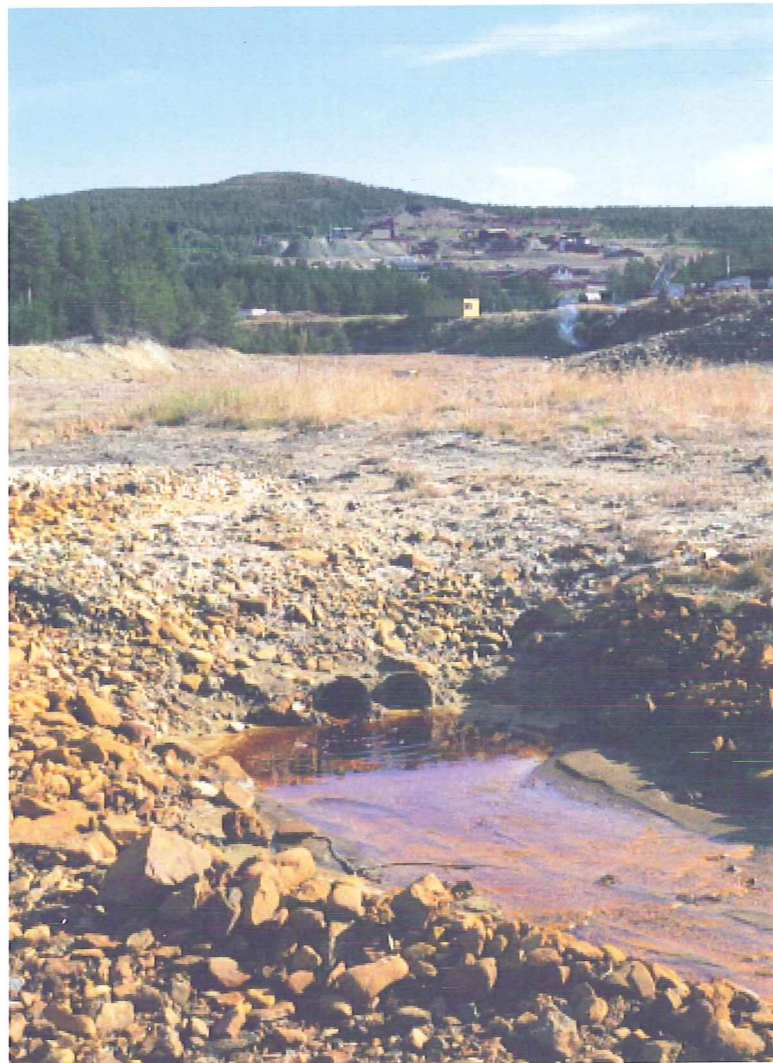


RAPPORT LNR 4498-2002

Miljøsikringsfondet Folldal Verk

Utredning av forurensnings-
begrensende tiltak i gruve-
området i Folldal sentrum



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 Miljøsikringsfondet Folldal Verk Utredning av forurensningsbegrensende tiltak i gruveområdet i Folldal sentrum	Løpenr. (for bestilling) 4498-2002	Dato 2002-03-15	
	Prosjektnr. Undernr. 21711	Sider 60	Pris
Forfatter(e) Iversen, Eigil Rune, NIVA Knudsen, Carl-Henrik, Knudsen Prosjekt AS	Fagområde Miljøteknikk		Distribusjon
	Geografisk område Hedmark		Trykket NIVA 2002

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

Sammendrag

Tungmetallavrenningen fra gruveområdet i Folldal sentrum er idag den største punktkilde blant kisgruvene etter at det er gjennomført tiltak i perioden 1985-1995. Tiltakene som ble gjennomført i gruveområdet i 1992-1994 har hittil ikke gitt tilstrekkelig effekt. Det er nødvendig å gjennomføre ytterligere tiltak for å forbedre tilstanden i Folla og i Glåma. De kulturminneinteressene som knytter seg til gruveområdet i Folldal sentrum begrenser valg av tiltak i betydelig grad. For å tilfredsstille de krav SFT stiller til reduksjoner i tungmetallavrenningen, foreslås to alternative tiltak som begge tar sikte på kjemisk rensing av drens vannet. Det ene tiltaket innebærer tradisjonell kjemisk rensing med utfelling og deponering av hydroksidslam. De årlige mengdene med spesialavfall vil utgjøre ca. 2000 tonn på årsbasis. Dersom man ser det som et problem å generere nytt spesialavfall på ubestemt tid, anbefales å gå videre med en løsning som innebærer gjenvinning av drens vannets innhold av jern, kobber og sink. De to alternativene er foreløpig kostnadsregnet til henholdsvis 17,1 og 19,9 mill.kr. i investeringer. Årlige driftskostnader er beregnet til henholdsvis 5,2 og 5,3 mill kr. Det er nødvendig å gjennomføre forsøk i pilotskala for å verifisere prosessvalgene og ha dimensjoneringsgrunnlag for helskala anlegg. Det er også nødvendig å gjennomføre tiltak for å sikre en tilfredsstillende tilføringsgrad til et fremtidig anlegg, samt å redusere flomvannføringene. Disse arbeidene er igangsatt.

Fire norske emneord 1. Kisgruve 2. Tungmetallavrenning 3. Tiltak 4. Folldal Verk	Fire engelske emneord 1. Pyrite mining 2. Heavy metal loadings 3. Abatement measures 4. Folldal mines
--	---

Eigil Rune Iversen
 Eigil Rune Iversen
 Prosjektleder

Henning Mohn
 Henning Mohn
 Forskningsleder

Nils Roar Sælthun
 Nils Roar Sælthun
 Forskningsdirektor

O-21711

Miljøsikringsfondet Folldal Verk

Utredning av forurensningsbegrensende tiltak

i Folldal sentrum

Forord

Folla-vassdraget har i lang tid vært belastet med tungmetalltilførsler fra kisgruvene i nedbørfeltet. Etter at gruvedriften ble nedlagt i 1993 er det Folldal hovedgruve i Folldal sentrum som er den viktigste forurensningskilden i området. Den foreliggende rapporten, som kan betraktes som et forprosjekt, håper vi kan danne et grunnlag for det videre arbeid med å bedre forurensningssituasjonen i vassdraget. Rapporten er utarbeidet med bakgrunn i den kunnskap en har om gruveområdet idag, samt kunnskap om tiltak som er aktuelle. Oppdraget er utført etter pålegg fra Statens forurensningstilsyn til Miljøsikringsfondet Folldal Verk og har vært et samarbeidsprosjekt mellom Norsk Institutt for Vannforskning og siv.ing. Carl-Henrik Knudsen, Knudsen Prosjekt AS.

Vi takker Miljøsikringsfondet v/styreleder Almar Johansen for samarbeidet. Vi takker også Folldal kommune og Folldal Gjenvinning AS for hjelp i forbindelse med prosjektet.

Oslo, 15. mars 2002

Eigil Rune Iversen

Innhold

Sammendrag	6
Summary	8
1. Innledning	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Prosjektet	10
2. Forurensningssituasjonen	12
2.1 Forurensningskilder og spredningsveier	12
2.2 Vannkvalitet	14
2.2.1 Drensvann	14
2.2.2 Folla nedstrøms Folldal sentrum ved Folshaugmoen (stasjon Fo7)	14
2.3 Drensvannmengder	15
2.4 Forurensningstransport	17
3. Brukerinteresser	18
3.1 Vannbruksplan for Glomma	18
3.2 Vassdragsplan for Folla	18
3.3 Stiftelsen Folldal gruver	19
3.4 Politisk vedtak av Folldal kommune	19
3.5 Vurdering av kulturminneinteresser av Riksantikvaren v/ Hedmark Fylkeskommune	20
4. Forslag til tiltak	22
4.1 Målsetting	22
4.2 Fjerning av avfall	22
4.3 Behandling i våtmarksområde	23
4.4 Oppsamling av drensvann	23
4.4.1 Generelt	23
4.4.2 Oppsamling for overføring til behandlingsanlegg	25
4.5 Behandling i gruva etter "Løkken-metoden"	29
4.6 Kjemisk rensing av drensvann som tiltak	31
4.7 Kjemisk rensing uten gjenvinning av metaller	33
4.7.1 Prosessbeskrivelse	33
4.7.2 Dimensjonering	35
4.7.3 Prosesskjemikalier og forbruk	38
4.7.4 Virkningsgrad	39
4.7.5 Slammengder ved kjemisk rensing uten metallgjenvinning	39
4.7.6 Slamdeponering	40
4.8 Kjemisk rensing med metallgjenvinning	41
4.8.1 Prosessbeskrivelse	41
4.8.2 Slammengder ved anlegg med metallgjenvinning	44
4.8.3 Dimensjonering	44

4.8.4	Prosesskjemikalier og forbruk	45
4.8.5	Metallgjenvinning	46
4.8.6	Virkningsgrad	46
4.8.7	Verdi på gjenvunnede produkter	46
4.9	Styring og instrumentering	47
5.	Prosessmessige og bygningsmessige forhold	48
6.	Organisering av tiltak	49
7.	Kostnadsvurderinger	50
7.1	Kjemisk rensing uten gjenvinning av metaller (kap. 4.7)	50
7.2	Kjemisk rensing med metallgjenvinning (kap. 4.8)	53
8.	Samlet vurdering og videre arbeid	56
9.	Referanser	59

Sammendrag

Tungmetallavrenningen fra det nedlagte gruveområdet i Folldal sentrum er den største gjenværende punktkilde etter de oppryddingstiltak som har vært gjennomført ved kisgruvene i Norge i perioden etter 1985. De tiltak som ble gjennomført i Folldal sentrum i 1992-94 har i ettertid vist seg å være utilstrekkelige for å nå det mål som Statens forurensningstilsyn har satt til vannkvalitet i Folla nedenfor Folldal sentrum. Denne rapporten gir en vurdering av alternative tiltak for å nå disse målene. Undersøkelsen er utført etter pålegg fra SFT.

De investeringer som er gjort i verksområdet når det gjelder å ivareta området som et kulturminne begrenser valg av nye tiltak i betydelig grad. Det er investert betydelige beløp i å utvikle gruveområdet med besøksgruve, gruvemuseum etc. Ytterligere tiltak som innebærer fjerning av det resterende gruveavfall i dagen og avstengning av gruva for å begrense tilgangen på luft og vann inn i gruva, kommer i konflikt med kulturminneinteressene. De anbefalte tiltak som denne rapporten foreslår tar derfor sikte på å begrense forurensningstransporten fra området uten å komme i konflikt med kulturminneinteressene.

De krav som SFT har stilt til vannkvalitet krever et tiltak med en høy virkningsgrad. For å kunne etablere en stabil vannkvalitet i Folla som tilfredsstillende de mål SFT har definert, anbefaler vi at man konsentrerer det videre arbeid om to alternativer som begge innebærer behandling av sigevannet. Det ene alternativet innebærer kjemisk rensing av samlet drens vann fra området ved utfelling av metaller og deponering av hydroksidslam på spesialdeponi i området. Dette er en vanlig teknikk som det foreligger en rekke driftserfaringer fra. Som pH-regulerende kjemikalie anbefaler vi at det benyttes lut fremfor kalk da vi regner med at kalk vil forårsake betydelige vedlikeholdsproblemer på anlegget p.g.a. utfelling av gips. Gips vil dessuten forårsake det største bidraget til den årlige slammengden som vil utgjøre ca. 2000 tonn på årsbasis ved bruk av kalk. Slammengdene vil trolig bli noe mindre med lut, men slammet vil sannsynligvis inneholde mer vann. Over tid kan de store slammengdene utgjøre et problem.

Dersom det er problematisk å godta at det bygges opp nye store deponier med spesialavfall, anbefaler vi at det samtidig vurderes en løsning der en tar sikte på å gjenvinne metallene jern, kobber og sink. Kobber gjenvinnes lokalt som metall, mens jern og sink foreslås videreforedlet ved eksterne anlegg. Det finnes egnet teknologi som er kommersielt tilgjengelig, men det er nødvendig å utprøve teknikken i pilotskala for å velge de mest kostnadseffektive enhetsprosesser. Begge alternativer krever utprøving i pilotskala på stedet da det foreligger få erfaringsdata for behandling av slikt vann dersom en benytter lut til pH-regulering.

Ved hjelp av erfaringsdata og opplysninger som foreligger når det gjelder forurensningskilder, vannmengder og vannkvalitet, har vi kommet fram til følgende kostnader for de to alternativer for å behandle drens vannet:

Alternativ	Totale investeringskostnader Mill.kr.	Total årskostnad Mill kr.	Vannpris Kr/m ³
Hydroksidutfelling og slamdeponering	17,1	5,0	33
Gjenvinning	19,9	5,3	35

Før en prosjekterer behandlingsanlegg, er det nødvendig å gjøre oppsamlingen av drensvann mer effektiv. Det er i tillegg nødvendig å lede bort uforurenset vann fra området for å fjerne de store flomtoppene som oppstår i perioder med mye snøsmelting eller regn.

Det foreslås at driften av behandlingsanlegget organiseres som en lokal bedrift som påtar seg ansvaret for den daglige drift i henhold til inngåtte avtaler. En langsiktig drift kan sikres ved at det opprettes et driftsfond som er tilstrekkelig stort. Med bakgrunn i beregnede investerings- og driftskostnader i denne rapporten bør driftsfondets størrelse være på 50-60 mill. kr. En alternativ løsning kan være årlige overføringer fra problemeier (NHD).

Bedriften bør ha et styre som kan være en fortsettelse av Miljøsikringsfondet. Styrets oppgave er å påse at driften foregår i henhold til de avtaler som er inngått, samt å forvalte fondet. Styret tar også initiativet til endringer i enhetsprosesser dersom dette er en fordel for driften av anlegget. Bedriften foreslås å ha to ansatte. I perioder når det er behov for forsterket vedlikehold og hjelp til driften, kjøpes slike tjenester av Folldal kommune og av Folldal Gjenvinning AS (elektro). I vårt driftsbudsjett har vi beregnet tre heltids arbeidsplasser for gjennomføring av den rutinemessige drift.

Det foreslås at den videre utredning av prosessstekniske forhold foretas parallelt med kartleggingen av avrenningsforholdene i gruveområdet. Kartlegging av flomvannføringer og varighet anbefales å ha en varighet på minst 3 år. I denne perioden bør det gjennomføres tiltak for å fjerne uforurenset overflatevann og for å gjøre oppsamlingen av drensvann mer effektiv.

Å løse forurensningsproblemene knyttet til gruedriften i Folldal er en stor sak for Folldal kommune. I en slik sak er det naturlig at Folldal kommune selv får være med å bestemme hvordan tiltakene skal utformes for å løse forurensningsproblemene i kommunen. For å videreføre arbeidet med å løse disse problemene foreslår vi at det nedsettes et arbeidsutvalg under lokal ledelse (f.eks. Miljøsikringsfondet) som får som oppgave å gjennomføre de videre utredninger og føre disse fram til gjennomføring av tiltaket.

Summary

Title: Mitigative Measures in Folldal Mining Area

Year: 2002

Author: Egil Rune Iversen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4148-5

Mining operations in the Folldal area took place between 1748-1993 at several mines. The main source of pollution in the area is the "Old Mine" in the community centre. This mine was operated between 1748-1941. The mine and the remaining mine waste in the area is acid generating. In 2000 the total metal load on the Folla River was calculated to about 15 tonnes of copper, 20 tonnes of zinc and 200 tonnes of iron. In the latest years there has been a growing interest in keeping the mine site as a cultural monument of the mining period. About 25 mill NOK are invested in the mining museum and the mine. These interests are limiting the abatement options significantly. In this report a chemical treatment of the drainage is recommended. Two alternatives are assessed. Traditional metal precipitation with lime ore caustic will generate about 2000 tonnes of hydroxide waste annually. An alternative treatment process involving recovery of iron as ferric hydroxide, copper metal and zinc as zinc hydroxide is assessed. The ferric hydroxide will be sent to a ferric chloride plant. Copper will be recovered by electrolyses at the plant and the remaining sludge containing zinc will be sent to a zinc smelter for recovery of zinc.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Gruvedriften i Folla-vassdragets nedbørfelt startet i 1748 i Folldal sentrum med åpningen av det såkalte Tyskholeet. Driften her ved Folldal hovedgruve ble startet som et dagbrudd, men fortsatte etter hvert under dagen fram til 1945. I området ved Folldal hovedgruve pågikk også oppredningen av malm fra de nærliggende gruver som Nygruva (Grev Moltke), samt Søndre og Nordre Geitryggen gruver. I en periode pågikk også røsting og smelting av kobbermalm. I den perioden da oppredning av malmen ble foretatt med flotasjon, ble avgangen ført på elva. All gruvedrift og oppredning i Folldal sentrum opphørte i 1968/69 da Folldal Verk fortsatte sin virksomhet ved den nyåpnede forekomsten på Hjerkinns ved Tverrfjellet gruve. Driften her pågikk fram til mars 1993.

Folla-vassdraget har i lang tid vært belastet med tungmetalltilførsler som følge av gruvedriften etter kiskminerale i nedbørfeltet. Helland (1902) gir følgende situasjonsbeskrivelse ”*I Folla gaar fisken op efter hele elven. For tiden er elven fiskerigest ovenfor det før drevne Foldals værk. Det fra værket kommende vand, der udludede vitriol af kobberholdig svovlkis, var ødelæggende for fiskeriet; vandet inneholdt foruten vitriol ogsaa svovlvandstof, og fisken dels døde, dels skyede elven nedenfor værket. Ogsaa ovenfor forminskedes fiskebestanden. Efterat værket blev nedlagt, tiltog fiskemængden betydelig.*” I perioden 1848-1878 var miljøeffektene svært store da verket utvant kobber etter Sindings metode som innebar utfelling av kobber med hydrogensulfid. Helland (1902) skriver videre: ”*Udviklingen av svovlvandstof og ledningen av det svovlvandstofholdige og vitriolholdige vand til elven Folla havde en uheldig indflydelse paa dyrelivet. Fisken i Folla fortrak eller døde og fra taget på fældningshuset faldt ned døde skjærer og smaafugle, der var forgiftet av svovlvandstof.*”

NIVA startet undersøkelsene i vassdraget i 1966 som en forundersøkelse før åpningen av det nye anlegget på Hjerkinns (Arnesen, 1969). Oppredningsverket i Folldal sentrum hadde fram til 1968/69 utslipp av avgang til Folla. I perioden 1970-1998 ble det gjennomført årlige kontrollundersøkelser av biologiske og fysisk/kjemiske forhold i Folla. Undersøkelsene ble avsluttet med sluttrapport i 1999 (Iversen et al, 1999). I forbindelse med nedlegging av driften ved Folldal Verk i 1993, ble selskapet bl.a. pålagt å gjennomføre forurensningsbegrensende tiltak i det gamle gruveområdet i Folldal sentrum. Folldal Verk foretok selv en kartlegging av forurensningskilder i 1989 og det ble laget en tiltaksplan som ble godkjent av SFT og som ble gjennomført i perioden 1992-1994. Tiltaksplanen er beskrevet av Reinertsen (1990), Liseth (1991) og av Reinertsen (1993). Tiltaket besto i flytting av gruveavfall fra området i Folldal sentrum for deponering i Tverrfjellet gruve på Hjerkinns. I alt ble flyttet ca. 70.000 m³ deriblant hele den gamle slamdammen som var lokalisert mellom riksveien og Folla nedstrøms Gorrbecken.

NIVA har gjennomført etterundersøkelser av forurensningstilførsler samt fysisk/kjemiske effekter i vassdraget nedstrøms i tiden etterpå. Undersøkelsene pågår fortsatt. Fra 1999 har Miljøsikringsfondet Folldal Verk påtatt seg ansvaret for undersøkelsesprogrammet. Fra høsten 2001 har Nærings- og handelsdepartementet (NHD) ved Bergvesenet påtatt seg ansvaret for å videreføre undersøkelsene av vannkvalitet og avrenningsmengder i området.

Figur 1 viser en kartskisse av Folla-vassdraget med en markering av gruveområder, samt berørt vassdragsstrekning (kobberkonsentrasjoner over 10 µg/l).

I forbindelse med godkjenning av tiltaksplanen uttalte SFT at en ville komme tilbake til ytterligere forurensningsbegrensende tiltak dersom en ikke nådde målene for vannkvalitet i Folla. NIVA konkluderer i sin rapport for år 2000 med at forurensningssituasjonen i vassdraget ikke har endret seg nevneverdig i tiden etter at tiltakene ble avsluttet i 1994. Det er videre lite sannsynlig at en vil nå målene for

vannkvalitet i Folla uten at en gjennomfører ytterligere tiltak som også omfatter gruvevannet. Med denne bakgrunn påla Statens forurensningstilsyn i brev av 23. januar 2001 Miljøsikringsfondet Folldal Verk å utrede ytterligere forurensningsbegrensende tiltak i området slik at kobbertilførselene til Folla reduseres med 60-90 % i forhold til situasjonen i 1985 og slik at kobberkonsentrasjonen i Folla nedstrøms gruveområdet (Folshaugmoen) reduseres ned mot 10-15 µg/l.

1.2 Prosjektet

NIVA tilbød Miljøsikringsfondet i brev av 29. januar 2001 om å bistå i forbindelse med utredningen. Det ble laget et forslag til program for utredningen den 10. juli 2001. Programforslaget ble godkjent i brev fra Miljøsikringsfondet den 12. oktober 2001. Den foreliggende utredning har følgende målsetting :

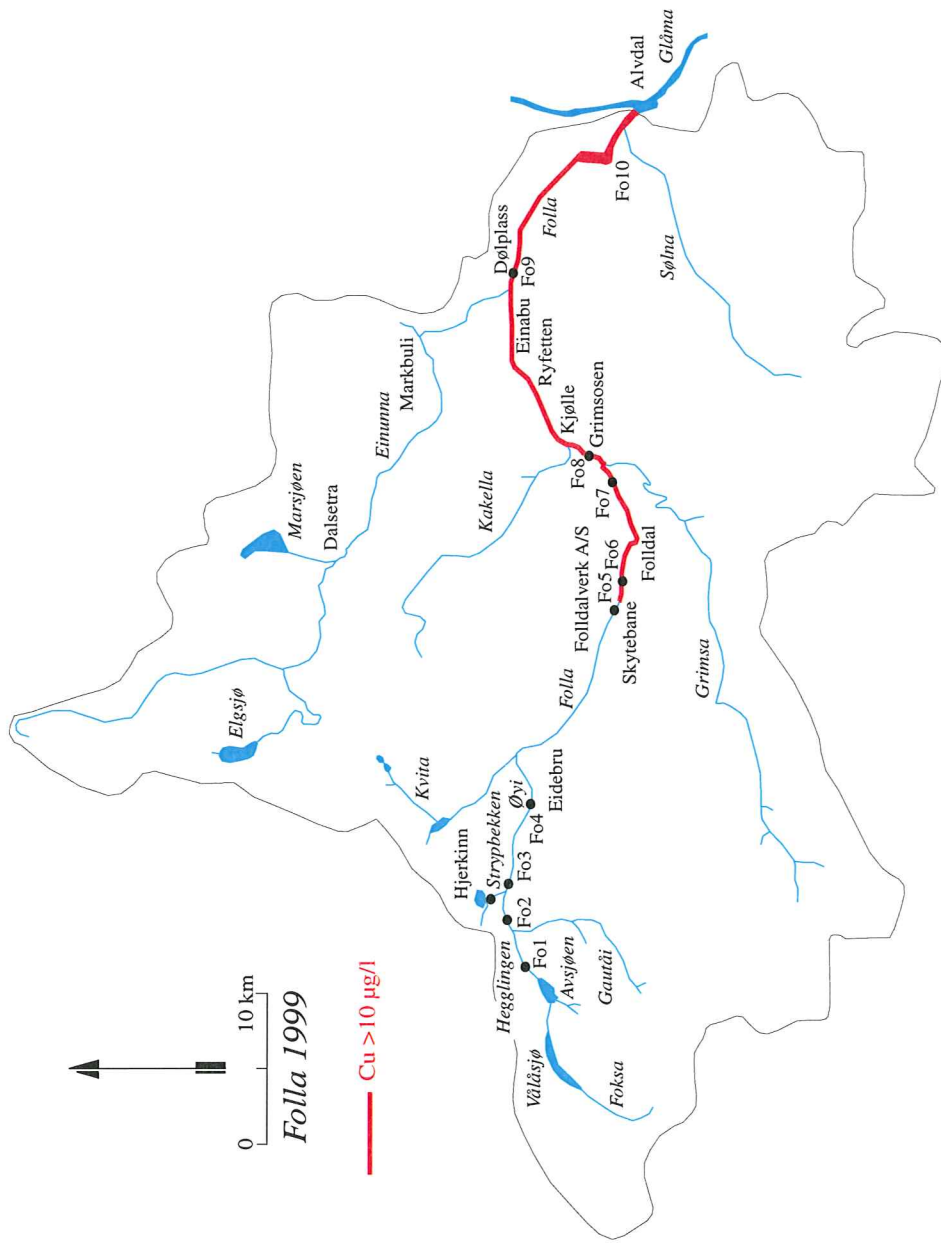
- Gi en oversikt over alternative tiltak for å tilfredsstillere SFTs krav til vannkvalitet i Folla
- Beskrive Folldal kommunes krav til miljøtilstand
- Gi en oversikt over kulturminneinteresser i området

SFT uttaler følgende i sitt påleggsbrev av 23. januar 2001 :

” Etter en samlet vurdering av saken ser SFT det som nødvendig å få utredet ytterligere forurensningsbegrensende tiltak i gruveområdet. Målsetningen skal være å redusere kobberavrenningen til Folla med 60-90 % i forhold til avrenningen i 1985, og at kobberkonsentrasjonen i Folla reduseres ned mot 10-15 mikrogram/liter. En renseteknisk løsning skal også inkluderes i utredningen der kostnader for et lengre tidsperspektiv legges til grunn (etablering, slammengder, deponering, fellingskjemikalier, lønnskostnader/inntekter etc.).

SFT har forståelse av at det kan være kulturhistoriske interesser i området. Utreder må derfor tidlig kontakte rett myndighet på området slik at eventuelle kulturminneinteresser kan bli belyst.

Utredningsrapporten skal beskrive de tiltak som er aktuelle for området, forventet effekt av disse, samt tiltakenes kostnader.”



Figur 1. Folla-vassdraget med markering av gruveområder og tungmetallbelastet vassdragsstrekning.

2. Forurensnings situasjonen

2.1 Forurensningskilder og spredningsveier

Forurensningstilførslene fra gruveområdet i Folldal sentrum har sin årsak i avrenning fra to hovedkilder: Tilførsler fra selve gruva som er drenert ved overløp på Stoll 2 nivå, samt avrenning fra det gjenværende gruveavfall i dagen. Figur 2 viser en kartskisse av gruveområdet med inntegning av de områder hvor det er deponert avfall. Figuren ble laget i 1988 d.v.s. før deler av avfallet ble flyttet. I dag kan avrenningen fra avfallet i dagen deles inn i to hovedområder : Øvre område mellom Tyskcholet og New shaft. Det er her laget en avskjærende drenggrøft som fører drengsvann inn i gruva. Det er mulig at deler av avrenningen går i grunnen mot nedre område der det fortsatt er en del avfall omkring Stoll 1 og Stoll 2 og videre nedover mot Sagveien. Det er laget et dreneringssystem for mottak av gruvevann og for å samle opp drengsvann som går i grunnen, samt overflateavrenning. Drengsvannsledningene fører til slutt ned mot Sagveien og videre ned for kryssing under riksveien før oppsamlet drengsvann føres ut i Folla i det området der den gamle slamdammen lå (se forsidebilde). Det er i tillegg fortsatt en del forurenset avrenning som følger to tidligere bekkefar ved samfunnshuset og mot Gammelelva.

Gruva er forholdsvis dyp (750 m) og har overløp gjennom Stoll 2. Mesteparten av gruva er således vannfylt. Deler av gruva er også tilbakefylt med ”gråberg”. Nivåene over Stoll 2 er ventilert gjennom Stoll 1, New shaft, Tyskcholet samt trolig også gjennom flere andre sjakter som idag er gjenfylt.

I det rutinemessige kontrollprogrammet som har pågått siden høsten 1993, er det tatt prøver ved to stasjoner :

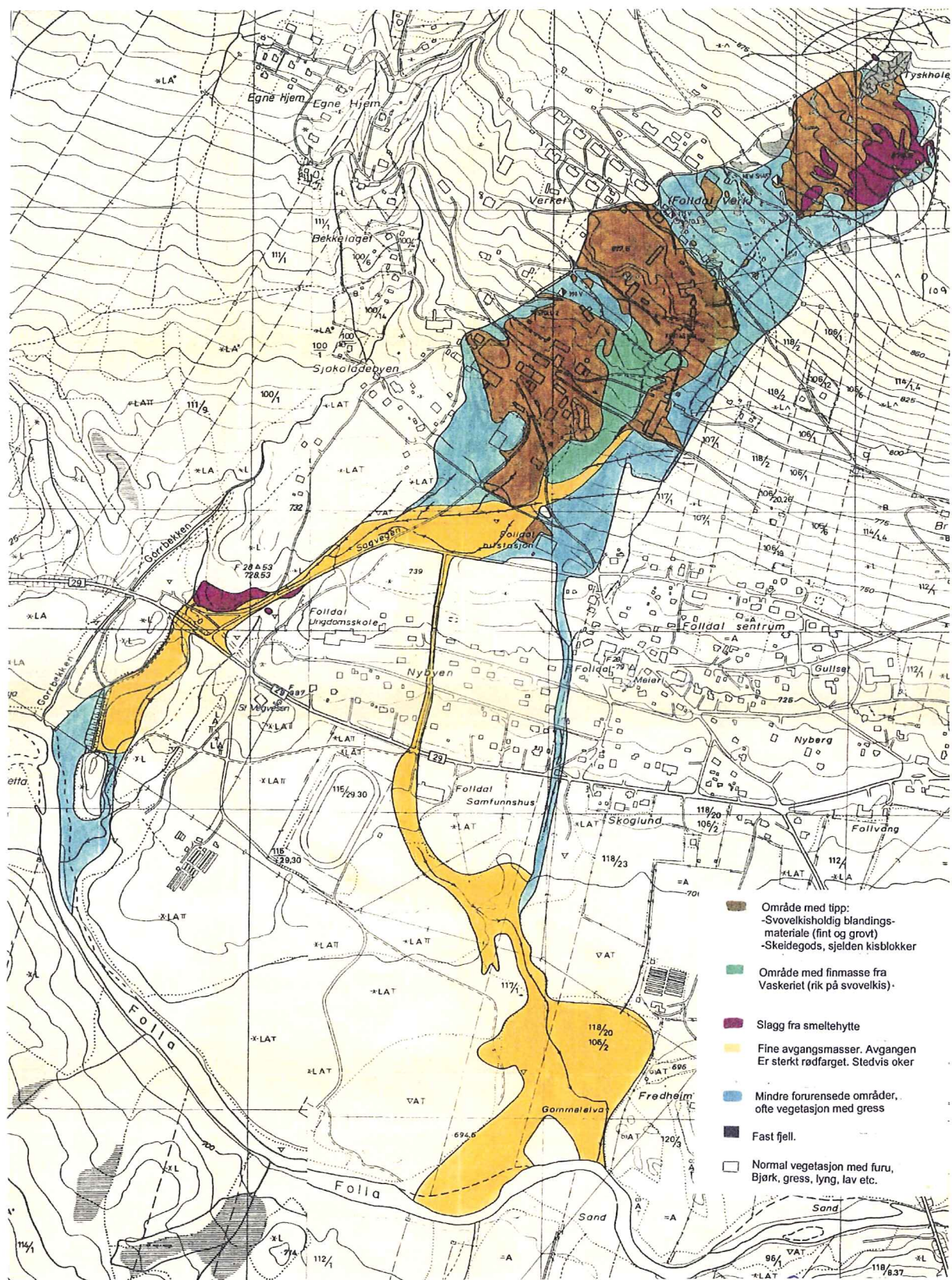
St.1 Utløp Stoll 2. Samlet gruvevann med tilførsler fra avfall i dagen omkring New shaft.

St.2 Gamle slamdam. Samlet avrenning som samles opp av dreneringssystemet.

Tidligere ble også prøvetatt en stasjon på enden av en drengsledning som er lagt fram til Gammelelvas munning og som samler opp avrenning fra områder der det tidligere lå avgangsmasser som ble flyttet til Hjerkin. Denne stasjonen (st.3) ble prøvetatt i perioden 1993-1999. Det ble funnet at tilførslene fra dette området var av mindre betydning (Iversen, 1999).

Prøvetakingsstasjonen som i alle år er benyttet i Folla ved Folshaugmoen (Fo7), er lokalisert nedstrøms tilførslene fra Nordre og Søndre Geitryggen gruver. Tilførslene fra Nordre er ubetydelige. Ved Søndre Geitryggen er en tipp som inneholder en del kisminerale. Tippen er betydelig forvitret i overflaten og drengsvannet er sterkt surt og tungmetallholdig. I tillegg kommer også noe avrenning fra den såkalte Rørosstollen. En har hittil vurdert forholdene slik at forurensningsbidraget fra Søndre Geitryggen gruve er av mindre betydning sett i forhold til tilførslene fra Folldal hovedgruve. Forholdet vil imidlertid bli fulgt opp med undersøkelser som vil bli foretatt i 2002. Det vil da også bli foretatt en befaring med prøvetaking av avrenning fra Nygruva som har avrenning til Folla oppstrøms Folldal sentrum. Disse undersøkelsene er finansiert av Bergvesenet.

På vassdragsstrekningen fra Folldal sentrum ned til Glåma ved Alvdal må en regne med at det kan være avsetninger av avgang i roligere partier av elva fra den tiden oppredningsverket var i drift i Folldal sentrum. Betydningen av disse avsetningene er ikke kartlagt.



Figur 2. Områder med deponert gruveavfall og forurenset grunn i Folldal sentrum før tiltak i 1992-93. (Kartlegging av Folldal Verk v/ F.D. Priesemann, 1988).

2.2 Vannkvalitet

2.2.1 Drensvann

I tabell 1 er samlet middelveidier for år 2001 for hovedkomponentene i gruvevannet fra Stoll 2, og samlet avrenning tatt fra drenerørssystemet der den gamle slamdammen var. Gruvevannet er sterkt surt med en gjennomsnittlig pH-verdi omkring 2,6. En ser også at innholdet jern og sulfat er meget høyt. Det er ikke foretatt analyser av jernets tilstandsform (toverdig eller treverdig jern). Vannet er brunfarget, noe som tyder på at mesteparten av jerninnholdet foreligger som treverdig. Gruvevannet inneholder trolig også en del toverdig jern. Dette ser en lett når en tilsetter kalk, da kan en grønnfarget utfelling av toverdig jernhydroksid observeres der kalken doseres. På enden av drenerørssystemet er vannet fortsatt sterkt surt, men konsentrasjonene er her lavere som følge av fortykning med mindre forurenset vann. Der drensvannet krysser under veien i åpen kulvert tilføres bl.a. en mindre bekk som kan føre en del lite forurenset vann under vårflommen. Vannkvaliteten har vært forholdsvis stabil ved begge stasjoner i den perioden NIVA har foretatt kontrollanalyser.

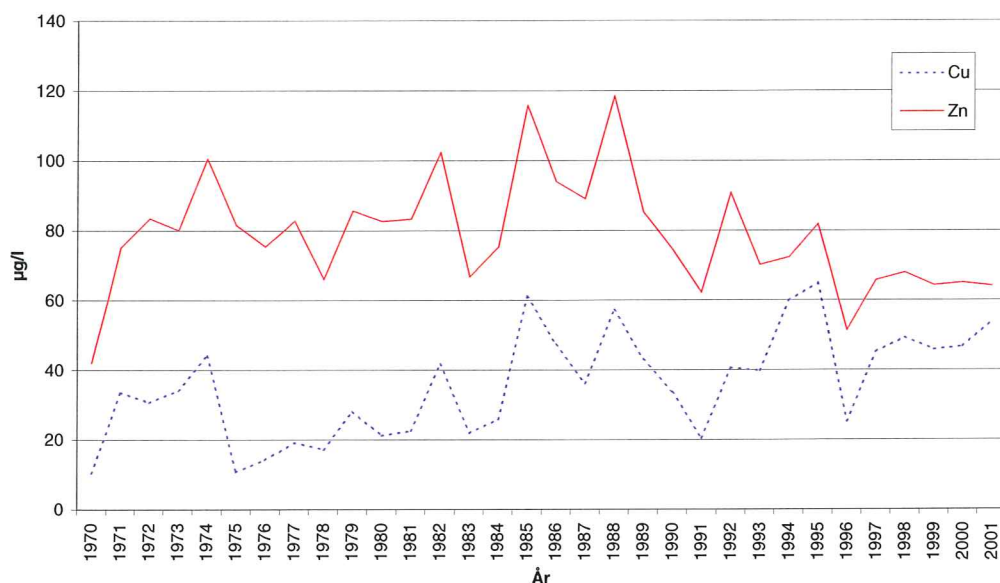
Tabell 1. Analyseresultater for gruvevann fra Stoll 2 og for samlet avrenning i drenerør ved gamle slamdam. Middelveidier for året 2001.

	pH	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
Stoll 2	2,60	9620	313	516	418	2318	187	111	0,49	14,5	1,15	3,30	49,6
Slam- dam	2,59	4700	216	258	218	1015	87,0	56,4	0,23	8,48	0,70	1,74	31,2

2.2.2 Folla nedstrøms Follidal sentrum ved Folshaugmoen (stasjon Fo7)

Folla har tilstrekkelig bufferkapasitet til å nøytralisere de sure tilførselene fra gruveområdet i Follidal sentrum. pH-verdiene ligger således over 7 stort sett hele året. Tungmetallkonsentrasjonene er imidlertid høye hele året. Ved stasjonen på Folshaugmoen er tidsveiet årsmiddelveidier for kobber omkring 50 µg/l. Figur 3 viser grafisk tidsveiede middelveidier for kobber og sink ved Folshaugmoen for perioden 1970-2001. Fra og med 1987 er observasjonsfrekvensen månedlig. Når det gjelder maksimumsverdier for kobber, er det et problem at verdiene kan bli svært høye en kort periode om våren før vassdraget får tilstrekkelig vannføring til å fortynne tilførselene fra gruveområdene. Dette skyldes av gruveområdet i Follidal sentrum ligger solvendt slik at snøen tiner tidlig. En kan av og til observere svært høye kobberkonsentrasjoner i Folla nedstrøms gruveområdet. I perioden etter 1992 er høyeste kobberverdi registrert til 334 µg/l (25/4-1994). Tidligere undersøkelser har vist at slike episoder kan være svært kortvarige fra noen få timer til et par dager. Dette er årsaken til at en med en månedlig prøvetakingsfrekvens ikke kan fange opp slike episoder hvert år. De årlige middelveidier vil derfor variere en del.

Undersøkelser foretatt i 1999 for Driftsplanutvalget for Folla (Nashoug, 2001) viste at elvestrekningen mellom Follidal sentrum og Grimsas samløp med Folla, en strekning på ca. 12 km, var tilnærmet fisketom. Forholdene synes å ha forverret seg de siste 20-30 år. På strekningen mellom Grimsbu og Follas samløp med Glåma er det fisk, men det er lite kjent hvilken betydning tungmetallutslippene har for fiskebestanden.



Figur 3. Tidsveiede årsmiddelverdier for kobber og sink i Folla ved Folshaugmoen 1970-2001.

Det har ikke vært utført noen undersøkelser av tungmetallkonsentrasjoner i nedre del av vassdraget i de senere år. Stikkprøve tatt ved Gjelten bru (før tilløp av Sølva) den 14.05.98 viste et kobbernivå på 14 µg/l. I en undersøkelse av øvre Glåma i 2000 ble det tatt prøver ved Kveberg bru nedstrøms Alvdal og etter innblanding av Folla. Det ble påvist kobbernivå opp til 11 µg/l. Det er også tatt prøver av Glåma ved Høyegga (Rendalen) etter oppdrag fra Fylkesmannen i Hedmark. I perioden 1996-1999 er det påvist kobberverdier opp til 35 µg/l og med en middelvei for perioden på 6,5 µg Cu/l, noe som er i samsvar med undersøkelsene i øvre Glåma (Iversen, 2001). Selv om tilførslene fra Røros-området også betyr en del for forholdene, er det riktig å konkludere med at tilførslene fra Follidal påvirker vannkvaliteten i Glåma i betydelig grad når det gjelder tungmetallkonsentrasjoner.

2.3 Drensvannmengder

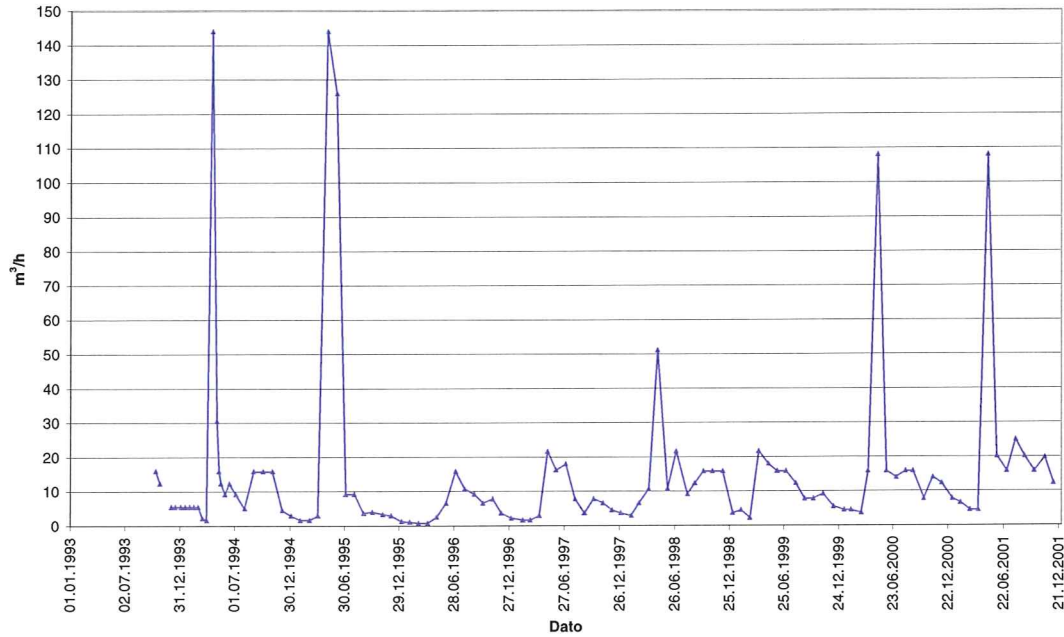
I perioden fra september 1993 er det foretatt vannføringsobservasjoner i en målekum på enden av drensrøret for samlet avrenning fra gruveområdet i Follidal sentrum og i utløpskummen fra stoll 2. Observasjonene er pålitelige ved lave vannføringer. Ved høye vannføringer er måleprofilene ofte overskredet, og oftest ved utløpet av drensrørsystemet (slamdam). Vannføringen er i slike tilfeller skjønsmessig vurdert ut fra de fysiske/kjemiske analyseresultatene (konduktivitet), samt vannføringsobservasjoner ved stoll 2 når det har vært mulig. I tabell 2 er gjort et sammendrag av observasjonsmaterialet.

Tabell 2. Vannføringsobservasjoner for perioden 1993-2001 ved drensrør for samlet avrenning fra gruveområdet i Follidal sentrum (slamdam) og for stoll 2.

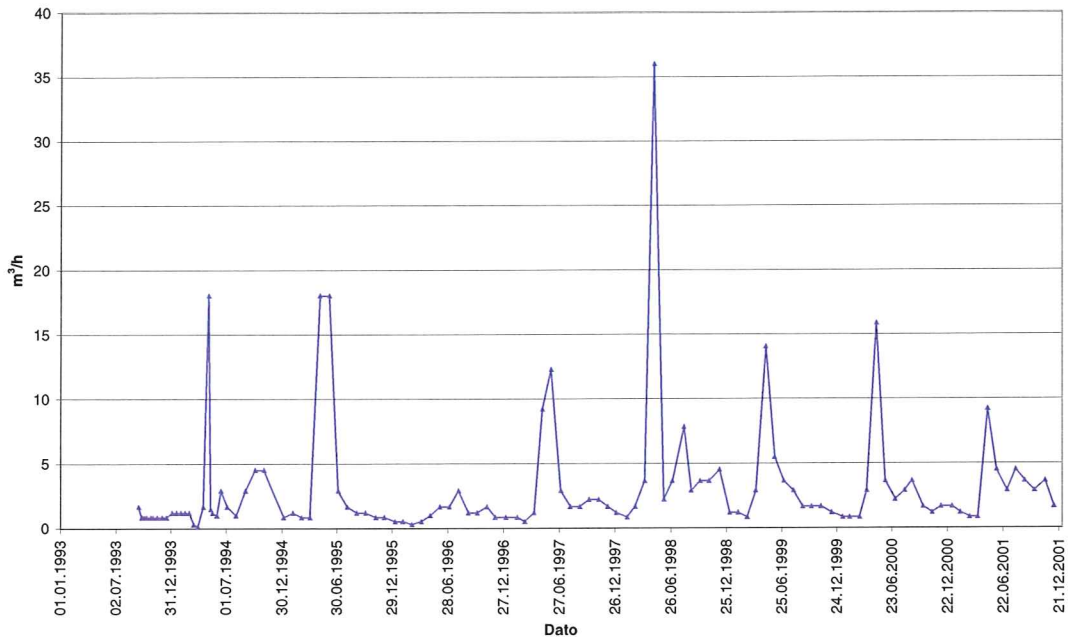
	Slamdam	Slamdam	Stoll 2	Stoll 2
	l/s	m³/h	l/s	m³/h
Middelvannføring	4,2	15,2	0,84	3,0
Maks. vannføring	40	144	10	36
Min. vannføring	0,20	0,72	0,04	0,14
Medianverdi	2,2	7,8	0,46	1,7

I figur 4 og figur 5 er enkeltobservasjonene fremstilt grafisk. Resultatene viser at flomperiodene er kortvarige og at vannføringene i mesteparten av tiden er godt under $20 \text{ m}^3/\text{h}$ for samlet avrenning og under $5 \text{ m}^3/\text{h}$ for gruvevannet. Valgt $Q_{\text{maksdim}} = 11 \text{ l/s}$ ($40 \text{ m}^3/\text{h}$, se kapittel 4.4.2 side 25) antas å være 4 ganger høyere enn beregnet medianverdi for avrenningen ($<2,5 \text{ l/s}$).

Som tidligere nevnt omfatter målepunktet også tilførsler av en lite forurenset bekk som kommer inn i grøfta før drensvannet krysser under riksveien. Dersom en tar sikte på en behandling av drensvann, er det naturlig å ekskludere denne bekken som trolig også forårsaker de høyeste vannføringsobservasjonene.



Figur 4. Vannføringsobservasjoner 1993-2001. Samlet avrenning ved gamle slamdam.



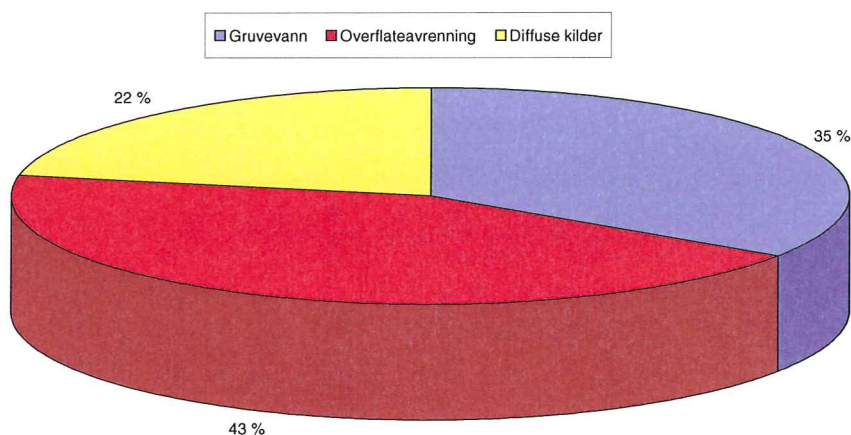
Figur 5. Vannføringsobservasjoner 1993-2001. Gruvevann utløp stoll 2.

2.4 Forurensningstransport

Det er beregnet forurensningstransport ved de tre stasjonene som måleprogrammet omfatter. Beregningene for stasjonen i Folla (Fo7 Folshaugmoen) er mest pålitelig da en har meget gode data for vannføringen like oppstrøms prøvetakingsstasjonen. Her utfører NVE kontinuerlige vannføringsmålinger. Vannføringsmålingene ved stasjonene i gruveområdet er basert på manuelle målinger utført 1 gang pr. måned. Dette gjør at det er en viss usikkerhet når en sammenligner transport ved kildene og transport i vassdraget. Det er imidlertid funnet at årstransporten av kobber ved utløpet av drenerør-systemet utgjør ca. 80 % av kobbertransporten i Folla (se figur 6) ved stasjon Fo7 i 2000 (Iversen, 2001). Når det gjelder sink, kan det bare gjøres rede for ca. 40 % av sinktransporten i Folla, idet 60 % av sinktransporten ved Folshaugmoen i 2000 har sin årsak i kilder som måleprogrammet ikke omfatter. Dette kan forklares enten ved at en har ytterligere en sinkkilde som måleprogrammet ikke omfatter, eller at dreneringssystemet ikke fanger opp all avrenning fra gruveområdet. Dersom drenergrøftene ikke fanger opp all avrenning, er det naturlig at løsmassene adsorberer kobber og treverdige jern på veien ned mot Folla. Sink, toverdige jern og sulfat er mer mobilt og når i større grad fram til elva.

Ved enden av drenerørssystemet er kobbertransporten dobbelt så stor som sinktransporten, mens ved stasjonen i Folla er sinktransporten noe høyere enn kobbertransporten. Dersom en tar utgangspunkt i sinktransporten i Folla, og antar at forholdet mellom kobber og sink er den samme i samlet avrenning som for stasjonen på enden av drenerørssystemet, kan det anslås at den totale kobbertransporten fra kildene er av størrelsesorden 15-20 tonn/år.

Stasjonen i Folla ved Folshaugmoen fanger også opp avrenning fra Søndre og Nordre Geitryggen gruver. I disse områdene er en tipp ved Søndre Geitryggen største enkeltkilde. Tippen er forholdsvis rik på kismaterialer, spesielt sink. En har hittil vurdert det slik at bidragene fra Geitryggen gruver ikke er av betydning sett i forhold til tilførselene fra Folldal sentrum. Det er nå igangsatt arbeider for å kartlegge forurensningstilførselene fra Folldal sentrum og fra Geitryggen på en bedre måte. Disse arbeidene er finansiert av Bergvesenet.



Figur 6. Prosentvis fordeling av kobberavrenning på kilder i 2000.

3. Brukerinteresser

3.1 Vannbruksplan for Glomma

I desember 1991 ble det laget en vannbruksplan for Glomma i regi av Hedmark Fylkeskommune. Vannbruksplanen for Glomma gir rammer for framtidig bruk av hele Glommavassdraget i Hedmark. Vannbruksplanen presenterer en samlet miljøpakke for Glomma med sideelver. Det er beskrevet ialt 36 tiltak som må gjennomføres for målene som er fastsatt for vassdraget. Følgende mål for vannkvaliteten ble fastsatt :

- ◆ Vannkvaliteten i Glomma med sideelver skal tilfredsstillende hygieniske og bruksmessige krav til rekreasjonsmessig bruk (herunder bading).
- ◆ Sikkerheten må økes og driftsulempene reduseres for de vannverk som har Glomma som kilde.
- ◆ Lekkasje fra nedlagt gruvevirksomhet skal reduseres slik at ørret og harr får gyte- og oppvekstmuligheter i hele vassdraget innen 1996.

Det ble også pekt på at informasjon og tilrettelegging av kulturminner var et forsømt felt. Glommas kulturhistorie er rik, og det er en oppgave for alle kommuner å bidra til å bevare og formidle sin spesielle del av dette mangfold.

3.2 Vassdragsplan for Folla

Folldal kommune utarbeidet i desember 1995 en vassdragsplan for Folla med sideelver etter initiativ fra Natur- og Miljøutvalget i Folldal. I målsettingen for planen heter det:

- Vassdragsplanen skal gi en samlet oversikt over bruk og vern av vassdraget
- Vassdragsplan og vassdragsplanlegging skal gi politikere og administrasjon mulighet til å se de ulike bruksformer i vassdragene i sammenheng. De får dermed et bedre grunnlag for å fatte beslutninger som sikrer en framtidig bruk av vassdragene til beste for natur og samfunn.

Hovedmålene for Glomma er også gjeldende for Folla:

- ◆ Folla med sidevassdrag og vassdragsnære arealer skal være et rent, levende og mangfoldig natursystem i økologisk balanse.
- ◆ Mange brukergrupper skal kunne bruke vann og vassdrag uten å ødelegge for hverandre.
- ◆ Vann og vassdrag skal brukes til nytte for folk, næringsliv, samfunn og omgivelser på en måte som gir varig nytte og ikke forbruker ressursene.

Når det gjelder arbeidsmålene m.h.t. vannkvalitet og forurensning er det uttalt følgende:

- ⇨ Vannkvaliteten skal vise minst mulig avvik fra naturtilstand. Med tanke på vassdragenes bruksmessige verdi skal vannkvaliteten sikres og bedres.
- ⇨ Follas innhold av tungmetaller må reduseres kraftig.
- ⇨ Innbyggere og tilreisende skal trygt kunne nytte vann og vassdrag til bading, friluftsliv og matauk.

Folldal kommune skal arbeide for at tungmetallforurensningen reduseres slik at en naturlig produksjon av fisk sikres i alle deler av vassdraget.

3.3 Stiftelsen Folldal gru ver

Stiftelsen Folldal gruver (SFG) ble opprettet av Folldal kommune i 1988. I stiftelsens vedtekter heter det:

”SFG skal sørge for varig vern av anlegg, bygninger og utstyr fra gruvedriften i Folldal og benytte dette til å spre kunnskap om gruvekulturen. I den utstrekning det understøtter eller ikke er i strid med det primære forhold, vil SFG stille en del av eiendommen, inklusive historiske bygninger til disposisjon for egnet virksomhet som utnytter Folldals naturressurser”.

Området omkring gamle Folldal Verk i Folldal sentrum viser et helhetlig industrisamfunn med særpreget kultur. I tillegg til at SFG har som målsetting å sikre at tekniske kulturminner fra gruvedriften i Folldal bevares, ser SFG det også som viktig å bevare selve kulturlandskapet med bygninger, anlegg og boligbrakker. SFG er også en sentral institusjon i forbindelse med utvikling av reiselivet i kommunen med basis i rekreasjon og kunnskapsformidling. Fra starten i 1988 og fram til 2004 er det anslått at det vil bli investert ialt ca. 25,5 mill. kr ved SFG. Disse midlene kommer fra :

- Tilskudd fra Folldal kommune : ca.5,4 mill.kr.
- Tilskudd fra A-etaten : ca.2,3 mill.kr.
- Tilskudd fra Hedmark fylke : ca.3,6 mill.kr.
- Tilskudd fra Riksantikvaren/Kulturråd : kr. 725000
- Tilskudd fra Folldal Verk, SND m.fl. : ca. 3,2 mill.kr.
- Inntekt fra eget anlegg : ca. kr. 13,2 mill.kr.
- Lånefinansiering : ca. 6,3 mill.kr.

Norsulfid/Folldal Verk har i tillegg bidratt med overføring av bygninger og eiendommer.

3.4 Politisk vedtak av Folldal kommune

I kommunestyret den 26.04.01 (saksnr. 0029/01) ble det gjort følgende politiske vedtak vedrørende forurensning fra tidligere gruvedrift i Folldal sentrum:

1. Folldal kommune er bekymret for utviklingen i Folla-vassdraget.
2. Folldal kommune ønsker fortsatt å være *Miljøkommunen på Norges tak*. Det tilsier at vi ønsker et rent miljø etter tidligere års gruvedrift.
3. Folldal kommune håper på godt resultat av de utredninger Miljøsikringsfondet Folldal Verk har fått pålegg om å utrede ytterligere, slik at belastningen på Folla reduseres.
4. Folldal kommune mener at staten som grunneier må inn og ta sitt ansvar.
5. Kommunestyret tar saksutredningen til orientering og vil be administrasjonen utarbeide en handlingsplan for det videre arbeid med denne omfattende saken. Denne planen må inneholde følgende :

- Konkrete mål for tiltaka
- Konkret beskrivelse av fysisk/kjemiske tiltak
- Plassering av ansvar for gjennomføring av tiltak
- Utredning av og plassering av det økonomiske ansvaret/finansiering
- Informasjonsstrategi og informasjonsarbeid
- Opplegg for inkludering av berørte parter og aktuelle instanser
- Spesifikk tidfesting for gjennomføring av enkeltdele av planen
- Intern kommunal organisering og ansvars plassering for arbeidet med saken, formannskapet forsterket med leder av TPM (Teknisk, plan og miljøetaten) oppnevnes som styringsgruppe. Planen legges fram for kommunestyret til behandling i løpet av året.

3.5 Vurdering av kulturminneinteresser av Riksantikvaren v/ Hedmark Fylkeskommune

Problemstillingene ble forelagt Riksantikvaren v/Hedmark Fylkeskommune, Fylkesrådmannen som har gitt en skriftlig uttalelse i brev av 7.03.2002. Brevet gjengis her i sin helhet :

NIVA
v/Eigil Iversen
Postboks 173 Kjelsaas
0411 OSLO

Deres ref.:

Dato: 07.03.2002.

Vår ref.: Sak. nr. 01107/02 Løpenr. 004586/02 Ark. /C56/
Saksbeh. Jørgen Motzfeldt
tlf. 62 54 44 33 fax. 62 54 44 88

VERNEVERDI FOLLDAL VERK

I forbindelse med at det nå arbeides med ulike forurensningsbegrensende tiltak i det gamle gruveområdet i Folldal sentrum har vi blitt bedt om en vurdering av Folldal Verks verneverdi.

Gjennom flere generasjoner var Verket med sin virksomhet en av bærebjelkene i dette samfunnet, både økonomisk og kulturelt. En stor del av Folldals innbyggere, og også en rekke fra nabokommunene, hadde sitt utkomme gjennom arbeid ved Verket.

Etter at gruvevirksomheten ble nedlagt har det gjennom flere år vært arbeidet bevisst for å sikre at Folldal Verk skulle bevares som et levende kulturminne. Stiftelsen Folldal Gruver har nedlagt et betydelig arbeid og har foretatt store investeringer for anlegg og bygninger.

I henvendelser fra NIVA, blir det antydnet at et mulig tiltak kan være å fjerne aller tipper og rester etter gruedriften i form av fast avfall, avstenging av gruva og tetting av alle åpninger som hører til anleggene. Med andre ord en ødeleggelse og fjerning av elementer som er direkte knyttet til kulturminnet Folldal Gruver, og vesentlige for en forståelse og opplevelse av Verkets sentrale plass i Folldal-samfunnet.

For å sikre dette unike kulturminnet er hele verksområdet regulert til spesialområde med formål bevaring, dette for å sikre bygninger, tekniske installasjoner produksjonslinjer, tipper osv. Folldal verk er med i Riksantikvarens verneplan for Teknisk industrielle kulturminner, og endelig er Folldal Verk fra i år kommet inn på tilskuddsposten under Riksantikvarens (RA) budsjett for slike kulturminner. Kulturminnets nasjonale verdi anses som så betydningsfull at i forlengelse av fylkeskommunens registrering av samtlige fredete bygg og bygningsmiljøer i Hedmark, er det nå satt igang en tilsvarende registrering av hele bygningsmassen og tekniske installasjoner ved Folldal Verk. Hedmark fylkeskommune har gjennom flere år bevilget betydelige beløp for å bidra til sikring og istandsetting av anleggene. De siste årene har også fylkeskommunene gått inn med årlige driftstilskudd til Folldal Gruvers Museum, og museet skal inn på tilskuddsordningen for halvoffentlige museer.

Verneverdien for Folldal gruver er godt dokumentert i en rekke planer, rapporter og bøker. Vi viser til disse med henblikk på en mer detaljert vurdering av verneverdien for området. Følgende grunnlagsmateriale bør legges til grunn for det videre arbeid. "Handlingsplan for gamle Folldal Gruver" utarbeidet av Enerhaugens arkitektkontor v/ark. Bastiansen. "Verneplan for Folldal Verk", ved Musea i Nord-Østerdal. "Gard og gruve" - en utviklingsplan og stedsanalyse for Folldal sentrum, v/Hedmark fylkeskommune. Det foreligger i tillegg mye verdifull dokumentasjon om Verket og dets betydning gjennom flere bøker, bl.a. "Liv og virke ved Folldal Verk".

Verket er med sine tipper, tekniske anlegg og bygninger et teknisk kulturminne av stor nasjonal verdi og helt uerstattelig. Gjennom en skånsom og faglig bevist holdning til den videre utvikling av kulturminnet vil dets betydning for lokalsamfunnet bare øke. Dersom det derimot igangsettes tiltak som antydnet vil dette slik vi ser det få svært alvorlige konsekvenser for hele kulturmiljøet. Området vil fullstendig endre karakter samtidig som forståelsen av Verkets posisjon og betydning pulveriseres.

Vi ser at det kan være grunn til bekymring med hensyn til forurensning og at noe må gjøres. Vi vil be om at Riksantikvaren og fylkeskommunen aktivt trekkes inn en prosess for å kunne bidra til å finne løsninger som både lokalmiljøet, miljøvern- og kulturmyndigheter kan se seg tilfreds med.

Med hilsen

Kjell Erik Solbakken
sjef
Forvaltning

Elisabeth Seip
kulturvernleder

4. Forslag til tiltak

4.1 Målsetting

Statens forurensningstilsyns målsetting for tiltak i området er å redusere forurensningstilførslene fra gruveområdet med 60-90 % i forhold til situasjonen i 1985 og slik at kobberkonsentrasjonen i Folla blir redusert til området 10-15 µg/l.

Dette er et ambisiøst mål som vil kreve tiltak med høy virkningsgrad. Dersom det lykkes å bringe kobberkonsentrasjonen i Folla nedstrøms Folldal sentrum ned mot 10 µg/l hele året, vil det etablere seg en god biologisk tilstand i vassdraget. Folla vil heller ikke påvirke vannkvaliteten i Glomma i nevneverdig grad. Når man etablerer en slik tilstand, må en også være oppmerksom på at det ikke er tilfredsstillende å bare sette krav til en %-vis reduksjon i forurensningstilførslene sett på årsbasis. Når en først har etablert gode biologiske forhold i vassdraget, må tiltaket ha en tilfredsstillende virkningsgrad alle dager i hele året. De tiltak som foreslås i denne rapporten tar derfor sikte på dette.

4.2 Fjerning av avfall

Ytterligere fjerning av gruveavfall i Folldal sentrum er et mulig alternativ for å nå ønskede mål for vannkvalitet i Folla. Det vil da være nødvendig å fjerne alt avfall og i tillegg fjerne forurensede masser der en har fått en sekundær ufelling av forvittringsprodukter. Hvor store masser det her vil bli snakk om, er idag usikkert. Det vil trolig være nødvendig med nye grunnundersøkelser for å kunne planlegge tiltaket og kostnadsberegne det. Avfallet må legges i et nytt deponi som må gis en overdekking som forhindrer tilgang på luft og vann inn i deponiet slik at lekkasjen fra deponiet reduseres til et minimum.

Analyseresultatene for gruvevannet viser at forvitringen av kismineraler i gruva under dagen har et betydelig omfang. Dette foregår fordi tilgangen på luft og vann er rikelig. For å kunne redusere disse prosessene i tilstrekkelig grad er det nødvendig å redusere tilgangen på luft og vann inn i gruva. Dette innebærer at gamle sjakter som idag er gjenfylte må kartlegges og tettes. Tyskholeet må gjenfylles med ren morene og overdekkes med tette masser. Stoll 1 må sannsynligvis også stenges av, noe som vil føre til at SFGs aktiviteter under dagen må nedlegges. Overløpet gjennom Stoll 2 må skje gjennom en vannlås for å hindre inntrengning av luft den veien.

Det er vanskelig å garantere effekten av et slik tiltak utover at forurensningstransporten sannsynligvis vil bli betydelig redusert i forhold til dagens nivå. Prosjektet er gjennomførbart, men vil komme i konflikt med de interesser som knytter seg til SFG og til kulturminneinteressene. Selv om tiltaket kanskje ikke vil berøre bygningene fra gruveperioden i nevneverdig grad, vil gruelandskapet forsvinne og området vil etter hvert få det opprinnelige preg fra tiden før gruedriften startet. Vi har i denne rapporten ikke gått nærmere inn på dette tiltaket, da vi antar at det vil være stor motstand mot det fra lokalmiljøet. Riksantikvaren har også gitt uttrykk for at et slikt tiltak ikke er akseptabelt.

Det er også vanskelig å vurdere kostnadene i forbindelse med et slikt tiltak uten å ha en bedre oversikt over hvilke avfallsmengder som skal flyttes, hvor langt de skal flyttes og hvordan forholdene er der hvor de skal deponeres. Med bakgrunn i erfaringer fra andre områder i Norge hvor det er flyttet avfall, vil vi anslå kostnadene til å være i området 20-30 mill. kroner.

4.3 Behandling i våtmarksområde

Teknikken har funnet en del anvendelse ved behandling av dreinsvann fra kisgruveområder. Teknikken er en mikrobiologisk metode der dreinsvannets innhold av sulfat reduseres til sulfid slik at en får en fiksering av flere metaller som sulfider. Sulfiddannelsen foregår i anaerobt miljø. Anlegget deles ofte opp i flere soner der en i den aerobe sonen får en utfelling av jern som oksid/hydroksid. Teknikken er ofte anvendt i områder som er vanskelig tilgjengelige eller der en ikke har tilgang til elektrisitet. De viktigste fordelene med metoden er at en sparer kostnader til drift i form av kjemikalier og personellkostnader. Anlegget er dessuten billig å konstruere. Noen metaller danner stabile, tungtløselige sulfider som f.eks. kobbersulfid, CuS. Ulempene ved metoden er at en kan få problemer ved sterk frost ved at prosessen stopper opp. Lave pH-verdier kan også være problematisk, likeledes store variasjoner i vannmengden. Når våtmarksområdet er mettet på metallutfellinger og må avsluttes, må det betraktes som et spesialdeponi. Avfallet må lagres tett og uten tilgang på oksygen. Deponiarealet vil øke etterhvert som nye felter tas i bruk. Teknikken må prøves i pilotskala i Folldal før et helskala anlegg eventuelt kan bygges.

Når vi ikke har anbefalt denne teknikken i Folldal er det ut fra følgende betraktninger :

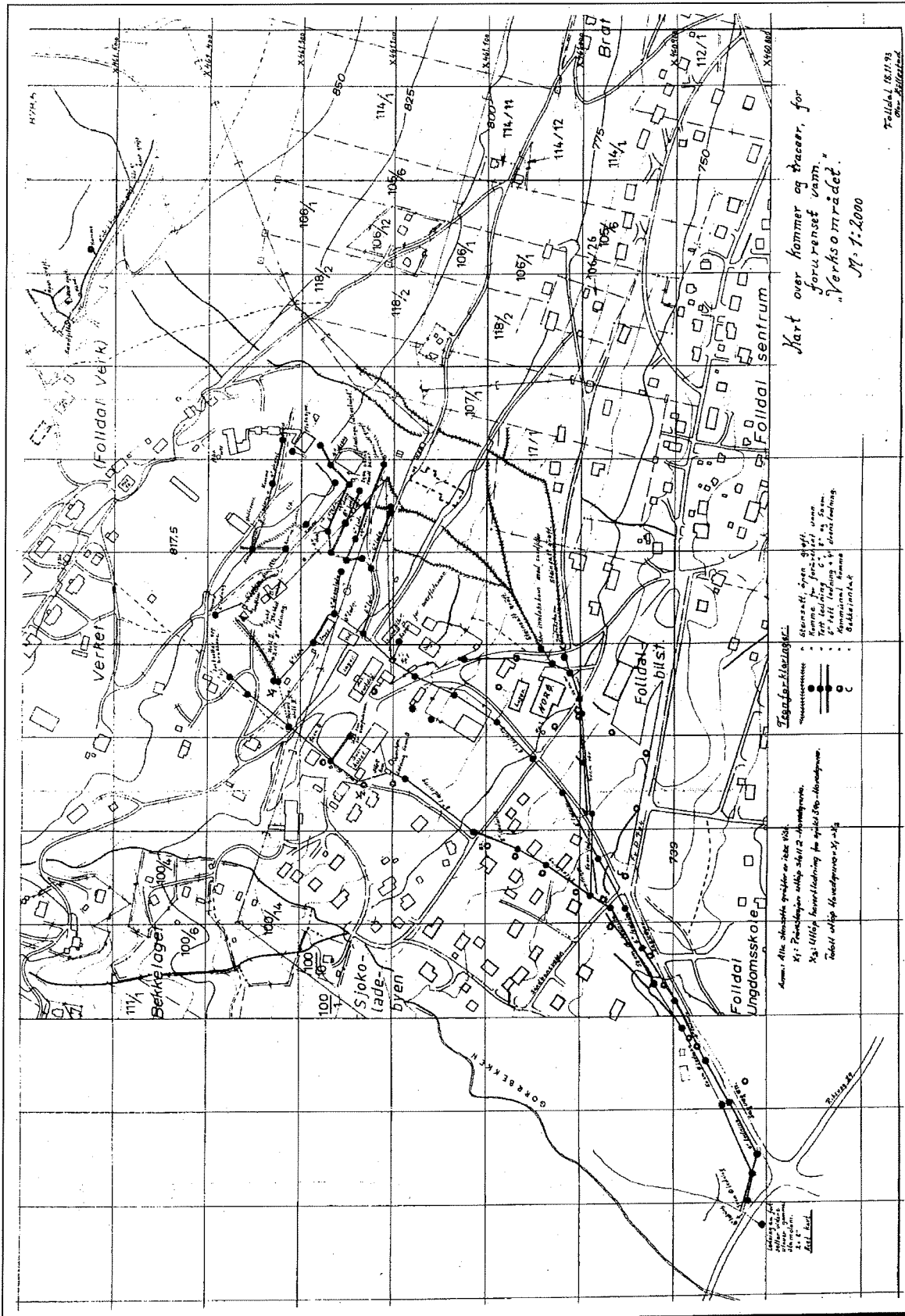
- ◆ Det må garanteres en stabil vannkvalitet i utgående vann fra behandlingsanlegget under alle klima- og nedbørforhold
- ◆ Det må garanteres en renseseffekt på minst 90% m.h.t. kobberfjerning, samt et konsentrasjonskrav på 10-15 µg/l i Folla
- ◆ Tiltaket må virke også ved svært lave temperaturer, også når det er lite snø til overdekking
- ◆ Tiltaket må tåle forholdvis store belastningsforskjeller når det gjelder vannføring og kjemisk sammensetning i dreinsvannet.
- ◆ Tiltaket må tåle lave pH-verdier (pH 2,2-2,5)
- ◆ Dreinsvannet i Folldal inneholder svært høye metallkonsentrasjoner spesielt jern, noe som trolig kan forårsake praktiske problemer når det gjelder driften av et våtmarksområde.

Etter en helhetsvurdering der en også tar hensyn til vassdragets krav, er vi kommet til at behandling i et våtmarksområde kan bli problematisk dersom en skal tilfredsstille SFTs krav til tiltakets virkningsgrad. Dette tiltaket kan heller ikke betraktes som noen endelig løsning idet det hele tiden genereres nytt spesialavfall. Vi har derfor ikke gått videre med denne teknikken i denne rapporten.

4.4 Oppsamling av dreinsvann

4.4.1 Generelt

Dersom en tar sikte på en behandling av dreinsvann som tiltak, er det nødvendig å foreta en mer effektiv oppsamling av dreinsvannet enn hva som er tilfelle idag. Det er mulig at det er nødvendig å gjøre dreinsgrøftene dypere for å avskjære grunnvannsstrømmen fra velteområdet og trolig også isolere grøftene slik at de ikke fryser til om vinteren når det er lite snø. Når det gjelder avfallet i dagen, vil det trolig være en fordel i størst mulig grad å hindre at dreinsvann fra det øverste området omkring Tyskholet og New shaft drenerer ned mot nedre område. Sigevann fra det øverste område bør derfor samles opp i en egen dreinsgrøft som fører mot samleledningen. Likeledes bør en også forhindre at surt dreinsvann inneholdende treverdig jern renner inn i gruva og forårsaker forvitring. Sannsynligvis vil det også være en fordel å lede bort uforurenset overflatevann fra gruveområdet. En oppnår derved at flomtoppen reduseres, noe som er gunstig m.h.t. å få til så høy virkningsgrad på behandlingsanlegget som mulig. Figur 7 viser dreneringssystemet som er i gruveområdet idag.

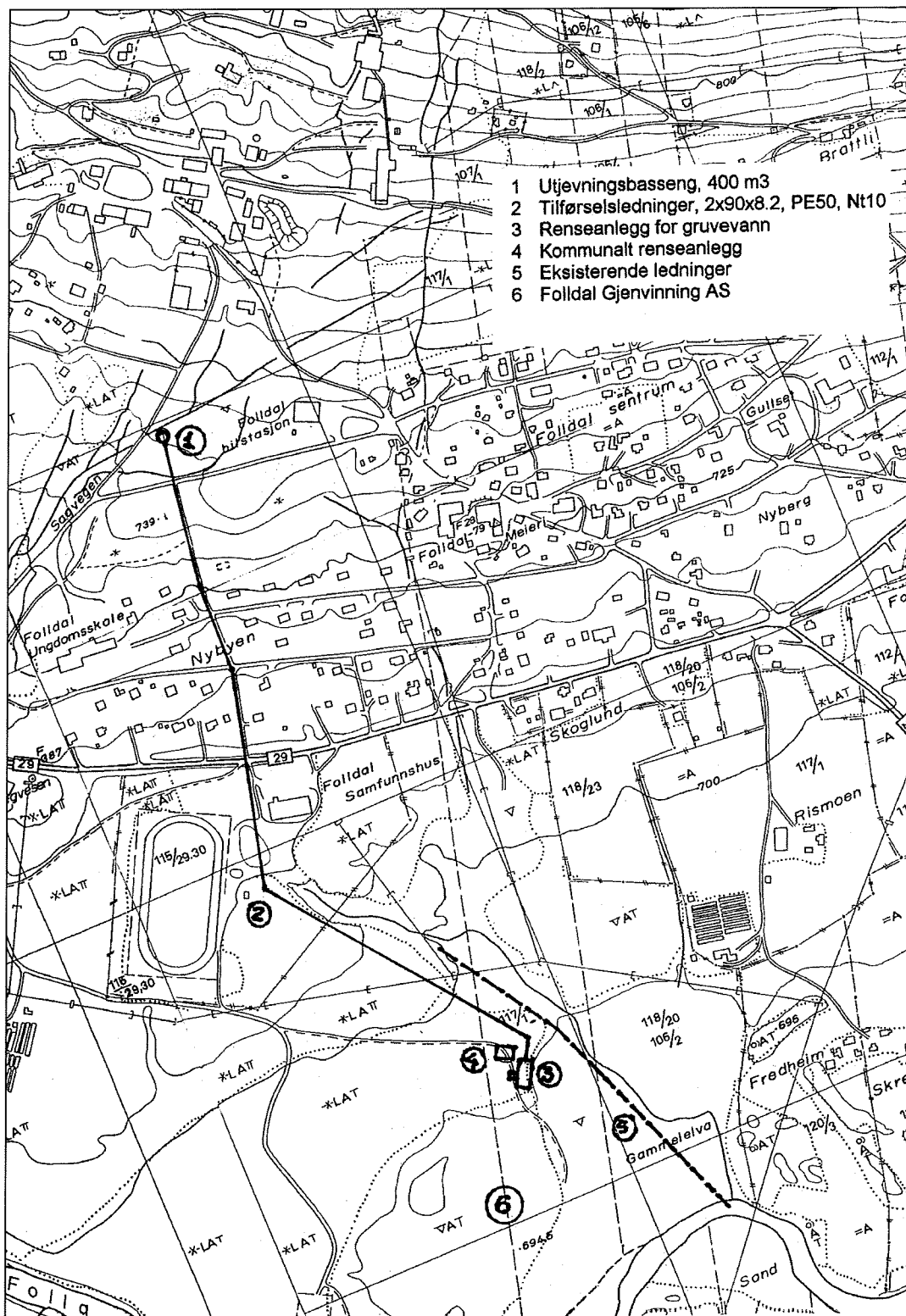


Figur 7. Dagens dreneringssystem i gruveområdet i Folldal sentrum.

4.4.2 Oppsamling for overføring til behandlingsanlegg

Som det fremgår av figur 4 og figur 5 er vannføringene ved de to målestasjonene relativt beskjedne i store deler av året. I en kort periode om våren kan imidlertid vannføringen vokse betydelig. Dersom en tar sikte på å behandle drensvannet i et renseanlegg, vil det være nødvendig å anlegge et fordrøyningsmagasin for samlet drensvann for å jevne ut belastningen på anlegget for derved å sikre en så høy virkningsgrad som mulig. En mulig løsning kan være å benytte gruva som fordrøyningsmagasin for vårfloppen ved å senke vannstanden i gruva før vårfloppen ved å pumpe vann til behandlingsanlegget fra en av sjaktene. I Folldal kan det være flere forhold som kan gjøre en slik løsning problematisk. Da vi ikke kjenner forholdene i gruva, er det ikke mulig å vurdere om det kan oppstå uønskede bevegelser i vannmassene i gruva som følge av pumpingen. Det er heller ikke vært mulig å ta prøver fra de dypere nivåene i gruva. Vi kan derfor ikke si noe mer eksakt om konsekvensene av et slikt tiltak. På Løkken vet en at jern- og sulfatkonsentrasjonene øker betydelig med dypet. I Falun benyttes gruva som fordrøyningsmagasin. Her har en episoder med svært høye jern- og sulfatkonsentrasjoner i det vannet som pumpes til renseanlegget. Under vår befaring i februar d.å. ble det rapportert om kalkforbruk opp til 10 tonn/døgn for å behandle slikt vann. Slammengdene blir derved også svært store, noe som igjen skaper driftsproblemer i renseanleggets enheter. Dersom en ønsker å benytte gruva som fordrøyningsmagasin i Folldal, må en også pumpe forurenset overflatevann dit, da det er tilførselene fra avfallet i dagen som forårsaker den største forurensningstransporten under vårfloppen. Et slikt tiltak kan skape nye problemer ved at en ved å pumpe treverdige jern til gruva vil øke omfanget av forvitningsreaksjonene i gruva, noe som igjen vil øke kjemikaliebehov og slammengder i behandlingsanlegget. Selv om det hydraulisk sett kan være en fordel å benytte gruva som fordrøyningsmagasin, kan kjemiske forhold gjøre et slikt tiltak svært ugunstig. Da vi ikke kjenner forholdene i gruva i Folldal godt nok, vil vi derfor i denne rapporten foreslå at det bygges et fordrøyningsmagasin i dagen.

Dette fordrøyningsmagasinet er tenkt lokalisert i området mellom Sagveien og Folldal bilstasjon og er markert på figur 8. I magasinet samles all avrenning. Magasinet er lokalisert ovenfor bekken som kommer inn før drensvannet krysser under riksveien. Maksimal vannføring vil derved ikke bli så stor som beregnet i tabell 2. Ved å samle opp alt drensvann noe høyere opp i terrenget vil en neppe miste noe forurensningsavrenning av betydning slik vi kjenner forholdene i dag. Det har riktignok i sin tid pågått røsting og smelting av malm nede ved riksveien, men vi antar at forurensningsbidraget fra dette området er av mindre betydning i dag. Dersom området senere skulle vise seg å være av betydning, kan eventuelt avrenningen herfra samles og pumpes opp til fordrøyningsmagasinet. Det samme gjelder for den forurensning som kommer fra de to bekkefarene. Her kan også etablering av pumpestasjoner for overføring av vann til behandlingsanlegg være et alternativ.



Figur 8. Plassering av fordrøyningsmagasin. Overføringsledninger til behandlingsanlegg.

I perioden 1993-2001 er det observert vannføringer opp til 144 m³/h ved stasjonen på enden av dreneringsystemet, mens middelvannføringen for perioden er beregnet til 15,2 m³/h (tabell 2). Som nevnt ovenfor kan det være en god strategi å redusere vannmengdene ved å fjerne tilrenning av rent vann.

Ved dimensjonering av et behandlingsanlegg benytter vi:

- Q_{dim} -dimensjonerende tilrenning, som er definert som den maksimale timetilrenning som overskrides i 50% av årets døgn (medianverdi)
- $Q_{maksdim}$ - maksimal dimensjonerende tilrenning, som er definert som den største timetilrenning som skal kunne behandles i alle trinn i renseanlegget.

I Follidal har vi foreløpig ikke godt nok grunnlag for å beregne Q_{dim} og $Q_{maksdim}$. Dette må gjøres ved hjelp av feltmålinger. Det er igangsatt slike målinger. Det anbefales at målingene pågår over en periode på 3 år.

I øyeblikket foreslås det å dimensjonere et overføringsanlegg til behandlingsanlegg for behandling av maksimalt 40 m³/h ($Q_{maksdim}$) og inntil 150.000 m³/år. Av figur 4 ser en at det er bare under vårflommen at en hittil er kommet opp i så store maksimumsvannføringer. Det vil trolig være mulig å redusere flomtoppen betydelig i forhold til dagens nivå ved å lede bort rent eller lite forurenset vann. Vi vil få bedre informasjon om vårflommens varighet i et pågående prosjekt finansiert av Bergvesenet som ble igangsatt i november 2001 der en måler vannføringen kontinuerlig (hver time) ved de to målestasjonene.

Med denne bakgrunn har vi foreløpig foreslått at det bygges et fordrøyningsmagasin på 400 m³ på kote ca. 740 for å jevne ut belastningen på behandlingsanlegget. Alt drenevann fra selve gruveområdet ledes fra ny kum på eksisterende transportledning til utjevningsbassenget. Fra utjevningsbassenget ledes drenevannet til planlagt behandlingsanlegg på kote ca. 700 (kfr. kartskisser figur 8 og figur 9). Fra utjevningsbassenget ledes avløpsvann, d.v.s. vannmengder utover det som magasineres og som ledes til behandlingsanlegget, til eksisterende ledningssystem langs Sagveien med direkte utløp i Folla. Overløpsvannmengder måles og registreres i et måleoverløp. Prinsippet innebærer at alt avløpsvann har passert utjevningsbassenget og eventuelle sedimenterbare forurensninger (fra avsetninger i transportsystemet) er fjernet fra vannfasen.

Fra fordrøyningsmagasinet overføres vann til behandlingsanlegget via trykkledninger av polyetylen (PE). Lokalisering med overføringsledninger er markert på figur 9. Tilløpssystemet dimensjoneres etter $Q_{maksdim} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11 l/s). Vannmengden fordeles på to parallelle identiske tilløpsledninger. Valgt ledningsdimensjon (90 x 8,2 mm, NT10) gir mulighet for trykk i mottakstanken inntil ca. 20 m. To tilløpsventiler (reguleringsventiler) styrer vannmengden inn på mottakstanken. Ventilene styres fra nivågirer i utjevningsbassenget på kote ca. 740, slik at ledningstverrsnittet alltid er vannfylt. Ledningene legges frostfritt, alternativt med isolering.

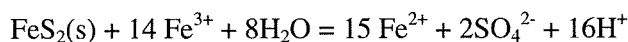
I samme grøft som tilførselsledningene legges signalkabel for overføring av målesignaler fra nivågirer i magasinet til behandlingsanlegget.

Behandlingsanlegget foreslås lokalisert i tilknytning til eksisterende renseanlegg for kommunalt avløp da en her har tilgang til elektrisitet, vann, brøytet vei etc., samt at det kan være praktisk å samordne driften med det kommunale anlegg av personellmessige årsaker. Dersom man velger en tiltaksløsning som innebærer at det blir behov for transport av store mengder avfallsprodukter fra anlegget, kan transporten lett samordnes med transporten til og fra Follidal Gjenvinning AS som er nærmeste nabo.

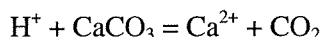
4.5 Behandling i gruva etter "Løkken-metoden"

Det har tidligere vært diskutert å søke å oppnå samme effekt som i Wallenberg gruve på Løkken eller som i Sulitjelma. I disse områdene er gruva benyttet som et "behandlingsanlegg" ved at en leder forurenset vann inn i en del av gruva og holder vannstanden ved å pumpe fra en annen del eller ved å ta ut overløpet på et annet sted. Da Wallenberg gruve ble vannfylt, observerte en ved å ta prøver fra forskjellige dyp i loddsjakten (Wallenberg sjakt) at kobberkonsentrasjonene i de dypere lag av den vannfylte gruva var meget lave og betydelig lavere enn i det opprinnelige gruvevannet som ble pumpet ut. Samtidig observerte en relativt høye sink- og jernkonsentrasjoner. Jernet forelå som toverdige. Det ble også observert en pH-heving og et høyt innhold av CO₂ og kalsium i gruvevannet. Observasjonene er forklart nærmere av Arnesen et al (1997). Forklaringen på effektene som er påvist på Løkken er i kort-het:

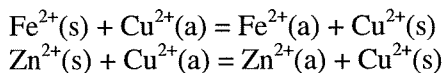
- ⇨ Treverdige jernioner som kommer i kontakt med pyritt reduseres spontant til toverdige:



- ⇨ Basiske bergarter (grønnstein) nøytraliserer surheten. pH-verdien stiger imidlertid ikke så høyt at toverdige jernhydroksid felles ut. Den nøytraliserende effekten til bergartsmineralene vil derved bli opprettholdt:



- ⇨ Gruvevannets innhold av kobber byttes ut med jern og sink i malmen. Disse reaksjonene er demonstrert i laboratorieforsøk og kan forklares v.h.a. redoks- eller løselighetsbetraktninger:



Hvor (s) står for fast fase og (a) i vandig løsning.

Effekten på Løkken er altså at utgående gruvevann har et relativt lavt kobberinnhold, mens innholdet av jern og sink er høyt. Jernet er toverdige, d.v.s. vannet ser fargeløst ut når det forlater gruva. pH-verdien er forholdsvis høy (pH 5), noe som er gunstig for å få til reaksjonene mellom kobber og jern på kisooverflaten. Når vannet kommer ut i dagen, oksiderer toverdige jern raskt til treverdige jern og en får en brunfarget utfelling av treverdige jernhydroksid. Effekten som er oppnådd på Løkken er avhengig av at bergartsmineralene i gruva har kapasitet til å heve pH i inngående vann tilstrekkelig. Dersom pH i utgående vann faller, er dette et tegn på at effekten avtar. Da vil den første reaksjonen bli mer og mer enerådende. I en slik situasjon vil det være direkte galt å lede surt drens vann med treverdige jern til gruva da treverdige jern oksiderer svovelkis, noe som kan føre til en økt metallbelastning på vassdraget.

Under en befarings til Folldal den 27.08.1990 ble det tatt en prøve ned til ca. 75 meters dyp i 390-sjakten (skråsjakt) med spesialprøvetaker. Resultatene fra prøvetakingen er samlet i tabell 3. Det ble påvist et relativt lavt kobberinnhold i prøven fra det største dypet samtidig som pH-verdien var betydelig høyere enn i overflaten, d.v.s. den samme effekten som på Løkken. Der imidlertid usikkert om den observerte vannkvaliteten i 390-sjakten er representativ for forholdene i gruva. Det er ingen forbindelse på dypet mellom "søndre" (ytre) del av gamle hovedgruve og "nordre" (indre) del. Sjakt 390 har sannsynligvis bare forbindelse på ett nivå under stoll 2 nivå. For å komme dypere ned i gruva ble det gjort forsøk på å diamantbore ned sjakt 175. Forsøket var mislykket idet man satte seg fast i etasjeforbygninger og fyllmasse. Borerørene ble dessuten sterkt angrepet av det sure gruvevannet.

Videre boringer ble oppgitt p.g.a. praktiske problemer og de store usikkerhetene sett i forhold til kostnadene.

Tabell 3. Analyseresultater for prøvetaking i 390-sjakten den 27.08.1990. Dyp er angitt som avstand fra toppen av sjakten målt langs sjakten som har en hellning på ca. 75 grader.

Dyp m	pH	Kond mS/m	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l
30	2,69	815	2598	185	143	0,47
70	2,68	845	2586	187	144	0,47
140	4,07	895	3359	0,35	137	0,066

Når en har vurdert det slik at det er et svært usikkert prosjekt å gjennomføre et tiltak der en pumper vann fra dypt nivå i gruva samtidig som en leder forurenset dremsvann inn i overflaten på gruva, er det ut fra følgende betraktninger :

1. Folldal hovedgruve er en relativt liten gruve sammenlignet med Wallenberg gruve der gruvevannet har en teoretisk oppholdstid på 8-10 år. Råmalmuttaket er beregnet til 1,5 mill. tonn i perioden 1748-1941. Det ble drevet med gjenfylling. Det er anslått at det er drevet ut ca. 200.000 m³ over stoll 2 og ca. 300.000 m³ under stoll 2.
2. Slik gruva er drevet er det usikkert om en vil treffe en strosse når en skal bore ned til store dyp fra dagen. Gruva er dessuten drevet med tilbakefylling, noe som kompliserer ytterligere.
3. Det er anslått et tilgjengelig volum på 150.000 m³ i de utdrevne rom under stoll 2. Kanskje er volumene enda mindre. Det er også store usikkerheter vedrørende forbindelsene mellom rommene på dypet. Oppholdstiden for inngående vann vil derfor bli usikker. Der er følgelig ikke mulig å vurdere hvor stor kapasitet gruva har til å heve pH tilstrekkelig i inngående vann.
4. Med denne bakgrunn vet en lite om varigheten til tiltaket. Sannsynligvis vil heller ikke tiltaket på Løkken vare "evig".
5. Dersom tiltaket likevel blir vellykket kjemisk sett, vil en oppnå reduserte kobberkonsentrasjoner i Folla. Det er imidlertid fare for at jernkonsentrasjonene vil øke slik at elva vil se brunere ut. For publikum vil derfor elva fortsatt se sterkt forurenset ut. Det er dessuten sannsynlig at de store jernmengdene som slippes ut vil ha en skadelig effekt på bunndyr i elva ved at bunnen blir nedslammet. Dette gjelder i første rekke på elvestrekningen ned til samløpet med Grimsa.
6. På Løkken er en i en gunstigere situasjon ved at store deler av gruvevannets innhold av jern felles ut i to mindre innsjøer, Fagerlivatn og Bjørnlivatn som fra før er sterkt forurenset, før avrenningen kommer fram til Orkla. I Folldal har en ikke slike muligheter uten å anlegge kunstige sedimenteringsdammer.
7. På grunn av forhold som nevnt ovenfor og med bakgrunn i kostnadene ved å drive et borhull ned til tilstrekkelig dyp, vurderte Norsulfid det slik at det var meget tvilsomt å gjennomføre et slikt prosjekt. SFT ble meddelt dette i brev av 31. mai 1994.

4.6 Kjemisk rensing av drensvann som tiltak

Kjemisk rensing som forurensningsbegrensende tiltak er gjennomført ved en rekke gruveområder i andre land. I Norge har en tidligere drevet renseanlegg for gruvevann ved Løkken Verk. Det kan være en rekke årsaker til at en velger rensing som tiltak :

- Eneste mulige tiltak
- Eneste tiltak som kan gi tilstrekkelig effekt
- Mest kostnadseffektive tiltak

De fleste anleggene finner en ved gruver som er i drift. Ofte er det slik at gruveselskapet blir pålagt å redusere utslippene til resipientene. Så lenge det pågår drift, er det ofte slik at det kan være rimeligere å behandle drensvannet enn å gjennomføre andre tiltak som flytting av avfall, overdekking etc. Det kan dessuten være gunstigst å gjennomføre sistnevnte tiltak først etter at driften opphører. Det er også eksempler på at en har valgt å gjennomføre kjemisk rensing av drensvann for en periode inntil en oppnår ønsket effekt med andre tiltak. Så lenge en gruve er i drift, er det vanligvis ingen problemer i forbindelse med deponering av slam fra et renseanlegg idet mange velger å deponere hydroksidslam sammen med avgangen fra oppredningsverket.

NIVA har besøkt flere renseanlegg for gruvevann ved nedlagte gruver. Av slike områder kan nevnes Falun og Laisvall (Iversen et al, 1994), Zlate Hory, Tsjekkia (Arnesen, 1993), Equity ved Houston, B.C., Canada, Argo Tunnel ved Idaho Springs, Colorado, USA og Yak Tunnel ved Leadville, Colorado, USA. Anleggene i USA ble besøkt i forbindelse med feltbefaringer under konferansen ICARD 2000 i Denver i mai 2000, mens anlegget ved Equity ble besøkt i 1987 (Arnesen, 1988) og i 1997 forbindelse med ICARD 1997 i Vancouver, Canada. Årsakene til at man har valgt denne type tiltak ved disse lokalitetene har sammenheng med at alternative tiltak med samme virkningsgrad ville bli svært kostbare og til dels umulige. Ved noen steder ville alternative løsninger dessuten komme i konflikt med kulturminneinteresser. Dette var spesielt tilfelle ved de to anleggene i Colorado der det var investert store beløp i museumsgruver og tilrettelegging for publikum. Ved Equity var strategien å foreta kjemisk rensing av drensvann inntil effekten av et overdekkingstiltak fikk tilstrekkelig virkningsgrad. Dette var beregnet å ta ca. 40 år. Innenfor det foreliggende prosjekt ble det også foretatt en befarings til renseanlegget for gruvevann i Falun. Noen av erfaringene fra denne befarings som ble foretatt den 21.02.02 er lagt til grunn for de anbefalinger som er gjort i denne rapporten.

Når det gjelder kjemisk rensing er det i hovedsak tre prosesser som er i bruk :

1. Felling med sulfid
2. Felling med kalk (lesket kalk eller hydratkalk)
3. Felling med lut (kaustisk soda)

Sulfidfelling egner seg godt for felling av metaller som bly, arsen, og kobber. Treverdige jern bør være fraværende i størst mulig grad da sulfid også forbrukes til å redusere treverdige jern til toverdige. Siden drensvannet i Folldal inneholder mye treverdige jern, er en derfor henvist til en renseprosess som enten benytter kalk eller lut til pH-reguleringen. I renseanlegg er det mest vanlig å benytte hydratkalk fremfor brent kalk da det erfaringsmessig har vist seg at de pengene en sparer på å kjøpe brent kalk og leske på stedet ofte kan gå tapt p.g.a. økt vedlikehold. Ved mange anlegg foretrekker en å bruke lut fremfor kalk. Dette har som regel sammenheng med at lut gir mindre driftsproblemer og kan dessuten bidra til å redusere deponikostnadene da en ikke får utfelling av gips. I Folldal vil gipsmengden trolig bli største enkeltbidrag til slammet dersom en bruker kalk. Lut er imidlertid dyrere enn kalk. Kalkslammet er trolig lettere å avvanne og det kan trolig produseres et slam med høyere tørrstoffinnhold enn ved bruk av lut. Kalk gir også en mer stabil sinkfelling enn lut, da kalk feller ut sink som tungtløselig kalsiumsinksat, Ca Zn(OH)_4 . En vesentlig ulempe med kalk er at en ved pH-regulering av

vann med høyt sulfatinnhold vil få en betydelig utfelling av gips. De store slammengdene vil gjøre det nødvendig å gjennomføre en såkalt HDS-prosess (High Density Sludge Process). I en slik prosess vil slammet ha et meget høyt tørrstoffinnhold gjennom anlegget, noe som igjen fører til stor slitasje på anleggets enheter som slampumper, lagre og slamavvanningsutstyr. I tillegg bygger det seg opp tykke lag av gips på tankflater og annet utstyr i anlegget. Det er en omfattende jobb å fjerne gipsbelegget. Dersom ikke anlegget er bygget opp med to linjer, må hele anlegget stoppes under slikt vedlikehold. Dersom en ønsker å foreta en gjenvinning av metaller fra drenevannet, vil det sannsynligvis være en fordel å benytte lut da utfelling av gips vil forstyrre flere av de aktuelle gjenvinningsprosessene.

Etter å ha innhentet erfaringer fra driften av renselegget for gruvevann i Falun i Sverige der det er store vedlikeholdskostnader knyttet til gipsutfellingen, er det vår erfaring at det er viktig at en ikke bare ser på kjemikaliekostnadene alene når en skal velge fellingsprosess. Etter en samlet vurdering av alle forhold vil vi derfor foreslå et en benytter lut til pH-reguleringen i Folldal da vi tror at dette vil bli mest kostnadseffektivt totalt sett.

Tradisjonell kjemisk rensing av drenevann innebærer at det genereres nytt avfall som må deponeres på spesialdeponi. I Folldal må et slikt renseanlegg drives på ubestemt tid. Sett over et lengre tidsperspektiv kan derfor slammengdene bli betydelige. For å redusere ulempene ved å stadig generere nytt avfall har NIVA gjennomført flere prosjekter etter oppdrag for Statens forurensningstilsyn der en har sett mer på mulighetene for å gjenvinne metaller fra drenevannet ved hjelp av kommersielt tilgjengelig teknologi. Prosjektene har vært gjennomført i Sulitjelma og ved Kongens gruve på Røros ved at alternative prosesser ble utført i pilotskala i kontinuerlige anlegg. Prosjektene har tatt utgangspunkt i en situasjon som er vanligst der en har et surt, metallholdig drenevann som inneholder hovedkomponentene jern, kobber og sink og der jernet hovedsaklig foreligger i treverdige form. Det er testet en renseprosess med følgende rensetrinn :

1. Selektiv felling av treverdig jernhydroksid ved lav pH (3,5). Avvanning av jernslam. Transport av slam til anlegg for produksjon av jernklorid som er et kommersielt salgbart produkt. Avløp fra prosessen sandfiltreres før neste trinn.
2. Konsentrering av metallinnholdet i filtratet fra foregående trinn slik at kobberinnholdet i konsentratet er minst 1g/l.
3. Gjenvinning av kobber og sink fra konsentrat v.h.a. elektrolyse.

I utviklingsarbeidet er det hittil lagt mest vekt på trinn 1 og tiltak for å redusere medfelling av for store mengder kobber sammen med jernet. Ved produksjon av jernklorid stilles det krav til spormetallinnholdet i jernslammet. Når det gjelder konsentreringstrinnet, har vi testet prosesser som omvendt osmose (RO) og kjemisk felling, og begge er anvendbare. Innenfor det canadiske forskningsprogrammet MEND er det bl.a testet selektiv ionebytter for slike formål (Riveros and Wong, 1995).

Så vidt vi vet er det hittil ikke bygget noe gjenvinningsanlegg av den type som er nevnt ovenfor. I Norge ble det ved Løkken Verk foretatt gjenvinning av kobber fra gruvevannet fra Løkken gruve i perioden 1953-1962 ved felling som kobbersulfid. Dette ble gjort ved smelteverket på Thamshavn. Dette var mulig fordi man hadde tilgang på H₂S fra smelteverket. Dessuten forelå jern i det vesentlige som toverdige samtidig som kobberkonsentrasjonen i gruvevannet var betydelig. Før dette hadde man gjort omfattende forsøk med gjenvinning av kobber ved utfelling på jernskrap (sentering) i perioden 1925-1930.

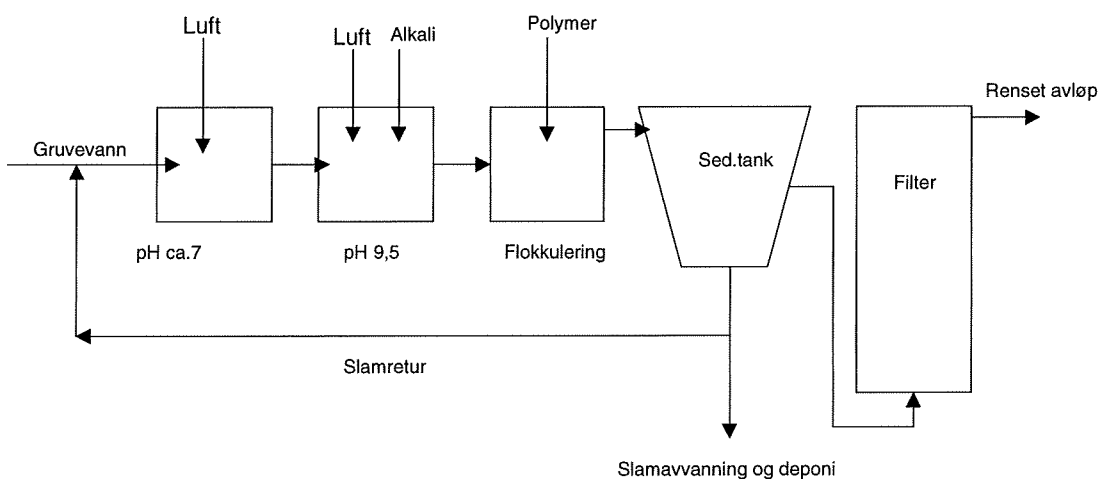
I litteraturen ser en at det er mange som arbeider med gjenvinningsløsninger. Dette har sin bakgrunn i myndighetenes ønske om å ta i bruk mer bærekraftig teknologi. Når en skal vurdere om gjenvinning kan være et mulig alternativ i Folldal, bør en ta utgangspunkt i grundige kostnadsanalyser der en foruten anleggs-og driftskostnader også vurderer metallverdien og bruksverdien til gjenvunnet metall, samt deponiekostnader og ulempene med deponering sett i et lengre perspektiv. I det følgende vil vi gå igjennom prosessalternativer som vi mener er aktuelle i Folldal.

4.7 Kjemisk rensing uten gjenvinning av metaller

Prosessen innebærer en tradisjonell kjemisk rensing i et kontinuerlig anlegg der en foretar en pH-heving med alkali for utfelling av metallhydroksider. Etter sedimentering og filtrering slippes rensset vann ut mens slammet fortykkes, avvannes og transporteres til deponi.

4.7.1 Prosessbeskrivelse

Drensvannets kjemiske sammensetning gjør at slamvolumene blir meget store ved en tradisjonell kjemisk rensing enten en bruker lut eller kalk. For å redusere slamvolumene og få et så høyt tørrstoffinnhold i sedimentert slam som mulig må det benyttes en såkalt HDS-prosess (High Densisty Sludge Prosess). Ved dette renseprinsippet tilbakeføres deler av det sedimenterte slam fra sedimenteringstanken enten helt tilbake til kalktanken eller den tanken der drensvannet kommer inn. I tillegg til reduserte slamvolumer medfører også prosessen redusert alkaliforbruk. Figur 10 viser en prinsippskisse for renseprosessen som kan være aktuell i Folldal.



Figur 10. Prinsippskisse for rensing av drensvann i Folldal sentrum uten gjenvinning av metaller v.h.a. HDS-prosess.

Renseanlegget består av følgende tanker som foreslås laget i rustfritt stål.

1. Mottakstank (reaksjonstank 1)
2. Kontakttank (reaksjonstank 2)
3. Flokkulering
4. Sedimentering
5. Filtrering

I tillegg til prosessenhetene kommer sekundæranlegg for slamretur og slambehandling, anlegg for spyling av sandfilter samt nødvendig doseringsutrustning. Flyteskjema for foreslått prosess fremgår av figur 11.

I de to reaksjonstankene oksideres toverdig jern til treverdig v.h.a. lufting (alternativt ozonering). Det er i tillegg ofte vanlig å foreta en etterpolering av sedimentert avløp fra sedimenteringsanlegget i et sandfilter. Vi bedømmer etterpolering i sandfilter som nødvendig for å oppnå høy renseseffekt også i perioder med høy avrenning (kfr. "målsettingen" side 22). Det kan være praktisk å la behandlingen skje i to parallelle, identiske linjer fram til sedimenteringsanlegget. Ved lav belastning benyttes bare en linje mens nødvendig vedlikehold gjennomføres på den andre.

4.7.2 Dimensjonering

Behandlingsanlegget er dimensjonert med basis i forsøk utført ved gruvene i Sulitjelma og Røros, samt erfaringer fra utførte anlegg (Sverige, USA og Canada). Gruvevannets sammensetning er imidlertid meget varierende fra anlegg til anlegg slik at endelige dimensjoneringskriterier kan fastslås først etter gjennomførte pilotforsøk med aktuelt avløpsvann.

Renseanlegget forutsettes å kunne behandle $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ved dimensjonerende belastning (Q_{dim}) og inntil $150.000 \text{ m}^3/\text{år}$. I perioder med høy avrenning, som f.eks. i snøsmeltingsperioder, kan anlegget belastes med inntil $40 \text{ m}^3/\text{h}$ (Q_{maksdim}).

Fordelt på to linjer blir dimensjonerende belastning pr. linje $\frac{1}{2} Q_{\text{dim}} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$ og maksimal belastning $\frac{1}{2} Q_{\text{maksdim}} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$.

Med bakgrunn i eksisterende datagrunnlag foreslår vi følgende dimensjoner for renseanleggets enheter:

Inntakssiler

Hver av inntaksledningene fra utjevningsbassenget utrustes med en selvrensende sil på 100μ . Silene fjerner utfelt metallhydroksid og andre inerte partikler fra vannet før videre behandling. Spylerester fra silene ledes til utvendig slamavskiller. Silene spyles med utgående rensed vann.

Mottakstank

Mottakstanken er felles for begge linjene. Tanken står under trykk (5-10 m vannsøyle)

$$Q_{\text{dim}} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{maksdim}} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$$

I mottakstanken foregår :

- ⇒ Tilførsel av forurenset drens vann
- ⇒ Retur av slam fra sedimenteringsenhet (% retur: 10-20 %) til ca. pH 7
- ⇒ Dosering av luft eller ozon for oksidasjon av toverdige jern

Beregnet nominell kontakttid i tanken ved:

$$Q_{\text{dim}} (10 \text{ m}^3/\text{h}) : 60 \text{ min}$$

og ved:

$$Q_{\text{maksdim}} (40 \text{ m}^3/\text{h}): 15 \text{ min.}$$

Kontakttiden reduseres avhengig av mengde returslam fra sedimenteringsenheten.

$$\text{Nødvendig tankvolum } V_0 = 10 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,0 \text{ h} = 10 \text{ m}^3$$

$$\text{Effektiv vannhøyde i tanken; } H_0 = 4,7 \text{ m gir tankflate } A_0 = 2,1 \text{ m}^2$$

$$\text{og tankdiameter } D_0 = 1,6 \text{ m}$$

Kontaktstank og flokkuleringstank

To tanker i serie pr. linje. Hver linje dimensjoneres for $\frac{1}{2} Q_{\text{dim}} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$.

I kontaktstanken foretas en restoksidasjon av toverdige jern ved tilsetning av luft og en heving av pH til 9,5 ved tilsetning av alkali (kalk eller lut).

I innløpet til flokkuleringstanken tilsettes polymer for å forbedre flokkoppbyggingen.

Begge tankene utrustes med saktegående omrørere.

Beregnet kontakttid i hver av tankene :

Ved $\frac{1}{2} Q_{\text{dim}}$ ($5 \text{ m}^3/\text{h}$) : 60 min
 Ved $\frac{1}{2} Q_{\text{maksdim}}$ ($20 \text{ m}^3/\text{h}$) : 15 min

Nødvendig tankvolum:

$$V_{\text{kt}} = 5,0 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,0 \text{ h} = 5 \text{ m}^3$$

Effektiv vannhøyde i tanken:

$$H_{\text{kt}}=3,7 \text{ m gir tankflate } A_{\text{kt}} = 1,35 \text{ m}^2 \text{ og tankdiameter } D_{\text{kt}} = 1,3 \text{ m}$$

Sedimenteringsenhet

Sedimenteringsenheten kan dimensjoneres etter :

1. Flatebelastning $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (m/h)
2. Oppholdstid t (timer)
3. Slambelastning $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$

Med henvisning til forsøk utført i Canada (Basra, 1997) og i Sverige (Kuyucak et al, 2001) kan den hydrauliske flatebelastningen ved Q_{maksdim} være høyere enn 2 m/h (2-3 m/h).

Beregnet flatebelastning på sedimenteringstanken ved :

$$Q_{\text{maksdim}} (20 \text{ m}^3/\text{h}) : f_s=2,5 \text{ m/h som gir en flatebelastning ved :}$$

$$Q_{\text{dim}} (5 \text{ m}^3/\text{h}) : f_s= 0,6 \text{ m/h.}$$

Dette gir en sedimenteringsflate $A_s= 20\text{m}^3/\text{h}/2,5\text{m/h}= 8\text{m}^2$, og tankdiameter $D_s=3,2 \text{ m}$.

Effektiv vannhøyde i sedimenteringstanken $H_s=3,7 \text{ m}$ gir sedimenteringsvolumet $V_s=30 \text{ m}^3$.

Oppholdstid i tanken:

$$\text{Ved } Q_{\text{dim}} (5\text{m}^3/\text{h}) : T_s=6 \text{ h}$$

$$\text{Ved } Q_{\text{maksdim}} (20 \text{ m}^3/\text{h}) : T_s=1,5 \text{ h}$$

Slambelastningen er avhengig av valgt behandlingskjemikalie (kalk eller lut) samt omfanget av resirkulert slam til mottakstanken.

Sedimenteringstanken utrustes med kombinert saktegående slamskraper og omrører for å unngå brodannelse i slammet. Utrustning for måling av slamnivå monteres i tanken.

Filtreringsenhet

Etter sedimenteringsenhetene ledes samlet vannmengde til en flokkuleringstank og to parallellkoblede oppstrøms sandfiltre.

I tillegg til behandlingsenhetene kommer rentvannstank for magasinering av tilstrekkelig spylevann til filtrene og tank for oppsamling av spylevann.

Flokkuleringsenheten er felles for begge sandfiltrene.

Oppholdstiden i flokkuleringstanken er beregnet på Q_{dim} : 60 min og $Q_{\text{maksdim}} = 15$ min.

Beregnet volum :

$$V_{\text{FL}} = 10 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,0 = 10 \text{ m}^3.$$

Effektiv vannhøyde i tanken $H_{\text{FL}} = 3,7$ m gir tankflate $A_{\text{FL}} = 2,7 \text{ m}^2$ og tankdiameter $D_{\text{FL}} = 1,9$ m.

Flokkuleringstanken utrustes med saktegående omrører (padleomrører).

Sandfiltrene dimensjoneres etter flatebelastning i $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (m/h). Normal flatebelastning for sandfilter av denne typen er inntil 10 m/h. Dette gir følgende totale filterareal :

Ved belastning Q_{maksdim} (40 m^3/h) og flatebelastning 10 m/h:

$$A_{\text{F}} = 40 \text{ m}^3/\text{h}/10 \text{ m/h} = 4 \text{ m}^2$$

Ved Q_{dim} (10 m^3/h) blir flatebelastningen :

$$f = 10/4 = 2,5 \text{ m/h}$$

Beregnet filterflate fordeles på to filtere med 2 m^2 filterflate på hvert filter.

Dette tilsvarer 2 sandfiltre hver med diameter $D_{\text{F}} = 1,6$ m

Total filterhøyde 4,0 m.

Rentvannstank

Sandfiltrene spyles i h.h.t. driftstid eller i h.h.t. mengde behandlet vann. Spyling skjer med filtrert ferdigbehandlet vann. Normal spylehastighet er ca. 60 m/h og spyletiden 5 minutter. Filtrene spyles vekselvis. Dette gir følgende volum for rentvanns- og spylevannstank:

$$V_{\text{R}} = 60 \cdot 5/60 = 10 \text{ m}^3, \text{ d.v.s. tank med diameter } D_{\text{R}} = 1,9 \text{ m og effektiv vannhøyde } H_{\text{R}} = 3,7 \text{ m.}$$

Spyleslamtank

Spyleslam fra filtrene ledes til en utjevningsstank med samme dimensjoner som spylevannstanken.

Fra spyleslamtanken pumpes utjevnnet vannmengde til mottakstanken alternativt til tank for returslam.

Mengde spylevann er normalt 3-4% av filtrert vannmengde.

Slamtank

Slam fra sedimenteringsenhetene pumpes intermitterent og vekselvis til en slamtank.

Ved maksimal belastning pumpes fra begge sedimenteringsenhetene. Slammengden overvåkes av slamnivåmåler i sedimenteringsenhetene.

Foreslått HDS-prosess forventes å gi en slamkonsentrasjon på ca. 15% i slammet fra sedimenteringsenheten. Returslammengden til mottakstanken styres av målt slamkonsentrasjon i returslammengden og målt total innkommende vannmengde fra utjevningsbassenget. Returslammengden er avhengig av slamkonsentrasjon i slamtanken og den til enhver tid innkommende vannmengde.

Erfaringsmessig er returslammengden 10-20% av innkommende vannmengde. Ved beregnet Q_{maksdim} (40 m^3/h) blir returslammengden 4-8 m^3/h .

Ved Q_{dim} (10 m^3/h) blir returslammengden i størrelsesorden 1-2 m^3/h .

Slamavvanning

Overskuddsslam fra slamproduksjonen pumpes intermittert til en slamlagersilo og derfra til en slamavvanner. Slamavvanneren kan være slampresse eller slamsentrifuge.

Rejektvann fra slamavvanneren ledes til flokkuleringstank før sandfilter.

Avvannet slam fordeles på slamcontainere for transport til deponi.

4.7.3 Prosesskjemikalier og forbruk**Alkali**

Som pH-regulerende kjemikalie er det mest aktuelt å benytte hydratkalk eller lut (kaustisk soda). Hydratkalk kjøpes i bulk og blandes til en passende slurry med vann (som f.eks 10 % slurry). Lut kan også kjøpes tørt og blandes til passende doseringsstyrke. Det er imidlertid mest vanlig å kjøpe fortynnet lut inneholdende 50 % lut (oljelut). 50 % lut må transporteres og lagres temperert i silo for å sikre at den er flytende. Lut doseres ufortynnet til vannfasen med membradoseringspumper før kontakttanken i hver linje. Doseringmengden styres kontinuerlig av målt pH. Leveranse av lut skjer i tankbiler som tar 30 tonn (ca. 20 m³).

Under befaring til området den 1.11.2001 ble det tatt prøver av dreinsvann for bestemmelse av alkali-behov. 1 liter prøve ble titrert med 10 % kalkslurry og 5N lut. Prøven ble i tillegg luftet for å oksidere toverdige jern. Analyseresultater for sigevannets sammensetning er gjengitt i tabell 1.

Dersom en benytter analyseresultatene i tabell 1 som representative for året, og en årsavrenning på 150.000 m³ for samlet avrenning og 30.000 m³ som samlet avrenning fra stoll 2, er det gjort et anslag over kjemikalieforbruket pr. m³ og for året.

Tabell 4. Alkaliforbruk pr. m³ dreinsvann (hydratkalk og 100 % NaOH)

	Stoll 2 kalk kg	Stoll 2 lut kg	Slamdam kalk kg	Slamdam lut kg
pH 3,5	2,8	2,2	1,5	1,15
pH 9,2	8,0	7,4	3,1	2,8

Tabell 5. Alkaliforbruk pr. år ved en samlet avrenning på 150.000 m³ (slamdam) og en gruvevannsvannsmengde på 30.000 m³ (stoll 2).

	Stoll 2 kalk tonn	Stoll 2 lut tonn	Slamdam kalk tonn	Slamdam lut tonn
pH 3,5	84	66	225	173
pH 9,2	240	222	465	420

Polymer

Polymer doseres til vannfasen før flokkuleringstanken i hver linje. Polymeren er tilpasset felling ved høy pH. Polymer (i pulverform) løses opp i egnet oppløsningsutrustning og doseres med membradoseringspumper. Doseringspumpen styres av målt vannmengde i begge linjer.

4.7.4 Virkningsgrad

I tabell 6 er vist resultatene for en kjemisk felling i laboratorieskala. Det ble valgt en fellings-pH i området 9,2-9,5 da det ble antatt at optimale betingelser blir oppnådd i dette området med den kjemiske sammensetning dreinsvannet fra Folldal har. Dersom en senker pH-verdien med en enhet, vil dette kanskje ikke ha noen store konsekvenser for kobberinnholdet i avløpsvannet fra renseanlegget, men sinkinnholdet vil trolig øke noe. Dersom en velger en lavere pH-verdi, vil en bruke noe mindre alkali og følgelig spare noen kjemikaliekostnader. Når vi har foreslått en så vidt høy pH-verdi som 9,5 har dette også sammenheng med at en derved vil få en bedre utfelling av spormetaller som nikkel, mangan og kadmium. Oksidasjonshastigheten for toverdige jern øker dessuten betydelig med økende pH. Tabell 6 viser at virkningsgraden for f.eks. fjerning av kobber vil bli svært høy og bedre enn 99 %. Ved en etterpolering i sandfilter, kan en trolig forvente virkningsgrader bedre enn 99,9 % m.h.t. kobberfjerning dersom en ser på konsentrasjonene i inn- og utgående vann i anlegget.

Den praktiske virkningsgraden av et renseteknisk tiltak vil imidlertid være helt avhengig av tilføringsgraden av forurenset dreinsvann til anlegget. Som nevnt i kapittel 2.4 tyder transportberegningene på at eksisterende dreinsrørsystem fanger opp ca 80 % av kobbertilførselene til Folla. Tallet er usikkert, men vil bli nærmere kartlagt i 2002. Dersom tallet er riktig, er det nødvendig å effektivisere oppsamlingen av dreinsvann. Det er gode muligheter for å få til dette slik vi ser det. Sannsynligvis bør en ha som mål å oppnå en virkningsgrad opp mot 90 % dersom en skal oppnå kobberkonsentrasjoner i området 10-15 µg/l i Folla ved Folshaugmoen. En mulig strategi kan være å gå gradvis fram og forbedre tilføringsgraden etterhvert som en får erfaringer fra anleggets drift og ser effektene i vassdraget. En har derfor under planleggingen tatt høyde for en økt hydraulisk belastning på anleggets enheter ved at en foreløpig har valgt $Q_{maksdim}$ til 40 m³/h.

4.7.5 Slammengder ved kjemisk rensing uten metallgjenvinning

Dersom en tar sikte på et tiltak med kjemisk rensing og slamdeponering, kan slammengdene bli svært forskjellige avhengig av det kjemikalie man benytter til pH-regulering. De mest vanligste kjemikalierne er lut (kaustisk soda) eller kalk. Dersom man benytter kalk til pH-regulering av dreinsvann fra Folldal sentrum, vil en få utfelling av gips (kalsiumsulfat). Dette skyldes at dreinsvannet fra før inneholder mye kalsium og sulfat. Ved ytterligere dosering av kalsium blir løselighetsproduktet for kalsiumsulfat overskredet og en får utfelling av kalsiumsulfat. For å unngå dette kan en benytte lut til pH-reguleringen.

For å få et inntrykk av hvilke slammengder en vil få til behandling i Folldal ble det foretatt en laborietest på prøver av gruvevann (stoll 2) og av samlet dreinsvann ved enden av dreinsledningen (slamdam). En prøvemengde på 1 liter ble pH-justert til området 9.2-9.5, luftet for oksidasjon av toverdige jern og satt til sedimentering. Etter en times sedimentering ble vannfasen analysert (prøve tatt ut ved dekantering) m.h.t. de viktigste komponenter. Resultatene viser (tabell 6) at i pH-området 9-9,5 vil en oppnå gode resultater m.h.t. fjerning av de fleste komponenter. En ser også at sulfatkonsentrasjonene avtar merkbart når en feller med kalk som følge av utfelling av gips, CaSO₄·2H₂O.

Slamfasene ble filtrert fra, tørket og veiet. Deretter ble slamproduksjonen beregnet pr. m³ dreinsvann begge stasjoner. Ved en antatt avrenningsmengde på maksimalt 150.000 m³/år for samlet avrenning er det i tabell 7 også beregnet hvor stor den årlige slammengden vil bli dersom en benytter lut eller kalk ved rensing av samlet avrenning. Beregningen er gjort for en avvanning til 30 % og 60 % tørrstoffinnhold. Gjennomsnittlig slamproduksjon ved felling med kalk vil bli ca. 11 tonn/døgn med et tørrstoffinnhold på 30 % og 5,8 tonn/døgn med et tørrstoffinnhold på 60 %. En kostnadsanalyse der en tar med deponi- og transportkostnader vil avgjøre hva slags slamavvanning som er mest lønnsom.

Tabell 6. Felling av vann fra slamdam og stoll 2 med lut og kalk ved pH 9,2-9,5 og oksidasjon med luft. Prøver tatt av vannfasen etter 1 times sedimentering. Ufiltrerte prøver.

	Al	Ca	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	SO ₄	Si	Zn
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Slamdam	396	431	0,41	3,15	159	1580	15,9	1,32	4551	64,9	99,0
Lut pH 9,2-9,5	3,56	306	<0,01	<0,01	0,31	4,18	0,07	<0,01	4012	<0,01	0,22
Kalk pH 9,2-9,5	3,42	1100	<0,05	<0,05	0,09	0,35	0,02	<0,01	2961	<0,01	0,07
Stoll 2	896	685	0,98	6,99	419	2710	29,6	2,49	11287	113	228
Lut pH 9,2-9,5	0,99	355	<0,05	<0,05	0,05	0,23	0,05	<0,01	10180	<0,01	<0,05
Kalk pH 9,2-9,5	0,87	1360	<0,05	<0,05	0,07	0,10	0,02	<0,01	3982	<0,01	0,07

Tabell 7. Slammengder ved kjemisk rensing av drensvann ved bruk av kalk eller lut. Som grunnlag er benyttet en samlet avrenning på 150.000 m³/år (slamdam) og en gruvevannsmengde på 30.000 m³/år.

	100 % TS	30 % TS	60 % TS	Årlige mengder m ³ /år 30 % TS	Årlige mengder m ³ /år 60 % TS
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³		
Slamdam, lutfelling	2,8	9,5	4,7	2000 tonn	1000 tonn
Slamdam, kalkfelling	6,2	20,8	10,4	4000 tonn	2100 tonn
Stoll 2 lutfelling	9,9	33,1	16,5	900 tonn	450 tonn
Stoll 2 kalkfelling	20,6	68,6	34,3	1900 tonn	930 tonn

Det er tvilsomt om man vil oppnå et så høyt tørrstoffinnhold i slammet som 60 % dersom man benytter lut til pH-reguleringen. Ved avvanning i kammerfilterpresse oppnår man vanligvis et tørrstoffinnhold i området 20-30% ved utfelling av metallhydroksider med lut. Det høye jerninnholdet i drensvannet er gunstig for å oppnå et så høyt tørrstoffinnhold som mulig. Det er mulig at tørrstoffinnholdet i slammet kan økes ved å benytte vacuumfiltrering eller sentrifugering.

4.7.6 Slamdeponering

Det er mulig at man kan greie å avvanne slammet med et tørrstoffinnhold på inntil 60 % dersom det er viktig å oppnå slike resultater. Ved rensing av overflateindustriens avløpsvann er det mest vanlig å presse slammet til et tørrstoffinnhold på 30-35 % når jern er det dominerende metall. Årlige slammengder i området 2000-4000 tonn innebærer i gjennomsnitt 2-4 transporter i uka til deponi dersom en regner at hver container tar 20 tonn. I perioder med høy belastning vil det bli daglige transporter. Dette gjør det nødvendig å anlegge et deponi i lokalmiljøet av kostnadmessige årsaker. Ved deponering av hydroksidslam stilles det vanligvis spesielle krav til deponiets utforming. Deponiet skal være tett i bunnen for å hindre at sigevann fra deponiet skal forurense grunnvannet. I Folldal bør en finne en lokalitet for deponiet slik at det ikke er muligheter for at sigevann kan påvirke vannforsyningen eller grunnvannet. Det anbefales også at sigevann fra deponiet kan samles opp og føres tilbake til rensenanlegget dersom det viser seg at dette blir nødvendig. Det bør derfor ikke være for lang avstand mellom deponi og rensenanlegg. Deponiet deles ofte opp i seksjoner som avsluttes med en tett overdekking etterhvert som seksjonene blir fulle av slam.

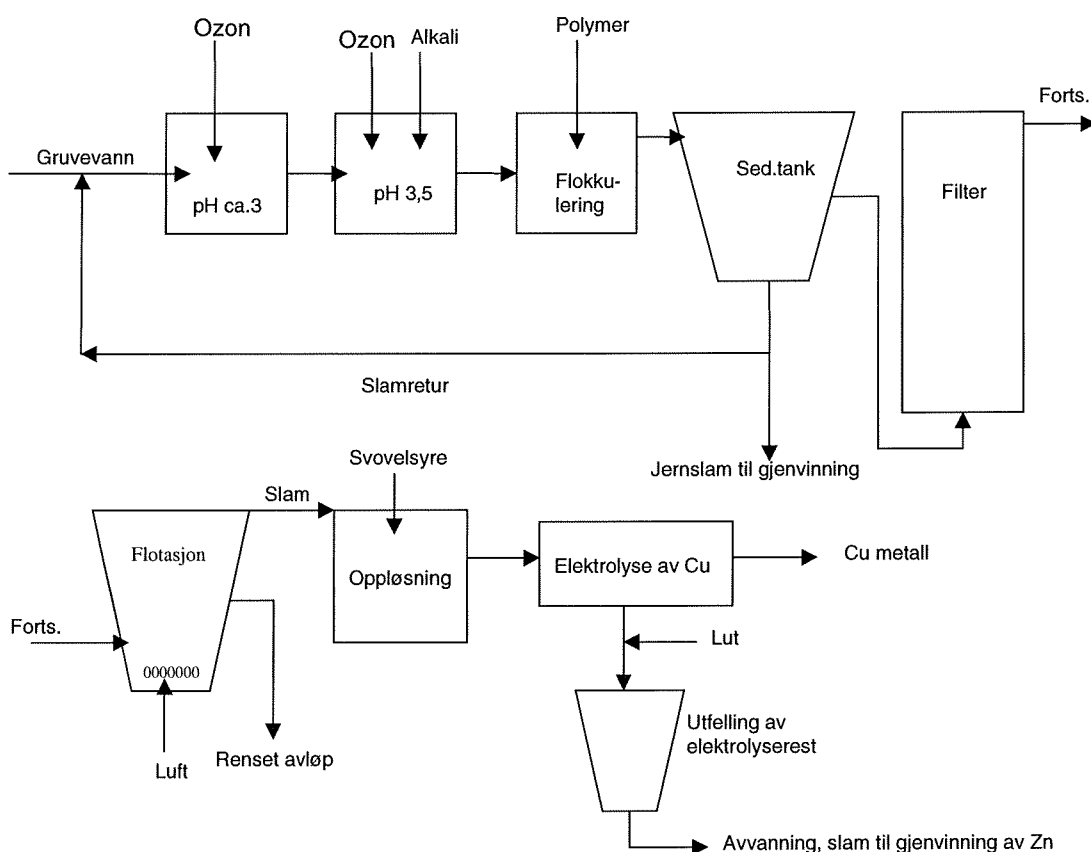
4.8 Kjemisk rensing med metallgjenvinning

Prosessen innebærer en fremgangsmåte som skissert i kapittel 4.6 der en tar sikte på en gjenvinning av drens vannets innhold av jern, kobber og sink. Det er flere alternativer for delprosessene. I dette tilfelle vil vi kun gå nærmere inn på en prosessløsning som ble utprøvet i pilotskala ved Kongens gruve på Røros (Iversen et al, 1997). Da den kjemiske sammensetning for drens vannet i Follidal er svært forskjellig fra forholdene ved Kongens gruve, vil det være nødvendig å utrede prosessen nærmere i et kontinuerlig anlegg i pilotskala før en eventuelt skal velge mest kostnadseffektiv prosess.

4.8.1 Prosessbeskrivelse

Prosessen som er skissert omfatter tre trinn og er vist på figur 12 (prinsippskisse) og figur 13 (flyteskjema).

1. Selektiv utfelling av treverdig jernhydroksid. Avvanning av jernslam, deponering/gjenbruk. Filtrat videre til trinn 2.
2. Konsentering av restmetallinnholdet slik at kobberkonsentrasjonen er minst 1 g/l.
3. Gjenvinning av kobber og eventuelt sink v.h.a. elektrolyse.



Figur 12. Prinsippskisse for behandling av drens vann med gjenvinning av metaller.

Prosessens første trinn vil bli svært lik prosessen for samlet utfelling av hydroksidslam (se 4.7.1). pH i mottakstank heves til 3,5 ved returslampumping og med lut. Drens vannets innhold av toverdig jern må oksideres med et kraftigere oksidasjonsmiddel enn luft da oksidasjon med luft går for langsomt ved en så lav pH-verdi som 3,5. Hydrogenperoksid eller ozon er aktuelle midler. I Follidal er sannsynligvis ozon som genereres på stedet best egnet. Det må gjøres forsøk for å bekrefte prosessen. En benytter

også i trinn 1 en HDS-prosess som er beskrevet under kapittel 4.7.1. Jernslammet fortykkes og avvannes til ønsket tørrstoffinnhold. Jernslam sendes videre til anlegg for produksjon av jernklorid (Kemira Chemicals AS). Litt aluminium og kobber vil følge jernslammet. Avløpet fra sedimenterings-enheten filtreres i oppstrøms sandfiltere.

I trinn 2 konsentreres metallinnholdet før videre gjenvinning finner sted. Som konsentreringsteknikk er det flere muligheter som kan være aktuelle. I denne rapporten vil vi kostnadsregne et alternativ som ble utprøvet i pilotskala ved Kongens gruve på Røros. Dette innebærer at pH i filtratet fra trinn 1 heves til 9-9,5 med lut for utfelling av metallinnholdet. Hydroksidslammet der kobber- og sinkhydroksid er hovedbestanddelene fjernes v.h.a. flotasjon. Resten går til avløp. Det er ofte vanlig å foreta en etterpolering i sandfilter. Vi har tatt hensyn til dette. Fortykket slam løses i svovelsyre og metallisk kobber tas ut ved elektrolyse. For å gjenvinne sink v.h.a. elektrolyse, må elektrolyseprosessen foretas i alkalisk miljø. På Røros var det lokal interesse i å gjenvinne kobberet for lokal bearbeiding og produksjon, mens det var liten interesse for sink. Det kan det uansett være kostnadseffektivt å gjenvinne kobber lokalt siden kobber er relativt enkelt å gjenvinne med meget god virkningsgrad når jern er fraværende. Flere typer elektrolyseanlegg for disse konsentrasjonsnivåer er kommersielt tilgjengelige.

Ved å heve pH til 9-9,5 i elektrolyseresten etter kobberfjerning felles restmetallinnholdet ut. Sink er viktigste komponent i slammet. Det antas at del vil være mulig å sende avvannet slam til Norzink i Odda (alternativt andre anlegg) for gjenvinning av sink og at dette er mer kostnadseffektivt enn å gjenvinne sink lokalt. Dette må imidlertid utredes nærmere om dette er et reelt alternativ eller om sink må gjenvinnes lokalt. Det er dessuten nødvendig å gjennomføre en studie av hvilken konsentreringsprosess som er mest kostnadseffektiv. Sporelementene (Al, Mn, Ni, Co, Cd, Si) i drenevannet følger sinkslammet. Lokalt vil det ikke bli noe avfall fra prosessen forutsatt at det er mulig å bli kvitt alt jernslammet. Siloer for mellomlagring må bygges.

4.8.2 Slammengder ved anlegg med metallgjenvinning

I renseanleggets trinn 1 styres prosessen slik at medfellingen av kobber blir redusert til et minimum. Ved beregning av slammengder vil vi her bare ta hensyn til jerninnholdet. Ved beregning av samlet forurensningstransport fra området (Iversen, 2001) ble det i Folla ved Folshaugmoen beregnet en transport på 183 tonn jern, 14 tonn kobber og 19 tonn sink i 2000. Aluminium ble ikke målt. Siden ikke alt jern og kobber når fram til prøvetakingspunktet, antar vi en samlet årsavrenning på 200 tonn jern og 20 tonn kobber. Aluminiumtransporten anslår vi til 46 tonn/år. Det er mulig at årstransporten kan reduseres noe ved å lede bort rentvann fra gruveområdet. Dersom vi benytter anslåtte tall vil en ved renseanlegget oppnå følgende produksjonstall pr. år:

Jernslam	: 760 tonn/år med 50 % TS
Kobber	: 15-20 tonn som metall
Sink/aluminium-slam	: 320 tonn med 50 % TS.

Når det gjelder slammengder ovenfor har vi forutsatt at det er mulig å avvanne slammet til 50 % tørrstoffinnhold. Med et tørrstoffinnhold på 50 % vil sinkslammet fra trinn 2 inneholde ca. 6 % Zn og ca. 14 % Al foruten vann og sporelementer som Si, Mn, Cd og Ni.

4.8.3 Dimensjonering

Renseanlegget dimensjoneres for samme belastning som for anlegg for samlet slamutfelling (kapittel 4.7). Flere av enhetene blir identiske med det anlegg som er foreslått i kapittel 4.7. Dette gjelder: Mottakstank, kontaktstank, flokkuleringstank, sedimenteringsenhet og sandfilter samt slambehandling.

I tillegg kommer:

- Utfellingsanlegg ved høy pH (9,5) av metallslam ved flokkulering og flotasjonsanlegg for avskilning av metallslam. Dispergeringsvann til flotasjonsprosessen hentes fra utgående behandlet vann.
- Filtreringsenhet for finpolering av utgående behandlet vann.

Flokkuleringsenheten i forkant av flotasjonstanken blir identisk med flokkuleringstanken i forkant av oppstrøms sandfiltrene i trinn 1, d.v.s. tank med diameter 1,9 m og vannhøyde 3,7 m. Flokkuleringsenheten utrustes med langsomtgående paddelomrører.

Flotasjonstanken dimensjoneres for en nominell flatebelastning på ca. 5 m/h ved Q_{maksdim} eksklusive mengde dispergeringsvann (10-30 %). Dette gir en flotasjonsflate $A_F = 4,0 \text{ m}^3/\text{h}/5\text{m/h} = 8 \text{ m}^2$ og tankdiameter $D_F = 3,2 \text{ m}$.

Effektiv vannhøyde i flotasjonstanken er 3,7 m. Flottert slam føres fra flotasjonstanken til en pumpekum for videre transport til gjenvinningsanlegg for kobber.

Filtreringsenheten etter flotasjonstanken utføres for nedstrøms filtrering i to-mediafilter og dimensjoneres for en nominell flatebelastning på 10 m/h ved Q_{maksdim} . Dette gir en filtreringsflate $A_{FU} = 40 \text{ m}^3/\text{h}/10 \text{ m/h} = 4 \text{ m}^2$ og en filterdiameter $D_{FU} = 2,3 \text{ m}$.

Utløpstank og spylevannstank

Sandfilteret spyles i h.h.t. driftstid eller i h.h.t. mengde behandlet vann. Spyling skjer med filtrert ferdigbehandlet vann. Normal spylehastighet ved nedstrøms filtrering er ca. 40 m/h og spyletiden er 5 min. Dette gir volum utløpstank:

$$V_U = 40 \cdot 4 \cdot 5/60 = 13 \text{ m}^3, \text{ d.v.s. en tank med diameter } D_U = 2,1 \text{ m og effektiv vannhøyde } 3,7 \text{ m.}$$

Spyleslamtank

Spylevann fra filteret ledes til en utjevningstank med samme dimensjoner som utløpstanken. Fra spyleslamtanken pumpes utjevnet vannmengde til rentvannstank etter sandfiltrene.

Gjenvinningsanlegg for kobber

Flottert kobberholdig slam pumpes med samtidig tilsetning av svovelsyre til en kontakttank med omrører og pumpes derfra til elektrolyseenheten. Prosessen er en ikke kontinuerlig prosess.

Fellingsanlegg for utfelling av restmetaller:

Etter elektrolyseanlegget for gjenvinning av kobber (se pkt. 4.8.5) ledes vannet til et konsentreringsanlegg for restmetallslam. Mengden vann er beregnet til 100-400 l/h.

Anlegget består av :

- pH-heving til 9,5 med lut
- kontakttank- flokkuleringstank med omrører
- flotasjonstank for konsentrering av metallslam
- lagertank for metallslam

Behandlet vann ledes til avløp. Fra lagertanken føres slammet til avvanning. Avvanning forutsettes utført med samme avvanner som for jernslam. Avvannet slam transporteres til videre behandling (gjenvinning av sink).

4.8.4 Prosesskjemikalier og forbruk**Alkali**

Som pH-regulerende kjemikalie forutsettes brukt lut som kjøpes inn som oljelut (50% NaOH).

Med bakgrunn i titreringer som er beskrevet i kapittel 4.7.3 kan det beregnes følgende alkaliforbruk i renseprosessens trinn 1 og trinn 2 (tabell 8 og tabell 9).

Tabell 8. Forbruk av lut pr. m³ drensvann

Prosesstrinn	Stoll 2 kg NaOH	Samlet avløp slamdam kg NaOH
Trinn 1 Felling ved pH 3,5	2,2	1,15
Trinn 2 Heving av pH fra 3,5 til 9,2	5,2	1,65

Tabell 9. Årlig forbruk av lut ved en samlet avrenning på 150.000 m³ (slamdam) og en gruvevannsmengde på 30.000 m³ (stoll 2).

Prosesstrinn	Stoll 2 tonn NaOH	Samlet avløp slamdam tonn NaOH
Trinn 1 Felling ved pH 3,5	66	173
Trinn 2 Heving av pH fra 3,5 til 9,2	156	247
Samlet forbruk	222	420

Polymer

Polymer doseres til vannfasen før flokkuleringstanken i hver linje i trinn 1 og i flokkuleringstanken før flotasjonsanlegget i trinn 2. Det brukes to polymertyper, en for surt miljø i trinn 1 og en annen type for alkalisk/nøytralt miljø i trinn 2. Oppløsnings- og doseringsanlegg som for alternativet med slamdeponering.

Svovelsyre doseres til flottert slam fra flotasjonsprosessen med doseringspumpe fra lagertank.

Dersom en velger selektiv ionebytter for konsentrering av kobber, vil en spare noe lut som ellers ville gått med til utfelling av kobberhydroksid. På den annen side vil det bli et forbruk av svovelsyre til regenerering av ionebytter.

4.8.5 Metallgjenvinning

Det foreslås at gjenvinning av kobber skal foretas v.h.a elektrolyse. Her er det flere alternativer når det gjelder katodevalg. Den katode som i dette tilfelle synes å være godt egnet er å benytte en roterende sylinder av stål. Det er enkelt å fjerne kobberet fra denne katodetypen. Dessuten har en gode erfaringer fra bruk av denne type elektrolysecelle ved gjenvinning av f.eks. kobber fra brukte kobberbad innenfor overflatebehandlingsindustrien, en vanntype som ikke adskiller seg vesentlig av den aktuelle vanntype i Follidal. Elektrolysen foretas satsvis. Kobberet legger seg utenpå stålet og kan bankes av som et rør når kobberlaget har oppnådd en passende tykkelse.

4.8.6 Virkningsgrad

Virkningsgraden for en gjenvinningsprosess som foreslått foran vil bli den samme som for en total utfelling av metaller m.h.t. utslipp til resipient. Når det gjelder effektiviteten m.h.t. gjenvinning av f.eks. kobber, er denne avhengig av en rekke forhold. Forsøkene på Røros viste at en ved bruk av roterende stålkatode kan oppnå svært lave restkonsentrasjoner for kobber. Hvor langt ned man skal gå vil være et økonomisk spørsmål som bl.a. har med dimensjonering og energiforbruk å gjøre. Forsøkene viste at forbruket av energi var det samme for de første 90 % som de neste 9 % av kobberinnholdet i elektrolytten. Elektrolysetiden har videre betydning for kapasiteten og dermed anleggets størrelse. Det synes å være realistisk å kunne gjenvinne 95-99% av kobbermengden i elektrolytten. Det er nødvendig å gjøre pilotforsøk for å kunne dimensjonere et elektrolyseanlegg. Dette gjelder også for sink hvis det er aktuelt.

4.8.7 Verdi på gjenvunne produkter

Selv om jernklorid er et kommersielt kjemikalium, kan en ikke regne med å få noen salgspris på jernslam levert til kjemikalieprodusent. I beste fall kan en håpe på å få levert jernslammet til jernkloridproduksjon kostnadsfritt for produsenten. Anlegget i Follidal må derfor mest sannsynlig betale for frakten til produsent. Om en også må betale avgift for å få slammet levert vil sikkert avhenge av slammets renhet, mengder og anvendbarhet for produsenten. Slike forhold vil bli belyst nærmere under en eventuell pilotdrift. I denne rapporten har vi under kostnadsanalysen forutsatt at slammet kan leveres til produksjon av jernklorid uten kostnader for jernkloridprodusenten.

Verdien på den mengde kobber metall som tas ut vil trolig ligge i området 150.000-200.000 kroner pr.år når en legger skrapprisen til grunn. Dersom det lykkes å anvende metallet lokalt, vil dette øke verdien. I denne rapporten har vi ikke vurdert slike forhold.

Når det gjelder restslammet som inneholder mye sink, gjør de samme vurderinger seg gjeldende som for jernslammet. Sannsynligvis vil det bli mest kostnadseffektivt for renseanlegget om slammet kan leveres til sinksmelteverket i Odda fremfor å foreta en gjenvinning i Follidal. Forholdet vil bli avklart nærmere i et pilotanlegg der det aktuelle slam vil bli produsert for nærmere tester av mottaker.

4.9 Styring og instrumentering

Anlegget utrustes med kontrollrom der det monteres kombinert skap/tavle for el-inntak med hovedsikringer og energimåler, sterkstrøm til prosess, lys, varme og ventilasjonsanlegg samt prosessstyring.

El-anlegget dimensjoneres for :

- Nødvendig behov for lys, varme og ventilasjon
- Kraftforsyning til pumper, kompressorer og annen prosessutrustning
- Nødvendig reserve

Prosesstavlen skal inbefatte nødvendige funksjoner for styring av behandlingsanlegget inkludert pumpe- og kompressordrift samt slamavvanning

For styring og overvåking av behandlingsprosessen innstilleres PLS med nødvendig kapasitet. Overvåkingsutrustningen samordnes med det kommunale overvåkingsanlegget.

Anlegget utrustes med reserveaggregat som automatisk leverer strøm til prosessanlegget ved eventuelle strømbrudd.

For overvåking av prosessparametre innstilleres instrumenter for in-situ måling av :

- **pH** i inngående vann, mottakstank, kontaktstank 1, flokkulering i trinn 2, utgående vann
- **Ledningsevne** i inngående vann
- **Turbiditet** i inn og utgående vann fra sandfilter
- **Temperatur** i innkommende ledning
- **Vannmengde** i innkommende ledning, fordeling på to linjer, slamretur, slammengde til avvanning, vann til sandfilter, utgående behandlet vann, overløpsvann i utjevningsbasseng
- **Vanntrykk** i inngående ledning, inn sandfilter
- **Vann-nivå** i utjevningsbasseng, flokkuleringsenhet sandfilter, matetank til trinn 2, slamsilo
- **Slamnivå** i sedimenteringsbassenger
- **Slamkonsentrasjon**, returslam HDS prosess, tilløp sedimenteringsbassenger
- **Konduktivitet (ledningsevne)** i inngående gruvevann
- **Redokspotensiale**, utgående vann mottakstank

Instrumentene og sensorene for pH, redokspotensiale, ledningsevne og turbiditet monteres på en felles instrumenttavle. Vann fra ulike målepunkter ledes til instrumenttavlen i ulike ledninger. Indikerende instrument for vannmengde, temperatur, trykk/nivå, slamnivå og slamkonsentrasjon monteres også på instrumenttavlen.

I ulike punkter i systemet innstilleres automatiske vannprøvetakere styrt av tid eller mengdemålere.

5. Prosessmessige og bygningsmessige forhold

Utjevningsbasseng

Foreslått utjevningsbasseng utføres i vanntett, sulfatbestandig betong og korrosjonsbeskyttes innvendig med epoxy. Bassenget graves ned og overfylles med stedlige jordmasser. Bassengets volum er i utgangspunktet foreslått til 400 m³. Dette tall kan revurderes når resultatene fra pågående vannføringsmålinger foreligger.

Bassenget utføres som et sirkulært basseng med ytterdiameter ca. 10 m og en total høyde på 6,5 m. Bassenget utføres med ventilkammer for utgående ledninger med anordning for innføring av renseplugg for rensing av ledningene (kfr. kartskisse, figur 8).

Tilløpsledninger til behandlingsanlegget anlegges med to parallelle ledninger av plastrør, PE50.

Ledningene forlegges frostfritt. Isolering benyttes på hele eller deler av ledningsstrekningen.

Parallelt med rørene legges signalkabel for overføring av måle- og styringssignaler fra vann- og nivåmålerne i bassenget.

Behandlingsanlegg

Foreslått behandlingsanlegg for gruvevann er lokalisert i tilknytning til eksisterende kommunalt renseanlegg (kfr. kartskisse figur 9). Renseanleggets prosessenheter bygges i hovedsak opp av tanker og innmat i rustfritt (syrefast) stål. Rørledninger mellom tankene utføres av syrefast stål alternativt rør av hardplast.

For deler av anlegget der pH er lav, 3,5 eller lavere, utføres prosessenhetene i syrefast stål. Dette gjelder også pumper, omrørere og liknende.

Klimaanlegg med varmegjenvinning og luftavfukter (varmepumpe) bør bygges for å oppnå godt arbeidsmiljø i anlegget.

Prosessutrustningen plasseres i et eget bygg i to etasjer der underetasjen utføres i betong eventuelt betongelementer og overetasjen utføres i lett konstruksjon av stål eller limtre. Dekket mellom etasjene utføres i betong eller som gitterrister. De funksjoner som er aktuelle å romme i bygningsmassen er :

- ◆ Behandlingsanlegget for gruvevann
- ◆ Slambehandling
- ◆ Kontorer, kontroll- og el-rom
- ◆ Driftslaboratorium
- ◆ Arealer for videre forskning og utvikling
- ◆ Møterom (utstilling, undervisning)
- ◆ Personellrom

Byggets størrelse er anslått til :

1. For anlegg uten gjenvinning : 400 m²
2. For anlegg med gjenvinning : 500 m²

For begge anleggstypene er den administrative delen beregnet til 100 m².

6. Organisering av tiltak

Behandlinganlegget foreslås organisert som en egen bedrift med et styre som kan være Miljøsikringsfondet. Det foreslås at bedriften har to ansatte, en daglig leder og en driftsleder. I perioder vil det bli behov for mer hjelp til driften, vedlikehold og service. Slike tjenester kjøpes av Folldal kommune og Folldal Gjenvinning AS (elektro). NIVA kan også bidra med driftsassistanse ved behov. Under innkjøringsfasen vil det bli behov for forsterket driftsassistanse. I denne fasen foretas også opplæring av driftsoperatørene. Etter en tid når en har innhentet erfaringer fra driften, foretas en vurdering av personellbehovet. Det er lagt opp til en stor grad av automatisering av den rutinemessige driften.

Bedriften kan organiseres som et aksjeselskap som påtar seg ansvaret for å rense drenevannet i henhold til kontrakt med med problemeier (NHD).

For å sikre driften må det opprettes et driftsfond som må være så stort at det kan sikre en langsiktig drift. Alternativt må driften sikres ved en årlig bevilgning fra NHD. Styrets oppgave er å forvalte driftsfondet og påse at bedriften drives økonomisk og faglig forsvarlig i henhold til de avtaler som er inngått. Styret har også som oppgave å vurdere eventuelle behov for å skifte ut enhetsprosesser dersom dette er fordelaktig for driften eller har miljømessige fordeler.

Daglig leder har ansvaret for den daglige drift og rapporterer til styret.

7. Kostnadsvurderinger

Med utgangspunkt i prosessbeskrivelsene i 4.7 og 4.8 og utførte dimensjoneringsberegninger er det utført en grov kostnadsanalyse for investeringer og drift av delprosessene, samt en totalvurdering av komplette behandlingsanlegg for begge alternativ. Kostnadene er beregnet på basis av innhentede priser på ulike prosesselementer og erfaringstall fra byggkostnader inkl. tekniske installasjoner. Beregningene er utført eksklusive merverdi- eller investeringsavgift.

Et fullskala behandlingsanlegg for gruvevann forutsettes å behandle 10 m³/h ved nominell dimensjonerende belastning og inntil 150.000 m³/år. I perioder med høy avrenning, f.eks. snøsmeltingsperioder, kan anlegget kortvarig belastes med inntil 40 m³/h.

Etter forbehandlingen forutsettes to identiske parallelle vannbehandlingslinjer hver med nominell kapasitet 5 m³/h og maksimal kapasitet 20 m³/h.

7.1 Kjemisk rensing uten gjenvinning av metaller (kap. 4.7)

Aktuell prosesskombinasjon for et fullskala anlegg uten gjenvinning er (kfr. flyteskjema figur 11)

- Utjevningsbasseng og transportsystem for gruvevann
- Mottak av gruvevann, fordeling på to linjer
- Utfelling av hydroksidslam i ett trinn. Filtrering av utslippsvann
- Konsentrering (fortykking) av slam. Slamavvanning. Transport til deponi
- Deponering av slam

Fellingsanlegg for hydroksidslam

Prosessenehetene er :

1. Prosessutrustning i utjevningsbasseng: forbehandling, siling, oksidasjon, pH-justering, fordeling på to linjer.
2. Kontaktbasseng, oksidasjon, pH-regulering. Flokkulering og sedimentering samt filtrering.
3. Doseringsanlegg for alkali og polymer
4. Slambehandling, pumping, fortykking, avvanning.
5. El- og styringsutrustning. Overvåking.

Investeringskostnader for prosessutrustning.

Investeringskostnadene er beregnet med utgangspunkt i prosessbeskrivelsen og flyteskjema figur 11.

1. Vannbehandling	mill.kr.	:	1,5
2. Doserering	mill.kr.	:	0,4
3. Instrumentering	mill.kr.	:	0,6
4. Slambehandling	mill.kr.	:	0,6
5. El- og styringsutrustning	mill.kr.	:	1,2
Sum investeringskostnader	mill.kr.	:	4,3

Investeringskostnader for bygningsmessige arbeider

Investeringskostnadene er beregnet med utgangspunkt i prosessbeskrivelsen og erfaringstall fra sammenliknbare anlegg.

1. Utjevningsbasseng, 400 m ³	mill.kr.	:	1,0
2. Tilførselsledninger, 2x90x8,2, PE50, NT10, 870 m	mill.kr.	:	0,5
3. Behandlingsanlegg, 400 m ² i to plan	mill.kr.	:	4,0
4. Slamdeponi 1)	mill.kr.	:	2,0
Sum investeringskostnader bygningsmessige arbeider	mill.kr.	:	7,5

1) Kostnadene for slamdeponi omfatter etablerings- og anleggskostnader, transportveier, sigevannsopsamling og deponiområde for de første 5 års drift. Deponiet forutsettes kontinuerlig utvidet for å dekke framtidig behov.

Administrasjonskostnader

Administrasjonskostnader omfatter: prosjektledelse, planleggingskostnader, byggeledelse, kontroll med utførelse, driftsinstruks, igangkjøring av anlegget og dokumentasjon herunder forsøk i pilotskala. Beregnede kostnader forutsetter at anleggene bygges ut ved delte entrepriser.

Administrasjonskostnadene er beregnet til ca 30% av beregnede investeringskostnader.

Kostnadene for forsøk i pilotskala og dokumentasjon er beregnet til 1,8 mill. kr.

Totale investeringskostnader

Prosessteknisk utrustning	mill.kr.	:	4,3
Bygningsmessige arbeider	mill.kr.	:	7,5
Administrasjonskostnader inkl. forsøk i pilotskala	mill.kr.	:	5,3
Sum investeringskostnader for anlegg uten gjenvinning	mill.kr.	:	17,1

Kapitalårskostnader

Kapitalårskostnadene er avhengig av valgt avskrivningstid for anlegget samt til enhver tid aktuell rente. Med en avskrivningstid på 20 år og rentesats på 7 % blir annuitetsfaktoren 9,44 %.

Kapitalårskostnader for anlegg uten gjenvinning : 17,1 mill.kr. x 9,44 % = ca. 1,7 mill. kr./år.

Driftskostnader

Til driftskostnader regnes :

Administrasjonskostnader inkl. lønnskostnader til fast ansatte	mill.kr.	:	0,7
Tilsyns- og vedlikeholdskostnader inkl. leie av eksternt assistanse	mill.kr.	:	0,5
Energikostnader til drift av prosessenhetene og bygg	mill.kr.	:	0,1
Kjemikaliekostnader til alkali og polymer	mill.kr.	:	1,5
Transportkostnader til deponi	mill.kr.	:	0,2
Drift og utvidelser av deponi	mill.kr.	:	0,3
Sum driftskostnader for anlegg uten gjenvinning	mill.kr.	:	3,3

Total årskostnad

Totale årskostnader for anlegg uten gjenvinning blir :

Kapitalårskostnader	mill. kr/år :	1,7
Driftskostnader	mill. kr/år :	3,3
<u>Sum årskostnader</u>	<u>mill. kr/år :</u>	<u>5,0</u>

Beregnet nåverdi av 20 års totale årskostnader:

Rentefot: 7 %. Diskonteringsfaktor: 10,59.

Nåverdi: $10,49 \times 5,0 = 53$ mill.kr.

Enhetskostnader

Beregnet på en behandlet vannmengde på 150.000 m³/år fås følgende enhetskostnad i kr/m³ :

Vannpris : 33 kr/m³

7.2 Kjemisk rensing med metallgjenvinning (kap. 4.8)

Aktuell prosesskombinasjon for et fullskala anlegg med metallgjenvinning er (kfr. flyteskjema figur 13) :

- Utjevningsbasseng og transportsystem for gruvevann
- Mottak av gruvevann, forbehandling, fordeling på to linjer
- Utfelling av jernhydroksid i trinn 1. Filtrering
- Utfelling av restmetallinnholdet i trinn 2. Flotasjon.
- Konsentrering (fortykking). Avvanning av jernslam. Transport av jernslam for produksjon av jernklorid
- Konsentrering av metallslam. Behandling for metallgjenvinning. Avvanning og transport av restsлам til gjenvinningsanlegg for sink
- Elektrolyseanlegg for kobber

Fellingsanlegg for jernslam – trinn 1

Prosessenheterne er:

1. Prosessutrustning i utjevningsbasseng. Forbehandling, siling, oksidasjon, pH-justering, fordeling på 2 linjer
2. Kontaktsbasseng, flokkulering, sedimentering, samt filtrering
3. Doseringsanlegg for alkali og polymer
4. Slambehandling, pumping, fortykking, avvanning
5. El- og styringsutrustning. Overvåking

Fellingsanlegg for metallslam – trinn 2

Prosessenheterne er :

1. Pumpeanlegg for mating av trinn 2. Flokkulering og flotasjon, filtrering
2. Doseringsanlegg for alkali og polymer
3. Anlegg for elektrolyse av kobber
4. Behandlingsanlegg for restavfall fra elektrolyse
5. Slambehandling, konsentrering, avvanning
6. El- og styringsutrustning. Overvåking

Pkt. 2, 5 og 6 samordnes med tilsvarende anleggsdeler i trinn 1.

Investeringskostnader for prosessutrustning, trinn 1 og trinn 2

Investeringskostnadene er beregnet med utgangspunkt i prosessbeskrivelse og flyteskjema i figur 13.

1. Vannbehandling	mill.kr	:	4,0
2. Doseringsanlegg	mill.kr	:	0,6
3. Instrumentering	mill.kr	:	0,6
4. Slambehandling	mill.kr	:	0,6
5. El- og styringsutrustning	mill.kr	:	1,6
Sum investeringskostnader, prosess	mill.kr	:	7,4

Investeringskostnader for bygningsmessige arbeider

Investeringskostnadene er beregnet med utgangspunkt i prosessbeskrivelsen og erfaringstall fra sammenliknbare anlegg.

1. Utjevningsbasseng, 400 m ³	mill.kr.	:	1,0
2. Tilførselsledninger, 2x90x8,2, PE50, NT10, 870 m	mill.kr.	:	0,5
3. Behandlingsanlegg, 500 m ² i to plan	mill.kr.	:	5,0
Sum investeringskostnader	mill.kr.	:	6,5

Administrasjonskostnader omfatter: prosjektledelse, planleggingskostnader, byggeledelse, kontroll med utførelse, driftsinstruks, igangkjøring av anlegget og dokumentasjon herunder forsøk i pilotskala. Beregnede kostnader forutsetter at anleggene bygges ut ved delte entrepriser. Administrasjonskostnadene er beregnet til ca 30 % av beregnede investeringskostnader. Kostnadene for forsøk i pilotskala og dokumentasjon er beregnet til 1,8 mill. kr.

Totale investeringskostnader

Prosessteknisk utrustning	mill.kr.	:	7,4
Bygningsmessige arbeider	mill.kr.	:	6,5
Administrasjonskostnader inkl forsøk i pilotskala	mill.kr.	:	6,0
Sum investeringskostnader for anlegg med gjenvinning	mill.kr.	:	19,9

Kapitalårskostnader

Kapitalårskostnadene er avhengig av valgt avskrivningstid for anlegget samt til enhver tid aktuell rente. Med en avskrivningstid på 20 år og rentesats på 7 % blir annuitetsfaktoren 9,44 %.

Kapitalårskostnader for anlegg med gjenvinning : 19.9 mill.kr. x 9,44 % = ca. 1.9 mill kr./år

Driftskostnader

Til driftskostnader regnes :

Administrasjonskostnader inkl. lønnskostnader til fast ansatte	mill. kr./år	:	0,7
Tilsyns- og vedlikeholdskostnader inkl leie av ekstern assistanse	mill. kr./år	:	0,5
Energikostnader til drift av prosessenhetene og bygg	mill. kr./år	:	0,1
Kjemikaliekostnader til alkali og polymer, samt svovelsyre	mill. kr./år	:	1,7
Transport av avvannet jern- og sinkslam til gjenvinning	mill. kr./år	:	0,35
Energikostnader til kobbergjenvinning	mill. kr./år	:	0,05
Totale årlige driftskostnader renseanlegg med gjenvinning	mill. kr./år	:	3,4

Total årskostnad

Totale årskostnader for anlegg med gjenvinning blir :

Kapitalårskostnader	mill. kr/år :	1,9
Driftskostnader	mill. kr/år :	3,4
Sum årskostnader	mill. kr/år :	5,3

Beregnet nåverdi av 20 års totale årskostnader:

Rentefot: 7 % Diskonteringsfaktor: 10,59.

Nåverdi: 10,59 x 5,3 = 56 mill.kr

Enhetskostnader

Beregnet på en behandlet vannmengde på 150.000 m³/år og en kobberproduksjon på 15 tonn/år fås følgende enhetskostnader :

Vannkostnad kr/m ³	:	35
Kobber årsproduksjon kr/kg	:	353

Vi har foreløpig ikke grunnlag for å beregne kostnadene i forbindelse med sinkgjenvinningen. Dersom sink blir levert eksternt i form av slam antar vi at det er lite trolig at man kan regne med noe oppgjør for metallinnholdet i slammet.

8. Samlet vurdering og videre arbeid

Etter at det er gjennomført en rekke oppryddingstiltak ved kisgruvene i Norge gjenstår gruveområdet i Folldal sentrum som den kilde som idag forårsaker størst tungmetallavrenning. De tiltak som ble gjennomført i området i 1992-94 har vist seg ikke å være tilstrekkelige for å nå målsettingen for vannkvalitet i Folla nedstrøms gruveområdet. Forurensningstilførslene fra gruveområdet vil trolig avta over tid, men en vil ikke nå en akseptabel vannkvalitet i Folla i overskuelig framtid uten å gjennomføre ytterligere tiltak. Tilførslene til Folla påvirker også vannkvaliteten i hovedvassdraget Glåma.

Det er to hovedkilder for tungmetallavrenningen, gruvevann fra den delvis vannfylte Folldal hovedgruve og avrenning fra gruveavfall i dagen. Begge kilder er såvidt store at det er nødvendig å gjennomføre et tiltak som omfatter begge for å nå målet for vannkvalitet i Folla. Statens forurensningstilsyn har som målsetting å bringe konsentrasjonen av kobber i Folla nedstrøms gruveområdet ned til området 10 – 15 µg/l. Etter vår vurdering er målet ambisiøst, men realistisk. For å nå et slikt mål kreves et tiltak med høy virkningsgrad. Dersom man når et slikt mål, vil elva se ren ut for publikum og det vil være mulig for fisk å overleve i hele vassdraget samtidig som en får en god tilstand når det gjelder de øvrige biologiske forhold. Målet er i samsvar med tilsvarende krav i andre vassdrag som er belastet med tungmetalltilførsler fra kisgruver som f.eks. Orkla. Over en mindre elvestrekning vil likevel vannkvaliteten bli karakterisert som sterkt forurenset sett i forhold til vannkvalitetskriteriene, men tilførslene vil bli så lave at man neppe vil spore noen effekter i Glåma.

Dersom det er viktig å nå et slikt mål, står man over for et valg mellom to tiltakstyper:

- Fjerne årsaken til tungmetallavrenningen ved å fjerne resten av gruveavfallet i dagen og deponere det på en sikker måte slik at forvitningsprodukter ikke vaskes ut og at forvitningsprosessene i de gjenværende kismineraler opphører. Gruveåpninger må også tettes slik at oksygen og vann ikke trenger inn i gruva.
- Behandle sigevannet. I denne rapporten er foreslått kjemisk rensing med deponering av slam eller en løsnings med gjenvinning av metaller som mest egnet metode for å tilfredsstille kravet til vannkvalitet i Folla.

Når det gjelder den første tiltakstypen, vil denne innebære tiltak som sannsynligvis vil komme i konflikt med kulturminneinteressene i området. Det er investert forholdsvis store beløp i å bevare gruveområdet som et levende industrimuseum. Tiltak som innebærer fjerning av gruveavfall og avstengning av gruva vil berøre aktivitetene til Stiftelsen Folldal Gruver (SFG) i betydelig grad. Gruvelandskapet vil dessuten endre karakter. Vi har derfor ikke gått nærmere inn på denne type tiltak i denne rapporten da vi antar at det vil være stor lokal motstand mot å gjennomføre slike tiltak. Vi anslår at et slikt tiltak vil koste i området 20-30 mill. kr., men mer eksakte kostnadsanalyser kan først gjennomføres etter å ha foretatt nye undersøkelser av avfallsmengder og aktuelle deponeringslokaliteter i området. Virkningsgraden til et slikt tiltak kan ikke garanteres utover at forurensningstransporten fra området vil bli betydelig redusert.

Dersom man velger et tiltak som går ut på å behandle drenevannet, vil dette også innebære store utfordringer. Drenevannets kjemiske sammensetning og store variasjoner i løpet av året når det gjelder avrenningsmengder krever spesielle tiltak. Etter vår vurdering er kjemisk rensing av drenevannet best egnet dersom man skal tilfredsstille de krav som er stilt. Tradisjonell kjemisk rensing innebærer utfelling av metallhydroksider etter pH-regulering med kalk eller lut. Begge kjemikalier er vanlige for rensing av denne type vann. Fordelen med kalk er at den er billigere enn lut og at det er mulig å produsere et slam med et høy tørrstoffinnhold. Ulempen er at bruk av kalk for rensing av drenevann i Folldal

vil føre til at det dannes store mengder gips. Gips vil utgjøre ca. 50 % av den totale slammengden som vil utgjøre ca. 2000 tonn med et tørrstoffinnhold på 60 % på årsbasis. Ved bruk av lut vil slammengdene bli mindre, men slammet vil trolig ha et lavere tørrstoffinnhold. Etter å ha foretatt en befaring til renseanlegget for gruvevann i Falun i Sverige erfarte vi at dannelsen av gips i anlegget forårsaket betydelige utfordringer m.h.t. vedlikehold og drift. Slik vi vurderer det vil vi derfor anbefale at det benyttes lut til pH-reguleringen da vi tror at dette vil bli mest kostnadseffektivt i Folldal sett i et lengre tidsperspektiv.

Den viktigste ulempen med kjemisk felling og deponering av slam er selve slamdeponeringen. I Folldal vil et slikt anlegg generere ca. 2000 tonn slam hvert år og som må deponeres på et spesialdeponi. Over tid vil deponiet anta betydelige dimensjoner. Tiltaket er teknisk gjennomførbart og vil gi tilfredsstillende effekt. Det er imidlertid åpenbart at et slikt tiltak ikke er en endelig løsning da de store slammengdene etterhvert vil utgjøre et problem. Slik vurderes situasjonen også i Falun. Anlegget i Falun ble bygget for å avhjelpe en akutt situasjon. Anlegget produserer ca. 10.000 tonn slam pr. år og man er klar over at man i et lengre tidsperspektiv er nødt til å ta i bruk alternative rensemetoder der en gjenvinner mest mulig av metallinnholdet.

Selv om det hele tiden pågår en utvikling av alternative teknikker for å gjenvinne metaller fra slikt vann, finnes det allerede idag pålitelig teknologi som er kommersielt tilgjengelig og som kan benyttes for gjenvinning av metaller. Vi vil derfor anbefale at man også vurderer en gjenvinningsløsning i Folldal og utreder et slikt alternativ fullt ut slik at det er mulig å ta stilling til reelle kostnader og prosessdesign. Vårt forslag er at man tar sikte på å gjenvinne jern, kobber og sink. Jern gjenvinnes som treverdig jernhydroksid som kan benyttes for produksjon av jernklorid, eventuelt benyttes til pigmentproduksjon. Kobber tas ut lokalt som metall v.h.a. elektrolyse. Restslammet som inneholder mye sink videresendes til anlegg for gjenvinning av sink. Alternativt kan også sink gjenvinnes lokalt.

Det foreliggende prosjekt er et forprosjekt der en har forsøkt å vurdere alternative tiltak ut fra eksisterende kunnskap og erfaringer uten å gjennomføre nye forsøk. Hensikten med prosjektet har vært å fremskaffe dokumentasjon slik at det er mulig å gjøre et veivalg i det videre arbeid for å løse forurensningsproblemene i Folldal. Når det gjelder rensing av drensvann er kostnadene for en løsning med deponering av slam mer pålitelige enn for en løsning med gjenvinning. Det er imidlertid usikkerheter ved begge alternativer både når det gjelder kostnader og dimensjonering og valg av enhetsprosesser. Ved begge alternativer er det nødvendig å gjennomføre forsøk i pilotskala for å kunne fremskaffe dimensjoneringsgrunnlag for et helskala anlegg. Ut fra eksisterende kunnskap vedrørende rensing av slikt drensvann og basert på erfaringene fra forsøk i Sulitjelma og på Røros, der det ble gjennomført utprøving av teknikker for gjenvinning av metaller fra gruvevann, har vi kommet fram til følgende nøkkeltall for to alternativer :

Alternativ	Totalt investeringskostnader Mill.kr.	Total årskostnad Mill kr.	Vannpris Kr/m ³
Hydroksidutfelling og slamdeponering	17,1	5,0	33
Gjenvinning	19,9	5,3	35

Dersom det blir et vedtak om å gjennomføre et tiltak som innebærer rensing av drensvann, vil det videre arbeid omfatte mange deloppgaver. Etter et vedtak om tiltak og en avklaring om fremdriftsplan for tiltaket anbefaler vi at de forskjellige utredninger og forsøk pågår parallelt. Vi vil her gi en grov oversikt over de forskjellige utredninger som må gjennomføres og tidsplan for utredningene:

1. **Oppsamling av drensvann.** Dersom en gjør vedtak om å behandle drensvannet, vil virkningsgraden av et slikt tiltak være helt avhengig av tilføringsgraden til behandlingsanlegget. I denne forbindelse må det foretas en kartlegging av hvordan en skal forbedre eksisterende dreneringssystem som ikke er tilstrekkelig effektivt idag. Det er også nødvendig å redusere vannmengdene. Et nødvendig tiltak i denne forbindelse vil være å lede bort mest mulig uforurenset vann fra nedbørfeltet som drenerer til gruveområdet og til gruva. En oppnår derved forhåpentlig vis å redusere de store flomtoppene, noe som er helt nødvendig. De flomtopper som hittil er påvist er av en slik størrelse at man neppe kan bygge et behandlingsanlegg for å ta hånd om vannføringer opp til 150 m³/h. Foreløpig har en heller ingen kunnskap om varigheten til flomtoppene. Slike undersøkelser vil ta noe tid. Vi har foreslått et program over tre års varighet for å kartlegge de hydrauliske forhold.
2. **Valg av behandlingsstrategi.** Arbeidene med å velge renseprosess kan starte omgående så snart en eventuelt har truffet vedtak om å behandle drensvannet. Valget vil stå mellom å rense vannet v.h.a. den teknologi som er mest vanlig, d.v.s. metallutfelling og deponering av slam eller å velge en gjenvinningprosess der en foretar gjenvinning av jern, kobber og sink. Begge alternativene er basert på kjent teknologi. Begge alternativene krever forsøk i pilotskala for å ha dimensjoneringsgrunnlag for å prosjektere et helskala anlegg.

Dersom en velger en løsning med slamdeponering, vil utredningsarbeidene omfatte :

- Utprøving av HDS-prosess når en bruker lut til pH-regulering. Det foreligger lite erfaringsmateriale når en bruker lut. Vurdering av behov for etterpolering. Belastningsforsøk for å verifisere prosessen og ha tilstrekkelig dimensjoneringsgrunnlag.
- Vurdering av egnet deponeringsområde

Dersom en ønsker å bygge et gjenvinningsanlegg, vil noen av de viktigste arbeidene bestå i :

- Oksidasjon av toverdig jern ved pH 3,5. Testing av HDS-prosess i trinn 1.
- Utredning av mest kostnadseffektiv prosess for gjenvinning av kobber.
- Kartlegge om det er mulig å bli kvitt alt jern- og sinkslam. Aktuelle mottagere av slam vil trolig ha slam til utprøving.
- Belastningsforsøk
- Verifisere renseprosess og dimensjoneringsgrunnlag for helskala anlegg
- Endelig kostnadsevaluering

Så vidt vi vet er ingen gjenvinningsanlegg bygget etter det opplegg vi har skissert. Av naturlige årsaker er derfor våre kostnadsoverslag for en gjenvinningsløsning mer usikre enn for en deponeringsløsning selv om begge løsninger baserer seg på kjent teknologi. Det er også usikkerheter ved valg av deponeringsløsningen da vi ikke kjenner til hva som blir de endelige kostnadene i forbindelse med deponeringen. En viktig årsak til dette er at vi ikke kjenner til myndighetenes krav til deponiet og om man f.eks. vil kreve deponiavgifter som man f.eks. gjør i Sverige. Dersom det må betales deponiavgifter som i Sverige, kan slike kostnader ha stor betydning for valg av renseprosess.

Siden begge løsninger krever forsøk i pilotskala, vil vi anbefale at det parallelt også gjøres forsøk med utprøving av gjenvinningsalternativet dersom man vurderer det slik at det er lite ønskelig å etablere deponier for hydroksidslam av en slik størrelse som kan bli aktuelt i Folldal.

Det er av stor betydning for Folldal kommune å få løst forurensningsproblemene knyttet til den tidligere gruve drift i Folldal sentrum. Vi ser det derfor som naturlig at lokalmiljøet får delta aktivt i det videre arbeid med å utforme tiltaksstrategi og å gjennomføre tiltakene. Vi foreslår derfor at Miljøsikringsfondet Folldal Verk får ansvaret for å gjennomføre disse arbeidene etter nærmere avtale med problemeier og SFT.

9. Referanser

- Arnesen, R.T., 1969. Undersøkelse av Folla. Del 1. 1966-august 1968. NIVA-rapport. O-64120 September 1969. 75 s.
- Arnesen, R.T., 1988. Vannforurensning fra kisgruver. Rapport fra reise i Canada og USA. NIVA-rapport. O-87113 og O-68081. L.nr. 2106. 30 s.
- Arnesen, R.T., 1993. Water Pollution Abatement Programme. The Czech Republic. Project 3.4 Improvement of the Environmental Deteriorated by Metal Mining Activity. NIVA-Report. O-920964. Serial No.: 2863. 33 pp.
- Arnesen, R.T. og Iversen, E.R., 1997. The "Lokken Project"- Flooding a Sulphide Ore Mine. Fourth Int. Conf. on Acid Rock Drainage. Vancouver, B.C. Canada. May 31-June 6, 1997. Proceedings, Vol III, pp. 1093-1107.
- Basra, S.S., 1997. Pilot Scale Testing of the High Density Sludge Proses. Britannia Mine, Acid Mine Drainage Treatment, Britannia Beach, B.C., August 1997. Cominco Engineering Services Ltd, Water Treatment Technology, 1635 West 75th Avenue, Vancouver, B.C. V6P 6G2, Canada. 32 pp.
- Folldal kommune, desember 1995. Kommunedelplan. Vassdragsplan for Folla med sideelver 1995-1998.
- Hedmark Fylkeskommune, desember 1991. Fylkesdelplan. Vannbruksplan for Glomma. Langsiktige mål og strategier. Handlingsprogram 1992-1995. 69 s.
- Helland, A., 1902. Norges Land og Folk. Topografisk-statistisk beskrivelse over Hedemarkens amt. Bind I og II. H. Aschehoug & Co Forlag. Kristiania 1902.
- Iversen, E.R., Arnesen, R.T. og Knudsen, C-H., 1994. Kjemisk rensing av tungmetallholdig gruvevann. NIVA-rapport, O-93098, L.nr. 3186. 59 s.
- Iversen, E.R., Grande, M. og Aanes, K.J., 1999. Norsulfid AS avd. Folldal Verk. Kontrollundersøkelser etter nedleggelse av driften. NIVA-rapport, O-64120, L.nr. 4036-99. 91 s.
- Iversen, E.R. og Knudsen, C-H., 1997. Kjemisk rensing av gruvevann fra Kongens gruve i Nordgruvefeltet, Røros. NIVA-rapport, O-96099, L.nr. 3632-97. 69 s.
- Iversen, E.R., 2001. Oppfølging av forurensningstilførsler fra Folldal sentrum. Undersøkelser i 2000. NIVA-rapport, O-99155, L.nr. 4365-2001. 25 s.
- Iversen, E.R. og Arnesen, R.T., 2001. Undersøkelse av forurensningssituasjonen i øvre Glåma. NIVA-rapport, O-20074, L.nr. 4389-2001. 35 s.
- Kuyucak, N., Lindvall, M., Sundqvist, T. and Sturk, H., 2001. Implementation of a High Density Sludge "HDS" Treatment Process at the Kristineberg Mine Site. The Swedish Mining Association. Securing The Future. Int. Conf. on Mining and the Environment. June 25 - July 1, Skellefteå 2001, pp 353 - 362.

Liseth.P, 1991. Miljøtiltak Folldal Verk A/S. Opprensning i Folldal. Flytting av avfallsmasser til avgangsdam Hjerkin. Veritas Miljøplan A/S. 22. februar 1991. 23 s.

Nashoug, O., 2001. Driftsplan for fiske i Folla. Rapport til Driftsplanutvalget for Folla. Januar 2001. 26 s.

Reinertsen, Rådgivende ingeniør, 1990. Folldal Verk. Gruveforurensning i Folldal. Vurdering av tiltak. Kostnader. Trondheim, juni 1990.

Reinertsen, Rådgivende ingeniør, 1993. Norsulfid AS, avd. Folldal Verk. Gruveforurensning Folldal. Tiltaksplan 1991/1992. Fjerning og drenering av tipper/flotasjonsavgang i gamle gruveområder. Beskrivelse av utførte arbeider. Trondheim, november 1993.

Riveros, P. and Wong, E.W., 1995. Metals Removal from Acid Mine Drainage by Ion Exchange. MEND Report 3.21.1 (b), April 1995. 55 pp.