

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

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

Tittel Oppfølging av forurensningstilførsler fra Folldal sentrum Undersøkelser i 1999	Løpenr. (for bestilling) 4264-2000	Dato 13. juli 2000
	Prosjektnr. Undernr. O-99155 1	Sider 26
Forfatter(e) Iversen, Eigil Rune	Fagområde Miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Hedmark	Trykket NIVA 2000

Oppdragsgiver(e) Miljøsikringsfondet Folldal Verk	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag

Det er ikke påvist noen endringer av betydning i forurensningstransporten fra Folldal sentrum i tiden etter at tiltakene ble avsluttet i 1994. Dette kan ha sammenheng med en midlertidig økning i tilførslene fra de avfallsmasser som ble liggende igjen etter flyttingen av avfall til Tverrfjellet. Mye tyder på at det vil ta lang tid før en kan måle positive effekter av betydning som følge av tiltaket. Tilførslene fra gruva er så store at det er tvilsomt om man vil nå målsettingen for vannkvalitet i Folla nedstrøms gruveområdet uten ytterligere tiltak.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gruvevann 2. Vannkvalitet 3. Tungmetalltransport 4. Folldal Verk 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Acid Rock Drainage 2. Water quality 3. Heavy metals load 4. Folldal mines
---	--

Eigil Rune Iversen
Eigil Rune Iversen
Prosjektleder

Svein Stene-Johansen
Svein Stene-Johansen
Forskningsleder
ISBN 82-577-3891-3

Torsten Källqvist
Torsten Källqvist
Forskningssjef

O-99155

Oppfølging av forurensningstilførsler fra

Folldal sentrum

Undersøkelser i 1999

Forord

Folldal Verk som senere inngikk i Norsulfid AS har siden 1966 arbeidet med kartlegging av forurensningstilførslene fra gruveområdene, samt effektene av denne avrenning på vassdraget. Det foreligger et omfattende analysemateriale fra denne kartleggingen. Etter at Norsulfid avsluttet kontrollundersøkelsene i 1998, har Miljøsikringsfondet Folldal Verk videreført oppfølgingen av forurensningstilførslene fra det gamle gruveområdet i Folldal sentrum (Folldal hovedgruve) etter et forenklet program som kun har hatt som mål å kontrollere fysisk/kjemisk vannkvalitet i dreinsvann og i nærmeste stasjon i Folla nedstrøms Folldal, samt å foreta en transportberegning av de viktigste forurensningskomponenter. Årsaken til at fondet har videreført undersøkelsene er at en ved utgangen av 1998 ennå ikke hadde oppnådd noe vesentlige reduksjoner i tungmetallavrenningen fra området etter de tiltak som ble avsluttet i 1994.

Den rutinemessige innsamling av vannprøver med måling av vannføringer har vært utført av Kjell Streitlien, Folldal som vi herved takker for vel utført feltarbeid i 1999.

Oslo, 13. juli 2000

Egil Rune Iversen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Hydrologi	7
3. Vannkvalitet	11
3.1 Undersøkellesprogram	11
3.2 Folla ved Follshaugmoen, stasjon Fo7	11
3.3 Folldal sentrum	13
3.3.1 Stasjon 1. Gruvevann, utløp stoll 2	13
3.3.2 Stasjon 2. Drensledning nedenfor gamle slamdam	17
4. Forurensningstransport	18
5. Samlet vurdering	25
6. Referanser	26

Sammendrag

Miljøsikringsfondet Folldal Verk har videreført en fysisk/kjemisk overvåking av avrenningen fra det gamle gruveområdet i Folldal sentrum etter at Norsulfid AS avsluttet sitt engasjement i 1998. Undersøkelsene har omfattet prøvetaking ved to stasjoner i gruveområdet og en i Folla nedstrøms Folldal sentrum. I tillegg er driften av en limnigrafstasjon i Folla ved Grimsmoen opprettholdt.

Resultatene fra 1999 tyder fortsatt ikke på at det har skjedd noen endringer av betydning når det gjelder forurensningstransporten fra gruveområdet i tiden etter at tiltakene ble avsluttet i 1994. Flytting av avfall til Tverrfjellet kan ha forårsaket en midlertidig økning av forurensningstransporten fra det avfallet som ble liggende igjen i området. Det kan spores en positiv trend ved at sulfatkonsentrasjonene er blitt noe lavere i Folla nedstrøms gruveområdet. Mye tyder imidlertid på at det kan ta lang tid før en ser klare effekter av det tiltaket som er gjennomført. Tilførslene fra gruva (stoll 2) vil trolig endre seg lite over tid. Siden disse tilførslene er de dominerende i store deler av året, er det tvilsomt om man vil nå den målsetting man har for vannkvalitet i Folla i overskuelig framtid uten ytterligere tiltak som også omfatter gruvevannet.

Dersom man har som mål å oppnå en øyeblikkelig bedring i miljøtilstanden i Folla av praktisk betydning, synes idag et teknisk rens tiltak å være eneste alternativ. Dette vil kreve nye utredninger m.h.t. oppsamling av vann samt forhold som har med selve renseprosessen og organisering av driften å gjøre. Vi foreslår at man fortsetter måleprogrammet ennå en tid inntil det skjer en avklaring om videre mål. Dersom man senere velger en renseløsning, er det en fordel å ha bedre vannføringsmålinger i gruveområdet som beregningsgrunnlag for dimensjonering av tiltaket. Mer pålitelige vannføringsmålinger i gruveområdet vil også gi bedre opplysninger om og en bedre kontroll av effektiviteten til eksisterende dreneringssystem.

Summary

Title: Transport of pollutants from Folldal Mines, Norway

Year: 1999

Author: Eigil Rune Iversen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3891-3

Mining in the Folldal area took place in periods between 1748 and 1993. The mines in the municipality centre were closed in 1968. Drainage from these mines and mine waste disposed at the site is still the main pollution problem in the area. The total load of copper from this area on the River Folla is estimated to 10 –20 tons annually. In 1993-1994 mine waste from several sources were moved and disposed under ground within the last mine in the area, Tverrfjellet mine. After 5 years no significant effect has been observed in the water quality in River Folla downstream the mine site. A possible explanation for this is connected to the drainage from the underground mine which is found to be the most important source of pollution in the area. Besides, it was not possible to remove all the waste material. Thus, the oxidation processes in the remaining waste could have accelerated caused by better influx of air. A chemical treatment of the drainage in a plant is suggested.

1. Innledning

Norsk institutt for vannforskning har foretatt undersøkelser i Folla-vassdraget siden 1966. Undersøkelsene har omfattet hele strekningen fra gruveområdet på Hjerkinns og ned til Alvdal. Gruvevirksomheten til Follidal verk ved Tverrfjellet gruve opphørte våren 1993. I perioden 1992-1994 pågikk det oppryddingstiltak ved det gamle gruveområdet i Follidal sentrum der virksomheten ble nedlagt i 1968. Oppryddingstiltakene har bestått i flytting av det sterkt forvitrende gruveavfallet opp til Hjerkinns der de ble deponert i Tverrfjellet gruve. I tillegg ble det foretatt en del dreneringstiltak i området. Norsulfid AS gjennomførte et 5 års overvåkingsprogram i vassdraget og i gruveområdene i perioden 1993-1998. Resultatene fra disse undersøkelsene er rapportert i en sluttrapport (Iversen et al, 1999). Da vannkvaliteten i nedre del av vassdraget ved Follshaugmoen ikke hadde bedret seg vesentlig ved utgangen av 1998 etter de tiltakene som var gjennomført, ble det besluttet at Miljøsikringsfondet Follidal Verk skulle fortsette et forenklet overvåkingsprogram i Follidal sentrum-området for å sikre en kontinuitet i målingene inntil en ser hvordan vannkvaliteten utvikler seg eller at en beslutter å gjennomføre ytterligere tiltak. Resultatene fra disse undersøkelsene vil ha verdi i forbindelse med eventuelle nye tiltaksvurderinger i området. Det er foreslått at det videre programmet skal løpe i 5 år, men med en løpende vurdering av nytteverdien. Den foreliggende rapport gir en enkel fremstilling av resultatene fra undersøkelsene i 1999.

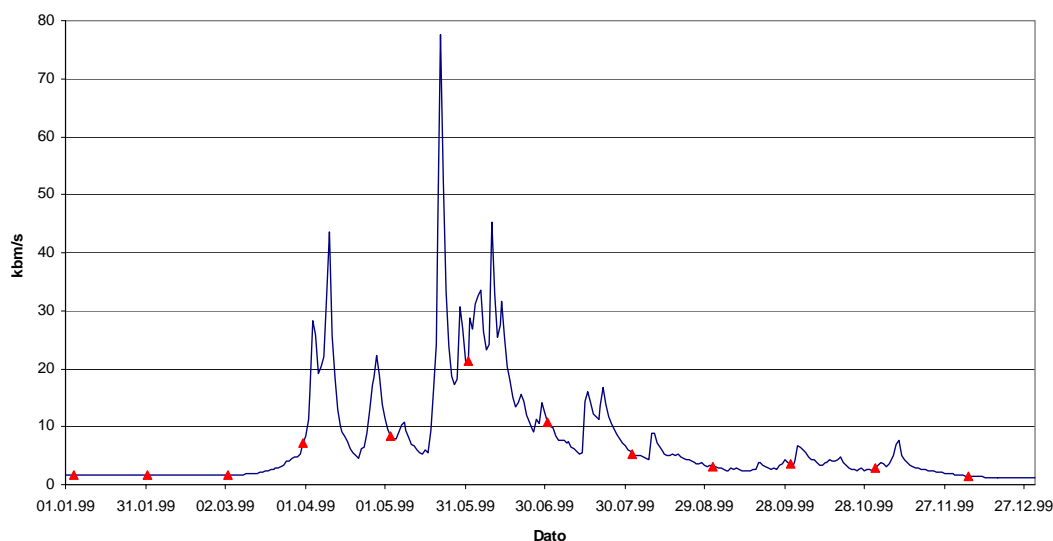
2. Hydrologi

En av målsettingene med dette undersøkelsesprogrammet har vært å beregne forurensningstransporten fra gruveområdet og vurdere hvordan transporten utvikler seg over tid etter at de forurensningsbegrensende tiltak i området ble avsluttet i 1994. For å kunne beregne transporten har en behov for pålitelige mål for vannføringen ved de enkelte prøvetakingsstasjoner i tillegg til de kjemiske analyseverdiene.

I gruveområdet i Follidal sentrum er det laget en 90 graders overløpsprofil i utløpskummen utenfor stoll 2 (st.1). På enden av drenerøret for samlet avrenning fra området nedenfor det området der den gamle slamdammen lå (st.2) er det montert en 90 graders profil på drenerøret der det munner ut i en stakekum. Ved begge stasjoner er overløpshøyden avlest manuelt ved hver prøvetaking. Vannføringen er beregnet i h.h.t. Otnes og Ræstad (1971). Profilene er ikke kalibrert, slik at beregnede vannføringer er usikre, spesielt ved store vannføringer. Om våren forekommer det ofte at profilene er oversvømmet og at drenerørsystemet ikke har kunnet ta unna hele vannføringen i flomperioder.

I Folla oppstrøms Follshaugmoen ble det montert en limnigraf med elektronisk vannstandsregistrering i oktober 1997. Tidligere har en ikke kunnet oppgi pålitelige vannføringer her, noe som har vært et savn i forbindelse med transportvurderinger. Limnigrafen er plassert ved Brandsnes under bru over Folla til flyplassen ved Grimsmoen (kartref. 558879). Limnigrafen er montert, kalibrert og drevet av NVE. Stasjon Fo7, Follshaugmoen ligger ca. 4 km nedstrøms limnigrafstasjonen. I de beregninger som er gjort senere i denne rapporten har vi forutsatt at vannføringen er den samme ved Follshaugmoen som ved Grimsmoen da vi antar at nedbørfeltet som drenerer til elvestrekningen mellom Grimsmoen og Follshaugmoen er uten vesentlig betydning i denne sammenheng.

Folla er ca. 108 km lang og har et nedbørfelt på 2170 km². Hvis en benytter en avrenningskoeffisient på 11,2 l · s⁻¹ · km⁻² (NVE, 1987 ved Husom), blir normal middelavrenning 24,3 m³/s ved Alvdal der Folla løper sammen med Glåma. Ved limnigrafstasjonen ved Grimsmoen er nedbørfeltets areal beregnet til 623,2 km². Normal middelavrenning kan her beregnes på tilsvarende måte til 7,0 m³/s. Figur 1 viser forløpet av vannføringsregistreringene ved Grimsmoen i 1999. Prøvetakingstidspunktene er markert på figuren.

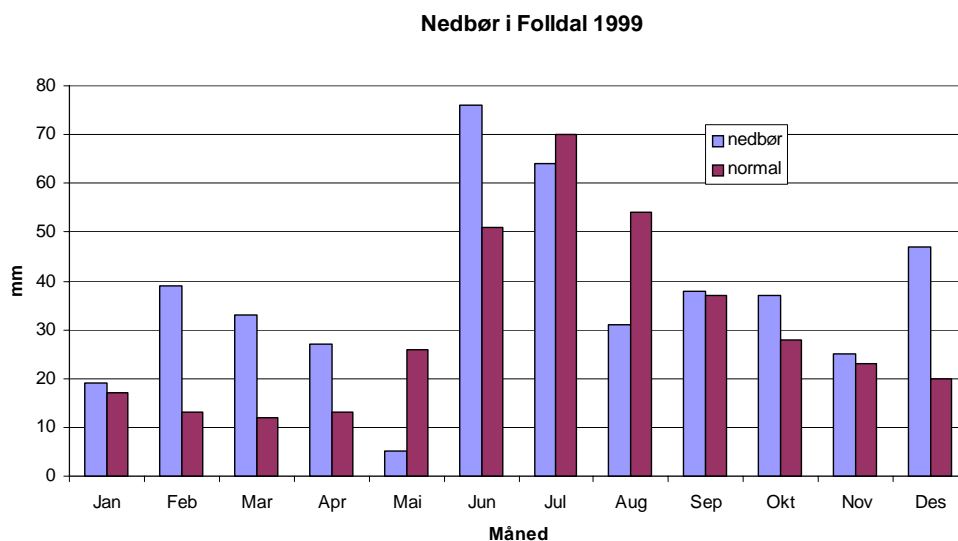


Figur 1. Vannføring i Folla nedenfor Folldal sentrum i 1999.

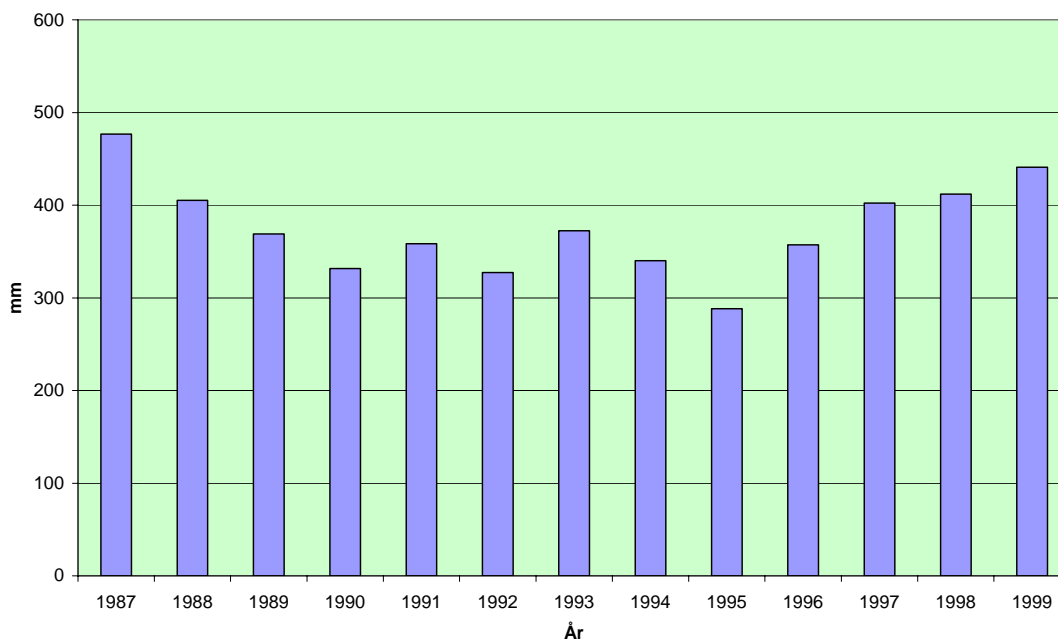
Vårflommen i Folla starter vanligvis i begynnelsen av mai måned med en flomtopp omkring 15.mai, noe som også skjedde i 1999. Det var også en mindre flomperiode omkring 1.april. Selve flomtoppen var av kortvarig karakter. Mot slutten av mai falt vannføringen raskt. Den kortvarige vårflommen har trolig sammenheng med at det falt uvanlig lite nedbør i mai måned (se tabell 1 og figur 2). Året som helhet var nedbørrikt idet det falt 121 % nedbør i forhold til et normalår.

Tabell 1. Månedlige nedbørhøyder ved den meteorologiske målestasjonen i Folldal i 1999.

Måned	Nedbør	Normal 1961-90	Avvik %
Jan	19	17	109
Feb	39	13	298
Mar	33	12	273
Apr	27	13	207
Mai	5	26	19
Jun	76	51	149
Jul	64	70	91
Aug	31	54	57
Sep	38	37	104
Okt	37	28	131
Nov	25	23	107
Des	47	20	236
Året	441	364	121



Figur 2. Månedsnedbør ved den meteorologiske målestasjonen i Folldal i 1999.



Figur 3. Årlige nedbørhøyder i Folldal 1987-1999. Normalår = 364 mm.

Ved hjelp av normal middelavrenning på $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$ og nedbørhøyder i prosent av normalen er det i tabell 2 gjort en beregning av middel vannføringer i Folla ved Grimsmoen. For de to siste år er også tatt med middel vannføring og årsavrenning som er beregnet på grunnlag av vannføringsobservasjonene ved limnigrafstasjonen på Grimsmoen.

Tabell 2. Middelvannføringer i Folla ved Grimsmoen 1987- 1999.

År	Nedbør i % av normal	Beregnet middelvannføring m ³ /s	Målt middelvannføring m ³ /s	Målt avrenning m ³ /år
1987	131	9,17		
1988	111	7,77		
1989	101	7,07		
1990	91	6,37		
1991	98	6,86		
1992	90	6,30		
1993	102	7,14		
1994	93	6,51		
1995	79	5,53		
1996	98	6,86		
1997	111	7,77		
1998	113	7,91	8,05	253 869 120
1999	121	8,47	7,21	227 457 504

3. Vannkvalitet

3.1 Undersøkellesprogram

Tabell 3 gir en oversikt over prøvetakingsstasjonene som har vært benyttet i undersøkelsesprogrammet.

Tabell 3. Prøvetakingsstasjoner for undersøkelser av avrenning fra Folldal sentrum

St. nr.	Navn	Frekvens	UTM koordinater 32 V NP	GSM posisjon
1	Gruvevann utløp stoll 2	1 x mnd.		N 62° 08,383'; E 09° 59,310'
2	Utløp drensledning ved gamle slamdam	1 x mnd.		N 62° 07,995'; E 09° 58,456'
Fo7	Folla ved Follshaugmoen	1 x mnd.	597901	

Ved valg av analyseprogram er det lagt mest vekt på parametre som har tilknytning til de forvitningsprodukter som dannes i gruver og gruveavfall (tungmetaller, sulfat). I tillegg er tatt med pH og konduktivitet som gir informasjon om generell vannkvalitet og innhold av salter. Ved analyse av metaller og svovel er benyttet atomemisjonsteknikk (ICP). Ved analyse av drensvannet er benyttet vanlig ICP-teknikk, mens prøvene fra Folla er analysert v.h.a. ICP-teknikk med massespektrometer som detektor (ICP-MS). Alle analysene er utført ved NIVA.

3.2 Folla ved Follshaugmoen, stasjon Fo7

Stasjonen ved Follshaugmoen ble opprettet i 1966 i forbindelse med kartlegging av effektene av tilførselene fra gruvevirksomheten i Folldal sentrum som på det tidspunkt ennå var igang. Vi viser til sluttrapporten for Folldal Verk fra 1999 (Iversen et al, 1999) der det er gjort en samlet fremstilling av analysematerialiet for stasjonen for perioden 1970-1998. Fra og med 1984 er det tatt prøver ved denne stasjonen regelmessig en gang pr. måned.

Etter at Miljøsikringsfondet overtok ansvaret for oppfølging av vannkvaliteten i Folla, ble analyseprogrammet noe forenklet i 1999 til å omfatte de viktigste tungmetaller, samt pH, konduktivitet og sulfat. Hensikten med denne stasjonen er å kontrollere endringer i vannkvaliteten i Folla etter tiltakene som ble gjennomført i 1994. Analyseresultatene for 1999 er samlet i tabell 4, mens tabell 5 gir en oversikt over beregnede tidsveiede middelerverdier for de viktigste analyseparametre for årene 1984-1999.

Tabell 4. Analyseresultater. Fo7 Folla ved Follshaugmoen 1999.

Dato	pH	Kond mS/m	SO ₄ mg/l	Fe µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Cd µg/l	Vannf kbn/s
04.01.99	7,24	11,80	14,4	967	58,5	78,9	0,21	1,6
01.02.99	7,15	12,10	14,9	705	47,9	76,2	0,25	1,6
03.03.99	7,18	13,00	15,4	770	54,6	91,3	0,24	1,6
31.03.99	7,10	12,70	15,8	940	65,7	87,0	0,13	7,3
03.05.99	7,23	8,56	12,7	1275	69,9	78,3	0,18	8,48
01.06.99	7,13	5,31	6,0	500	20,2	27,9	0,11	21,29
01.07.99	7,35	3,71	6,2	359	28,7	37,4	0,14	10,77
02.08.99	7,43	8,74	11,8	540	44,2	53,6	0,15	5,36
01.09.99	7,63	9,78	12,2	576	46,0	66,0	0,17	3,10
30.09.99	7,57	9,23	10,9	376	39,0	53,0	0,16	3,53
01.11.99	7,38	9,64	12,2	480	43,0	59,0	0,18	2,97
06.12.99	7,28	11,10	13,7	430	40,0	68,0	0,14	1,5
Gj.snitt	7,31	9,64	12,2	660	46,5	64,7	0,17	5,8
Maks.verdi	7,63	13,00	15,8	1275	69,9	91,3	0,25	21,3
Min.verdi	7,10	3,71	6,0	359	20,2	27,9	0,11	1,5

Tabell 5. Tidsveiede årsmiddelverdier. Fo7 Folla ved Follshaugmoen.

År	pH	Kond mS/m	SO ₄ mg/l	Fe µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Cd µg/l
1984	7,33	16,94	50,5	320	25,8	75,3	0,16
1985	7,17	16,14	42,7	773	61,1	115,8	0,47
1986	7,40	19,66	55,1	629	47,2	94,0	0,33
1987	7,21	17,48	46,8	453	36,1	89,1	0,28
1988	7,30	17,07	42,1	712	57,2	118,4	0,36
1989	7,26	14,98	34,3	858	43,0	85,3	0,22
1990	7,37	15,23	36,3	532	33,6	74,5	0,22
1991	7,32	18,98	46,0	408	20,4	62,3	0,14
1992	7,28	17,84	43,3	663	40,6	90,8	0,20
1993	7,21	15,18	34,6	667	39,8	70,1	0,23
1994	7,20	10,48	14,2	879	59,9	72,4	0,25
1995	7,31	10,73	14,2	973	64,9	81,8	0,34
1996	7,24	10,20	13,1	402	25,2	51,4	0,17
1997	7,30	9,40	12,1	548	45,2	65,7	0,21
1998	7,49	9,49	13,0	688	49,3	67,9	0,23
1999	7,31	9,59	12,1	639	45,8	64,2	0,17

Resultatene viser som i tidligere år at de sterkt sure tilførselene fra gruveområdet i Follidal sentrum ikke har noen merkbar effekt på pH-verdien i Folla. Dette betyr at Folla har tilstrekkelig bufferkapasitet til å nøytralisere disse tilførselene. Når det gjelder tungmetallene, er det ingen endringer av betydning når det gjelder nivåene i tiden etter 1994 da tiltakene ble avsluttet. Da oppredningsverket på Tverrfjellet var i drift, medførte dette bl.a. store utslipp av sulfat. Utslippene herfra påvirket vannkvaliteten i hele vassdraget når det gjaldt sulfat og kalsium. En ser av resultatene for perioden fra og med 1994 at sulfat- og kalsiumnivåene er betydelig lavere enn i årene før. Sulfat vil også gi informasjon om endringer i forurensningstilførselene fra Follidal sentrum. I årene før 1994 var bakgrunnsnivåene såvidt høye p.g.a utslippene fra Tverrfjellet at sulfat var lite egnet til å vurdere betydningen av bidragene fra Follidal sentrum. I tiden etter 1994 har det vært en svak reduksjon i sulfatnivåene. Dette kan tyde på at forurensningstilførselene fra Follidal sentrum er avtakende. En vil sannsynligvis merke eventuelle endringer tidligst på sink- og sulfatnivåene da disse komponenter er mer mobile enn kobber og sink.

Når sinknivåene ennå ikke er lavere enn i tiden før tiltakene ble gjennomført, kan dette ha sammenheng med at tiltakene medførte en midlertidig økning i forurensningstilførslene fra området da det ikke var mulig å fjerne alt avfallet. I tillegg ble nye flater avdekket og utsatt for oksidasjon og utvasking. Det kan erfaringsmessig ta flere år før en ny likevekt innstiller seg i et slikt område.

3.3 Folldal sentrum

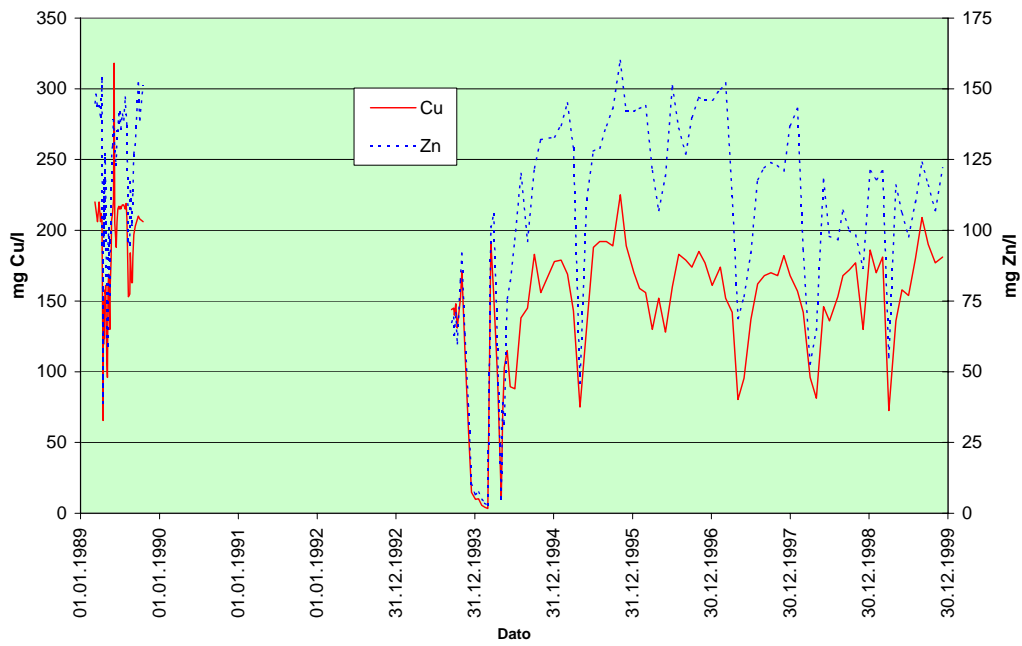
3.3.1 Stasjon 1. Gruvevann, utløp stoll 2

Analyseresultatene for 1999 er samlet i tabell 7. I tabell 6 er beregnet årlige middelveidier for de viktigste komponenter i gruvevannet. Resultatene for 1999 viser som før at vannkvaliteten er sterkt sur og med et meget høyt innhold av oppløste salter (forvittringsprodukter). En legger spesielt merke til at jern- og sulfatkonsentrasjonene er svært høye, noe som tyder på at forvittringsprosessene i gruva har et betydelig omfang. Vannet er brunfarget, noe som viser at mesteparten av jernet er i treverdig form. Dette viser at det er god tilgang på luft til gruva. Det har vært ubetydelige endringer i vannkvalitet i løpet av de ti siste år. De variasjoner som kan påvises har trolig sammenheng med nedbør og klima.

Tabell 6. Stasjon 1 Folldal sentrum Gruvevann utløp Stoll 2. Middelveidier.

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
1989	2,57	781					2144	180	119	0,44					1,79
1993	2,41	603	7328	286	349	282	1548	122	62	0,25	8,87	1,03	2,63	43,5	0,25
1994	2,65	513	5421	195	271	218	1191	87	61	0,25	7,66	0,86	1,96	30,5	0,73
1995	2,57	900	10790	343	528	413	2659	171	128	0,47	14,0	1,33	3,54	58,3	1,12
1996	2,59	888	11070	336	586	442	2655	163	135	0,19	14,3	1,19	3,79	55,5	0,32
1997	2,54	834	10540	315	532	396	2293	149	117	0,29	12,3	1,18	3,02	52,3	0,86
1998	2,57	773	9300	298	466	352	2095	144	100	0,38	10,5	0,97	2,95	43,8	1,66
1999	2,65	827	10072	301	503	381	2178	166	109	0,44	11,3	1,05	3,22	44,7	0,89

Figur 4 gir en grafisk fremstilling av hele analyse materialet for kobber og sink i perioden 1989-1999 for stoll 2.



Figur 4. Kobber- og sinkkonsentrasjoner ved st.1 (stoll 2) 1989-1999.

Tabell 7. Analyseresultater 1999. Stasjon 1 Folldal sentrum. Gruvevann Stoll 2.

Dato	pH	Kond mS/m	SO₄ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l	Vannf l/s
04.01.1999	2,69	909	10599	311	553	419	2190	186	121	0,48	12,9	1,24	3,47	46,2	0,33
01.02.1999	2,73	863	10240	297	551	410	2200	170	118	0,44	12,5	1,12	3,31	44,4	0,33
03.03.1999	2,70	926	11467	328	577	417	2490	181	121	0,48	12,5	1,24	3,60	47,0	0,23
31.03.1999	2,73	498	4910	178	255	183	1090	72,6	55	0,19	6,0	0,47	1,64	23,2	0,80
03.05.1999	2,70	842	10479	300	509	357	2520	136	116	0,43	11,6	1,03	3,21	45,5	3,90
01.06.1999	2,60	834	9701	295	500	361	2430	158	106	0,42	10,8	0,90	3,07	46,0	1,52
01.07.1999	2,57	756	9192	293	455	340	2110	154	97,7	0,41	10,5	0,97	3,03	46,1	1,01
02.08.1999	2,62	851	10479	317	503	392	2180	180	110	0,50	8,2	1,04	3,25	48,4	0,80
01.09.1999	2,63	868	11667	330	550	427	2410	209	124	0,50	13,0	1,16	3,70	48,1	0,46
30.09.1999	2,57	906	10898	305	532	413	2230	190	116	0,46	12,3	1,13	3,43	44,3	0,46
01.11.1999	2,61	827	10419	324	495	409	2110	177	107	0,43	12,0	1,13	3,37	48,8	0,46
06.12.1999	2,66	841	10808	332	561	444	2170	181	122	0,50	12,9	1,22	3,57	48,9	0,33
Gj.snitt	2,65	827	10072	301	503	381	2178	166	109	0,44	11,3	1,05	3,22	44,74	0,89
Std.avvik	0,06	113	1759	41	86	70	373	35,0	18,9	0,08	2,2	0,21	0,54	6,97	1,02
Maks.verdi	2,73	926	11667	332	577	444	2520	209	124	0,50	13,0	1,24	3,70	48,90	3,90
Min.verdi	2,57	498	4910	178	255	183	1090	72,6	55,0	0,19	6,0	0,47	1,64	23,20	0,23

Tabell 8. Analyseresultater 1999. Stasjon 2 Folldal sentrum. Drensledning nedenfor gamle slamdam.

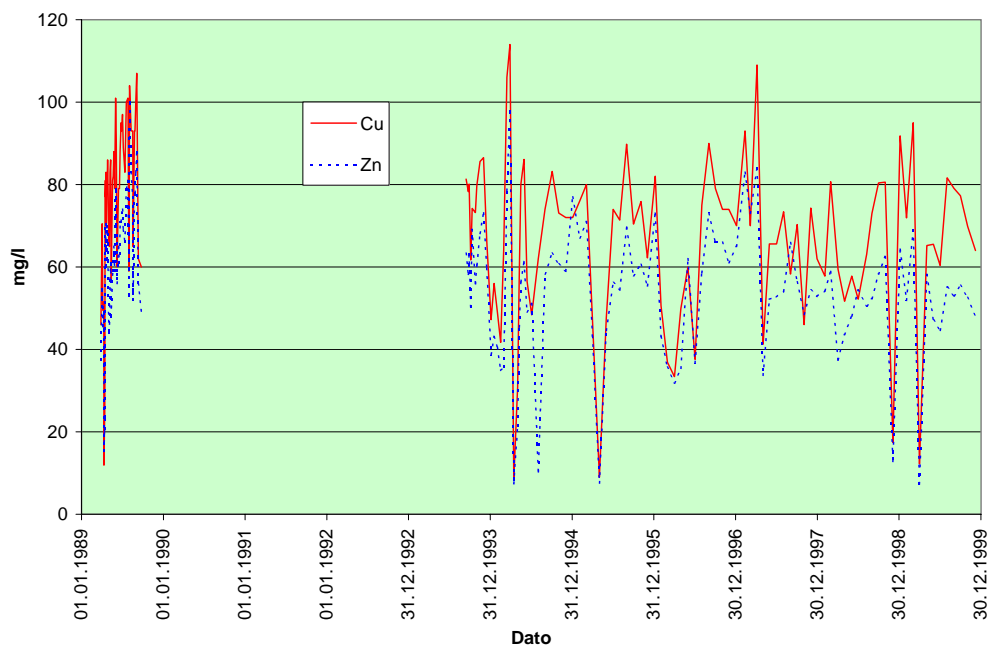
Dato	pH	Kond mS/m	SO ₄ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l	Vannf l/s
04.01.1999	2,70	524	5240	221	280	220	827	91,8	64,3	0,24	8,95	0,78	1,89	31,30	1,01
01.02.1999	2,64	453	4341	187	238	179	832	71,9	51,9	0,19	7,09	0,58	1,49	24,70	1,25
03.03.1999	2,71	583	6347	244	325	239	1230	95,0	69,0	0,28	9,21	0,84	2,11	30,60	0,61
31.03.1999	2,78	199	922	54,4	40,7	34,0	180	12,2	7,32	0,03	1,28	0,09	0,32	3,48	6,00
03.05.1999	2,65	516	5329	191	269	207	1210	65,2	58,2	0,20	5,17	0,50	1,47	26,60	8,00
01.06.1999	2,63	448	3982	170	209	161	1100	65,5	47,1	0,18	6,05	0,51	1,37	23,40	4,40
01.07.1999	2,51	414	3653	174	186	150	661	60,4	44,6	0,18	5,91	0,51	1,31	24,80	4,40
02.08.1999	2,56	484	4820	195	230	193	930	81,6	55,1	0,24	5,80	0,62	1,63	29,10	3,41
01.09.1999	2,58	466	4697	193	224	186	841	79,1	53,0	0,21	7,17	0,62	1,60	27,30	2,17
30.09.1999	2,55	464	4700	203	234	200	760	77,3	55,5	0,21	8,21	0,69	1,62	28,20	2,17
01.11.1999	2,63	445	4251	201	218	189	725	69,9	52,6	0,20	8,03	0,64	1,53	28,20	2,55
06.12.1999	2,72	406	4012	186	209	173	558	64,0	48,1	0,18	6,72	0,59	1,41	24,90	1,52
Gj.snitt	2,64	450	4358	185	222	178	821	69,5	50,6	0,20	6,63	0,58	1,48	25,22	3,12
Std.avvik	0,08	93	1304	46	68	51	290	21,1	15,3	0,06	2,12	0,19	0,43	7,27	2,22
Maks.verdi	2,78	583	6347	244	325	239	1230	95,0	69,0	0,28	9,21	0,84	2,11	31,30	8,00
Min.verdi	2,51	199	922	54,4	40,7	34,0	180	12,2	7,32	0,03	1,28	0,09	0,32	3,48	0,61

3.3.2 Stasjon 2. Drenslledning nedenfor gamle slamdam

Analyseresultatene for 1999 er samlet i tabell 8, mens tabell 9 gir en oversikt over beregnede årlige middelveier for de viktigste komponenter i drensvannet. Vannkvaliteten ved denne stasjonen er dominert av det største enkeltbidraget, gruvevannet fra stoll 2. Vannet er stekt surt (se forsidebildet), men innholdet av oppløste salter er lavere enn ved stoll 2. Dette skyldes at drenslledningen også mottar en del overflatevann som er mindre forurenset enn gruvevannet. Figur 5 viser grafisk alle kobber- og sinkobservasjoner i perioden 1989-1999. Resultatene ved utgangen av 1999 tyder ikke på at det har skjedd store endringer i vannkvaliteten i løpet av de siste 10 år.

Tabell 9. Stasjon 2 Folldal sentrum. Drenslledning nedenfor gamle slamdam. Middelveier.

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
1989	2,73	413					799	75,4	60,9	0,23					6,59
1993	2,60	434	4155	216	233	182	766	76,7	62,1	0,24	8,65	0,73	1,58	34,2	
1994	2,63	407	3632	175	193	150	744	63,7	48,0	0,19	6,76	0,59	1,28	23,7	4,70
1995	2,61	430	4180	188	209	183	786	64,6	55,4	0,20	7,57	0,79	1,43	28,7	1,15
1996	2,61	425	3612	198	207	164	677	61,9	53,5	0,12	8,11	0,57	1,32	26,3	1,54
1997	2,59	462	4462	226	243	190	808	69,7	60,2	0,16	8,97	0,71	1,45	30,6	2,19
1998	2,60	391	3880	193	185	159	701	61,4	48,8	0,18	6,44	0,52	1,33	24,0	4,08
1999	2,64	450	4358	185	222	178	821	69,5	50,6	0,20	6,63	0,58	1,48	25,2	3,12



Figur 5. Kobber- og sinkkonsentrasjoner ved st. 2 gamle slamdam 1989-1999.

4. Forurensningstransport

Ved hjelp av vannføringsobservasjon og analyseverdi kan den momentane materialtransport beregnes. I tabell 10 og tabell 11 er gjort en beregning av døgntransport for de viktigste forurensningskomponenter ved stasjonene i gruveområdet. En ser at transporten er størst om våren. Som nevnt foran er vannføringsobservasjonene ved store vannføringer meget usikre og tildels fastsatt etter beste skjønn fordi måleprofilene var oversvømmet. Når en vet at store deler av årstransporten foregår om våren, må en derfor ta en del forbehold når det gjelder beregnet årstransport for disse to stasjoner. I så små nedbørfelter som det her er snakk om har en erfaringer fra andre områder som f.eks i Nordgruvefeltet på Røros, at det er nødvendig med daglige vannføringsobservasjoner etter samme opplegg som for Follshaugmoen for å kunne beregne årsavrenningen. Dette skyldes at vannføringen kan endre seg svært mye fra døgn til døgn og mye mer enn endringene i analyseverdiene. Det er derfor viktig å prioritere vannføringsmålingene dersom en ønsker å foreta en beregning av årstransporten.

Tabell 10. Døgntransport av forurensningskomponenter ved st.1, stoll 2 i 1999.

Dato	SO ₄ kg/døgn	Fe kg/døgn	Cu kg/døgn	Zn kg/døgn	Cd g/døgn
04.01.99	302	62	5,3	3,4	13,7
01.02.99	292	63	4,8	3,4	12,5
03.03.99	228	49	3,6	2,4	9,5
31.03.99	339	75	5,0	3,8	13,1
03.05.99	3531	849	45,8	39,1	144,9
01.06.99	1274	319	20,7	13,9	55,2
01.07.99	802	184	13,4	8,5	35,8
02.08.99	724	151	12,4	7,6	34,6
01.09.99	464	96	8,3	4,9	19,9
30.09.99	433	89	7,6	4,6	18,3
01.11.99	414	84	7,0	4,3	17,1
06.12.99	308	62	5,2	3,5	14,3
Gj.snitt	761	174	11,8	8,4	32,8

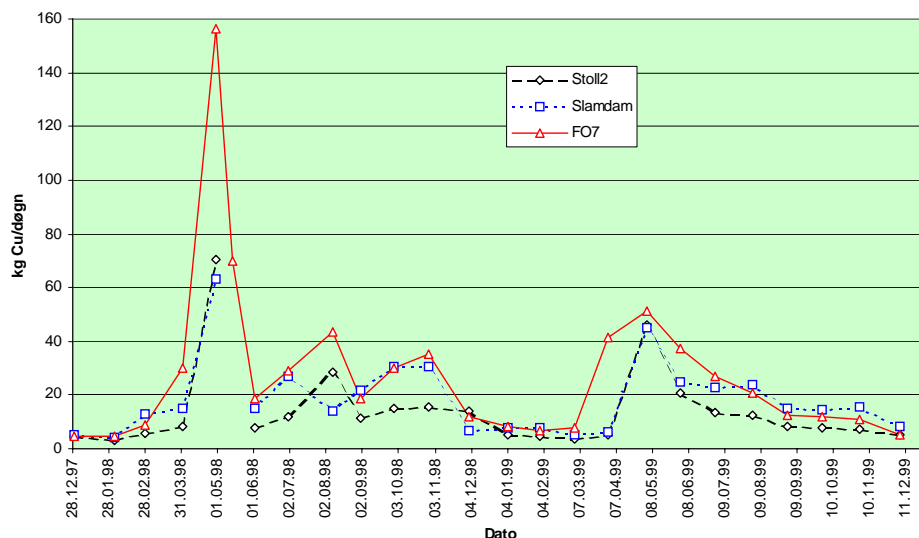
Tabell 11. Døgntransport av forurensningskomponenter ved st.2, gamle slamdam i 1999.

Dato	SO ₄ kg/døgn	Fe kg/døgn	Cu kg/døgn	Zn kg/døgn	Cd g/døgn
04.01.99	457	72	8,0	5,6	20,9
01.02.99	469	90	7,8	5,6	20,5
03.03.99	335	65	5,0	3,6	14,8
31.03.99	478	93	6,3	3,8	15,6
03.05.99	3683	836	45,1	40,2	138,2
01.06.99	1514	418	24,9	17,9	68,4
01.07.99	1389	251	23,0	17,0	68,4
02.08.99	1420	274	24,0	16,2	70,7
01.09.99	881	158	14,8	9,9	39,4
30.09.99	881	142	14,5	10,4	39,4
01.11.99	937	160	15,4	11,6	44,1
06.12.99	527	73	8,4	6,3	23,6
Middel	1031	209	15,7	11,8	45,0

Ved stasjonen ved Follshaugmoen er beregningene (se tabell 12) mer pålitelige da en nå har gode og daglige vannføringsobservasjoner ved Grimsmoen. Av tabellen ser en som for stasjonene i gruveområdet at store deler av årstransporten foregår om våren.

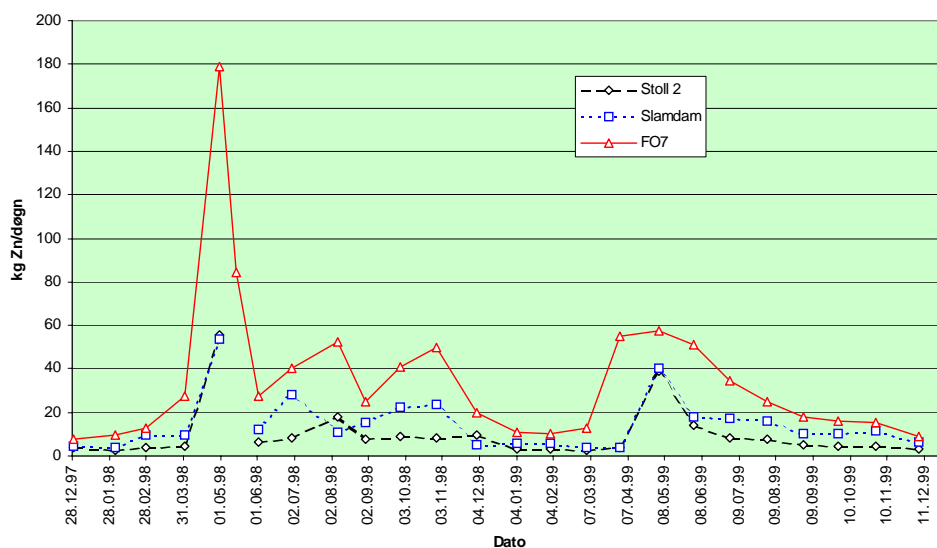
Tabell 12. Døgntransport av forurensningskomponenter ved stasjon Fo7 Follshaugmoen i 1999.

Dato	SO ₄ kg/døgn	Fe kg/døgn	Cu kg/døgn	Zn kg/døgn	Cd g/døgn
04.01.99	1991	134	8,1	10,9	28,9
01.02.99	2060	97	6,6	10,5	34,4
03.03.99	2129	106	7,5	12,6	32,9
31.03.99	9965	593	41,4	54,9	82,0
03.05.99	9305	934	51,2	57,4	128,2
01.06.99	11037	920	37,2	51,3	193,1
01.07.99	5769	334	26,7	34,8	130,3
02.08.99	5465	250	20,5	24,8	69,5
01.09.99	3268	154	12,3	17,7	45,5
30.09.99	3324	115	11,9	16,2	48,8
01.11.99	3131	123	11,0	15,1	46,2
06.12.99	1776	56	5,2	8,8	18,1
Middel	4935	304	19,3	25,7	71,5

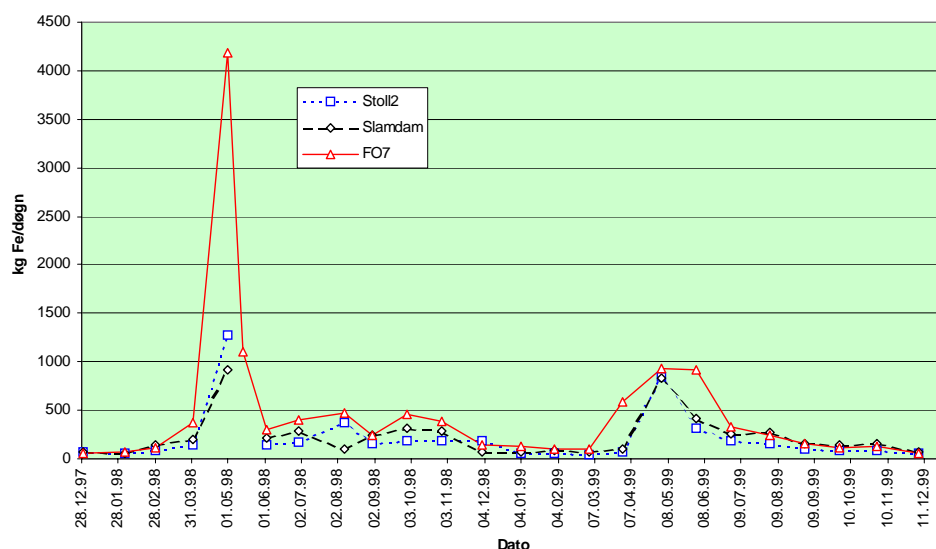


Figur 6. Kobbertransport i 1998 og 1999 ved st.1, st.2 og Fo7.

I figur 6, figur 7 og figur 8 er døgntransporten for kobber, sink og jern avbildet grafisk for årene 1998 og 1999. Figurene viser at ved lave vannføringer om vinteren og etter vårflommen er det god overensstemmelse mellom observert transport ved st.2 og i Folla ved stasjon Fo7. Dette betyr at tilførselen fra drens-systemet betyr svært mye for hva som observeres i Folla. Under vårflommen kan det observeres et avvik mellom beregnet transport ved st. 2 og transporten ved stasjon Fo7. Dette tyder på at drens-systemet ikke greier å fange opp all avrenning fra gruveområdet. I 1998 ble det også foretatt målinger av hva som blir fanget opp i drens-systemet som kommer ut i Folla ved Gammelelva (st.3). Det ble funnet at bidraget via dette systemet var ubetydelig.



Figur 7. Sinktransport i 1998 og 1999 ved st.1, st.2 og Fo7.



Figur 8. Jerntransport i 1998 og 1999 ved st.1, st.2 og Fo7.

I tabell 13, tabell 14 og tabell 15 er beregnet årstransporten av kobber sink og jern ved de tre stasjoner. Transporten ved stasjonene i gruveområdet er beregnet ved å summere tidsveiede døgntransportverdier for året, mens transporten i Folla i 1998 og 1999 er beregnet v.h.a. samlet avrenning (sum av målte døgnvannføringer) og tidsveiet middelerverdi for den enkelte analysevariabel. Før 1998 er vannføringen i Folla anslått v.h.a normal middelerverdi korrigeret for årsnedbøren. Denne måten å beregne transport på er usikker. Tallene for 1998 og 1999 vurderes som de mest pålitelige. Resultatene viser at det kan være forholdsvis store variasjoner fra år til år. Dette har sammenheng med nedbør og klima. Forvitringen pågår hele året, mens utvasking av forvitningsprodukter er avhengig av nedbør og klima.

Tabell 13. Årstransport fra Folldal sentrum ved st.1 stoll 2.

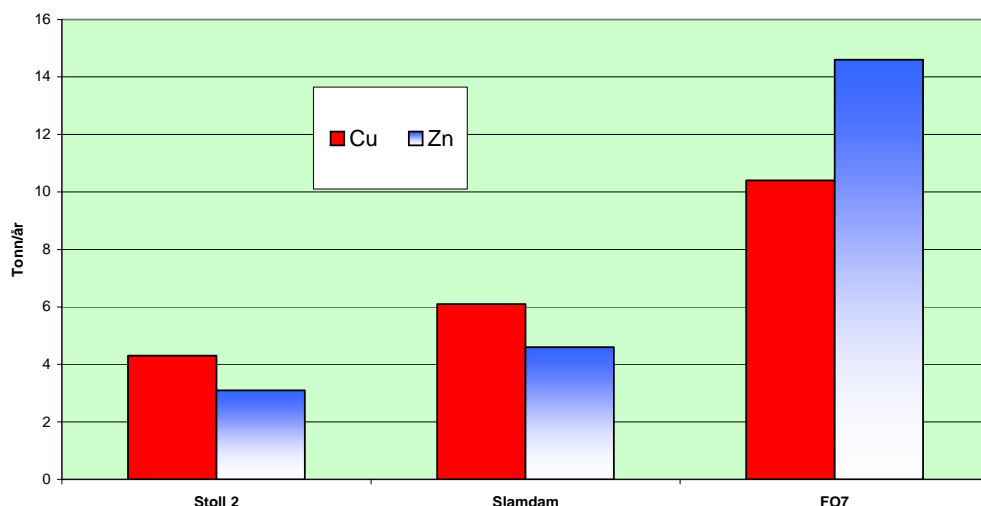
År	Kobber tonn/år	Sink tonn/år	Jern tonn/år	Kadmium kg/år	Sulfat tonn/år
1985	14,6	10,5	188,0	33,6	892
1989	7,5	5,3	107,0	17,6	
1994	2,7	2,1	40,2	7,6	169
1995	4,4	3,3	79,0	12,9	310
1996	1,7	1,4	28,4	2,0	119
1997	3,3	2,5	52,4	7,3	238
1998	6,2	4,3	94,7	17,2	422
1999	4,3	3,1	64,4	12	282

Tabell 14. Årstransport fra Folldal sentrum ved st.2 gamle slamdam.

År	Kobber tonn/år	Sink tonn/år	Jern tonn/år	Kadmium kg/år	Sulfat tonn/år
1985	16,9	13,1	209,0	42,9	1070
1989	7,8	6,3	88,6	24,0	
1994	6,7	5,3	75,9	21,5	387
1995	7,6	6,7	99,9	20,9	719
1996	3,2	2,8	33,2	6,3	186
1997	4,3	3,5	48,8	8,5	269
1998	7,6	6,1	89,0	24,0	476
1999	6,1	4,6	80,6	17,3	399

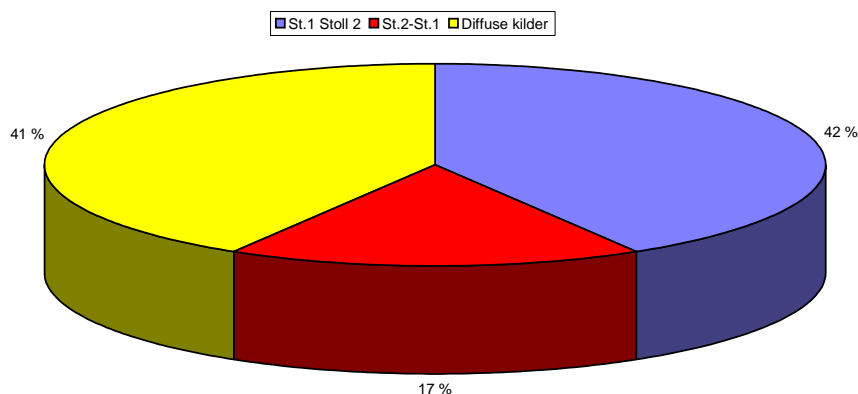
Tabell 15. Årstransport i Folla ved stasjon Fo7 Follshaugmoen.

År	Cu tonn/år	Zn tonn/år	Fe tonn/år	Cd kg/år	SO ₄ tonn/år
1987	10,4	25,8	131,0	81,0	13534
1988	14,0	29,0	174,5	88,2	10316
1989	9,6	19,0	191,3	49,1	7648
1990	6,7	15,0	106,9	44,2	7292
1991	4,4	13,5	88,3	30,3	9952
1992	8,1	18,0	131,7	39,7	8603
1993	9,0	15,8	150,2	51,8	7791
1994	12,3	14,9	180,5	51,3	2915
1995	11,3	14,3	169,7	59,3	2476
1996	5,5	11,1	87,0	36,8	2834
1997	11,1	16,1	134,3	51,5	2965
1998	12,3	16,9	171,6	57,4	3300
1999	10,4	14,6	145,3	38,7	2752

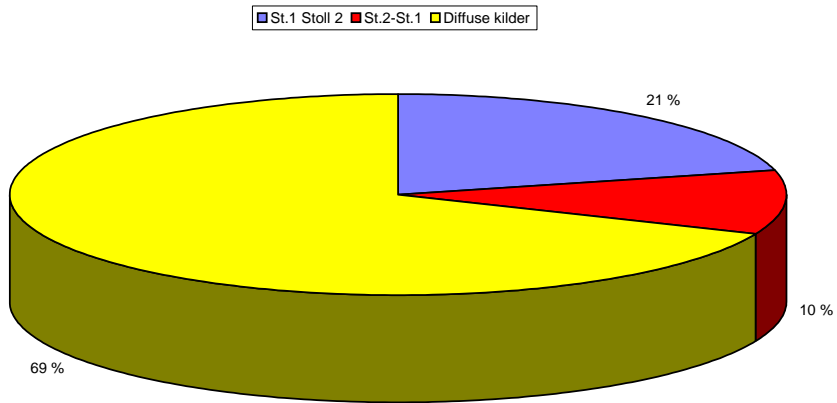


Figur 9. Årstransport for kobber og sink ved målestasjonene i 1999.

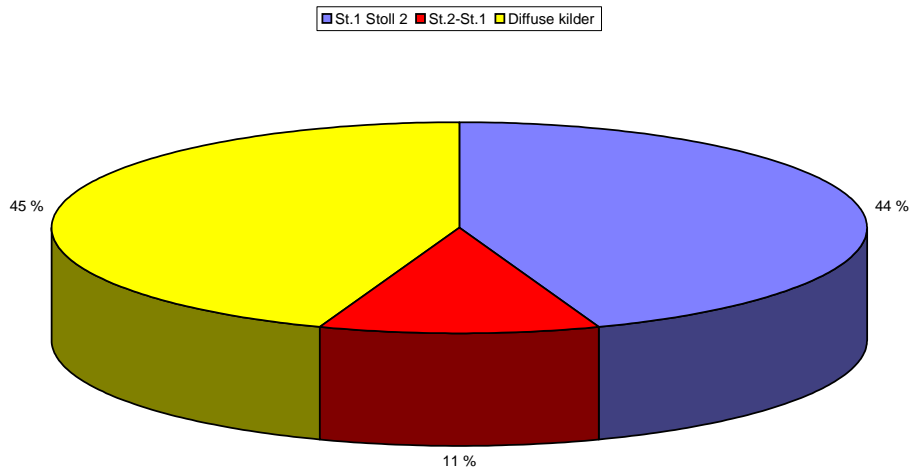
I figur 9 er fremstilt grafisk årstransporten for kobber og sink for de tre målestasjonene i 1999. Figuren viser som tidligere nevnt at tilførslene fra stoll 2 betyr mest for hva som slippes ut til Folla gjennom dreneringsystemet. Videre ser en også at transporten i Folla nedstrøms gruveområdet er vesentlig større enn hva en kan gjøre rede for ved utløpet av dreningssystemet. Dette betyr at deler av avrenningen fra gruveområdet ikke fanges opp av dreneringssystemet. Ved å sammenligne forholdet mellom kobber- og sinktransport ved målestasjonene ser en dette tydelig. Normalt skulle en finne samme forhold ved Fo7 som ved st.2 slamdam dersom st.2 hadde vært eneste forurensningskilde. Ved Fo7 er kobbertransporten mindre enn sinktransporten, mens for transporten i gruveområdet er det omvendt. Dette skyldes at betydelige deler av avrenningen fra området foregår gjennom grunnen. Her er sink (og sulfat) mer mobilt enn kobber (og treverdige jern). Samlet kobberavrenning ved kildene var derfor sannsynligvis større enn 16 tonn i 1999.



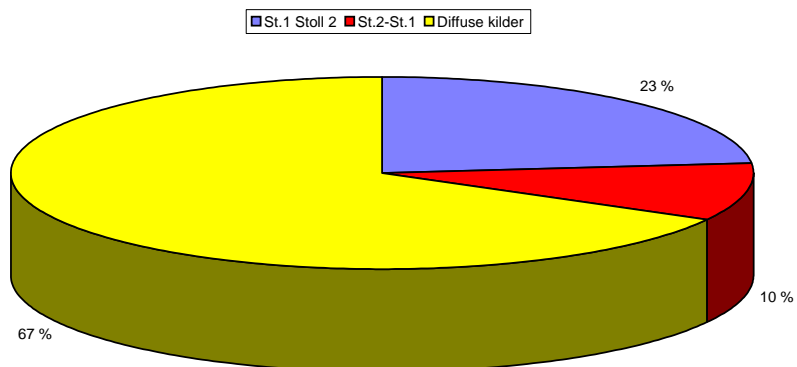
Figur 10. %-vis fordeling av kobbertransport på de enkelte kilder i 1999.



Figur 11. %-vis fordeling av sinktransport på de enkelte kilder i 1999.



Figur 12. %-vis fordeling av jerntransport på de enkelte kilder i 1999.



Figur 13. %-vis fordeling av sulfattransport på de enkelte kilder i 1999.

Dersom en kaller differansen i transport mellom Fo7 og st.2 for diffuse kilder og differansen mellom st.2 og st.1 for tilsig på dreneringsystemet, er det i figur 10, figur 11, figur 12 og figur 13 gjort en fremstilling av hvordan årstransporten av kobber, sink, jern og sulfat fordelte seg på de enkelte kilder i 1999 i % av total transport observert ved stasjon Fo7.

En ser at den transport som dreneringsystemet bidrar med utgjør omkring 55-60 % av jern- og kobbertransporten ved Follshaugmoen. Når det gjelder sink og sulfat ser en at de diffuse kilder betyr mest. Ved beregning av sulfattransporten har en trukket fra et naturlig bakgrunnsnivå på 6,8 mg SO₄/l ved stasjon Fo5, Skytebanen (middelverdi 1994-1998). Det må presiseres at disse beregningene er usikre. Transporten på dreneringsystemet kan være underestimert da en har dårlige vannføringsobservasjoner i den perioden av året da transporten er størst. Det synes likevel klart at betydelige deler av forurensningstransporten fra området skjer gjennom grunnen. Den enkleste måten å beregne denne transporten på vil være å foreta kontinuerlige vannføringsmålinger ved stasjonene 1 og 2. En normal utvikling over tid vil være at tilførslene fra gruveavfallet i dagen (de diffuse kilder) vil avta, mens tilførslene fra gruva vil endre seg lite i overskuelig fremtid. Dette betyr at dersom en har som mål å nå en akseptabel vannkvalitet i Folla m.h.t. kobbernivå (< 10 µg Cu/l) i løpet av de nærmeste år, vil dette målet neppe kunne nås uten ytterligere tiltak som også omfatter gruvevannet.

5. Samlet vurdering

Undersøkelsene som er gjennomført i tiden etter at tiltakene i Folldal sentrum ble avsluttet i 1994 har vist at forurensningstransporten fra området hittil ikke har avtatt nevneverdig. Dette kan ha sammenheng med selve tiltaket. For det første viste det seg at det ikke var realistisk å fjerne alt avfallet i området. Erfaringer fra andre områder har dessuten vist at graving i slike masser kan medføre økt avrenning av forurensningskomponenter i en periode. Når en her har fjernet deler av avfallet, kan det være fare for at nytt avfall som har ligget i ro og hatt begrenset tilgang til luft og vann nå er mer eksponert for slike betingelser. Samtidig som sterkt forurensende avfall ble fjernet kan en ha satt igang en økt avrenning fra det avfallet som ble liggende igjen. Svakt synkende sulfatverdier i Folla nedstrøms Folldal sentrum tyder imidlertid på at forurensningstransporten vil avta over tid. Resultatene hittil tyder på at det kan ta meget lang tid inntil en ny likevekt innstiller seg. Hva slags tilstand en da vil ha i vassdraget er vanskelig å vurdere. En naturlig utvikling vil være at en over tid vil få en redusert forurensningstransport fra avfallet i dagen, mens transporten fra gruva (stoll 2) trolig vil endre seg lite over tid. Sannsynligvis vil tilførslene fra gruva alene være så store at et mål m.h.t. kobber på 10 µg/l i Folla ikke vil kunne nås uten nye tiltak som også omfatter gruvevannet. I deler av året er dessuten tilførslene fra gruva den dominerende forurensningskilde.

En står derfor i dagens situasjon over for et valg. Enten må en akseptere forurensningssituasjonen slik den er eller må en iverksette nye tiltak. Sannsynligvis vil et teknisk rens tiltak være eneste alternativ i dagens situasjon dersom en skal oppnå en umiddelbar effekt i Folla.

Ved Norsk Institutt for Vannforskning har en i de siste år innhentet en del erfaringer bl.a. fra Sverige, Tsjekia, USA og Canada der en har bygget rensanlegg for kjemisk rensing av gruvevann. Vi har sett på bakgrunnen for at en har valgt slike løsninger, prosessvalg og kostnader. Noen av de områdene vi har besøkt er fullt ut sammenlignbare med forholdene i Folldal. Når en hittil ikke har gått inn for denne type tiltak i Norge, har dette sammenheng med ulempene det medfører m.h.t driftskostnader, slamproduksjon, organisering, ansvarsforhold etc. Dette er imidlertid problemer som lar seg løse. Problemene med slamproduksjonen kan løses ved å gjenvinne deler av metallinnholdet. Dersom en skulle velge teknisk rens tiltak i Folldal, vil dette etter vår vurdering ikke være en uvanlig løsning sett i internasjonal sammenheng. Kostnader og muligheter bør utredes nærmere.

Dersom en skulle gå inn for et rens teknisk tiltak, vil det være helt nødvendig å kartlegge spredningsveiene i grunnen nærmere og utrede hvordan dette drens vannet skal samles opp og transporteres til rensanlegget. Selve prosessvalget krever også nærmere utredninger da vanntypen er meget spesiell. Det er også nødvendig å kartlegge flomvannføringene bedre av hensyn til dimensjonering av rensanleggets enheter med fordrøyningsbasseng. Her vil de kontinuerlige registreringene av vannføring være nyttige.

Når det gjelder det løpende overvåkingprogram i området, vil dette fortsatt ha stor nytteverdi, spesielt hvis en skal planlegge nye tiltak. Spesielt har liminigrafstasjonen på Grimsmoen vært meget nyttig. Det er en forutsetning også å måle vannføringen ved stasjonene i gruveområdet med samme presisjon som ved stasjonen i Folla dersom det blir aktuelt å gå innfor et teknisk rens tiltak. En vi derved også få en mye bedre oversikt over hvor stor transporten gjennom grunnen er i området. Automatiske målinger av vannføring i gruveområdet vil kreve mindre inngrep av anleggsmessig art. Måleprofilene må bygges om og det bør settes en målebu over målekummene for plassering av instrumentering samt for å lette adgangen til kummene om vinteren når prøver skal tas. Det er mulig at målepunktet ved den gamle slamdammen (st.2) bør flyttes høyere opp til f.eks kummen like nedenfor veien. Her er det større fall, dessuten er forholdene ikke påvirket av høy vannstand i Folla. Ulempen her er at en ikke får med bidragene fra de drensrør som er lagt ned i området der slamdammen var.

6. Referanser

Iversen, E.R., Grande, M., Aanes, K.J., 1999. Norsulfid AS avd. Folldal Verk. Kontrollundersøkelser etter nedleggelse av driften. NIVA-Rapport. L.nr. 4036-99. O-64120, 28. Mai 1999. 91 s.

Norges Vassdrags- og Energiverk. Vassdragsdirektoratet, Hydrologisk avdeling, 1987. Avrenningskart over Norge.

Otnes, J. og Ræstad, E., 1971. Hydrologi i praksis. Ingeniørforlaget A/S. 343 s.