



RAPPORT 4943-2005

Killingdal gruve, Holtålen kommune

Avrenning fra velte i perioden
2000-2004



Foto: Eigil Rune Iversen

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
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

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

Tittel Killingdal gruve, Holtålen kommune Avrenning fra velte i perioden 2000-2004	Løpenr. (for bestilling) 4943-2005	Dato 10.01.2005
	Prosjektnr. Undemr. O-23351	Sider 25
Forfatter(e) Iversen, Eigil Rune	Fagområde Miljøgifter	
	Geografisk område Sør-Trøndelag	Trykket NIVA 2005

Oppdragsgiver(e) Bergvesenet	Oppdragsreferanse Best.nr. 17/03 BV utg. 0804/03 HE/BK Sak.nr. FK/03
---------------------------------	--

Sammendrag

Avrenning fra gruveavfall ved det eldste anlegget til Killingdal gruve under Gaulåsen har i lang tid hatt stor betydning for forurensningssituasjonen i øvre Gaula. Etter de siste tiltak som ble gjennomført i 2000, synes situasjonen ved utgangen av 2004 å ha stabilisert seg. Det overdekkede deponiet er fortsatt noe utsatt for utvasking. Lekkasje av tungmetaller fra deponiet vil derfor variere en del avhengig av nedbør og klima. Det anbefales derfor en rutinemessig oppfølging av deponiet en tid framover.

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

Eigil Rune Iversen
Eigil Rune Iversen

Prosjektleder

Helge Liltved
Helge Liltved

Forskningsleder

Nils Roar Sæthun
Nils Roar Sæthun

Forskningsdirektør

O-23351

Killingdal gruve, Holtålen kommune

Avrenning fra velte i perioden 2000-2004

Forord

Killingdal gruve har i mange år bidratt med store tungmetalltilførsler til Gaulavassdraget. Etter at tiltakene ble gjennomført i 1991 og i 2000 har en oppnådd betydelige reduksjoner i tungmetallavrenningen fra gruveavfallet i dagen. Det at området ligger så utsatt til i høyfjellet og med et tøft klima har vært en stor utfordring under feltarbeidet. Prosjektene som har vært gjennomført i perioden 1992-2004 har gitt oss mange erfaringer mht utvikling av egnet overvåkingsteknikk.

Vi vil derfor takke Bergvesenet for samarbeidet i disse årene. Vi vil også takke våre to lokale observatører i denne tiden, John K. Bjørgård og Hans K. Grønli, for all assistanse under drift av måleutstyr og hjelp under feltarbeidet.

Oslo, 10. januar 2005

Eigil Rune Iversen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Undersøkellesprogram	9
3. Hydrologi og klima	10
4. Vannkvalitet	12
5. Forurensningstransport	15
6. Samlet vurdering	18
7. Referanser	20
Vedlegg A. Analyseresultater	21

Sammendrag

Avrenningen fra det gamle gruveanlegget til Killingdal gruve under Gaulåsen har i lang tid hatt stor betydning for forurensningstilstanden i øvre Gaula. Etter kartlegging av tilførslene ble de første forurensningsbegrensende tiltakene gjennomført i 1991. Ved tiltaket i 1991 ble avfallet i dagen samlet i en tipp og overdekket med morene. Sivevannet ble samlet opp og ledet inn i gruva. Etter hvert viste det seg at vannbalansen på gruva og tippet var forskjellig fra det som først var antatt. Gjennomførte prosjekter i perioden 1992-1996 viste at det gikk mer vann inn i gruva enn hva som ble ført ut ved naturlig fordampning. Dette medførte at vannstanden i gruva steg til over sentralstasjonen i 1994, noe som førte til at den naturlige ventilasjonen opphørte. Da dreneringsystemet senere gikk tett, og deler av morenedekket begynte å rase i 1998-1999, ble overdekkingen forsterket i 2000.

I denne rapporten har en gitt en vurdering av forurensningssituasjonen i området, 4 år etter avslutning av de siste tiltakene høsten 2000. Vannkvaliteten til dreneringsvannet stabiliserte seg raskt etter at det siste tiltaket ble avsluttet. Vannkvaliteten til samlet dreneringsvann er fortsatt sterkt sur, men innholdet av forvitningsprodukter er vesentlig lavere enn i tiden før tiltak ble gjennomført. Vannkvaliteten har vært forholdsvis stabil de 4 siste år. Forurensningstransporten fra området er fortsatt i stor grad bestemt av nedbør og klima, noe som viser at deler av deponiet er utsatt for utvasking av nedbør. En må derfor regne med en del variasjoner fra år til år. I tabellen under har en stilt sammen beregnet årlig forurensningstransport fra området med bakgrunn i undersøkelser foretatt i periodene 1986-1987, 1992-1998 og i 2000-2004.

Periode	Sulfat tonn/år	Aluminium tonn/år	Jern tonn/år	Kobber tonn/år	Sink tonn/år	Kadmium kg/år
1986-1987	390		82,5	6,2	27,5	79,2
1992-1998	77,1	3,3	11,7	0,7	5,1	15,6
2000-2004	97,6	3,0	17,9	0,4	4,1	8,6

Transporten fra området etter siste tiltak synes å være noe mindre enn i perioden etter tiltaket i 1991 og fram til overdekkingen ble delvis ødelagt i 1999. Det forhold at det passerer en del vann gjennom dekkjiktet og at det sannsynligvis står et vanntrykk på dekkjiktet innenfra ved at det synes å være en del vann innesluttet i deponiet, gjør at en bør ha et rutinemessig tilsyn med deponiet en tid framover. Tippet inneholder dessuten mye lett tilgjengelige forvitningsprodukter. Erfaringene fra 1999 viser at dersom det oppstår skade av betydning på overdekkingen, vil dette føre til en rask økning i forurensningstransporten fra deponiet. Det er foreslått noen alternative fremgangsmåter for det videre tilsyn.

Summary

Title: Killingdal Mines – Drainage from waste rock dump. Results from monitoring in the period from 2000-2004.

Year: 2005

Author: Eigil Rune Iversen

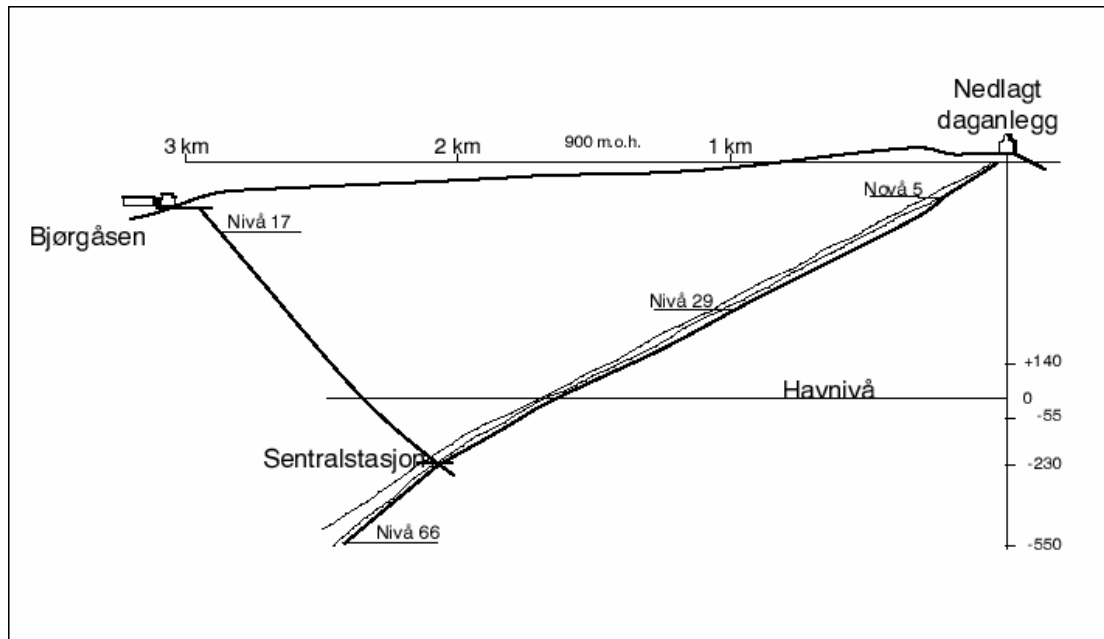
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4635-5

The Killingdal Mine was first opened in 1674 and abandoned in 1986. The drainage from the waste rock dumps has for long time been of great importance for the pollution situation to the river Gaula. In 1991, all the waste material, about 130,000 m³ with a relatively high content of sulphide minerals, was landscaped in one dump and covered with moraine and coarse rock. The moraine layer was improved in 2000. The location of the dump is difficult in a sloping hillside and in a tough climate 900 m a.s.l. The copper transport from the area is reduced with about 90 % compared with the situation in 1986-1987. At the end of 2004 the situation seems stable. A follow-up programme is however recommended.

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 hatt stor betydning for vannkvaliteten i øvre Gaula. NIVA foretok en kartlegging av denne avrenningen i 1977-1978 (Tjomsland et al, 1979) og i 1986-1987 (Iversen, 1988) før tiltak ble gjennomført.

Pumping av det sterkt forurensete gruvevannet til Gaula opphørte i 1986 og gruva har siden stått under naturlig oppfylling med vann. Gruvedriften startet først oppe under Gaulåsen. Det var også her det samlede gruvevannet ble pumpet ut med avløp til Grubebekken og Gaula. Utenfor gruveåpningene er det deponert forskjellige typer avfall med et relativt høyt innhold av sulfidmineraler. 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 Storvoll. Forurensningstilførslene fra dette området har alltid vært betydelig mindre og ble nylig kartlagt i 2002-2003 (Iversen, 2004). Figur 1 viser et vertikalsnitt av gruva mens figur 2 viser hvor gruveanleggene er lokalisert.

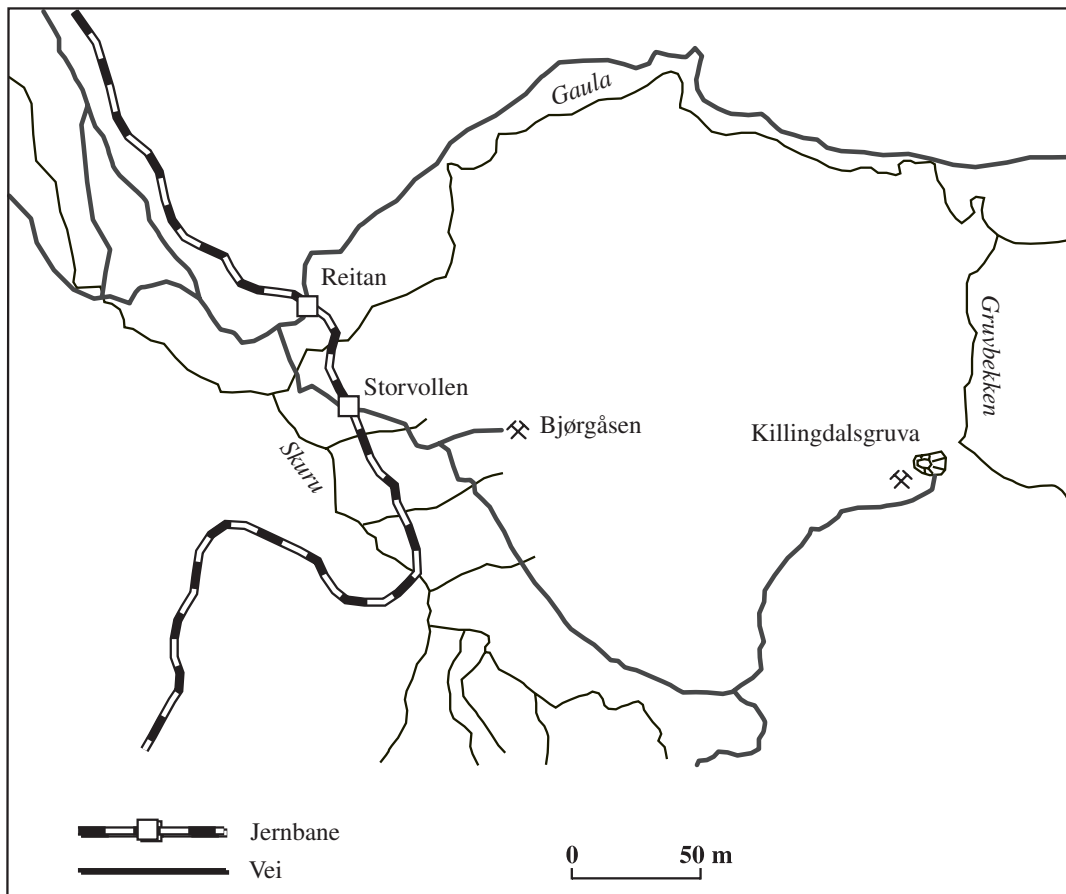


Figur 1. Vertikalsnitt av Killingdal gruve

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 unntatt sjakten ble fylt igjen med avfallsmasser. Tippen 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 tippen så vidt mye at forurensningsavrenningen fra tippen ville bli såvidt liten at den kunne føres på Gaula dersom drensrørsystemet skulle gå tett. Drensrørsystemet ble ikke planlagt for langsiktig drift.

NIVA har gjennomført kontrollundersøkelser av tiltakene etter oppdrag fra Bergvesenet siden 1992. Fram til og med 1999 var prosjektene delt i to hvor det ene delen har vært å gjøre rede for tilførselene fra området via Gruvbekken 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 (1997 og 1999). Disse undersøkelsene viste at de tidligere antagelser om vannbalansen på gruva ikke stemte, idet det ble påvist at det gikk mer vann inn i gruva enn ut. Dette førte til at vannstanden raskt steg til sentralstasjonen (1994), noe som medførte at den naturlige ventilasjonen opphørte.

I 1999 ble det etterhvert klart at det var nødvendig å gjennomføre en forsterkning av eksisterende tiltak (Iversen, 2001). Sommeren og høsten 2000 ble overdekkingen forsterket med en tettere morene som gitt et nytt lag av sprengstein som beskyttelse. Den foreliggende rapporten er en avsluttende rapport med en vurdering av forurensningstilstanden høsten 2004, 4 år etter at det siste tiltaket ble gjennomført.



Figur 2. Lokalisering av gruveanleggene til Killingdal gruve

2. Undersøkelsesprogram

I perioden 2000-2004 har undersøkelsesprogrammet omfattet regelmessig prøvetaking ved måleprofilen for samlet avrenning fra tippet (se figur 3). Den rutinemessige prøvetaking ble utført med lokal observatør, mens NIVA tok prøver ved hver befaring. Prøvetakingen ble forsøkt spredt over hele året så langt det var mulig.



Figur 3. Måledam for samlet avrenning fra tippet høsten 2003 (Foto: E.R. Iversen).

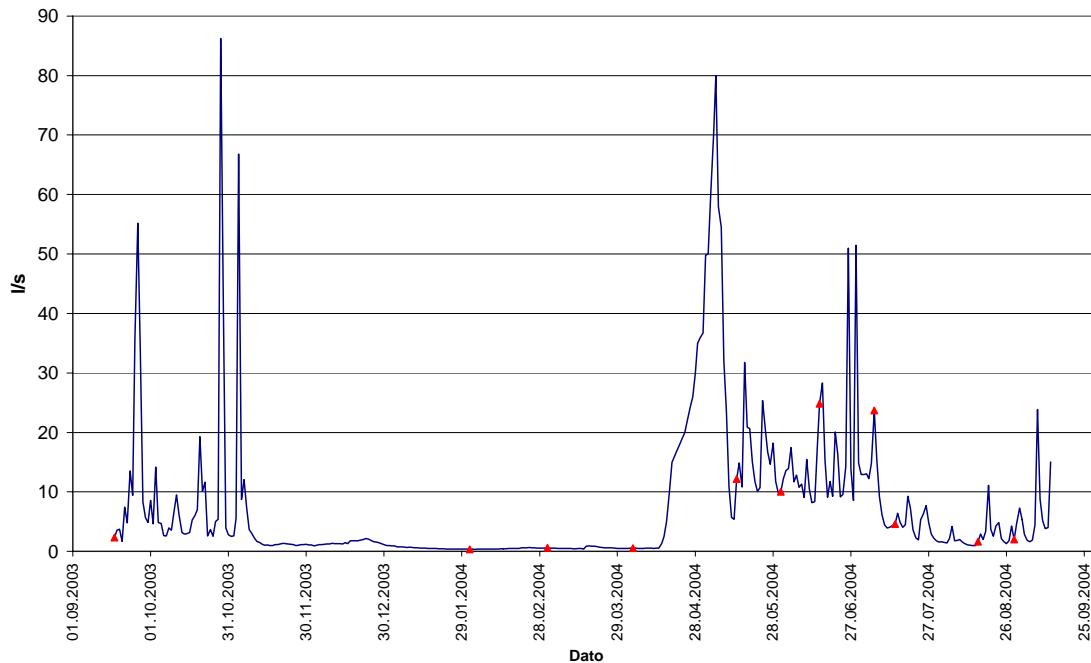
I hele perioden har en forsøkt å måle vannføring kontinuerlig over måleprofilen. Dette ble gjort vha utlagt trykkcelle i dammen og logging av vannhøyder over profilen. Loggerdata ble avspilt over GSM-nettet. Da det ikke var GSM-forbindelse ved måledammen, ble det benyttet kabel fra dammen opp til dataloggeren som var plassert i den gamle trafostasjonen nær toppen av tippet. Pga av kabelbrudd og dårligere mobildekning, ble måledata i perioden 2003-2004 overført over radio fra til loggerstasjonen som ble plassert på toppen av tippet. Måledata (vannhøyde og lufttemperatur) ble overført til NIVA via satellitt-telefon. Vannføringen ble deretter beregnet etter å ha innhentet måledata. Vannføringsmålingene har vært problematiske av flere grunner:

- Stor transport av løsmasser i området i flomperioder, noe som førte til at måledammen ble fylt av slam.
- I løpet av vinteren ble måledammen dekket med snø med en mektighet på 4-5 meter. Om våren var ofte snøprofilen vannmettet, noe som førte til for høye vannhøyder og for høye vanntrykk på målecella med havari som følge.

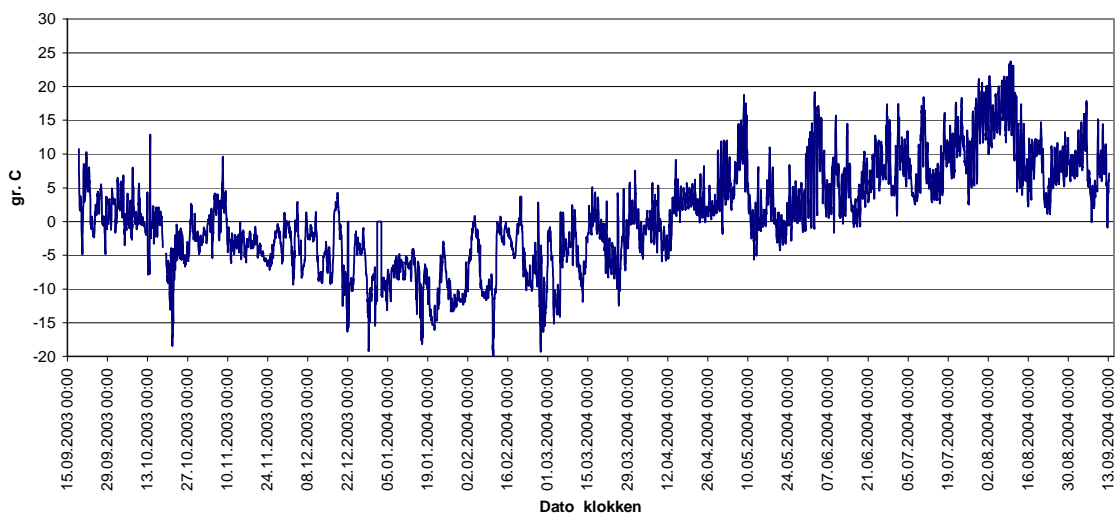
I siste måleperiode ble det laget tak over måledammen, noe som viste seg å være gunstig for å begrense snøtrykkproblemene. Siste år var også løsmassetransporten mer beskjedent da massene ovenfor måledammen etter hvert har "satt seg".

3. Hydrologi og klima

Døgnmiddelvannføringene for siste års observasjoner ved måleprofilen for samlet avrenning er presentert i figur 4. Som figuren viser kan variasjonene være store fra dag til dag avhengig av nedbør og klima. Dette er normalt for et så lite nedbørfelt. Vannføringen avtok raskt etter 9/11-03 da frosten satte inn (se figur 5). Snøsmeltingen våren 2004 strakk seg over et forholdsvis langt tidsrom idet den begynte allerede i begynnelsen av april omkring den 12/4 da en fikk en lengre periode med temperaturer over 0. Vårflommen strakte seg fram til slutten av juni. Selve flomtoppen var derfor en del lavere enn man oftest kan observere. Forbedringene av måledammen og av dataoverføringen førte til en nesten 100 % datafangst i det hydrologiske året 2003-2004.



Figur 4. Døgnmiddelvannføringer ved måleprofil for samlet avrenning fra velte i 2003-2004 med markering av prøvetakingstidspunkt.



Figur 5. Lufttemperatur ved måledam for samlet avrenning i 2003-2004.

Ved hjelp av døgnmiddelvanntføringsverdiene kan årsavrenningen beregnes. I tabell 1 har en samlet beregnet årsavrenning for alle år en har måledata for. Transporten er beregnet for hydrologiske år fra og med 2000. En ser at vannmengdene i 2003-2004 var betydelig større enn i de foregående år etter siste tiltak i 2000.

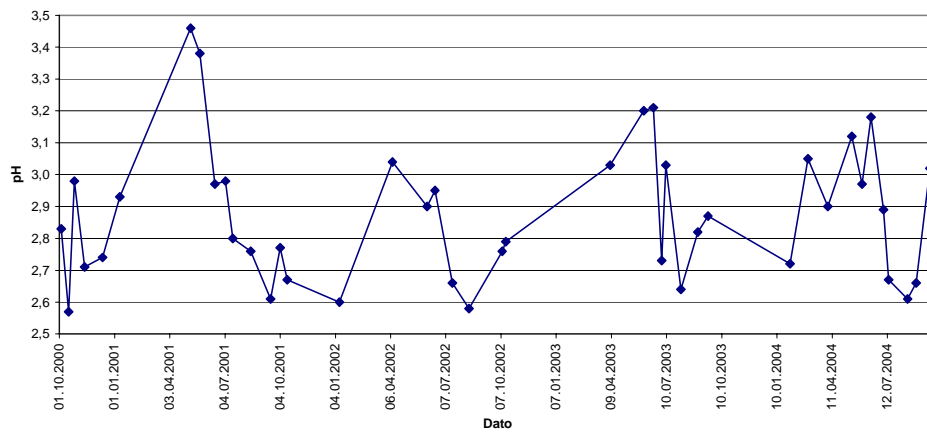
Tabell 1. Årsavrenning ved måledam for samlet avrenning fra tippen.

År	Vannmengde m ³
1992	190595
1993	87375
1994	348811
1995	307915
1996	453952
1997	330890
1998	170914
1999	220000
2000/2001	164288
2001/2002	87714
2002/2003	73800
2003/2004	233957

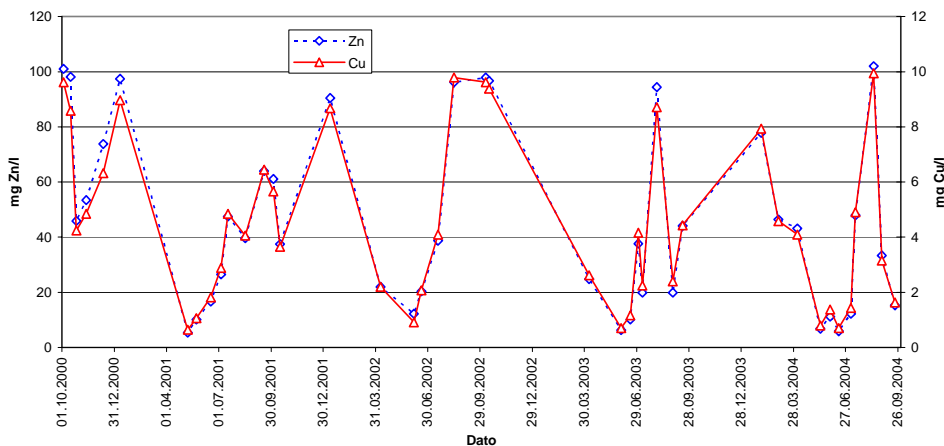
4. Vannkvalitet

Analyseresultatene for alle prøver som er tatt av samlet avrenning er samlet i vedlegg A bak i rapporten. I det følgende vil vi gi en samlet vurdering av analyse materialet for perioden 2000-2004.

Figur 6 viser målte pH-verdier i samlet avrenning for perioden 2000-2004. Verdiene fordeler seg i området 2,5-3,5. De fleste verdiene varierer i området 2,6-3,0. Vannet er følgelig sterkt surt, noe som viser at det fortsatt pågår forvitningsprosesser i tippen. Resultatene tyder ikke på at det har skjedd store endringer i vannkvaliteten i perioden etter siste tiltak. Dette bekreftes også av figur 7 som viser observasjonsmaterialet for kobber og sink.



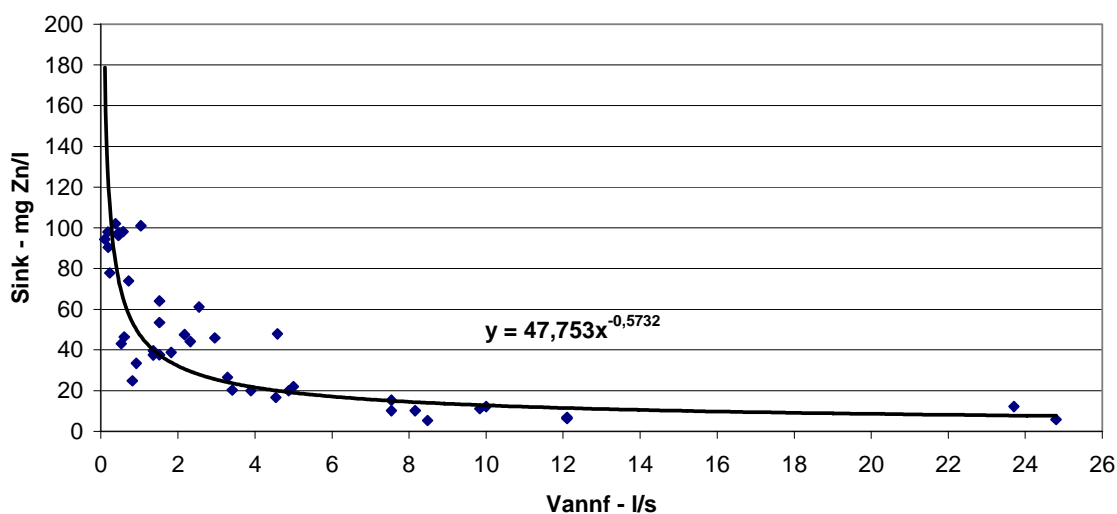
Figur 6. pH-målinger i 2000-2004.



Figur 7. Kobber og sinkkonsentrasjoner ved måledam for samlet avrenning 2000-2004.

De laveste konsentrasjonene inntreffer om våren når vannføringen er stor eller under perioder med mye regn. De høyeste konsentrasjonene kan en påvise ved lave vannføringer. Ved å se på sink som er mest mobilt av metallene, er det i figur 8 vist hvordan sinkkonsentrasjonene varierer med vannføringen. Figuren viser at de fleste resultatene samler seg omkring en hyperbelfunksjon. Dette er typisk for en velte som er overdekket. Er overdekkingen effektiv, vil lite nedbør og smeltevann passere deksjiktet, og lekkasjevannet vil bli fortynnet avhengig av nedbørforholdene. I en velte som ikke er overdekket, kan avrenningsmønsteret være et helt annet. Er forvitningsprosessene omfattende, kan en ofte påvise meget høye konsentrasjoner når utvaskingen er stor under nedbørrike perioder.

Avrenningsundersøkelsen av tippet ved Kjøligruve (Iversen, 1997) viste at måleverdiene samlet seg bedre omkring en hyperbelfunksjon enn i den foreliggende undersøkelsen. Ved Kjøligruve er overdekkingen mer effektiv idet en har benyttet en plastmembran. Ved Killingdal har en brukt naturlige løsmasser. En vet at overdekkingen ikke var like effektiv på toppen av tippet idet en ikke valgte å valse morenen her over de gjenfylte dagåpningene. Dette kan være en mulig forklaring på noen avvikende måleverdier. Det kan også observeres en del lekkasjer på velten. De fleste er i underkant av tippet. Når det er mye snøsmelting eller regn er det også et "overløp" et stykke opp på tippet på siden mot trafostasjonen. Dette tyder på at overdekkingen ikke er like effektiv over alt. Da vi ikke greide å suge opp luft fra det nederste borhullet i tippet, antar vi at det står vann inne i tippet et stykke oppover. Det kan derfor være et vanntrykk på dekkjiktet innenfra i tippet.



Figur 8. Sink- og vannføringsobservasjoner ved måledam for samlet avrenning 2000-2004.

I 2001 ble det tatt en stikkprøve av sigevann under tippet. Analyseresultatene er gjengitt i tabellen under. Det ble analysert mht toverdig jern på stedet. Resultatet viser at mesteparten av jerninnholdet forelåg som treverdig, noe som viser at det går luft gjennom dekkjiktet. Normalt ville en forvente at alt jernet forelåg som toverdig i slikt drensvann når overdekkingen er effektiv. Eventuelt treverdig jern i drensvann inne i tippet forventes også å bli redusert til toverdig ved kontakt med svovelkis. I de tre borhullene en har i tippet har en imidlertid ikke påvist oksygen ved noen av nivåene under NIVAs befaringer. Metallkonsentrasjonene vurderes å være forholdsvis moderate sett i forhold til de konsentrasjoner en påviste i sigevann før 1991 da en gjennomførte den første overdekkingen. Dette tyder på at omfanget av forvitningsprosessene er betydelig redusert som følge av overdekkingen.

Tabell 2. Resultater for stikkprøve av sigevann fra tipp tatt 05.07.2001.

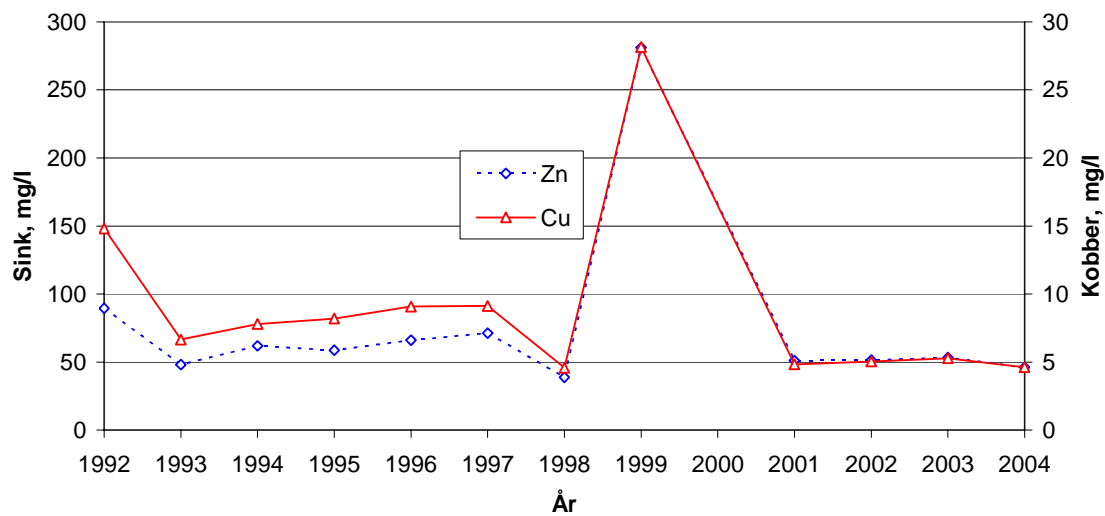
pH	Kond	SO ₄	Ca	Mg	Al	Fe-tot	Fe ²⁺	Cu	Zn	Cd
	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
3,10	107,1	1209	55,4	43,1	46,2	218	16,5	6,60	68,5	0,14

I tabell 3 er det samlet beregnede tidsveiede årsmiddelverdier for analyseresultater etter 1992, dvs i perioden etter de to tiltakene. De fire siste årene gjelder hydrologiske år, 1.09.2000-31.08.2001 osv. En ser at i 1999 fikk en en betydelig konsentrasjonsøkning etter at deler av overdekkingen ikke lenger virket tilfredsstillende. En kunne da også påvise en temperaturøkning i tippet i de tre borhullene en hadde temperatursonder i. Resultatene for perioden etter siste tiltak i 2000 viser at situasjonen raskt stabiliserte seg igjen med noe lavere kobber- og sinkverdier i forhold til perioden 1992-1999 (se figur 9).

Tabell 3. Tidsveiede årsmiddelverdier *) for måledam for samlet avrenning.

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	159,8	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	3,62
1994	2,98	154,2	840	77,9	32,4	34,9	100,0	7,80	62,0	0,13	5,33	0,14	0,22	11,2	11,1
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	9,76
1996	2,88	172,3	946	79,3	35,2	42,4	122,3	9,07	66,1	0,15	4,74	0,12	0,18	12,4	14,4
1997	2,77	187,5	1113	82,3	40,9	44,8	165,5	9,12	71,3	0,16	4,97	0,15	0,20	14,5	10,5
1998	2,85	139,3	702	43,9	23,2	23,2	123,5	4,58	38,8	0,09	2,61	0,08	0,11	8,6	21,9
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	9,44
2001	2,97	164,6	793	76,8	35,0	31,8	152,7	4,83	51,1	0,10	3,36	0,11	0,14	12,6	3,13
2002	2,76	202,7	1065	76,8	39,8	35,1	181,1	5,03	51,4	0,11	4,04	0,12	0,16	14,2	2,78
2003	2,91	230,4	1407	135,8	52,1	38,5	231,2	5,28	53,3	0,11	5,14	0,16	0,18	17,3	2,34
2004	2,87	199,3	1209	100,7	47,1	35,3	211,9	4,63	46,0	0,10	4,99	0,15	0,19	16,5	4,62

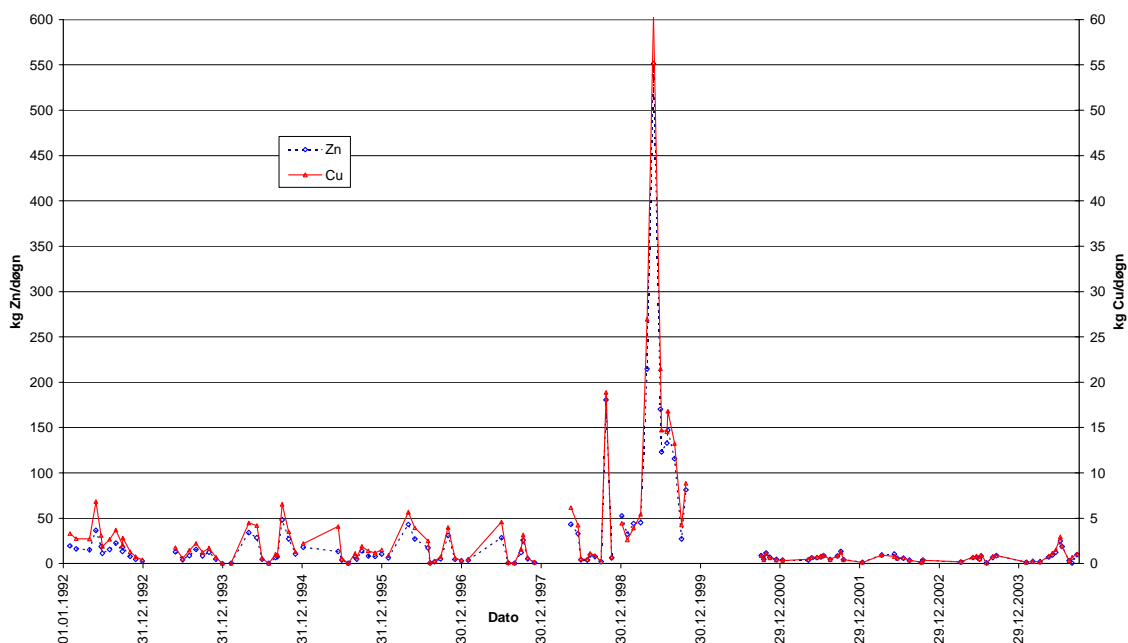
*) For de 4 siste år er beregningen gjort for hydrologiske år: 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003 og 2003-2004.

**Figur 9.** Tidsveiede årsmiddelverdier for kobber og sink i samlet drensvann fra tippen.

5. Forurensningstransport

Beregning av forurensningstransport kan benyttes til å vurdere betydning av en forureningskilde og virkinger av tiltak. Når det gjelder avrenning fra gruveavfall i dagen som ikke er overdekket, har en erfaringer for at konsentrasjonene i drensvannet endrer seg betydelig mindre i løpet av ett år enn vannføringen. Gode vannføringsmålinger er derfor viktig for å kunne oppnå en pålitelig verdier for forurensningstransporten. Når en måler vannføring kontinuerlig, kan en derved oppnå et forholdsvis pålitelig anslag over årstransporten ved å multiplisere årsavrenningen med årsmiddelverdien (evt. tidsveiet) for de aktuelle analysevariable. Når velten er overdekket, er situasjonen annerledes. Med en effektiv overdekking vil utvaskingen av forvittringsprodukter i liten grad være avhengig av nedbøren som faller på deponiet. I motsetning til en bergvelte som ikke er overdekket, vil konsentrasjonene en måler i en måledam for samlet avrenning falle raskt når det blir mye regn eller snøsmelting.

Figur 10 viser momentane transportverdier for kobber og sink i perioden 1992-2004. En ser tydelig konsekvensene av at overdekkingen begynte å svikte høsten 1998 og ble ytterligere ødelagt under sommersituasjonen i 1999. Etter det siste tiltaket i 2000 har situasjonen stabilisert seg igjen. Det var en viss økning i transporten sommeren 2004 som følge av mye nedbør. Deler av tippet, sannsynligvis den øvre delen, er fortsatt noe utsatt for utvasking når det er mye nedbør. Som tidligere nevnt, kan en også observere at det under slike situasjoner strømmet ut vann fra tippet et stykke opp mot trafostasjonen.



Figur 10. Momentane transportobservasjoner av kobber og sink ved måleprofil for samlet avrenning fra daganlegget under Gaulåsen.

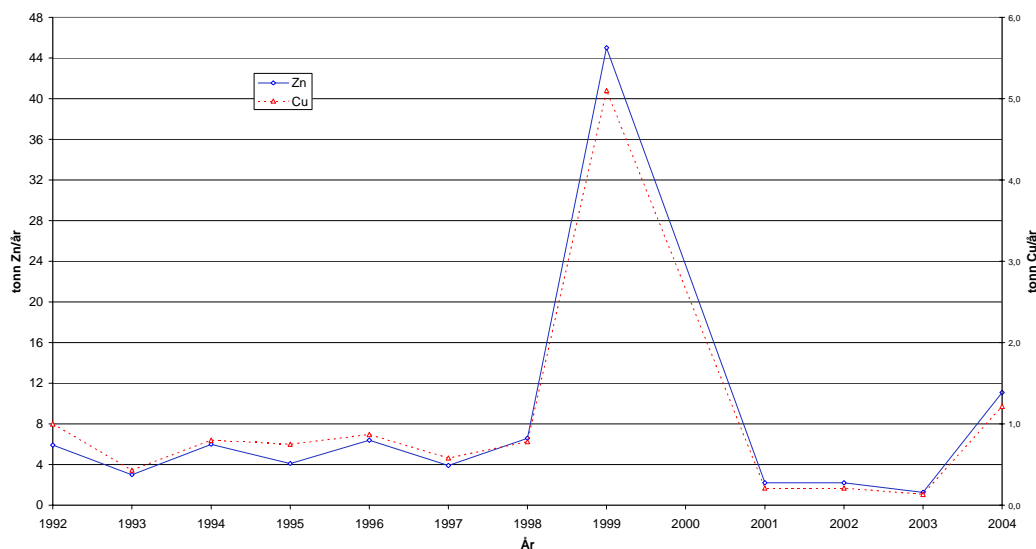
I tabell 4 har en beregnet årstransporten til Grubbekken for årene etter tiltaket i 1991. I 2002-2003 sviktet de kontinuerlige vannføringsmålingene i deler av året. Årstransporten ble derfor beregnet ved å tidsveie de momentane verdiene. Året 2003/2004 var spesielt idet vannmengdene var betydelig større enn i de foregående årene etter 1999. Som det fremgår av figur 4, har en ingen konsentrasjonsdata ved

de største vannføringene (vannføringer over 25 l/s). Det er derfor mulig at angitte verdier for årstransporten er noe for høye idet de verdiene en har beregnet for årsmiddelkonsentrasjoner også er noe for høye idet en ikke har tatt hensyn til de antatt lavere konsentrasjonene en har ved høye vannføringer. Som figur 8 viser, faller konsentrasjonene sterkt ved økende vannføring.

Tabell 4. Årstransport fra Killingdal gruves daganlegg under Gaulåsen.

År	SO ₄ tonn	Ca tonn	Al tonn	Fe tonn	Cu tonn	Zn tonn	Cd kg
1992	70,1	5,4	3,7	9,8	1,00	5,9	40,0
1993	40,4	3,2	1,9	5,1	0,43	3,0	7,8
1994	76,5	6,2	3,6	8,9	0,80	6,0	14,8
1995	75,2	6,8	2,4	8,8	0,75	4,1	12,2
1996	93,6	7,2	4,8	16,1	0,87	6,4	11,1
1997	63,8	4,4	2,8	12,0	0,58	3,9	7,4
1998	120	7,5	4,0	21,1	0,78	6,6	15,9
1999	742	21,0	23,0	168,0	5,10	45,0	95,0
2000/2001	34,7	3,4	1,4	10,2	0,21	2,2	4,5
2001/2002	40,8	3,5	1,5	7,4	0,21	2,2	4,5
2002/2003	32,3	3,6	1,0	4,6	0,14	1,3	2,8
2003/2004	283	23,6	8,3	49,6	1,08	10,8	22,5

Figur 11 viser årstransporten av kobber og sink for perioden 1992-2004. Selv om det kan påvises en økt transport siste år, ligger det etter vår vurdering ikke noe dramatisk i det. Forløpet av konsentrasjonsmålingene tyder på at transportøkningen siste år har sammenheng med nedbør og klima og ikke med noen skade på overdekkingen. Vi anbefaler likevel en jevnlig inspeksjon av deponiet framover.



Figur 11. Årstransport av kobber og sink fra Killingdal gruves daganlegg under Gaulåsen.

I tabell 5 har en samlet beregnet årstransport for viktige forurensningskomponenter i de tre periodene 1986-1987 (før tiltak), 1992-1998 (etter første tiltak) og 2000-2004 (etter forsterkning av tiltak). Beregningene for 1986-1987 er de mest usikre. I mellomperioden har en ikke tatt med året 1999 da det det første tiltaket begynte å svikte. For periodene 1992-1998 og 2000-2004 er beregnet midlere årstransport.

Tabell 5. Årstransport i 1986-1987 før tiltak, i perioden 1992-1998 etter første tiltak og i perioden 2000-2004 etter siste tiltak.

Periode	SO₄	Al	Fe	Cu	Zn	Cd
	tonn/år	tonn/år	tonn/år	tonn/år	tonn/år	kg/år
1986-1987	390		82,5	6,2	27,5	79,2
1992-1998	77,1	3,3	11,7	0,7	5,1	15,6
2000-2004	97,6	3,0	17,9	0,4	4,1	8,6

6. Samlet vurdering

Avrenningen fra det eldste gruveområdet til Killingdal gruve under Gaulåsen har vært fulgt opp kontinuerlig siden 1992, året etter at det første tiltaket i gruveområdet ble gjennomført. Avrenningen fra dette området har alltid hatt stor betydning for forurensningstilstanden i Gaula. Tiltakene ved Kjøligruve i 1989 og Killingdal gruve i 1991 førte til en stor forbedring i forurensningstilstanden i øvre Gaula til glede for lokalmiljøet og publikum forøvrig.

Etter at overdekkingen av tippet under Gaulåsen ble forsterket i 2000, blir drensvannet fra tippet ikke lenger ført inn i gruva. En effekt av tiltaket er at det derved vil ta lengre tid før en får overløp fra den vannfylte gruva gjennom sjakten i Bjørgåsen. Det antas imidlertid at noe drensvann fra tippet fortsatt går inn i gruva da overdekkingen av øvre deler av tippet over de gjenfylte dagåpningene ikke er like effektiv som for resten av tippet. Dette øvre arealet er imidlertid relativt beskjedent i forhold til det arealet som ble overdekket på nytt.

Da det første overdekkingstiltaket begynte å svikte i 1998/1999, førte dette til en rask økning i metalltransporten fra tippet. Dette ble umiddelbart observert av det kontrollprogram en da hadde. Det ble den gang også påvist temperaturøkning inne i tippet vha av de sensorer som var montert i tre borhull i tippet. Økt tilgang på oksygen fører til økt forvitring. Forvitringsprosessene avgir varme. Observasjonene gjorde det mulig å gjennomføre en forsterkning av dekkjiktet allerede i 2000 før en fikk effekter av betydning i vassdraget.

Tiltaket i 2000 ga en umiddelbar reduksjon i avrenningen av forvitningsprodukter fra tippet. Høsten 2004, fire år etter at tiltaket ble avsluttet, synes situasjonen å være relativt stabil. Siden drensvannets kjemiske sammensetning har vært stabil de fire siste år, har derfor de endringer i forurensningstransporten som er påvist sin naturlige årsak i variasjoner i nedbør og klima. Det er derfor intet dramatisk i den transportøkning som ble påvist i siste observasjonsår.

Til tross for forbedret overdekking synes det fortsatt å pågå en viss oksygentransport inn i tippet. Dette understøttes av at jerninnholdet i drensvannet under tippet for en stor del foreligger som treverdige ioner. Mye tyder også på at det er en del vann innesluttet i nedre deler av tippet. Når det er mye nedbør, er et overløp synlig et stykke opp på tippens sørside. Innholdet av forvitningsprodukter i drensvannet er imidlertid betydelig lavere enn i tiden før det ble gjennomført tiltak. Dette viser at overdekkingstiltaket har hatt betydelig effekt både mht til å redusere omfanget av forvitningsprosessene og å redusere utvasking av forvitningsprodukter. Siden avfallet vurderes å inneholde mye forvitret materiale som er lett tilgjengelig for utvasking, er det svært viktig at det ikke skjer skader på dekkjiktet slik at evnen til å forhindre utvasking reduseres.

Det er vanskelig å gjennomføre en god overdekking som både har som målsetting å redusere inntrengningen av oksygen til et minimum samt å redusere utvaskingen effektivt. Spesielt vanskelig er det ved denne velten som ligger i sterkt skrånende terreng. Området er også vanskelig tilgjengelig i deler av året med et tøft og vekslende klima. Det har derfor vært en ressurskrevende oppgave å gjennomføre en god overvåking av situasjonen.

Selv om velten er relativt liten, er innholdet av kismineraler forholdsvis høyt. Velten har derfor potensiale til å påvirke situasjonen i Gaula i betydelig grad. Vi anbefaler derfor at en fortsatt har et tilsyn med området en tid framover. Hvilket nivå man skal legge seg på i dette arbeidet bør diskuteres nærmere. Vi vil her skissere noen muligheter:

1. **Kontroll av tungmetallnivå i Gaula.** Dette krever lite ressurser. En mulighet er å benytte eksisterende erfaringsmateriale og gjennomføre kontrollen vha statistiske betraktninger slik som skissert i SFTs rapport fra 2003 (Iversen og Arnesen, 2003). Ulempen er at man har begrenset kontroll med hva som foregår i gruveområdet. Kontrollen bør derfor suppleres med en rutinemessig befaring til gruveområdet. Det vurderes som mer effektivt å gjennomføre kontrollen så nære gruveområdet som mulig, om mulig av drensvannet direkte.
2. **Kontroll av vannkvalitet i Grubekken.** Det er lettere å gjennomføre kontrollen gjennom en årssyklus nede ved innløpet i Gaula enn oppe på fjellet. Ulempen er at en må bygge opp et nytt erfaringsgrunnlag. Da det dessuten er problematisk å etablere en god måleprofil for vannføring, ble denne muligheten ikke valgt i tidligere prosjekter.
3. **Stikkprøvekontroll ved dagens måleprofil under tippet.** Som for tippet ved Kjøli har en ved hjelp av erfaringsgrunnlaget hittil laget en enkel modell for sammenhengen mellom vannføring og f.eks sink som er det mest mobile av metallene. Denne modellen kan benyttes i rutinekontrollen. Ved større avvik gjennomføres en mer omfattende undersøkelse i etterkant. Datagrunnlaget er foreløpig noe tynt ved høye vannføringer. Ved hjelp av supplerende målinger kan en forbedre avrenningsmodellen. Lekkasje under og rundt tippet vurderes og fotograferes.
4. **Måling av temperaturer i tippet.** En har tidligere hatt gode erfaringer med å benytte temperaturmålinger til å observere skader i dekkjiktet. Det er rimelig og driftssikkert å logge temperaturer vha batteridrevet logger. Det må imidlertid etableres nye borhull i velten for formålet. Ved ugunstig utvikling, foretas supplerende undersøkelser av vannkvalitet og transport etter behov.
5. **Videreføring av dagens opplegg.** Dette er det mest ressurskrevende alternativet. Det er naturlig å trappe ned dette alternativet dersom situasjonen vurderes som stabil. Etter hvert som løsmassetransporten i området har avtatt, er behovet for vedlikehold av måledammen redusert. En har også fått tilgang til enklere og er driftssikkert utstyr for kontinuerlige vannmengdemålinger. Kostnadene ved et slikt kontrollnivå kan derfor reduseres noe i forhold til tidligere.

Ovenfor er skissert alternative opplegg for feltundersøkelser. Vi vil også påpeke viktigheten av et godt samarbeid med lokalmiljøet og Holtålen kommune. Brukere av vassdraget vil også gi informasjon om mulige endringer av forholdene i øvre Gaula og som kan være et utgangspunkt for oppfølgende kontroll av tilstanden.

7. Referanser

Arnesen, R.T., 1997. Killingdal Gruber – Avrenning fra velte. Resultater fra målingene i årene 1992-1996. NIVA-rapport O-96105 og 95182, L.nr.. 3655-97. 34 s.

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. 36 s.

Iversen, E.R., 1997. Kjøli gruve. Avrenning 1995-1996. NIVA-rapport O-95171, L.nr. 3598-97. 19 s.

Iversen, E.R., 2001. Killingdal gruve – avrenning fra velte, tilførsler til Gaula. Undersøkelser 1999. NIVA-rapport O-99086 og 99096, L.nr. 4346-2001, 31 s.

Iversen, E.R. og Arnesen, R.T., 2003. Elvestrekninger påvirket av gruveforurensning. SFT-rapport. TA 1986/2003. ISBN 82-577-4402-6. 80 s.

Iversen, E.R., 2004. Killingdal gruve, Holtålen kommune. Avrenning fra Bjørgåsen i 1999-2000 og i 2002-2003. NIVA-rapport O-20072 og 21263. L.nr. 4810-2004. 30 s.

Tjomsland, T., Arnesen, R.T. og Grande, M., 1979. Vannforurensning fra gruver. NIVA-rapport, O-77061, L.nr. 1107. 38 s.

Vedlegg A. Analyseresultater

Tabell 6. Analyseresultater. Måleprofil for samlet avrenning 2000-2001.

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
04.10.2000	2,83	258	1497	116	58,9	57,9	326	9,62	101	0,220	6,24	0,180	0,25	18,6	1,04
16.10.2000	2,57	273	1386	112	58,6	53	313	8,58	98,1	0,200	6,03	0,180	0,25	19,5	0,58
26.10.2000	2,98	151,2	683	55,6	28,2	27,4	151	4,24	45,9	0,094	2,89	0,087	0,12	10,8	2,96
12.11.2000	2,71	186	781	65,8	32,9	32,3	161	4,85	53,4	0,110	3,25	0,097	0,13	11,9	1,52
12.12.2000	2,74	217	1012	97,3	46,4	43,3	201	6,32	73,8	0,150	4,66	0,140	0,19	12,9	0,72
10.01.2001	2,93	239	1431	172	68,9	60,4	222	8,96	97,4	0,190	6,16	0,190	0,25	20,0	0,46
08.05.2001	3,46	38,2	94	14,4	4,23	3,76	102	0,64	5,4	0,013	0,42	0,015	0,02	2,02	8,48
23.05.2001	3,38	40,5	143	20,7	7,46	6,66	20,6	1,06	10,1	0,018	0,76	0,028	0,03	3,30	7,54
17.06.2001	2,97	94,3	195	28,9	13,0	12,4	36,4	1,82	16,6	0,035	1,43	0,050	0,06	5,97	4,54
05.07.2001	2,98	195	467	44,2	19,3	18,1	57,7	2,89	26,5	0,054	2,16	0,075	0,09	13,6	3,29
17.07.2001	2,80	180	839	69,1	35,6	33,2	118	4,85	47,5	0,098	3,89	0,130	0,16	21,2	2,17
16.08.2001	2,76	166	725	55,8	29,9	25,8	114	4,05	39,6	0,081	2,84	0,097	0,11	14,3	1,36
18.09.2001	2,61	240	1267	70,9	45,0	41,2	216	6,44	64,0	0,130	4,14	0,140	0,16	17,1	1,52
Gj.snitt	2,90	175	809	71,0	34,5	32,0	156,8	4,95	52,3	0,107	3,45	0,11	0,14	13,17	2,78
Maks.verdi	3,46	273	1497	172,0	68,9	60,4	326,0	9,62	101,0	0,220	6,24	0,19	0,25	21,20	8,48
Min.verdi	2,57	38	94	14,4	4,2	3,8	20,6	0,64	5,4	0,013	0,42	0,02	0,02	2,02	0,46

Tabell 7. Analyseresultater. Måleprofil for samlet avrenning 2001-2002.

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
18.09.2001	2,61	240	1267	70,9	45,0	41,2	216	6,44	64,0	0,130	4,14	0,14	0,16	17,1	1,52
04.10.2001	2,77	207	1219	70,5	43,3	38,3	265	5,65	61,1	0,130	4,24	0,14	0,16	16,1	2,55
16.10.2001	2,67	205	778	48,1	25,9	23,9	172	3,65	37,5	0,067	2,56	0,09	0,11	10,6	1,36
11.01.2002	2,60	303	1850	137,0	68,7	62,1	279	8,67	90,4	0,190	6,45	0,19	0,27	20,9	0,19
09.04.2002	3,04	104	452	49,2	19,0	16,0	44,3	2,20	22,0	0,048	2,28	0,07	0,09	7,65	5,00
06.06.2002	2,90	81,4	57,5	13,5	6,8	5,8	36,9	0,92	12,2	0,019	0,88	0,03	0,03	2,83	10,00
19.06.2002	2,95	114	455	35,3	16,8	13,9	84,1	2,07	20,3	0,042	2,03	0,07	0,07	7,56	3,41
18.07.2002	2,66	189	931	59,3	33,2	27,4	205	4,09	38,7	0,084	3,76	0,12	0,13	13,7	1,83
15.08.2002	2,58	328	2204	142,0	83,1	70,0	384	9,79	96,2	0,202	8,85	0,27	0,33	31,0	0,46
Gj.snitt	2,75	197	1024	69,5	38,0	33,2	187	4,83	49,2	0,101	3,91	0,12	0,15	14,2	2,92
Maks.verdi	3,04	328	2204	142,0	83,1	70,0	384	9,79	96,2	0,202	8,85	0,27	0,33	31,0	10,00
Min.verdi	2,58	81	58	13,5	6,8	5,8	36,9	0,92	12,2	0,019	0,88	0,03	0,03	2,83	0,19

Tabell 8. Analyseresultater. Måleprofil for samlet avrenning 2002-2003.

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
17.09.2003	2,87	202,0	1150	76,7	44,8	33,9	225	4,43	44,1	0,091	4,68	0,15	0,17	16,40	2,32
01.02.2004	2,72	297,0	1943	173	78,6	60,0	300	7,93	77,8	0,163	8,23	0,24	0,33	23,50	0,23
02.03.2004	3,05	191,5	1189	135	51,0	35,0	152	4,58	46,4	0,101	5,13	0,15	0,20	16,60	0,61
04.04.2004	2,90	203,0	1135	140	47,6	32,6	118	4,10	43,1	0,099	4,74	0,15	0,19	14,80	0,53
14.05.2004	3,12	57,2	178	17,6	7,04	6,42	24,4	0,80	6,87	0,014	0,93	0,03	0,04	4,59	12,1
31.05.2004	2,97	8,61	321	28,4	11,4	9,76	50,1	1,38	11,2	0,018	1,39	0,05	0,06	6,74	9,84
15.06.2004	3,18	51,9	157	15,7	6,07	5,30	20,5	0,71	5,86	0,013	0,74	0,03	0,03	3,94	24,8
06.07.2004	2,89	104,9	377	25,7	12,3	9,89	82,6	1,44	12,2	0,026	1,34	0,05	0,05	6,96	23,7
14.07.2004	2,67	247,0	1431	79,9	44,4	32,9	369	4,90	47,9	0,093	4,79	0,15	0,17	17,90	4,58
15.08.2004	2,61	359,0	2781	186	104	81,2	615	9,94	102	0,210	11,60	0,37	0,45	39,40	0,38
29.08.2004	2,66	196,4	961	69,4	33,3	23,1	202	3,15	33,4	0,067	3,86	0,11	0,16	13,50	0,92
21.09.2004	3,02	110,0	479	34,1	15,7	12,0	104	1,63	15,3	0,032	1,78	0,06	0,06	8,44	7,54
Gj.snitt	2,89	169,0	1008	81,8	38,0	28,51	189	3,75	37,2	0,077	4,10	0,13	0,16	14,40	7,30
Maks.verdi	3,18	359,0	2781	186,0	104,0	81,20	615	9,94	102	0,210	11,60	0,37	0,45	39,40	24,80
Min.verdi	2,61	8,61	157	15,7	6,07	5,30	20,5	0,71	5,86	0,013	0,74	0,03	0,03	3,94	0,23

Tabell 9. Analyseresultater. Måleprofil for samlet avrenning 2003-2004.

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
17.09.2003	2,87	202,0	1150	76,7	44,8	33,9	225	4,43	44,1	0,091	4,68	0,15	0,17	16,40	2,32
01.02.2004	2,72	297,0	1943	173	78,6	60	300	7,93	77,8	0,163	8,23	0,24	0,33	23,50	0,23
02.03.2004	3,05	191,5	1189	135	51,0	35	152	4,58	46,4	0,101	5,13	0,15	0,20	16,60	0,61
04.04.2004	2,90	203,0	1135	140	47,6	32,6	118	4,10	43,1	0,099	4,74	0,15	0,19	14,80	0,53
14.05.2004	3,12	57,2	178	17,6	7,04	6,42	24,4	0,80	6,87	0,014	0,93	0,03	0,04	4,59	12,1
31.05.2004	2,97	8,61	321	28,4	11,4	9,76	50,1	1,38	11,2	0,018	1,39	0,05	0,06	6,74	9,84
15.06.2004	3,18	51,9	157	15,7	6,07	5,3	20,5	0,71	5,86	0,013	0,74	0,03	0,03	3,94	24,8
06.07.2004	2,89	104,9	377	25,7	12,3	9,89	82,6	1,44	12,2	0,026	1,34	0,05	0,05	6,96	23,7
14.07.2004	2,67	247,0	1431	79,9	44,4	32,9	369	4,90	47,9	0,093	4,79	0,15	0,17	17,90	4,58
15.08.2004	2,61	359,0	2781	186	104	81,2	615	9,94	102	0,210	11,60	0,37	0,45	39,40	0,38
29.08.2004	2,66	196,4	961	69,4	33,3	23,1	202	3,15	33,4	0,067	3,86	0,11	0,16	13,50	0,92
21.09.2004	3,02	110,0	479	34,1	15,7	12,0	104	1,63	15,3	0,032	1,78	0,06	0,06	8,44	7,54
Gj.snitt	2,89	169,0	1008	81,8	38,0	28,51	189	3,75	37,2	0,077	4,10	0,13	0,16	14,40	7,30
Maks.verdi	3,18	359,0	2781	186,0	104,0	81,20	615	9,94	102	0,210	11,60	0,37	0,45	39,40	24,80
Min.verdi	2,61	8,61	157	15,7	6,07	5,30	20,5	0,71	5,86	0,013	0,74	0,03	0,03	3,94	0,23