



RAPPORT

# Folldal gruver

VURDERING AV MULIGE TILTAK MOT AVRENNING  
FRA TIDLIGERE GRUVEVIRKSOMHET

DOK.NR. 20140321-04-R

REV.NR. 0 / 2015-12-14

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

## Prosjekt

Prosjekttittel: Folldal gruver  
Dokumenttittel: Vurdering av mulige tiltak mot avrenning fra tidligere gruvevirksomhet  
Dokumentnr.: 20140321-04-R  
Dato: 2015-12-14  
Rev.nr. / Rev.dato: 0

## Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Direktoratet for Mineralforvaltning  
Kontaktperson: Siw Taftø  
Kontraktreferanse: 13-00136, oppdrag nr. 14-00447

## for NGI

Prosjektleder: Marianne Kvennås  
Utarbeidet av: Gudny Okkenhaug, Gijs Breedveld, Marianne Kvennås  
Tom Lundgren, Ambiental  
Kontrollert av: Gijs Breedveld

## Sammendrag

Tidligere gruvedrift i Folldal medfører avrenning av surt og tungmetallholdig vann til elva Folla nedstrøms gruveområdet. Det er konkludert med at vannet er sterkt forurenset av metaller som har vært årsaken til at det ikke finnes fisk i elva Folla.

Direktoratet for Mineralforvaltning (DMF) har fått overført ansvaret for forurensningen og gjennomføring av tiltak etter nedleggelse av gruvedriften. Miljødirektoratet har i pålegg fra 2003 til DMF gitt følgende målsetning for tiltak mot forurensningen:

*Målsettingen med tiltaket skal være å redusere avrenningen fra gruveområdet i størrelsesorden 60 - 90 prosent i forhold til kartleggingen gjennomført i 1998. Det er et mål at konsentrasjonen av kobber i Folla ved Folshaugmoen skal reduseres ned mot 10 - 15 µg/liter.*

NGI har på oppdrag for DMF vurdert mulige tiltak for å oppnå kravene i pålegget fra Miljødirektoratet fra 2003.

Med bakgrunn i de undersøkelser og vurderinger som NGI har gjennomført viser det seg at det finnes få tiltak som vil lede til at det stipulerte tiltaks målet for Follidal (60-90% reduksjon i avrenning) kan oppnås. Følgende tiltak viser stort potensiale og anbefales:

- **Tildekking av gruveavfall.** Dette er vurdert å redusere avrenningen av kobber til Folla med 40-65 %, avhengig av omfanget av tildekking. Tre ulike alternativer er vurdert (kombinasjon 1-3).
- **Naturlig nøytralisering og utfelling av gruvevann.** Innblanding av vannet fra Gorbekken vil kunne gi en rask reduksjon av giftigheten og naturlig utfelling før vannet når Folla. Det anslås en tilbakeholdelseeffekt for kobber på 30-50% ved et slikt tiltak.

NGI anbefaler tildekking 1 sammen med naturlig nøytralisering og utfelling av gruvevann. Dette forventes å lede til ønsket reduksjon av avrenningen og gir tilstrekkelig fleksibilitet til senere justering ved behov. Det anbefales at anlegg for nøytralisering og utfelling etableres innledningsvis for å avgjøre virkningsgraden og dermed i hvilket omfang tildekking av gruveavfall bør gjennomføres.

Det er usikkerheter forbundet med vurderinger av nedbørsfelt samt areal og volum av gruveavfall som gjør at de beregnede mengdene for transport av kobber, tiltaks-effektivitet og kostnader må ses på som et veiledende anslag.

Ved reduksjon av tilførsel av kobber til Folla vil konsentrasjonen i Folla reduseres på sikt. Etablering av et anlegg for naturlig nøytralisering og utfelling vil ta bort konsentrasjonstoppene ved utløpet i Folla. Det er imidlertid usikkert til hvilket nivå konsentrasjonen av kobber i Folla vil bli redusert.

Kostnadene for å gjennomføre tiltakene vurderes anslagsvis til å ligge i størrelsesorden 20-60 MNOK, avhengig av omfang av tildekking. Følgende undersøkelser og vurderinger bør utføres for å kunne detaljprosjekttere tiltak og få et bedre estimat av kostnadene:

- Tildekking av gruveavfall.
  - Omfang og mektighet
  - Lokalisering og utforming av tildekkingsløsning
- Naturlig nøytralisering og utfelling av gruvevann.
  - Kartlegging av nøytraliseringspotensialet i Gorbekken
  - Testing av blanding
  - Testing av reaksjonshastighet
  - Testing av sedimenteringsegenskaper
  - Vurdering av drift gjennom ulike årstider
  - Utforming av basseng

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Grunnlagsmateriale</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Historikk og saksgang</b>	<b>7</b>
3.1	Gruvevirksomheten	7
3.2	Forurensning	7
3.3	Påvirkning av forurensning	7
3.4	Gjennomførte tiltak og saksgang	10
<b>4</b>	<b>Hensikt og mål med oppdraget</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Grenseverdi for kobber i Folla</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Status forurensning</b>	<b>13</b>
6.1	Områdebeskrivelse	13
6.2	Forurensningsprosesser	13
6.3	Spredningsprosesser	21
6.4	Kvantifisering av tilførsler	24
6.5	Konklusjon forurensningssituasjon og behov for tiltak	27
<b>7</b>	<b>Vurdering av mulige tiltak</b>	<b>28</b>
7.1	Vurderingsstrategi og utgangspunkt	28
7.2	Tiltak i gruen	29
7.3	Forurensede masser - gruveavfall	29
7.4	Rensing av vann	37
7.5	Forurensede sedimenter i Folla	42
<b>8</b>	<b>Oppsummering av aktuelle tiltak</b>	<b>43</b>
<b>9</b>	<b>Anbefaling av tiltak</b>	<b>44</b>
<b>10</b>	<b>Referanser</b>	<b>46</b>

## Vedlegg

Vedlegg A	Kart med fordeling av avgangsmasser
Vedlegg B	Vurdering av naturlig nøytralisering og utfelling som tiltaksmetode

## Kontroll- og referanseside

## 1 Innledning

Tidligere gruvedrift i Folldal medfører avrenning av surt og tungmetallholdig vann til elva Folla nedstrøms gruveområdet. Det er konkludert med at vannet er sterkt forurenset av metaller som har vært årsaken til at det ikke finnes fisk i elva Folla.

Direktoratet for Mineralforvaltning (DMF) har fått overført ansvaret for forurensningen og gjennomføring av tiltak etter nedleggelse av gruvedriften. Miljødirektoratet har i pålegg til DMF fra 2003 gitt følgende målsetning for tiltak mot forurensningen:

*Målsettingen med tiltaket skal være å redusere avrenningen fra gruveområdet i størrelsesorden 60 - 90 prosent i forhold til kartleggingen gjennomført i 1998. Det er et mål at konsentrasjonen av kobber i Folla ved Folshaugmoen skal reduseres ned mot 10 - 15 µg/liter.*

NGI har på oppdrag for DMF vurdert mulige tiltak for å oppnå kravene i pålegget fra Miljødirektoratet fra 2003.

## 2 Grunnlagsmateriale

Dokumenter som ligger til grunn for vurderingene som er gjort i foreliggende rapport er vist i Tabell 1.

Tabell 1 Dokumenter som ligger til grunn for vurderingene

Institusjon	År	Tittel	Rapportnr.
AquateamCowi	2015	Vurdering av grenseverdi for metaller i vannforekomster i Sulitjelma	Rapport nr. 15-009
Cowi	2015	Undersøkelser i gruvepåvirkede vassdrag i Røros, Løkken, Folldal og Sulitjelma 2015	Rapport nr. 03
Cowi	2015	Biologiske undersøkelser i Folla og Sulitjelmavassdraget 2015, foreløpig rapport	Foreløpig rapport
NGI	2015	Folldal gruver. Vurdering av sedimentene i Folla og deres bidrag til forurensning av ellevann i Folla.	Rapport nr. 20140321-02-R
NGI	2014	Folldal gruver. Kartlegging av avgangsmasser og vann.	Rapport nr. 20140321-01-R
NIVA	2013	Avrenning fra Folldal Verk, Folldal kommune. Undersøkelser i 2012-2013.	Rapport L.nr. 6606-2013
NIVA	2012	Avrenning fra Folldal Verk, Folldal kommune. Undersøkelser i 2011-2012.	Rapport L.nr 6330-2012
Folldal kommune	2012	Handlingsplan, gruveforurensning Folldal sentrum	Datert 24.05.12
Norsulfid AS	1999	Kontrollundersøkelser etter nedleggelse av driften	Rapport LNR 4036-99
NIVA	1996	Tiltaksbeskrivelse av Follavassdraget.	Rapport LNR 3400-96

## 3 Historikk og saksgang

### 3.1 Gruvevirksomheten

Det har vært drevet gruvedrift i Folldal i perioden 1748-1968 med uttak av kis som inneholdt kobber, sink og svovel. Frem til avviklingen i 1968 var i alt 6 gruver etablert under Folldal verk. Av disse er det Gammelgruva og området rundt denne som er vurdert å være den dominerende forurensningskilden. Gråberg og avgangsmasser ble deponert i området mellom Gammelgruva og elva Folla, i det som nå er Folldal sentrum. Disse massene inneholdt store mengder svovel, sink og kobber.

### 3.2 Forurensning

Avgangsmasser fra gruvedriften finnes i hele sentrum av Folldal fra det øverste området som ligger nord for gruve ned til bredden av elva Folla.

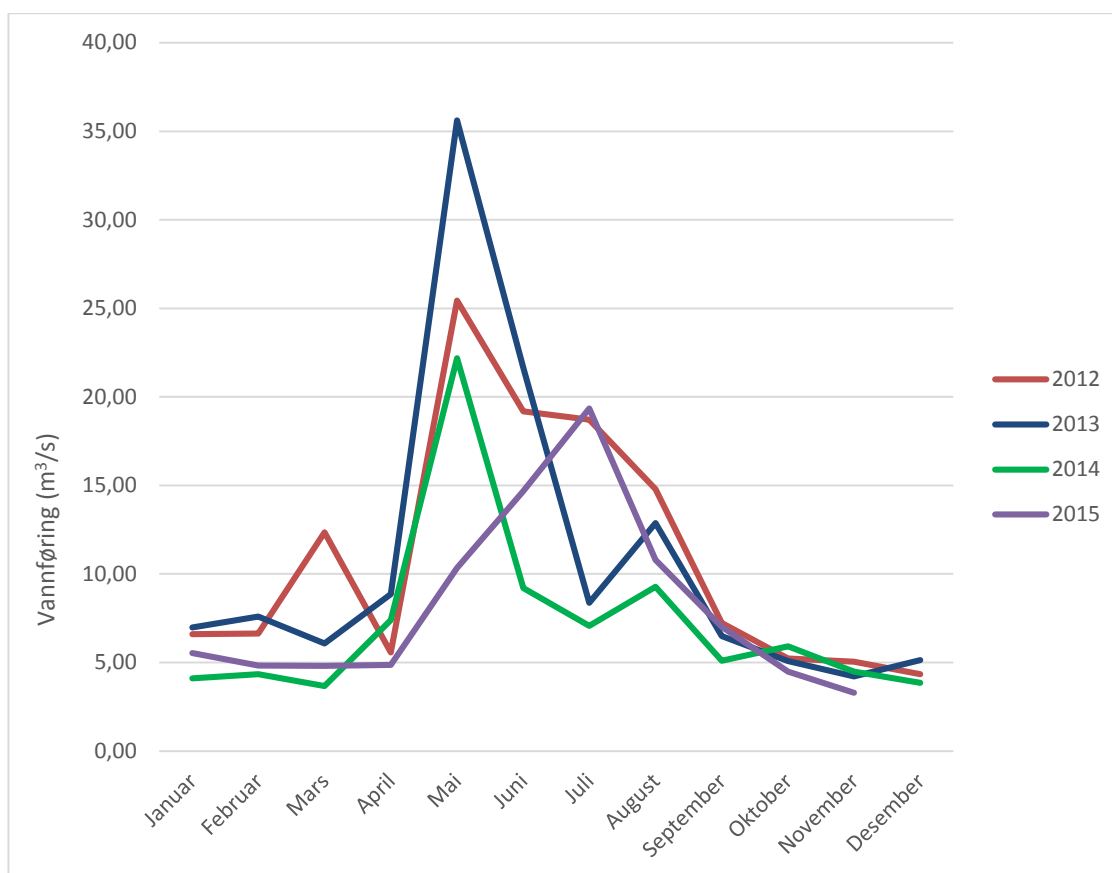
Grunnen til forurensning av overflatevann i Folldal og elva Folla er oksidasjon av sulfidrik bergmasse (gruve), gråberg og avgangsmasser som er deponert i området som følge av gruvedrift. Sulfider og sulfosalter (samt svovel S<sup>0</sup>) har et potensiale til å oksidere når de er i kontakt med vann og oksygen. De kan deretter produsere syre som fører til oppløsning og mobilisering av de fleste tungmetallene. Prosessen omtales som sur gruveavrenning, Acid Mine Drainage, (AMD) eller Acid Rock Drainage (ARD).

### 3.3 Påvirkning av forurensning

#### 3.3.1 Vann i Folla

Forurensningstransporten fra gruveområdet i Folldal sentrum til Folla varierer mye fra år til år avhengig av nedbør og klima. Området er nedbørfattig, men episoder med relativt intens nedbør samt snøsmelting kan forekomme, noe som fører til store variasjoner i forurensningstransporten fra dag til dag (NIVA, 2013). Konsentrasjonen av kobber i elva Folla er jevnlig høyere enn 50 µg/l, som overskrider kravet fra Miljødirektoratet på 10-15 µg/l. Dette medfører at elva er fisketom over en strekning på 12 km mellom Folldal sentrum og utløpet av elva Grimsa.

Figur 1 viser vannføringen i Folla i perioden 2012-2015, som viser at snøsmelting i april-juni er av stor betydning for vannmengdene som transporteres i elva. I perioder med ikke snøsmelting ligger vannføringen på rundt 5 m<sup>3</sup>/s. Data er hentet fra Glommens og Laagens Brukseierforening som har målestasjon i Folla, ca. 3 km nedstrøms Folldal sentrum.



Figur 1 Vannføring i Folla i perioden 2012-2015 (data fra Glommens og Laagens Brukseierforening)

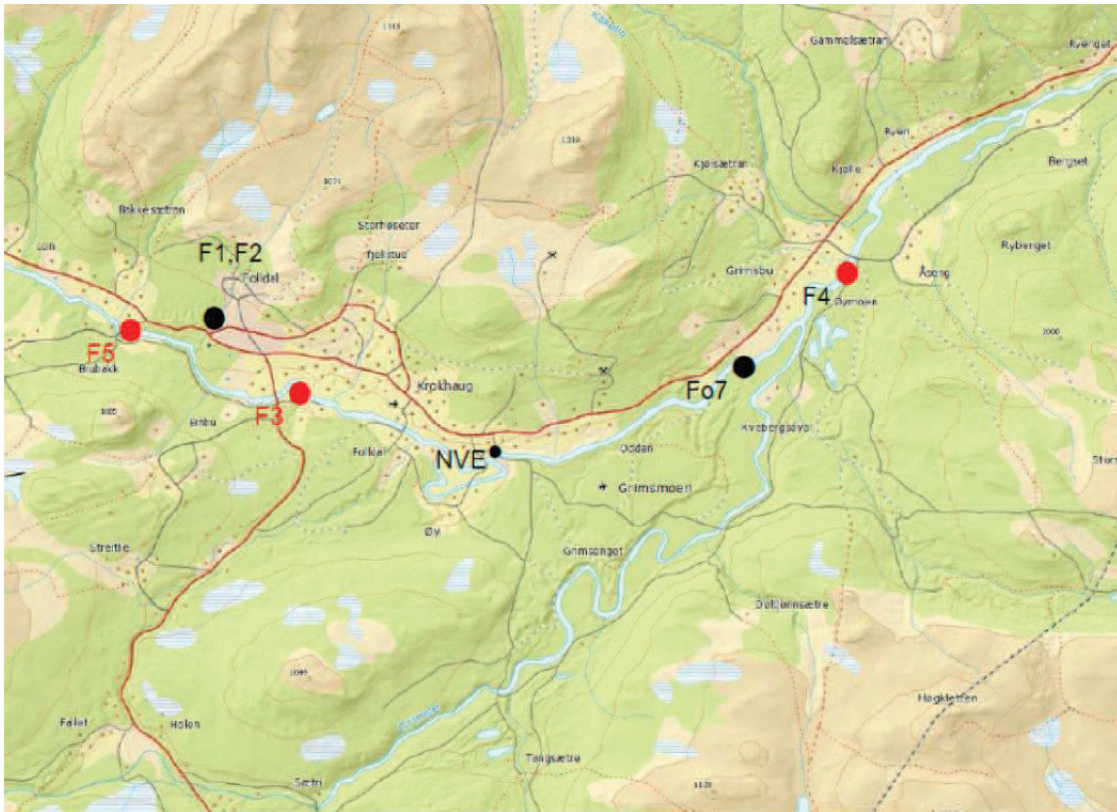
### 3.3.2 Biota i Folla

Cowi har gjennomført en kartlegging av biota i Folla i 2014 (Cowi, 2015a). Et utdrag av rapporten er gjengitt i det følgende.

*Undersøkelser av biologiske forhold på 1990-tallet viste at det skjedde markante forbedringer av forholdene i øvre del av vassdraget etter at driften ved Tverrfjellet ble avsluttet, mens det fortsatt var betydelige biologiske skadeeffekter i nedre del av elva. På stasjonen nedenfor Follidal sentrum ble det imidlertid påvist hverken ørret eller steinulke, og på strekningen fra Follidal sentrum til samløpet med Grimsa var det fortsatt for høye metallkonsentrasjoner til at fisk kunne oppholde seg der i lengre tid. Bunnfaunaen var også sterkt påvirket på denne strekningen med bl.a. redusert antall arter av døgnfluer, steinfluer og vårfluer. Bunnprøvene fra 2014 indikerer at Folla oppstrøms utslippet av forurenset vann har normalt utviklet bunnfauna.*

Prøvestasjonene er vist på Figur 2.





Figur 2 Bunndyrstasjoner i Folla (Cowi, 2015a)

*Folla like nedstrøms deponiavrenning (F 3) er nesten uten bunndyr, prøvene videre nedstrøms viser en gradvis rikere fauna til stasjonen som ligger nedstrøms samløpet med Grimsa (F 4).*

*På stasjonen Fo7 pekte NIVA på en mulig forverring av forurensningssituasjonen i årene fram mot 1999, bunndyrfaunaen på denne stasjonen var nærmest slått ut i 1997. Det ser nå ut til å være en gradvis forbedring for bunndyrfaunaen nedover i vassdraget fra F 3, umiddelbart nedstrøms påvirkning fra gruveavrenningen, til stasjonen som ligger nedstrøms samløp med Grimsa (F4).*

Cowi har utført undersøkelser av fisk i Folla i 2015 (Cowi, 2015b). Et sammendrag av resultatene er gjengitt her.

*Det ble påvist ørret og steinsmett på referansestasjonen oppstrøms gruvepåvirkningen fra Gorbekken.*

*Området rett nedstrøms Gorbekken vurderes som uegnet for fisk pga. sterk forurensing fra gruveavrenningen. Det ble ikke gjennomført elektrofiske her da stasjonen er vurdert til å være sterkt forurenset og uaktuell for fisk.*

*Det ble påvist ørret og steinsmett på Stasjonen i Folla ved Borkhaugen oppstrøms samløp med Grimsa. Denne strekningen har tidligere vært antatt fisketom pga. gruvepåvirkningen. Folla på strekningen Brubakk-Kjølle er klassifisert med moderat økologisk tilstand, samtidig er det oppgitt at elva er fisketom pga. gruveforurensning (Vann-nett 27.06.2013).*

*Stasjonen nedstrøms samløpet med Grimsa hadde den høyeste tettheten av samtlige stasjoner. Grimsa har trolig en betydelig fortyningseffekt på tilstanden nedstrøms samløpet.*

*På flere av stasjonene ble steinsmett påvist sammen med ørret i like tettheter og flere steder var det høyere tetthet av steinsmett enn av ørret. Konkurransen mellom arter om leveområde og andre ressurser som for eksempel næring og skjul oppstår når tilbudet er begrenset. Steinsmett er en sterk konkurrent til ørretunger på elv som fører til lavere tettheter av ørret der steinsmett og ørret lever sammen sammenlignet med der hvor ørreten lever alene. Lave tettheter av ørret i slike områder med steinsmett kan derfor komme av konkurranse heller enn av påvirkning fra gruveavrenning.*

### 3.4 Gjennomførte tiltak og saksgang

I det følgende gis en oversikt over pålegg og utførte tiltak for å forsøke og bedre forurensningstilstanden i Folla:

- 1992/1994: Det pågikk oppryddingstiltak ved Gammelgruva i Folldal sentrum. Oppryddingstiltakene har bestått i flytting av forurensende masser opp til Hjerkin, der de ble deponert i Tverrfjellet gruve. Tiltaket hadde ingen påviselig effekt på den totale avrenningen til Folla. I tillegg ble det foretatt en del dreneringstiltak i det gamle gruveområdet for å samle opp avrenning fra avgangsmasser og gruvevann og lede dette til Folla.
- 23.01.01: Statens Forurensningstilsyn (SFT) gir pålegg til Miljøsikringsfondet om å utrede forurensningsbegrensende tiltak.
- 15.03.02: NIVA fremlegger rapport LNR 2298/2002 på oppdrag fra Miljøsikringsfondet. Rapporten utreder mulige forurensningsbegrensende tiltak.
- 02.10.03: SFT gir pålegg til Nærings- og Handelsdepartementet (NHD) om å gjennomføre forurensningsbegrensende tiltak i det gamle gruveområdet i Folldal sentrum.
- 10.11.03: NHD påklager SFT sitt pålegg.
- 05.03.04: SFT opprettholder sitt vedtak og oversender saken til Miljøverndepartementet.
- 11.06.05: Miljøverndepartementet gjør endelig vedtak i klagesaken:

Forurensningseier og ansvarlig for utbedring er staten ved NHD. Målsettingen med tiltaket skal være å redusere avrenningen fra gruveområdet i størrelsesorden 60 - 90 prosent i forhold til kartleggingen gjennomført i 1998. Dette innebærer en reduksjon av det årlige utslippet av kobber til Folla fra 15-20 tonn til 2-8

tonn. Det er et mål at konsentrasjonen av kobber i Folla ved Folshaugmoen skal reduseres ned mot 10 - 15 µg/liter.

- 2005: DMF utfører arbeid med å drenere vekk rent vann fra området oppstrøms gruveområdet.
- 2006/2007: DMF graver avskjæringsgrøfter nedstrøms gruveområdet med formål å samle mest mulig av forurenset vann mot ett punkt.
- 2006-2009: DMF etablerer et småskala våtmarksanlegg for å forsøke å rense forurenset vann. Det ble imidlertid konkludert med at vannmengdene er for store til at dette fungerer etter hensikten.
- 2010: DMF lager en tiltaksvurdering hvor fjerning av avgangsmasser var et av foreslåtte tiltak.
- 2011: Miljødirektoratet skriver i brev til DMF at en renseteknisk løsning skal foretrekkes fremfor fjerning av masser ut i fra kulturhistoriske hensyn.
- 2012: Miljødirektoratet skriver i brev til DMF at når endelig renseløsning er valgt vil Miljødirektoratet komme tilbake med en ny frist for oppnåelse av redusert kobberkonsentrasjon i Folla.
- 2014: Programmet for overvåking av vann til og i Folla blir revidert for å tilpasses til krav i Vannforskriften. DMF utfører samme år forsøk med tildekking av sedimentene i Folla. Det var antatt at elvesedimenter kan være en framtidig kilde til forurensning av elvevannet i Folla, og det ble derfor testet ut egnede materialer og utleggingsmetodikk.

## 4 Hensikt og mål med oppdraget

Basert på de pålegg som er gitt av Miljødirektoratet er følgende mål definert for gjennomføring av tiltak mot gruveforurensningen i Folldal:

- Redusere avrenningen fra gruveområdet i størrelsesorden 60 – 90%.
  - Basert på beregnede utslipp utført i 2015 innebærer dette en reduksjon av det estimerte årlige utslippet av kobber til Folla på 14,7 tonn med 8,8-13,2 t/år til 1,5-5,9 tonn (kfr. kap 6.5).
- Konsentrasjonen av kobber i Folla ved Folshaugmoen skal reduseres ned mot 10 - 15 µg/liter.

Det foreligger en stedfestet reguleringsplan for gruveområdet, med formål å verne kulturminner. Miljødirektoratet skriver følgende i brev til DMF i 2011:

*Folldal gruver er et teknisk/industrielt kulturminne med spesiell oppfølging og støtte til vedlikehold og istandsetting fra Riksantikvaren over statsbudsjettet. Riksantikvaren mener derfor at dersom det skal gjennomføres forurensningsbegrensende tiltak i Folldal sentrum vil det kun være aktuelt med en renseteknisk tiltaksløsning som ikke gir fysiske inngrep i konflikt med kulturminnene i området.*

NGI har i foreliggende rapport gjennomgått samtlige tiltaksmuligheter som er aktuelle for å begrense utslippet av kobber fra gruvemassene og avrenning til Folla. Vurdering av om anbefalte tiltak er akseptable ut i fra hensynet til kulturminnet må utføres av Riksantikvaren. Gradering av tiltak for å tilpasse tiltaksmetodene til det lokale hensynet til kulturminnet kan da være aktuelt.

## 5 Grenseverdi for kobber i Folla

Miljødirektoratet har satt 10 µg/l som mål for kobberkonsentrasjon i Folla. Aquateam Cowi har på oppdrag fra DMF vurdert denne grenseverdien på nytt, særlig sett i lys av vannkvaliteten i resipientene og ny informasjon i forbindelse med utarbeidelse av nye miljøstandarder (Aquateam Cowi, 2015). Et sammendrag fra rapporten er gjengitt her.

*Ut fra en faglig vurdering kan grenseverdien nå settes til 20 µg Cu/l (maksimalverdi over året). Basert på angitte miljøstandarder (EQS-verdier) for kobber, samt økotoxikologiske data innsamlet av European Copper Institute (ECI, 2008), antas at en verdi på 20 µg Cu/l i Folla ikke vil ha direkte giftvirkning på fisk som lever her. Denne verdien vil imidlertid ha betydning for næringsgrunnlaget til fisken. I gjennomførte laboratorieforsøk med vannkvalitet lik den i Folla er det vist at insektlarver tåler denne kobberkonsentrasjonen. Bunndyrundersøkelsene i 2014 viste at strekningen nedstrøms Follidal inneholdt en marginalisert bunnfauna, med hovedvekt på fjærmygglarver.*

*Det eksisterende kravet på 10 µg Cu/l er svært ambisiøst for Folla. Ideelt sett bør man følge EUs krav; å innen 2021 nå god kjemisk tilstand som for kobber i ferskvann er foreslått til < 7,8 µg Cu/l både som maksimal enkeltverdi (MAC-EQS) og som gjennomsnitt over året (AA-EQS). Basert på data fra økotoxikologiske tester vil en kobberverdi på 20 µg Cu/l ikke skade fisk, alger, krepsdyr, insektlarver eller fisk som lever i Folla. Målingene i Folla gjøres på totalt innhold av kobber. Dette betyr at den delen av kobberet som er løst i vannet (mest giftig for fisk og evertebrater) kan være noe lavere enn den målte totalverdi, og i dette ligger en ekstra sikkerhet.*

*Det er spesielt viktig å redusere de høye enkeltkonsentrasjonene som måles i Folla. Det ble i 2014 målt 73 µg Cu/l i Folla ved Folshaugmoen i en prøve hvor pH var 7,4. Denne kobberverdien forventes å kunne skade miljøet. Ingen enkeltverdier bør overstige 20 µg Cu/l.*

*Forslag til grenseverdi er basert på analyseverdi for total kobber, men det kan være behov for å sette grenseverdi for biotilgjengelig kobber. Prøvetakingsmetodikken vil da måtte endres, dvs. prøver må filtreres i felten, eller man må sette ut passive prøvetakere. Det anbefales at man analyserer på filtrerte/ufiltrerte prøver og at filtreringen foregår i felten.*

*Enne grenseverdier for kadmium (Cd) i Folla foreslås ikke da vi ikke ser behov for slike grenseverdier. Kadmiumkonsentrasjonen i Folla (gjsnitt 2014: 0,15 µg Cd/l) er i utgangspunktet lavere enn EQSferskvann for hardt vann (0,19 µg Cd/l), men høyere enn*

*EQSferskvann for bløtt vann (0,08 µg Cd/l). Grensen mellom hardt og bløtt vann er av EU satt til 40 mg CaCO<sub>3</sub>/l ~16 mg Ca/l. Kalsium-innholdet i Folla ligger på ca. 14 mg/l, altså nær opp til denne grenseverdien. Dette betyr at Cd-konsentrasjonen i Folla ikke bør øke.*

*Egne grenseverdier for sink (Zn) i Folla foreslås ikke da sink ikke forventes å være giftig for fisk eller bunnlevende organismer i de konsentrasjonene som forekommer i Folla. EQSferskvann på 11 µg Zn/l er basert på resultater fra testing med alger som er svært sensitiv for sink. Det forventes dertil at en reduksjon i konsentrasjon av kobber i Folla til maks 20 µg Cu/l, vil føre til en tilsvarende reduksjon i sinkkonsentrasjonen. Ettersom kobber og sink har additiv effekt, er det imidlertid viktig å se Cu- og Zn-verdiene i sammenheng.*

*Det foreligger til nå lite data om løst aluminium (LAl) i Folla og i de øvrige gruveområdene. Det gjøres en vurdering av behov for dette når det foreligger full dataserie fra 2015.*

## **6 Status forurensning**

### **6.1 Områdebeskrivelse**

Folldal har stabilt innlandsklima med lite nedbør, svært kalde vintre og relativt kjølige somre grunnet kommunens høyde over havet. Drenasje av overflatevann er sterkt nedbørspåvirket.

Det ligger avfall fra gruvevirksomheten i Folldal fra lengst nord og helt ned mot Folla (Figur 4). Bygninger i sentrale deler av Folldal sentrum ligger på gruveavfall.

Terrenget er hellende ned mot elva Folla som er resipient for alt overflate- og grunnvann fra gruveområdet.

### **6.2 Forurensningsprosesser**

Det skiller mellom tre hovedkilder til forurensningen:

1. Gruven og sigevann som renner ut
2. Avgangsmasser fra gruvevirksomhet
3. Sedimenter i Folla som har mottatt avrenningen over lang tid

#### **6.2.1 Gruven**

Det er ikke utført kartlegging av vann i selve gruve, annet enn vann som kommer ut av Stoll 2, som består både av gruvevann og infiltrert vann fra avgangsmasser nord for gruve (område N på Figur 7).

Beregninger av nedbørfelt og vannmengder (se kap. 6.4) indikerer at forurenset vann produseres på grunn av infiltrasjon fra avgangsmasser. Det tyder på at det finnes en begrenset mengde reaktive masser i selve gruve. På grunn av et relativt lite overflateareal i gruvegangene sammenlignet med avgangsmasser utenfor gruve er oksidasjonen og dermed avrenningen begrenset.

### 6.2.2 Forurensende masser - gruveavfall

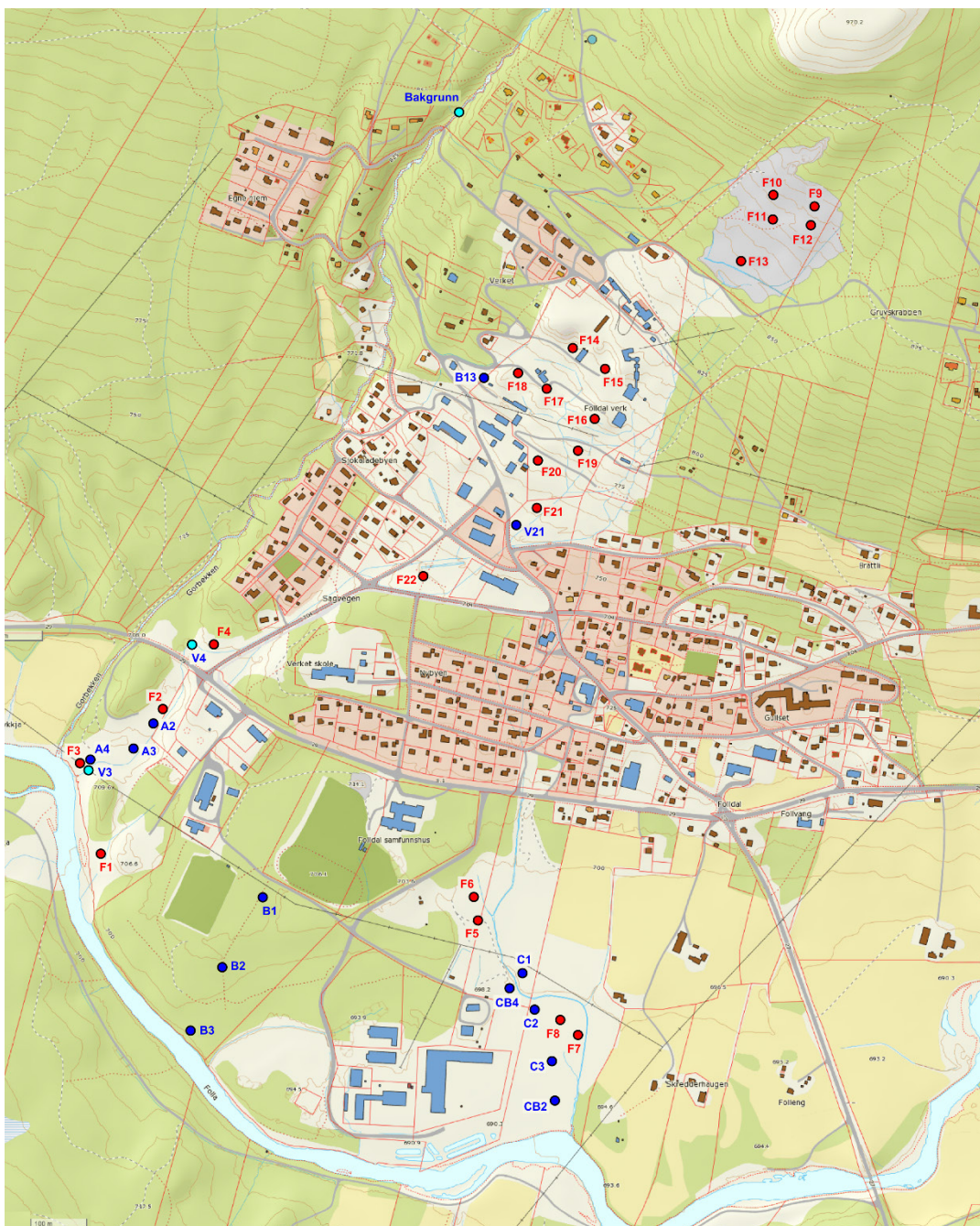
Avgangsmasser finnes i hele sentrum av Follidal fra det øverste området som ligger nord for gruve ned til bredden av elva Folla. Diskusjoner med kjentfolk fra kommunen og gruve indikerer at disse massene ble deponert på ulike tider, ulike måter, ulike dybder og kom fra ulike prosesser, og er derfor veldig heterogene. Tidligere kartlegging av avgangsmasser viser minst fem ulike avgangsmassetyper:

- bergvelter, svovel-, og tungmetallholdig avfallsstein, håndsjeidegods;
- smeltehytteslagg;
- vaskerigods;
- flotasjonsavgang;
- finmasser i slambasseng;

I tillegg kommer forskjellige blandinger av forurensede masser og mindre forurenset morene. Det er utarbeidet et kart som viser fordeling av de ulike avgangsmassene i Follidal. Kartet er vist i vedlegg A.

Basert på denne første klassifisering har NGI tatt ut prøver av de ulike typene avgangsmasser (NGI, 2014).

Lokalisering av prøver av avgangsmasser samt vannprøver er vist på Figur 3.



Figur 3 Lokalisering av prøvestasjoner for avgangsmasser- og vann i Follidal. Prøver av avgangsmasser er vist med rødt farge, grunnvannprøver med mørk blå farge og prøver av overflatevann med lys blå farge

Innledende konklusjon som kan trekkes basert på resultatene fra prøvene av avgangsmassene er at alle prøver er syredannende. Selv om det finnes store forskjeller mellom prøvene, er netto nøytraliseringspotensial alltid negativt som betyr at avgangsmassene produserer og vil fortsette å produsere syre. Det finnes heller ingen karbonater som kan bufre den syre som produseres i deponiene med sulfidholdig gruveavfall så lenge de er i oksidasjonsfasen.

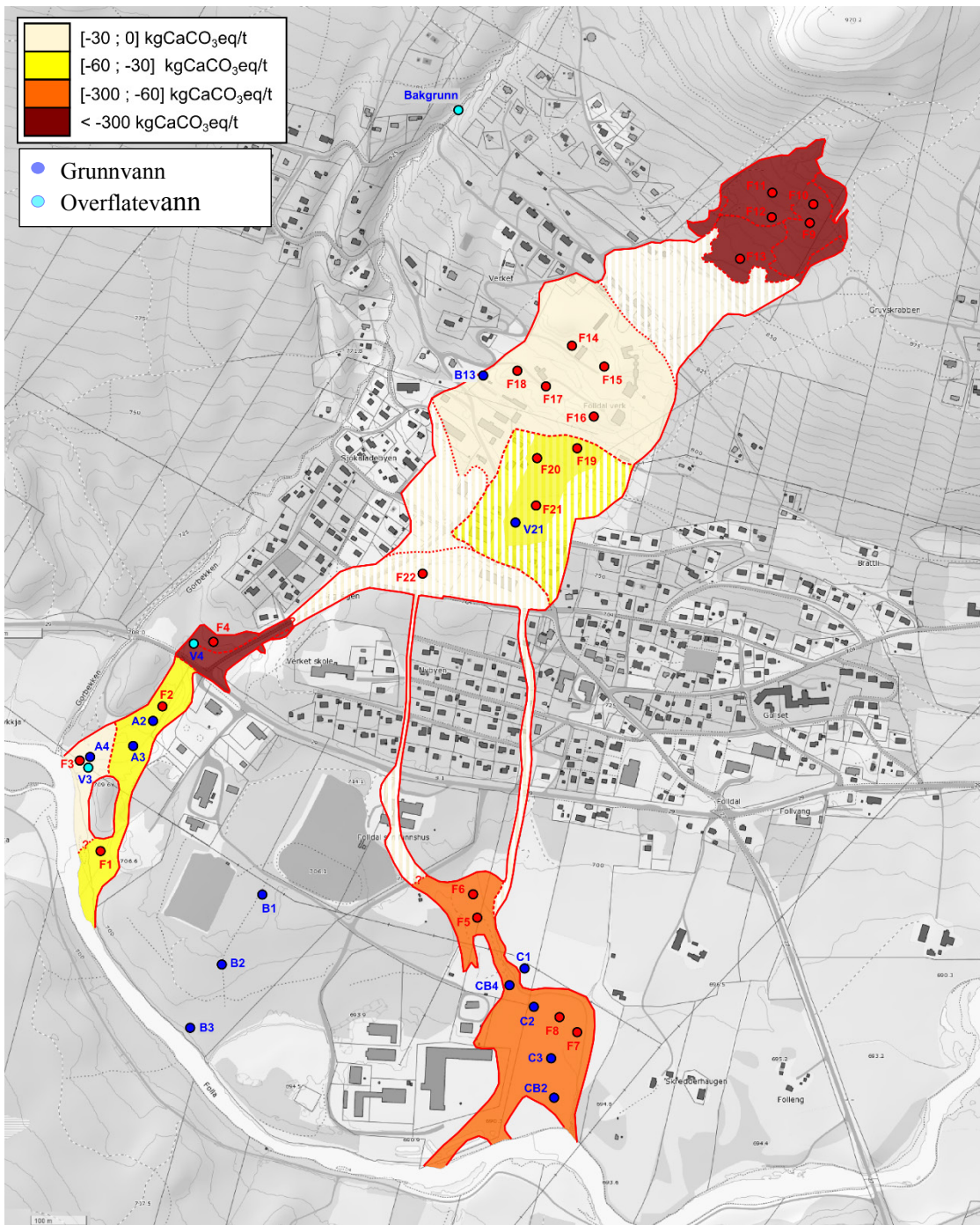
Avgangsmassene har vært eksponert for forvitring i mange år og opprinnelig sulfidinnhold og syredanningspotensial var tidligere sannsynligvis høyere enn det er nå. Basert på resultatene fra de statiske testene er det imidlertid vanskelig å estimere hvor lenge avgangsmassene vil fortsette å produsere sur avrenning (Acid Rock Drainage, ARD). Typiske resultater fra litteraturen viser at avgangsmasser som ligner de som finnes i Folldal kan oksideres og danne syre i mange år fremover, opptil flere hundre år. Dette gjelder bare masser som er eksponert for luft og vann. Masser som ligger dypere er foreløpig beskyttet mot direkte oksidasjon, men siden pH er lav (<3,5) og jerninnholdet er høyt er det stor sannsynlighet for indirekte oksidasjon.

Feltobservasjoner har også vist at avgangsmassene er veldig heterogene, og består av en blanding av forskjellige typer materiale både når det gjelder mineralogi, geokjemi, kornstørrelse og forvitring.

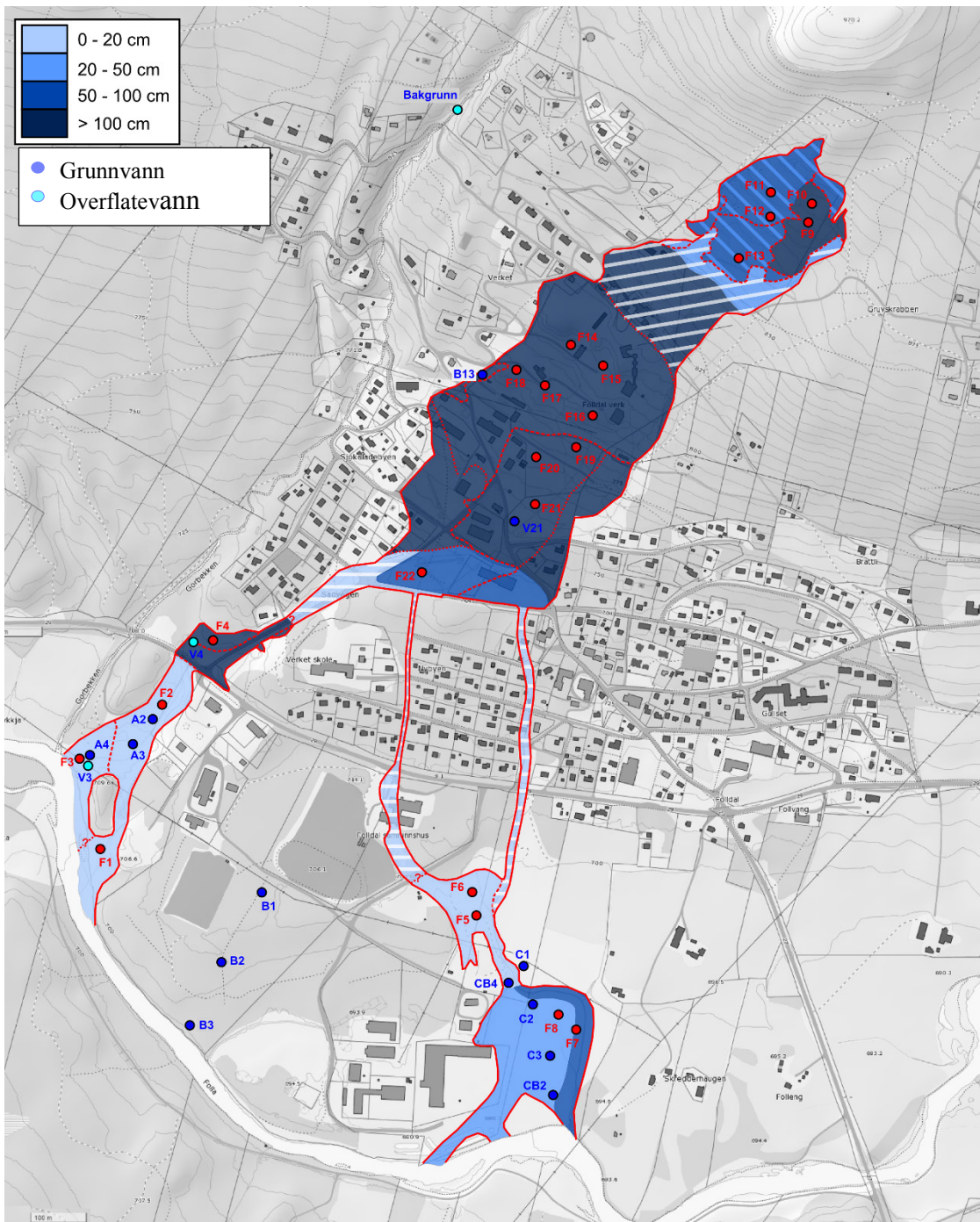
Ved befaring kunne det observeres at avgrensning av de ulike massene som angitt på tidligere kart (vedlegg B) stemmer. Imidlertid har de kjemiske analysene vist at klassifisering av avgangsmassene ikke direkte kan kobles til deponeringstype og at massene ikke kan deles i 6 eller 7 ulike kategorier (vaskerigods, flotasjonsavgang, slambasseng osv.) utfra kjemien. Betydelige side- og vertikale variasjoner ble målt. Basert på syredanningspotensialet er det utarbeidet et kart til de forskjellige massene (Figur 4). Det er brukt en konservativ tilnærming, dvs. der flere prøver er tatt, er bare den med det høyeste sulfidinnhold vist i kartet.

For å få en bedre innsikt i mengder av avgangsmasser er det utarbeidet et kart hvor mektigheten på de ulike avgangsmassene indikeres (Figur 5).





Figur 4 Kartlegging av syredanningspotensiale i avgangsmassene i Follidal. Kartet og særlig grensene er basert på tidligere kart (vedlegg A). Hvite striper viser soner med få prøver.



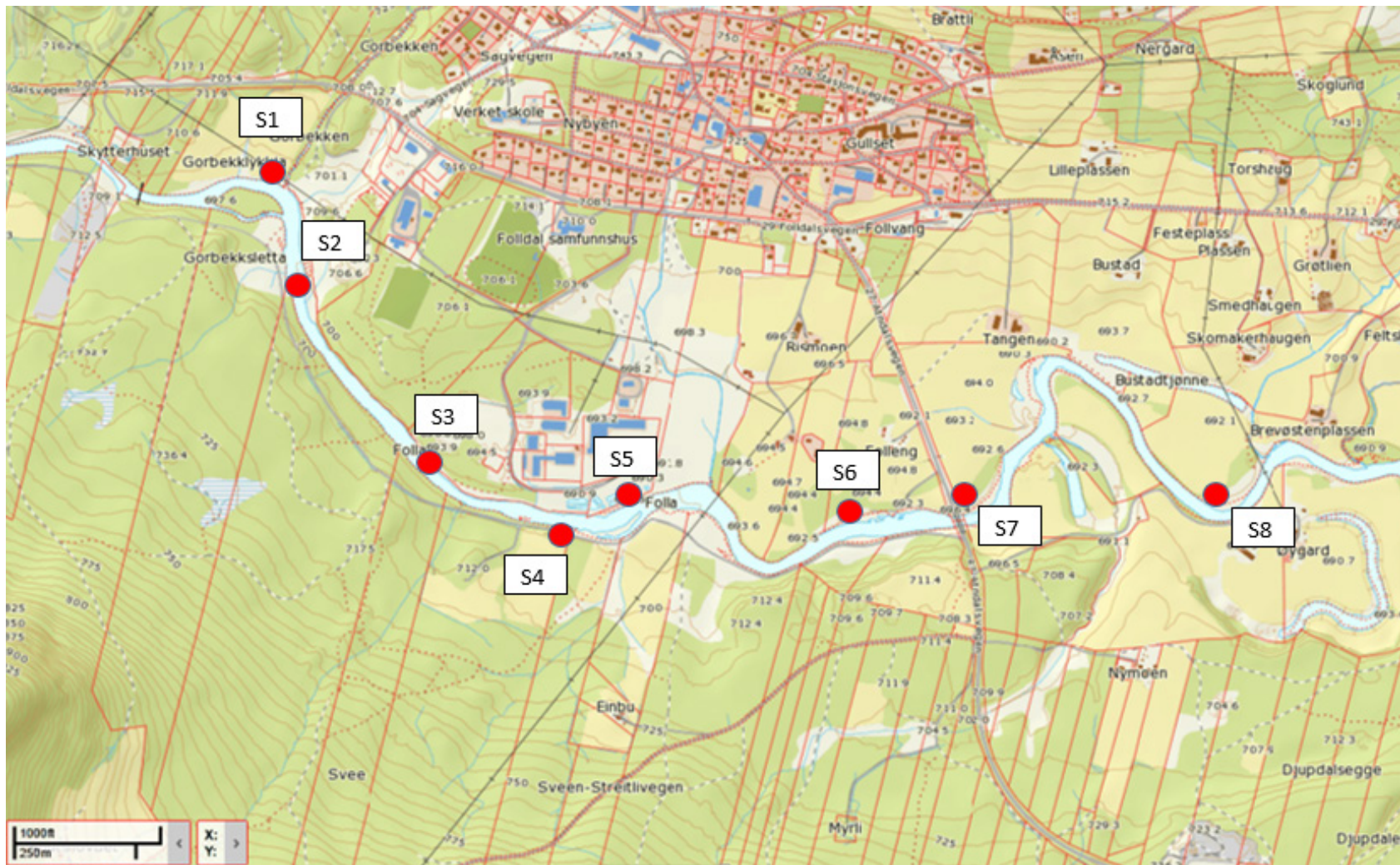
Figur 5 Oversikt over antatt mektighet av avgangsmasser basert på graving og visuelle observasjoner. Kartet og grensene er basert på tidligere kart (vedlegg A).

### 6.2.3 Sedimenter i Folla

Det er tatt prøver i Folla for å vurdere forurensningssituasjonen i sedimentene langs Folla. Stasjoner for prøvetaking er vist i Figur 6. Ved hver stasjon er det tatt vannprøve, sedimentprøve, ekstrahert porevann fra sedimentet samt målt biotilgjengelig del av forurensningen vha passiv prøvetaker (DGT).

Resultater fra sedimentanalysene viser forhøyede konsentrasjoner av kobber og sink nedstrøms utslippet av gruvevann rett sør for utløpet fra Gorbekken mellom S1 og S2. Konsentrasjonene er likevel innenfor klasse 2, årlig gjennomsnitt AA-EQS (Miljødirektoratet, 2014). De høyeste konsentrasjonene (klasse 5 for kobber, 3 for sink) foreligger i området umiddelbart nedstrøms utslippspunktet (stasjon 3). Konsentrasjonene reduseres nedover i vassdraget og kan karakteriseres som moderat forurenset (klasse 2) ca. 1,5 km nedstrøms utslippspunktet.

Vurderinger av sedimentenes bidrag til forurensning av elvevannet i Folla er beskrevet i kap 6.3.2.



Figur 6 Kart som viser prøvestasjoner av sedimenter i Folla, S1-S8

## 6.3 Spredningsprosesser

### 6.3.1 Overvann/grunnvann

I perioden 1993-2013 gjennomførte NIVA et program for kontroll av forurensningstilførselene fra gruveområdet (NIVA, 2013). Undersøkelsene har omfattet prøvetaking av to kilder i gruveområdet, gruvevann fra stoll 2 og ved utløpet av drenerør for samlet avrenning til Folla.

Det er tatt oppfølgende prøver i disse stasjonene samt supplerte stasjoner i overvann og grunnvann i 2014 (NGI, 2014). Resultater er sammenlignet med tilstandsklasser som vist i Tabell 2:

- Parameterne Arsen (As), Kobber (Cu), Nikkel (Ni) og Sink (Zn): Miljødirektoratets rapport Kvalitetssikring av miljøkvalitetsstandarder (Miljødirektoratet, 2014). Nikkel er prioritert stoff i Vannforskriften.
- Jern (Fe): Miljødirektoratets klassifiseringssystem for ferskvann (SFT, 1997)
- 

Tabell 2 Klassifiseringssystem for ferskvann, øvre grense for hver klasse angitt i samme enhet som brukt i tabell 2.

Tilstands-klasse SFT, 1997	1 Meget god	2 God	3 Mindre god	4 Dårlig	5 Meget dårlig
Fe (mg/l)	<0,05	0,1	0,3	0,6	>0,6
Klassifisering MD, 2014	I Bakgrunn	II AA-EQS Årlig gjennomsnitt	III MAC-EQS Årlig maksverdi	IV	V Omfattende akutt tox effekt
As (µg/l)	0,15	0,5	8,5	85	>85
Cu (mg/l)	0,0003	0,0078	0,0078	0,0156	>0,0156
Ni (µg/l)	0,5	4	34	67	>67
Zn (mg/l)	0,0015	0,011	0,011	0,060	>0,060

For sulfat (SO<sub>4</sub>) foreligger det ikke klassifiseringssystem. Alle resultatene fra vannprøvetakingen er vist i Tabell 3.

Tabell 3 Konsentrasjoner av Fe, As, Cu, Ni, Zn og sulfater samt måling av pH i vannprøver. Resultatene for As, Cu, Ni og Zn er sammenliknet med Miljødirektoratets miljøkvalitetsstandarder (Miljødirektoratet, 2014). Resultatene for Fe er sammenliknet med klassifiserings-system for ferskvann (SFT, 1997).

Prøver	Fe (mg/l)	As (µg/L)	Cu (mg/l)	Ni* (µg/L)	Zn (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	pH
Bakgr.	0,05	< 0,05	8,8.10 <sup>-4</sup>	1,1	4,1.10 <sup>-4</sup>	1,7	6,6
V4	790	14	73	620	42	3000	2,6
V3	490	5,8	48	470	30	2100	2,6
V21	3600	66	25	1900	106	11300	2,2
BR13	2700	34	20	1300	128	8900	2,7
A3	780	< 5	0,029	140	61	2800	5,9
A4	140	< 1	26	380	25	1500	4,2
B2	0,032	3,0	0,003	1,8	0,36	13	6,9
B3	6,4	0,061	0,012	83	41	9,0	7,3
C2	240	< 1	< 0,002	760	66	1100	5,2
C3	50	< 0,3	0,028	9,7	18	720	6,3
CB4	0,44	< 0,3	0,19	110	15	820	5,8
CB2	130	< 1	2,7	320	18	1000	4,5

\*:Prioritert stoff i Vannforskriften

Resultatene viser at vann fra brønnene V21 og BR13, dvs. vann som henholdsvis ble infiltrert i avgangsmasser rundt hoveddeponiet eller som samles fra gruve og drenerings-systemet i gammeldeponiområdet er sterkt forurenset. Dette vannet ledes videre til V4 og videre til V3 før det går ut i Folla (Figur 3). Det observeres at vannkvaliteten mellom punktene V4 og V3 forbedres betydelig og innholdet av samtlige tungmetaller reduseres. Vannet i V3 er imidlertid fortsatt meget sterkt forurenset. En figur som viser skjematisk fremstilling av drensveiene for vann er vist i Figur 8. På figuren er St2 lik V4.

Resultatene fra vannprøvene fra området A (slambasseng) og C (industriområdet) er ganske like, dvs. forurenset men med en mye lavere konsentrasjon enn lenger nordover rundt hoveddeponiet, selv om de fortsatt er i klasse 5.

Området B (brønner B1 til B3) skiller seg ut ved at vannkvaliteten er mye bedre.

### 6.3.2 Sedimenter og elvevann

Sedimentene har et høyt innhold av jern- og delvis aluminium(hydr)oksider som følge av gode forhold for utfelling i Folla (nøytral pH, oksiderende forhold). Utfellingen skjer i hovedsak i nærheten av utslippspunktet for gruvevann, men forhøyede verdier av jern

i elvevannet indikerer at det skjer en utfelling nedover hele det undersøkte området. Kobber og sink har høy affinitet til spesielt jern(hydr)oksidene, noe som gir en medfelling av disse metallene. Reduksjonen av kobber og sink i vannet nedstrøms utslippspunktet fra gruva vil delvis være et resultat av medfelling i tillegg til fortykning. Som følge av medfelling forventes et forhøyet innhold av kobber og sink i hovedsak å foreligge i finstoff-fraksjonen, assosiert til hydroksid og organisk material. Sedimenterte partikler vil i perioder med økt vannføring (spesielt flomsituasjoner) kunne transporteres nedover i elva.

Analyser av overflatevannprøver fra Folla viser at direkteutslippet av gruvevann rett sør for utløpet fra Gorbekken har en kraftig påvirkning av vannkvaliteten (NGI, 2014). pH reduseres til 4,09 og innholdet av kobber og sink tilsvarer klasse 5 (Miljødirektoratet, 2014). Lengre ned i elva øker pH til nøytral, og innholdet av kobber og sink reduseres betydelig, men ligger ennå innenfor klasse 5 for kobber og 4 for sink.

En sammenligning av kobberkonsentrasjoner i elvevannet med porevann i sedimentene viser at det foreligger en konsentrasjonsgradient fra vannet i Folla (overflatevann) og ned mot sedimentene. Sedimentene vil således være en sink for Cu og ingen kilde. For Zn synes forholdet å være motsatt, med høyere konsentrasjoner i porevannet i sedimentene sammenlignet med vannfasen over, noe som kan tyde på at sedimentene kan være en kilde til forurensning av Folla. Bidraget vurderes imidlertid å være ubetydelig sammenlignet med hovedutslippet fra gruva. Hvis utslippet av gruvevann til Folla opphører, er den totale mengden kobber og sink som kan frigis/mobiliseres fra sedimentene over tid beregnet til henholdsvis ca. 1 tonn Cu og ca. 1 tonn Zn.

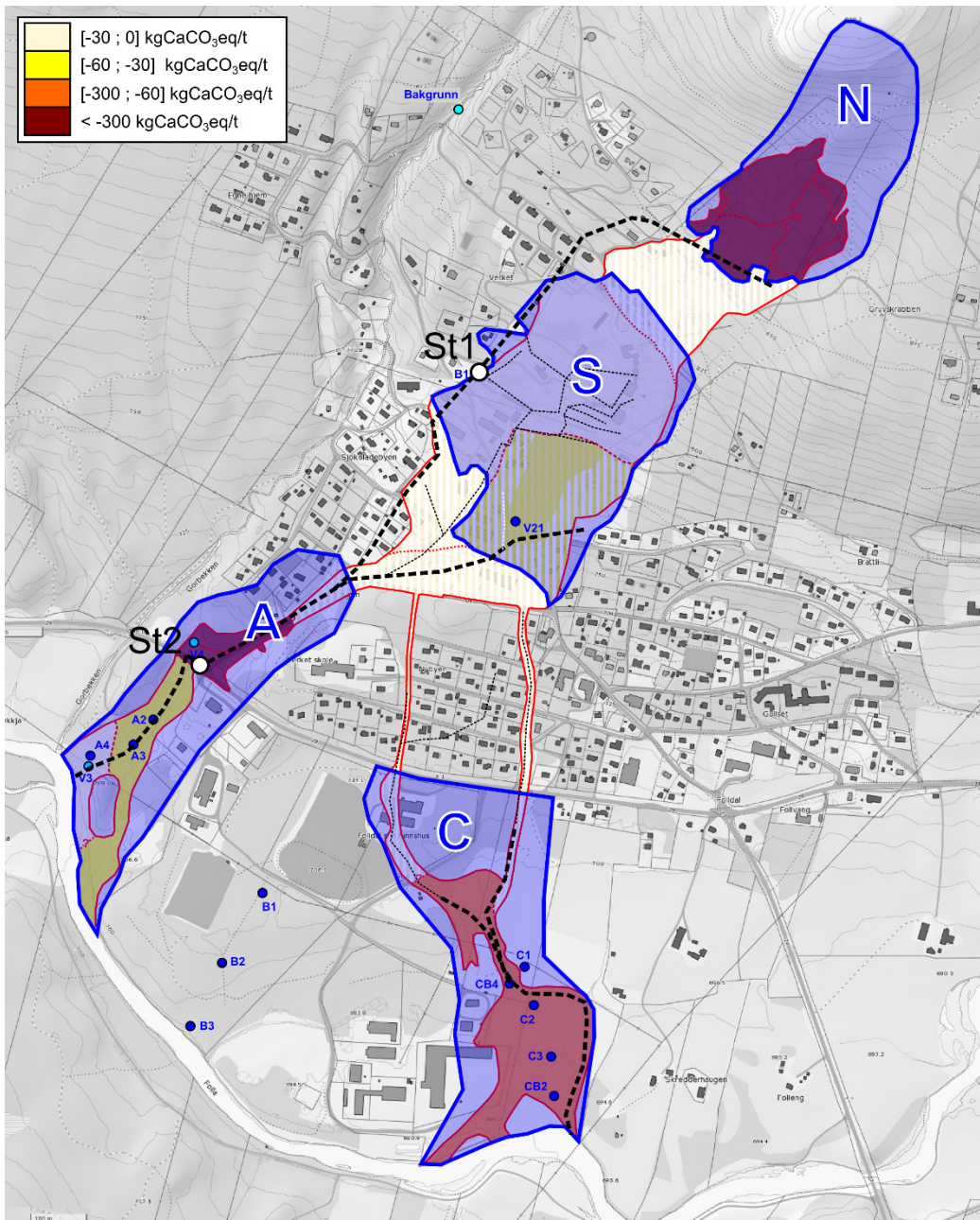
Kobber og sink-konsentrasjonene i elvevannet ligger over klasse 2 (Miljødirektoratet, 2014) og foreslått Miljødirektoratets mål for konsentrasjon i Folla (10-15 µg Cu/l), noe som indikerer potensiell negativ effekt på vannlevende organismer. Når det gjelder kobberinnholdet i porevannet i sedimentene nedstrøms utslippspunktet ligger prøvene fra stasjon S3, S4 og S7 (Figur 6) i klasse 1 mens prøvene fra stasjon S2 og S5 i klasse 5, med S5 som svært høy. For sink ligger samtlige prøver nedstrøms utslippspunktet for gruvevann over klasse 2 hvorav flere stasjoner i klasse 5.

Analyse av biotilgjengelig andel av kobber ved hjelp av DGT, viser at en høy andel av kobber i porevannet vil være tilgjengelig for organismer i konsentrasjoner som overskrider PNEC verdier for vannlevende organismer (klasse 2). Biotilgjengelig andel av sink ligger også i hovedsak over PNEC verdien på 11 µg/l. Disse funn støtter opp under bunndyrundersøkelsen gjennomført i 2014 (Cowi 2015a), hvor det nesten ikke registreres bunndyr nedstrøms utslippspunktet for gruvevann. Marginalisert bunndyrfauna antas imidlertid å kunne skyldes flere faktorer enn kun forhøyede verdier av kobber og sink i sedimentene.

Basert på gjennomført undersøkelse synes sedimentene i Folla ikke å representere en kilde til forurensning som bør prioriteres for tiltak.

## 6.4 Kvantifisering av tilførsler

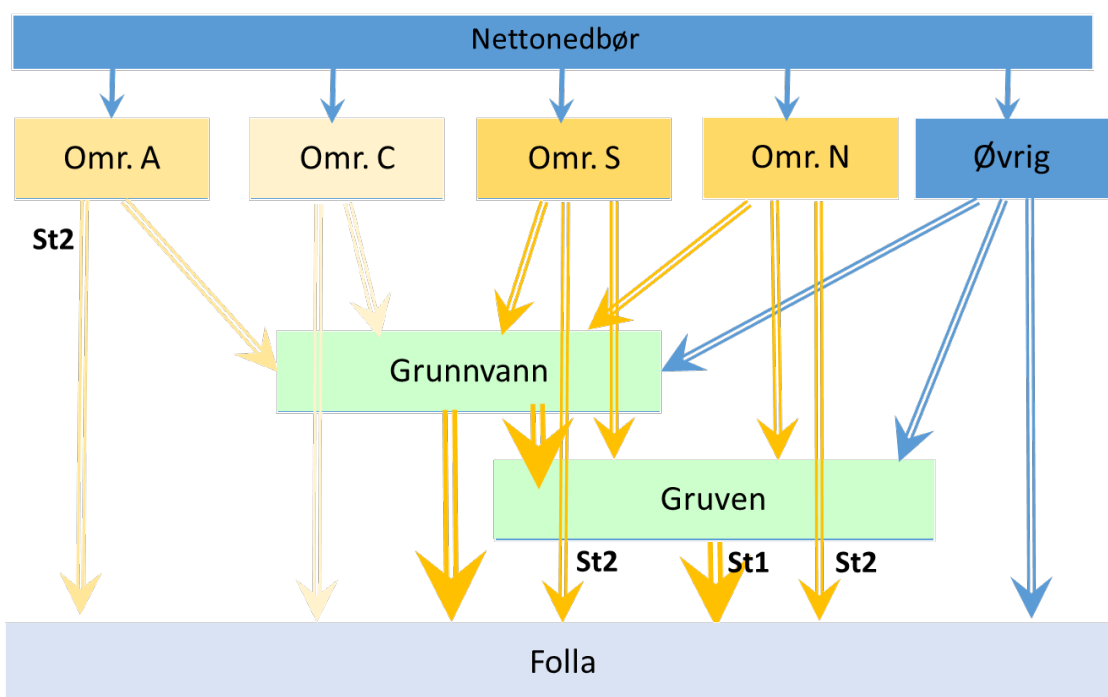
Kobberkilder og bidrag til Folla har blitt vurdert. Tidligere vurderinger og målinger (NGI, 2014) har vist at det var fem hovedkilder til forurensning av Folla, dvs. avrenning fra gruen og fire deponiområder (slambassengområdet (A), industriområdet (C), hoveddeponi (S) og gammeldeponi (N) (Figur 7)).



Figur 7 Deponiområdet og kilder til Cu-forurensning i Follidal samt drensveier.



Figur 8 viser en illustrasjon av vannbalansen i Follidal. De ulike bidragene er kvantifisert i Tabell 3. Bidraget fra grunnvannet til Folla er ikke kjent. Målinger og vurderinger som til nå er utført tyder på at bidraget fra grunnvannet betyr lite for vannkvaliteten i Folla sammenliknet med utslippet via område A (St2).



Figur 8 Illustrasjon av vannbalanse i Follidal

I Figur 7 er drensveiene fra de ulike områdene med avgangsmasser vist. Det er to utløp av drensvann i Folla:

- Et som drenerer fra område N, via gruen og område S, til område A og ut i Folla
- Et som drenerer gjennom område C og ut i Folla

Bidrag fra gruen har vært overvåket siden 1993 av NIVA (NIVA, 2013). Målingene ved St. 1 (Figur 7) viser at kobber-konsentrasjonene økte betydelig i 2001. Gjennomsnittlige kobber-konsentrasjoner i løpet av de siste årene (2001-2013) var rundt 105 mg/l men varierer fra 71 til 180 mg/l fra et år til det andre. Totalt bidrag til Folla fra gruen er derfor vurdert til å være mellom 3 og 12,5 t/år. Dette inkluderer også noe infiltrert vann fra området oppstrøms gruen.

For deponiområdene antas det at vannet som infiltrerer i grunnen og kommer i kontakt med avgangsmasser og gråberg er forurenset. Dette stemmer med utførte observasjoner og målinger i felt. Utstrekning av nedbørsfeltene rundt deponiområdene er grovt vurdert

og vist i Figur 7. NGI (2014) har ut i fra nedbørsfeltareal og klimadata beregnet vannbalanse rundt Follidal. Det ble beregnet at vannet som er i fare for å være forurenset representerer mellom 130 og 330 mm/år (dvs. infiltrasjonsvann og avrenning). Dypt grunnvann tas ikke i betraktning fordi det regnes med at det trengs oksygen for å oksidere gruveavfallet, dvs. at bare vann i umettet sone (aktive sone) blir forurenset under infiltrasjonen. Dette bekreftes av andre studier (Puig Rodès, 2015) som viser at transport av forurenset vann er relativt overfladisk.

Konsentrasjoner av kobber i vannet ble vurdert basert på prøver som ble tatt i 2014 av NGI (2014) og UiO (2014). Vannkvaliteten varierer gjennom året men det mangler noen data for å beregne statistiske gjennomsnitt. Det er også store avvik fra en brønn til den andre innenfor samme område. For dette studiet ble det brukt data fra brønner som ligger nærmest Folla. For området S (hoveddeponi) finnes det bare brønn V21. Ingen vannprøve ble tatt i området N (gammeldeponi) så derfor er vannkvaliteten satt lik det som ble målt i brønn V21. Merk at en del av det forurensete vannet fra områdene S og N samles ved utløp St2 (samlet avrenning).

Vurderingen som er oppsummert i Tabell 4 viser at gruen, hoveddeponiet (S) og gammeldeponiet (N) er hovedkildene til kobberforurensing av Folla. Områdene A og C bidrar mye mindre til forurensing av elva, bidraget utgjør ca. 5% av det totale estimatet. Beregnet vannføring fra område A, C, S og N er basert på en infiltrasjon på 130 mm/år (min), 330 mm/år (maks) og 200 mm/år (middel). Vannføringene i St1 og St2 er målt over tid.

Tabell 4 Vurdering av bidraget fra de ulike identifiserte kildene til Cu-avrenning til Folla.

Område	Vannføring (m <sup>3</sup> /år)			Cu (mg/L)	Cu (t/år)		
	Min	Maks	Middel		Min	Maks	Middel
A	15 600	39 600	24000	48	0,7	1,9	1,15
C	20 800	52 800	32000	2,7	0,06	0,14	0,09
S	20 800	52 800	32000	250	5,2	13,2	8,00
N	14 300	36 300	22000	250	3,6	9,1	5,50
<b>Sum A, C, S, N</b>					<b>9,6</b>	<b>24,3</b>	<b>14,7</b>
St1	18 000	58 800	27700	105	3	12,5	4,62
St2	85 000	224 000	130800	82	5,2	21,3	8,00

Vannet i Stasjon 1 (St1) (Figur 7) er vann fra gruen (Stoll 2) og vannet oppsamlet av dreneringssystemet (grøft) installert i søndre (nedstrøms) del av området N (gammeldeponiet). Vannføring i St1 er mellom 4 000 og 22 500 m<sup>3</sup>/år høyere enn andel beregnet for området N (Tabell 4). Det viser enten at infiltrasjon fra området N er noe overvurdert eller at (grunn)vannstrømning i gruvesystemet er liten. Det viser seg også at det totale kobber-bidrag fra St1 er omtrent likt bidraget fra området N alene. Det indikerer at

tilleggsbidraget fra graven er relativt lite påvirket av forurensing, i hvert fall betydelig mindre enn vann fra området N.

Vannet på Stasjon 2 (St2) samler vann fra St1, vannet oppsamlet av dreneringssystemet (grøft og rør) installert sør for område S (hoveddeponiet), og en del overflatevann (dreneringssystemer er delvis i dagen langs Rv. 704). Det merkes imidlertid at vannføringen er betydelig større enn summen av vannføring fra S og St1 (Tabell 4), dvs. at det finnes andre kilder til avrenning som ikke er kartlagt. Imidlertid er kobber-bidraget omtrent det samme som bidraget fra St1 og S, som indikerer at de andre vannkildene har et lavt kobberinnhold.

Det teoretiske totale midlere bidraget av kobber til Folla kan oppsummeres som  $A+C+S+N = 14,7$  t/år (som vist i Figur 8).

Bidrag fra forurenset grunnvann er ikke tatt med i vurderingen. Ut ifra de observasjoner som registreres ved prøvetaking av vann og sedimenter i Folla, vurderes forureningsbidraget fra grunnvannet å være lite i forhold til bidraget i drensvannet.

## 6.5 Konklusjon forurensningssituasjon og behov for tiltak

Oppsummert så er konklusjonen på forurensningssituasjonen ved Folldal følgende:

- Avgangsmasser som har blitt deponert på overflaten er tydelig oksidert og derfor sannsynligvis veldig reaktive. Avgangsmasser forventes å være hovedkilden til forurensning av Folla.

Det er 4 områder med avgangsmasser som peker seg ut som hovedbidragsyttere.

- Vann som infiltrerer avgangsmassene, samles opp sammen med gruvevann og føres ned mot Folla er den spredningsprosessen som betyr mest for forurensningssituasjonen i Folla.

Tilførselen av kobber til Folla fra avgangsmassene via overflatevann er teoretisk beregnet til 14,7 tonn/år, basert på en middelvei for vannføring.

- Sedimentene i Folla synes ikke å representere en kilde til forurensning som bør prioriteres for tiltak.

Tiltaks målet uttrykt i t/år med hensyn til pålegget fra Miljødirektoratet på en reduksjon på 60-90 % tolkes da å redusere tilførselen av kobber til Folla med 8,8-13,2 t/år, dvs. fra 14,7 t/år til 1,5-5,9 t/år.

## 7 Vurdering av mulige tiltak

### 7.1 Vurderingsstrategi og utgangspunkt

Oksidasjon av sulfider i blottlagt berg og i gruveavfall er en grunnleggende årsak til forekomst av surt gruvevann med forhøyede metallkonsentrasjoner. Det kan øke utlekkning av oppløste metaller i vannet med flere 10-potenser, men samtidig er også spredningsforutsetningene viktige. Hvis de oppløste metallene forblir i avfallsets/bergets porevann, trenger ikke sulfidoksidasjonen utgjøre et problem. Tiltak rettet mot å hindre oksidasjon av sulfider, og begrense vanngjennomstrømming i avfallet/berget er derfor viktig å vurdere ved sanering av gruveområder.

De konkrete tiltak som vurderes for å redusere oksidasjon og/eller utvasking er:

- Tiltak i Gruven
- Tildekking av gruveavfall
- Deponering av masser under vann
- Avledning av overflate/grunnvann

Å dekke til avfall/berg med en oksygen- og/eller vannbarriere er ofte et effektivt tiltak. Valg av materiale og tykkelse av barrieren er derved viktig. Vann er i prinsippet det beste materialet for å skape en oksygenbarriere. Ulike porøse materialer som kan holde en god vannmetning er interessante som vannbarrierer. Dette kan for eksempel være jord med god evne til å holde på vann eller avfallsprodukter fra industri med tilsvarende egenskaper.

Andre viktige tiltak å vurdere er oppsamling og behandling av sigevann (inkludert gruvevann) eller rensing av avfallet. I de fleste tilfeller utgjør slike rensetiltak ikke langsiktige tiltak verken for avfall eller sigevann. Langsiktige løsninger krever at fjerning av forurensningen fra avfall/berg blir mer eller mindre fullstendig og at fjernet forurensning kan bli tatt hånd om på en forsvarlig måte.

Konkrete tiltak som vurderes med formålet å rense avfall eller sigevann er:

- Innsamling og behandling av sigevann (inkl. gruvevann) i spesielle renseanlegg
- Innsamling og behandling av sigevann gjennom tilbakeføring til utvalgte deler av gruven
- Rensing av ARD-forurenset vann in situ ved bruk av passiv karbonatbarriere
- Vasking av avfall, behandling av vaskevann og fjerning av faste rester
- Avfallsbehandling for å fjerne forurensningen

Alle de ovennevnte tiltakene er innledningsvis vurdert med hensikt på å se om de har forutsetninger for å gi en tilstrekkelig effekt til en akseptabel pris, og med hensyn til de betingelser som gjelder i Folldal. Vurderingen er utført for tiltakene hver for seg eller i

kombinasjon med andre tiltak. Konsekvensene av ulike tiltak for kulturminner Folldal har ikke blitt vurdert. Det har vært antatt at disse konsekvensene vurderes fullt ut på et senere tidspunkt når gjennomføringen av tiltaksforslaget er bedre avklart.

Etter den første vurderingen av tiltaksmetoder, er forutsetningene for disse vurdert ut i fra hvilken effekt tiltaket kan ha på reduksjon av kobbertransporten til Folla. Til slutt er kostnadene ved tiltakene grovt vurdert for å gi ytterligere grunnlag for beslutninger om hvordan en skal gå videre med de foreslåtte tiltakene.

## 7.2 Tiltak i gruen

Selve gruen med blottede bergvegger, tak og gulv samt eventuelle rasmasser og utfellinginger utgjør en egen kilde til surt gruvevann. Ut ifra de beregningene som er gjort er det lite tilførsel fra selve gruen. Vann som kommer ut av gruen ved Stoll 2 er påvirket av forurensning, men undersøkelsene og beregningene tyder på at hovedkilden til dette er avgangsmassene som ligger lengst nord i gruvefeltet.

Et tiltak som kan være aktuelt for å redusere dannelsen av surt vann i en nedlagt sulfidmalmsgruve er å øke grunnvannsspeilet for å redusere overflaten av stein og steinflater som utsettes for oksidasjon, og derfor danner surt, metallholdig vann. I Folldal bestemmes vannstanden i gruen av at besøksgruen ikke skal oversvømmes, og vannstanden holdes nede i forhold til denne. Et tiltak med heving av vannstanden i gruva er derfor ikke aktuelt i Folldal.

## 7.3 Forurensede masser - gruveavfall

### 7.3.1 Forutsetninger

Vurdering av kartlegging av forurensningskilder og –spredning viste at det største bidraget av metaller fra gruveområdet til Folla kommer fra gruveavfall som er deponert i gruveområdet. Vurdering av dette er vist i kap. 6.

### 7.3.2 Tildekking

#### **Grunnlag for vurdering av tildekking**

Hensikten med tildekkingen er å skape en oksygenbarriere for å hindre ytterligere oksydasjon av avfallet. Deretter øker pH-verdien i avfallets porevann etter en tid mens metallkonsentrasjonene minker. Tildekkingen reduserer også infiltrasjon av nedbør i deponiet. En halvering av vanngjennomstrømming er rimelig å anta i Folldal, mens reduksjon av metallinnholdet vil variere avhengig av metallet, men bør for kobber forventes å tilsvare en størrelsesorden (10 potens).

Ved prosjektering av en tildekkingsløsning er det viktig å først ta stilling til hvor avfallet skal ligge før det tildekkes og hvilken form og dimensjonene det ferdig tildekte avfallet

skal ha. Dette er ikke bare en økonomisk problem, men påvirker også effektiviteten av tiltaket. Omsetningen av vann i det tildekte avfallet er i prinsippet (om eksternt vann avledes) proporsjonalt med overflatens størrelse og det er derfor viktig å etterstrebe en høy overflateeffektivitet (avfallsmengde pr overflateenhet). Disse designparameterne er imidlertid avhengig av både avfallet og dekkematerialets egenskaper. Det er viktig at de tildekkede massene blir stabile og holdbare i lang tid, noe som begrenser sideavslutninger og den maksimale høyden de tildekte massene kan få.

Tiltaket er ikke prosjektert i denne fasen av prosjektet. Det er klart fra kartdata og feltarbeid at det er tilstrekkelig plass til å legge gruveavfall innenfor eller i umiddelbar nærhet til gruveområdet. Under prosjektering må formen tilpasset terrenget, underlaget, eksisterende bygninger / strukturer og fremtidig arealbruk.

Forekomstene av gruveavfall i Folldal består av hauger og gjenfyllinger av svært varierende tykkelse med varierende syredanningspotensial, se Figur 4 og Figur 5.

For å oppnå tilstrekkelig effekt med tildekking kreves et omfattende flytting- og transportarbeid. Å kartlegge på forhånd hvilke masser som bør flyttes for å lage et deponi som er egnet for tildekking krever boringer og prøvegravinger i så stor skala at det blir mer kostnadseffektivt å umiddelbart gjennomføre utgraving og omfordeling av massene selv om dette innebærer en risiko for ekstra kostnader hvis mengden av avfall blir større enn forventet.

Effektiviteten av tiltaket er avhengig av i hvilken grad barrieren er fullstendig. Vanskeligheter i form av fysiske barrierer og lekkasjeveier for luft og vann i jord og berggrunn bidrar til at det kan være vanskelig å oppnå full effektivitet. En rimelig vurdering er at kobber transport kan reduseres med 90% ved hjelp av en god oksygenbarriere. Dersom forholdene er gode og/eller ekstraordinære tiltak gjøres for å hindre transport av oksygen gjennom tildekkingslaget, skal det være mulig å til slutt oppnå 99% reduksjon. I praksis vurderes det å kunne oppnås en reduksjon på >90% i Folldal for de massene som samles og tildekkes, hvis det legges ned tilstrekkelig ressurser i tildekkingslaget.

Målet er å oppnå at tildekkingen skal ha en varig effekt (>100 år). Dette stiller krav til valg av dekkingsmateriale. Praktisk talt alle barrierematerialer er følsomme for frost og uttørring. Flere av dem er også følsomme for rotnedtrengning. Derfor kreves et overliggende dekkmateriale av morene eller tilsvarende materiale med god bestandighet. Tykkelsen på et slik dekklag for Folldal forventes å måtte være minst 1,3 m, fortrinnsvis 1,5 m for å gi varighet i mer enn 100 år.

Barrierematerialets reduksjon i oksygentransport er sterkt avhengig av kapasiteten til å holde på vannet. En god effekt oppnås dersom materialets vannmetningsgrad overstiger 90% gjennom hele året. To prosesser reduserer graden av metning

- Tørring ovenfra
- Drenasje, ofte forsterket av kapillære krefter fra underliggende avfall

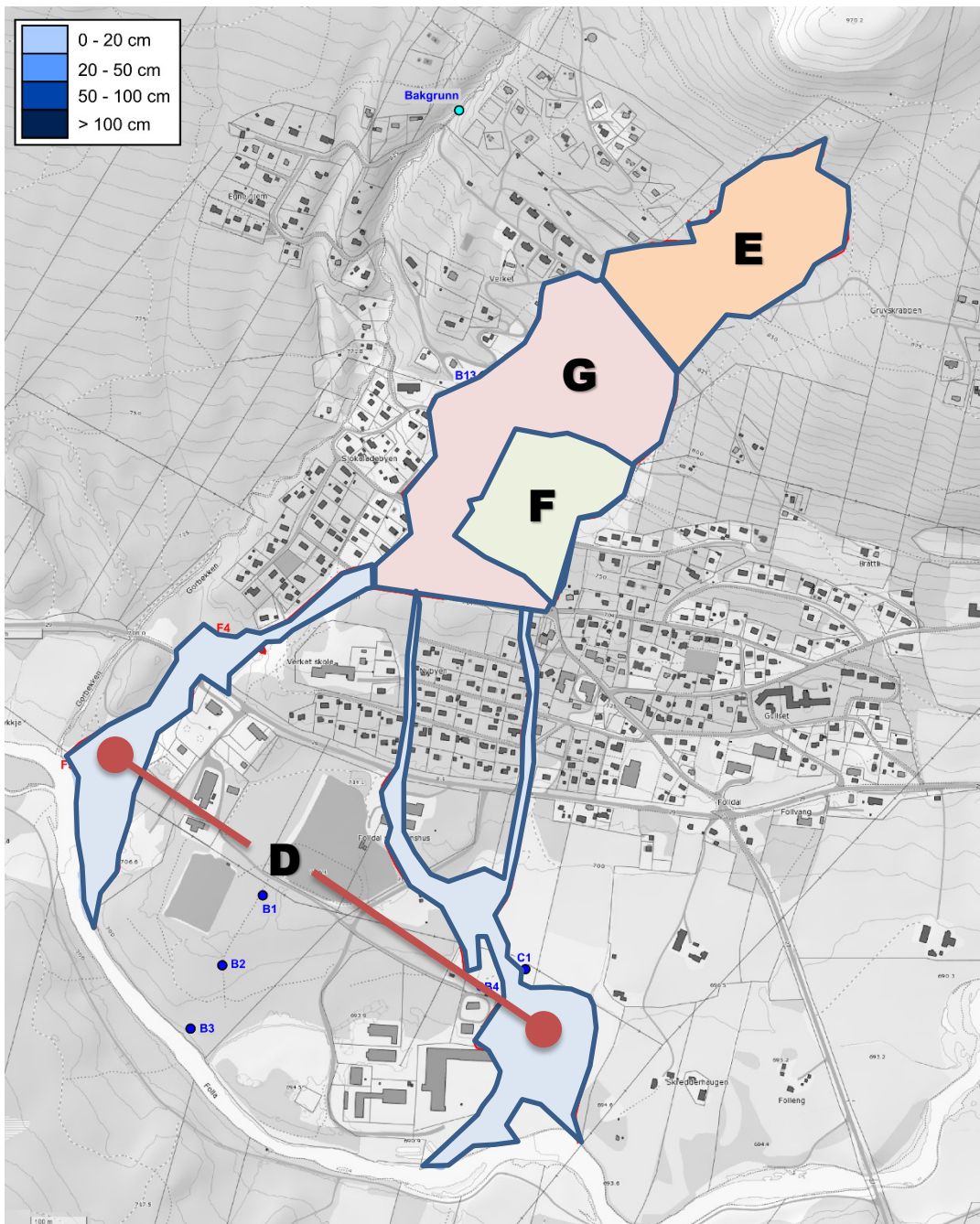
Disse prosessene kan motvirkes og bestandigheten kan økes ved å bygge inn ekstra lag, alternativt øke mektigheten av noen av lagene. Dette kan innebære å legge inn doble lag med ulike egenskaper som samvirker eller kapillærbrytende lag under oksygenbarrieren og dermed «sikre» en viss grad av vannmetning i denne. Dette er vanligvis betraktet som en kostbar metode, men kan være en god idé for å muliggjøre bruk av tynne membraner, f.eks bentonitmatte (leirgeomembran).

I Norge er tilgjengeligheten av egnede tildekkingsmaterialer generelt dårlig. Dette gjelder særlig i Folldal der naturlige materialer som leire og morene og restprodukter som kloakkslam og fiberrester mangler i hele regionen. Derfor må man vurdere hvordan man best kan utnytte de begrensede ressursene som er tilgjengelig lokalt og materialene kan kjøpes i form av for eksempel geomembraner eller finkornede avfallsprodukter fra andre regioner. Kravene som stilles til materialene må veies mot tiltakets mål og kostnader.

### **Kombinasjoner av tildekkingsløsninger**

Gjennomførbarhet og kostnader for å dekke gruveavfall i Folldal er vurdert for tre kombinasjoner av fem individuelle områder med gruveavfall, hvorav to er slått sammen til ett, se Figur 9. De enkelte avfallsoverflatene er betegnet D (2 overflater), E, F og G, som antas å bli gravd ut i sin helhet og deponert på område E (for hver kombinasjon). De tre utvalgte kombinasjoner er:

- Komb. 1: D + E
- Komb. 2: D + E + F
- Komb. 3: D + E + F + G



Figur 9. Plasseringen av de fire gruveavfallsområdene som inngår i de ulike kombinasjonene av utgraving / - transport / tildekking

Tildekking kan utføres iht et lavt eller høyt ambisjonsnivå:

- Det lave ambisjonsnivået tilsvarer en oksygen- (og vann) barriere bestående av et enkelt tettesjikt i kombinasjon med tilhørende filter- og erosjonslag (antatt reduksjon av utlekking av kobber på 90 %).



- Det høye ambisjonsnivået tilsvarer en barriere i større mektighet eller bestående av et mer effektivt tildekkingsmateriale. Alternativt doble, tynnere lag med samvirkende funksjoner, som for eksempel en sveiset HDPE-duk over en leirgeomembran (type bentonitmatte), også med tilhørende filter / beskyttelseslag og et erosjonslag (antatt reduksjon av utlekking av kobber på 97 %).

I begge alternativene er det behov for et vekstlag med gress el. på overflaten.

Data for områdene D, E, F og G, er vist i Tabell 5. Tabellen viser også de ulike kombinasjoner av områder som graves opp og tildekkes.

Tabell 5 Utarbeidelse av geometriske data for de områdene og kombinasjoner av områder.

Delområder	Areal i dag (m <sup>2</sup> )	Antatt gjennomsnittlig mektighet (m)	Volum (m <sup>3</sup> )	Endelig deponiareal (m <sup>2</sup> )
<b>Opprinnelig delområde</b>				
D	120 000	0,3	35 000	----
E	95 000	1,5	140 000	----
F	50 000	4,0	200 000	----
G	125 000	4,0	500 000	----
<b>Sum:</b>	<b>431 000</b>		<b>875 000</b>	----
<b>Delområder som det utføres tiltak på</b>				
<b>Komb. 1 (D+E)</b>	215 000	0,8	175 000	32 000
<b>Komb. 2 (D+E+F)</b>	265 000	2,2	375 000	53 000
<b>Komb. 3 (D+E+F+G)</b>	390 000	2,2	875 000	96 000

### Beregning av kostnader for tildekking

Kostnadsberegningene i Tabell 7 er utført på bakgrunn av de enhetspriser som er gitt i Tabell 6.

Tabell 6 Enhetspriser som benyttes i kostnadsberegningene

Post	Enhet	Enhetspris (NOK)
Graving og opplasting	m <sup>3</sup>	20
Transport og tipping	m <sup>3</sup>	45
Avretting med stedlige masser	m <sup>2</sup>	10
Levering og utlegging av bentonittmembran	m <sup>2</sup>	100
Levering og utlegging av dobbel HDPE-membran	m <sup>2</sup>	200
Utlegging av tynt beskyttelseslag av sand, 5 cm	m <sup>2</sup>	40
Utlegging av beskyttelseslag av morene, 1,5 m	m <sup>2</sup>	115
Etablering av vekstlag	m <sup>2</sup>	50
Vegetering	m <sup>2</sup>	10
Prosjektering, byggeledelse, kontroll	%	20

Tabell 7 Beregnede kostnader for oppgraving, transport, oppbygging og tildekking

Alternativ	Mengde avfall (m <sup>3</sup> )	Deponeringskostnad (MNOK)	
		Lavt ambisjonsnivå	Høyt ambisjonsnivå
Komb. 1 (omr. D+E)	175 000	20	30
Komb. 2 (omr. D+E+F)	375 000	45	60
Komb. 1 (omr. D+E+F+G)	875 000	100	130

De estimerte kostnadene omfatter ikke riving, fjerning eller flytting av bygninger eller veier og andre installasjoner som må fjernes før utgraving av avfall kan begynne. For område D betyr dette arbeidet en marginal økning av den totale kostnaden, men for delområdene F og G berøres mer enn 30 bygninger der de fleste som inngår i samlingen av kulturminner vernet etter kulturminneloven. Av disse ligger syv i delområde F som forventes å bli utgravd i alternativ 2. Innenfor område E er det 5 bygninger.

### Vurdering av effekt av tildekking

En overslagsberegning av effektiviteten til de ulike tiltaksalternativene som forutsetter en reduksjon i uttransport av kobber med 90 % (lavt ambisjonsnivå) og 97 % (høyt ambisjonsnivå) i de områdene som tildekkes er vist i Tabell 7. Effektiviteten er vist både for et tiltaks mål på 60 og 90 % redusert transport av kobber.

Tabell 8 Beregnet reduksjon i det totale utslipp av kobber i gruveområdet og tilsvarende kostnadseffektivitet (kostnad i kroner per årstonn redusert Cu transport) for tildekking alternativer 1-3 og to ambisjonsnivå. Andel av tiltaksbehovet er vist både for 60 % og 90 % reduksjon i utslipp av kobber. Grønn skravur angir oppnåelse av tiltaksbehovet.

Tildeckingsalternativ	Beregnet total kostnad (MNOK)	Redusert transport av kobber (tonn/år)	Kostnadseffektivitet (MNOK per redusert tonn/år Cu)	Effektivitet - andel (%) av tiltaksbehovet		% reduksjon av kobber i forhold midlere utslipp til Folla
				60 %	90 %	
<b>Lavt ambisjonsnivå for tildekking (90 % reduksjon)</b>						
Komb. 1 (D+E)	20*	6,0	3,8	68	45	~40 %
Komb. 2 (D+E+F)	44*	8,6	4,9	98	65	~60 %
Komb. 3 (D+E+F+G)	101*	13,2	6,8	150	100	~90 %
<b>Høyt ambisjonsnivå for tildekking (97 % reduksjon)</b>						
Komb. 1 (D+E)	29*	6,5	4,9	74	49	~45 %
Komb. 2 (D+E+F)	60*	9,3	6,1	106	70	~65 %
Komb. 3 (D+E+F+G)	130*	14,3	8,2	162	108	>90 %

\*: Kostnader forbundet med riving og ivaretagelse av bygninger er ikke inkludert

Reduksjonsmålet for kobber oppnås med stor sannsynlighet om alt gruveavfallet samles i et deponi, uansett hvilket av de to ambisjonsnivåene som velges. Kostnadene for tiltaket som er angitt forutsetter at delområde E benyttes som deponiområde, da transportkostnadene reduseres. Ut i fra beregningene vurderes det ikke som nødvendig med tildekking av område G for å oppfylle tiltaks målet på 60-90 % reduksjon av transport av kobber. Om tildekkingen kombineres med andre tiltak som reduserer bidraget av kobber

til Folla, kan man også utelate tildekking av område F, uansett ambisjonsnivå for tildekkingen.

Om et eventuelt kompletterende tiltak fører til en reduksjon i kobbertransport med 2,3-7,2 tonn/år (avhengig av tiltaksbehov og ambisjonsnivå for tildekkingen) vurderes det tilstrekkelig å kun tildekke delområdene D og E. Kostnadseffektiviteten vurderes å bli relativt høy for tildekking av delområdene D og E, men minker om de større delområdene (område G og F) inkluderes. Dette er ikke så mye avhengig av områdets størrelse, men mer et resultat av forhøyede kostnader med å ta hånd om bygninger innenfor disse områdene.

### 7.3.3 Avledning av (rent) overflate- eller grunnvann

Utstrømningen av metall fra tildekket (og ikke tildekket) gruveavfall, er foruten metallinnholdet i vannet, også proporsjonalt avhengig av vanngjennomstrømning i deponiet (sivevannsdannelse). Dette er i sin tur sammensatt av netto nedbør på tildekket avfall og tilsig av eksternt overflate- og grunnvann. Dersom tildekket avfall ligger i lavtliggende deler av terrenget, vil tilsiget av vann være mange ganger større enn netto nedbør. Derfor er det viktig å ha kontroll på plasseringen av tildekket avfall i forhold til overflatevann og utløpsområder for grunnvann.

I Folldal er det mulig å unngå plassering av tildekket avfall til utløpsområdene for grunnvann, men i praksis er det ikke mulig å plassere dem i direkte tilknytning til et vannskille. Derfor må eksternt overflatevann avledes slik at det ikke kommer i kontakt med avfallet. Dette er tiltak som generelt ikke er komplisert eller spesielt kostbare. I den videre vurderingen av tildekkings tiltak forutsettes det at alt eksternt vann avledes.

### 7.3.4 Behandling av masser i anlegg for utvinning

Den tradisjonelle behandlingen av gruveavfall for å redusere dannelsen av surt metallholdig gruvevann er å fjerne sulfider fra avfallet, hovedsakelig svovelkis. Dette krever, i tillegg til en god effektivitet ved separering av svovelet, at kostnadene er moderate for anrikning av svovelkis. I dag er det ikke noen etterspørsel etter svovelkis for fremstilling av svovelsyre. Metoden for å separere ut svovelkis vurderes til å være kostbar så lenge det ikke finnes et eksisterende anlegg for dette. For avfallet i Folldal med høye konsentrasjoner av svovel og for en stor del oksidert avfall vurderes dette alternativet som ikke realistisk i forhold til de andre alternativene.

### 7.3.5 Behandling av masser in situ

Noen typer sulfidholdige avgangsmasser egner seg for behandling på plassen (in situ) for enten å øke materialet nøytraliseringskapasitet eller å begrense oksidasjon av sulfidene. En økning av materialets nøytraliseringskapasitet kan oppnås ved innblanding av materiale som inneholder lettløselige alkaliske stoffer, f.eks karbonater, men ubetydelig

med sulfider. Hvis den syredannende kapasiteten i avfallet er begrenset kan det innblandede materialet bestå av gråberg med god nøytraliseringskapasitet, men i Folldal kreves knust kalkstein eller tilsvarende som følge av det høye syredanningspotensialet.

Materialer som begrenser avfallets oksidasjon skal i prinsippet forhindre konvektiv og diffusiv transport av oksygen til sulfidene. Det kan skje ved at materialet tetter hulrommene mellom avfallspartikler. In situ skjer dette vanligvis ved hjelp av injeksjon av et sementbasert middel. Avfallet inneholder imidlertid både sulfider og oppløst sulfat, som generelt påvirker sementbindingene negativt og gir lavere styrke og holdbarhet. Injeksjon er også eneste mulighet i et grovkornet material slik som i bergvelter. På grunn av det store forbruket av sement (eller annet bindemiddel) er dette i praksis bare mulig å utføre i et forholdsvis tynt lag på overflaten av avfallet og sidestilles med en tildekking, hvor dette "dekk sjiktet" fortrinnsvis består av f.eks. utsortert gråberg fra bergveltene.

I det siste har en behandlingsmetode blitt foreslått for finkornede gruveavfall som går ut på å frese inn flyveaske fra forbrenning i det øverste laget som øker pH i sigevannet. Gjennomførte forsøk har vist en god effekt når det gjelder å redusere utlekkingen av metaller både for oksidert og ikke oksidert avfall (Lundgren, T, 2009). Denne behandlingen er imidlertid ikke utført i større skala eller undersøkt med hensyn til hvilke prosesser som er aktive, hvilken risiko de utgjør, spesielt med hensyn til holdbarheten for de positive effektene, dvs. syrenøytraliseringskapasitet.

### 7.3.6 Deponering under vann i gruen

I stillestående vann vil oksygeninnholdet raskt avta og oksidasjon av sulfider i gruveavfallet vil opphøre i alt vesentlig grad. I Folldal fins det ikke en stor nok vannforekomst for deponering av gruveavfall for å redusere oksidasjon av sulfider. Deponering i gruen er dermed det eneste alternativet for deponering under vann.

Det finnes gode eksempler på bruk av brytningsrom, orter og sjakter i slike deler av gruen som er og vil bli fylt med vann. Men det foreligger også noen viktige forutsetninger for dette alternativet for å være effektivt. En av disse er at det er tilstrekkelig med gode og sikre muligheter for å nå slike deler av gruen der sluttdeponering er mulig.

I de aller fleste tilfeller er det av sikkerhets- og praktisk-økonomiske årsaker ikke mulig å tørrelegge en grue for å kunne kjøre inn det oppgravde avfallet for deponering. Dette gjelder også gruen i Folldal, der den eneste realistiske mulighet som foreligger er å dumpe avfallet i vannfylte sjakter og håpe at det fins muligheter for at avfallet trenger inn og fyller opp de brytningsrom som har kommunikasjon med disse sjaktene.

Det er vanskelig å på forhånd beregne hvilke volum av avfall som får plass i tilgjengelige sjakter og brytningsrom. Dette avhenger foruten av sjaktens dimensjoner, form på tilsluttende brytningsrom, eksisterende hinder etc. Det har ikke vært mulig å klargjøre dette for gruvene i Folldal innenfor rammen av dette prosjektet. Basert på antallet tilgjengelige sjakter og deres dybde og dimensjoner, antas ca. 25 000-100 000 m<sup>3</sup> å kunne

bli deponert i gruen. Dette er ikke et ubetydelig volum sett i forhold til deponialternativer Komb. 1 og Komb. 2. Deponikostnadene vil imidlertid sannsynligvis ikke bli betydelig redusert. Det avhenger av hvor store kostnader en må påregne på gruvegangene for å kunne deponere massene der.

Deponering under vann gir ikke en umiddelbar effekt i forhold til å redusere utlekking av metaller. Det er alltid en viss mengde av lettløselige men adsorberte metaller i gruveavfallet som først vil vaskes ut, samtidig som en sekundær oksidasjon som følge av reduksjonen som finner sted med 3-verdig jern (til 2-verdig jern) vil øke løseligheten i porevannet og avrenningen fra gruen.

Uten detaljert kunnskap om mengden av 3-verdig jern i avfallet er det ikke mulig å forutse hvor lang tid det tar før metallkonsentrasjonene i det utgående vannet minker eller når et stabilt lavt nivå. Sannsynligvis handler det om en periode på flere tiår.

På grunn av disse utlekkingsprosesser, usikre anslag på tilgjengelig lagringsvolum og begrenset kostnadsreduksjon, vil ikke NGI anbefale dette tiltaket, med mindre en mangler rom for deponering av masser over bakken.

Tilbakefylling i gruen ("backfilling") med gruveavfall er ansett som en løsning for avfallet hvis gruen fortsetter å være i drift, eller om den skal gjenåpnes. Hvor effektiv denne metoden er avhenger av hvor stor mengde sulfidholdig avfall som kan deponeres på denne måten og hvor mye som har blitt oksidert før deponering. Tilgjengeligheten på oksygen i gruvevann er i de fleste tilfeller så lav at en primær oksidasjon ikke skjer. Den sekundære oksidasjonen kan pågå i en relativt lang periode etter tilbakefylling i gruen, men betydningen av den kan være begrenset på grunn av lav vanngjennomstrømming i gruen.

I Folldal er vannnivået i gruen så høyt at det ikke er mulig å transportere avfall til områder eller brytningsrom som kan ta imot større mengder avfall. Å gjenoppta avvanning av gruen er ikke et alternativ av sikkerhetsmessige grunner. Det kreves et omfattende arbeid for å sikre gruen mot ras og gjenopprette logistikken i form av elektrisitet, avløp og ventilasjon som kreves for å arbeide i gruen, som er bare aktuell ved gjenåpning.

## 7.4 Rensing av vann

Rensing av vann fra St2 før det når Folla har vært vurdert som en aktuell løsning tidligere. Det er blant annet utført forsøk med kjemisk rensing av vannet, som beskrives i det følgende. Vannmengdene i St2 er vurdert å være mellom 3,2 og 8,3 l/s (Tabell 3).

Rensing av vann fra St2 må anses som en «evig» tiltaksløsning, som ikke reduserer den egentlige kilden til forurensningen. Som beregningene av vannmengende i Tabell 3 viser er det en forskjell i midlere mengder kobber som transporteres til Folla i St2 (8 t/år) og det totale bidraget fra områdene med gruveavfall ( $A+C+N+S = 14,7$  t/år) på 6,7 tonn/år.

Denne verdien må ses på som veiledende, men det illustrerer at ved å kun utføre tiltak på vannet i St2, vil en utføre rensing på ca. 50 % av vannet som tilføres Folla. Ved rensing av vann som eneste tiltaksløsning, kreves det grundige undersøkelser av grunnvannstransport for å kunne beregne effekten av tiltaket.

#### 7.4.1 Kjemisk renseanlegg

Det ble for gruveanlegget ved Løkken utført en grundig gjennomgang av ulike renseløsninger for surt og metallholdig vann (Cowi, 2013). Mulige kjemiske renseløsninger beskrives under. Prinsippene og kostnader er hentet fra Cowis rapport *Utredning av renseteknologiske løsninger for Løkken gruveområde, Meldal kommune* (Cowi, 2013).

Det foreligger ikke renskrav på andre metaller eller forbindelser enn for kobber. Ved vurdering av rensemetode må det besluttes om det er aktuelt å gjenvinne noen metaller, som egen industriprosess.

For vurdering av effekt av kjemiske renseanlegg er det tatt utgangspunkt i at anlegget renser 50-90 % av det forurensede vannet som tilføres Folla, avhengig av grunnvannstilførsel. Renseeffekten for de ulike renseløsningene er ikke kjent.

##### **Nøytralisering og felling**

Ved nøytralisering og felling heves pH i det sure gruvevannet, slik at metallene felles ut som hydroksider. Cowi utførte i 2013 et forsøk på nøytralisering og felling av gruvevann fra St2 i Folldal. Det ble utført forsøk både med kalk og MgO (Cowi, 2014).

Hvis kalk anvendes som base fjernes også sulfat som felles ut som gips. Ved bruk av kalk dannes imidlertid store mengder slam som skal deponeres, og samtidig er vedlikeholdelseskostnader høye pga. massive avleiringer i renseanlegget.

Magnesiumoksid (MgO, pulver) er et meget billig alternativ som ikke feller ut sulfat og hvor man dermed unngår gipsutfellinger og dannelsen av store mengder slam.

Cowi konkluderer med følgende:

Observasjoner og analyser bekrefter at rensningen med så vel kalk som MgO er effektivt og resulterer i klart vann, med lavt innhold av metaller. I de filtrerte prøvene er konsentrasjonen av metaller meget lavt, som viser at nesten alle metaller er på partikulær form. Ved forsøkene med kalk ble det dannet faste utfellinger av gips (CaSO<sub>4</sub>), mens reaktorene ved forsøkene med MgO var uten belegg og dermed mye lettere å rengjøre. Ved forsøkene med MgO ble det dannet markant mindre slam enn ved forsøkene med kalk. Den jevne tilsetning av H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> resulterte i en effektiv oksidasjon og et forholdsvis lavt kjemikalieforbruk.

##### **Kostnader:**

Cowi har i sin rapport beregnet kostnader for en vannmengde på 25 l/s (Cowi, 2013). Dette er 3-7 ganger vannmengden i Folldal. Beregnede kostnader er ca. 12 mill. i

investeringskostnader og mellom 10 og 20 mill. i driftsutgifter pr år, avhengig av nøytraliseringsmiddel.

#### Vurdering NGI:

Oksidering av vannet med  $H_2O_2$  har liten effekt på både rensing av jern og kobber. Vannet er i utgangspunktet oksiderende, og jern foreligger i hovedsak som  $Fe^{3+}$ , noe som underbygger at en oksidering ikke er nødvendig.

#### Ionebytting

Ionebytting er en teknologi hvor jern(III) og kobber selektivt fjernes i kolonner med ionebytterharpiks. Deretter felles de resterende metallene med nøytralisering. Ionebytterne består typisk av flere parallelle kolonner som hver består av 2 kolonner i serie. Når harpiksen i den første er i ferd med å være mettet, begynner utløpskonsentrasjonen herfra å stige. Kolonnen regenereres med svovelsyre ( $H_2SO_4$ ) og innsettes som 2. kolonne, før rensingen gjenopptas. Kobber og jern vil i eluatet være oppkonsentrert med en faktor 20 og kan heretter opparbeides så kobber og jern kan selges. Opparbeidelsen av kobber kan skje ved at den reduseres ut ( $Cu^0$ ), felling som sulfider ( $CuS$ ) eller ved elektrolyse. Jern opparbeides til jernsulfat, som forventes å kunne selges som fellingskjemikalie til alminnelige renseanlegg for spillvann/avløpsvann. Slammet fra nøytraliseringen etter ionebytting består hovedsakelig av  $Al(OH)_3$  og  $Zn(OH)_2$  og utgjør bare ca. 23% av slammengden som dannes ved nøytralisering uten foregående ionebytting.

Kostnader: Cowi har i sin rapport vurdert kostnadene med nøytralisering og ionebytting sammen til å være ca. 27 mill. i investeringskostnader og mellom 14 og 27 mill. i driftskostnader pr år, avhengig av type nøytraliseringsmiddel. En kan imidlertid skape en inntjening avhengig av omsetning på utvunnet metall.

Vurdering: Teknikken har vært testet og utprøvd gjennom flere år i fullskala i Falun Sverige. Ulempen er de store kapitalkostnadene og store brutto driftskostnader. Ionebytting gir mindre slammengder. Det knytter seg usikkerheter til avsetningsmulighetene for opparbeidete produkter.

#### Væske-væske ekstraksjon

Væske-væske ekstraksjonen er en forholdsvis komplisert prosess, hvor en flytende organisk ionebytter anvendes til "ekstraksjon" av forskjellige ioner fra vannløsninger. I 2008 utviklet Battelle Instituttet i USA en ny væskeekstraksjonsmetode (VEP-prosessen), hvor både metaller og sulfat holdes tilbake. Metoden ligner de faste ionebytterne, idet metallene også her opptas i en organisk fase som frigir hydrogen eller natriumioner. Når ekstraktet er mettet, regenereres dette med svovelsyre, hvor metallene igjen frigis. Det nye er at man også kan fjerne sulfat. Det fremstår uklart hvordan metallene selektivt skilles ut og opparbeides, og uten disse prosesser synes teknologien ikke å være mer hensiktsmessig enn den alminnelige nøytraliseringen.

Det amerikanske firmaet Energy and Environmental Services, LLC, utførte i 2010 forsøk med VEP-metoden på gruvevann fra Folldal (Cowi, 2013). Resultatene var gode i forhold til fjerning av metaller, men ikke like gode i forhold til sulfat.

**Kostnader:** DMF fikk kostnadsoverslag på VEP-prosessen i forbindelse med sigevannrensing i Folldal. Et anlegg som behandler ca. 60 l/s (ca. 10 x mengden vann ved St2) har en investeringskostnad på ca. 27 mill. (\$ 3 mill. +/- 25 %) og en total driftskostnad på 1 kr/l (\$ 7,17 pr. 60 l). Ved 10l/s vil dette tilsvare 300 mill./år. Kostnadene er retningsgivende og ikke et tilbud fra utviklerne av VEP, både fordi det er uklart hvor mye kjemikalier som trengs til forsøkene og hvilket renhetsnivå man ønsker på sluttproduktet.

**Vurdering:** Cowi vurderer at teknikken er rask og det er mulig å behandle store vannmengder. Usikkerhetene ligger imidlertid i at metoden er ny, utviklet i USA og patentert. Metoden er også dyr i drift. Det er knyttet usikkerheter til avsetningsmulighetene for opparbeidete produkter.

### **Membranteknologi**

Membraner fungerer som siler med veldig små poreåpninger som tillater at vann passerer, mens ioner og partikler holdes tilbake. Dermed oppkonsentreres all forurensning og andre ioner i konsentratet, som typisk utgjør 10-30 % av den opprinnelige vannstrømmen. Vannet som passerer membranen er derimot meget rent. Teknologien anses ikke som en egnet renseteknologi for drens- og gruvevann, men kan brukes til forbehandling av relativt rene delstrømmer, som fører til at etterfølgende prosessstrinn kan reduseres.

#### 7.4.2 Fordrøyning i gruva

Ved etablering av et renseanlegg for rensing av vann fra St2, kan det være behov for etablering av et fordrøyningsbasseng for håndtering av flomtopper ved store nedbørsperioder eller under snøsmeltingen.

Dersom gruva skal benyttes til dette, kan vannstanden senkes i perioder med lite drensvann, som pumpes tilbake til gruva i perioder med mye drensvann. Dette krever en stabil pumpeløsning for å pumpe vann fra området rundt St2 og opp i gruva.

Senking av vannstanden i gruva kan igjen medføre oksidasjon av metaller og potensielt redusere pH på vann som kommer ut fra St1.

Dersom det er behov for en fordrøyningsbasseng, vurderes det som en bedre løsning å etablere et slikt anlegg på elvesletta nedstrøms St2.

#### 7.4.3 Grunnvannsbarriere

Å etablere en grunnvannsbarriere for å samle opp forurenset grunnvann og eventuelt rense dette, vurderes som et tiltak som ikke bør prioriteres, da forurensningsbidraget fra grunnvann vurderes som lite i forhold til bidraget fra drensvannet. Det er ikke kjent i hvilke områder forurenset grunnvann tilføres Folla. For å kunne estimere effektiviteten og bidraget til kobber reduksjon kreves grundige undersøkelser av grunnvannstransporten.



En grunnvannsbarriere vil sannsynligvis tettes på grunn av utfelling av jern- og aluminiumoksider. Dette krever nøye vedlikehold og oppfølging.

#### 7.4.4 Naturlig nøytralisering og utfelling oppstrøms Folla

Direkte utslipp av gruvevann ved sletta øst for Gorbekken har en kraftig påvirkning på vannkvaliteten i elva. pH reduseres lokalt kraftig til pH 4, og konsentrasjonene av blant annet aluminium og kobber øker kraftig, noe som skaper sterkt giftige forhold for vannlevende organismer i elva.

For å redusere påvirkningen på Folla som følge av dette utslippet er det vurdert et tiltak hvor gruvevannet blandes med vann fra Gorbekken for å øke pH og felle ut metaller på elvesletta før det renner ned i Folla (se *Figur 10*). Dette tiltaket er nærmere beskrevet i vedlegg B og oppsummert her.

En delstrøm fra Gorbekken ledes til punkt V4 hvor det blandes med gruvevannet for deretter å bli ledet inn i opparbeidete bassenger for reaksjon og utfelling (skravert område). Området er ikke i bruk i dag og er i tillegg forurenset av avgangsmasser fra før.

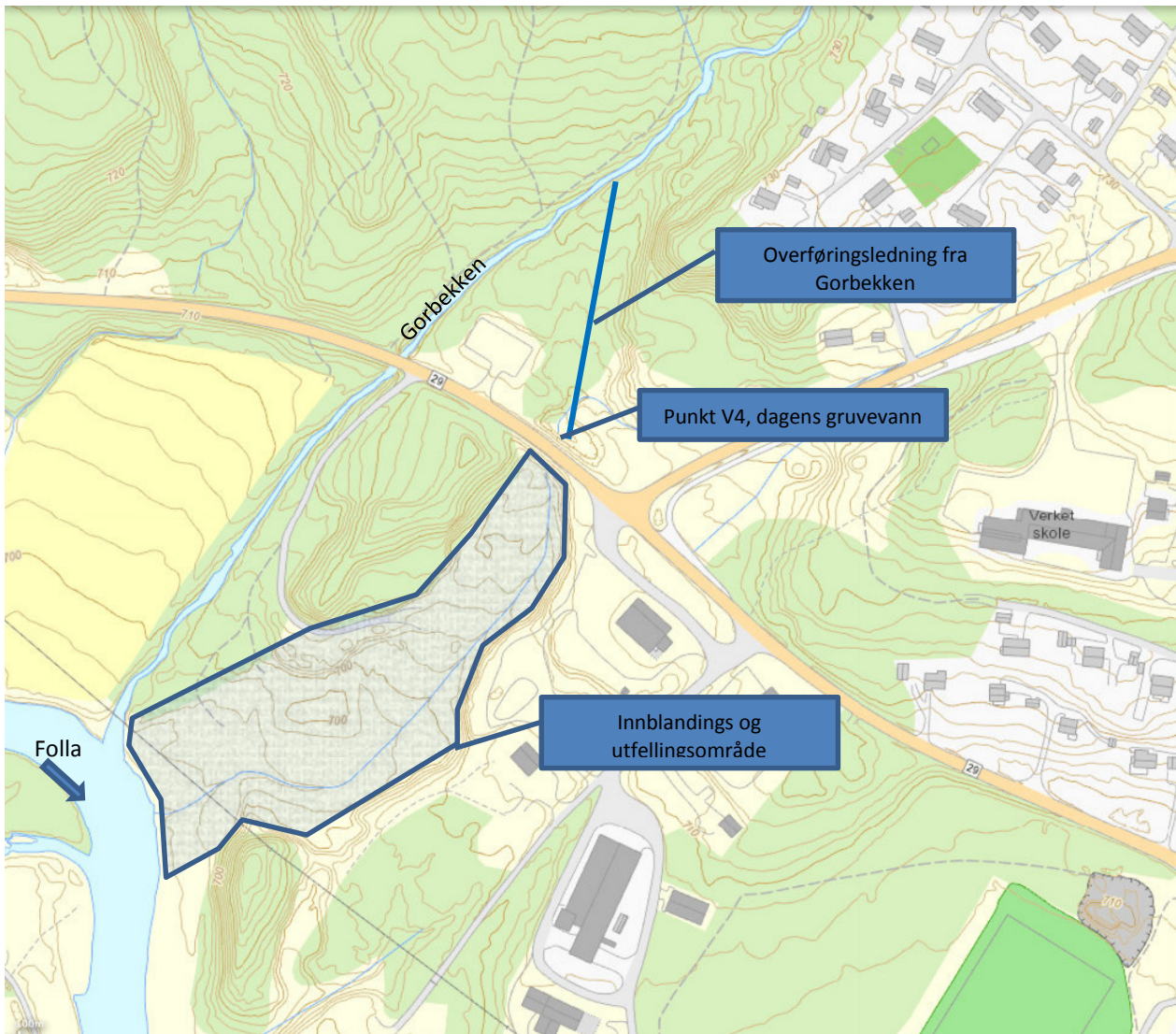
Det kan være nyttig å etablere to områder for utfelling, slik at et basseng kan være i bruk mens en fjerner utfelt slam i det andre bassenget.

Effekten av et slikt tiltak vil være avhengig av nøytraliseringskapasiteten i vannet fra Gorbekken (alkalinitet), tilgjengelige vannmengder i Gorbekken og mulighet for sedimentering av utfelte hydroksider (oppholdstid). Dette tiltaket forventes imidlertid å gi en umiddelbar effekt på kvaliteten av drens vannet som slippes til Folla.

Basert på den geokjemiske modelleringen anslås en tilbakeholdelseeffekt for kobber på 30-50% ved et slikt tiltak. Dette tilsvarer en reduksjon i tilførsel til Folla på 2,4-4 tonn/år basert på en midlere tilførsel fra St2, som gitt i Tabell 3.

Forhold som må utredes nærmere er kartlegging av potensialet i Gorbekken, både kjemisk sammensetning og vannføring gjennom året, testing av blanding, reaksjonshastighet og sedimenteringsegenskaper av utfelte metaller. Erfaringsmessig skjer det ingen rask sedimentering uten tilsats av kjemikalier, men giftigheten for organismene vil bli redusert så snart utfellingskompleksene er dannet. Det må vurderes hvordan anlegget skal driftes gjennom ulike årstider og under ulike avrenningsforhold.

Kostnadmessig vurderes dette tiltaket å være kostnadseffektiv sammenliknet med andre renseløsninger for gruvevannet. Kostnadene vil avhenge av hvordan man velger å utforme og drifte sedimenteringsbassenget, deponeringsløsninger for utfelt slam og omlegging av Gorbekken. Det anslås kostnader i størrelsesorden 5 MNOK for etablering av anlegget. I tillegg kommer årlige driftskostnader med vedlikehold av anlegget og fjerning av forurenset slam (stipuleres til 0,5 MNOK pr. år).



Figur 10 Kart som viser mulig område for naturlig nøytralisering av gruvevann før påslipp til Folla

## 7.5 Forurensede sedimenter i Folla

Som beskrevet i kap. 6.3.2 vurderes sedimentene i Folla ikke å representere en kilde til forurensning som bør prioriteres for tiltak.

Eventuelle tiltak i Folla bør komme som et tillegg til tiltak på avgangsmassene og drens-vannet fra St2.

## 8 Oppsummering av aktuelle tiltak

I Tabell 9 sammenstilles alle tiltak som er vurdert. Tiltakene er inndelt etter metode og beskriver hvilket objekt tiltaket er rettet mot, mulig effekt i forhold til tiltaksålet og stipulerte kostnader for tiltaket. Det er i tillegg gitt en anbefaling på grunn av gjennomførbarhet, effekt og kostnad. Anbefalingen og hensyn som må tas i forhold til anbefalte løsninger er diskutert i kap. 9.

Tabell 9 Oppsummering av vurderte tiltak

Tiltaksmetode	Tiltaksobjekt	Forventet reduksjon av Cu-transport (%)	Kostnad (MNOK)	Risiko og usikkerhet	Anbefales
<b>Tiltak i gruen</b>					
Tiltak i gruen	Vann og masser i gruen	< 5 %	i.v.	Selve gruen bidrar lite til forurensning	NEI
<b>Tiltak på gruveavfall</b>					
Tildekking av gruveavfall	Komb 1 (D+E)	~40 %	20-30	Mektighet av masser	JA, i kombinasjon med andre tiltak
	Komb 2 (D+E+F)	~60 %	45-60	Mektighet av masser	JA
	Komb 3 (D+E+F+G)	>90 %	100-130	Mektighet av masser	NEI
Behandling av masser i anlegg	Gruveavfall	Usikker	i.v.	Usikkerhet med avsetning av opparbeidede metaller. Deponering av restmasser	NEI
Behandling av masser in-situ	Gruveavfall	Usikker	Tilsvarende som for tildekking	Usikker virkningsgrad og varighet.	NEI
Deponering under vann i gruen	Komb 1 (D+E)	~30 %	25	Usikkert med plass i gruen. Trolig økt utlekking i en periode etter innfylling	NEI
	Komb 2 (D+E+F)	~50 %	45		
	Komb 3 (D+E+F+G)	>80 %	85		
<b>Rensing av vann</b>					
Kjemisk renselanlegg	Samlet forurenset vann fra gruveområdet	~50 %	10-30 + årlige driftskostnader (10-300)	Antatt evig løsning, med svært høye totale kostnader på lang sikt	NEI
Fordrøyning i gruen	Rent og samlet forurenset vann fra gruveområdet	< 25 %	< 10	Usikkerhet rundt mulighet for regulering av vannstand i gruen	NEI

Tiltaksmetode	Tiltaksobjekt	Forventet reduksjon av Cu-transport (%)	Kostnad (MNOK)	Risiko og usikkerhet	Anbefales
Grunnvannsbarriere	Grunnvann	< 10 %	i.v.	Usikkert bidrag til Folla. Utfelling og tetting av barriere.	NEI
Naturlig nøytralisering og utfelling	Samlet forurenset vann fra gruveområdet	30-50 %	~ 5 + årlige driftskostnader (~0,5)	Enkelt tiltak som gir umiddelbar effekt. Svært god effekt i kombinasjon med tildekking som reduserer kilden.	JA
<b>Tiltak i Folla</b>					
Tiltak i Folla	Sedimenter	<5 %	i.v.	Sedimentene bidrar lite til forurensning av vann i Folla	NEI

\* i.v.: kostnadene ikke vurdert

## 9 anbefaling av tiltak

Med bakgrunn i de undersøkelser og vurderinger som NGI har gjennomført viser det seg at det finnes få tiltak som vil lede til at det stipulerte tiltaksålet for Follidal (60-90% reduksjon i avrenning) kan oppnås. Følgende tiltak viser stort potensiale og anbefales:

- **Tildekking av gruveavfall.** For at tiltaksålet med 60-90 % redusert utlekking til Folla skal nås, vil følgende alternative kombinasjoner være aktuelle:

Tildeckingsalternativ	Andel (%) av tiltaksbehovet		% reduksjon av kobber
	60 %	90 %	
Lavt ambisjonsnivå for tildekking			
<b>Komb. 1 (D+E)</b>	68	45	~40 %
<b>Komb. 2 (D+E+F)</b>	98	65	~60 %
Høyt ambisjonsnivå for tildekking			
<b>Komb. 1 (D+E)</b>	74	49	~45 %
<b>Komb. 2 (D+E+F)</b>	106	70	~65 %

For at kombinasjon 1 skal være aktuell, må den kombineres med en annen tiltaks-løsning, for eksempel naturlig nøytralisering og utfelling av gruvevann.

- **Naturlig nøytralisering og utfelling av gruvevann.** Innblanding av vannet fra Gorbekken vil kunne gi en rask reduksjon av giftigheten og naturlig utfelling før vannet når Folla. Basert på den geokjemiske modelleringen anslås en tilbakeholdelseeffekt for kobber på 30-50% ved et slikt tiltak. Dette tilsvarer en reduksjon i tilførsel til Folla på 2,4-4 tonn/år basert på en midlere tilførsel fra St2.

NGI anbefaler tildekking sammen med naturlig nøytralisering og utfelling av gruvevann. Dette forventes å lede til ønsket reduksjon av avrenningen og gir tilstrekkelig fleksibilitet

til senere justering ved behov. Det anbefales at anlegg for nøytralisering og utfelling etableres innledningsvis for å avgjøre virkningsgraden og dermed i hvilket omfang tildekking av gruveavfall bør gjennomføres.

Det er usikkerheter forbundet med vurderinger av nedbørsfelt, samt areal og volum av gruveavfall som gjør at de beregnede mengdene for transport av kobber, tiltakseffektivitet og kostnader må ses på som et veiledende anslag.

Ved reduksjon av tilførsel av kobber til Folla vil konsentrasjonen i Folla reduseres på sikt. Etablering av et anlegg for naturlig nøytralisering og utfelling vil ta bort konsentrasjonstoppene ved utløpet i Folla. Det er imidlertid usikkert til hvilket nivå konsentrasjonen av kobber i Folla vil bli redusert.

Kostnadene for å gjennomføre tiltakene vurderes anslagsvis til å ligge i størrelsesorden 20-60 MNOK, avhengig av omfang av tildekking. Følgende undersøkelser og vurderinger bør utføres for å kunne detaljprosjekttere tiltak og få et bedre estimat av kostnadene:

- Tildekking av gruveavfall.
  - Omfang og mektighet
  - Lokalisering og utforming av tildekkingsløsning
- Naturlig nøytralisering og utfelling av gruvevann
  - Kartlegging av nøytraliseringspotensialet i Gorbekken
  - Testing av blanding
  - Testing av reaksjonshastighet
  - Testing av sedimenteringsegenskaper
  - Vurdering av drift gjennom ulike årstider
  - Utforming av basseng

## 10 Referanser

Aquateam Cowi (2015)

Vurdering av grenseverdi for metaller i Folla. Rapport nr. 15-009.

Cowi (2015a)

Undersøkelser i gruvepåvirkede vassdrag ved Røros, Løkken, Sulitjelma og Folldal, 2014. Rapport nr. 03, 2015.

Cowi (2015b)

Biologiske undersøkelser i Folla og Sulitjelmavassdraget 2015, foreløpig rapport

Cowi (2014)

Sammenfatning av utførte laboratorie- og pilotforsøk med dremsvann fra Folldal. Rapport nr. A042083-004, datert april 2014.

Cowi (2013)

Utredning av renseteknologiske løsninger for Løkken gruveområde, Meldal kommune. Rapport 139157, datert 30.04.13.

Folldal kommune (2012), Handlingsplan, gruveforurensning Folldal sentrum. 24.05.12.

Lundgren, T (2009)

Möjligheterna att använda rökgasreningsrester vid efterbehandlingen av deponier med sulfidhaltiga gruvavfall. Rapport över laboratorieförsök. Avfall Sverige, Rapport F2009:06.

Miljødirektoratet (2014)

Kvalitetssikring av miljøkvalitetsstandarder. Rapport M-241, 2014.

NGI (2015)

Folldal gruver. Vurdering av sedimentene i Folla og deres bidrag til forurensning av ellevann i Folla. Rapport nr. 20140321-02-R, datert 11 september 2015

NGI (2014)

Folldal gruver. Kartlegging av avgangsmasser og vann. Rapport nr. 20140321-01-R, datert 3. desember 2014

NIVA (2013)

Avrenning fra Folldal Verk, Folldal kommune. Undersøkelser i 2012-2013. Rapport L.NR. 6606-2013.

NIVA (2012)

Avrenning fra Folldal Verk, Folldal kommune. Undersøkelser i 2011-2012. Rapport L.nr 6330-2012

NIVA (1996)

Tiltaksbeskrivelse av Follavassdraget. Rapport LNR 3400-96

Norsulfid AS (1999)

Kontrollundersøkelser etter nedleggelse av driften. Rapport LNR 4036-99.

Puig Rodès (2015)

Hydrogeological characteristics and numerical modeling of groundwater flow and contaminant transport in the Folldal mining site. Master Thesis, department of Geosciences. University of Oslo, June 2014.

SFT (1997)

Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. Veiledning 97:04.

UiO (2014)

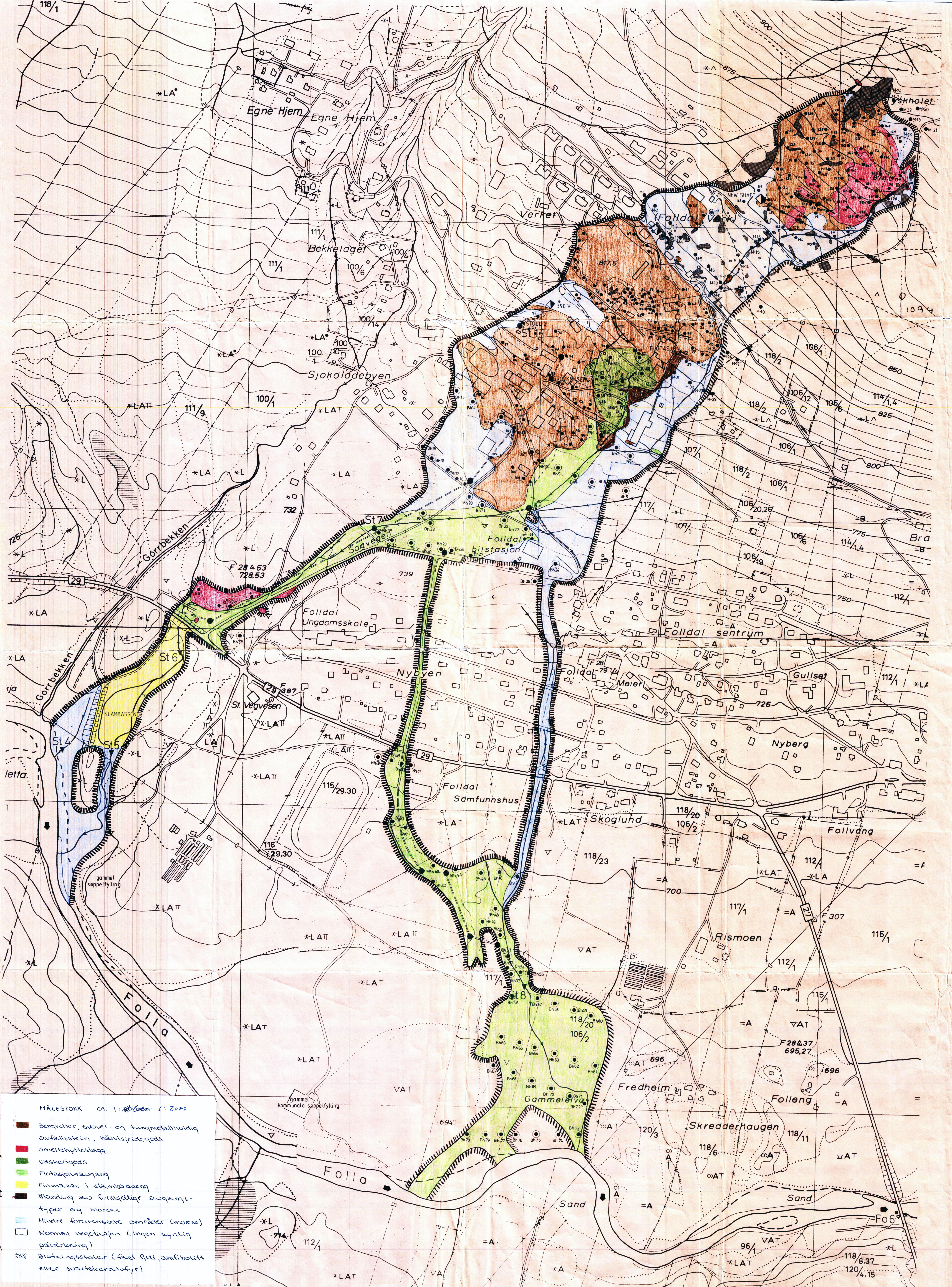
Feltrapporter fra GEO4360/221, 2014. Gruppe A, B og C.

# Vedlegg A

KART MED FORDELING AV  
AVGANGSMASSER







- MÅLESTOKK CA. 1:20000 1.2011
- Berqveller, suovel- og tungmetallholdig avfallsstein, håndseidede
  - Smelthytteslagg
  - Vaskerogeds
  - Flotasjonsavgang
  - Finnmasse i slambasseng
  - Blanding av forskjellige avgangstyper og morene
  - Mindre forurensede områder (morene)
  - Normal vegetasjon (ingen synlig påvirkning)
  - Blotningssteder (fast fjell, amfibolitt eller svartokeratofyr)

# Vedlegg B

## VURDERING AV NATURLIG NØYTRALISERING OG UTFELLING SOM TILTAKSMETODE

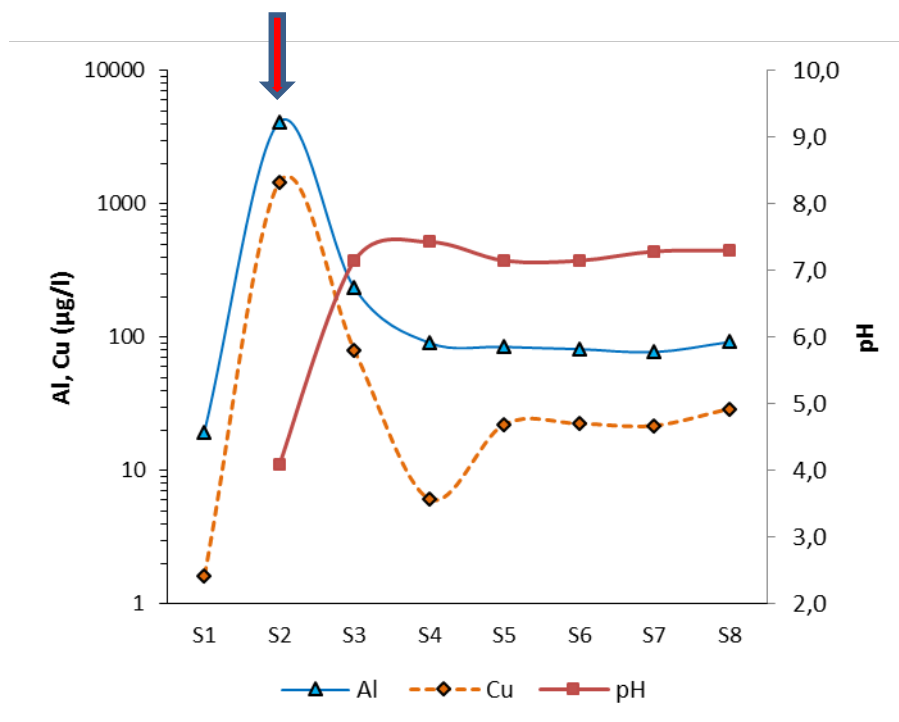
### Innhold

<b>B1</b>	<b>Naturlig nøytralisering og utfelling oppstrøms Folla</b>	<b>2</b>
B1.1	Bakgrunn	2
B1.2	Effekt av blanding med Gorbekken	3
B1.3	Tiltaksbeskrivelse	5

## B1 Naturlig nøytralisering og utfelling oppstrøms Folla

### B1.1 Bakgrunn

Systematisk prøvetaking og analyse av vannprøver fra Folla i mai 2015, viser at direkteutslippet av gruvevann ved sletta øst for Gorbekken har en kraftig påvirkning på vannkvaliteten i elva, se også NGI-rapport 20140321-03-R "Folldal Gruver. Vurdering av sedimentene i Folla og deres bidrag til forurensning av elvevann i Folla". pH reduseres lokalt kraftig til pH 4, og konsentrasjonene av blant annet Al og Cu øker kraftig (Figur 1). Vannkvaliteten forbedres raskt nedover i elva som følge av økt fortykning og utfelling, men i området umiddelbart nedstrøms utslippspunktet ved S2 foreligger sterkt giftige forhold for vannlevende organismer i elva.



Figur 1 Målt pH og konsentrasjonen av Al og Cu i Folla før (punkt S1) og etter (punkt S2) påslipp av gruvevann fra Folldal gruver, juni 2015 (data fra NGI rapport nr. 20150321-03-R).

Selv en mindre pH-økning av dette direkteutslippet av gruvevann før det slippes ut Folla, forventes å ha en vesentlig effekt på vannkvaliteten i dette området. Dette kan eksempelvis oppnås ved å blande inn naturlig overflatevann med tilstrekkelig nøytraliseringspotensiale. Gruvevannet har et høyt redokspotensiale ( $E_h > 600$  mV), slik at en oksidering ikke er nødvendig for å få den nødvendige utfellingen av jernhydroksider.

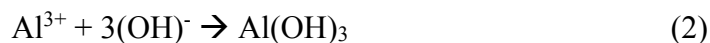
Vannkvaliteten i både gruvevann (punkt V4) og Gorbekken, ble kartlagt i forbindelse med de innledende vurderingene av gruveavrenningen fra Folldal Gruver (NGI-rapport 20150321-R-1, "Folldal Gruver. Karlegging av avgangsmasser og vann"). Viktige parametere med hensyn til nøytraliseringskapasitet (Gorbekken) og nøytraliseringsbehov (V4) er vist i tabell 1.

Tabell 1 Målte vannkvalitetsparametere i gruvevann (V4) og Gorbekken i Folldal, juni 2015

	Gruvevann (V4)		Gorbekken	
	mg/l*	mmol/l	mg/l*	mmol/l
pH	2,6	2,31	6,6	0,000
Jern (Fe)	790	14,16	0,054	0,001
Kobber (Cu)	73	1,15	0,0009	0,000
Sink (Zn)	42	0,64	0,0004	0,000
Kalsium (Ca)	201	5,01	5,96	0,149
Magnesium (Mg)	220	9,05	0,8	0,033
Aluminium (Al)	190	7,04	0,02	0,001
Klorid (Cl)	3,6	0,10	0,1	0,003
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3000	31,22	1,74	0,018
Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0	0	61,6	1,010

\*gjelder ikke pH

Analysen av gruvevann viser et svært surt vann (pH 2,6) med høyt innhold av blant annet løst Al<sup>3+</sup> og Fe<sup>3+</sup> (høyt redokspotensial i gruvevannet indikerer at jern foreligger på oksidert, treverdig form). Ved økende pH (nøytralisering) vil Al og Fe felles ut som hydroksider, noe som gir et forbruk av hydroksyl-ioner (OH<sup>-</sup>) og er således en sur reaksjon, se reaksjon 1 og 2. Kobber og Zn foreligger også i svært høye konsentrasjoner, og kan felle ut som hydroksider/oksider.



En relativt høy pH og forhøyet innhold av bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) indikerer at Gorbekken kan ha et nøytraliseringskapasitet.

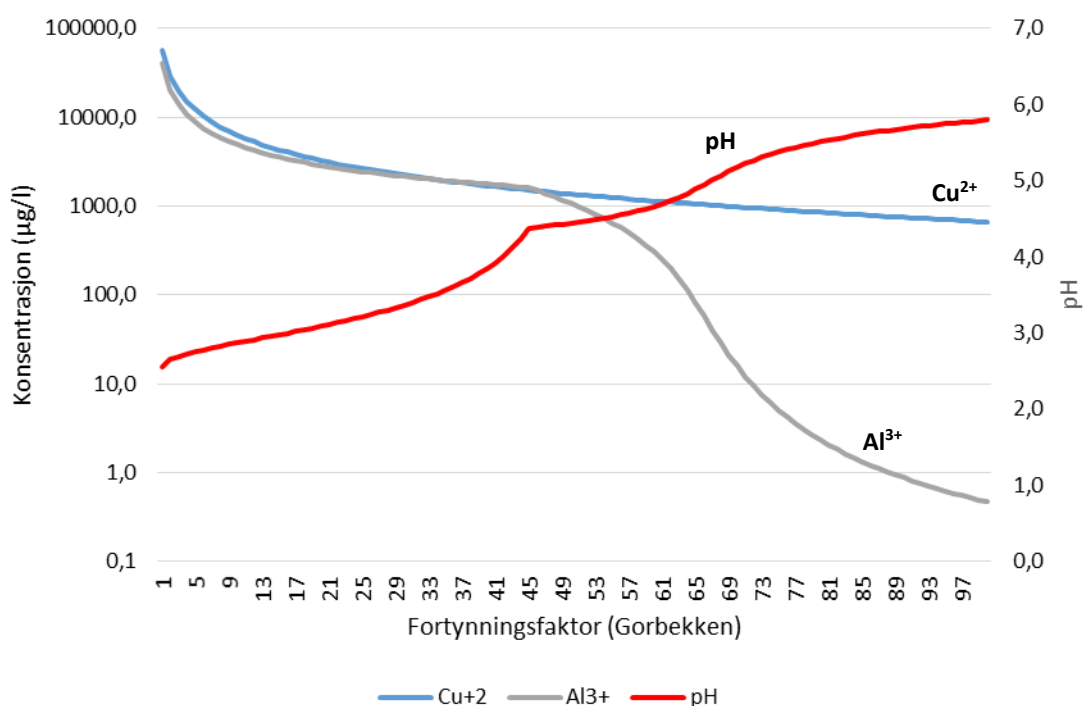
## B1.2 Effekt av blanding med Gorbekken

Basert på vannanalyser av gruvevann (V4) og Gorbekken fra 2014 (tabell 1), er det gjennomført en geokjemisk modellering av blanding av de to vanntypene. Modelleringen er gjennomført ved hjelp av programmet Visual MINTEQ. Programmet modellerer

spesiering, kompleksdannelse, løselighet, sorpsjon, m.m. basert på kjemisk likevekt. Programmet ble først utviklet av USEPA og har siden 2000 vært vedlikeholdt av KTH, Sverige. For blandingen av de to ulike vannkvalitetene fra Folldal ble programmets titeringsmodul benyttet.

Det foreligger ingen analyser av totalinnhold av karbonat i gruvevannet. I modelleringen er det derfor tatt utgangspunkt i at konsentrasjonen av løst  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{CO}_3$  i gruvevannet står i likevekt med  $\text{CO}_2$  trykket i atmosfæren.

Figur 2 viser resultater fra modelleringen. Med økende innblanding av vann fra Gorbekken øker pH (rød linje). Utgangs-pH i gruvevannet ligger på pH 2,6. For å øke pH til 4 kreves en vannmengde fra Gorbekken på 40-50 ganger mengden gruvevann. En slik innblanding vil også redusere konsentrasjonen av både kobber og aluminium som følge av utfellingsreaksjoner og fortynning. Innholdet av fritt løst (biotilgjengelig)  $\text{Cu}^{2+}$  og  $\text{Al}^{3+}$  vil være viktig med hensyn til potensiell giftigheten i utslippet. Modelleringen viser imidlertid at konsentrasjonen av fritt løst kobber fremdeles vil være høy i vannet selv ved en 100x fortynning med vann fra Gorbekken, og ca. 90% vil foreligge som fritt løst  $\text{Cu}^{2+}$ .



Figur 2 Endringer av pH og konsentrasjoner av fritt løst kobber ( $\text{Cu}^{2+}$ ) og aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) i gruvevann fra Folldal, avhengig av fortynningsgrad med Gorbekken

I modelleringen ovenfor er det tatt hensyn til mulig utfelling av Fe-hydroksid ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , ferrihydrid), Al-hydroksid ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) og Al-sulfat ( $\text{Al}_4(\text{OH})_{10}\text{SO}_4$ ). Etter 100 ganger fortykning med Gorbekkenvannet er 99,9 % av Fe og Al utfelt. Reduksjonen i kobber skyldes imidlertid kun fortykningseffekten med Gorbekken. Vannet er imidlertid overmettet med kobber ferritt ( $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ), og tas det hensyn til utfelling av denne forbindelsen, får man etter 100 ganger fortykning en tilnærmet 100% reduksjon i kobbertilførselen da dette er felt ut som kobberferritt. Kobber sorberes også godt til Fe- og Al-hydroksider. Modellen tar imidlertid ikke hensyn til en slik sorpsjon.

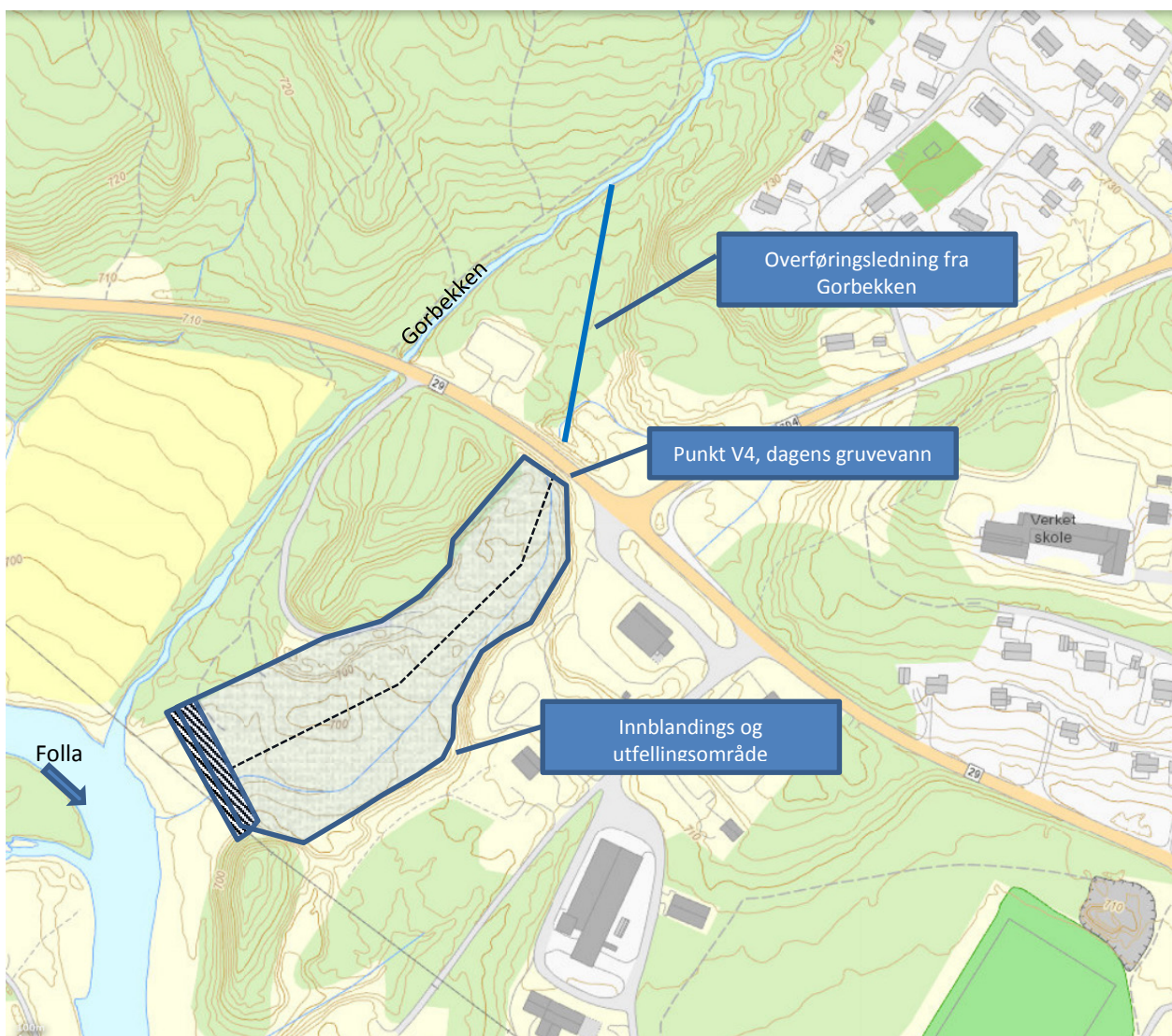
Målt mengde gruvevann ved V4 ligger på 0,64 l/sek for perioden juni – august 2014. Laveste og høyeste vannføring ble målt til henholdsvis 0,11 l/sek (6. juli 2014) og 4,5 l/sek 19. august 2014). Vannføring i Gorbekken er ikke kjent, men bekken har et relativt stort nedslagsfelt og visuell vurdering av bekken indikerer en betydelig vannføring sammenlignet med gruvevannet. Vannmengden i Gorbekken forventes derfor å være tilstrekkelig til å kunne oppnå en pH-økning i gruvevannet.

I tillegg til vannkvalitet (nøytralisasjonskapasitet) og tilgjengelig vannmengde i Gorbekken, vil effekten av et slikt tiltak være avhengig av muligheten til utfelling (reaksjonstid) og sedimentering før vannet når Folla. Basert på den geokjemiske modelleringen anslås en tilbakeholdelseeffekt for kobber på 30-50% ved et slikt tiltak.

Det må imidlertid tas i betraktning eventuelle utfordringer med vinterdrift og bunnfrost.

### B1.3 Tiltaksbeskrivelse

I tilknytning til utslippet av gruvevann fra Follidal Gruver kan et slikt tiltak med naturlig nøytralisering og utfelling gjennomføres ved å lede vann fra Gorbekken mot elvesletta ved Gorbekken, se Figur 3. Vannet blandes med gruvevannet ved punkt V4 for deretter å ledes inn i opparbeidet basseng for reaksjon og utfelling (skravert område). Det foreligger ingen bruk av dette arealet i dag.



Figur 3 Kart som viser mulig område for naturlig nøytralisering av gruvevann før påslipp til Folla

Økt reaksjonstid og mulighet for sedimentering kan oppnås ved å etablere et basseng / dam innenfor det aktuelle området. Nederst mot Folla og langs kantene etableres en barriere med lav permeabilitet for å opprettholde et ønsket vannspeil. Komprimerte morenemasser kan benyttes til dette formålet. Terskelen mot Folla etableres med overløp. Bunnen av bassenget bør renskes for sedimenter og komprimeres. Bassenget kan etableres med to eller flere "kamre" (svart stiplet linje på figur 3). Dette gir mulighet for å drifte anlegget for fjerning av slam/sedimenter. Dette betyr at bunnen av bassenget må være av en slik kvalitet at det kan kjøres med tyngre utstyr. Arealet av bassenget ligger på ca. 16,5 daa. Med en gjennomsnittlig dypde på 0,5 m gir dette et volum på ca. 8000

m<sup>3</sup>. Forutsettes en gjennomsnittlig vannføring av gruvevann på 0,65 l/sek og 100 x for-  
tynning med Gorbekkevann, gir dette et totalt vannvolum på ca. 65 l/sek (234 m<sup>3</sup>/time).  
Teoretisk oppholdstid i bassenget kan da beregnes til ca. 34 timer.

Overføringen av vann fra Gorbekken skjer ved selvføll ned mot punkt V4 (se Figur 3).  
Blandingen av gruvevann og bekkevann oppnås ved hjelp av enkel blandeinnretning før  
det slippes kontrollert på flere punkt øverst i bassenget.

Den geokjemiske modelleringen indikerer at konsentrasjonen av fritt tilgjengelig kobber  
(Cu<sup>2+</sup>) reduseres med >98% ved en 100x innblanding av Gorbekkevann (fra 73 mg/l til  
<1 mg/l). Selv om den reelle effekten vil ligge lavere som følge av redusert innblanding,  
reaksjonstid og mekanistiske begrensninger, forventes tiltaket å gi en umiddelbar effekt  
på vannkvaliteten i Folla. Et anbefales derfor å utrede dette tiltaksalternativet ytterligere.

Forhold som må utredes nærmere er kartlegging av potensialet i Gorbekken, både kjem-  
isk sammensetning og vannføring gjennom året, testing av blanding, reaksjonshastighet  
og sedimenteringsegenskaper av utfelte metaller. Erfaringsmessig skjer det ingen rask  
sedimentering uten tilsats av kjemikalier, men giftigheten for organismene vil bli redu-  
sert så snart utfellingskompleksene er dannet. Det må vurderes hvordan anlegget skal  
driftes gjennom ulike årstider og under ulike avrenningsforhold.



Dokumentinformasjon/Document information		
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Folldal gruver. Vurdering av mulige tiltak mot avrenning fra tidligere gruvevirksomhet.		<b>Dokumentnr./Document no.</b> 20140321-04-R
<b>Dokumenttype/Type of document</b> Rapport / Report	<b>Oppdragsgiver/Client</b> Direktoratet for Mineralforvaltning	<b>Dato/Date</b> 2015-12-14
<b>Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract</b> Oppdragsgiver / Client		<b>Rev.nr.&amp;dato/Rev.no.&amp;date</b> 0
<b>Distribusjon/Distribution</b> BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
<b>Emneord/Keywords</b> Gruve, tiltak		

Stedfesting/Geographical information	
<b>Land, fylke/Country</b> Norge, Hedmark	<b>Havområde/Offshore area</b>
<b>Kommune/Municipality</b> Folldal	<b>Felt navn/Field name</b>
<b>Sted/Location</b> Folldal	<b>Sted/Location</b>
<b>Kartblad/Map</b>	<b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>
<b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b> Sone: 32V Øst: 0551643 Nord: 6889976	<b>Koordinater/Coordinates</b> Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	2015-12-11 Marianne Kvennås	2015-12-14 Gijs Breedveld		

<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>	<b>Dato/Date</b> 14. desember 2015	<b>Prosjektleder/Project Manager</b> Marianne Kvennås
--	---------------------------------------	--

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

