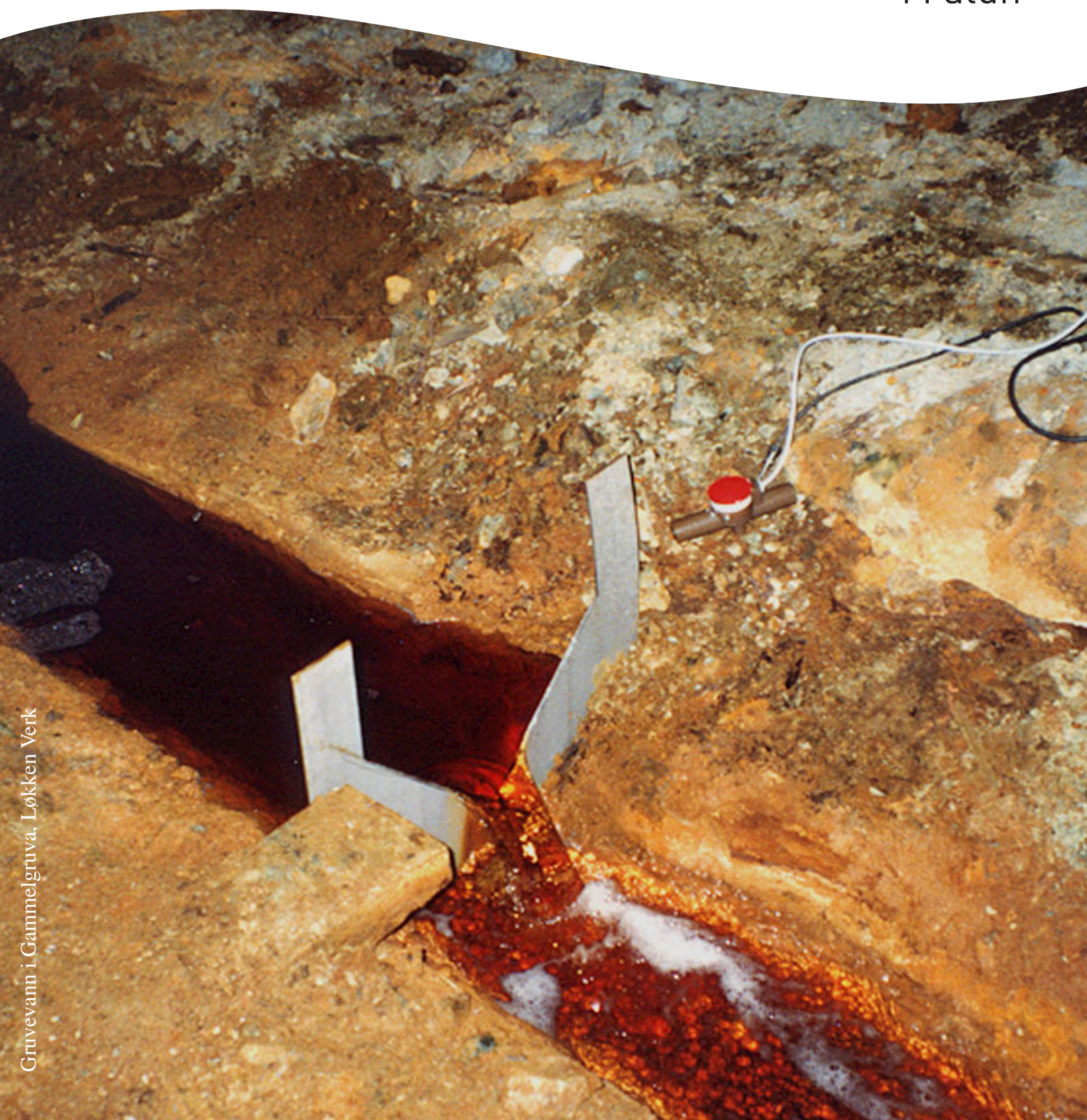


Pilotanlegg for rensing av drensvann på Løkken

Muligheter og kostnader basert på ionebytterteknologien benyttet i Falun



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

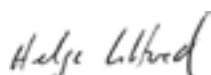
Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Pilotanlegg for rensing av drensvann på Løkken Muligheter og kostnader basert på ionebytteteknologien benyttet i Falun	Løpenr. (for bestilling) 5829-2009	Dato 20. november 2009
	Prosjektnr. Undernr. O-28456	Sider 29
Forfatter(e) Eigil Iversen, NIVA Helge Liltved, NIVA Ruud Gerritsen, Recomet AB Gunnar Thorsen, NTNU Fredrik Steineke, FrS Consulting AS	Fagområde Miljøteknologi	Distribusjon
	Geografisk område Sør-Trøndelag	Trykket CopyCat 2009

Oppdragsgiver(e) Bergvesenet	Oppdragsreferanse 08/00646-12 SN/BK Best. nr. 4/09
---------------------------------	--

<p>Sammendrag</p> <p>Det er foreslått en prosess teknisk løsning for kjemisk rensing av drensvann fra Løkken gruveområde i Meldal kommune der en tar i bruk ionebytte- og gjenvinningsteknologien som er benyttet ved Falu gruva i Falun. For å bekrefte prosessen er det foreslått et opplegg for testing i pilotskala. Renseprosessen som er foreslått på Løkken tar sikte på å gjenvinne jern som jernsulfat eller jernklorid, kobber metall og hydroksider av aluminium, sink og kadmium. Produktene vil være salgbare. Undersøkelsene er gjennomført i samarbeid med bl.a. teknologileverandøren i Falun, Recomet AB.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gruvevann 2. Pilotanlegg 3. Gjenvinning 4. Løkken Verk 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Acid Rock Drainage 2. Pilot Plant 3. Metal Recovery 4. Løkken Pyrite Mine, Norway
---	--



Helge Liltved
Prosjektleder



Rainer G. Lichtenthaler
Seniorforsker

O-28456

Pilotanlegg for rensing av drensvann på Løkken

Muligheter og kostnader basert på
ionebytterteknologien benyttet i Falun

Forord

Løkken gruveområde er det mest forurensende blant sulfidmalmgruvene i Norge. Området har en lang forurensningshistorie. Det har blitt arbeidet med kartlegging av forurensningskilder og mulige tiltak siden begynnelsen av forrige århundre. Avrenningen fra gruveområdet har i lang tid forårsaket konflikter med fiskeinteressene i Orklavassdraget. Økt verdiskapning i vassdraget og tiltakende metallavrenning fra gruveområdet gjør det nødvendig med nye og mer permanente tiltak. I denne rapporten er rensing ved hjelp av ionebytterteknologi med gjenvinning av metaller nærmere vurdert. Prosjektet har vært gjennomført av NIVA i samarbeid med kompetansemiljøer i Falun, Sverige (Stora Enso AB og Recomet AB) der det er bygget et gjenvinningsanlegg for gruveavløpet, samt personer med prosesssteknologisk bakgrunn fra Trondheim (NTNU og FrS Consulting AS).

Oppdragsgiver har vært Bergvesenet.

Vi takker alle for samarbeidet.

Oslo, 20. november 2009

Helge Liltved

Innhold

Sammendrag	6
1. Innledning	9
2. Prosessen i Falun	11
3. Mulig løsning på Løkken	13
3.1 Bakgrunn for prosessvalget i Falun	13
3.2 Hva er utfordringene på Løkken?	13
3.3 Kortfattet beskrivelse av problemstillingene på Løkken	14
4. Forslag til prosessløsning på Løkken	16
4.1 Hovedprosesser	16
4.1.1 Trinn 1. Oppsamling, blanding og buffering	16
4.1.2 Trinn 2. Fjerning av jern og kobber	16
4.1.3 Trinn 3. Fjerning av sink, kadmium, nikkel, kobolt og aluminium	16
4.1.4 Trinn 4. Avsluttende etterpolering og pH-justering	17
4.1.5 Valg av hovedprosess	17
4.2 Behandling av konsentrater	18
4.2.1 Gjenvinning av kobber ved sementering	18
4.2.2 Gjenvinning av jern	18
4.2.3 Gjenvinning av aluminium	18
4.2.4 Gjenvinning av sink/kadmium	18
4.3 Kjemikalieforbruk	18
5. Pilottesting og testprogram	20
5.1 Markedsundersøkelser – hvilke produkter skal renseanlegget fremstille?	20
5.2 Undersøkelser i pilotskala	21
5.2.1 Valg av hovedprosess	21
5.2.2 Beskrivelse av pilotanlegg	21
5.2.3 Alternative trinn i hovedprosess	22
5.3 Feltundersøkelser	24
5.3.1 Lokalisering av pilotanlegg	24
5.3.2 Oppsamling av vann til pilotforsøk	24
5.3.3 Vannkvalitet – avrenningsmengder	24
5.3.4 Analysebehov	25
5.4 Plan for gjennomføring	25
5.4.1 Markedsundersøkelse	25
5.4.2 Prosessalternativ – reduksjon av alt jern til toverdig	26
5.4.3 Prosessalternativ – test av alternativ ionebytterprosess	26
5.4.4 Prosessalternativ etter Recomets forslag	26
5.4.5 Tidsplan	26

6. Samlet vurdering	27
7. Kostnader og finansiering	28
8. Referanser	29

Sammendrag

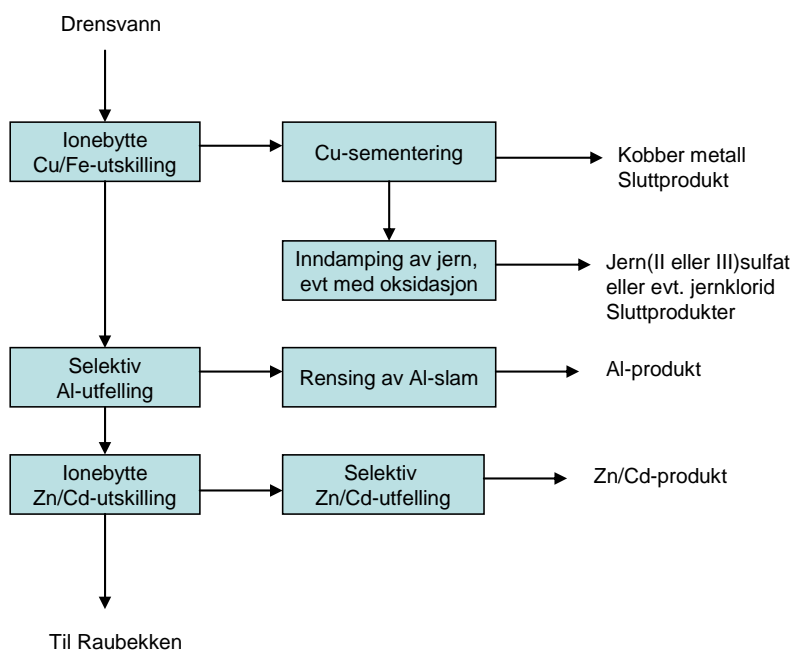
I dette prosjektet er det foretatt en gjennomgang av den teknologien som er benyttet for rensing av dreinsvann fra Falugruva i Falun, Sverige, og det er gjort en vurdering for å se på mulighetene for å anvende samme teknologien for å rens dreinsvann fra Løkkengruva. Bakgrunnen for dette er å nyttegjøre de erfaringer som er gjort i Falun i forbindelse med rensing av gruvevann. Både i Falun og på Løkken står en overfor det problemet at dersom en velger et renseteknisk tiltak må anlegget driftes i svært lang tid framover. I Falun ble det gjort den vurderingen at et anlegg som genererte nytt avfall, som for eksempel en prosess der en hovedsakelig benyttet kjemisk felling, ville bli kostbart over tid. De største kostnadene ble beregnet å være knyttet til transport og deponering av de store slammengdene. En antar at det samme vil være tilfelle på Løkken uten at dette er utredet nærmere. Etter å ha vurdert en rekke alternativer kom problemeier i Falun fram til at bruk av ionebytterteknologi med metallgjenvinning var det beste alternativet. Det var derfor et ønske fra Bergvesenet, som er oppdragsgiver i dette prosjektet, at en tilsvarende prosess ble utredet for dreinsvannet på Løkken.

I samarbeid med teknologileverandøren i Falun, Recomet AB, har vi foreslått et prosessalternativ for rensing av dreinsvannet på Løkken basert på ionebytterteknologi kombinert med kjemisk felling i 3 hovedtrinn (se figuren nedenfor):

- Trinn 1: Oppsamling, blanding og buffring
- Trinn 2: Selektiv fjerning av jern- og kobberioner i en kontinuerlig ionebytter.
- Trinn 3: Selektiv felling av aluminiumhydroksid og deretter fjerning av sink, kadmium, kobolt og nikkel i en konvensjonell ionebytter.

Fra hovedprosessen vil det produseres metallkonsentrater i sidestrømmer. I forslaget tar en sikte på å gjenvinne følgende metaller fra sidestrømmene:

- Kobber som selges til raffineringssverk
- Jern som to- eller treverdig jernsulfat, eller jernkloridløsning, som salgsvare, da fortrinnsvis som koagulanter innen vann- og avløpsrensing.
- Aluminiumprodukter som aluminiumhydroksidsulfat eller aluminiumsulfatløsning som kan bli solgt som koagulant innen vann- og avløpsvannbehandling.
- Sink- og kadmiumhydroksid som selges til smelteverk for gjenvinning av sink og kadmium



Det er gjort en del endringer i forhold til den prosessen som er valgt i Falun, blant annet har vi foreslått å gjenvinne kobber som metall fordi kobberinnholdet i drensvannet på Løkken er betydelig høyere enn i Falun, mens innholdet av sink, kadmium og aluminium er vesentlig lavere. Det er av kostnadsmessige årsaker derfor foreslått en noe enklere prosess for gjenvinning av disse metallene.

I vårt forslag til prosessvalg har en lagt kjemikaliekostnader og priser på produktene i Sverige til grunn. Forholdene i Norge og Sverige kan være forskjellige. Vi anbefaler derfor at det gjennomføres en markedsundersøkelse som første trinn i en videre utredning for å bekrefte prosessvalget, da spesielt for å bestemme sidestrømmer og produkter. Det er viktigst å undersøke markedsmuligheter med hensyn til jern- og aluminiumsprodukter, som vil være salgbare som koagulanter for vann- og avløpsrensing. For en god markedsløsning kan det være fornuftig å alliere seg med en eksisterende leverandør av slike produkter. Det kan nevnes at salget av metaller/metallholdige løsninger utgjør årlig 7-9 mill SEK ved renseanlegget i Falun.

I denne rapporten er også alternative delprosesser for gjenvinning av jern og kobber omtalt. Det vil med disse være mulig å produsere et renere kobber og et annet jernprodukt, nemlig jernoksid. Disse delprosessene er ikke like godt dokumentert i full skala som prosessene omtalt ovenfor, og krever derfor ytterligere pilottesting og verifisering. Om disse alternative delprosessene bør utredes nærmere vil avhenge av eventuelle nye opplysninger knyttet til faktorer som blant annet kjemikaliekostnader og priser på produktene.

I neste fase det nødvendig å få en klarhet i hvilke andre tiltak som kan være aktuelle å gjennomføre i gruveområdet på Løkken. Flytting av masser og tildekking er tiltak som har vært utredet. Det bør bringes klarhet i om slike tiltak skal gjennomføres, og i hvilket omfang, for å klarlegge hvordan disse vil påvirke vannmengder og vannets sammensetning. Det er også nødvendig å utrede tiltak for bortledning av rent overflatevann for å begrense den hydrauliske belastningen på et eventuelt renseanlegg, og for å øke oppsamlingen av forurenset drensvann.

Uansett må hovedprosessen på Løkken være i stand til å håndtere variasjoner i vannets sammensetning innen et ganske stort område. Variasjonene vil være avhengig av mange faktorer, inkludert mengde fremmedvann som trenger inn, men også prosesser som foregår internt i gruva. Endringer vil derfor pågå over svært lang tid etter som tiltak iverksettes og prosesser endres. Et fullskala anlegg må dimensjoneres fleksibelt for å håndtere slike endringer uten at det kreves for store reinvesteringer etter en viss driftstid. Pilotanlegget må testes med ulike vannkvaliteter for å vise at det kan håndtere variasjonene og produsere en utløpskvalitet som er i henhold til kravene.

Etter vår mening er det viktig å komme i gang med pilottesting av en renseløsning basert på ionebytte- og gjenvinningsteknologi som beskrevet i denne rapporten. Hensikten med pilottestingen er å bekrefte prosessvalget og framskaffe et godt grunnlag for design av et fullskala anlegg.

Etablering av et pilotanlegg med gjennomføring av pilotforsøk er kostnadsberegnet til ca. 4 mill NOK. Hvordan dette skal finansieres er foreløpig uklart, men flere mulige samarbeidsformer er nevnt nedenfor uten at disse er utredet nærmere på det nåværende tidspunkt:

- Knytte prosjektet til faglig virksomhet ved Institutt for geologi og bergteknikk og Institutt for kjemisk prosesssteknologi ved NTNU i Trondheim. Pilotanlegget kunne etableres som et permanent forsøks- og demonstrasjonsanlegg for kompetanseheving og forskning innen gruveavrenningsproblematikk og gjenvinningsprosesser. Det ville være naturlig å knytte master- og dr.gradsarbeider til gjennomføringen av pilotforsøkene.
- Innlede samarbeid med norske/nordiske bedrifter for å utvikle koagulanter for vann- og avløpsrensing basert på gjenvunnet aluminium- og jernprodukter fra renseanlegget. Samarbeid med Innovasjon Norge om utvikling og salg av slike vannbehandlingsprodukter ville være naturlig.

- Etablere produksjon av kobberprodukter/souvenirer fra kobberet som gjenvinnes i renseprosessen. Dette kan gjøres i samarbeid med lokale næringsinteresser.

1. Innledning

Forurensningsproblemene knyttet til tungmetallavrenning fra gruveområdet på Løkken har vært tema i lang tid. Etter at gruve drift ble nedlagt i 1987 gjennomførte en tiltak i området som fikk sin fulle virkning i 1992. Tiltakene ga en tilfredsstillende effekt i henhold til de kravene som den gang ble stilt, men en var allerede den gang klar over at tiltakene ville ha begrenset varighet. Siden tiltakene fra 1992 nå ser ut til å svikte, må en planlegge for nye tiltak av hensyn til tilstanden i Orkla, et vassdrag som det knytter seg flere interesser til, spesielt laksefiske. En arbeider i øyeblikket med 2 hovedalternativer, 1) tiltak for å redusere omfanget av forvitningsprosessene i gruveavfallet i området samt utvasking av forvitningsprodukter, eller 2) tiltak for å rense dreinsvann fra området.

Denne rapporten beskriver resultatene fra en forstudie med målsetting om å utrede mulighetene for å rense dreinsvannet fra gruveområdet på Løkken. Undersøkelsen har tatt utgangspunkt i erfaringene som er gjort ved Falun gruve i Sverige i forbindelse med gjennomføring av rensertiltak. Problemene ved Falun gruve kan på mange måter sammenliknes med dem man finner på Løkken. I Falun ble ulike tiltak grundig utredet og utprøvd før det ble bestemt å bygge et rense- og gjenvinningsanlegg basert på ionebytte teknologi. Et av de tidligere tiltakene var å bygge et anlegg basert på konvensjonell kjemisk felling med kalk, noe som ga store utfordringer og kostnader knyttet til håndtering og deponering av slammet som i dag klassifiseres som spesialavfall. Generering av store mengder spesialavfall er lite ønskelig, og er i tillegg en kostbar løsning på lang sikt. I Falun som på Løkken må en drive rensesanlegget i "all framtid", og det ble konkludert med at man måtte ta i bruk en løsning hvor metallene blir gjenvunnet. Ionebytteanlegget i Falun ble satt i drift i 2008.

Etter oppdragsgiverens ønske har vi i denne undersøkelsen, i samarbeid med problemeier i Falun (Stora Enso AB) og teknologileverandør i Falun (Recomet AB), vurdert mulighetene for å anvende teknologien som er anvendt i Falun for behandling av dreinsvann på Løkken. I Falun har man etter nøye vurdering av flere alternativer tatt i bruk ionebytte teknologi for gjenvinning av metaller. Selv om teknologien er velkjent har det likevel tatt lang tid å utvikle den prosessstekniske løsningen der. Løsningen som ble valgt er spesialtilpasset forholdene i Falun. Det vil være nødvendig å tilpasse en egen løsning for Løkken. I tillegg til forskjeller i vannkvalitet og avrenningsforhold, kan det være forskjeller mellom Sverige og Norge når det gjelder muligheter for omsetning av produkter fra et gjenvinningsanlegg, samt kostnader til prosesskjemikalier. Til tross for enkelte forskjeller mellom Falun og Løkken anser vi det som hensiktsmessig å samarbeide med miljøet i Falun der en har gjort viktige erfaringer når det gjelder prosessvalg, prosessdesign og materialvalg. Et slikt samarbeid kan gi innsparinger i tid og kostnader i den videre planleggingen av et rensesanlegg.

I den videre planleggingen av et rense- og gjenvinningsanlegg på Løkken må følgende legges til grunn:

- Den totale virkningsgraden knyttet til oppsamling av vann og rensing må være så høy at vannkvaliteten i Raubekken og Orkla tilfredstiller SFTs fremtidige krav
- Prosessen må være driftssikker. Driftsproblemer med høye metallutslipp må unngås da utslippet går direkte til et vassdrag som representerer store verdier i form av den etablerte laksestammen og annet akvatisk liv.
- Det finnes ulike alternativer for behandling av hovedstrømmen og for behandling av sidestrømmer. Oppgaven blir å bestemme den optimale totale løsningen med hensyn på virkningsgrad og kostnader.

Forprosjektet som rapporteres her omfatter følgende punkter:

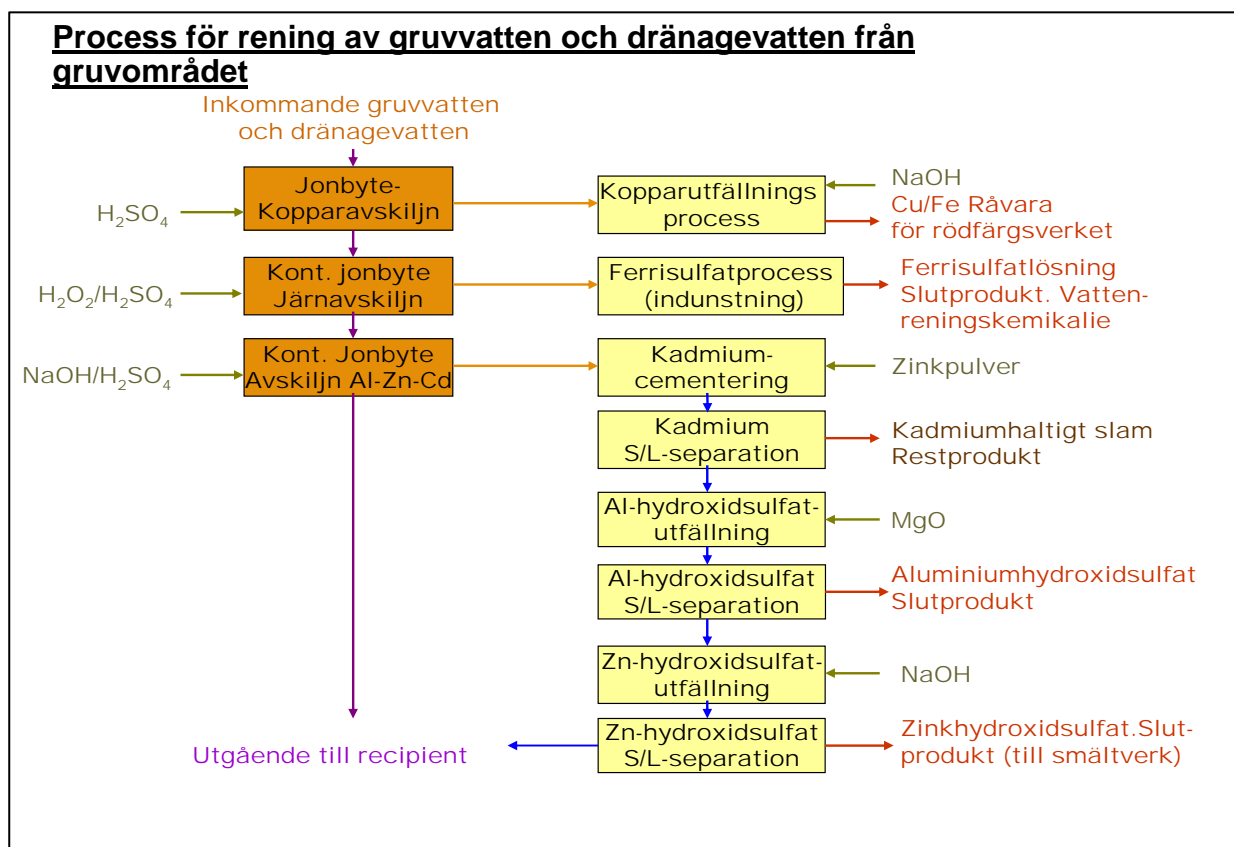
1. Gjennomgang av driftserfaringene fra prosessen i Falun med tanke på hva som kan nyttegjøres på Løkken.
2. Beskrive og karakterisere drenevannet som skal renses, inkludert en nærmere spesiering av jerninnholdet
3. Gi anbefalinger knyttet til valg av prosesstrinn for hovedstrømmen og for sideprosessene (konsentratbehandlingene), samt mulige alternative behandlingstrinn. Gi råd om hvilke prosesstrinn som bør testes i pilotskala.
4. Beskrive og kostnadsberegne pilotanlegg for gjennomføring av testene.
5. Beskrive testprogram og kostnader i forbindelse med gjennomføring av programmet som har som målsetting å bekrefte grunnlaget for prosessdesign og vise virkningsgraden til teknologien

Mye av det tekniske underlaget som er utarbeidet i det foreliggende prosjektet er utført av Recomet AB, basert på erfaringer fra blant annet Falun. En oppsummering av Recomets arbeid er med i denne rapporten, men tekniske detaljbeskrivelser er presentert i en separat konfidensiell rapport fra Recomet AB (Ruud Gerritsen 2009). Dette for å skjermeh detaljer som er forretningshemmeligheter, og som Recomet AB ikke ønsker skal distribueres fritt.

I Norge har en erfaring fra anvendelse av ionebytterteknikk ved NTNU, Institutt for kjemisk prosess teknologi. Her har en arbeidet med andre typer ionebyttere i forbindelse med gjenvinning av jern. Studier av jernets kjemi er viktig ved behandling av denne type avløpsvann fordi store deler av driftsutfordringene og kostnadene er knyttet til uttak av jernet.

2. Prosessen i Falun

Prosessvalget i Falun tar sikte på å gjenvinne jern/kobber til pigmentproduksjon, ferrisulfat som sluttprodukt som selges som fellingskjemikalie ved vannrensing, kadmium-metallkonsentrat til raffinering ved smelteverk, aluminiumhydroksidsulfat som sluttprodukt til smelteverk og sinkhydroksidsulfat som sluttprodukt til smelteverk. Det benyttes ionbyttertechnik i hovedstrømmene og inndamping, utfelling og sementering ved behandling av sidestrømmene. Det er gitt en forenklet fremstilling av prosessen i figur 1. Prosessen fjerner ikke alle metaller, men tar ut de metallene som gir stor miljømessig effekt. Anlegget renser vann fra gruva samt drens vann fra området.



Figur 1. Flyt-skjema for prosessløsningen i Falun. Kilde: Erik Mattson, StoraEnso Research Centre.

I den første ionebytteren tas kobber og treverdig jern ut. Ionebytteren regenereres med svovelsyre. I sidetrinnet for behandling av eluatet tilsettes natronlut for utfelling av jern-/kobberhydroksid. Dette slammet benyttes som råvare i pigmentproduksjonen i nabobedriften Falu Rödfärg. Drens vannet i Falun inneholder relativt lite kobber slik at en ikke fant grunnlag for å ta ut kobber separat.

Avløpet fra den første ionebytteren tilsettes peroksid (H_2O_2) for oksidasjon av toverdig jern til treverdig. Mesteparten av jernet i gruvevannet i Falun foreligger som toverdig. Vannet tas inn i den andre ionebytteren der en tar ut treverdig jern, dvs den samme prosessen som i det første trinnet. Ionebytteren tømmes med svovelsyre. En får derved en ferrisulfatløsning som dampes inn til et produkt som kan omsettes i markedet for kjemikalier til vannrensing.

Avløpet fra den andre ionebytteren tilsettes lut for å øke pH slik at ionebytteren kan ta opp aluminium, sink og kadmium.

Anlegget i Falun krever stor plass. Slik vil det også være på Løkken. I Falun har en lagt mye vekt på layout både når det gjelder prosessen og selve bygget. I denne fase av prosjektet gjør vi ikke slike vurderinger, men en bør tidlig ta stilling til mulig lokalisering av et slikt anlegg på Løkken.



Figur 2. Renseanlegget ved gruva i Falun

3. Mulig løsning på Løkken

3.1 Bakgrunn for prosessvalget i Falun

I Falun begynte en å arbeide med kjemisk rensing som tiltak allerede på begynnelsen av 1980-tallet. I de to første renseanleggene som ble satt i drift, i 1986 og deretter i 1999, valgte en å benytte kalk for utfelling av metallslam som ble avvannet og lagt ut på deponi. Etter å ha erfart hva en slik teknologi innebærer av utfordringer både av praktisk og økonomisk art, bestemte man seg for å endre prosess med sikte på å ta i bruk en gjenvinningsprosess. En medvirkende årsak til dette var de store kostnadene i forbindelse med deponering av avfallet fra den gamle prosessen i hht de nye deponiforskriftene. Problemeieren Stora Enso studerte en del alternative teknikker og kom fram til at ionebytterteknikk var best egnet for å behandle det aktuelle drensvannet i Falun som besto av sigevann fra overflateavfall og gruvevann. Planlegging, prosjektering og bygging av det nye ionebytteranlegget ble utført i samarbeid med teknologileverandøren Recomet AB.

Arbeidene med den nye prosessen pågikk i perioden 1996-2008. Før en gikk i gang med å prosjektere og bygge anlegget ble det først gjennomført studier av hvilke metaller det var aktuelt å gjenvinne og hvilke produkter anlegget skulle fremstille. Det ble foretatt en markedsundersøkelse mht priser og kjemikaliekostnader. Deretter valgte en å gjennomføre tester i pilotskala for de aktuelle delprosesser før en gikk i gang med prosjektering og bygging av helskala anlegg.

3.2 Hva er utfordringene på Løkken?

Situasjonen på Løkken skiller seg en del fra forholdene i Falun. Av de viktigste forskjeller er:

1. Siden det allerede var et renseanlegg i Falun i drift, hadde man gode data med hensyn til kjemisk sammensetning og belastning. På Løkken er datagrunnlaget dårligere og må kartlegges bedre. Jernet i drensvannet i Falun foreligger i det vesentligste i toverdig form. Foreløpige undersøkelser vha red/oks-målinger i overflateavrenningen på Løkken tyder på at jernet foreligger som treverdig. Supplerende undersøkelser av $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ over tid er nødvendig for bedre kvantifisering av de ulike fraksjonene i de ulike vanntypene. Jernets tilstandsform har betydning for prosessvalget.
2. I Falun benytter en gruva som utjevningssasseng, noe som er en stor fordel for driften av anlegget. På Løkken er det også mulig, men en kjenner ikke vannkvaliteten til det gruvevannet en får dersom en snur vannstrømmen i gruva og f.eks pumper fra Fearnley sjakt til anlegget. Jernet i det fremtidige gruvevannet vil trolig foreligge for en stor del som toverdig slik tilfellet er i dag. En kan imidlertid beregne avrenningsmengder og hva slags vann en får fra overflateavrenningen på Løkken.
3. Gruvevannet i Falun inneholder relativt lite kobber, bare 3,4 tonn/år. På Løkken har en ca. 10 ganger så mye kobber, avhengig av hvor mye overflateavrenning en greier å samle. En gjenviner ikke kobber som metall i Falun. Det inngår i jernhydroksidproduktet som går til pigmentfabrikken.
4. Pigmentfabrikken Falu Rödfärg kunne ta i mot jern/kobber-produktet. I Norge må en vurdere hvilket jernprodukt som er gunstigst å fremstille.
5. En må gjenvinne kobber i metallisk form, eller som kobbersulfat på Løkken.
6. Gruvevannet i Falun inneholder ca 10 ganger så mye sink som på Løkken. Siden sideprosessene bidrar mye til de totale kostnader, blir det et økonomisk spørsmål om en skal gjenvinne sink og aluminium som i Falun eller lage et blandingsprodukt for ekstern viderebehandling. På det nåværende trinn forutsetter vi at sink, aluminium og kadmium gjenvinnes.
7. Uten tiltak for å begrense innlekking av rent overflatevann er vannmengdene på Løkken mer enn dobbelt så store som i Falun. Det er foreløpig usikkert hvor mye rent overflatevann det er

mulig å samle opp og lede bort, noe som vil innvirke på dimensjoneringen av et fullskala anlegg. Det må igangsettes et særskilt prosjekt for å kartlegge grunnvannets bevegelser i gruveområdet på Løkken-siden, med utredning av tiltak for å lede bort rent overvann og oppsamling av mer forurenset drensvann.

8. Det er nødvendig å få en klarhet i hvilke andre tiltak som kan være aktuelle å gjennomføre i gruveområdet på Løkken. Flytting av masser og tildekking er tiltak som har vært utredet. Det bør bringes klarhet i om slike tiltak skal gjennomføres, og i hvilket omfang, for å klarlegge hvordan disse vil påvirke vannmengder og vannets sammensetning.
9. I utgangspunktet kan det se problematisk ut at en ikke kjenner nøyaktig den kjemiske sammensetningen til det vannet et fremtidig renseanlegg skal behandle. For testing av en rense- og gjenvinningsløsning i pilotskala ansees imidlertid dette ikke som et avgjørende problem da renseprosessen uansett må håndtere store variasjoner i vannets sammensetning. I dagens situasjon kan en ta utgangspunkt i de tre hovedkildene: Vann fra Stallgata pumpestasjon (A), drensvann fra Nordre berghald (B), og internt gruvevann i grøft i Gammelgruva (C). Mengden metaller fra sistnevnte kilde vil forbli relativt jevn, mens betydningen av bidragene fra A og B vil øke avhengig av hvor effektiv en gjør oppsamling av forurenset drensvann. Den hydrauliske belastningen fra alle kildene kan reduseres ved å lede bort rent overflatevann. Som støtte for den videre planlegging vil en etter hvert også få bedre data for samlet transport i Raubekken. Pågående program for overvåking av avrenningen vil forbedre datagrunnlaget.

Til tross for en del ulikheter i forhold til situasjonen i Falun mener vi likevel at det er mulig å benytte en ionebrytterprosess på Løkken. I samarbeid med problemeier i Falun og med Recomet AB har vi derfor i det følgende laget et forslag til et prosessopplegg på Løkken og videre prosessutvikling i denne forbindelse.

3.3 Kortfattet beskrivelse av problemstillingene på Løkken

Slik situasjonen er i dag pumpes 350.000 – 700.000 m³ gruvevann ut av gruva gjennom Wallenberg pumpestasjon årlig. I den perioden pumpingen har pågått har det vist seg at pumpekapasiteten har vært tilstrekkelig for å kunne holde vannstanden i gruva. Pumpa gir 90 – 120 m³/h avhengig av vannstanden i gruva. Pumpa løfter vannet ca 125 m for utslipp til Fagerlivatn. I en fremtidig løsning kan en mulighet være å snu vannstrømmen i gruva. Vannet vil da bli pumpet til renseanlegget på Løkkensiden fra for eksempel Fearnley sjakt, sammen med overflateavrenning fra velteområdet på Løkkensiden. Dette vil gi betydelig lavere pumpekostnader. Å bygge et anlegg for behandling av inntil 120 m³/h er teknisk mulig, men det vil være lønnsomt å gjennomføre tiltak for å redusere tilførslene av uforurenset overflatevann til anlegget. Det går inn store mengder uforurenset vann i Fagerliåsen. I tillegg tilføres det en betydelige mengder lite forurenset vann til Fearnley sjakt og til Gammelsjakta. Det er gunstig for virkningsgraden til prosessen å fjerne mest mulig rentvann. Sannsynligvis vil det også være kostnadseffektivt å prioritere oppsamling av forurenset drensvann fra Løkkensiden fremfor å behandle alt gruvevannet. Dersom en velger en slik løsning, kan en tenke seg å samle alt drensvannet i et utvendig fordrøyningsbasseng og lede vann derfra til renseanlegget. Gruvevannet kan tas ut på Løkkensiden ved å drive inn en vannstoll på et passende nivå inn til Fearnley sjakt, eller pumpe vann direkte til avløp fra Fearnley sjakt i perioder når renseanlegget ikke har kapasitet til å behandle alt gruvevannet. Dette er forhold en vil komme tilbake til i senere faser av utredningsprogrammet. Målsettingen med tiltaket er å tilfredsstille de krav SFT har stilt med hensyn til vannkvalitet i Raubekken og i Orkla. Foreløpig anslår vi at et fremtidig anlegg tar sikte på å behandle ca. 40 m³/h (Q_{dim.}).

På Løkkensiden har en 3 hovedkilder for metallavrenning:

- A. Samlet sigevann som samles opp i Stallgata pumpestasjon
- B. Drensvann fra Nordre berghald
- C. Sigevann/gruvevann i grøfter i Gammelgruva

Det er nødvendig å samle opp mer forurenset sigevann ved kildene A og B. Det er spesielt mye sigevann fra Nordre berghald som ikke samles opp. Vannmengdene ved A og B er derfor basert på anslag med bakgrunn i feltmålinger av hva som samles opp i dag (Iversen, 2009). Sigevann som ikke samles opp er lett synlig i terrenget. I tillegg er det en del metallavrenning fra den gamle slamdammen på den andre siden av Raubekken. I dag samler dreneringstiltaket opp ca 50 % av kobberavrenningen fra Løkkensiden. Denne virkningsgraden må økes. Virkningsgraden til renseanlegget kan økes ytterligere ved å pumpe drensvann fra slamdammen i Løkken sentrum fra grunnvannsbrønner nedenfor dammen. Dette er forhold en eventuelt etter hvert kan komme tilbake til senere hvis nødvendig. I tabell 1 er det samlet en del data for de tre hovedkildene på Løkkensiden.

Tabell 1. Maksimale vannmengder og kjemisk sammensetning for de tre hovedkilder

Kilde	Mengde m ³ /år	pH	SO ₄ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Co mg/l	Si mg/l
A	80000	2,5	4400	350	130	150	600	55	47	0,2	7,2	0,5	1,9	59
B	100000	2,4	4600	160	115	130	1100	45	21	0,08	4,0	0,2	2,0	30
C	70000	2,5	14000	280	625	650	2800	190	140	0,55	19	1,2	9,0	36

Det må foretas en spesiering av jerninnholdet over tid. Foreløpige undersøkelser vha red/oks-målinger i inngående vann (stikkprøver) tyder på at jernet foreligger som treverdige.

Med bakgrunn i anslåtte konsentrasjoner og vannmengder som ovenfor har vi beregnet virkningsgraden til en ionebytterprosess som tar sikte på behandling av 265.000 m³/år ($Q_{\text{dim}} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$). Konsentrasjonene i inn- og utgående vann fra anlegget vil være:

Jern, Fe : reduseres fra 1320 til < 5 mg/l
 Kobber, Cu : reduseres fra 91 til < 0,5 mg/l
 Sink, Zn : reduseres fra 64 til < 3 mg/l
 Kadmium, Cd : reduseres fra 0,24 til < 0,05 mg/l
 Nikkel, Ni : reduseres fra 0,59 til < 0,2 mg/l
 Cobolt, Co : reduseres fra 3,7 til < 0,5 mg/l
 Aluminium, Al : reduseres fra 270 til < 10 mg/l

Anlegget vil ikke fjerne kalsium, magnesium, mangan, silisium. Utslipp av disse elementene anses ikke å forårsake problemer i resipienten. De ioner som fjernes vil bli erstattet med natrium- og magnesium-ioner i ionebytterprosessen. Utgående vann fra anlegget vil ha en pH-verdi > 6,5.

I tabell 2 er det gjort et anslag over metallmengdene som et gjenvinningsanlegg vil fjerne.

Tabell 2. Anslag over metallmengder som anlegget tar sikte på å fjerne, og som da kan gjenvinnes.

Gjenvunnet metall:	Jern	Kobber	Aluminium	Sink, kadmium, nikkel, kobolt
Mengde i tonn/år:	400	30	80	25

4. Forslag til prosessløsning på Løkken

I det følgende vil vi gi en kortfattet oversikt over de ulike trinn i et fremtidig behandlingsanlegg på Løkken. Mer detaljerte opplysninger om prosessalternativene som omfatter hovedprosessene og konsentratprosessene er beskrevet av Ruud Gerritsen (2009) i en konfidensiell rapport.

4.1 Hovedprosesser

4.1.1 Trinn 1. Oppsamling, blanding og buffring

Forurenset vann fra de ulike kilder samles, buffres og blandes før det går inn på anlegget. Det foreslås en utvendig buffertank, f.eks den gamle fortykkertanken ved oppredningsverket som har et volum på ca 6000 m³. Blandingen kan gjøres med luft slik at denne også bidrar til oksidasjonen av toverdig jern. Det er mulig at inngående vann på anlegget må forbehandles ved å filtrere bort medfølgende slampartikler. Dette kan f.eks gjøres i et sandfilter.

4.1.2 Trinn 2. Fjerning av jern og kobber

Det foretas deretter en selektiv fjerning av jern- og kobberioner i en kontinuerlig ionebytter. Opptaket skjer ved riktig pH-verdi i surt miljø. Når ionebytteren regenereres, får en et konsentrat som utgjør 7-8 % av inngående vannmengde, dvs konsentratmengden vil bli ca 3 m³/h ved en belastning på 40 m³/h på ionebytteren.

Hovedprosess 2 benytter følgende kjemikalier:

- Hydrogen peroksid (H₂O₂) til oksidasjon av andelen toverdig jern
- Svovelsyre (fortrinnsvis) til regenerering av full ionebytter
- Magnesium- eller natriumhydroksid til pH-regulering
- Vann til vask og rensing av ionebytter. Vaskevann går i retur inn i hovedstrømmen til anlegget

4.1.3 Trinn 3. Fjerning av sink, kadmium, nikkel, kobolt og aluminium

Hovedstrømmen fra prosess 2 går videre til prosess 3. Her er flere alternative delprosesser mulig:

Alt. A. Kontinuerlig ionebytter. Ved riktig pH-verdi tar en ut sink, kadmium, nikkel og kobolt. Mesteparten av aluminiuminnholdet i inngående vann vil også bli tatt opp, samt noe magnesium (Mg) og mangan (Mn). Konsentratmengden fra prosessen vil utgjøre ca 1,5 m³/h som en går videre med for uttak av aluminium og sink vha selektiv felling. Pga de relativt lave sinkmengdene på Løkken i forhold til i Falun er denne løsningen kanskje ikke kostnadmessig optimal.

Alt. B. Selektiv felling. Aluminiumhydroksid felles først ut ved pH 4,8 vha magnesiumhydroksid. Hydroksidproduktet tas ut ved filtrering eller i sentrifuge. Deretter heves pH til ca 8 vha natriumhydroksid og en får en utfelling av sink, kobolt, nikkel, samt noe kadmium. Dette prosessalternativet krever en del plass fordi slammet er voluminøst. På den annen side kreves det mindre kjemikalier enn for ionebytteralternativet. Slammet kan trolig sendes videre til eksternt mottak for videre foredling.

Alt. C. Utfelling av alle metaller. Dersom en hever pH til ca 8 vha. natriumhydroksid får man et produkt som en kan gå videre med for prosessering av aluminium- og sink-produkter. Behandling av hovedstrømmen krever bare ett prosesstrinn, men kjemikalieforbruket vil totalt sett bli høyere pga nødvendig etter-prosessering av slammet.

Alt. D. Selektiv felling – ionebytte. I dette alternativet feller en først ut aluminium selektivt ved pH 4,8 vha tilsetning av magnesiumhydroksid. Filtratet sendes videre til en konvensjonell ionebytter for uttak av sink, kadmium, kobolt og nikkel.

I trinn 3 vil en benytte følgende kjemikalier:

- Svovelsyre (fortrinnsvis) til regenerering av full ionebytter
- Natrium- og/eller magnesiumhydroksid til kondisjonering av ionebytteren
- Vann til vask og rensing av ionebytter. Vaskevannet går tilbake til hovedstrømmen igjen.

Avhengig av tilgang til og kostnader for de nødvendige kjemikalier kan et alternativ være å fjerne aluminium fra hovedstrømmen vha selektiv felling. Dette kan gjøres vha selektiv felling med magnesiumhydroksid ved pH 4,8. Utfelt aluminiumhydroksid-slam tas ut i dekanter-sentrifuge og hovedstrømmen sendes videre i den kontinuerlige ionebytterprosessen. Alternativt kan et samlet metallkonsentrat tas ut ved felling med natriumhydroksid ved pH 8. Slammet kan viderebehandles ved å løse det opp og videre prosesseres til de endelige produkter.

Dersom aluminiuminnholdet er høyt, kan dette alternativet føre til store besparelser i kjemikalieforbruket i den kontinuerlige ionebytterprosessen.

4.1.4 Trinn 4. Avsluttende etterpolering og pH-justering

Avløpet fra siste trinn vil bli pH-justert til $\text{pH} > 6,5$ før det slippes til Raubekken. pH-justeringen kan medføre utfelling av elementer som ikke er fjernet, f.eks aluminium fra trinn 3. Om nødvendig kan det eventuelt foretas en etterpolering vha filtrering.

De to hovedprosessstrinnene 2 og 3 vil produsere konsentratmengder på henholdsvis ca. $3 \text{ m}^3/\text{h}$ jern/kobberkonsentrat og ca. $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ med konsentrat av sink, kadmium, nikkel, kobolt og aluminium. Konsentratene mellomlagres i tanker med volum på $5\text{-}15 \text{ m}^3$ før videre behandling i sideprosessene.

4.1.5 Valg av hovedprosess

Basert på gjennomgangen foran har Recomet AB i sin utredning foreslått følgende hovedprosesser etter den første hovedprosessen, oppsamling, blanding og buffring:

Trinn 2. Fjerning av kobber og jern fra inngående dreinsvann som i avsnitt 4.1.2. Prosessen er mer detaljert beskrevet av Gerritsen (2009).

Trinn 3. Alternativ D-1 Selektiv felling av aluminiumhydroksid som i avsnitt 4.1.3. Prosessen er mer detaljert beskrevet av Gerritsen (2009).

Trinn 3. Alternativ D-2. Påfølgende fjerning av sink, kadmium kobolt og nikkel vha konvensjonell ionebytter som i avsnitt 4.1.3. Prosessen er mer detaljert beskrevet av Gerritsen (2009).

4.2 Behandling av konsentrater

Konsentratene fra de ulike trinnene i hovedprosessen behandles videre i sideprosesser. Disse konsentratprosessene omfatter følgende trinn:

4.2.1 Gjenvinning av kobber ved sementering

Konsentratet fra trinn 2 inneholder oppløste kobber- og jern(III)-sulfater, og utgjør ca. 3 m³/h. Konsentratet tilsettes jernpulver i en fluid-bed-reaktor. Dette er en redoks-prosess der kobber felles ut mens jernet reduseres til Fe(II)-ioner. Kobber-produktet blir forholdsvis urent og vil inneholde omkring 70 % kobber. Produktet er salgbart. Prosessen er mer detaljert beskrevet av Gerritsen (2009).

4.2.2 Gjenvinning av jern

Etter at kobberet er tatt ut kan jernet gjenvinnes som toverdigg jernsulfat som er et salgbart produkt, eller oksideres til treverdigg jern med hydrogenperoksid. Sistnevnte jernløsningen dampes inn til en 40 % jern(III)-sulfatløsning som er et salgbart produkt. Det kan også være mulig å produsere jernklorid dersom regenerering av ionebytteren foretas med saltsyre i stedet for svovelsyre. Markedsundersøkelser vil være avgjørende for produktvalget. Prosessen er mer detaljert beskrevet av Gerritsen (2009).

4.2.3 Gjenvinning av aluminium

Utfellingen fra trinn 3, alt. D-1 inneholder et urent aluminiumhydroksid som må renses videre til et salgbart produkt. Gerritsen (2009) foreslår en rekke vasketrinn i surt miljø, samt en fjerning av sink fra vaskeløsningene ved hjelp av ionebytter. Intet går tapt fra prosessen idet vaskeløsningene føres tilbake i prosessen. Opplegget må tilpasses produktet som ønskes fremstilt og de spesifikasjoner mottakeren ønsker.

4.2.4 Gjenvinning av sink/kadmium

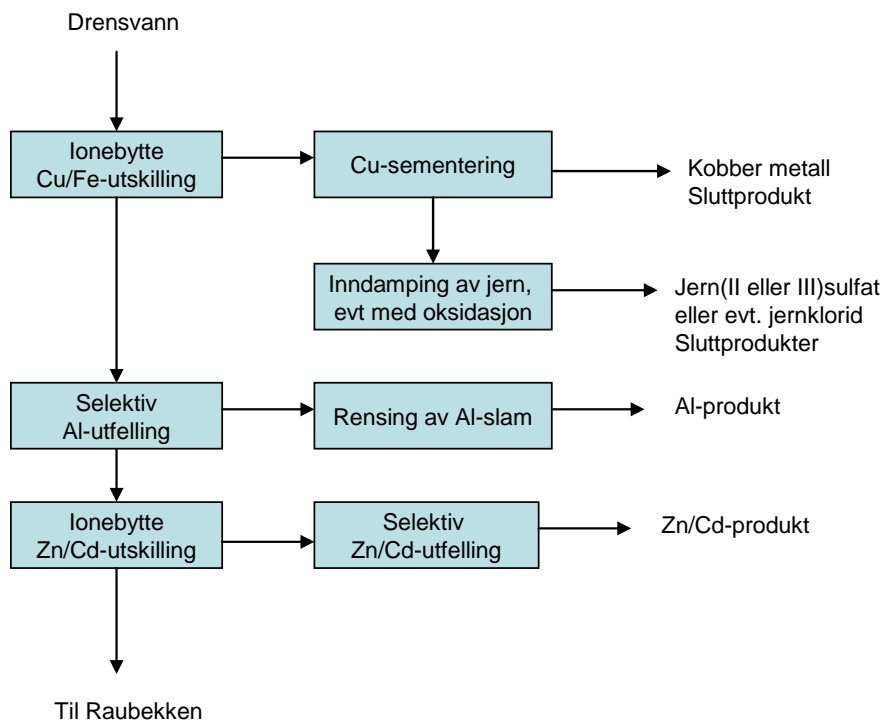
Konsentratet fra trinn 3, alt. D-2 behandles videre ved at sinkhydroksid felles ut ved tilsetning av natronlut til pH 8-9. Produktet vil være noe forurenset av aluminium, kadmium og mangan. En anslår at ca 60 % av kadmiummengden i ionebytterkonsentratet vil følge med i sinkproduktet som selges videre til et sinksmelteverk for videre foredling. Produktet pakkes i "big-bags" etter avvanning.

4.3 Kjemikalieforbruk

Figur 3 viser en forenklet prinsippskisse av prosessforslaget med hovedprosesser og konsentratprosesser. I tabell 3 er gjort en beregning av kjemikalieforbruket ved de ulike prosesstrinnene basert på det datagrunnlaget en har for antatt belastning på anlegget.

Tabell 3. Anslått kjemikalieforbruk ved de ulike prosesstrinn (Gerritsen, 2009).

Prosesstrinn	Cu/Fe-utskilling	Al-utfelling	Zn/Cd-utskilling	Cu-sementering Fe-oksidasjon og fordampning	Zn/Cd-utfelling	Totalt
Kjemikalie	Tonn/år	Tonn/år	Tonn/år	Tonn/år	Tonn/år	Tonn/år
Jernpulver				300		300
H ₂ O ₂ 50 %	180			470		650
H ₂ SO ₄ 96 %	1500		210	690		2400
MgO		150				150
NaOH 50 %	1700		300		100	210



Figur 3. Prosessforslag for Løkken gruve (Recomet AB). Prinsippskisse.

5. Pilottesting og testprogram

Før en velger et pilotprogram, bør en beskrive hovedlinjene i behandlingsprosessen. Et forslag til prosess er beskrevet i kapittel 4. Etter Recomets oppfatning er erfaringene fra bruk av ionebyttere så vidt gode at en kan beskrive en prosess i detaljer forutsatt at en har tilfredsstillende data for kjemisk sammensetning og mengde av det vannet en skal behandle. Recomet har gitt en mer detaljert beskrivelse av sine krav i forbindelse med de videre undersøkelser i pilotskala i sin konfidenselle rapport.

Når det gjelder sideprosessene, behandlingen av konsentratene fra hovedprosessen, er det nødvendig med ytterligere undersøkelser bl.a av markedsmessige forhold da disse har stor betydning for valg av prosess. I det følgende vil en gjøre en kortfattet gjennomgang av de videre trinn i neste forprosjekt.

5.1 Markedsundersøkelser – hvilke produkter skal renseanlegget fremstille?

For en endelig beslutning om hvilke prosessalternativer en skal teste i pilotskala er det tilrådelig å gjennomføre en undersøkelse som viser hvilke salgbare produkter som kan være aktuelle å produsere fra metaller i gruvevannet fra Løkken, og i hvilke mengder. Dersom noe må deponeres, må dette også klargjøres. Salgbare produkter vil kunne redusere driftskostnadene for renseanlegget, men inntektene ved salg må vurderes mot kostnaden ved å ta ut de salgbare metallene fra gruvevannet. Likeledes gjennomføres det også en kostnadsanalyse av de ulike kjemikalier som er nødvendige i de aktuelle prosessalternativ. Det kan nevnes at salget av metaller/metallholdige løsninger utgjør årlig 7-9 mill SEK ved renseanlegget i Falun. Priser og kostnader ved Løkken kan avvike noe i forhold til Falun

En slik markedsundersøkelse vil ha størst betydning for valg av konsentratprosesser, og mindre for valg av hovedprosess. Spesielt er det viktig med en markedsundersøkelse knyttet til jern- og aluminiumsprodukter. Nedenfor er det gitt en kort oppsummering av produkttyper og noen mulige markeder:

- Verdien av kobberproduktet ved sementering er betydelig. Produktet er konsentrert og kan fraktes over ganske store avstander uten å miste mye verdi. Det er også mulig å produsere rent kobber vha elektrolyse.
- Jernprodukter. Jernsulfat er lettest å produsere. Salgsmuligheter innenfor en radius på ca. 500 km må finnes for å få lønnsomhet i produksjonen. Dersom avstanden blir større vil transportkostnadene bli for høye. Derfor er det ganske avgjørende at det finnes mottakere i nærområdet. Jernklorid kan produseres som alternativ til jernsulfat ved regenerering av ionebyttteren med saltsyre i stedet for svovelsyre. Jernklorid blir i større utstrekning benyttet i kjemiske renseanlegg for kommunalt avløpsvann. Det finnes flere mulige kunder i Løkkenområdet. Det kan bli høyere investeringskostnader for jernkloridproduksjon da løsningen er svært korrosiv overfor metaller. Produksjon av krystaller av jernsulfat er en mulighet, men vil kreve høyere investeringer og driftskostnader. Produktet kan transporteres over store avstander på grunn av den konsentrerte formen. Da dette ikke er et ferdig produkt, men råstoff for jernsulfatproduksjon, vil prisen være relativt lav.
- Aluminiumsprodukter. Aluminiumhydroksidsulfat vil være letteste å produsere. Det vil inneholde 20-22% aluminium og kan bli solgt som en koagulant innen vann- og avløpsvannbehandling. Salgsprisen vil være relativt lav. Aluminiumsulfatløsning med 5-6%

aluminium kan bli produsert, men med relativt høye investerings- og driftskostnader. Salgsmuligheter innenfor en radius på ca. 250 km må finnes for å få lønnsomhet i produksjonen, da løsningen er lite konsentrert.

- Sinkprodukter. Da mengden med sink er relativt liten vil den eneste muligheten være å produsere sinkhydrosulfat i form av filterkake. Dette produktet vil sannsynligvis ha null verdi, og transport over 500 km bør derfor unngås.

Som det fremgår er det mange forhold som spiller inn når det gjelder valg av konsentratprosesser, inkludert produktets salgspris, produktets vekt og volum, avstand til marked, og selvfølgelig investerings- og driftskostnader knyttet til framstilling av produktet.

Som nevnt er det viktigst å undersøke markedsmuligheter med hensyn til jern- og aluminiumsprodukter, som vil være salgbare som koagulanter innen vann- og avløpsrensing. En mulig løsning kan være å alliere seg med en eksisterende leverandør av slike produkter. Det finnes flere norske og svenske. I Falun har man etablert en langsiktig avtale med Kemira.

5.2 Undersøkelser i pilotskala

I det følgende er beskrevet hovedtrekkene i et forprosjekt som tar sikte på å bekrefte en renseprosess for behandling av drens vann på Løkken

Hovedprosessen på Løkken må være i stand til å håndtere variasjoner i vannets sammensetning innen et ganske stort område. Variasjonene i vannets sammensetning vil som tidligere nevnt være avhengig av mange faktorer, inkludert mengde fremmedvann som trenger inn, men også prosesser som foregår internt i gruva. Endringer vil derfor pågå over svært lang tid etter som tiltak iverksettes og prosesser endres, og et fullskala anlegg må derfor dimensjoneres fleksibelt for å håndtere slike endringer uten for store reinvesteringer etter kort tids drift. Pilotanlegget må derfor testes med ulike vannkvaliteter for å vise at det kan håndtere variasjonene og produsere en utløpskvalitet som er i henhold til kravene.

Etter vår mening kan pilottesting startes umiddelbart. Det er viktig at pilotprosessen kan bli tilført vann med tilnærmet lik sammensetning i en 3-4 ukers periode for å unngå høye analysekostnader og for å unngå driftsendringer. I en fullskala prosess vil vannkvaliteten måles hver time, og det vil bli gjort justeringer i forhold til vannkvalitet. Et slikt "feed-back" system vil ikke være aktivt i pilotskala. Ved å lage til vann i en tank på 10-15 m³, vil man ha et vann med stabil sammensetning for 3-4 ukers drift i pilotanlegget.

5.2.1 Valg av hovedprosess

Med bakgrunn i den foreslåtte prosessen i kapittel 4 vil en definere hovedprosessen. Masse- og materialbalanseberegninger utføres slik at en kan anslå forbruket av de nødvendige kjemikalier og kan beregne volumer og kjemisk sammensetning til avløp til de videre trinn i prosessen. Med utgangspunkt i disse beregningene vil en foreslå sideprosessene som skal produsere de ønskede produkter som skal omsettes i markedet. Her vil det dreie seg om flere alternative prosesser avhengig av resultatene fra markedsundersøkelsene.

Når det gjelder hovedprosessen vil en tegne flow-diagram, beskrive den viktigste utrustning som inngår som rør, ventiler og instrumentering. Senere kan flow-diagrammet lett utvides til en deleliste på et senere tidspunkt slik at en kan beregne investeringskostnader mer eksakt.

5.2.2 Beskrivelse av pilotanlegg

Etter å ha drøftet problemstillingene med problemeier i Falun og med Recomet AB har vi kommet til at det ikke er aktuelt å bygge et pilotanlegg for å kjøre hele prosessen med alle enhetsprosesser som en

kontinuerlig prosess. Skulle en gjøre det, vil anlegget bli forholdsvis stort og derved kostbart. Dette er heller ikke nødvendig for å kunne planlegge et helskala anlegg og det ble heller ikke gjort i Falun. Årsaken til at et slikt pilotanlegg ville bli så stort har sammenheng med at vannstrømmen i hovedprosessen er mye større enn i sideprosessene. Etter Recomets oppfatning er det strengt tatt ikke nødvendig å kjøre hovedprosessene i pilot da man kjenner designkriterier og drift. Man hevder å ha tilstrekkelig erfaringsgrunnlag til å kunne gå rett på prosjektering dersom en har underlagsmateriale knyttet til vannmengder og konsentrasjoner. I dag er dette underlaget ikke godt nok så det vil være helt nødvendig å kartlegge vannkvalitet og inngående vannmengder bedre for å kunne planlegge det første trinnet i full skala.

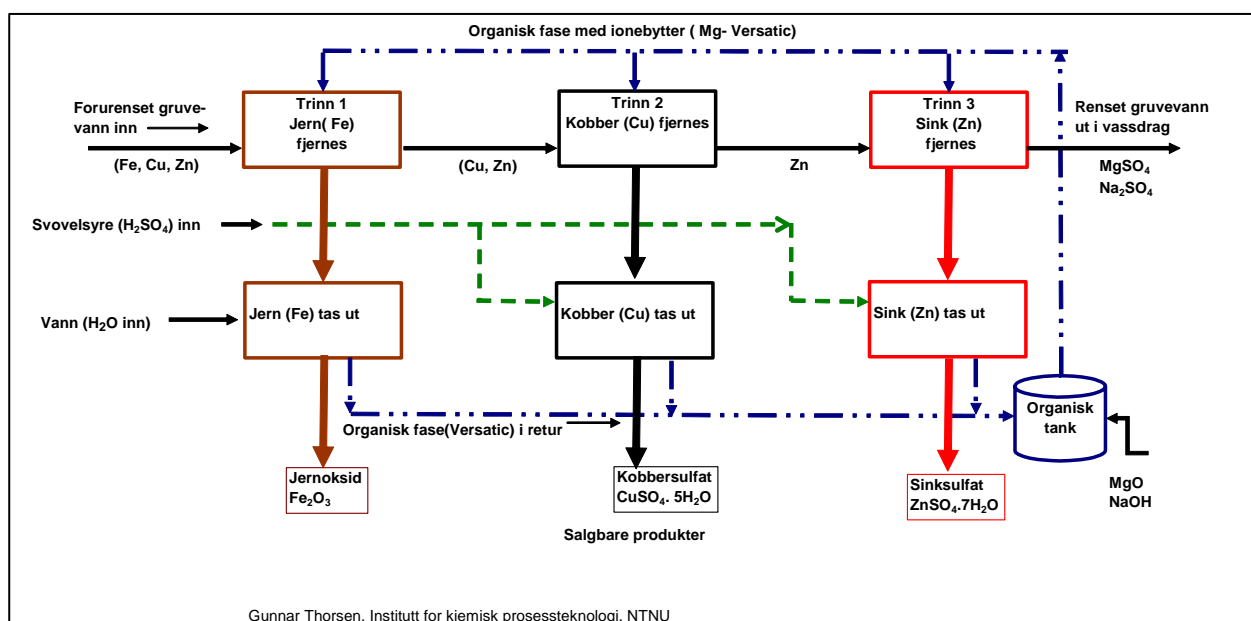
Med bakgrunn i de kostnadene og usikkerhetene som er knyttet til bygging og drifting av et fullskala anlegg på Løkken mener vi likevel at det er riktig å teste hovedprosessene i pilotskala. Dette for å dokumentere prosessene og for å styrke grunnlaget for design av et fullskala anlegg. Det tas sikte på å vise hovedprosessene med to aktuelle vanntyper som er forskjellige med hensyn på konsentrasjonsnivåer, sigevannet fra Nordre berghald og drensvann i grøftene i Gammelgruva..

For å teste sideprosessene lages syntetiske løsninger med bakgrunn i analysedata for utgående vann fra hovedprosessene. Det er trolig tilstrekkelig plass i Gammelgruva ved Fearnley sjakt for den utrustningen som ble benyttet i Falun for slike tester. Endelig standpunkt til dette vil bli tatt i samråd med Recomet AB.

5.2.3 Alternative trinn i hovedprosess

Foruten vannmengdene er de viktigste forskjellene mellom forholdene i Falun og på Løkken jernets oksidasjonstrinn og at det er ca 10 ganger så mye kobber i samlet avløp på Løkken.

Dersom markedsundersøkelsen viser at det kan være fordelaktig å produsere jernoksid og et renere kobberprodukt, kan en se nærmere på en alternativ prosess for gjenvinning av jern. Prosessen benytter seg av flytende ionebytter og er testet i laboratorieskala og publisert i et doktorgradsarbeid utført ved NTNU. En forenklet prinsippskisse av prosessen er gitt i figur 4.



Figur 4. Prinsippskisse for en prosess med flytende ionebytter. Kilde: Gunnar Thorsen. Inst. for kjemisk prosesseteknologi, NTNU

En tenker seg primært at kun prosessens 1. trinn benyttes og at den videre hovedprosessen blir som foreslått i avsnitt 3.4, bortsett fra at uttaket av jern med følgende sideprosess delvis bortfaller.

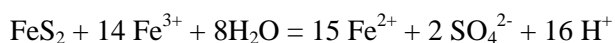
Noen av fordelene med prosessen:

- Enkelt uttak av jern som oksid vha filtrering/avvanning
- Muliggjør produksjon av et kobberprodukt med høyere verdi enten som kobbersulfat eller metallisk kobber produsert lokalt ved elektrolyse dersom dette er lønnsomt
- Sparer kjemikalier samt faste ionebyttere siden neste trinn i prosessen skal bare ta ut kobber.

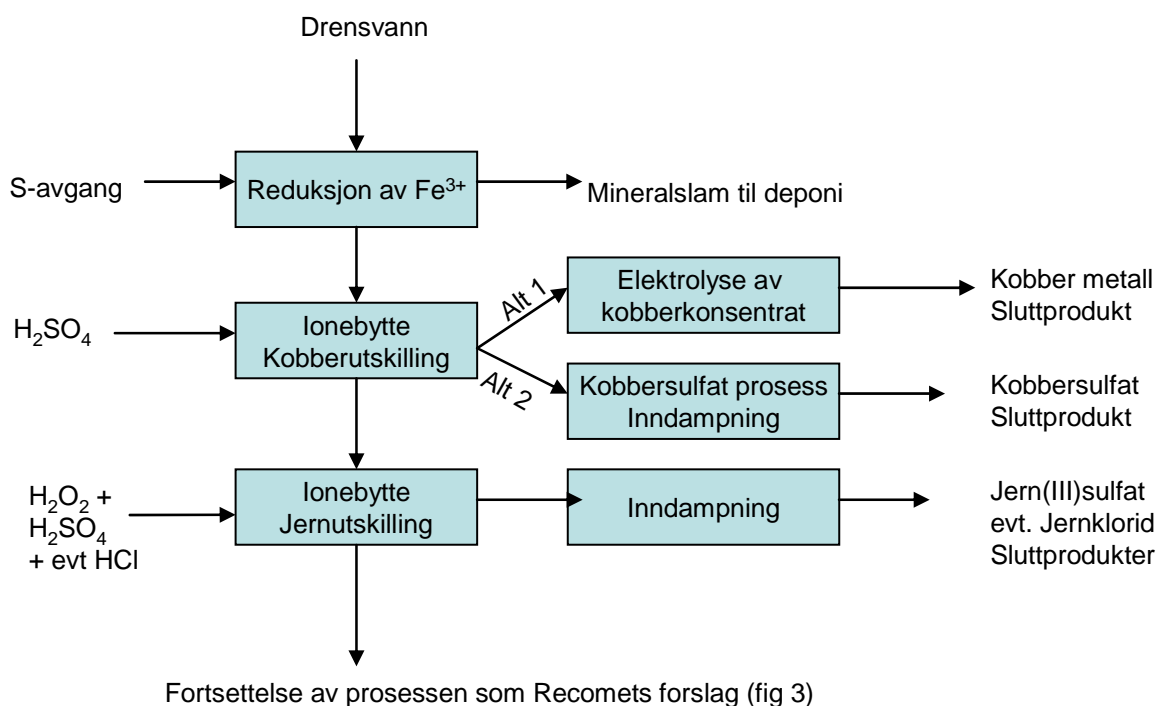
På den annen side vil et nytt prosesstrinn også innebære nye kostnader til prosessutrustning og arealer. Ionebytteren er noe løselig i vann. Det må derfor vurderes hva dette betyr i miljøsammenheng.

Markeds- og kostnadsanalysen vil derfor være avgjørende om en skal velge en slikt alternativ. På det nåværende tidspunkt bør prosessen testes i pilotskala før en eventuelt går videre med denne.

Et annet alternativ som er tenkbart er å redusere alt jernet i sigevannet til toverdigg. Dette kan gjøres ved å la vannet passere gjennom svovelkis. Det er denne prosessen som pågår i den vannfylte Wallenberg gruve i dag, samt i den vannfylte Falu gruve:



Som svovelkiskilde kan en benytte avgangen i Bjønndalsdammen som inneholder ca 35 % S. Prosessen er en effektiv måte å skille jern og kobber på. Dersom en velger denne prosessen som 1. trinn, vil de øvrige trinn bli identiske med prosessen som kjøres i Falun i dag (figur 1), bortsett fra at en bare tar ut kobber i det første ionebyttertrinnet. Dersom en skal behandle ca 400 tonn jern i året fra drenevannet vil det gå med størrelsesorden 100 tonn avgang fra deponiet, noe som betyr at man har "råstoff" for et svært langt tidsperspektiv. Figur 5 viser prinsippet for en prosess der en først reduserer jernet til toverdigg.



Figur 5. Forslag til prosessløsning der en først reduserer alt jern til toverdigg

Det som taler mot en slik løsning kan være av prinsipiell art. Deponiet utgjør intet miljøproblem i dag slik at det kan være prinsipielle grunner til ikke å røre deponiet. Dersom en vil velge å se mer på denne løsningen, vil også analyse av kostnader og inntekter være avgjørende. Man må også være klar over at det vil bli avfall fra denne utlutningsprosessen. Gråberginnholdet i avgangen må deponeres. På den annen side vil en kunne ta ut metallinnholdet i avgangen. Prosessen er testet som en kontinuerlig prosess i laboratorieskala i et tidligere prosjekt der en tok sikte på å vise den prosessen som pågår i Wallenberg gruve (Håøya et al, 1996).

En slik utlutningsprosess vil produsere et vann med pH-verdi omkring 2,0-2,5. I dette området vil toverdige jern være stabilt slik at en ikke trenger å ekskludere luft for å forhindre oksidasjon av jernet. Prosessen muliggjør uttak av forholdsvis rent kobbersulfat eller alternativt metallisk kobber. Innkjøp av jernpulver til sementeringsprosessen blir heller ikke nødvendig. En bruker lokale "råstoffer" i stedet. Innkjøp av jernpulver til den prosessen som er foreslått av Recomet vil imidlertid neppe utgjøre noen stor kjemikaliekostnad.

Rent miljømessig hadde det vært en fordel å benytte slammet fra dammen i Løkken sentrum som "råstoff". Med en slik løsning vil en over tid fjerne dammen og dermed denne forurensningskilden. Dammen tilhører imidlertid en annen grunneier og omfattes ikke av de påleggene som SFT har gitt.

Pilotforsøket utføres som kolonneforsøk. Trolig må en blande inn noe Leca-kuler for å øke permeabiliteten. Redusjonsprosessen følges ved overvåking av redokspotensiale og pH. Ut fra analyse av Fe^{3+} og redokspotensiale avgjøres når det blir gjennombrudd av Fe^{3+} og kolonnen må byttes. Det bestemmes også hvor stort restsulfidinnholdet i kolonnen da er. Målsettingen med pilottesten er å ha grunnlag for dimensjonering av en helskala kolonne.

5.3 Feltundersøkelser

5.3.1 Lokalisering av pilotanlegg

Etter å ha sett det utstyret som er benyttet for testing i pilotskala i Falun har vi vurdert det slik at man vil ha tilstrekkelig plass til å gjennomføre forsøkene inne i Gammelgruva i sidestollen inn til Fearnley sjakt. Sannsynligvis er det tilstrekkelig takhøyde for ionebytterkolonnene (ca 3 m). I forhold til å bygge opp noe utenfor, evt i det tidligere oppredningsverket, vil en sannsynligvis spare betydelige midler ved å gjøre forsøkene i Gammelgruva. En har her tilgang til aktuelle vanntyper. Man har tilgjengelig ferskvann og avløp til sjakten. Vi forutsetter at dette ikke lager problemer for museet. En annen fordel er at man kan arbeide hele året uten opplegg for og kostnader til oppvarming. Det er mulig at en må sette opp en kontor-/laboratoriebrakke utenfor Gammelgruva.

Endelig stilling til denne lokaliseringen vil bli tatt i samråd med Recomet AB som for øvrig også har spesifisert kravene nærmere i sin konfidensielle rapport-

5.3.2 Oppsamling av vann til pilotforsøk

Det er relativt enkel tilgang til de aktuelle vanntyper som sigevann fra Nordre berghald og vann i grøft i Gammelgruva. Avstanden er kort til lokaliteten der forsøksvannet tas ut.

5.3.3 Vannkvalitet – avrenningsmengder

Det foreligger mye data for hvordan vannkvaliteten har utviklet seg over tid ved de tre prøvetakingsstasjonene på Løkkensiden. En har imidlertid mangelfulle opplysninger om hva som skjer under de kraftige støtbelastningene som periodevis forekommer når det er mye nedbør og spesielt i episoder med nedbør i form av regn på snødekkede avfallstipper. Av hensyn til dimensjoneringen av et

helskala anlegg er denne kartleggingen viktig. En del støtbelastninger kan det nok kompenseres for ved å ta i bruk fortykkertanken ved oppredningsverket som utjevningstank, men det er ikke sikkert at denne alltid er stor nok. Videre studier av flomvannmengdene vil gi mer informasjon om dette. Det er derfor viktig å fortsette målingene av inngående vannmengder til gruva helt til anlegget skal prosjekteres, dette for å ha best mulig datagrunnlag.

Når det gjelder den videre kartlegging av vannkvalitet og avrenningsmengder, er det kanskje mest praktisk at dette gjøres innenfor det løpende kartleggingsprogram for området eventuelt med en supplering av dette. Logging av f.eks konduktivitet og evt. redoks-potensiale i inngående dremsvann kan trolig bidra til å gi mer informasjon om avrenningsmengder under støtbelastninger, samt innhold av toverdigg jern. En bør likevel vurdere å supplere prøvetakingsprogrammet noe.

Når en gjennomfører tiltak for å øke effektiviteten til oppsamling av dremsvann, vil dette ikke ha så stor betydning for prosessopplegget i pilotforsøkene. Utvikling av prosessen i pilotskala vil derfor ikke være avhengig av disse arbeidene. Det kan likevel være en fordel at arbeidene med kartlegging av avrenningsforhold løper parallelt med prosessutviklingen.

Dersom en til slutt tar sikte på å stoppe Wallenberg pumpestasjon og tar vannet ut på Løkkensiden, er det i dag ikke mulig å si noe om hva slags vannkvalitet en vil få i det nye utløpet. Vi kan derfor heller ikke si noe om hvilke konsekvenser det vil ha for prosessen å ta dette vannet inn i anlegget. Sannsynligvis vil dette vannet inneholde jern i toverdigg form som for utgående vann i dag ved Wallenberg pumpestasjon. Prosessen en utvikler må derfor ta høyde for at en skal oksidere toverdigg jern. Som nevnt vil det være mulig å redusere alt jernet til toverdigg før en går videre i prosessen. Før en gjør slike prosessvalg må en også vurdere kostnadsbildet. En skal også ta hensyn til at en skal finne en optimal løsning mht kostnader.

Slik situasjonen ser ut i dag vil det neppe være aktuelt å bygge et anlegg for behandling av dagens gruvevannsmengder, opp til 120 m³/h. Det vil kanskje være mest kostnadseffektivt å prioritere oppsamlingsgraden på Løkkensiden fremfor å bygge et så stort anlegg med sikte på å behandle alt vannet, både forurenset overflatevann og gruvevann. Vi antar da at det fremtidige gruvevannet vil bidra med vesentlig mindre metaller enn hva sivevannet på Løkkensiden bidrar med. En skal imidlertid forholde seg til SFTs krav mht vannkvalitet i Raubekken og Orkla. Vurderinger som tar sikte på å fjerne uforurenset vann i gruveområdet gjøres parallelt med pilotforsøk og videre prosessutvikling og inngår ikke som en del av våre foreslåtte arbeider når det gjelder testing i pilotskala.

5.3.4 Analysebehov

Under testene på pilotanlegget vil det bli behov for raske analyser. I Falun hadde en kort vei til nærmeste laboratorium ved at forskningssenteret til Stora Enso lå i nærheten og kunne analysere prøver vha ICP-teknikk umiddelbart. På Løkken må vi sannsynligvis gjøre avtale med et laboratorium i Trondheim. Dette må avtales nærmere både mht opplegg og kostnader. Innkjøp av en brukt ICP for raske analyser på stedet kan være et alternativ som bør vurderes.

5.4 Plan for gjennomføring

Med bakgrunn i de vurderinger som er gjort foran vil vi foreslå følgende tema som et pilotforsøk skal behandle:

5.4.1 Markedsundersøkelse

Prosjektet starter opp med en markedsundersøkelse Det er naturlig at en starter med denne. Dette har sammenheng med at opplysningene er nødvendige for å ta stilling til et optimalt prosessvalg som en deretter skal teste i pilotopplegget. Markedsundersøkelsen kan igangsettes umiddelbart eller så snart det er gitt klarsignal for at en skal utrede rensalternativet nærmere. Undersøkelsen kan utføres som et

separat delprosjekt. Undersøkelsen omfatter en vurdering av hvilke produkter som det er mest gunstig å produsere i Norge i et fremtidig anlegg på Løkken. Det gis også en oversikt over kjemikaliekostnadene ved de ulike prosessalternativene.

5.4.2 Prosessalternativ – reduksjon av alt jern til toverdige

Resultatene fra markedsundersøkelsen vil være bestemmende for om dette alternativet er aktuelt. Reduksjonen foretas vha avgang fra Bjønndalsdammen. Denne delprosessen muliggjør et separat prosesstrinn der en kan ta ut et forholdsvis rent kobberkonsentrat vha ionebytter da toverdige jern ikke tas opp av ionebytteren ved de pH-verdier en har her. Det må foretas en vurdering av best egnet teknisk løsning for å foreta selve reduksjonen i pilotskala.

Prosessvalget innebærer at etter at en har tatt ut kobberet må en oksidere det toverdige jernet med peroksid og ta det ut på en ny ionebytter. En vil derved få et forholdsvis rent jernprodukt, enten som ferriklorid eller ferrisulfat. Prosessen forløper videre i henhold til Recomets forslag. I samarbeid med oppdragsgiver gjøres det først en vurdering av om dette alternativet er ønskelig før en utarbeider et mer detaljert testprogram for dette alternativet.

5.4.3 Prosessalternativ – test av alternativ ionebytterprosess

Sigevannet på Løkken inneholder mye mer kobber enn i Falun der en ikke tar ut kobberet separat idet det ikke er nødvendig for det pigmentproduktet som skal produseres. På Løkken må vi ta ut kobberet. Prosessforslaget til Recomet innebærer at en tar ut kobberet sammen med treverdige jern og tar ut kobberet igjen i neste trinn ved sementering på jernpulver. Dette vil gi et forholdsvis urent kobberprodukt (85 %) med en del jern i. En vil bli kvitt produktet, men prisen en får for det er foreløpig ukjent. Grunnen til at Recomet har valgt denne løsningen er at med den faste ionebytteren en har valgt trolig ikke greier å skille kobber fra treverdige jern i tilstrekkelig grad.

En flytende ionebytterprosess kan være et alternativ av to grunner som en må teste i pilotskala:

1. Kan kanskje skille treverdige jern og kobber bedre?
2. Vil produsere jernoksid direkte når ionebytteren tømmes. Kanskje en prismessig fordel å produsere jernoksid i forhold til jernsulfat/jernklorid?

Resultatene fra testene vurderes også med hensyn til kostnader, samt eventuelle miljømessige ulemper. Det er et krav at en også finne en løsning som er kostnadmessig optimal og som er driftssikker.

5.4.4 Prosessalternativ etter Recomets forslag

I Recomets forslag gjøres det en demonstrasjon av hovedprosessene i selve ionebytterprosessene. Videre testes de ulike sideprosessene. Recomet AB har laget et separat programforslag for dette i sin konfidensielle rapport.

5.4.5 Tidsplan

Markedsundersøkelsen kan startes omgående så snart klarsignal er gitt. Selv om Recomet har beregnet kort tid til sine tester (4 måneder), vil vi anta at det totalt bør avsettes 10-12 måneder for pilottesting. Oppstart kan skje i inneværende år hvis ønskelig. I Falun brukte en relativt lang tid på pilotforsøkene til tross for at en hadde eksakte data for råvannets sammensetning og mengde. På Løkken er dette ikke tilfelle. Dersom det skulle dukke opp uforutsette problemstillinger i løpet av den perioden en gjør forsøkene, vil vi eventuelt komme tilbake til det senere. Slik vi ser det i dag mener vi at etter å ha gjennomført prosjektet vil ha grunnlag for å bekrefte en prosess. En må imidlertid arbeide mer med dimensjoneringsgrunnlaget i tiden fram til en skal begynne å prosjektere et permanent anlegg.

6. Samlet vurdering

I denne utredningen har en tatt sikte på å vurdere hvilke pilotforsøk som det er aktuelt å gjennomføre dersom en skal benytte teknologien som er anvendt i Falun for behandling av gruvevann/drensvann på Løkken. Forholdene i Falun adskiller seg vesentlig fra situasjonen på Løkken på flere punkter. Dette har betydning for valg av prosess. Den valgte prosessen består av flere renseprosesser som er koblet sammen. Dette stiller en rekke krav til valg av enkeltprosesser og til kostnader, samt at de enkelte prosesser skal være godt tilpasset hverandre. I utgangspunktet er det fullt mulig å bygge et rense- og gjenvinningsanlegg på Løkken ved å benytte tilsvarende teknologi som i Falun. Når vi i vårt forslag har foreslått en samlet prosess som vi skal testes i pilotskala, har vi tatt hensyn til følgende forhold:

1. Kobbermengdene er ca 10 ganger større på Løkken enn i Falun, noe som har betydning for prosessvalget.
2. I Falun tar en ikke ut kobber idet det er akseptabelt å la kobberet følge med i pigmentproduktet som produseres i anlegget. På Løkken må vi ta ut kobberet. Foreløpig har vi foreslått en klassisk prosess for gjenvinning av kobber metall, gjenvinning ved sementering på jernstøv. Kobberet vil inneholde en del jern, men det er mulig å få solgt produktet. Det vil være mulig å produsere et renere kobber, men kostnadene kan kanskje bli høyere enn ved sementeringsprosessen. Det er foreslått en alternativ prosess for produksjon av rent kobber som vi synes krever en mer prinsipiell avklaring før en eventuelt går videre med den for testing i pilotskala.
3. I vårt prosessforslag har en i tillegg til vurdering av prosess i forhold til kjemisk sammensetning av råvannet også vurdert prosess i forhold til materialstrømmer og hvilken prosessløsning som er økonomisk optimal. Vi har derfor foreslått en del endringer i forhold til prosessen som er benyttet i Falun. Dette gjelder spesielt gjenvinning av sink/kadmium. Mengdene er mye mindre på Løkken. Vi har derfor forenklet gjenvinningsprosessen en del ved å produsere et hydroksidkonsentrat for videre foredling ved smelteverk. I Falun tas ut kadmium metall ved sementering på sinkpulver.
4. Forholdene i Norge kan være en del forskjellige fra Sverige med hensyn til kjemikaliekostnader, avsetning av produkter osv. Da slike forhold også har betydning for prosessvalget, foreslås det at en i de videre utredninger først starter med å gjennomføre en markedsanalyse. Denne kan startes så snart som mulig.

I denne rapporten presenteres et budsjettmessig overslag av kostnader knyttet til etablering av et pilotanlegg og gjennomføring av pilotforsøk. Det knytter seg usikkerheter til dette budsjettet som i første rekke har sammenheng med en del praktiske forhold som har med lokalisering og arbeidsforhold å gjøre. I vårt forslag har vi tatt sikte på å kunne gjøre forsøkene inne i Gammelgruva ved Fearnley sjakt. Dette må vurderes nærmere ved en befaring og i samarbeid med Orkla Industrimuseum. Det er ikke så mye tilgjengelig plass på stedet, noe som gjør at en kanskje må strekke forsøkene noe ut i tid ved at enkelte tester må gjøres suksessivt og ikke parallelt. Det kan bli dårlig plass dersom en skal gjøre mange ting samtidig. Dette må avklares på et senere tidspunkt. Budsjettet som er foreslått omfatter kun de forsøkene som er foreslått av Recomet.

Etter å ha gjennomgått mulige prosessalternativer og tatt utgangspunkt i de vanntypene vi har på Løkken, vil vi konkludere med at det er fullt mulig å legge en rense- og gjenvinningsprosess til grunn for behandling av drensvann på Løkken der en tar i bruk tilsvarende teknologi som er benyttet i Falun. En må imidlertid foreta noen prosessmessige tilpasninger. Siden en også skal komme fram til en kostnadmessig optimal og driftssikker prosess, må en gjennomføre en rekke forsøk i pilotskala før en kan bekrefte prosessen. Det foreliggende forslag tar sikte på å gjøre dette. Vi har anslått av forsøkene vil strekke seg over en tidsperiode på 10-12 måneder.

7. Kostnader og finansiering

I tabellen under er det gitt et foreløpig kostnadsestimat for etablering av et lite pilotanlegg og gjennomføring av pilotforsøk i henhold til forsøksopplegget som er foreslått av Recomet. Som tidligere nevnt knytter det seg en del usikkerheter til overslaget. Etter å ha foretatt en befaring og vurdert alle forhold vil en etter avtale med oppdragsgiver revidere budsjettet.

Leie av pilotanlegg fra Recomet	eur 64200	kr.	580.000
Installasjonskostnader		kr.	100.000
Konsulentbistand Recomet AB		kr.	500.000
Tilretteleggelse, befaring, planlegging		kr.	200.000
Prosjektleder; NIVA. Arbeidskostnader 8 mnd		kr.	570.000
Fast person til driften (student eller lokal person)		kr.	400.000
Analysekostnader (ICP-teknikk)		kr.	300.000
Overnatting		kr.	35.000
Kost		kr.	45.000
Reiser, kjøring med NIVA-bil		kr.	120.000
Adm., kvalitetskontroll		kr.	200.000
Instrumentering, IT-opplegg		kr.	300.000
Forbruksmateriell, el. mv		kr.	50.000
Leie av kontor-/lab.-container		kr.	100.000
Rapportering		kr.	250.000
Markedsundersøkelse		kr.	250.000
<hr/>			
Samlede kostnader ekskl mva		kr.	4.000.000

Når det gjelder finansiering av pilotanlegget og det foreslåtte forsøksopplegget vil vi gjerne diskutere dette nærmere med Bergvesenet. Vi er i utgangspunktet åpne for å vurdere eksterne finansieringskilder for et slikt prosjekt. Noen mulige samarbeidsformer er nevnt nedenfor uten at disse er utredet nærmere på det nåværende tidspunkt:

- Knytte prosjektet til faglig virksomhet ved Institutt for geologi og bergteknikk og Institutt for kjemisk prosess teknologi ved NTNU i Trondheim. Pilotanlegget kunne etableres som et permanent forsøks- og demonstrasjonsanlegg for kompetanseheving og forskning innen gruveavrenningsproblematikk og gjenvinningsprosesser. Det ville være naturlig å knytte master- og dr.gradsarbeider til gjennomføringen av pilotforsøkene.
- Innlede samarbeid med norske/nordiske bedrifter for å utvikle koagulanter for vann- og avløpsrensing basert på gjenvunnet aluminium- og jernprodukter fra renseanlegget. Samarbeid med Innovasjon Norge om utvikling og salg av slike vannbehandlingsprodukter ville være naturlig.
- Etablere produksjon av kobberprodukter/souvenirer fra kobberet som gjenvinnes i renseprosessen. Dette kan gjøres i samarbeid med lokale næringsinteresser og Orkla Industrimuseum.

8. Referanser

Gerritsen, Ruud. 2009. Draft Report. Recovery of Metals from Løkken Mine Water. Pre-study Results. Recomet. Project no: 9332. Report no.: RP295103/9332/RGE. 51 pp.

Håøya, A.O. (Geomiljø), Arnesen, R.T., Aagaard, P., 1996 (UiO). Vannforurensning fra kisgruver. Geokjemisk modellstudie av reaksjoner i kolonner med kis og grønnstein fra Løkken. NIVA-rapport, L.nr. 3517-1996, O-94014. 43 s.

Iversen, 2009. Kontroll av massebalanse i Løkken gruveområde, Meldal kommune. Undersøkelser i perioden 1.9.2008-31.8.2009. NIVA-rapport. L.nr. 5749-2009. O-27442. 60 s.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no