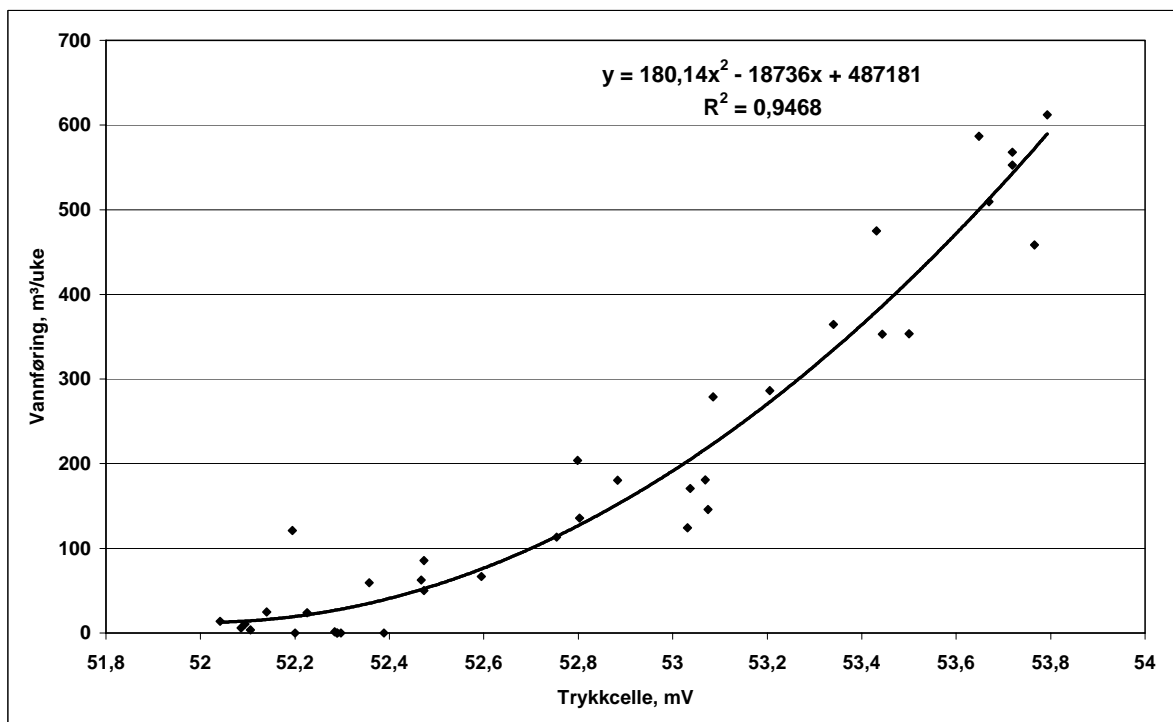
løpet av året vil gi et rimelig estimat av forurensningstransporten dersom verdiene for vannmengde er pålitelige. Kontinuerlige målinger er best, men der det var manglende verdier er disse estimert på ulike måter:

- Dersom data mangler i korte perioder (1 – 7 døgn) er verdiene beregnet ved interpolering.
- Fra januar 1993 til januar 1996 er vannføringene fra nedre målepunkt i gruva benyttet. Fra august /september 1996 til våren 1998 er målinger i V-overløpet i kum 3 benyttet.
- Ved lengre perioder med registreringssvikt er vannføringen beregnet ut fra nedbør ved Killingdal. Beregningen er utført med regresjonslikningen som finnes i **Figur 10**. Når det også mangler nedbørverdier for Killingdal er disse beregnet fra verdier fra Haltdalen som beskrevet ovenfor.
- I perioden fra september 1995 til august 1996 var det montert en trykkcelle i kum 3 fra måling av vannføring inn i gruva. Ved en feil ble vannføringen i V-overløpet ikke kalibrert for denne cellen. I den første del av denne perioden virket fortsatt måleutstyret i gruva (nedre målepunkt) og det var mulig å beregne en regresjon mellom mV-signalet fra trykkcellen og vannføringen ved nedre målepunkt i perioden september 1995 – februar 1996. Denne sammenhengen er vist i **Figur 11**. Vannføringene beregnet på denne måten er benyttet i noen måneder fra januar til juni 1996.
- Våren 1998 gikk avløpet fra kum tett, og V-overløpet ble oversvømmet. Denne feilen ble rettet i løpet av august/september samme år, slik at målingene i kummen igjen kunne brukes. Fra april til juli 1998 er vannføringen beregnet ut fra nedbør. Som tidligere nevnt virket ikke nedbørmåleren etter hensikten i 1998, og disse nedbørverdiene er anslått ut fra tilsvarende verdier i Haltdalen.

I perioder når måleutstyret ikke fungerte er vannføringen beregnet på grunnlag av nedbør. Dette er data med meget høy usikkerhet. De nedbørhøydene som er lagt til grunn for beregningene er i noen perioder dessuten målt i Haltdalen. Selv om det derfor må understrekes at bl.a. transportverdier som er beregnet på denne måten er svært usikre, gir de tross alt et bedre bilde av situasjonen enn om disse periodene skulle være helt uten data.



Figur 10. Grafisk fremstilling av månedlige vannføringer mot tilsvarende nedbørhøyder. Verdiene gjelder kun sommermånedene der nedbør faller som regn og hvor vannføringen er lite influert av snøsmelting.



Figur 11. Grafisk fremstilling av sammenhengen mellom ukentlige vannføringer og gjennomsnittlig vannhøyde målt i mV i kum 3.

I **Tabell 6 i Vedlegg B** er månedlige vannføringer inn i gruva listet sammen med nedbøren i tilsvarende måned. Metode for beregning av vannføringen i ulike perioder er også angitt i tabellen. Usikkerheten i målingene varierer med måleprinsipp og beregningsmetode. I **Tabell 3** er årlige vannføringer inn i gruva gjennom vannstollen listet.

Tabell 3. Årlige volum av drensvann som er ført inn i gruva fra tippene ved Killingdal (Kum 3). Nedbør m³/år er volum av nedbør, som faller på hele tippens areal (19999 m²) pr. år.

År	Vannføring m ³ /år	Nedbør mm	Nedbør m ³ /år	Kommentar
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, se tekst.
1997	10027	929	17652	Målt i kum
1998	12305	920	17475	Målt i kum
Middel	10667	692	13148	

Gjennom dagstrossen ble vannføringen i perioden 1993 – 95 anslått til ca. 1100 m³/år eller ca. 10% av den vannmengden som nå er registrert i kum 3. Det foreligger ikke grunnlag for å vurdere eventuelle endringer som er skjedd i denne vannmengde. I de videre vurderinger er vannføringene i **Tabell 3**, lagt til grunn. Transporten inn gjennom dagstrossen er ikke nærmere vurdert i denne rapporten, men den er antakelig uforandret i forhold til det som tidligere er registrert (Arnesen 1997).

5. Vannkvalitet

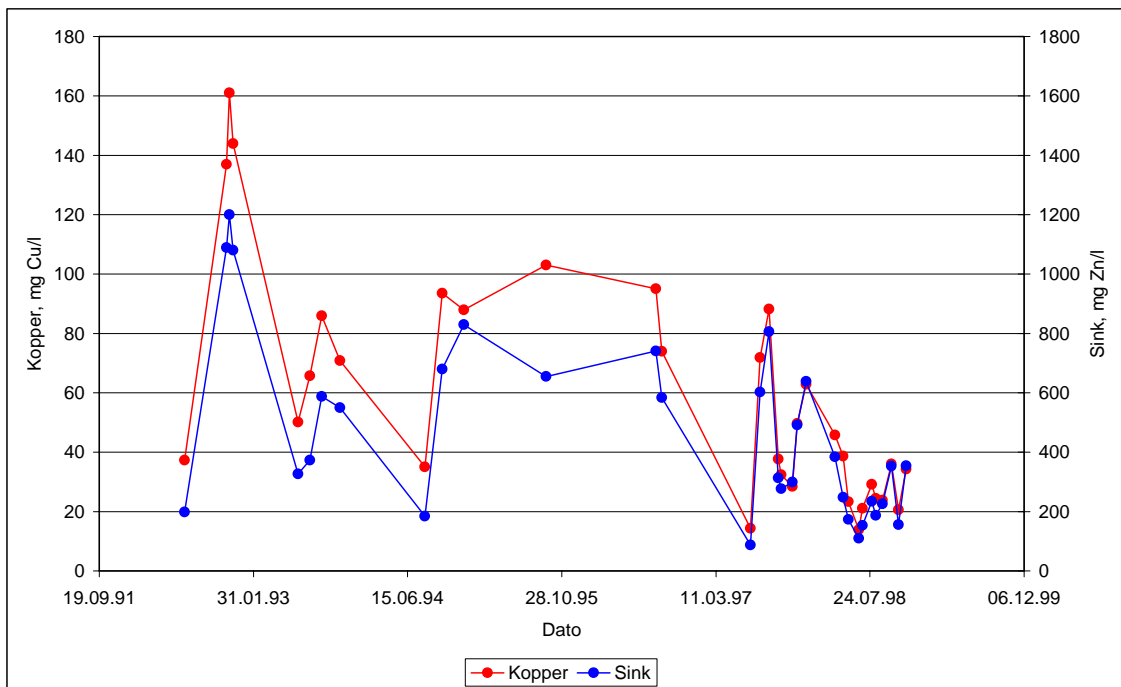
Værforhold og beliggenhet gjør det vanskelig å ta regelmessige vannprøver i Kum 3 om vinteren. Først sommeren 1997 kom et prøvetakingsprogram med månedlige prøver i gang. Middelveidene for årene 1992 – 97 er derfor betydelig mer usikre enn for 1998. I **Tabell 4** er listet middelveidier for analyseresultater for alle enkeltprøver som er tatt ved nedre prøvepunkt i sjakten til og med 1994 og i Kum 3. Analysedata for enkeltprøver er samlet i **Tabell 7** i **Vedlegg C**. Fram til august 1994 ble det også tatt blandprøver i sjakten. Analyseresultater for disse prøvene er ikke benyttet i de vurderinger som er gjort i denne rapporten, men de finnes i rapporten fra 1997.

Tabell 4. Årlige middelveidier for kjemiske analysedata for enkeltprøver av drensvann fra velte ved Killingdal. I årene 1992 – 94 ble prøvene tatt i sjakten (nedre prøvepunkt). Fra 1995 er prøvene tatt i kum 3. Middelveidene for 1992 – 97 er beregnet aritmetisk. For 1998 er verdien beregnet tidsveiet.

År	pH	Konduktivitet mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mg/l
1992	2,59	636	11071	2682	119,8	892	2,14
Antall	4	4	4	4	4,0	4	4,00
St. avv.	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. avv.	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. avv.	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. avv.	-	-	-	-	-	-	-
1996	2,51	796	8512	2601	84,5	663	1,33
Antall	2	2	2	2	2,0	2	2,00
St. avv.	-	-	-	-	-	-	-
1997	2,53	613	7044	1978	48,2	440	0,87
Antall	8	8	8	8	8,0	8	8,00
St. avv.	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	11,0	11	11,00
St. avv.	0,11	115	1614	582	9,4	92	0,20

Data for kopper og sink fra **Tabell 7** er fremstilt grafisk i **Figur 12**, som viser en klart avtakende tendens i konsentrasjonen av disse metallene i drensvannet fra tippen. Det samme må ventets når det gjelder vannet fra dagstrossen, men det er umulig å ta prøver av dette vannet på en rimelig måte nå. De reduserte konsentrasjonene henger sammen med den reduserte oksygentilgangen til avfallet i tippen. Dette gjelder antakelig også dagstrossen, men det var ras her i 1997, og kvaliteten på overdekkingen i dette området fremgår ikke uten videre av de målinger som er gjort av bl.a. oksygen og temperatur. Det er sannsynlig at en reduksjon i tilgangen på oksygen (luft) ved at sjakten ble lukket har hatt stor

effekt på forurensningsproduksjonen rundt dagstrossen. Den ligger i direkte kommunikasjon med sjakten, og når luft kommer inn i bunnen av en velte kan det lett oppstå en skorsteinsvirkning med stor utveksling av luft, dersom overdekkingen ikke er fullstendig tett. Det samme kan ha foregått ved raset i 1997. Forurensningsproduksjonen kan ha økt betydelig i en kort periode det året. Konsentrasjonene av kopper og sink ser ut til å være høye sommeren og høsten 1997 i forhold til verdiene i 1998, men bildet er ikke uten videre entydig.



Figur 12. Konsentrasjon av kopper og sink i prøver av drensvann fra tipp ved Killingdal.

6. Transport

6.1 Til Gruva

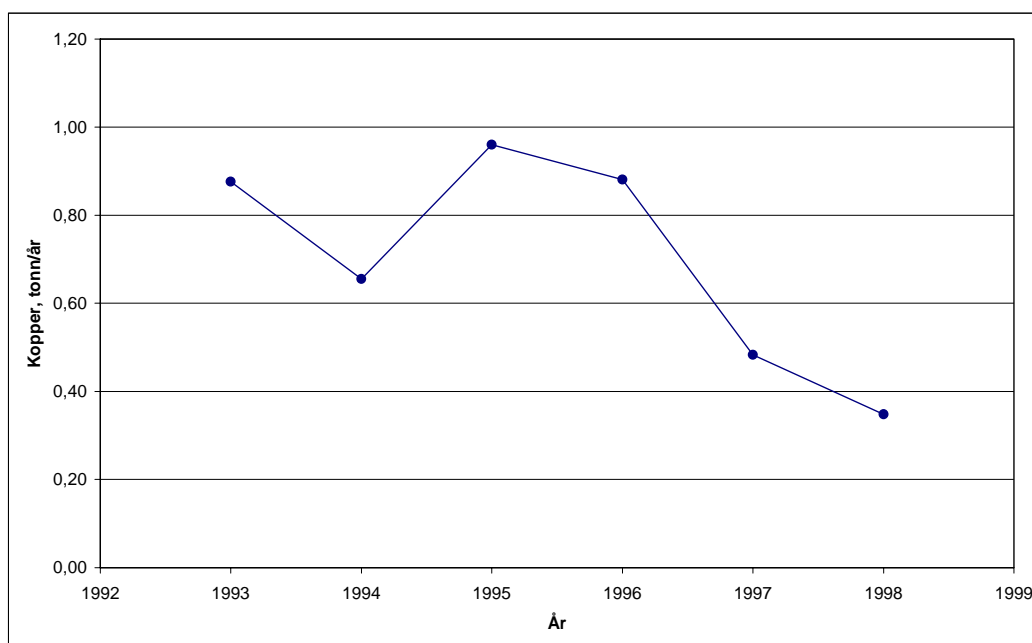
Ved beregning av transportverdiene i det følgende er transporten inn gjennom dagstrossen ikke medregnet. Det er antatt at den er omtrent uforandret eller har avtatt forholdsmessig som i kummen. Verdiene er allerede rapportert i forrige rapport (1997), der det ble vist at forurensningstransporten fra dagstrossen var omtrent like stor som i drensvannet, til tross for den betydelig lavere vannføringen. Vannet fra dagstrossen vil fortsatt gå inn i gruva, selv om drensvann fra tippene ikke lenger går inn i vannstollen.

Transport av forurensninger inn i sjakten fra Kum 3 er vist i **Tabell 5**. Verdiene er beregnet ved å multiplisere årlige middelveier for konsentrasjon (**Tabell 4**) med årlig avrenning fra tippene gjennom kummen (**Tabell 3**). Disse transporttallene har en viss usikkerhet, men det er god overensstemmelse fra år til år, selv om beregningene er gjort på til dels vesensforskjellige måter.

Tabell 5. Transport av forurensninger fra Kum 3 til Killingdal gruve. Verdiene er beregnet på ulikt grunnlag og kan ikke uten videre sammenliknes. (Se tekst)

År	Sulfat tonn/år	Jern tonn/år	Kopper 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

Verdiene for kopper og sink i **Tabell 5** er vist grafisk i **Figur 13** og **Figur 14**. Transportverdiene har hatt en klart avtakende tendens i de årene undersøkelsene har pågått, noe som ganske sikkert skyldes at oksygentilgangen til avfallet har avtatt. Det må ikke legges for stor vekt på variasjonene i den første tiden. I 1994 – 96 ble det årlig bare tatt 1 – 3 vannprøver.

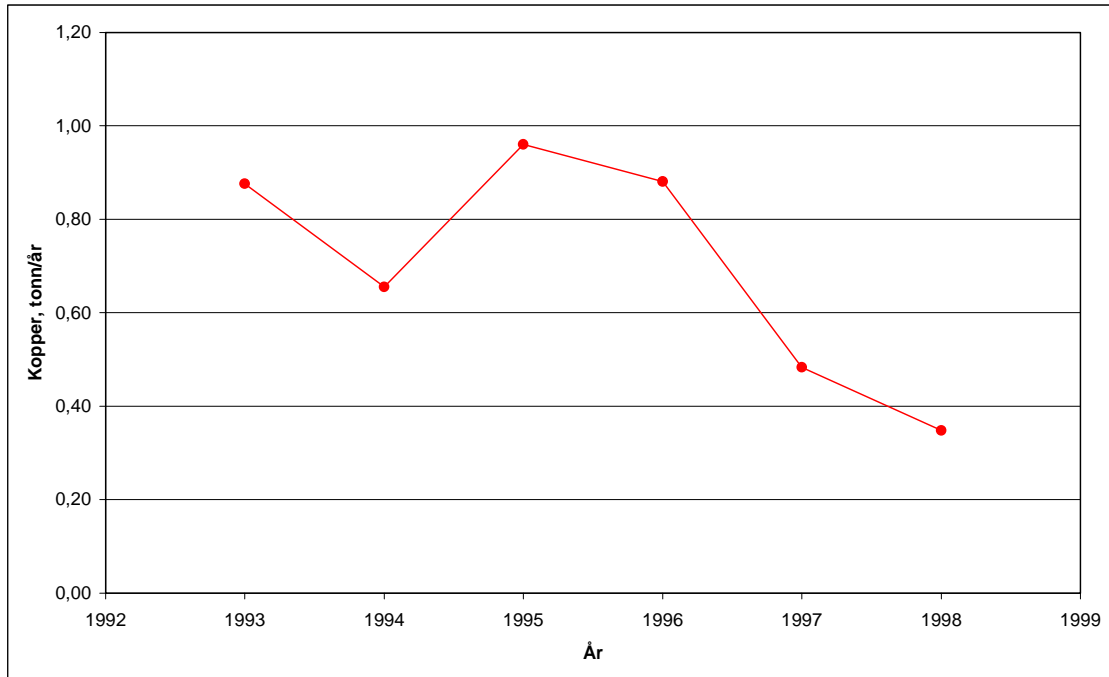


Figur 13. Transport av kopper inn i Killingdal gruve fra Kum 3. (Se tekst).

Hovedårsaken til at det ble gjennomført tiltak ved Killingdal gruve i 1991, var selvfølgelig for å bedre vannkvaliteten i Gaula. Gaula inngår i "Statlig program for forurensningsovervåking", og rapportene herifra (Traaen *et al.* 1999) viser at det har vært en betydelig forbedring av vannkvalitet og biologiske forhold etter at tiltakene ved Kjølvi og Killingdal ble gjennomført. Ved Reitan er transport av kopper og sink redusert fra henholdsvis 16 og 33 tonn pr. år i 1987 til 2,0 og 8,5 tonn pr. år i 1998.

Måleprogrammet som NIVA har gjennomført i Grubekken (Iversen 1999) viser at av transporten i Gaula ved Reitan kom nær 40 % av total koppermengde og ca. 78 % av sinkmengden gjennom Grubekken.

Middelkonsentrasjonen av kopper i Gaula ved Reitan i 1998 var 7,7 µg/l. Av dette var det antatt (Traaen et al. 1999) at 2,5 µg/l kom fra Killingdal via Grubekken.



Figur 14. Transport av sink inn i Killingdal gruve fra Kum 3. (Se tekst)

6.2 Til Gaula

I 1998 var den årlige vannføringen i Gaula $147 \cdot 10^6$ m³. Tilsvarende vannføring i Grubekken var 170914 m³.

Transport av kopper og sink i Grubekken fra Killingdal var i 1998 henholdsvis 0,78 og 6,6 tonn/år mens tilsvarende tall for Gaula var 2 tonn kopper og 8,5 tonn sink.

Som nevnt i forrige kapittel var middelkonsentrasjonen av kopper i Gaula ved Reitan 7,5 µg/l i 1998. Dette er en relativt høy konsentrasjon sett i forhold til elvas størrelse og nasjonale betydning. Av hensyn til de biologiske forhold er det ønskelig at konsentrasjonen av tungmetaller i elva fortsatt reduseres, og en økning vil være ugunstig.

Dersom vannet som renner inn i gruva fra Kum 3 i dag skulle ta veien ned i Grubekken ville dette bety en økning av koppertransporten i bekken og derved i Gaula på 0,35 tonn. I middel ville dette føre til en konsentrasjonsøkning på nær 1,5 µg/l eller ca. 17 %. Et tilsvarende regnestykke for sink ville gi en endring i konsentrasjonen fra 34 µg/l i 1998 til ca. 47 µg/l, en økning på ca. 35 %.

NIVAs rapporter om avrenningen i Gruvbekken og tilstanden i Gaula tyder ikke på at det var spesielt høye verdier for forurensningstransporten i 1998 eller at verdiene hadde gått opp i løpet av de foregående 7 – 8 år. Dersom det skulle skje endringer ved Killingdal som førte til at vannet som i dag renner inn i gruva skulle renne til Gaula, ville det neppe bli akutte skader i Gaula. På litt lengre sikt kunne det imidlertid føre til skader på de biologiske forhold i elva. Dersom det samtidig skulle bli skader på morenelaget som dekker tippen, slik at avfallet fikk en øket tilgang på oksygen, ville endringen i konsentrasjonene i Gaula bli betydelig større, og skadene tilsvarende mer alvorlige. Det er derfor av stor betydning at morenedekket holdes vedlike, og at det ikke oppstår fare for at vannet fra Kum 3 plutselig tar veien ned i Gruvbekken.

7. Konklusjoner

1. Gruvevann og dreinsvann fra velten ved Killingdal gruve var i mange år en betydelig kilde til tungmetallforurensning i den øvre del av Gaula. I 1991 ble det gjennomført tiltak mot disse forurensningene. Tippen ved gruveåpningen i det øvre området ble arrondert og dekket med morene. Dreinsvannet fra tippen ble ført inn i gruva i gjennom vannstollen som tidligere førte gruvevannet til Guvbekken. Samtidig ble vannstollen lukket. Sammen med de tiltak som ble gjennomført ved Kjøli gruve omtrent på samme tid, førte dette til en betydelig forbedring av forholdene i Gaula.
2. På oppdrag fra Bergvesenet har NIVA siden 1992 gjennomført undersøkelser av dreinsvann fra tippen. Fram til 1994 var hovedmålet med undersøkelsene å vurdere den vannmengden som ble ført ned i gruva. Fra 1995 har hovedmålet vært å vurdere forurensningsmengden som transporteres inn i gruva. Samtidig har NIVA observert endringer i området som kan være relevante for forurensningssituasjonen. Dette siste har ikke vært et uttrykt mål for arbeidet.
3. Undersøkelsene av den hydrologiske balanse og vannmengden som netto føres inn i gruva ble rapportert i 1997 (Arnesen). Arbeidet som rapporteres i den foreliggende rapport har ikke endret den tidligere konklusjonen. Praktisk talt all nedbør som faller på overflaten av tippen går gjennom dekkjiktet og blir ført inn i gruva gjennom den tidligere vannstollen. I løpet av undersøkelsesperioden er rør som fører dreinsvann blitt tettet av utfellinger. Hittil har dette ikke endret situasjonen, men det er en fare for at dreinsystemet går tett og at forurenset vann tar veien ut av tippen.
4. Transport av kopper og sink fra velten er i dag betydelig mindre enn det som tidligere drenerte fra dette området til Gaula. Forurensningsmengden som føres inn i gruva har gått ned i de senere år og var i 1998 350 kg kopper og 2,9 tonn sink .
5. Målinger i tippen viser en klar sammenheng mellom oksygentilgang og temperaturutvikling. Ved redusert oksygentilgang var det en raskere nedgang i temperaturen enn i perioder med større tilgang på oksygen. Tetting av sjakten, ras i dagstrosse og utbedring av skaden ga klare endringer i temperaturutviklingen. Dette viser at det er av avgjørende betydning for forurensningstransporten fra velten at oksygentilgangen hindres effektivt.
6. Det har vært en viss erosjon i morenedekket i undersøkelsesperioden. Dersom det skulle bli en opphoping av vann på innsiden av dette dekket kan denne erosjonen øke betydelig. En slik utvikling kan gi en sterk økning av forurensningstransporten til Gaula. Dersom vannet som i dag føres inn i gruva av en eller annen grunn skulle ta veien til Gaula, ville kopper og sinkkonsentrasjonene øke med henholdsvis 17 og 35 % til ca 9 µg kopper pr. liter og 47 µg sink pr. liter.
Ved en skade på dekkjiktet på tippen ville økningen bli betydelig større.

8. Referanser

Arnesen, R.T., Grande, M. og Tjomsland, T. 1997
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

Iversen, E.R. 1999
Killingdal gruve. Avrenning til Gaula
Resultater 1994 –98
NIVA-notat.

Iversen, E.R. 1998
KILLINGDAL GRUVE, Avrenning fra Bjørgåsen
NIVA-rapport O-95169, L.nr.: 3862-98

Myran, T. 1988
Killingdal Gruver. Naturlig ventilasjon og transport av vann ut av gruva.
SINTEF-rapport STF 36 F 88034, 4 sider + 4 figurer.

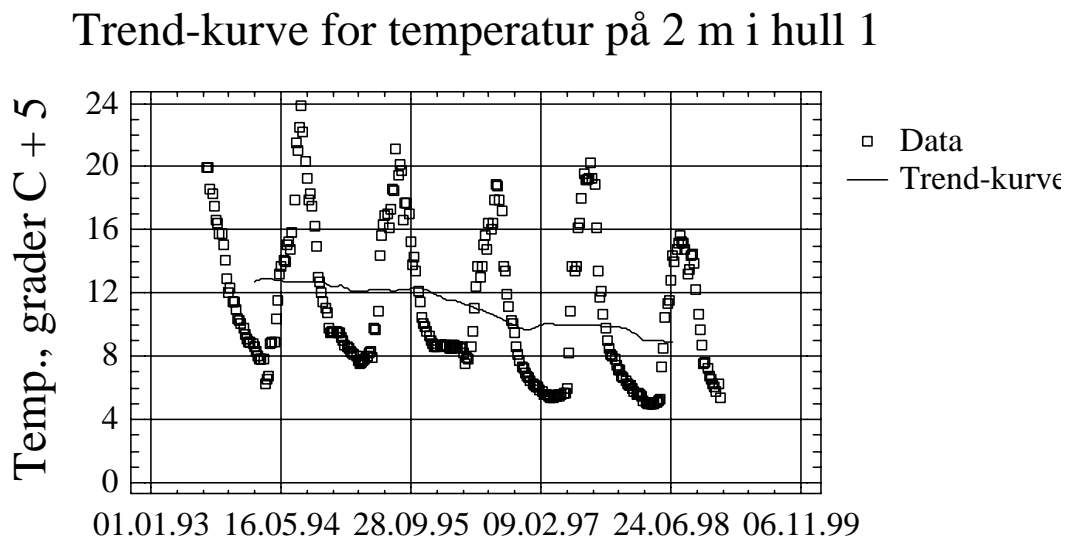
Traaen, T.S., Arnkleiv, J.V. og Lindstrøm, E.A. 1999
Overvåking av Gaula, Sør-Trøndelag.
Vannkjemiske og hydrobiologiske undersøkelser.
Årsrapport for 1998. (Overvåkingsrapport nr. 774/99. TA-nr. 1666/1999)
NIVA-rapport: O-90051, L.nr.: 4088-99

Vedlegg A

Beregnete tidstrender for temperaturmålingene

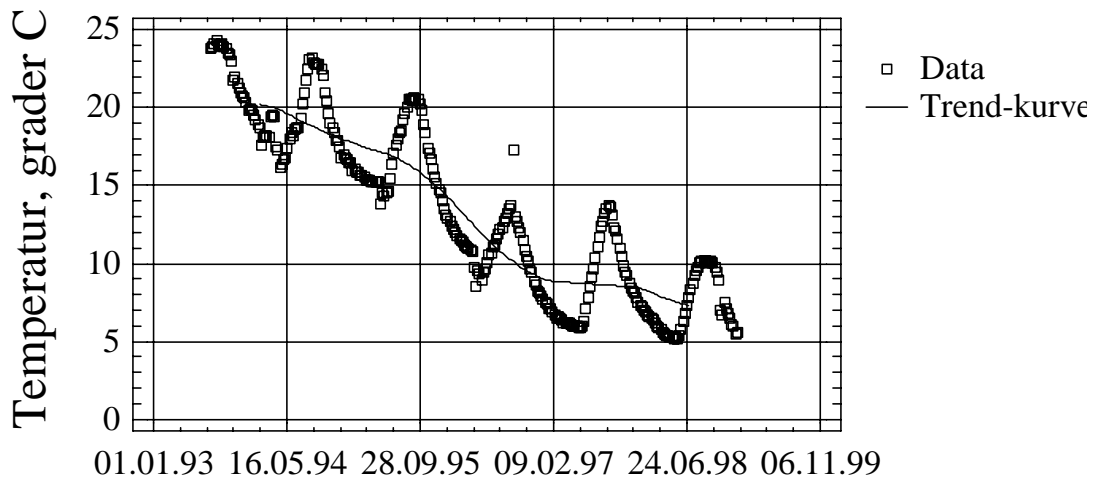
I de følgende figurene (**Figur 15 - Figur 22**) er det vist trend-kurver for temperaturdata fra hullene i velten ved Killingdal. Datamaterialet fra hvert dyp i de tre hullene er behandlet ved tidsserieanalyse, slik at sesongvariasjonene filtreres vekk og de langsiktige fluktuasjonene blir mer synlige. Tidsserieanalysene er utført ved hjelp av PC-programmet STATGRAPHICS Pluss. Programmet kan ikke bearbeide dataserier som inneholder verdier som ikke er større enn null. I enkelte dyp i velten er denne forutsetningen ikke oppfylt, og for å få frem en trend-kurve, er alle verdier gitt et fast tillegg.

Langtidstrenden for temperaturen i hullene i velten er selvfølgelig avhengig av hvordan temperaturen på overflaten utvikler seg over tid. En tilsvarende tidsserieanalyse av utetemperaturen ved Killingdal har ikke vist noen utpreget variasjon i løpet av de årene undersøkelsen har vart.



Figur 15 Trend-kurve for temperaturen på 2 m dyp i hull 1 i velten ved Killingdal. Programmet STATGRAPHICS Pluss kan ikke behandle data som ikke er større enn null. Alle verdiene er derfor gitt et tillegg på 5 grader.

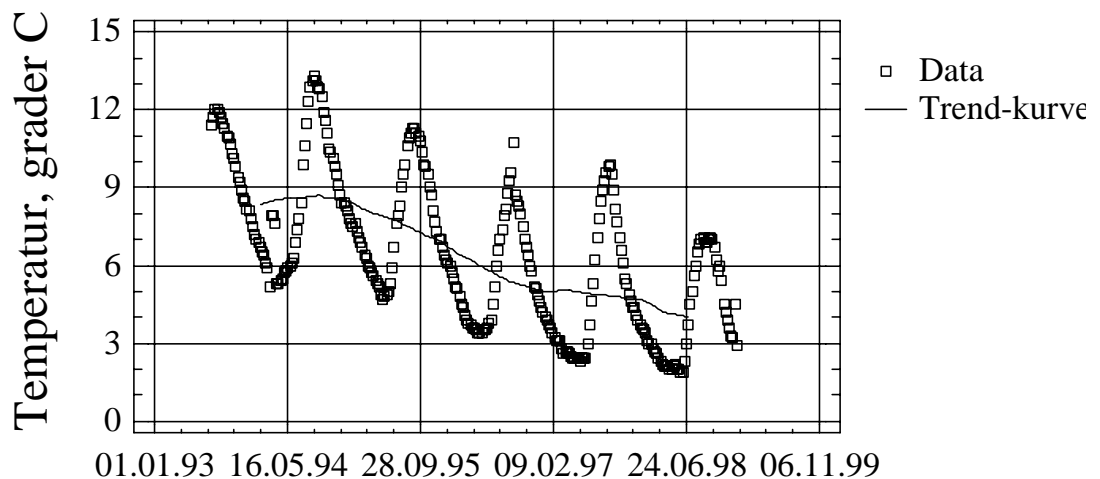
Trend-kurve for temperatur på 5 m i hull 1.



Figur 16 Trend-kurve for temperaturen på 5 m dyp i hull 1 i velten ved Killingdal.

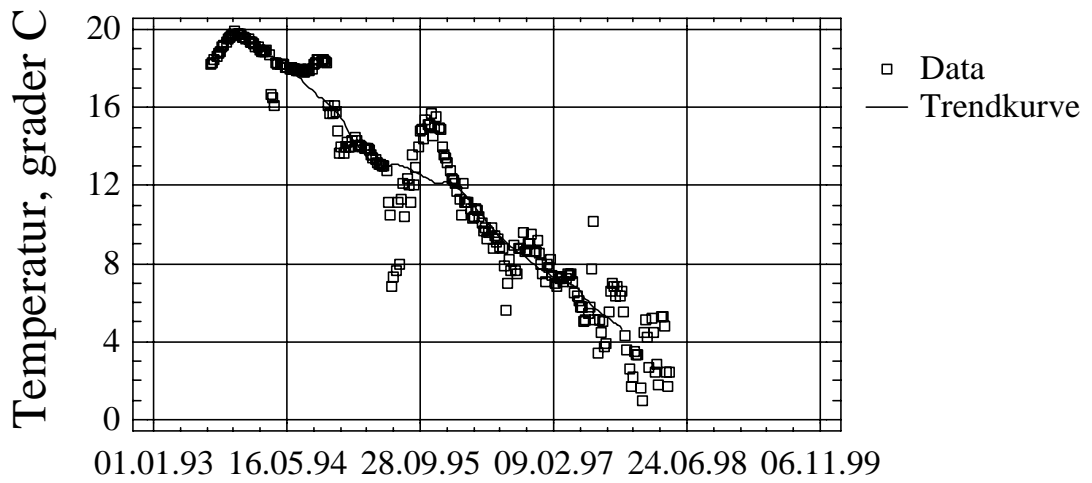
De temperaturmålingene som er gjort på 10 m dyp i hull 1 på velten ved Killingdal mangler så mange verdier at STATGRAPHICS Pluss ikke kan utføre denne type tidsserieanalyse.

Trend-kurve for temperatur på 2 m i hull 2.



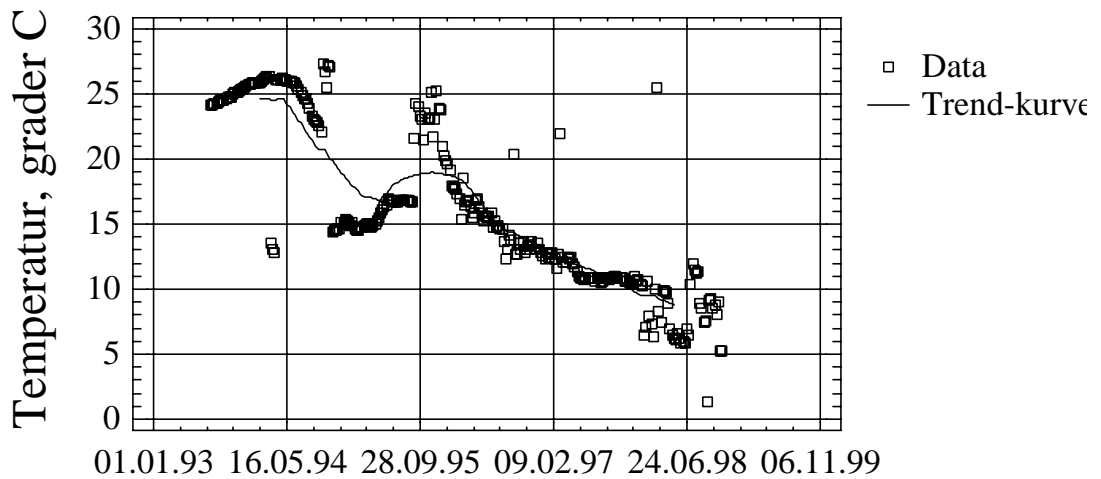
Figur 17 Trend-kurve for temperaturen på 2 m dyp i hull 2 i velten ved Killingdal.

Trend-kurve for temperatur på 5 m i hull 2.



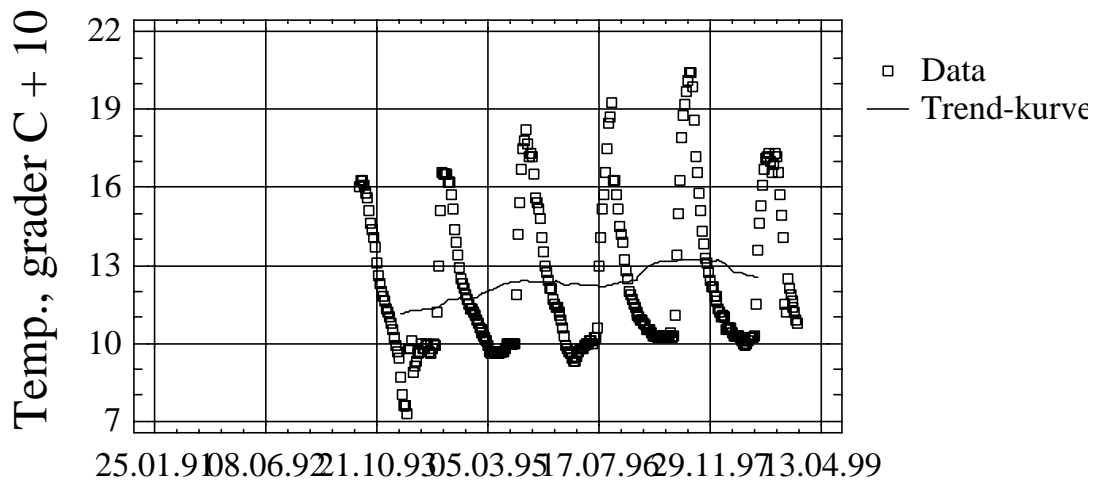
Figur 18 Trend-kurve for temperaturen på 5 m dyp i hull 2 i velten ved Killingdal.

Trend-kurve for temperatur på 10 m i hull 2.



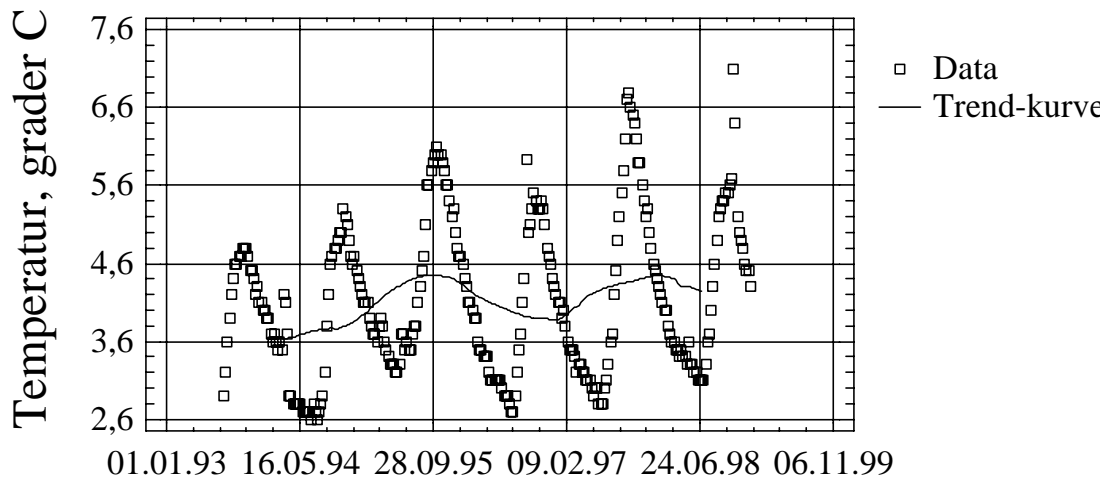
Figur 19 Trend-kurve for temperaturen på 10 m dyp i hull 2 i velten ved Killingdal.

Trend-kurve for temperatur på 2 m i hull 3.



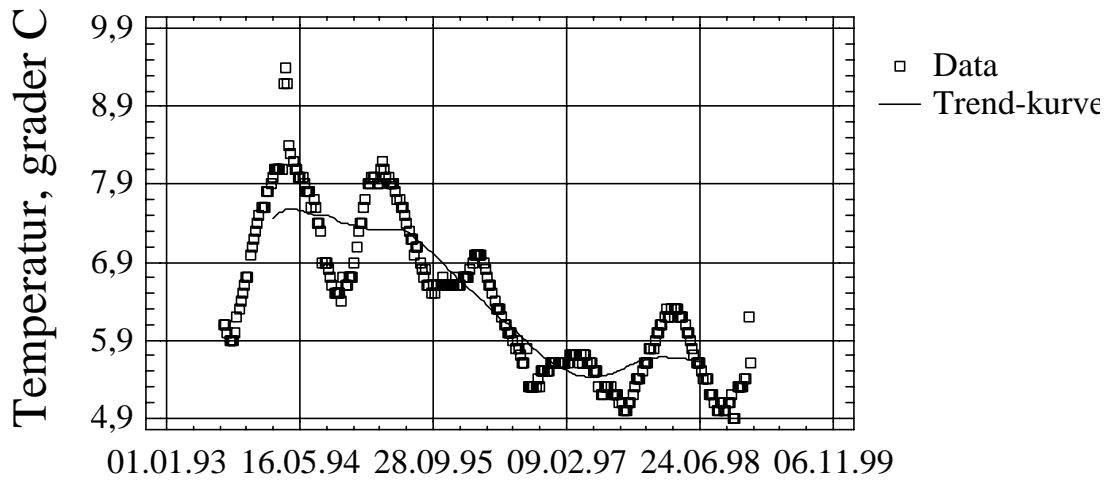
Figur 20 Trend-kurve for temperaturen på 2 m dyp i hull 1 i velten ved Killingdal. Programmet STATGRAPHICS Pluss kan ikke behandle data som ikke er større enn null. Alle verdiene er derfor gitt et tillegg på 10 grader.

Trend-kurve for temperatur på 5 m i hull 3.



Figur 21 Trend-kurve for temperaturen på 5 m dyp i hull 3 i velten ved Killingdal.

Trend-kurve for temperatur på 10 m i hull 3.



Figur 22 Trend-kurve for temperaturen på 10 m dyp i hull 3 i velten ved Killingdal.

Vedlegg B

Tabell 6. Månedlige vannføringer inn i Killingdal gruve fra drensledning rundt tipp og månedlige nedbørhøyder fra Killingdal og Haltdalen. Vannføringene er målt i sjakt (Sjakt), målt i kum 3 (Kum 3) beregnet fra nedbør (Ber. nedb.), eller beregnet fra mV signal fra trykkcelle i Kum 3 (mV).

År	Måned	Vannføring m ³ /mnd	Nedbør		Kommentar
			Haltdalen mm/mnd.	Killingdal mm/mnd.	
1992	November		53,5	43,3	Sjakt
	Desember		49,8	39,7	Sjakt
1993	Januar		52,4	42,2	Sjakt
	Februar		104,6	93,2	Sjakt
	Mars		31,2	21,5	Sjakt
	April		9,4	1,4	Sjakt
	Mai		56,8	46,5	Sjakt
	Juni	5203	70,1	56,9	Ber. nedb.
	Juli	2166	139	117,9	Ber. nedb.
	August	2032	131,4	108	Ber. nedb.
	September	1401	49,8	61,6	Ber. nedb.
	Oktober	927	87,5	26,8	Ber. nedb.
	November	984	0,3	22,6	Sjakt
	Desember	97	29,1	59	Sjakt
1994	Januar		88	77,0	Sjakt
	Februar		12,1	2,9	Sjakt
	Mars		34,3	24,5	Sjakt
	April		18,3	8,9	Sjakt
	Mai		37,9	29	Sjakt
	Juni	2651	134,4	126,8	Sjakt
	Juli	1206	26,9	47	Sjakt
	August	1466	91,1	66,4	Ber. nedb.
	September	888	62,1	12,6	Sjakt
	Oktober	1777	76,7	16,6	Sjakt
	November	856	83,3	72,4	Sjakt
	Desember	230	46,9	36,9	Sjakt
1995	Januar	29	66,2	55,7	Sjakt
	Februar	6	77,8	67,0	Sjakt
	Mars	0,1	40,8	30,9	Sjakt
	April	3,7	59,6	49,2	Sjakt
	Mai	395	65,1	54,6	Sjakt
	Juni	2217	62,3	67,7	Sjakt
	Juli	1535	82,4	73	Ber. nedb.
	August	1914	110,9	94,2	Ber. nedb.
	September	841	23,9	16,8	Sjakt
	Oktober	1249	94,6	54	Sjakt
	November	862	76,5	65,7	Sjakt
	Desember	272	63,3	52,9	Sjakt

Tabell 6. (Forts) Månedlige vannføringer inn i Killingdal gruve fra drensledning rundt tipp og månedlige nedbørhøyder fra Killingdal og Haltdalen. Vannføringene er målt i sjakt (Sjakt), målt i Kum 3 (Kum 3), beregnet fra nedbør (Ber. nedb.), eller beregnet fra mV signal fra trykkcelle i Kum 3 (mV).

År	Måned	Vannføring m ³ /mnd	Nedbør		Kommentar
			Haltdalen mm/mnd.	Killingdal mm/mnd.	
1996	Januar	106	7,3	0	Kum 3, mV
	Februar	135	58,2	47,9	Kum 3, mV
	Mars	164	33,9	24,2	Kum 3, mV
	April	328	9,7	4,2	Kum 3, mV
	Mai	1246	40	30,1	Kum 3, mV
	Juni	1900	77,6	66,6	Kum 3, mV
	Juli	2770	98,9	85,8	Ber. nedb.
	August	1833	53,2	41	Ber. nedb.
	September	865	40,6	22,2	Ber. nedb.
	Oktober	1135	61,4	36,6	Kum 3.
	November	1065	47	36,9	Ber. nedb
	Desember	635	57,7	47,4	Kum 3
1997	Januar	226	68,7	58,1	Kum 3
	Februar	155	91,9	80,8	Kum 3
	Mars	120	104	92,6	Kum 3
	April	100	131,3	119,2	Kum 3
	Mai	2749	55,7	45,4	Kum 3
	Juni	1496	64,8	68,6	Kum 3
	Juli	994	40,2	84,2	Kum 3
	August	150	69,7	80,4	Kum 3
	September	2142	176,1	156,8	Kum 3
	Oktober	1895	143,8	131,4	Kum 3
	November		13,8	4,5	
	Desember		16,2	6,9	
1998	Januar		54,8	44,6	
	Februar		93,2	82,1	
	Mars		91,4	80,3	
	April		42,2	32,3	Avløp tett
	Mai		22,5	13,0	Avløp tett
	Juni	4956	70	323,0	Avløp tett Ber. nedb.
	Juli	1422	73,9	63,2	Avløp tett Ber. nedb.
	August	762	140,9	128,6	Avl. åpnet, Kum 3
	September	609	42,3	32,4	Kum 3
	Oktober	1209	63,6	53,2	Kum 3
	November	1449	24,7	15,2	Kum 3
	Desember	1898	62,4	52,0	Kum 3

Vedlegg C

Tabell 7. Enkeltresultater for analyse av prøver tatt i sjakt og i Kum 3 ved Killingdal gruve.

Dato	pH	Konduk- tivitet mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mg/l
22.06.92	2,78	297	2605	558	37,3	198	0,56
05.11.92	2,59	717	12190	2300	137	1089	2,3
14.11.92	2,52	785	15330	4180	161	1200	3,05
26.11.92	2,46	743	14160	3690	144	1080	2,63
25.06.93	2,57	396	3743	774	50,2	327	0,87
02.08.93	2,68	469	5150	1270	65,8	373	0,98
10.09.93	2,70	560	8054	2480	86	587	1,47
08.11.93	2,78	552	7275	2150	70,8	550	1,35
10.08.94	2,58	293	2488	418	35,1	184	0,46
06.10.94	2,73	719	9281	2480	93,6	680	1,63
15.12.94	2,67	668	8560	2306	88	829	1,49
07.09.95	2,63	661	9650	3068	103	655	1,69
29.08.96	2,46	852	9281	2944	95	741	1,48
17.09.96	2,55	740	7743	2258	74	584	1,17
01.07.97	2,64	231	1512	411	14,3	87,5	0,15
01.08.97	2,15	723	8796	2315	71,8	603	0,95
30.08.97	2,51	860	11796	2920	88,2	806	1,48
29.09.97	2,56	553	5778	1710	37,7	313	0,74
09.10.97	2,67	491	5120	1510	32,4	277	0,65
14.11.97	2,53	509	5419	1650	28,4	300	0,57
30.11.97	2,57	650	8174	2440	49,7	491	1,15
29.12.97	2,59	889	9760	2870	62,9	639	1,29
01.04.98	2,73	544	5479	1480	45,8	384	0,87
28.04.98	2,52	365	2955	695	38,7	248	0,6
15.05.98	2,52	344	2662	494	23,3	174	0,45
17.06.98	2,81	293	2404	707	13,9	110	0,3
30.06.98	2,48	358	3024	904	21,1	153	0,38
30.07.98	2,54	489	4401	1220	29,2	235	0,58
12.08.98	2,74	419	3952	1220	24,5	187	0,51
03.09.98	2,68	504	4760	1550	23,8	226	0,5
01.10.98	2,60	603	6916	2180	36	353	0,82
24.10.98	2,56	363	3174	867	20,6	156	0,38
19.11.98	2,56	638	6856	2220	34,3	354	0,82