



Bergvesenet

Postboks 3021, N-7441 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr 4762	Intern Journal nr 1987/93	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering	Gradering Åpen
Kommer fra ..arkiv	Ekstern rapport nr	Oversendt fra NorexBergteknikk AS Perry Caspersen	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Tittel Bioteknisk metallutvinning - kunnskapsstatus og videreføring. Møtereferat med vedlegg fra teknologikonfersansen i Sulitjelma okt. 1993				
Forfatter Caspersen, Perry et al		Dato År 25.11 1993	Bedrift (Oppdragsgiver og/eller oppdragstaker) NorexBergteknikk AS Perry Caspersen	
Kommune	Fylke	Bergdistrikt	1: 50 000 kartblad	1: 250 000 kartblad
Fagområde Geokjemi Oppredning Drift	Dokument type		Forekomster (forekomst, gruvefelt, undersøkelsesfelt)	
Råstoffgruppe Malm/metall	Råstofftype			
Sammendrag, innholdsfortegnelse eller innholdsbeskrivelse				

Deltagere på teknologikonferansen
i Sulitjelma 18. - 19. oktober 1993

Vi takker for fruktbar sammenkomst under
teknologikonferansen

**BIOTEKNISK METALLUTVINNING -
KUNNSKAPS-STATUS OG VIDEREFØRING**

Vedlagt følger møtereferat med vedlegg.

Med vennlig hilsen
for Norex Bergteknikk AS

Perry O. Kaspersen
Perry O. Kaspersen

20.12
1987/93
Arkiv
OK
46
Nui
304.8
303.9
AK
Rapp. arkiv

Referat fra teknologikonferanse i Sulitjelma 18. - 20. oktober 1993:

Biotechnisk Metallutvinning, Kunnskapsstatus og Videreføring

Mandag 18.10.93

Del 0: Åpning

Åpningen var noe forsinket i forhold til programmet på grunn av sene fly og henting av deltagere i Bodø.

1500: Åpning v/ ordfører Anne F. Stenhammer i Fauske kommune

1510: Velkomst v/ konferanseleder Tørres Herstad, FUI AS

Målsetting med konferansen er å avklare flg. spørsmål:

1. Hvilke kunnskaper har vi?
2. Hvordan er de praktiske forhold for å gjennomføre prosjektet?
3. Hvordan er de økonomiske mulighetene ved et vellykket prosjekt?
4. Hvordan kan prosjektet videreføres fra dagens situasjon?

Det ble understreket at Biotechnisk Metallutvinning er en multifaglig oppgave som stiller store krav til samarbeidsevner.

1520: Deltakerne presenterte seg selv

1530: Historisk presentasjon av Norsk Bergindustri med tanke på kobberproduksjon fram til i dag. Harald Ese, Bergvesenet

Kobber er en viktig del av menneskets kulturelle historie gjennom de siste 9 000 årene. Påvirkning til Norge for, og hvordan man skulle drive med kobbergruver, kom først og fremst fra Østerrike og Tyskland på begynnelsen av 1600-tallet.

Etableringen av Kongsberg Sølvverk markerte et vendepunkt for norsk bergverksindustri.

Vedrørende hydrometallurgi og kobber, så foregikk det i en periode hydrometallurgisk produksjon av Cu på Thamshavn, ved felling av kobbersulfid med H₂S.

Innen hydrometallurgisk kobberproduksjon kan "Jern være en god medhjelper, men også en farlig fiende".

I 1810 var Norges andel av verdensproduksjonen 2.70%, mens den i 1991 var sunket til 0.24%. Andelen av resirkulert kobber øker ikke innen verdensprosesseringen av kobber, dette er først og fremst et prisspørsmål. Internasjonal etterspørsel er jevnt økende.

Norges kobberproduksjon har avtatt jevnt og trutt, og dekker i dag ikke eget forbruk.

Del 1: Internasjonal status innenfor "leaching, in situ leaching / solution mining"

1555: Et innsyn i noen pågående aktiviteter på verdensbasis med tanke på "leaching" av oksyder såvel som sulfider v/ Perry O. Kaspersen

Tradisjonelt foregår produksjon av mineraler og malmer ved boring - sprengning - lasting - transport - og eventuelt mineralutvinning. Metaller, som kobber, forekommer som regel bundet til mineraler som sulfider eller oksyder.

På grunn av en stadig synkende mengde oksyder er det en voksende interesse og økende forskningsaktivitet med tanke på "leaching" av sulfider, selv om hovedvekten har vært lagt på oksyder så langt. Slik er det også i USA.

Som eksempler på leachingaktivitet kan nevnes:

- Lake Shore, Arizona: Leaching av oksyder på rasbrutt materiale under jord.
- Gibraltar mines, Canada: Både sulfider og oksyder. Malm med gehalt <0.3% Cu prosesseres ved dump leaching.
- Sør-Afrika: Bakteriell prosess for behandling av gullførende arsenkis. Utviklet prosessen som har fått navnet *the BIOX-process*.
- Brasil: Bruker BIOX-prosessen - kjøpt fra Sør-Afrika.
- Chile: BTL (*Bacterial Thin Layer Leaching*) som idag er en kommersielt tilgjengelig prosess.
- Australia: Flere lokaliteter med leaching; bl.a. på arsenkis. Metoden importert fra Sør-Afrika
- Sverige: Pilotskalaforsøk i reaktor, samarbeid mellom Tekniska Högskolan i Luleå og Univ. i Umeå.
- Norge: *In situ* i Sulitjelma ?? Mikro-organismer påvist i gruvevann fra Sulitjelma. Innledende forsøk ved samarbeid Norex Bergteknikk / SINTEF / Statoil viste positiv korelasjon mellom antall bakterier og utløst Cu. Senere er det gjennomført et nordisk finansiert samarbeidsprosjekt som, i et økonomisk scenario, konkluderer med at en vellykket utviklet *in situ* leaching prosess vil kunne gi betydelig rentabilitet i en fullskala driftssituasjon.

1630: Mikroorganismene og deres rolle i leaching v/ Börje Lindström

Litt historikk:

- 1915: Siebentahl oppdaget at bakterier er involvert i dannelsen av sulfidmineraler
- 1948: Colmer og Hinkle viste at bakterier er involvert i nedbrytingen av sulfidmineraler

Så gikk det nesten 40 år før det hendte noe særlig i Scandinavia.

I Umeå har det vært gjennomført bakteriell lakning i følgende prosjekter:

- 1982: Etter et symposium finansiert av Norrlandsfonden bestemte man seg for å se nærmere på lakning og / eller bioteknikk med tanke på skogbruksnæringen og mineralindustrien.
- 1983: På vegne av Umeå Universitet ble det gjennomført studiereise til England
- 1984/85: Oppstart av laknings-prosjekt med studier innen kjemi - mikrobiologi
- 1990: Reaktorforsøk i pilotanlegg under kontrollerte betingelser i samarbeid med Tekniska Högskolan i Luleå

Stikkord for samspill bakterier - metaller:

- Metallene deltar i "metabolismen"
- Metallene omvandles av bakteriene - ladningsendring (red. - oks.) fører til presipitasjon eller oppløsning av metallene
- Metallene fester til bakteriene (bio-sorption) Dette kan f. eks. benyttes for å rense

en væske for metaller

Generelle egenskaper hos bakteriene:

- Ulike former
- De er små: $\approx 1 \times 2 \mu\text{m}$ og med volum $\approx 10^{-6}$ ml
- De vokser fort: Fornyres fra hvert 20. min - noen timer (eksponensiell vekst-rate)
- Varierende næringskrav, må ha næring til energiprod. og som byggematr. til cellesubstansen

De aktuelle bakterier lever under forskjellige temperaturer, men alle har et næringskrav, lite eller stort. I næringen må det inngå visse elementer som Carbon, Nitrogen, Hydrogen, Oksygen, Svovel og Fosfor. Næringselementene benyttes enten som energikilde eller som byggestener for cellesubstansen. Det meste av dette kan hentes fra mineraler (energikilde), luft (O, C) og vann (O, H), mens en del må tilføres (N, P).

Ved *dump leaching* kan det oppstå problemer med utfelling av jarositt som hindrer sirkulasjon av lutemediet. Dette kan tenkes kontrollert gjennom pH-regulering.

Utfordringen er at kobberkis angripes "sakte" av bakterier. Det arbeides derfor med å finne fram til mer effektive bakterier.

Bakterier kan også benyttes til:

- Rensing av forurenset vann
- Gjenvinning av metall fra metallholdige løsninger
- M.m.

Genteknikk:

Dette er også et aktuelt utviklingsområde for de her aktuelle bakterier. Målet er å kunne øke deres resistens mot metaller som f.eks. arsen fra arsenkis - altså utvikling av mer resistente bakterier og derved oppnå mer effektive bakterier.

1735: Forskning og resultater med tanke på reaktor "leaching" av sulfider, utført ved den Tekniska Högskolan i Luleå, v/ prof. Stig Petersson

Luleå utvikler først og fremst tekniske løsninger for å møte utfordringene ved *leaching*. Det utføres reaktorforsøk på konsentrater eller råmalm. Alle tilsatser kan varieres for å optimalisere forholdene. Reaktorene er på 2 m^3 ; dvs. 100x større enn benkskalaforsøkene. Datastyrt regulering av prosessene. Anlegget gir idag også, igjennom de forsøk som utføres, svar på økonomien i en eventuell industriell produksjon. Boliden Mineral AB viser nå stor interesse for dette.

Mulige råvarer for biohydrometallurgisk metallutvinning:

- Lavverdige sulfidmalmer med Cu, Co, Ni, etc.
- Komplekse og finkornede sulfidmalmer med bly, edelmetaller, sink, etc.
- Edelmetallholdige refraktære konsentrater (eks. svovel- og magnetkis, arsenkis)
- Komplekse konsentrater med Cu, Zn, Co, Ni, m.m.

Undersøkelser på malm fra noen svenske forekomster viser at *leaching* med bakterier kan gi økt økonomisk gevinst ved f. eks. økt utvinning av gull fra arsenkis. Et eksempel her er Rakkejaure-forekomsten i Skellefte-feltet som trolig er økonomisk å produsere ad bioteknisk vei. Rakkejaureforekomsten er uøkonomisk ved tradisjonell produksjon pga. kun 20% gullutbytte, mot 90 - 95% utbytte ved biohydrometallurgisk metallutvinning. Dette skyldes at gullet er innesluttet i arsenkis.

1815: "The US Bureau of Mines In Situ Mining Research Programme" v/ William C. Larson

USBM er først og fremst en forsknings-organisasjon. Arbeider innen fag som vedrører

- Helse spørsmål hos gruvearbeidere
- Miljøaspekter ved gruvedrift
- Bedre økonomiske resultater ved gruveproduksjon

Fordeler ved *In Situ* gruvedrift:

- Kort tid før produksjon
- Mindre investeringsebehov
- Ingen steintipper eller flotasjonsavgang
- Lave driftskostnader

USBM har idag et *in situ leaching* prosjekt med et budsjett på 22 MUSS. Dette prosjektet konsentrere seg i den nuværende fasen om *leaching* på oksyder. På grunn av de minkende mengder oksyder i USA har man innsett at sulfider er fremtidens eneste mulighet hvis man ønsker å ha gruvedrift med utvinning av kobber. Derfor har USBM påbegynt forskning som leder mot *leaching* / bakteriell *leaching* av sulfider. Målet er også her *in situ leaching*.

1855: Kobber fra løsning til fast produkt. Nedstrømsprosesser som benyttes i dag
v/ prof. Stig Petersson

Sementering: Kobbersulfat + jern = jernsulfat + kobber
men kun ca. 80% Cu i kobberet, dvs. lavprisprodukt (80% av fullpris)

Elektro-raffinering: Elektrisk rensing av kobber, benytter anoder av forurenset kobber.

Elektrovinning (EW): Blyanoder med 1% Ag (uløselige anoder); katoder av tynt blikk-kobber, som vokser til ca. 1 cm tykkelse ved at kobber-ionene gror på platene. EW er dominerende prosess i dag. Kobberløsningen må inneholde 30 - 40 g Cu / l, med nokså store krav til renhet. El-kraftforbruk ved EW er ca. 2 000 kWh/t kobber produsert.

Oppkonsentrering av *leaching*-væskens Cu-innhold gjøres ved "Solvent Extraktion" - SX:

1 - 2 g Cu/l → SX → 30 - 40 g Cu/l



Løsningsmediet til resirkulering eller videre prosessering

Væskeekstraksjonen foregår ved bruk av en organisk fase som skal "ta til seg" kobberet. Deretter løses dette kobberet ut igjen i en mer konsentrert løsning. Dette gir løsninger med 30 - 40 g Cu/l.

Del 2: Sulitjelmas kobberforekomster som sted for pilotskalaforsøk og teknologitilpasning med tanke på bioteknisk utvinning av kobber og andre metaller direkte fra forekomst til foredlet råvare

1925: Presentasjon av Sulitjelmas kobberforekomster som en potensiell ressurs i en bioteknisk metallutvinning basert på "In Situ Leaching", v/ Perry O. Kaspersen

I Norge generelt og i Sulitjelma spesielt har vi store arealer med sulfidmineraliserte lag. For å vurdere disse med tanke på en ny uttaks metode som *leaching*, må man introduserer GT-produktet; Gehalt x Tykkelse, dvs. at høy gehalt ikke lenger er så avgjørende som i tradisjonelt produserbare forekomster.

Sulitjelmafeltets geologi er godt kartlagt og malmsonenes mineralogi er kjent. Ut fra den kunnskap som er oppnådd gjennom stor statlig innsats for å lete etter rike forekomster med tanke på tidligere tradisjonell drift, har man oppnådd stor kunnskap om området som nå kan benyttes i forbindelse med vurdering av mulighetene ved en helt ny driftsmetode.

Fordi bioteknisk metallutvinning gjennom *in situ leaching* synes å kunne bli fremtidens nye driftsmetode for å ta kobber ut av sulfidforekomster vil Sulitjelmas kobberførende lag kunne bli et meget attraktivt objekt for en stor industriell aktivitet.

Tirsdag 19.10.93

Del 2: Forts.

0820: Video: "USBM In Situ Research Programme" v/ William C. Larson

Foredragsholderen understreket betydningen av å informere om *In Situ Leaching*, til bevilgende myndigheter, lærere i skoleverket, lokalbefolkning, etc. Derfor video-presentasjon av Santa Cruz *In Situ Test Site* i Arizona. Antatt byggestart feb. - mars 1994, produksjonsstart ca. 6 mnd. etter dette.

Forøvrig viser videoen hvordan USBM tenker å gjennomføre sitt *In Situ* pilotprosjekt.

0840: Idè-skisse for hvordan man tenker seg "*In Situ Leaching*" utført i en sulfidforekomst av den type som finnes i Sulitjelma v/ Perry O. Kaspersen

Prinsipp:

Orter (tunneler) drives i sideberget til forekomsten med ca. 300 m avstand. Borhull fra ortene perforerer den kobberførende sonen med ca. 10 m mellomrom. Væskemedium for *leaching* pumpes inn i borhullene fra den ene orten, og hvorpå det tappes Cu-holdig væske ut fra borhullene i den andre orten. Om nødvendig for å oppnå tilfredsstillende permeabilitet kan sonen fraksjoneres ved sprengning eller hydraulisk fraksjonering. Trolig må det gjennomføres inledende "vasking" av mikrosprekkene med svovelsyre for å fjerne evt. kalkmineraler. Oppholdstiden for lutevæsken reguleres ved å kjøre gjennom væsken flere ganger.

0900: "The importance of geochemical characterization studies for *In Situ Mining*" v/ William C. Larson

Prosjektets mål:

- Bestemme syrekonsentrasjonens effekt på Cu-utvinning
- Bestemme syreforbruket i produksjonen
- Bestemme lutemediets sammensetning
- Vurdere løsning av elementer og utfellingsproblemer

Det er foretatt lab-tester på borkjerner, kjernediameter $\approx 50 - 150$ mm. Man kan ha konstant gjennomstrømming eller konstant trykk under testene. Det er foretatt studier på bl.a. borkjerner fra Santa Cruz-prosjektet; prekambrisk granitt med kobberoksyd ($\text{Chrysocolla CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ og Atacamite $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH}_3)$) som sprekkefyll.

Det er gjennomført svært grundige studier av kjernematerialet før og etter test-leaching for å kunne se hvor og hvordan lutingen har foregått.

Relativt lavt syreforbruk (ca 1.5g syre pr. 1g Cu produsert) pga. at væskemediet ikke trengte

inn i andre deler av prøvene, men holdt seg til sprekkene.

Prosjektets konklusjon:

- Høge Cu-gehalter oppnådd
- Lite syreforbruk

0935: Pilotskalaprojekt/kinetikkstudier og kapitalbehov v/ Perry O. Kaspersen

Ønsker å benytte en blokk i Hankabakken II-forekomsten i Sulitjelma for å bore opp og gjennomføre pilotskalastudier.

Klargjøring av testområde:	MNOK 2.8
Driftskostnader pr. år:	MNOK 2.0
Samlet kapitalbehov for ett års prøvedrift:	MNOK 4.8

Oppbygging av bakteriekultur tar tid, derfor er ett års prøveproduksjon ansett som et minimum. I første omgang tenker man seg å foreta kinetikkstudier og studier av gjennomstrømningsforhold/permeabilitet og annet som har betydning for en avgjørelse med tanke på bygging av et komplett pilotanlegg hvor også nedstrømssiden inngår. Det vil likevel være behov for et minimum av nedstrømsanlegg for å kunne kontrollere en eventuell metning av elementer som kan føre til utfelling i modell området og derigjennom hindre gjennomstrømning og mulighet for tilfredsstillende gjennomføring av forsøkene.

M. Laake: Bør ha nedstrømsanlegg for resirkulering og rensing av lutemediet, for også å kunne få litt inntekter.

Et fremtidig pilotanlegg burde kunne skaleres opp til å kunne produsere fra 50 tonn kobber og oppover pr. år. Det synes ikke umulig å kunne bygge et pilotanlegg med en produksjonskapasitet på inntil 1 tonn kobber pr døgn, forutsatt en vellykket utvikling og akseptable resultater i et eventuelt kinetikkforsøk.

Hankabakken II er en idéell forekomst med tanke på kinetikk- og pilotskalaforsøk. Andre forekomster har også vært vurdert på faglig grunnlag. Av disse utmerker Hankabakken seg med sin geologiske sammensetning og sin tilgjengelighet, både med tanke på selve modellområdet og med tanke på de økonomiske vurderinger i forbindelse med gjennomføringen av kinetikkstudier og fremtidig bygging av et pilotanlegg.

Del 3: *In Situ Leaching* og Miljø

1020: "The environmental aspects of In Situ Mining - USBM Experience" v/ William C. Larson

Miljøaspektet (ytre miljø) er sterkt fokusert, også i amerikans gruveindustri.

Når arbeidet med kobberoksyder fullføres i USBM, vil arbeidet dreies over mot kobbersulfid-utvinning *In Situ*.

I USA må planfasen inneholde alle mulige konsesjoner og tillatelser som er nødvendige og pålagte fra myndighetenes side. Derfor er åpenhet og informasjon utad svært viktig, jfr. video'n.

Santa Cruz *Test Site* har vært åpen for publikum hele tiden, og de har møtt liten motstand mot prosjektet fra lokalbefolkningen.

Miljø-momenter:

- Grunnvann
- Biologi (dyreliv, fugleliv, flora, etc.)
- Kultur (fornminner, etc.)

Forskjellige typer brønner er inndelt etter en klassifiseringsstandard, og alt etter type er dokumentasjonsbehovet (papirmengden) svært forskjellig.

Mange av testene som myndighetene forlanger måtte utføres uansett av rent tekniske årsaker, og selv med lang behandlingstid av miljødokumentasjonen er merkostnadene pga. dette kun ca. 500 000 USD (5% av prosjektets total kostnad).

Santa Cruz prosjektet har, for første gang, ført USBM, industrien og universiteter sammen i et intimt og fruktbart samarbeide.

1055: Miljøgevinster ved "leaching". Rensing av avrenningsvann for fjerning av tungmetaller. Bruk av sulfatreduserende bakterier (SRB) og andre teknikker v/ Morten Laake, ENVIRONOR AS

Utslipp av bly kommer stort sett fra prosessindustrien, mens utslipp av kobber og sink i hovedsak kommer fra tradisjonell bergverksdrift.

SFT's mål: Utslipp av Pb, Cu, Zn, Ni fra de største forurenserne skal reduseres med 70% innen 1994. Utslipp av kobber alene utgjør i dag ca. 120 t fra gruver etc.

Miljøregnskap ved *leaching* sammenlignet med tradisjonell gruvedrift viser at bioteknisk metallutvinning er meget miljøvennlig, forutsatt god rensing av avløpsvannet.

Rensing av forurenset vann medfører imidlertid slam som må deponeres med mindre man kan benytte sulfatreduserende bakterier (SRB) og produsere metallsulfider. Sulfatreduserende bakterier er påvist i en rekke gruver og disse kan nyttes til renseprosesser. Teknologien finnes for å forsterke SRB's muligheter for å rense avrenningsvann, jfr. Løkken.

1135: Økonomisk scenario for bioteknisk metallutvinning av kobber fra norske sulfidforekomster. Nasjonale / internasjonale muligheter v/ Perry O. Kaspersen.

Variable faktorer er bl.a.:

- Priser
- Forbruk av kjemikalier
- Mannskapskostnader
- Tunnel- og borekostnader
- Gehalter
- Avstand mellom orter
- Forekomstenes fallvinkler

Forutsetninger i dette scenario:

- Produsere min. 4 000 t kobber og 1 200 t sink pr. år
- 10 års produksjonstid
- 40% utvinning
- Gehalt i råmalm 1.5% Cu og 0.5% Zn
- Råmalmreserver in situ: 6.7 Mt
- Kobberpris NOK 17,- / kg og sinkpris NOK 8,- / kg
- Rente 15% p.a.
- Min. 1.0 g Cu i løsning fra forekomsten

Dette gir total årlig inntekt på 10.96 MUSD.

Årlig driftskostnad med 50 ansatte 5.88 MUSD.

Årlig driftsoverskudd blir dermed på 5.1 MUSD. Med en forventet investering på MUSD 21,8 eller ca. 152 MNOK gir dette en pen rentabilitet da prosjektet er beregnet å kunne tåle en investering på inntil 34 MUSD (237 MNOK). Det er i forbindelse med en videreføring behov for å etterregne og verifisere dette tallmaterialet.

Det er store metallreserver også andre steder i Norge, med muligheter for landsomfattende utvinning og salg av elektrodekobber hvis man kan få frem en vellykket teknologi. Det ligger også andre muligheter i et slikt prosjekt gjennom fremtidig salg av teknologi, *spin-off* effekter til andre bransjer, etc.

DETTE ER VÅRT ANSVAR I DAG.

1300: *Gruvebesøk i Hankabakken*

Dette ble et opplevelsesrikt besøk hvor man fikk se tilgjengeligheten på den tenkte modellforekomsten, men også se kobbermineraliseringen og ikke minst at det i forekomsten foregår en naturlig *leaching* aktivitet med utløsning og utfelling av kobbermineraler. Det ble observert rennende, naturlig dannet løsningsmedium som avsatte et kobbermineral på en vegg i gruva.

Utenfor ble det vist hvilke komparative fordeler Sulitjelma har med tanke på bygningsmasse og laboratoriefasiliteter for plassering av et eventuelt pilotanlegg på nedstrømsiden, men også for et eventuelt fullskala prosjekt.

1715: *Paneldebatt etter gruppearbeid med konklusjon*

Deltagerne ble delt i grupper for å få vurdert om det var grunnlag for å- og eventuelt hvordan man kunne- gå videre. Det var stor enighet om at prosjektet bør videreføres

Prosjektet er ennå tungt å "selge", og uten å få tallfestet en del nøkkelspørsmål er det vanskelig å få industri-finansiering til pilotprosjektet.

Nøkkelspørsmål er:

- Mineralogien i forekomstene med tanke på *leaching*-effektivitet
- Hvilke temperaturområder må bakteriene arbeide under in situ ?
- Hvilke trykkforhold kan man /må man operere under, og hvordan klarer bakteriene dette ?
- Hvilken in situ permeabilitet har man, og hva må til for evnt. å øke denne om nødvendig ?
- Hvilke avfallsprodukter vil produseres - hvor store mengder må evnt. deponeres og hvor ?

Det er allerede teoretisk formulerte løsninger på noen av disse spørsmålene, men for å avklare disse spørsmål trengs et budsjett i størrelsesorden 1.5 - 2.0 MNOK, med tidshorisont til 15. oktober 1994 - Fase 1, se organisering neste side. Det må i forkant av Fase 1 også avklares hvem som gjør hva, og hvor meget de enkelte oppgavene vil koste.

Viktig i "markedsføringen" av prosjektet at det fremheves hvem som får nytte av en vellykket satsing på Biotechnisk Metallutvinning In Situ (BMIS):

- Industrien
- Det offentlige (AS Norge)
- Bedre miljøregnskap
- Etc. Etc.

Alle instanser med interesser innenfor disse felt vil bli holdt informert om planer og fremdrift. Det bør også etableres samarbeid med industrien (konsortium) så tidlig som mulig i FASE 1. Det ble i denne sammenheng også pekt på mulighet for store spinnoff muligheter mot annen industri.

USBM vil forsyne prosjektet med all mulig teknisk informasjon og generelle råd, og vil gjerne ha et formalisert samarbeid "over dammen".

Det er behov for politisk jobbing f.eks. mot landsdelsutvalget. Da biohydrometallurgi ble innført i Sverige, ble det i starten finansiert 100% over statlige midler. Tilsv. situasjon i Norge i dag - det er samfunnets ansvar. Trolig vanskelig å få industrien inn nå, slik at en parallell jobbing mot off. og priv. trolig er nødvendig.

Vedrørende Hankabakken var det enighet om at dette var et egnet, nesten fult ferdig "laboratorium" med mulighet for å gjennomføre forsøk i større skala

Ved å investere 3-5 mill kr samtidig med tilgang på all teknisk informasjon fra USBM og universitetene i Luleå og Umeå, vil man raskt kunne nå tekniske og økonomiske konklusjoner av betydning for storskala forsøk og drift. Det bør her også legges vekt på at dette er teknologi-utvikling og overføring.

Møtets deltagere ble enige om en organisering av det videre arbeid, se flytskjema for Fase 1. Teknologi- og FoU-gruppen har allerede fastlagt neste møte til 2. desember i Trondheim.

Fase 0:
Ferdig 19.10.93

Fase 1:
Ferdig 15.10.94, med kritiske spørsmål avklart. Dette forutsetter rask finansiering.

EVALUERING

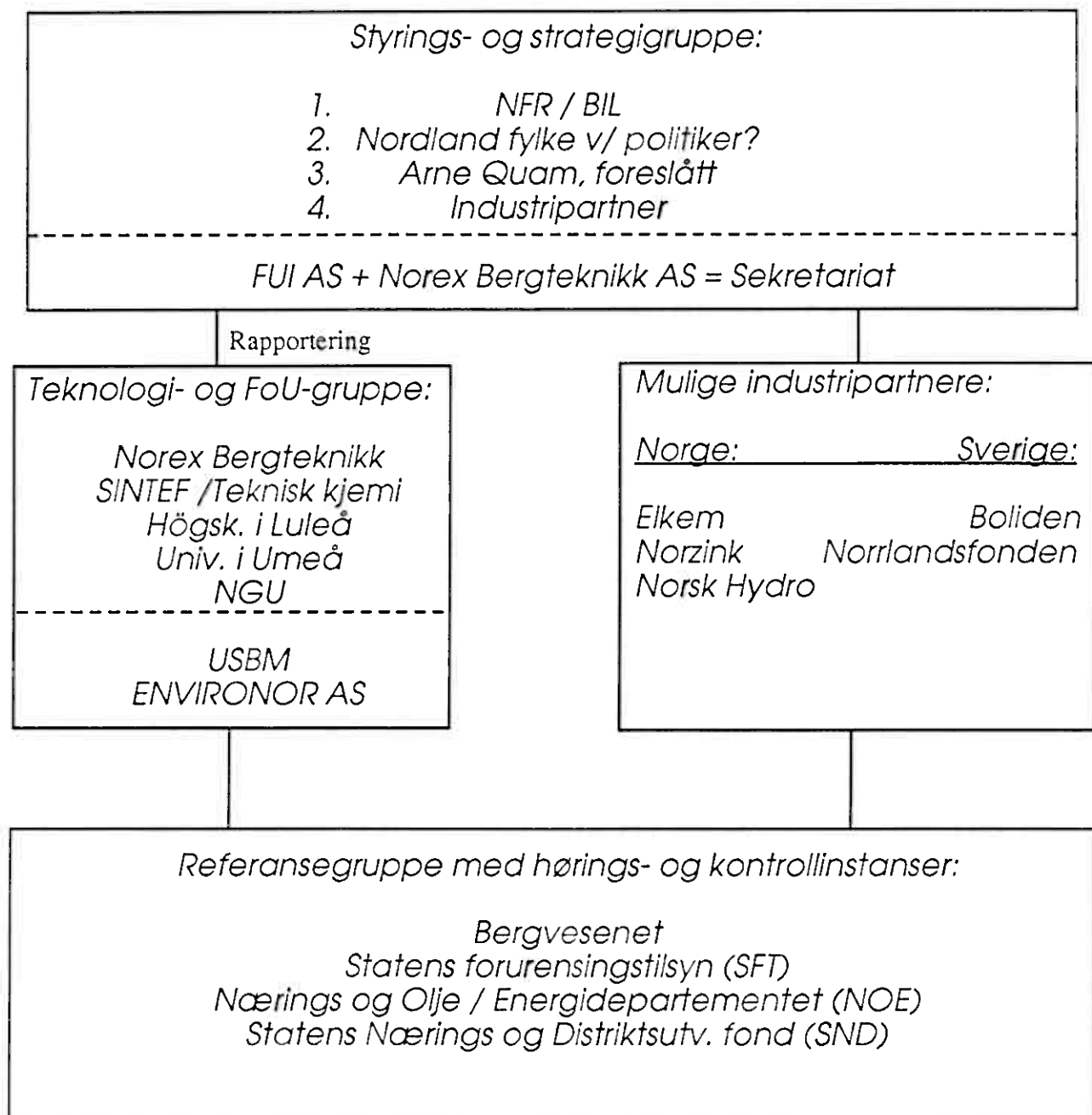
Fase 2:
Pilotanlegg oppstart; resultater foreligger årsskiftet -95/-96

Prosjektet må re-organiseres mellom Fase 1 og Fase 2.

Ansvar for etablering av styringsgruppen:
Tørres Herstad FUI og Ola Torstensen, Nordland fylke
Tidsfrist: Snarest

Ansvar for utarbeide skisse til FoU-søknad til finansiering av Fase 1:
Perry O. Kaspersen, Norex Bergteknikk AS
Tidsfrist: Snarest

Konferansens anbefalte organisering av FASE 1:



Ansvar for etablering av styringsgruppen:
Tørres Herstad FUI og Ola Torstensen, Nordland fylke
Tidsfrist: Snarest

Ansvar for å utarbeide skisse til FoU-søknad til finansiering av Fase 1:
Perry O. Kaspersen, Norex Bergteknikk AS
Tidsfrist: Snarest

Vedlagt som kopi :

Invitasjon til konferansen

Deltagerliste

Noen av foredragsholdernes transperenter eller sammendrag

Utdelt på konferansen:

Kopi av rapporten "Bioteknisk Metallutvinning"

Vedrørende innlegg fra USBM v/ William C. Larson:

Lysbilder og video finnes hos Norex Bergteknikk og kan fremvises etter nærmere avtale med Norex Bergteknikk v/ Perry Kaspersen.

**Deltagere på teknologikonferansen
18. -19. oktober på Sulitjelma Hotell**

Deltager	Institusjon
Brevik, Per	Sulitjelma Bergverk
Ese, Harald	Bergvesenet
Graff, Per Reidar	NGU
Hagen, Roger	SINTEF
Herstad, Tørres	FUI
Hovland, Jon	Norsk Hydro
Hugaas, Cato	Bergvesenet
Kaspersen, Perry O.	Norex Bergteknikk
Laake, Morten	EnviroNor
Larson, William C.	U.S. Bureau of Mines
Lindahl, Ingvar	NGU
Lindstrøm, Børje	Umeå Universitet
Nystad, Fred	PO-IS
Pettersson, Stig	Högskolan i Luleå
Stenhammer, Anne	Fauske kommune
Stien, Rune	Norex Bergteknikk
Storjord, Jan Åke	PO-IS
Torstensen, Ola	Nordland Fylke

BIOHYDROMETALLURGI-BAKTERIELL LAKNING AV MINERAL

Nedbrytning av sulfidmineral med hjälp av bakterier publicerades först 1947. Intresset för denna process har intensifierats sedan dess och numera hålls symposier vart annat år inom ämnesområdet Biohydrometallurgi. Vid Umeå universitet har forskning pågått sedan 1984/85 och vid Luleå Tekniska Högskola sedan 1990. Samspelet mellan bakterier och metaller kan grupperas enligt följande:

- Metallerna deltar i bakteriernas metabolism
- Metallerna omvandlas av bakterierna
- Metallerna fäster vid bakterierna.

Av ekonomisk betydelse är

- Extraktion - biolakning eller biohydrometallurgi
- Återvinning - biosorption

Viktiga egenskaper hos bakterierna som utnyttjas vid olika tillämpningar är att de växer snabbt och att deras näringskrav ofta är väldigt litet, dvs krav på en energikälla, kolkälla, svavelkälla, kvävekälla, fosforkälla och vattenmiljö uppfylls relativt enkelt.

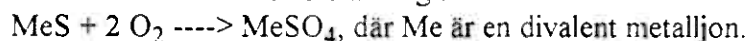
Vid biolakning kan olika organismer användas och rent kemiskt kan den ske i sur eller alkalisk miljö. För sulfidiska mineral gäller den sura miljön.

Tre olika processer kan användas vid biohydrometallurgi beroende på halten av de värdefulla metallerna, nämligen *in situ* lakning, höglakning och reaktorlakning.

Varför biohydrometallurgi? Fördelar: lägre energiåtgång och mindre eller inga luftföroreningar jämfört med konventionell pyrometallurgisk metodik.

Biolakningens kemi.

En allmän kemisk reaktion för biolakning är



Bakterierna verkar antingen direkt eller indirekt på upplösningen av mineralkornen. Vid direkt angrepp antages bakterierna fästa till mineralytorna och där oxidera svavel och järn och därvid frigöra dem till laktlösningen. Vid den indirekta attacken är den verksamma substansen Fe(III), som producerats av bakterierna.

Biolakningens biologi.

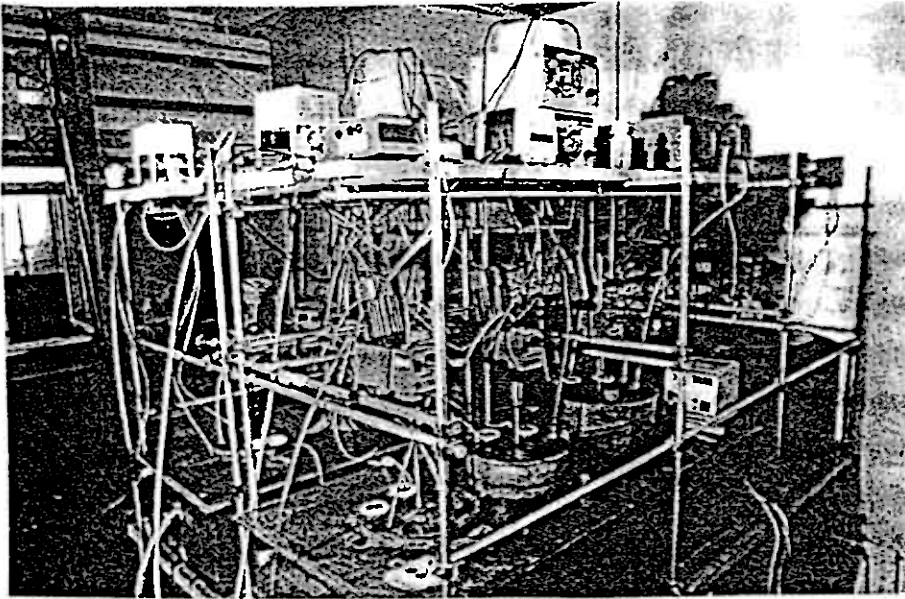
Temperaturen är en viktig parameter, som har en avgörande betydelse för den metaboliska aktiviteten och därmed lakningshastigheten för reaktionen. Hittills har de mesofila bakterierna (<40°C) spelat den största rollen vid de industriella biolakningsprocesserna, men på senare tid har ett allt större intresse riktats mot de moderat termofila (45-55°C) och de extremt termofila (>55°C) bakterierna. Alla dessa bakterier är aeroba (kräver O₂), acidofila (pH>2) och kan utnyttja Fe(II) och

reducerade svavelföreningar som energikälla. Koldioxid, CO_2 , fungerar som den huvudsakliga kolkällan. Dessa bakterier kallas därför kemolitotrofa autotrofa.

Biolakningen påverkas alltså av många olika faktorer som temperatur, pH, redoxpotential, näringstillgång, O_2 , toxiska metaller, partikelstorlek, mängd mineral per lakvolym mm.

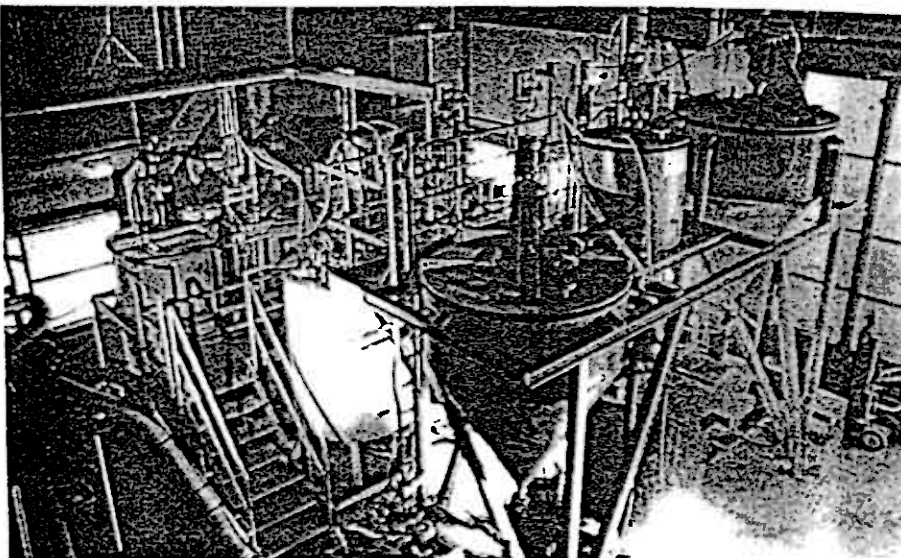
I
OVERHEADS FRA STIG PETTERSON
"FORSKNING OG RESULTATER FRA HØGSKOLEN I LULEÅ"

Pulptäthet, partikelstorlek, pH, temperatur, redoxpotential mm med målsättning att utröna betingelser för att erhålla optimala lakningsförhållanden.



Figur 1. Bänkskalanläggningen för bakterielakning vid LUTH

Den uppförda pilotanläggningen består av motsvarande utrustning som bänkskalanläggningen fast i betydligt större dimensioner. Den sammanlagda lakningsvolymen hos laktankarna är 2 m^3 . Pilotanläggningen (se fig. 2) innehåller också apparatur för separation av lakrest från laklösningen, neutralisation och utfällning av fällningsprodukter.



Figur 2. Pilotanläggningen för bakterielakning vid LUTH

A. Handlingsprogram för finkornigt material

Biotechnisk metallutvinning ur sådant råmaterial sker i reaktor under omrörning. Programmet indelas i fyra olika etapper. Fullföljande av programmet från en etapp till nästa bestäms med ledning av erhållet resultat, dvs om etappresultatet är negativt läggs projektet ner utan att följas av ytterligare studier.

Innehållet och målsättningen i de olika etapperna är följande:

ETAPP	ETAPPINNEHÅLL	MÅLSÄTTNING
I Tid: 3-6 månader	Fastställande av den kemiska och mineralogiska sammansättningen Krossning och malning till önskad partikelstorlek Biolakning i batch- eller kont. bänkskala	Bedömning av utsikterna för biolakning av det aktuella objektet Utarbetande av "idekalkyl"
II Tid:12-18 månader	Fortsatt biolakning i kont. bänkskala Försök rörande metallutvinning ur laklösning och/eller lakrest Försök betr. utfällning av "miljöämnen"	Fastställande av "optimala" lakningsbetingelser D:o betr. metallutvinning D:o betr. utf.av miljöämnen Utarbetande av prel. kalkyl
III Tid:12-18 månader	Biolakning i pilotskala Metallutfällning i pilotskala Utfällning av miljöämnen i pilotskala	Fastställande av "down-stream"-parametrar för proj. av anläggning Utarbetande av kalkyl
IV Tid: 6 månader	Projektering av driftsanläggning	Fastställande av investering och driftsresultat mm

Den sammanlagda erforderliga projekttiden således mellan 33-48 månader.

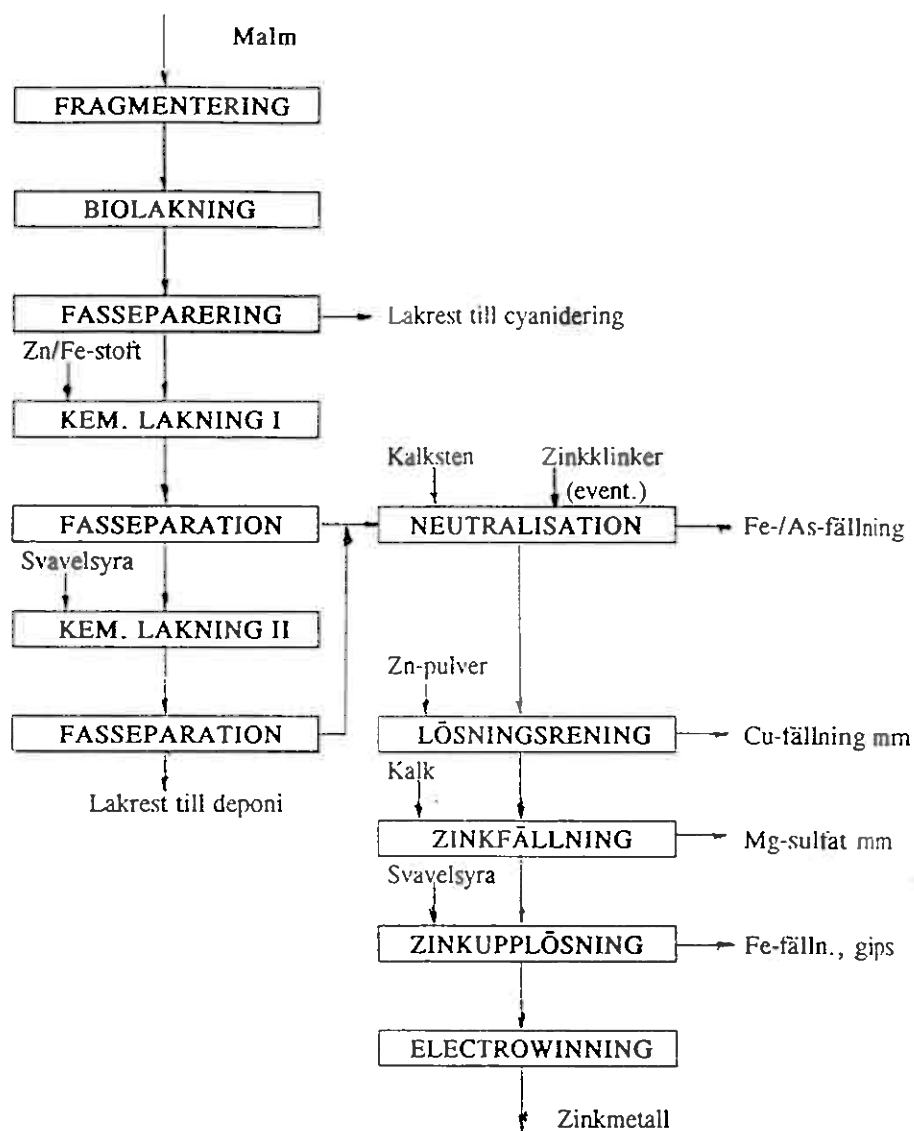
B. Handlingsprogram för styckeformigt material

Den biotekniska metallutvinningen ur sådana material sker medelst in-situ-lakning eller höglakning. Försöksmaterialet skall därför utgöras av styckeformigt material med styckestorlek som bestäms av malmens fysikaliska och mineralogiska beskaffenhet.

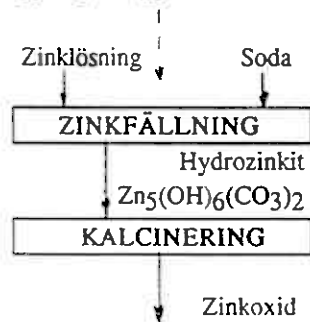
Även i detta fall indelas programmet i etapper enligt nedanstående tabell:

ETAPP	ETAPPINNEHÅLL	MÅLSÄTTNING
I Tid: ca 6 månader	Fastställande av den kemiska och mineralogiska sammansättningen Krossning till önskad styckestorlek Biolakning i försökskolonn	Bedömning av utsikterna för biolakning av det aktuella objektet Utarbetande av "ide-kalkyl"
II Tid: 12-18 månader	Biolakning i försökskolonn under "modellriktiga" betingelser. Försök betr. metallutvinning ur laklösning, ev. lakrest Försök betr. utfällning av "miljöämnen"	Fastställande av "optimala" lakningsbetingelser D:o betr. metallutvinning D:o betr. utf. av miljöämnen Utarbetande av prel. kalkyl
III Tid: ca 18 månader	Biolakning i försökshögar av erforderliga storlekar	Fastställande av förutsättningar för utarbetande av "fullskalekalkyl"

Den sammanlagda erforderliga projekttiden är således 36-42 månader.



Alternativ utvinning av zink som ren zinkoxid:



Flödesschema för komplex malm
(Cu, Zn, Au, Ag m.m.)

(Oppgave 7)

**POSSIBLE MINERAL DEPOSITS IN THE NORDIC COUNTRIES
SUITABLE FOR BIOTECHNICAL EXTRACTION OF METALS**

1. Lean copper mineralizations

Aitik: Norrbottens län, SE of Gällivare, Sweden. "Marginal" ore with
-.1 to -.25 % Cu. 2 to 3 Mton/a. Mineralization: CuFeS_2 , FeS_2 ,

Håkansboda: Örebro län, Sweden. -.3 to 2 Mton with 1.0 to 1.7 % Cu
and about -.1 % Co. Mineralization: CuFeS_2 .

Dingelvik: Dalsland near Bengtfors, Sweden. > 13 Mton with -.8% Cu.
Mineralization: CuFeS_2

Rakkejaur: Västerbottens län, Sweden. > 6 Mton with -.6% Cu.
Mineralization: CuFeS_2 , FeS_2 , FeAsS a.o.

Likavaara: Norrbottens län near Aitik, Sweden. > 6 Mton with -.52% Cu.
Mineralogy: CuFeS_2 , FeS_2

2. Complex sulphidic mineralizations

Rakkejaur: Västerbottens län, Sweden. > 12 Mton with -.2 % Cu, 2.9 %
Zn, 1.3 % As, 1.2 gAu/t, 62 gAg/t.
Mineralogy: CuFeS_2 , FeS_2 , ZnS , FeAsS a.o.

Maurliden: Västerbottens län, Sweden. > 4 Mton with -.3 % Cu, 2.0% Zn,
1.0 % As, -.7 g Au/t, 40 gAg/t.
Mineralogy: Similar as Rakkejaur

3. Other sulphidic mineralizations

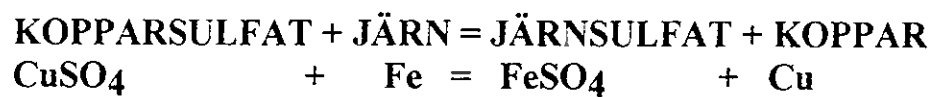
Various Co/Cu-mineralizations in Finland and in Sweden

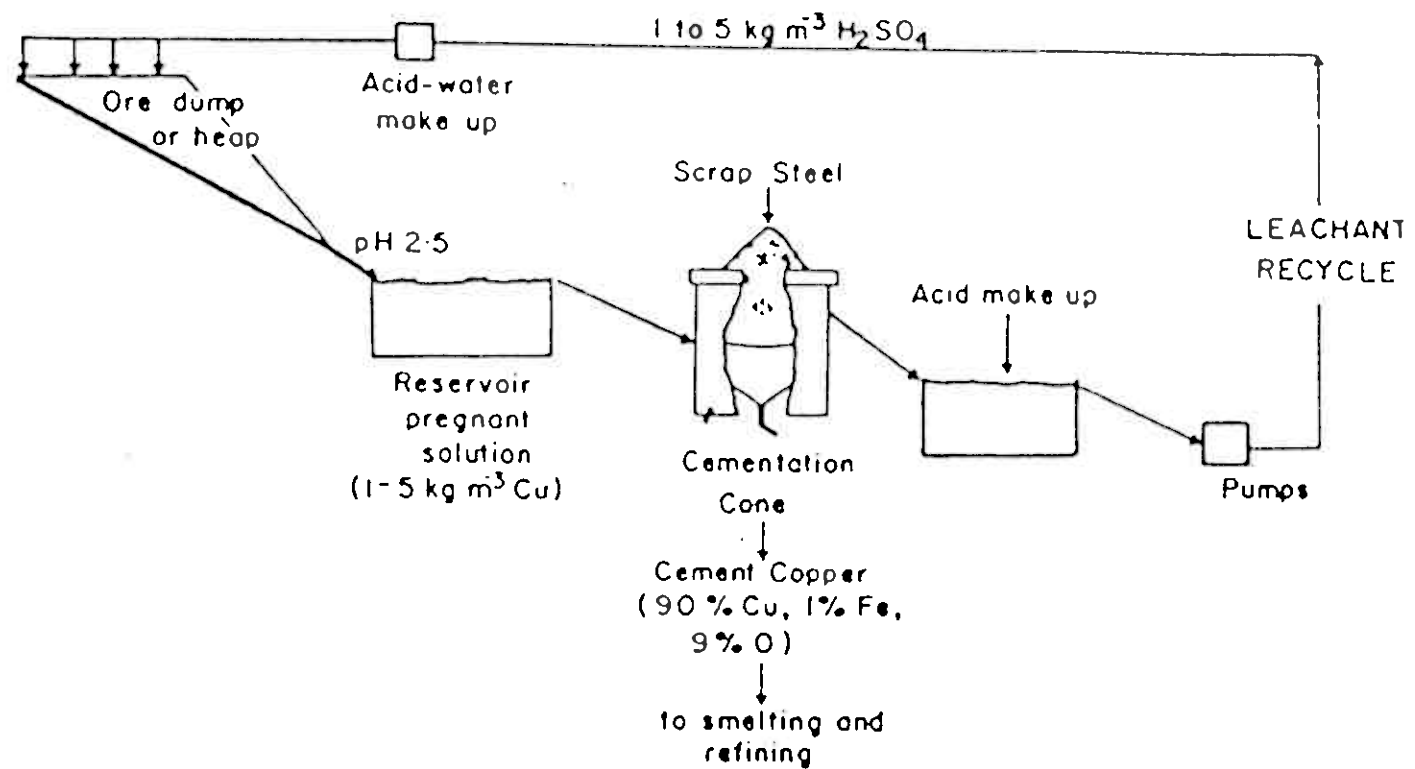
Various refractory FeS_2 / FeAsS -mineralizations in Sweden

II

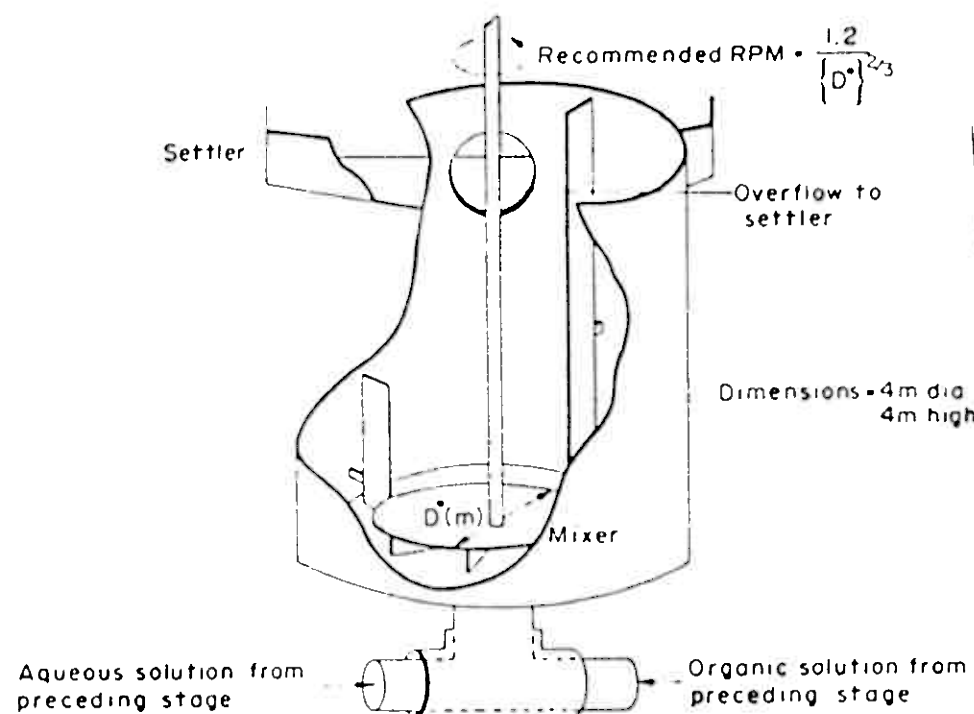
**CEMENTERING
ELECTROWINNING
SULFATREDUKTION**

✓ STIG PETTERSON

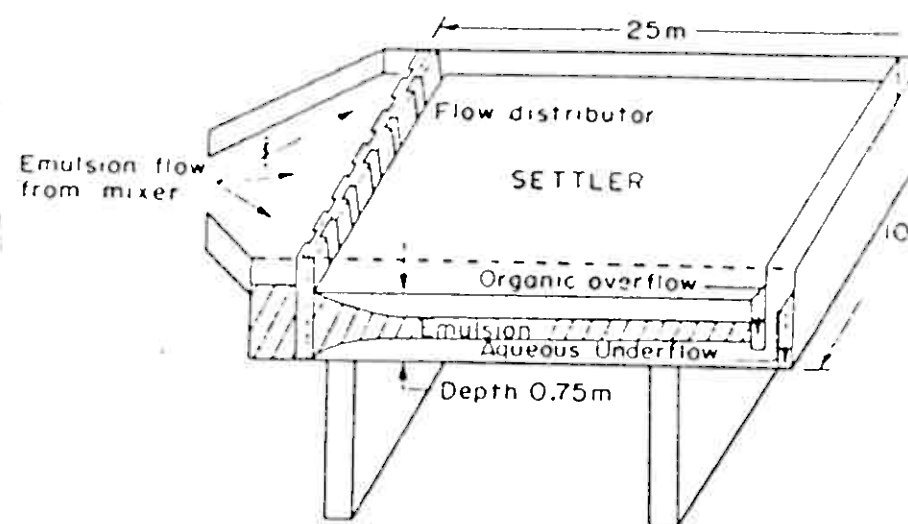




Figur 28: Direktlakning av kopparmalm samt utfällning av kop genom cementering



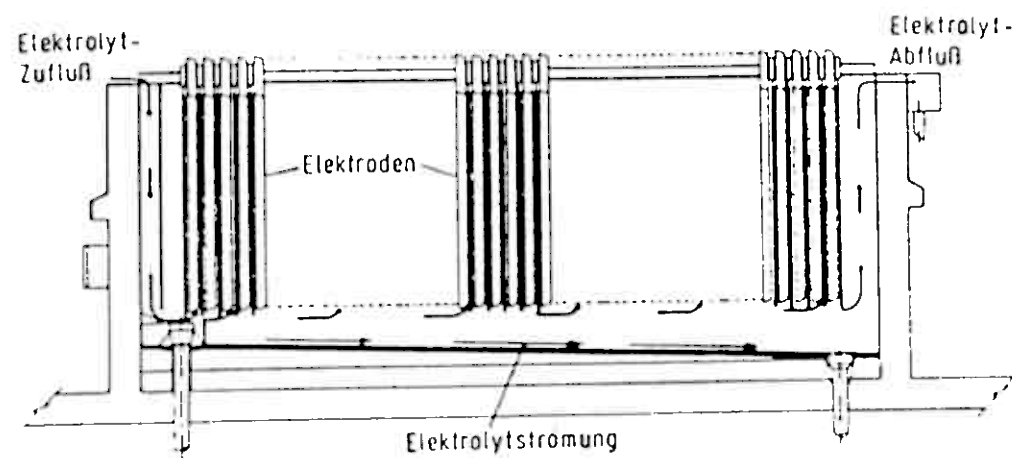
Figur 31 a: Exempel på mixer för industriellt bruk



Figur 31 b: Exempel på settler för industriellt bruk

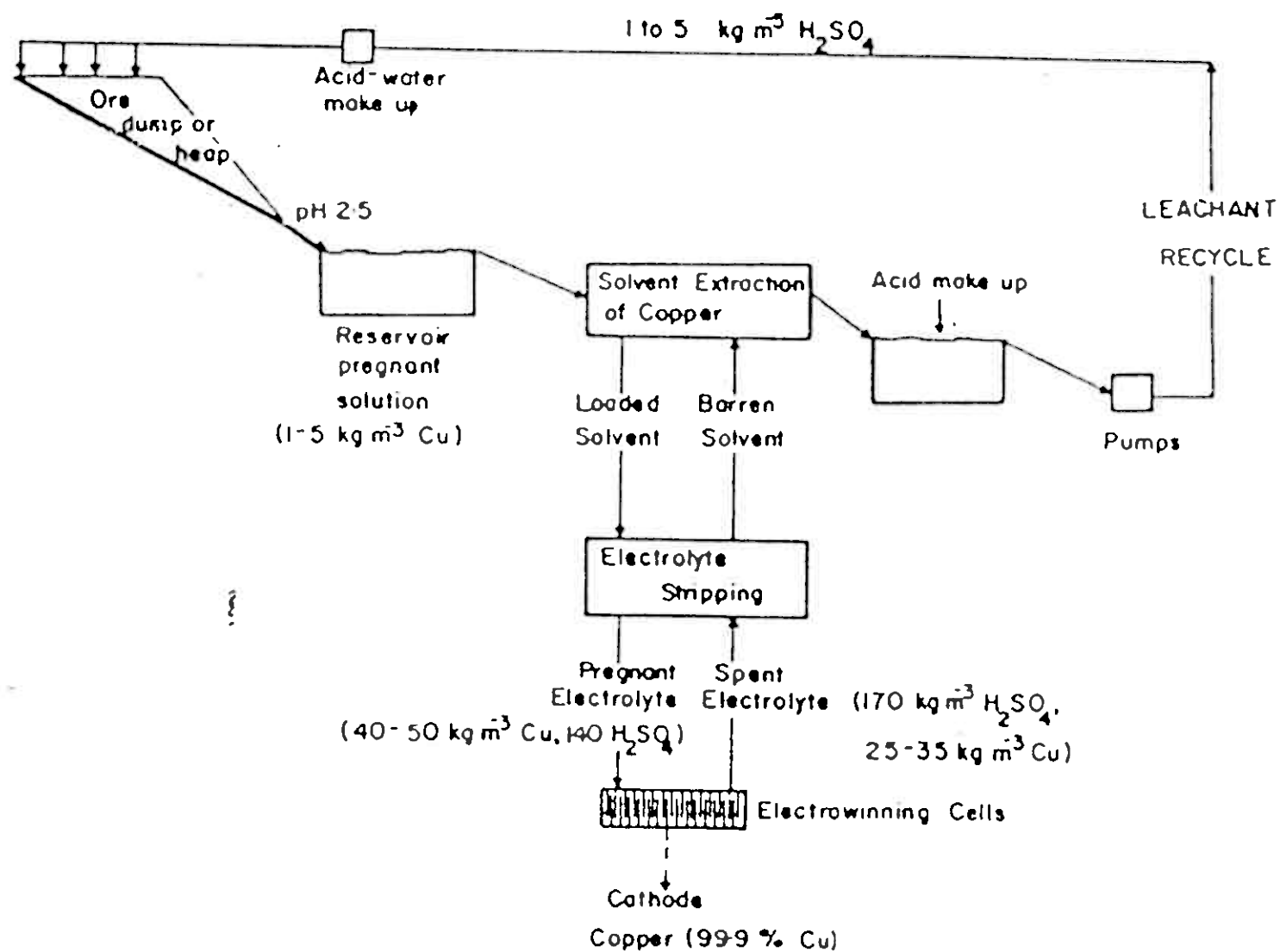
Electrowinning av koppar sker i elektrolysceller av ungefär samma utseende som vid electrorefining. Enda skillnaden är att elektrolysen utförs med olösliga anoder, som utgörs av bly, ibland

Arrangemang av anoder och katoder i en cell visas i figur 23.

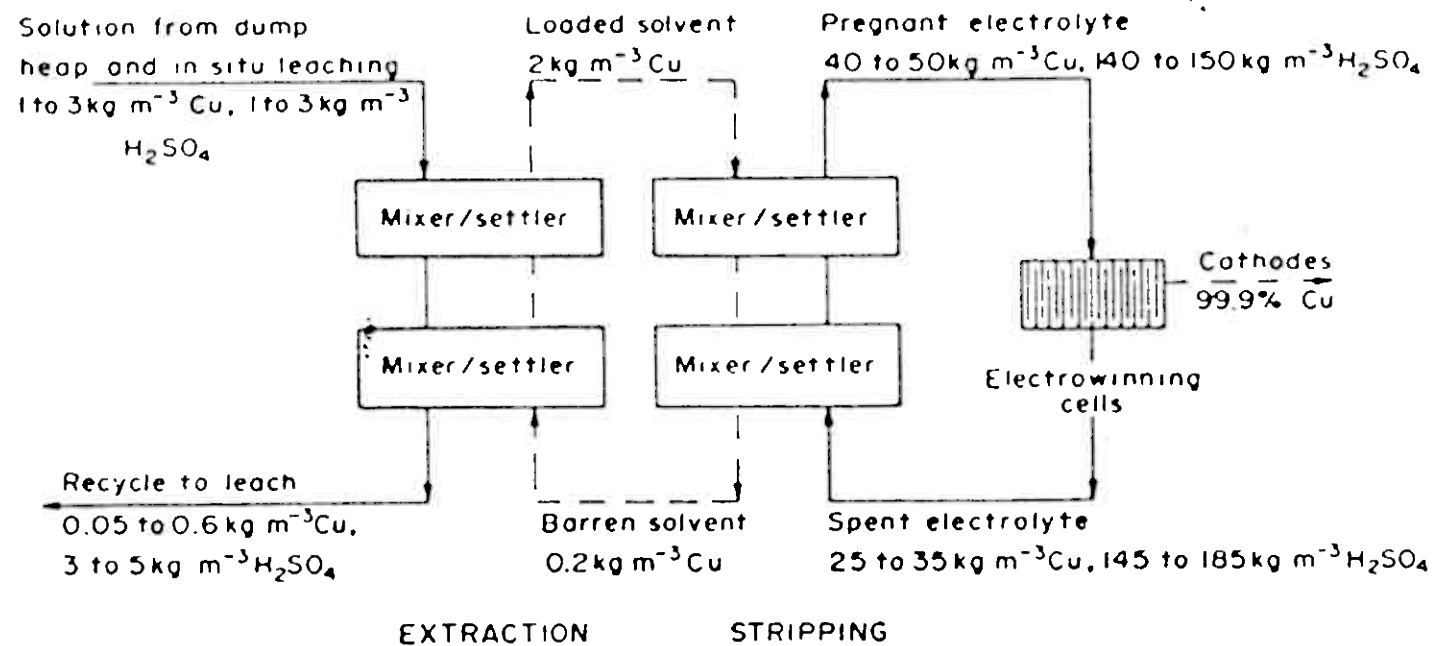


Figur 23: Arrangemang av anoder och katoder i elektrolyscell

Elektrolyscellen seriekopplas sedan till grupper som kan innehålla 12 - 40 celler i varje grupp. Även grupperna seriekopplas också till ett antal som begränsas av att den totala spänningen över det totala antalet celler ej bör överstiga ca 120 V.



Figur 29: Direktlakning av koppermalm och kopparutvinning



Figur 30: Schematiskt processchema för extraktion av koppar fr
utspädd laktösning samt för electrowinning av koppar



MORTEN LAAKE
EnviroNor AS
Fagerstrand

Miljøgevinster ved Leaching

SFTs krav om tiltak mot metallutslipp

Miljøgevinster ved biolakning

Vannbehandling ved kalkfelling

Alternativ sulfatreduksjonsteknologi

Resultater fra pilotforsøk i Løkken

Pilotanlegg for SRB prosessen

Drivgass til SRB fra avfallsbehandling

SRB-prosessen som nedstrømsprosess

Markedspotensial for SRB prosessen

Utviklingsbehov på kort og lang sikt

Langtidsplan for SFT 1990-93

Arbeidsmål V 2.2:

Samlet utslipp av bly, kobber, sink og nikkel fra de største kilder innen industri og bergverk skal reduseres med 70 % innen 1994.

Nordsjøkonvensjonen:

Reduksjon av alle miljøgifter til 50 % av 1985-nivå innen 1995.

Kadmium:

Kisgruvene står for et årlig utslipp på 340 kg/år. Dette utgjør nær 50 % av samlet utslipp i Norge.

Kopper:

Kisgruvene er kilde til ca. 120 t. cu pr. år, som utgjør ca. 60 % av samlet utslipp i Norge.

Sink:

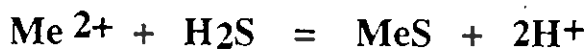
Kisgruvene er kilde til ca. 216 t. Zn pr. år, som i dette tilfellet utgjør ca. 80 % av samlet utslipp.

Bakteriell sulfatreduksjon

Spesialiserte bakterier som lever i oksygenfritt miljø kan omsette organisk stoff ved hjelp av sulfat i stedet for oksygen.



Produktene blir fritt hydrogensulfid og økt alkalinitet, som vil gi opphav til økt pH og meget effektiv felling av metaller som danner tungt løselige sulfider.



Forekomst av en rekke sulfatreducerende bakterier (SRB) i vannfylte, moderat sure gruverom er nå påvist i samarbeid med NIVA.

Disse bakteriene kan oppformerer i brukt lakeløsning, gruvevann eller avrenningsvann ved tilsetning av en billig karbon- og energi-kilde.

Derved oppnås en effektiv felling av metaller, fjerning av sulfationer og nøytralisering i vannet

Hg, Cd, Pb, Ni og Cu, samt dels Fe og Zn danner tungtløselige sulfider ved noe ulike betingelser

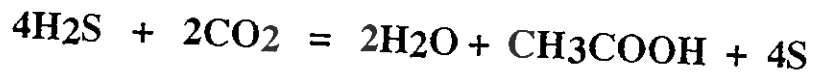
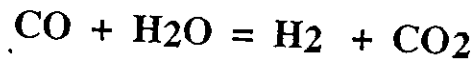
Alternative Strategies for Acid Mine Water Treatment by Anaerobic Biological Processes

Basic Technology	Pro and Contra's
<i>In situ</i> treatment of waterfilled underground workings to enhance SRB activity and store solids.	+ low construction costs + use old mine - no process control - no recycling of Cu
Constructed wetland systems to enhance SRB and precipitate solids from mines and waste rock piles.	+ moderate costs + use of arable land - little process control - winter cause problems - no recycling of Cu
Enclosed sulfate reduction reactors for controlled generation of sulfide and precipitation of sludges.	+ high process control + recycling of Cu & Zn + use organic waste - higher capital cost - lower volumes treated

Ved å velge SRB-prosess og ikke kalkfelling oppnås;

- + Nøytralisering og økt alkalinitet
- + Høyeffektiv felling av Cu, Zn, Cd o.a.
- + Fjerning av sulfat og nitrat
- + Unngår felling av gipsslam og deponi
- + Utnyttelse av fast avfall som ressurs
- Vil kreve økte investeringer i anlegg
- Vil kreve bygging av demo-anlegg

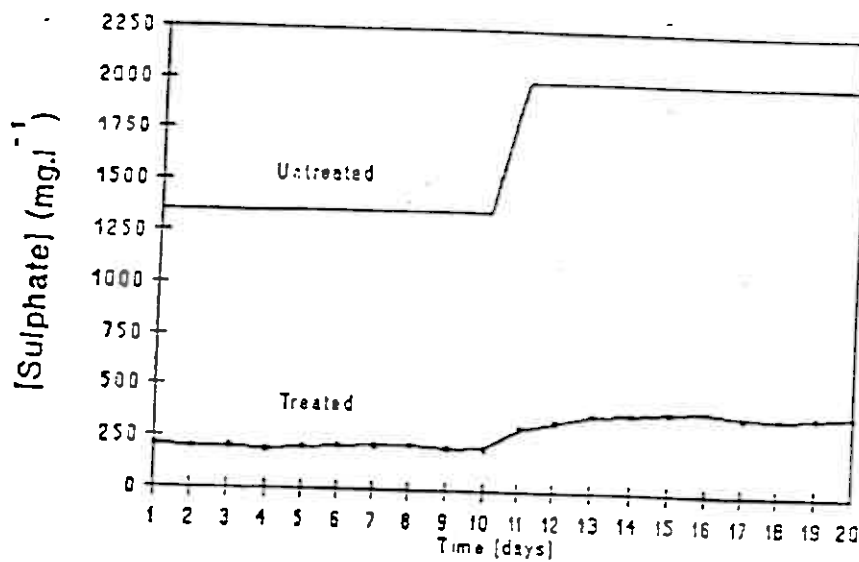
Use of producer gas as energy source for SRB



Ideal composition: 30% H_2 and 70% CO

Sources:

Sub-oxidation of any C and H containing material, i.e., solid waste, steam and methane, fuel oil partial oxidation, or coal gasification



Sulphate conc. during anaerobic treatment with producer gas.

Medium scale, high rate SRB anaerobic reactors	1-10.000 m3/yr Pre-made separation & process units, biofilm & mixed tank reactors, custom-made process design	Small acid mine drainage, landfill percolate, waste water from chemical process industry (sulfuric acid/sulfate and/or heavy metal solutions)	On site construction of process design, pre-made units from locals, utilities, regulation, consulting 0.5-5 mio. NOK	Whole world; mining, waste management and chemical industry, plating, metals refining, assuming 200 units of sum <u>800 mio. NOK</u>
Small scale, high rate SRB anaerobic reactors	< 1000 m3/yr Pre-made, mobile complete process & regulation technology, defined use.	Small acid mine drainage, landfill percolate, waste water from industry & small businesses	Constructed on mobile rig for land transport, operation, consulting, 0.5-2.0 mio NOK	European market; mining, waste management, small industry, assuming 600 units of sum <u>1.000 mio. NOK</u>

Table 1 World market over 10 years of the SRB treatment process.

Process Type	Technology	Potential User	Value per Unit NOK	World Market 10 yrs
<i>In situ</i> treatment of acidic mines, ponds & streams	50-500.000 m ³ /yr Manipulate water hydrology, add reductive substrate, inoculate.	Closed-down pyritic mines, coal mines & other mines, strong acid deposits, waste ponds, volcanic lakes, etc.	Utilities, regulation & monitoring, operation, consulting 0.5-3 mio. NOK	North America, Scandinavia, East Europe, Central & South Africa, New Zealand, ..a.o. assuming 80 operations of sum 400 mio. NOK
Large scale , medium rate SRB anaerobic reactors	10-100.000 m ³ /yr Custom made fixed film bioreactors, gas stripping towers, sedimentation units, sludge treatment	Acid mine drainage, landfill percolate, waste water from biohydro- metallurgy & chemical process industry	On site construction of reactors, utilities, regulation & monitoring, consulting 2-20 mio. NOK	Industrialized world; mining industry, waste management and chemical industry, assuming 60 units of sum 800 mio. NOK

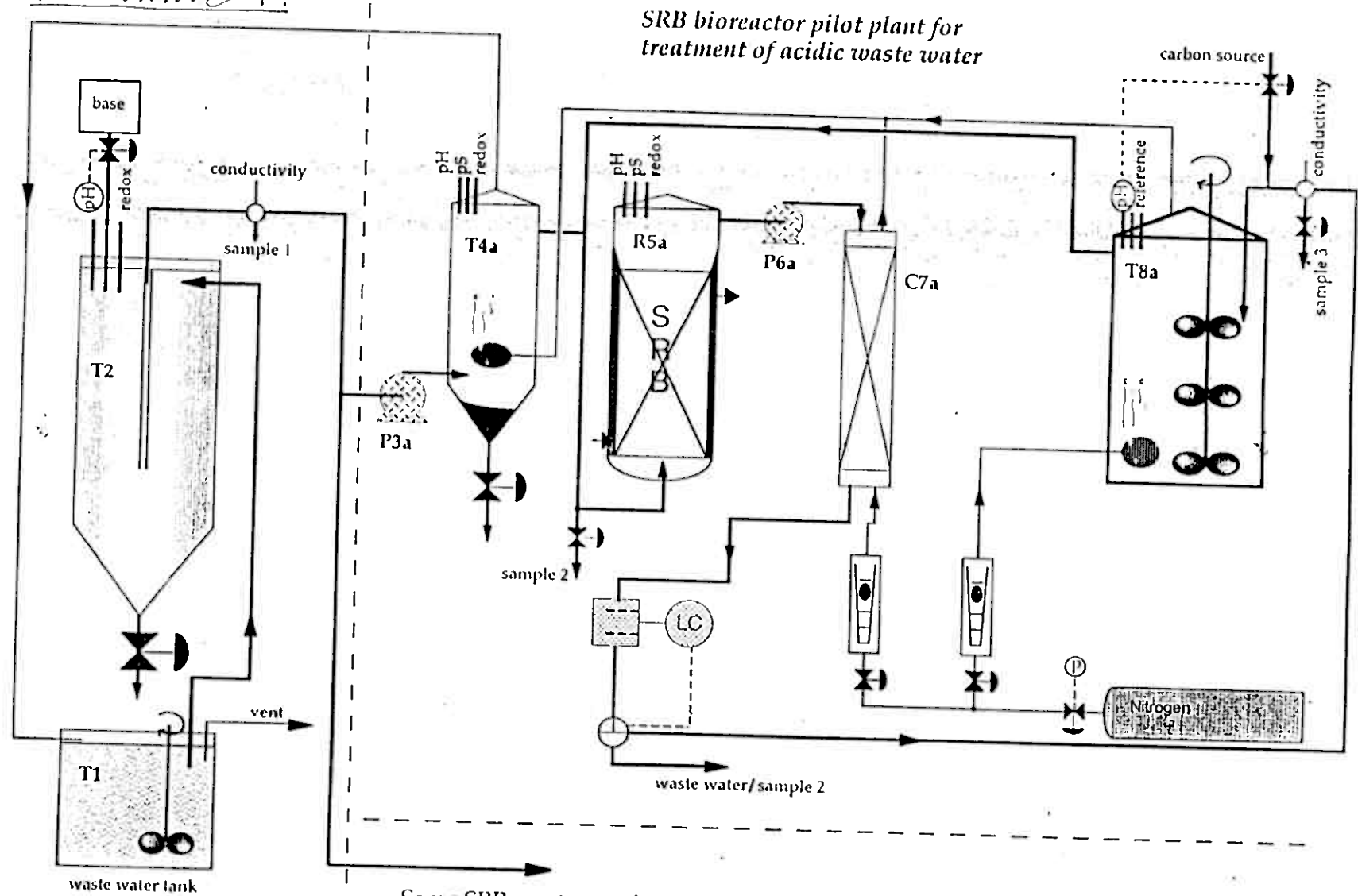
Utslipp av bly

Bransje/bedrift	Resipient	Utslipp (kg/år)
Norzink	Sorffjorden	< 60
Falconbridge Ni.ve.	Kristiansandsfjorden	300
Odda Smelteverk	Sorffjorden	5.500
Ilmenittsmelteverk.	Sorffjorden	150
Sauda Smelteverk	Saudafjorden	220
Elkem, PEA	Frierfjorden	300
Tinfos Jernverk,		
Øye Smelteverk	Fedafjorden	25
Bleikvassli Gruver	Røssåga	35
BNN, Mofjellet Gr.	Ranafjorden	3
Varta Batterier	Iddefjorden	20 - 30
Sønnak Batterier	Indre Oslofjord	20 - 30
Anker Batterier	Ytre Oslofjord	20 - 30

Utslipp av kobber og sink

Bransje/bedrift	Resipient	Utslipp (tonn/år)	
		Cu	Zn
Løkken Verk	Orkla/Orkdalsfj.	42	55
Gamle Folldal Verk	Folla/Glomma	6,6	25
Røros; Storwartzf.	Hitterelva/Glomma	1,6	1,2
Røros; Kongensf.	Orva/Glomma	4	30
Kjøli Gruver	Gaula	15	0,5
Killingdal Gruver	Gaula	6	27
Elkem, Skorovas Gr.	Grøndalselv/Namsen	1,8	13,4
Elkem, Skorovas Gr.	Stallvikelv/Namsen	7	19,2
Bleikvassli Gruver	Bleikvasselv/Røssåga	-	2,2
Mofjellet Gruver	Ranafjorden	-	2,3
Sulitjelma Bergverk	Sulitjelmavassdraget	30	40
Norzink	Sorffjorden	0,05	63 (10)
Odda Ssmelteverk	Sorffjorden	1	4
Ilmenittsmelteverk.	Sorffjorden	0,7	38
Falconbridge Nikkel	Kristiansandfj.	8	1,7
Elkem, Brem. (Sil.)	Nordgulen	3 - 6	0,3
Borregaard Ind.Ltd.	Glomma	70	(som oksid)

ALTERNATIVE 1:



Same SRB reactor as above, thermostated at 32 °C