

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0 - 76/70

VURDERING AV AVLØPSVANN FRA KILLINGDAL GRUVER
ÅLEN I SØR - TRØNDELAG

Saksbehandler: Cand.real. Øystein Mundheim

Medarbeider: Ingeniør Lasse Berglind

Rapporten avsluttet: April 1971

INNHOLDSFORTEGNELSE:

	Side:
1. INNLEDNING	4
2. DIREKTE FELLING I RÅVANNET	4
2.1 Direkte felling med kalk	5
2.2 Direkte felling med kalkstein	11
2.3 Direkte felling med natronlut	11
3. SELEKTIV UTSKILLELSE AV KOBBER	13
3.1 Kobber - sementering	13
3.2 Gjenvinning av kobber	16
3.3 Utfelling av jern og sink etter sementering	17
4. SAMMENFATTENDE KONKLUSJON	20
5. LITTERATUR	21

TABELLFORTEGNELSE:

Tabell nr.

1. Analyseresultat ved felling med analytisk hydratkalk	6
2. pH som funksjon av kalkmengde og innblandingstid ved Jar-test forsøk	9
3. Kadmium og sink konsentrasjon som funksjon av pH etter Jar-test felling	9
4. Sulfatinnhold i gruvevann før og etter felling med kalk og natronlut	12
5. pH som funksjon av tilsatt mengde natronlut	12
6. Slamvolum etter henstand	12
7. Fjerning av kobber ved hjelp av jernspon	14
8. Effektiviteten av kobber-sementering som funksjon av sponenes brukstid	16
9. Analyseresultater for jern etter felling med og uten lufting	19

FIGURFORTEGNELSE:

Figur nr.	Side:
1. pH som funksjon av reaksjonstid og kalkdosering	8
2. Slamvolum etter kalkfelling	10
3. Reduksjon av kobber som funksjon av reaksjonstid og jernmengde	15

1. INNLEDNING

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ble i brev av 5/5 og 27/5 1970 fra A/S Killingdal Grubeselskap anmodet om å foreta forsøk med tanke på utfelling av metallioner med kalk, eventuelt selektiv utskillelse av kobber på dreiespon og påfølgende felling av restinnholdet av tungmetaller.

I den foreliggende rapport oppsummeres en del forsøk som er utført for å klarlegge disse spørsmål. Forsøkene er lagt opp som en forundersøkelse hvor vi har lagt vekt på å dekke flest mulige alternativ for felling og avkobring for å gi et bredt grunnlag for valg av rensemetode. Rammen for prosjektet har imidlertid ikke gitt anledning til å gå nærmere inn på de ulike prosesser. Dette er det mer rimelig å ta opp når valg av metode er endelig avgjort. Resultatene gitt i denne rapport er fra laboratorieforsøk som i alle tilfeller bør verifiseres ved forsøk i større skala.

Det tilsendte gruvevann hadde følgende innhold av de undersøkte metallioner:

Jern:	3.800 mg/l
Sink:	4.050 "
Kobber:	700 "
Kadmium:	10 "
Arsen:	Ikke påvist.

Innholdet av andre tungmetaller og eventuell fjerning av disse er ikke vurdert i denne undersøkelsen.

2. DIREKTE FELLING I RÅVANNET

Jern løses ut som toverdige jernioner, og jerninnholdet kan i denne formen teoretisk bli meget høyt, selv med en pH helt opp til 9. I de tilsendte prøver forelå imidlertid oppløst jern vesentlig i treverdige form. At vannet likevel inneholder så store mengder jern (3-4 g Fe/l) skyldes den lave pH-verdi. Allerede ved pH = 5 vil innholdet av treverdige jern være helt ubetydelig. Kobber og sink derimot krever noe høyere pH for

å felles. Ut fra løselighetsegenskapene til de respektive metallhydrok-
syder vil man kunne ha følgende metallionkonsentrasjoner i løsning (in-
tervallene gjenspeiler variasjonene i løselighetsproduktet for sinkhydrok-
syd slik det gis i litteraturen):

pH = 8: 0,65 - 65 mg sink/l

pH = 9: 0,0065 - 0,65 mg sink/l,

og for kobber (Cu^{2+}):

pH = 6: 8 mg kobber/l

pH = 7: 0,08 mg kobber/l

pH = 8: 0,0008 mg kobber/l.

Av dette fremgår at en særlig på grunn av sink må ha høy pH for å få til-
fredsstillende utfelling. De ovenfor nevnte tall er imidlertid gitt ut
fra ideelle betingelser og kan ikke uten videre anvendes på gruvevannet
fra Killingdal. Tilstedeværelsen av andre forstyrrende ioner kan endre
utfellingsegenskapene. De praktiske fellingsbetingelsene er derfor for-
søkt klarlagt ved en del enkle forsøk.

Det er ønskelig å benytte et fellingsmiddel som gir hurtigst mulig sedi-
mentering og minst mulig slam. I denne forbindelse er følgende fellings-
midler vurdert:

- 1) kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- 2) kalkstein (CaCO_3)
- 3) natronlut (NaOH).

2.1 Direkte felling med kalk

Etter innledende forsøk med forskjellige kalkdoseringer ble forsøk ut-
ført med en dosering på 32 g analytisk hydratkalk pr. liter råvann. Kal-
ken ble tilsatt i form av en oppslemming. Etter ca. 1 min. innblanding
ble fellingskaret utsatt for langsom røring 10-40 min. etterfulgt av 30
min. sedimentering før prøver ble uttatt til analyse. Resultatene fremgår
av tabell 1.

Tabell 1. Analyseresultat ved felling med analytisk hydratkalk.

Forsøk nr.	1	2	3	4	5
Langsom røring	10 min.	20 min.	30 min.	-	40 min.
Luftblåsing	-	-	-	30 min	-
Sedimentering	30 min.	30 min.	30 min.	30 min.	30 min.
pH	5,8	6,9	8,0	8,6	12,1
Jern, mg Fe/l	0,26	0,10	0,15	0,14	<0,10
Kobber, mg Cu/l	0,67	0,09	0,045	-	0,045

I overensstemmelse med det som er sagt innledningsvis, må man minst opp til pH > 8,0 for å få fjernet sink. Som det fremgår av tabell 1, er det vesentlige av jern og kobber allerede utfelt ved denne pH.

I forsøk nr. 4 ble luft blåst gjennom i 30 min. i stedet for røring. Ved den pH man her har, skulle man vente at en del av toverdige jern ble oksydert til treverdige jern og utfelt. Analysene viser imidlertid ingen vesentlig forskjell på jerninnholdet fra forsøk nr. 3 til nr. 4, noe som kan tyde på at jern allerede foreligger i treverdig form i den tilsendte prøve. Kvalitative tester tyder også på dette.

pH er den vesentlige faktor som avgjør utfellingen, og det fremgår av tabell 1 at pH er avhengig av reaksjonstiden. Man har ved den anvendte dosering oppnådd pH = 8 etter ca. 30 min. reaksjonstid. Reaksjonstiden må imidlertid avgjøres ut fra anlegget, kalk-kvalitet, volum etc. slik at forholdet mellom doseringsmengde og reaksjonstid for å oppnå en bestemt pH først kan bestemmes på et senere tidspunkt.

En annen serie fellingsforsøk, utført med Jar-test apparat og med teknisk hydratkalk som fellingsmiddel, er vist grafisk i figur 1. Råvann er her tilsatt kalk i form av en oppslemming og omrørt ved ca. 200 r.p.m. Etter en sedimenteringstid på 30 min. er prøvene filtrert (foldefilter) hvoretter pH er målt og prøver for de øvrige analyser konservert.

Kurvene i figur 1 har den typiske titerkurveformen. Det sees i dette tilfelle at stadig mer kalk nyttiggjøres etter som reaksjonstiden øker. Man kan altså innenfor visse grenser nå en viss pH på to måter,- enten ved å øke kalkdoseringen eller reaksjonstiden. Som nevnt over bør nærmere data om det påtenkte anlegg avklares før man går videre med slike forsøk. I tabell 2 og 3 er sammenstilt analyseresultatene fra nevnte forsøksserie.

Etter en verdi for løselighetsproduktet til kadmiumhydroksyd på 10^{-14} (Litt. 3) skulle en ved pH = 9 vente et kadmiuminnhold på ca. 10 mg/l. Tabell 3 viser imidlertid at innholdet av toverdlig kadmium reduseres effektivt ved den foretatte felling.

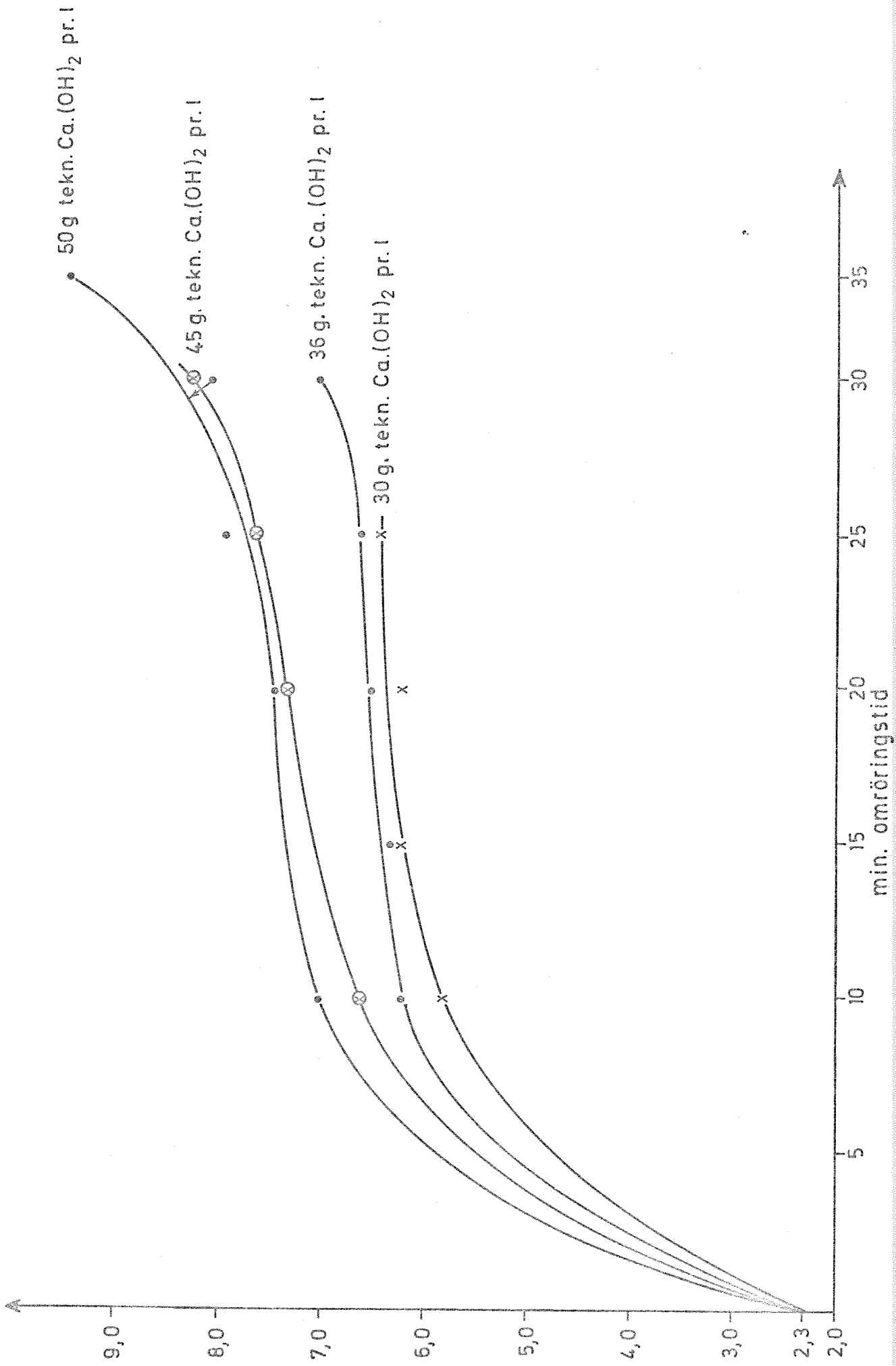
Sinkverdiene i tabell 3 er verdier for avløpsvannet umiddelbart etter felling og 30 min. sedimentering, altså ikke likevektsverdier. Ved pH opp til 7,6 kunne man ved henstand se etterfelling av sinkhydroksyd i ukonserverte prøver. Tabell 3 viser tydelig at man må sikre en pH-verdi større enn 8,0 for å få sinkverdier under 1,0 mg/l ved denne behandling. Det er også verdt å merke seg at sinkverdiene øker meget raskt dersom pH faller i området 8,0 - 7,0.

I et kontinuerlig anlegg vil sedimenteringsegenskapene være vesentlige for resultatet. Sedimenteringshastigheten ble målt i forsøk nr. 3, tabell 1 med resultat som vist i figur 2. Det understrekes at dette ikke var et gjennomstrømningsforsøk. Forsøksseriene i tabell 2 viste samme forløp, men gav noe større slamvolum, 40-50% slam etter 30 min. henstand.

Anvendes teknisk hydtratalk som fellingsmiddel, kan de omtalte forsøk sammenfattes til følgende:

1. For å fjerne metallionene Fe^{++} , Zn^{++} , Cu^{++} og Cd^{++} må pH være høyere enn 8,0.
2. Med en reaksjonstid på 30 min. trenges 45-50 kg kalk pr. m^3 for å bringe pH over 8,0. (Dette vil avhenge meget av blandearrangementet).
3. Slamvolumet er ca. 40-50% våt slam etter 30 min. sedimenteringstid.

Fig.1 pH som funksjon av reaksjonstid og kalkdosering



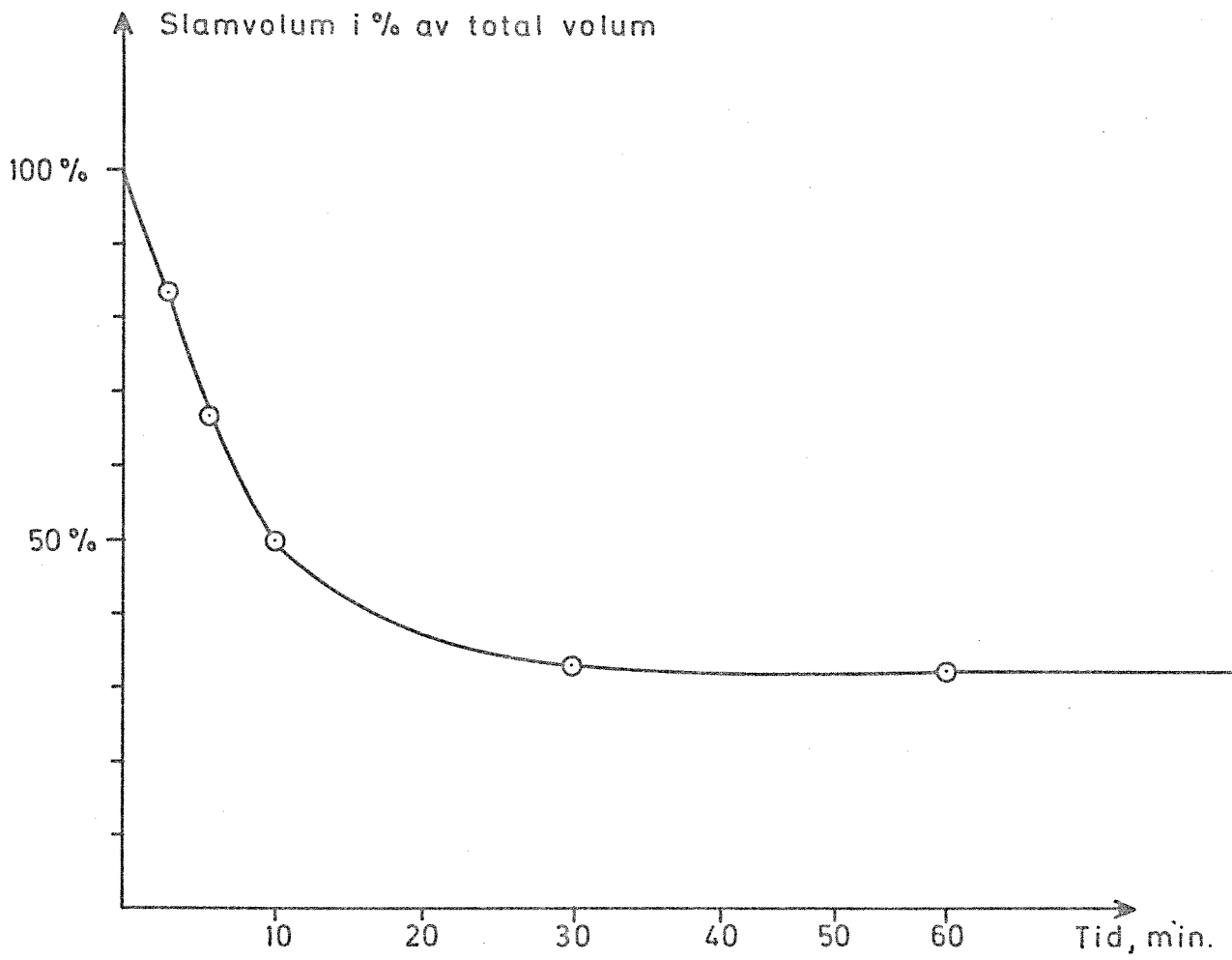
Tabell 2. pH som funksjon av kalkmengde og innblandingstid ved Jar-test forsøk.

Tid min.	pH			
	30 g kalk pr. l	36 g kalk pr. l	45 g kalk pr. l	50 g kalk pr. l
10	5,8	6,2	6,6	7,0
15	6,2	6,3	-	-
20	6,2	6,5	7,3	7,4
25	6,4	6,6	7,6	7,9
30	-	7,0	8,2	8,0
35	-	-	-	9,4

Tabell 3. Kadmium og sink konsentrasjon som funksjon av pH etter Jar-test felling.

pH	6,6	7,3	7,6	8,0	8,2	9,4
Kadmium, mg Cd/l	-	-	-	<0,01	0,02	<0,01
Sink, mg Zn/l	2700	465	126	0,84	0,70	0,12

Fig.2 Slamvolum etter kalkfelling



2.2 Direkte felling med kalkstein

Fordelene ved å bruke kalkstein (CaCO_3) som fellingsmiddel ligger i første rekke i prisen. En litteratur (Litt. 1) anfører også bedre fellingsegenskaper ved bruk av kalkstein, men dette var ikke tilfelle med avløpsvannet fra Killingdal. Nøytraliseringen går raskt opp til ca. $\text{pH} = 6,0 - 6,5$. Videre avtar reaktiviteten av kalkstein, både på grunn av karbondioksyd som dannes, og avsetninger på kalkstein-partiklene som derved blir mindre reaktive.

Forholdene kan bedres noe ved kraftig omrøring, da man med dette kan redusere noe av avsetningene på kalkpartiklene og få luftet ut en del av den karbondioksyd som dannes. I det aktuelle tilfelle ansees likevel kalkstein uegnet på grunn av den høye pH som er nødvendig for å fjerne sink. Innledende forsøk har vist at 70 kg/m^3 etter 30 min. flokkuleringstid med langsom omrøring bare gav en pH på ca. 6,0.

2.3 Direkte felling med natronlut

Etter som pH er den avgjørende faktor for utfelling av metallionene i gruvevann, skulle man vente at natronlut (NaOH) ville være godt egnet. (NaOH gir hurtig nøytralisering sammenliknet med Ca(OH)_2 og CaCO_3 .) Felling med natronlut gir imidlertid enda dårligere sedimenteringsegenskaper enn de andre alternativene. Det ble funnet at denne forskjell i sedimenteringsegenskaper var særlig stor i vann rikt på sulfat, og dannelsen av gips (CaSO_4) antas å være en vesentlig årsak til dette. (Litt. 1). Tabell 4 viser sulfatinnholdet før og etter felling med henholdsvis kalk og natronlut. Tabellen viser tydelig at ved bruk av kydratkalk som fellingsmiddel fjerner man også en stor del av sulfatinnholdet i vannet.

Tabell 4. Sulfatinnhold i gruvevann før og etter felling med kalk og natronlut.

Dosering	pH	Sulfat mg SO ₄ /l
Råvann	2,3	24.200
50 g kalk (Ca(OH) ₂)	9,3	1.600
17,6 g natronlut (NaOH)	9,5	24.000

Tabell 5. pH som funksjon av tilsatt mengde natronlut.

g natronlut/l gruvevann	pH
14,0	6,5
16,0	6,6
17,2	8,0
18,0	9,3
18,4	9,7
18,8	10,5
20,0	11,7

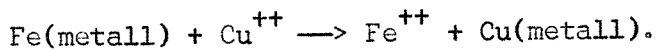
Tabell 6. Slamvolum etter henstand.

Tilsatt mengde natronlut	Sedimenteringstid	
	15 min.	30 min.
18,8 g NaOH/l	100%	99%
20,0 g NaOH/l	100%	99%

Disse forsøk med natronlut som fellingsmiddel tyder på at tross lavt kjemikalieforbruk og rask reaksjon er sedimenteringsegenskapene så dårlige at praktisk anvendelse neppe er mulig (tabell 6). Selv om man ved hjelpekoagulanter kan få ned slamvolumet, byr kalsiumforbindelser på vesentlige fordeler, idet de også fjerner vesentlige mengder sulfat. (Tabell 4.)

3. SELEKTIV UTSKILLELSE AV KOBBER

Utfelling av kobber ved reaksjoner med et mer elektronegativt metall er en velkjent prosess. (Litt. 2.) Mest brukt til dette formål er jern, vesentlig på grunn av sin lave pris. Skrapjern og diverse former for jernspon er tidligere meget anvendt selv om den sistnevnte form er den gunstigste. Jo større overflate pr. vektenhet, jo mer effektivt som reduksjonsmiddel for kobberioner. Reaksjonen som foregår, er:



Det reduserte kobber har en tendens til å dekke jernoverflaten og gjøre sponene inaktive. En effektiv omrøring med et røreverk e.l., f.eks. risting, er derfor meget vesentlig for å oppnå en effektiv prosess. Det fremgår videre av ligningen at innholdet av toverdig jernioner øker ved prosessen, og dette må da helst oksyderes til treverdig jern før det felles som jernhydroksyd. I nærvar av fellingsmiddel, dvs. ved pH 7 - 8, vil denne oksydasjon kunne utføres ved hjelp av luftinnblåsing. Luftinnblåsing vil da samtidig bevirke en viss omrøring. Andre oksydasjonsmidler som f.eks. klorgass er også brukt.

3.1 Kobber - sedimentering

Innledende forsøk med fjerning av kobber ved hjelp av jernspon ble utført i ikke-kontinuerlig system. Det ble anvendt dreiespon av stål. Resultatene av forsøk med 15 g og 30 g spon/l er vist i figur 3 og tabell 7.

Tabell 7. Fjerning av kobber ved hjelp av jernspon.

Reaksjons- tid	15 g spon pr. l		30 g spon pr. l	
	Kobber % reduksjon	Jern % økning	Kobber % reduksjon	Jern % økning
15 min.	67	78	89	84
30 min.	92	79	97	80
45 min.	98	81	99	83
60 min.	99,7	84	99	89

Sponet ble her omrørt ved ca. 150 r.p.m., og reaksjonstiden ble variert. Prøver ble så tatt ut etter forskjellige reaksjonstider, filtrert og analysert på kobber og jern. Analysetallene gir altså innholdet av oppløst kobber og jern, dvs. det man kan vente etter maksimal sedimentering.

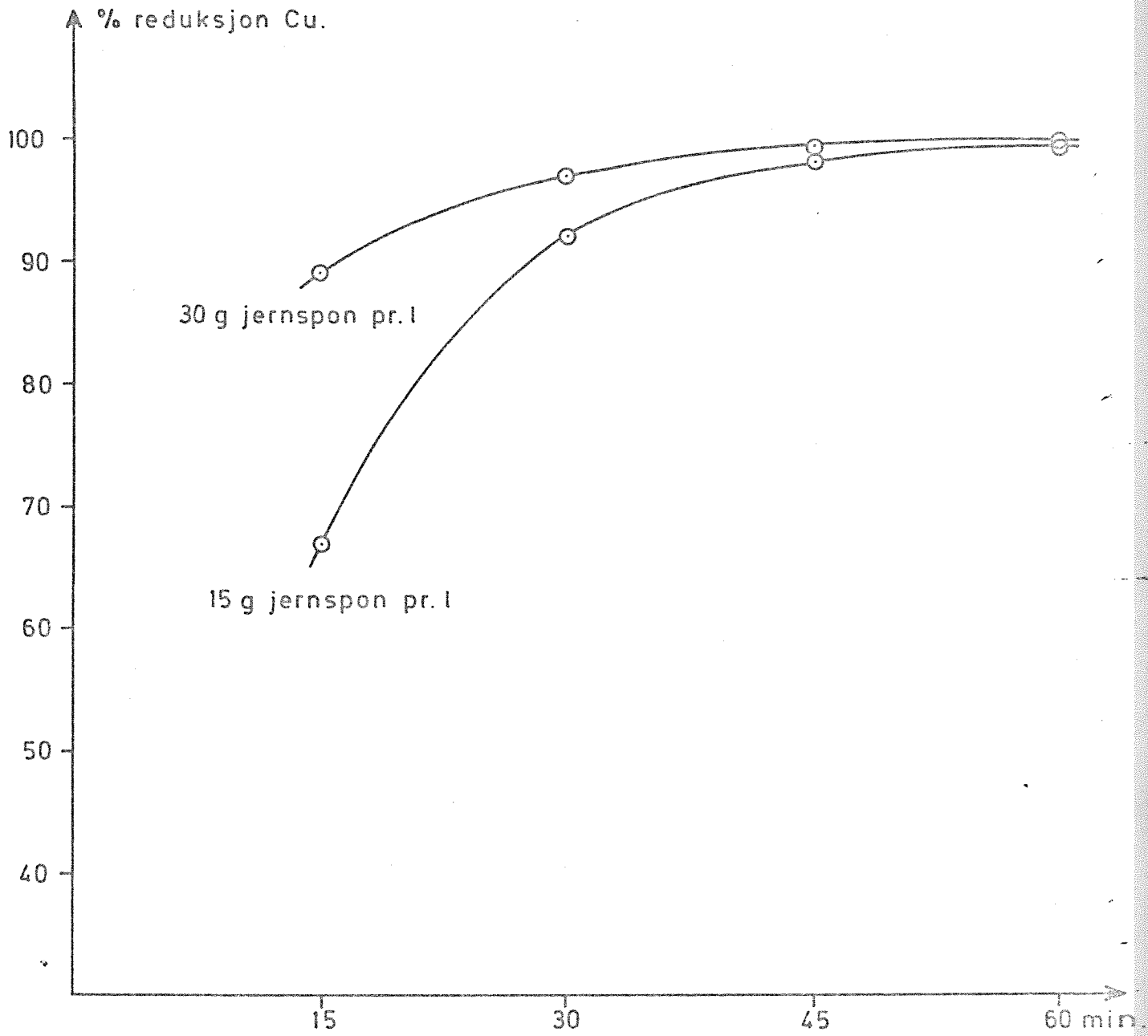
Figur 3 viser en betydelig forskjell i kobber-reduksjon fra 15 - 30 min. reaksjonstid. Deretter flater kurven ut, og man vinner lite ved å øke reaksjonstiden ytterligere. Derimot vil mer jern gå i løsning om reaksjonstiden forlenges, noe som øker kalkforbruket ved den etterfølgende felling.

Resultatene av forsøk som disse er ofte ikke reproducerbare,- dette bl.a. fordi kvaliteten av jernspon, overflaten av sponene og effekten av røringen med hensyn til å hindre kobberbelegg på jern er vanskelig kontrollerbare størrelser. Resultatene synes imidlertid å være tilstrekkelig reproducerbare til bruk i denne sammenheng. På grunnlag av tabell 7 er det i de videre forsøk valgt 30 g spon pr. liter og 30 min. reaksjonstid.

Ved utfelling av kobber vil jern forbrukes, og mulighetene for overdekking av sponene vil være til stede ved den enkle prøveanordning som er brukt her. For å få et inntrykk av sponenes effekt over lengre tid ble nytt gruvevann tilsatt sponene etter hver halve time og prøver av avløpsvann uttatt til analyse. Tabell 8 viser resultatene av dette forsøk.

Fig.3

Reduksjon av kobber som funksjon av reaksjonstid og jernmengde



Tabell 8. Effektiviteten av kobbersementeringen
som funksjon av sponenes brukstid.

Sponenes brukstid	Kobber % reduksjon	Jern % økning
0 - ½ time	96	70
½ - 1 time	97	77
1 - 1½ time	98	75
1½ - 2 timer	97	78
2 - 2½ time	98	69

Man ser av tabell 8 at samme sponmengde gir tilfredsstillende kobber-reduksjon selv etter 2½ time med en enkel mekanisk omrøring. Utløsning av jern holder seg også temmelig konstant over denne perioden. Regnet etter totalt jerninnhold på ca. 3,5 g Fe/l og 75% økning under reaksjonen får man et tap på 2,6 g Fe/l surt gruvevann. Dette vil si at det tar 5-6 timer før nivået på kurven for 15 g spon/l nåes. (Se figur 3.) Det forutsettes da at jernsponet ikke dekkes av et kobberslambelegg. Hvor ofte man bør tilsette friske spon, vil i siste instans avhenge av anleggets utforming, effekten av den mekaniske omrøring etc. Men man bør ta sikte på å holde effektiviteten av kobberreduksjonen i området som avgrenses av kurvene for 15 g og 30 g spon/l. (Se figur 3.)

3.2 Gjenvinning av kobber

Avløpsvannet fra Killingdal er, med et totalt jerninnhold på ca. 3.800 mg Fe/l, praktisk talt mettet. At hovedmengden av dette er treverdige jern, indikeres av en markert utfelling av rødbrunt jernhydroksyd etter en tids kontakt med jernspon. Under kontakten med jernsponet øker pH noe, hvilket bevirker at løselighetsproduktet for jernhydroksyd ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) overskrides. De maksimale konsentrasjoner av treverdige jern som kan være i løsning, er følgende:

Ved pH = 3,0 - Fe(III) = 56 mg/l

ved pH = 2,5 - Fe(III) = 1766 mg/l.

Det utfelte jernhydroksyd kan skilles fra kobberpartiklene ved svak omrøring. De tyngre kobberpartiklene blir liggende på bunnen mens det meste av jernhydroksydet holdes i suspensjon og kan føres vekk med vannstrømmen.

Så man på analysen av råvannet på side 4 viser denne et kobberinnhold på ca. 700 mg Cu/l. Resultatene av avkobringsforsøkene (tabell 7, figur 3) viser en kobberreduksjon i avløpsvannet på omkring 97-98%. Flere forsøk ble nå utført, hver med 30 g spon og en halv times kontakttid. Kobberpartiklene ble skilt fra jernsponet som nevnt ovenfor, vasket, filtrert og veiet. Resultatet ble ca. 324 mg kobber gjenvunnet pr. liter. Dette betyr at ca. 50% av kobberet som fjernes fra vannfasen, ikke blir gjenvunnet. Tapet må antas å avhenge en god del av utformingen av prosessen og anlegget. I våre forsøk er det rimelig å anta at tapet av kobber delvis skyldes borttransport med jernhydroksyd.

Analyse av kobberslammet etter tørking ved 105 °C viste følgende sammensetning:

Kobber:	98,3%
Jern:	0,4%
Sink:	0,04%

Det må i denne sammenheng påpekes at resultatet er avhengig av separeringssystemet for kobber, dvs. hvor godt man kan hindre at kobberslam forsvinner ut med vannstrømmen, og hvor effektivt man får kobber slått av jernsponene. Driftstiden må også antas å ha betydning, slik at man ikke kan slutte direkte fra disse laboratorieforsøk til et teknisk anlegg hva gjenvinning angår. Renseeffekten på vannet derimot antas å gi et godt bilde av hva man kan vente i praksis.

3.3 Utfelling av jern og sink etter sementering

Tabell 7 viser en viss økning i jerninnholdet etter at det sure avløpsvannet har vært i kontakt med jernspon. Dette jern er det nødvendig å fjerne sammen med sink før vannet ledes til resipienten.

Jern som løses ut ved kontakt mellom det sure avløpsvann og jernspon, foreligger i toverdig form, dvs. Fe(II). Dessuten foregår en reduksjon av Fe(III) til Fe(II) ved tilstedeværelse av metallisk jern etter likningen:



Resultatet av disse prosesser er at en vesentlig del av jernet etter sementeringsprosessen foreligger som toverdig jern (Fe(II)). Dette bekreftes kvalitativt ved at fellingsproduktet i dette tilfelle er grønt som jernhydroksyd ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), i motsetning til brun utfelling av treverdig jern (Fe(III)). Utfelling av dette jern sammen med de betydelige sinkmengder ble forsøkt utført på samme måte som i pkt. 2.1.

Etter avkobring med jernspon ble 45 g teknisk hydratkalk pr. liter gruvevann omrørt ved ca. 150 r.p.m. i et forsøkskar. I et annet kar ble denne omrøringen etter 5 min. erstattet av trykkluft som ble fordelt via et glass-sinter. Trykkluften holdt kalken og det utfelte hydroksyd i en viss bevegelse. Prøver ble tatt ut med 5 min. mellomrom, filtrert og umiddelbart analysert for pH og jern. pH nådde ved disse forsøkene verdien 8,0 etter 30-40 min. Resultatene er ført opp i tabell 9.

Tabell 9. Analyseresultater for jern etter felling med og uten lufting.

pH	Jern mg Fe/l	
	Lufting	Mekanisk røring
6,3	1870	3030 x
6,4	1170	
6,5	636	3080
6,7	1125 x	
6,8	109	638
7,2		4,9 x
7,3	10	
7,5	0,44	
7,6		2,0 x
7,8		0,05 x
8,3		0,05 x
8,4		0,09 x
8,6	0,32	
9,3	0,40	
10,7	0,12 x	
11,0		0,01 x

Luftingen er forsøkt for om mulig å oksydere toverdigg jern til treverdigg jern på en enkel måte. Treverdigg jern vil felles ved betydeligg lavere pH enn toverdigg og gi et slam med bedre sedimenteringsegenskaper. I det foreliggende tilfelle er man imidlertid likevel nødt til å heve pH til 8,0-9,0 for å få felt ut sink, slik at fordelene ved lufting ikke kan bli så store. Toverdigg jern er videre bare påvist kvalitativt, idet det ikke er gjort forsøk på å bestemme forholdet mellom Fe(II) og Fe(III) etter avkobring.

Oppstillingen i tabell 9 er basert på to forsøksserier, den ene merket med x. Resultatene viser klart bedre utfelling med luft i det lave pH-området. Når man kommer over pH = 7,0, synes dette ikke lenger å være

tilfelle under forsøksbetingelsene selv om lufting teoretisk skulle være mest effektivt i dette området. Vi har her ikke gått nærmere inn på disse resultater. Det vesentlige er imidlertid at man p.g.a. sink og kadmium må heve pH til 8,0-9,0, og at jernutfellingen uten lufting er tilstrekkelig ved disse pH-verdier. Dette vil igjen si at det i det foreliggende tilfelle er lite å vinne ved lufting.

4. SAMMENFATTENDE KONKLUSJON

Vi har på det nåværende tidspunkt ansett det som verdifullt å belyse flere sider at problemet for på den måten å gi bedre grunnlag for å finne frem til det rette prinsipp ved behandling av avløpsvannet fra Killingdal Gruver. Resultatene foran må derfor oppfattes som orienterende. Resultatene av forsøkene kan kort oppsummeres som følger:

- 1) For direkte felling synes kalk, Ca(OH)_2 , å være det mest realistiske alternativ. Reaksjonstiden vil være avhengig av anleggets utforming, men 30-50 kg kalk pr. m^3 gruvevann vil antakelig være nok til å bringe $\text{pH} \geq 8,0$.
- 2) Kobber-sementeringsprosessen har ved de laboratorieforsøk som er foretatt, vist seg effektiv med ca. 30 min. reaksjonstid. Forbruket av jernspon var da i størrelsesorden 2,6 kg pr. m^3 gruvevann. Resultatene av våre forsøk tyder på en gjenvinning på 300-350 g pr. m^3 av et slam som inneholder 98% kobber.

Fjerning av Cu^{++} fra vannfasen var 97-98% ved denne prosessen, men bare ca. 50% av dette lot seg gjenvinne i laboratorieforsøk. Det understrekes at flere forsøk må til for å komme frem til en hensiktsmessig anleggstype.

Kobber-sementering forutsettes etterfulgt av nøytralisering og felling med kalk. Man må regne med at 40-50 kg teknisk kalk pr. m^3 gruvevann med en reaksjonstid på ca. 30 min. vil gi tilstrekkelig høy pH til utfelling av jern, sink og kadmium.

- 3) Begge de skisserte alternativer gir store slammengder. Spesielt hydroksydene av toverdig jern i alternativ 2) er problematiske. Slamvolum på 40-75% kan antydes fra henholdsvis alt. 1) og alt. 2). Rammen for dette prosjektet tillater oss imidlertid ikke å gå nærmere inn på løsningen av slamproblemet. Et par innledende forsøk med hjelpekoagulanter kan imidlertid tyde på at disse har en viss effekt uten at resultatene gir grunnlag for sikre konklusjoner.

5. LITTERATUR

1. Hasebe, S., Iwate University, Japan:
"The Utilization of calcium carbonate and calcium hydroxide as neutralizing agent in acid mine water disposal". - Foredrag på International Congress on Industrial Waste Water, Stockholm 1970.
2. Sierp, Fr.: "Die Gewerblichen und Industriellen Abwässer". s. 598. Springer Verlag, Berlin 1967.
3. Hägg, G.: "Allmän och oorganisk kemi". Almquist & Wiksell, Uppsala 1964.

---oOo---