



Bergvesenet

Postboks 3021, N-7441 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr 5670	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering	Gradering
Kommer fra ..arkiv Elkem AS	Ekstern rapport nr BVLI tekn rapp 47/3	Oversendt fra Elkem AS	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Tittel Rensing av gruvevann ved hjelp av oppredningsavgang Delrapport III Rensing av gruvevann - Laboratorieforsøk med gruvevann fra Løkken				
Forfatter Peder Kjøkell		Dato Ar August 1981	Bedrift (oppdragsgiver og/eller oppdragstaker) Bergforskningen	
Kommune Meldal	Fylke Sør-Trøndelag	Bergdistrikt	1: 50 000 kartblad 15213	1: 250 000 kartblad Trondheim
Fagområde Gruveteknisk	Dokument type	Forekomster (forekomst, gruvefelt, undersøkelsesfelt) Løkken		
Råstoffgruppe Vann/ grunnvann	Råstofftype			

Sammendrag, innholdsfortegnelse eller innholdsbeskrivelse

Det er utført laboratorieforsøk i batchskala med kondisjonering av gruvevann fra Løkken med flotasjonsavgang der kobberkis og sinkblende var flotert av ved batchflotasjon. Det er utført forsøk med forskjellige blandingsforhold av gruvevann og avgang og med forskjellige kondisjonstider. Basis for forsøkene er blanding av gruvevann og avgang (med avgangsvann) i mengdeforhold som omtrent tilsvarer årlig produksjon av gruvevann og avgang.

1/RE
BERGVERKENES LANDSSAMMENSLUTNINGS INDUSTRIGRUPPE

BERGFORSKNINGEN

TEKNISK RAPPORT NR. 47/3

PROSJEKT "RENSING AV GRUVEVANN
VED HJELP AV OPPREDNINGSAVGANG"

DELRAPPORT III

"RENSING AV GRUVEVANN – LABORATORIEFORSØK
MED GRUVEVANN FRA LØKKEN"

AV

PEDER LJØKJELL

BERGFORSKNINGEN

CIRKULÆRE NR. 22/81.

Trondheim 25.11.1981.
FRE/bd

TEKNISKE RAPPORTER.

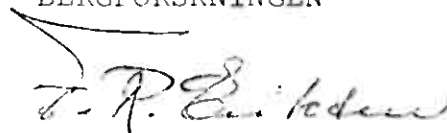
:/ . Vedlagt og separat oversendes - fortrinnsvis til verksadressen - tre eksemplarer (eller avtalt antall) av:

TR 47/3 "Rensing av gruvevann - laboratorieforsøk med gruvevann fra Løkken".

TR 54 "Fotogrammetri under jord".

Det ene eksemplaret er beregnet på Deres kontaktmann for henholdsvis Mineralteknikk- og Grubekomiteen.

Med hilsen
BERGFORSKNINGEN



Vedlegg.

BERGVERKENES LANDSSAMMENSLUTNINGS INDUSTRIGRUPPE
BERGFORSKNINGEN

TEKNISK RAPPORT NR. 47/3

PROSJEKT "RENSING AV GRUVEVANN VED HJELP AV OPPREDNINGSAVGANG"

DELRAPPORT III

"RENSING AV GRUVEVANN - LABORATORIEFORSØK MED GRUVEVANN
FRA LØKKEN"

AV

PEDER LJØKJELL

TRONDHEIM AUGUST 1981

INNHOLDSFORTEGNELSE

SIDE

FORORD	I
SAMMENDRAG	1
1. INNLEDNING	3
2. KONDISJONERING AV SVOVELKIS MED KOBBER I BASISK MILJØ	4
2.1. Eksperimentelt	4
2.2. Resultat	5
2.3. Vurdering av kondisjonering i basisk miljø	7
3. AVGANG FRA FLOTASJONSVERKET PÅ LØKKEN	8
4. GRUVEVANN FRA LØKKEN	9
5. FREMSTILLING AV AVGANG FRA LØKKEN-KIS VED BATCHFLOTASJON	10
5.1. Generelt	10
5.2. Flotasjonsavgang fra gods malt i jernmølle	11
5.3. Flotasjonsavgang fra gods malt i gummiforet mølle	13
6. FREMGANGSMÅTE VED RENSEFORSØK	13
7. RESULTATER AV RENSING AV GRUVEVANN	18
7.1. Fjerning av Cu og Zn	18
7.2. Fjerning av Al og Fe	28
7.3. Fjerning av Cd	35

7.4. Pb i løsning	35
7.5. Ca, Mg og SO_4 i løsning	39
7.6. Oversikt over rensingen	41
7.7. Settling av avgang. Utfelling av forurensninger i vannet	41
8. VURDERING AV RESULTATER	46
9. KONKLUSJON	49
LITTERATUR	51

F O R O R D

Prosjektet kom igang våren 1977 med dr. ing. Peder Ljøkjell som utførende og ansvarshavende. I 1978 ble arbeidsutvalget utvidet med:

Cand. real Rolf Tore Arnesen - NIVA

Overing. Harald Ese - Løkken

-"- Bård Grønli - Folldal

Den første delrapporten - TR 47/1 fra 1979 - ga en oversikt over kvaliteter og kvantiteter av gruvevann og avganger ved våre kisgruver. Den omhandlet videre fysikalske og kjemiske forhold ved adsorbsjon og rense-effekt av mineraler overfor tungmetalljoner.

Delrapport nr. 2 - TR 47/2 fra 1980 - omhandler undersøkelser av adsorbsjon av Cu- og Zn-joner på svovelkis og magnetkis.

Delrapport nr. 3 - TR 47/3 - foreligger nu. Den redegjør for laboratorieforsøk på å rense gruvevann med opprednings-avgang.

Det neste trinn vil bli å utføre praktiske forsøk ved et igangværende flotasjonsverk.

BVLI's faste komité for mineralteknikk

M. Digre

H. J. Hansen

O. Øyasæter

SAMMENDRAG.

I tilknytning til adsorbsjonsundersøkelser av Cu-joner på svovelkis (TR nr. 47/2), er det foretatt undersøkelser som bekrefter at Cu ikke i påviselig grad adsorberes på svovelkis ved utbyttingsreaksjon over pH ca. 10 i oksygenholdig miljø. Cu som over pH ca. 10 er utfelt som hydroksyd, vil derfor raskt kunne gå i løsning når pH synker ned mot fellingsgrensen for $\text{Cu}(\text{OH})_2$. For å få Cu bundet til svovel på kiskornene, bør pH ikke være vesentlig over ca. 8,5. Når pH synker, vil Cu bundet til svovel fremdeles befinne seg på svovelkisen et godt stykke under nøytral pH.

Det er utført laboratorieforsøk i batchskala med kondisjonering av gruvevann fra Løkken med flotasjonsavgang der kobberkis og sinkblende var flotert av ved batchflotasjon. Avgangen inneholdt ca. 70% FeS_2 og var av omtrent samme finhet som avgangen fra verket. Gruvevannet hadde pH 2,12 og inneholdt bl.a. 3974 ppm Fe, 455 ppm Cu, 648 ppm Zn, 2,4 ppm Cd og 395 ppm Al. Det er utført forsøk med forskjellige blandingsforhold av gruvevann og avgang og med forskjellige kondisjoneringstider. Basis for forsøkene er blanding av gruvevann og avgang (med avgangsvann) i mengdeforhold som omtrent tilsvarer årlig produksjon av gruvevann og avgang (0,89 liter gruvevann og 400 gram avgangsminerale). Etter 15 minutter kondisjonering og en naturlig pH på 4,5 ble Cu-innholdet i suspensjonen redusert til ca. 3 ppm og Cd til ca. 0,3 ppm. Begge disse elementer antas å adsorberes til svovelkis ved utbyttingsreaksjon. Ved denne pH er også Al, tilført med gruvevannet, redusert til ca. 1/3 ved utfelling. Fe-mengden er redusert til omtrent det halve av det som ble tilført, mens Zn-mengden er omtrent den samme som tilført Zn. Stigning i pH til ca. 4,5 antas vesentlig å skyldes det lille kalkspattinnholdet i avgangen.

Ved $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -tilsats til pH ca. 6 er innholdet av Cu, Cd og Al i væsken redusert til under 0,1 ppm, mens Zn-innholdet fremdeles er ca. 50 ppm og Fe-innholdet ca. 150 ppm.

Ved videre oksydasjon vil Fe her etter hvert felles ut. Begynnende adsorpsjon av Zn ved utbyttingsreaksjon med Fe i svovelkis skjer først over pH ca. 5 og først ved økning av pH til over ca. 7,5 vil Zn-innholdet kunne senkes ned mot ca. 0,5 ppm. Zn antas da delvis å være bundet til svovelkis ved utbyttingsreaksjon og dels være utfelt og muligens fysikalsk adsorbert på mineraler.

Tilførsel av Ca-joner feller gips ut av løsningen. Gipsutfelling er muligens hovedårsak til en volumøkning av avgangen. Gipsutfellingen pågår en tid etter opphør av kondisjonering til likevekt er oppnådd.

Økning av tilsats av gruvevann til det dobbelte ga omtrent samme resultat m.h.t. innhold av metallforurensninger i vann ved de respektive pH-verdier. Dette krever en økning av kalktilsats. Muligens kan finmalt CaCO_3 med fordel anvendes som pH-regulator.

Hensynet til lavt sinkinnhold krever som nevnt en pH over ca. 7,5, men i henhold til det som er sagt innledningsvis bør pH ikke være vesentlig over ca. 8,5 for å få metalljonene best mulig festet til overflatene av svovelkiskorn.

1. INNLEDNING.

Teknisk rapport nr. 47/1 ga en oversikt over kvaliteter og kvantiteter av gruvevann og oppredningsavganger fra norske kisgruver (1). En overveiende del av gruvevann er surt og inneholder betydelige mengder tungmetalljoner. Rapporten omhandlet også fysikalske og kjemiske forhold ved adsorpsjon av metalljoner på mineraler og ga en oversikt over hva som er kjent om renseeffekt av mineraler overfor metalljoner i vann. Rapporten viser at adsorpsjon av tungmetalljoner på vanlige bergartsmineraler er forholdsvis godt klarlagt. Betydelige mengder metalljoner kan adsorberes på friskmalte bergartsmineraler. Derimot er adsorpsjon på kismineraler dårlig klarlagt, og avgangene fra norske kisoppredningsverk holder idag oftest betydelige mengder svovelkis og dels magnetkis.

Ved videre arbeider ble derfor adsorpsjon av tungmetalljoner, spesielt Cu- og Zn-joner, på svovelkis og magnetkis undersøkt ved kondisjonering av vandige suspensjoner av mineralene. Suspensjonene ble tilsatt oppløsninger av de respektive tungmetalljonene. Resultatene er omhandlet i Teknisk rapport nr. 47/2 (2) og viser en betydelig adsorpsjon av Cu og Zn på svovelkis, men mest på magnetkis. Cu adsorberes langt sterkere enn Zn. Sammenlignet med friskmalte bergartsmineraler, har man langt sterkere adsorpsjon på kismineralene. For å oppnå best mulig fjerning av tungmetalljoner, bør pH være over 7. Det er rapportert at det over pH 10 ikke er påvist adsorpsjon av Cu på magnetkis (3). Konsekvensen av dette vil være at under kondisjonering bør pH ikke være for høy, og man har anslått en pH ikke vesentlig over 8,5.

Det var i arbeidsutvalget enighet om at det ville være av betydning å få avklart adsorpsjonsforhold ved kondisjonering av kis med metalljoner i basisk pulp og derpå senkning av pH til under 7. Resultater av disse undersøkelsene er tatt med i denne rapporten.

Videre ble det besluttet å gå over til renseforsøk med aktuelle gruvevann. Gruvevann fra Løkken ble funnet å være hensiktsmessig, da det er sterkt forurensset, og dessuten har Løkken en gunstig beliggenhet. Man fant å måtte utføre forsøk i laboratoriet i batch-skala med kondisjonering av gruvevann med svovelkisrik avgang fra Løkken-kis. Egnert avgang kunne best lages i laboratoriet ved møllemaling av Løkken-kis og avflotering av kobberkis og sinkblende i batch-skala. Det er i hovedsaken disse undersøkelser denne rapporten omhandler.

2. KONDISJONERING AV SVOVELKIS MED KOBBER I BASISK MILJØ.

2.1. Eksperimentelt.

Forsøkene ble utført med svovelkis fra Bjørkåsen med nedmaling og sikting som ved adsorbsjonsundersøkelsene i TR nr. 47/2. 61 gram charger av grovkornig svovelkis av siktefraksjon 2,36/0,42 mm ble malt i destillert vann i agatmølle med agatkuler. Fingods $\div 5 \mu\text{m}$ ble frasiktet ved våtsikting med ultralyd på nylonsikt. Produktdata er vist i tabell 1, TR nr. 47/2. Charger på 48 gram siktet gods med sp. overflate $2190 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ ble kondisjonert i 250 ml flasker av pyrexglass. Det ble anvendt 250 ml væske som var tilsatt NaOH og 40 mg Cu pr. liter. Vannet var destillert. Kondisjoneringen ble utført ved at flaskene ble rotert med 70 r. p. m. på ruller.

Det ble ialt utført 7 forsøk med kondisjonering i 24 timer i basisk pulp, fra pH 8,50 til pH 10,49 målt etter kondisjonering. Ved noen forsøk (merket 1, 3, 4, 6 og 7) ble pulpen sentrifugert og væsken ble byttet ut med destillert vann til samme volum. Ved væskebytte ble det tapt en Cu-mengde mindre enn tilsvarende 1 mg Cu/liter (kontrollert ved analyser). Prøvene, som nå hadde pH nær eller like under 7, ble derpå kondisjonert videre. Ved to forsøk (merket 2 og 5) ble det kondisjonert 24 timer i basisk pulp. Derpå ble det tilsatt

H_2SO_4 til pH 6,5 og kondisjonert videre. Begge fremgangsmåtene skulle være likeverdige når det gjelder hva som skjer med Cu etter senkning av pH.

Etter kondisjonering ble væsken sentrifugert, tilsatt noen dråper HCl og analysert på Cu ved atomabsorpsjon.

Et forsøk, nr. 8, er utført som kontrollforsøk med 48 timer kondisjonering ved pH 6,95 (målt etter kondisjonering).

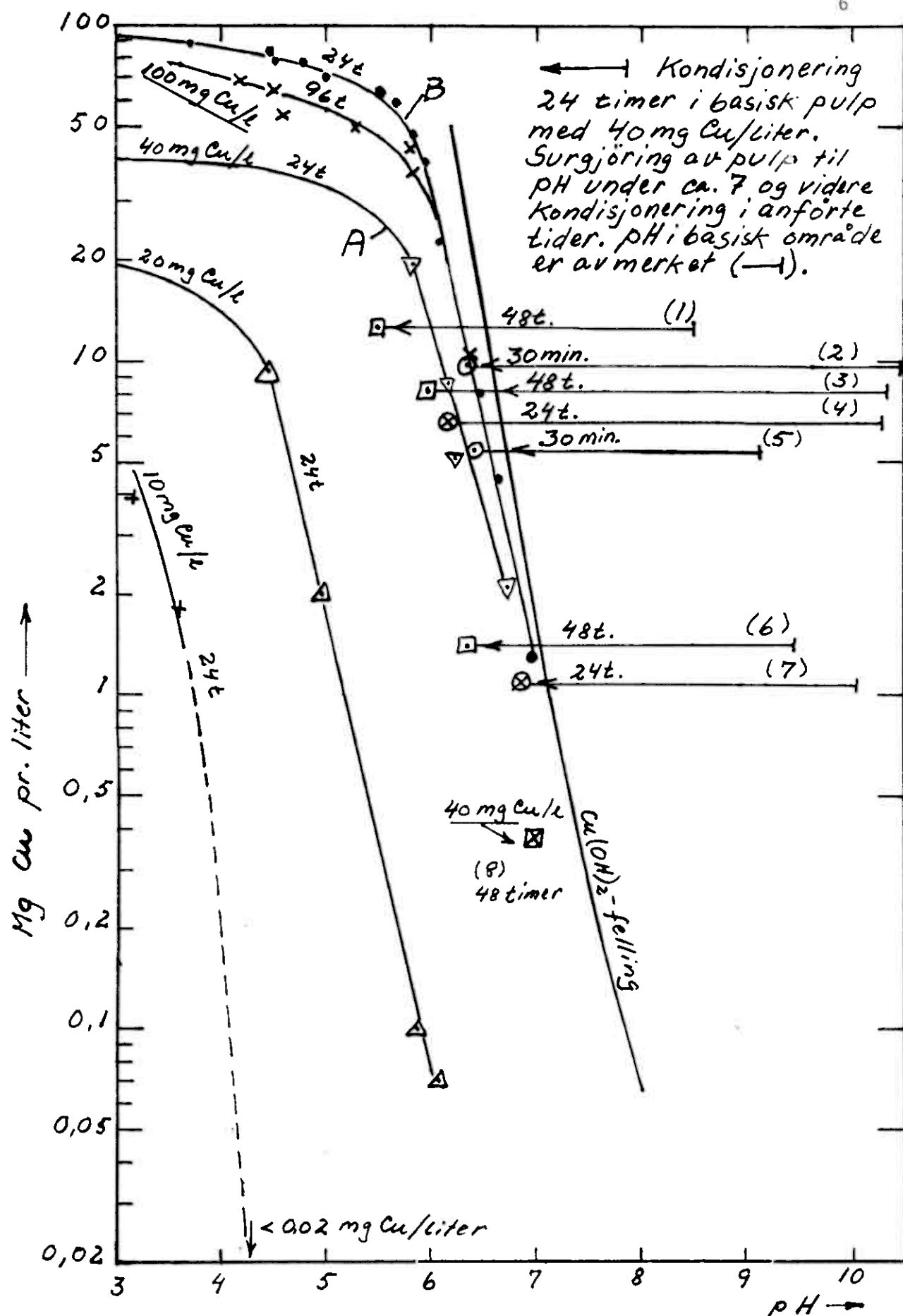
2.2. Resultat.

Figur 1 viser resultat av undersøkelsene. Her er inntegnet kurver fra figur 6, TR nr. 47/2, kurver som viser Cu i løsning etter kondisjonering med bestemte mengder tilsatt av Cu. De kurvene en skal velge for sammenligning er kurven for 24 timer kondisjonering med 40 mg Cu/liter (kurve A) og kurven for 24 timer kondisjonering med 100 mg Cu/liter (kurve B). Den siste kurven representerer både utbyttingsreaksjon for Cu med Fe i kis og utfelling av $Cu(OH)_2$.

Av forsøkene med kondisjonering i 24 timer med 40 mg Cu/liter i basisk pulp, forsøkene 1-7, fremgår at kondisjonering ved pH over 10 ikke har gitt påvisbart bidrag til Cu-adsorpsjonen. Ved ytterligere 30 min. kondisjonering ved pH under 7 ligger Cu-gehalt i løsning, slik det fremgår av forsøk 2, ved utfellingsgrensen (kurve B) og i god avstand fra kurve A. Forsøkene 4 og 7 viser at ved 24 timer kondisjonering etter at pH er senket til ca. nøytralt område, faller punktene ganske bra sammen med kurve A (24 timer kondisjonering).

Ved forsøk med kondisjonering 24 timer under pH 10 (8,5-9,45) før senkning av pH, fremgår spesielt ved forsøk 5 at kondisjonering ved så høy pH som 9,1 har gitt et bidrag til utbyttingsreaksjon av Cu med svovelkis.

Forsøkene 1 og 6 (pH h.h.v. 8,5 og 9,45 i basisk pulp) sammenlignet med forsøk 3 (pH 10,3) viser også bidrag til utbyttingsreaksjon ved pH et stykke under 10. Her er kondisjonert i 48 timer etter senkning av pH. Til sammenligning har man forsøk nr. 8 med direkte 48 timer kondisjonering og pH 7,0.



Figur 1. Kondisjonering av svovelkis med 40 mg Cu/l i basisk pulp. Cu i løsning etter senkning av pH og videre kondisjonering.

2.3. Vurdering av kondisjonering i basisk miljø.

Det ble antatt i Teknisk rapport nr. 47/2 (side 49) at ved kondisjonering av svovelkis og magnetkis med gruvevann ved pH vesentlig over 8 ville man kunne få problemer med adsorpsjon av tungmetalljoner på svovelkis og magnetkis. Antagelsen ble bygget på at det i forbindelse med undersøkelser av Cu-aktivering ikke var påvist adsorpsjon av Cu på magnetkis ved pH 10,2 i oksygenholdig miljø (3). Derimot ved oksygenfritt miljø var det blitt påvist adsorbert Cu.

Ved disse undersøkelsene har man fått bekreftet at kondisjonering av svovelkis med Cu i suspensjon med pH over 10 har gitt utfelling av $\text{Cu}(\text{OH})_2$, men ingen påvisbar utbyttingsreaksjon av Cu med Fe i svovelkis. Det er all grunn til å anta at andre tungmetalljoner heller ikke gir utbyttingsreaksjon med Fe i svovelkis og forøvrig heller ikke med Fe i magnetkis ved høy pH når oksygen er til stede.

Fra pH ca. 9 og videre ned til omtrent nøytralt område har man åpenbart utbyttingsreaksjon av Cu med Fe i svovelkis. Resultatene antyder en økning av utbyttingsreaksjonen med Fe i svovelkis ned mot nøytralområdet.

Som nevnt i TR nr. 47/2 side 25, foreligger målinger av Zeta-potensial for $\text{Cu}(\text{OH})_2$ som viser positivt potensial helt opp til pH 9,4, mens svovelkis er angitt å være negativ fra pH ca. 3 og oppover. Dette skulle kunne tilsi at man i tillegg til utbyttingsreaksjon mellom Cu og Fe i svovelkis også vil kunne ha fysikalsk adsorpsjon av $\text{Cu}(\text{OH})_2$ opp mot pH ca. 9,5.

Når det gjelder utfelling av Zn, så er $\text{Zn}(\text{OH})_2$ positivt ladet opp til pH ca. 10,5 (4), men her har man forholdet med felling av ZnCO_3 . Isoelektrisk punkt for ZnCO_3 er ikke funnet angitt noe sted, men noen andre metallkarbonater har isoelektrisk punkt i området pH 10-11 (5). Det er rimelig å anta at også ZnCO_3 har isoelektrisk punkt et stykke opp på den basiske siden, og derfor vil kunne adsorberes fysikalsk et stykke oppover i basisk område ved siden av utbyttingsreaksjon av Zn med Fe i svovelkis og magnetkis.

Som en helhetsbetraktning av adsorpsjon av tungmetaller i gruvevann på svovelkis og magnetkis, vil forholdet være at utbyttingsreaksjoner på disse mineralene vil avta over pH anslagsvis ca. 8. Utbyttingsreaksjoner vil ikke gjøre seg påvisbart gjeldende over pH ca. 10 med mindre det er oksygenfritt miljø. Spesielt gjelder det Cu-joner. Som antatt i Teknisk rapport nr. 47/2, bør kondisjonering av gruvevann med avgang som inneholder svovelkis og magnetkis ikke foretaes ved pH vesentlig over ca. 8.

Utfelte hydroksyder som da kanskje ikke en gang er fysikalsk adsorbert på mineraler, vil raskt kunne gå i løsning så snart pH når ned til grensen for oppløsning av hydroksyder, ev. karbonater. Ved utbyttingsreaksjoner vil det tåles en lavere pH før metaller går i løsning. Dette gjelder kobber fremfor sink.

3. AVGANG FRA FLOTASJONSVERKET PÅ LØKKEN.

I flotasjonsanlegget på Løkken floterer først av et kobberkiskonsentrat og derpå et sinkblendekonsentrat. Ved møllemalingen og i kobberkisflotasjonen holdes pH på ca. 11,0 regulert med tilsats av $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Ved sinkblendeflotasjonen blir pH holdt på ca. 12,0. I kobberkisflotasjonen brukes 42 gram/tonn Z-200 og 52 gram/tonn kaliumamylxantat. Ved sinkblendeflotasjonen anvendes 480 gram/tonn CuSO_4 og 20 gram/tonn kaliumetylantat. Totalt anvendes ca. 5 kg/tonn $\text{Ca}(\text{OH})_2$ og 6 gram/tonn MIBC. For trykking av sinkblende anvendes $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$. Avgangspulpen har pH ca. 11,6.

Ifølge oppgaver fra Orkla (TR nr. 47/1) har avgangen på Løkken følgende sammensetning:

0,6 %	CuFeS_2
0,45%	ZnS
65,0 %	FeS_2
ca. 33,0 %	bergart

Bergartsmineralene er i hovedsaken kvarts, hornblende, kloritt, plagioklas, epidot og litt kalkspatt. Det er utført sikteanalyse og måling av spesifikk overflate på dag gammel avgangsprøve fra Løkken. Prøven ble filtrert og derpå tørket i vakuum for å begrense oksydasjonen mest mulig. Kjemisk analyse viste 0,12% Cu og 0,25% Zn. Sikteanalysen viste 4,36% + 37 μm . Måling av spesifikk overflate ved N_2 -adsorpsjon (BET-måling) ga som resultat 24.270 cm^2/gram eller 94.160 cm^2/cm^3 . Dette var 6,1 ganger større spesifikk overflate enn den som ble målt ved permeabilitetsmåling (Blaine) som viste 15.300 cm^2/cm^3 . Mengde avgang ved Løkken er ca. 300.000 tonn pr. år (1980).

4. GRUVEVANN FRA LØKKEN.

Prøven av gruvevann som ble anvendt ved adsorpsjonsundersøkelsene hadde stått ca. 1 år i lukket glassballong i Oppredningslaboratoriets kjeller. Fra tidligere forelå noen elementanalyser. Senere analyser viste ingen påvisbar endring i elementinnhold for Fe, Zn og Cu. Det forelå ingen tegn på utfellinger. Det er sannsynlig at noe 2-verdig Fe har oksydert til 3-verdig etter så lang henstand.

Gruvevannet som hadde pH 2,12 og en tetthet på 1,018 gram/ml (20° C), hadde følgende elementinnhold:

Fe	-	3.974	ppm
Cu	-	455	"
Zn	-	648	"
Pb	-	0,38	"
Cd	-	2,4	"
Al	-	395	"
Ca	-	12,1	"
Mg	-	260	"
SO ₄	-	15.805	"

Analysene er bestemt ved atomabsorpsjon, unntatt SO₄ som er bestemt gravimetrisk. Dessuten er Fe kontrollert ved titreringsanalyse.

Analysen av elementer utover dette ble ikke foretatt. Disse ble ansett som de viktigste å få undersøkt ved renseforsøkene. Som det fremgår av analysene er det Fe, Zn, Cu og Al som er dominerende av metallene. Pb-innholdet er lavt, men er likevel tatt med i undersøkelsene. Ca-innholdet er lavt og antas å stamme fra kalkspatt i malmen. Det forholdsvis høye magnesiuminnholdet antas å skyldes Mg løst fra silikater. Cd-innholdet sammenlignet med Zn-innholdet tilsvarer omtrent forholdet mellom Cd og Zn i sinkblende.

Av en viss interesse er det å sammenligne verdiene for Ca og SO_4 . Løselighetsproduktet for CaSO_4 finns angitt til (6):

$$[\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^{--}] = 10^{-4,47} \quad (1)$$

Med 16089 mg/l SO_4 i gruvevannet skulle ligning 1 tilsi 8,1 mg Ca/liter. Dette er ikke så langt unna Ca-mengde analysert i gruvevannet. MgSO_4 , derimot, er meget lett løselig. Pb felles også meget effektivt med sulfat.

Mengden av gruvevann var i 1977 angitt å være 20,7 liter pr. sekund.

5. FREMSTILLING AV AVGANG FRA LØKKENKIS VED BATCHFLOTASJON.

5.1. Generelt.

Anvendelse av avgang fra flotasjonsverket på Løkken sammen med gruvevann for adsorbsjonsundersøkelser i batchskala i laboratoriet, bød på en del vanskeligheter. Avgangsprøvene måtte være noenlunde like m.h.t. mengde og spesifikk overflate av gods. Videre måtte avgangene være noenlunde ferske. Man fant ut at for å kunne arbeide hele tiden med mest mulig like avgangsprøver, kunne avgang best fremstilles ved batchflotasjon foran hvert adsorbsjonsforsøk.

Nedmalingen på Løkken skjer med pebbles i gummiforet mølle. For batchmalingen ble det hentet møllepågang fra Løkken med godsstørrelse 50-20 mm. En del av godset ble tromlet i mølle for avrunding til 40-20 mm pebbles.

Videre ble en del av godset knust til under 2,79 mm og splittet ut til passe møllecharger.

Opprinnelig var det meningen å foreta batchmalingen i gummiforet mølle for best mulig å unngå slitejern. Slitejernet antas bl. a. å ha en reduserende effekt på miljøet i pulpen. Dessverre viste det seg at med den type gummiforing som ble anvendt, fikk man sterk slamflotasjon på de første flotasjonstrinnene. Bare et forsøk med adsorbsjon er utført med flotasjonsavgang fra gods malt i gummiforet mølle. Resten av undersøkelsene er utført med gods malt i jernmølle.

5.2. Flotasjonsavgang fra gods malt i jernmølle.

Maledata var som følgende:

Jernmølle 255 mm ϕ x 105 mm, 4,5 kg. pebbles 40-20 mm, 420 gram gods ÷ 2,79 mm, 0,5 liter vann og maletid i 60 minutter med 75 omdreininger av møllen pr. minutt.

Møllemalt gods ble siktet vått på sikt med ca. 2 mm lysåpning. Det viste seg å være svært få strøkorn i området 0,21 mm - ca. 5 mm kornstørrelse. Møllemalt gods ÷ 0,21 mm hadde en sikteanalyse som viste ca. 5% gods + 37 μ m.

For samtlige maleforsøk var mengde malt gods ÷ 0,21 mm 528 gram i middel med et standardavvik på $\pm$ 9,8 gram.

Analyser av noen maleprodukter viste 2,2% Cu og 1,55% Zn.

Flotasjonen ble utført i Wemco laboratoriecelle med 2,5 liter pulpvolum. Flotasjonsmaskinen ble kjørt med 1100 omdreininger pr. minutt på impelleren.

Kobberkisen ble avflotert i 4 trinn. Ved møllemalingen var det tilsatt 2 gram Ca(OH)_2 og 20 mg pr. kg. malt gods av Z-200. Mengde malt gods ble her stipulert til 500 gram. Første trinn ble flotert uten ytterligere kjemikalietsats. Ved de 3 påfølgende flotasjonstrinn ble det brukt 20 mg/kg K-amylxantat og 20 mg/kg MIBC for hvert trinn. Foran sinkblendeflotasjonen ble det kondisjonert i 10 minutter med 300 mg/kg CuSO_4 . Det ble flotert sinkblende i 2 trinn med 50 mg/kg K-etyl xantat og 20 mg/kg MIBC for hvert trinn. Kondisjoneringstidene med xantat var 2 minutter.

Ved kobberkisflotasjonen var pH 11,2-11,4 ved starten av hvert flotasjonstrinn. Ved sinkblendeflotasjonen var pH 12,1-12,2 ved starten av hvert trinn. pH ble regulert ved tilsats av Ca(OH)_2 . Etter flotasjonen var pH 11,8-11,9 i flotasjonsavgangen.

Avgangsmengdene var i middel 399,5 gram med et standardavvik på $\pm 9,6$ gram for forsøkene.

Ved forsøkene med kondisjonering ble vektene av tørr avgang bestemt ut ifra vekt av møllepåsetning, vekt av grovgods etter møllemaling og konsentratvekter. Avgangene hadde nemlig fått et tilskudd av bl. a. utfelt gips etter kondisjonering med gruvevann.

Kjemiske analyser av noen flotasjonsavganger viste liten variasjon i innhold av Cu og Zn. Følgende elementinnhold ble funnet som middel for to avganger:

0,21% Cu, 0,35% Zn, 38,35% S, 0,033% Pb og 0,23% Ca.

(Oppslutningen ble foretatt i Lunges væske). Det gir omtrent følgende mineralinnhold:

0,61% CuFeS_2

0,56% (Zn, Fe)S

70,9 % FeS_2

ca. 27,9 % andre mineraler.

Andre mineraler er vesentlig bergart. Magnetseparasjon på tubetester viste ca. 1,6% magnetisk, herav ubetydelig magnetkis. Kalkspatt i avgangen utgjorde en meget liten mengde (maksimum 0,6%).

Sikteanalyser av avgang viste 3,8-4,5% gods grovere enn 37 μm . Målinger av spesifikk overflate av flotasjonsavganger som var filtrert og derpå tørket i vakuum, viste 23.030 cm^2/gram eller 97.170 cm^2/cm^3 målt ved N_2 -adsorpsjon (BET) og 16.690 cm^2/cm^3 målt ved permeabilitetsmåling (Blaine). BET-måling ga 5,8 ganger større spesifikk overflate enn Blaine (kfr. kap. 3).

5.3. Flotasjonsavgang fra gods malt i gummiforet mølle.

Som nevnt i kapittel 5.1, ga gummiforet mølle ugunstig flotasjon idet en god del finslam floterte. Bare et adsorbsjonsforsøk er utført med flotasjonsavgang fra gods malt i gummiforet mølle.

Maledata var som følgende:

Gummiforet mølle 240 mm ϕ x 95 mm, 4,5 kg pebbles 40-20 mm, 420 gram gods ÷ 2,79 mm, 0,5 liter vann og 2 timer maletid med 75 omdreininger pr. minutt.

Nedmalingen ga ca. 560 gram gods med ca. 7,5% gods + 37 μ m.

Flotasjonen ble utført på samme måte og med samme kjemikalie-mengder som for gods malt i jernmølle, avsnitt 5.2.

Flotasjonen var her kjennetegnet bl. a. ved sterk skumming og stivt skum ved de første flotasjonstrinnene. Dette antas å skyldes kjemiske stoffer i gummiforinger. Her var maletiden meget lang.

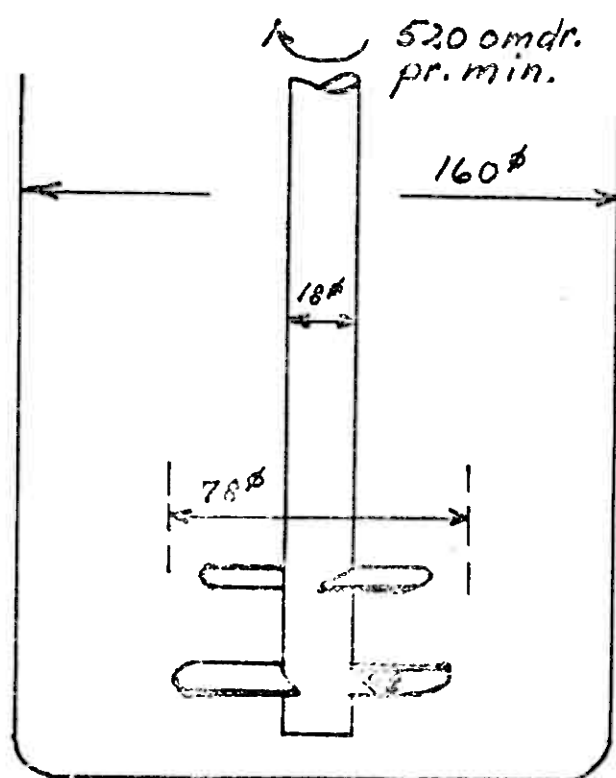
Avgangsmengden ved adsorbsjonsundersøkelsen var 385 gram.

En annen avgang (blindprøve) veide 411 gram og innholdet 0,25% Cu og 0,21% Zn. Måling av spesifikk overflate ved N₂-adsorbsjon (BET) viste 13.020 cm²/gram eller 55.070 cm²/cm³. Dette er 4,63 ganger større overflate enn målt med Blaine som viste 11.890 cm²/cm³.

Sterk slamflotasjon gir seg her utslag i relativt liten avgangsmengde og relativt liten spesifikk overflate.

6. FREMGANGSMÅTE VED RENSEFORSØK.

Ved renseforsøkene ble avgangspulpen fra Wemco-cellen, ca. 2,5 liter, målt i målesylinder. Mengde pulp ble målt ut i ønsket mengde enten ved dekantering av litt klarvann eller ved tilsats av litt ekstra spylevann. Tilmålt mengde pulp ble overført til 5 liters pyrex begerglass og tilsatt en tilmålt mengde gruvevann. Suspensjonen ble så kondisjonert med impeller av rustfritt stål. Arrangementet er vist på figur 2.



Figur 2. Kondisjoneringskar.

Årsproduksjonen av avgang ved Løkken er angitt til 300.000 tonn pr. år. Mengde gruvevann pr. år (kapittel 4) kan ut ifra angitte data (20,7 liter pr. sekund) beregnes til 652.795 m^3 pr. år. Med utgangspunkt i årsproduksjon av avgang og gruvevann gir dette 0,87 liter gruvevann til 400 gram avgang, som er avgangsmengden for hvert forsøk. Ved disse adsorbsjonsundersøkelsene er valgt følgende basis: 890 ml gruvevann og 400 gram avgang (2,225 liter gruvevann pr. kg. avgang).

Væskemengden i avgangspulpen var relativt stor i forhold til fast avgang ved forsøkene. Ved slutten av flotasjonsforsøkene var pulpmengden ca. 2,4 liter, derav utgjorde fast avgang 95 cm^3 (400 gram med sp.v. $4,22 \text{ gram/cm}^3$).

Det er utført forsøk med fire forskjellige tilsatsmengder av gruvevann. Væskemengdene er vist i tabell 1.

Tabell 1.

Blandingsforhold av gruvevann og pulpvann (avgangsvæske) ved forsøksseriene.

Serie	Mengde gruvevann ml	Mengde pulpvann ml	Total væske- mengde ml
I	445	2.705	3.150
II	890	2.705	3.595
III	1.335	2.260	3.595
IV	1.780	1.815	3.595

Serie II i tabellen er basisforsøkene med 890 ml gruvevann. Serie I representerer den halve mengden av gruvevann og serie IV den dobbelte. Totale væskemengder er like ved seriene II-IV, mens mengder avgangsvæske er like ved seriene I og II. I tabell 2 er angitt i ppm mengder forurensninger tilført pulpen fra tilsatt gruvevann for de fire forsøksseriene. Tallene er beregnet på grunnlag av tabell 1 og analysene av gruvevann.

Tabell 2.

Mengde forurensninger tilført forsøks-seriene I-IV fra gruvevann.

Forurens- ning	Forurensninger i p.p.m. tilført ved forskjellige mengder gruvevann til avgang.			
	(I) 445 ml	(II) 890 ml	(III) 1.335 ml	(IV) 1.780 ml
Fe	561	984	1.476	1.968
Cu	64,3	112,6	169	225,3
Zn	91,5	160,4	241	320,8
Pb	0,054	0,094	0,141	0,188
Cd	0,34	0,59	0,89	1,188
Al	55,8	97,8	147	196
Ca	1,71	3,00	4,49	5,99
Mg	36,7	64,4	96,6	128,7
SO ₄	2.233	3.913	5.869	7.826

Etter tilsats av gruvevann til avgangen, ble omrøringen av suspensjonen umiddelbart satt i gang. Noen forsøk ble utført ved naturlig pH, men ved de aller fleste forsøkene ble pH øket ved tilsats av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ved start av forsøkene. pH ble målt med jevne mellomrom med pH-meter. Det ble tatt ut ca. 200 ml prøver av suspensjonen etter 15, 30 og 60 minutter og ved en del forsøk også etter 2 timer. Prøvene ble tatt ut under agitasjonen slik at forholdet gods - væske ikke endret seg nevneverdig. Avgangen inneholdt en liten mengde kalkspatt som fikk pH til å stige noe under kondisjoneringsperioden, særlig de første minuttene etter start. Den angitte pH for prøvene gjelder tidspunktet umiddelbart før prøvetaking.

Temperaturen under forsøkene var ca. 20°C (romtemperatur). De uttatte prøvene ble dekantert over i glassbegere og sentrifugert. Klar væske fra sentrifugeringen ble pipettert ut og overført til 150 ml Erlenmeyer-kolber. Prøvene ble der tilsatt noe HCl for å hindre utfellinger. Ved pH over ca. 6 ville 2-verdig Fe lett oksydere og falle ut. Ellers var det særlig ved høy $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -tilsats tendens til utfelling av gips en god stund etter opphør av kondisjonering. Ved surgjøring av prøvene ble tilstanden m.h.t. løst Fe, Ca og SO_4 i væsken fast etablert ca. 30 minutter etter avsluttet kondisjonering. Det var den tiden det tok å behandle prøvene frem til klar væske. Da denne tiden kunne variere noe, ville det kunne gi seg utslag i litt variable Fe-analyser i pH-området der Fe oksyderes lett fra Fe^{++} til Fe^{3+} , d.v.s. noe over pH ca. 6.

Elementene Cu, Zn, Fe, Cd, Pb og Al, og i noen tilfelle Ca og Mg, ble analysert ved atomabsorpsjon. I noen prøver ble SO_4 bestemt ved vektanalyse.

For noen prøver ble foretatt analyser av klar væske før videre utfelling av gips og etter utfelling av gips. Dette ble gjort for å se om eventuelt andre forurensninger fulgte med ved utfelling. Settlingsforholdene ble undersøkt for noen avganger. Her ble settlingshastigheter og volumer av settlet avgang målt.

7. RESULTATER AV RENSING AV GRUVEVANN.

7.1. Fjerning av Cu og Zn.

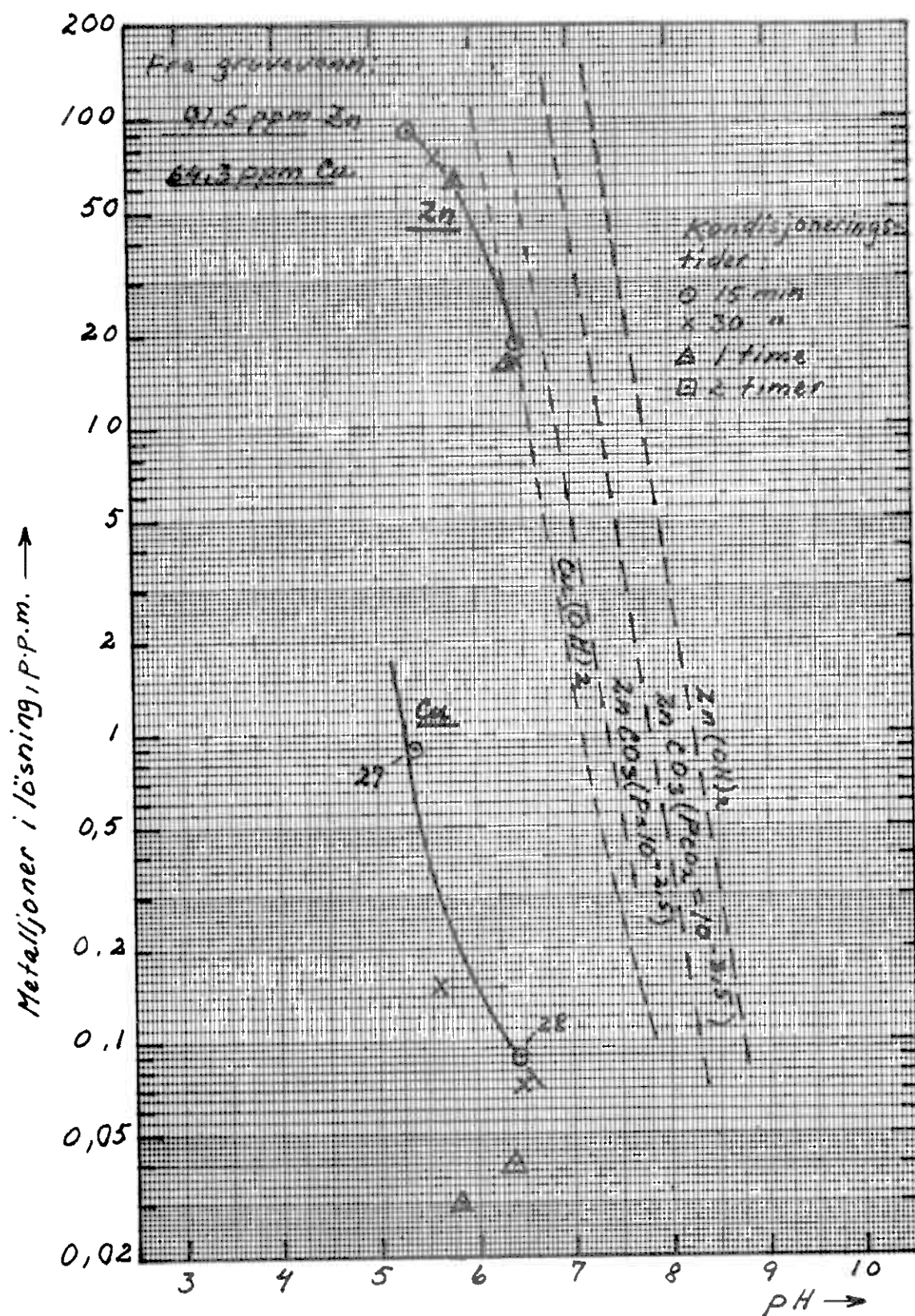
På figurene 3 til 6 er vist restkonsentrasjon i løsning av Cu og Zn som funksjon av pH ved tilsatser av 0,445 til 1,78 liter gruvevann. Kondisjoneringstidene ved hvert forsøk er 15 min, 30 min og 1 time. Ved en del forsøk er også kondisjonert i 2 timer. Forsøksnumrene er angitt for 15 minutter kondisjonering på kurvene for Cu.

På figurene 7 til 10 er vist pH-utviklingen ved hvert forsøk. Kondisjoneringen har ved en del forsøk foregått under dels forholdsvis raskt stigende pH, spesielt frem til 15 minutter kondisjonering. Dette gjelder særlig forsøkene ved de største tilsatser av Ca(OH)_2 , altså forsøkene ved noenlunde høy pH og de største tilsatsmengdene av gruvevann.

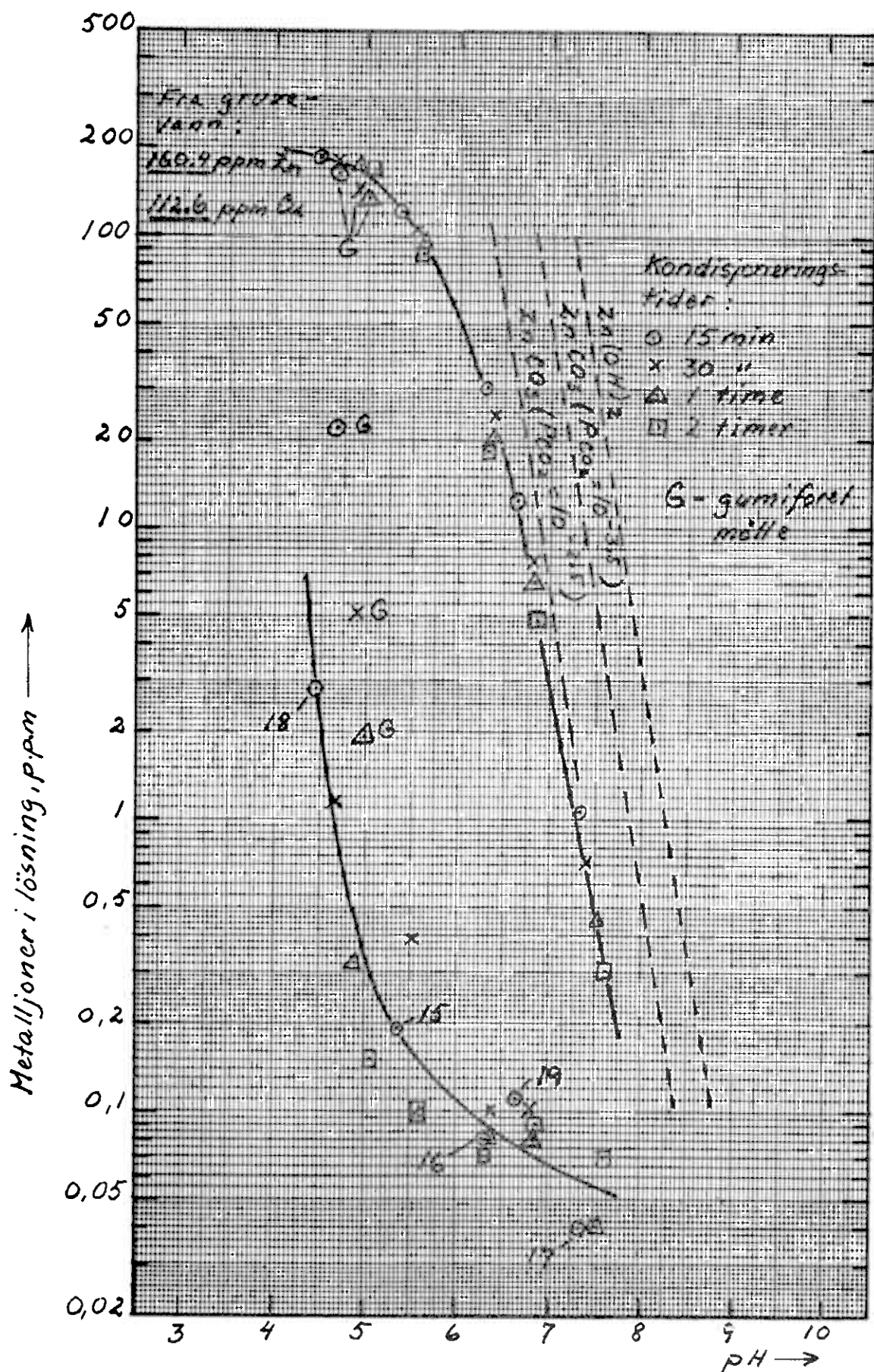
Kurvene for kobber i løsning som funksjon av pH på figurene 3 til 6 ligger langt under utfellingskurven for Cu(OH)_2 som er stiplet inn på figur 3. Dette gjelder for minste tilsats av gruvevann, figur 3, såvel som for største tilsats av gruvevann med 1,78 liter på figur 6. Kondisjonering i 15 minutter har gitt påfallende liten forskjell fra kondisjonering i 2 timer når man sammenligner med forsøk med tilsats av Cu-joner til ren svovelkis i suspensjon, TR nr. 47/2. Man har derfor nøyd seg med felles kurve for de forskjellige kondisjoneringstider. Heller ikke er kurven for Cu i løsning svært meget forskjøvet mot lavere pH ved de mindre tilsatser av gruvevann. At det er noe forskyvning fremgår når en sammenligner figurene 4, 5 og 6. Beliggenheten av kurven på figur 3 kan være noe usikker p.g.a. bare to punkter i et noenlunde sikkert analyseområde.

Ved gehalter under 0,1 ppm Cu, begynner analysene å bli beheftet med ganske store usikkerheter.

Ved kondisjonering av ren svovelkis i 24 timer med meget liten tilsats av Cu-joner (10 mg/l), fig. 6 i TR nr. 47/2, kunne ikke Cu i løsning påvises over pH ca. 4,2. Ved pH ca. 3,75 var der Cu i løsning nede i 1 ppm. Ved undersøkelser med gruvevann må man gå opp ca. 1 pH-enhet for å nå ned i 1 ppm Cu i løsning (figur 4).

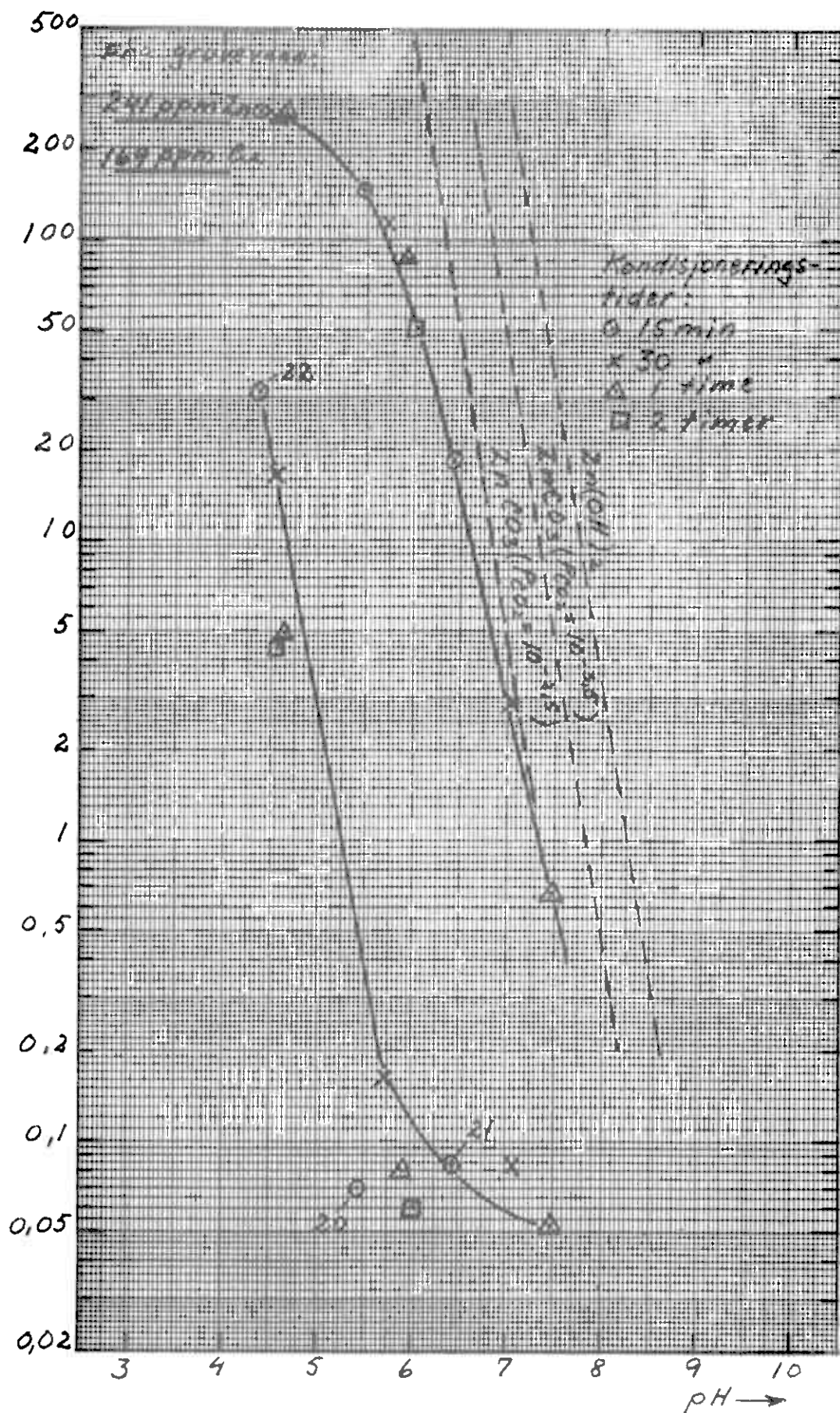


Figur 3. Kondisjonering av avgang med 0,445 liter gruvevann.
 Cu og Zn i lösning.

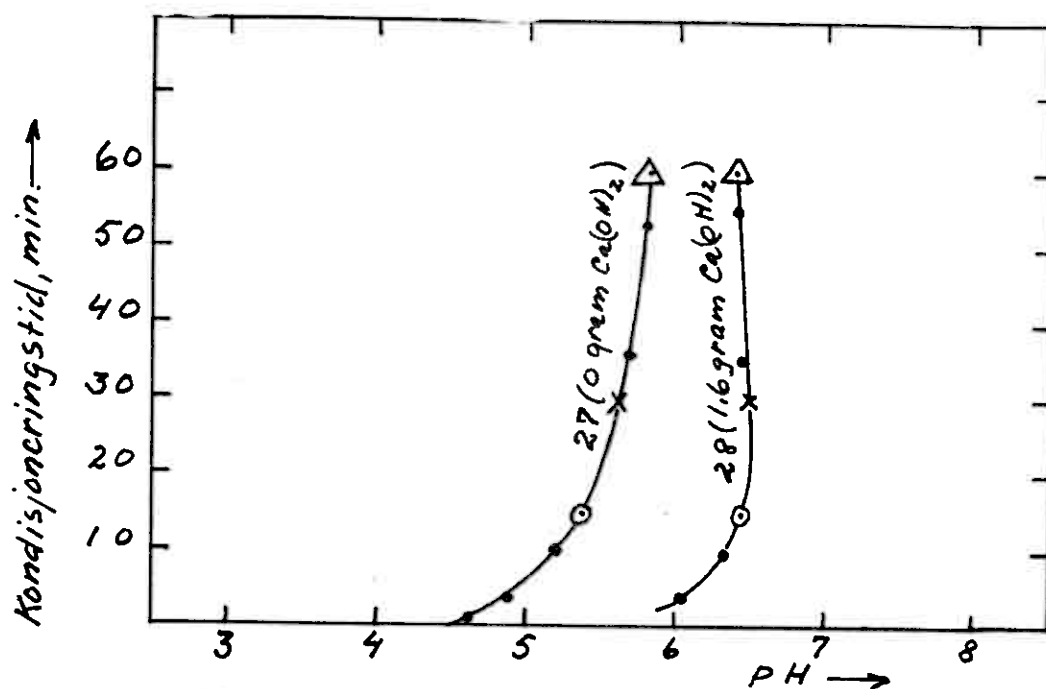


Figur 4. Kondisjonering av avgang med 0,89 liter gruvevann.
Cu og Zn i løsning.

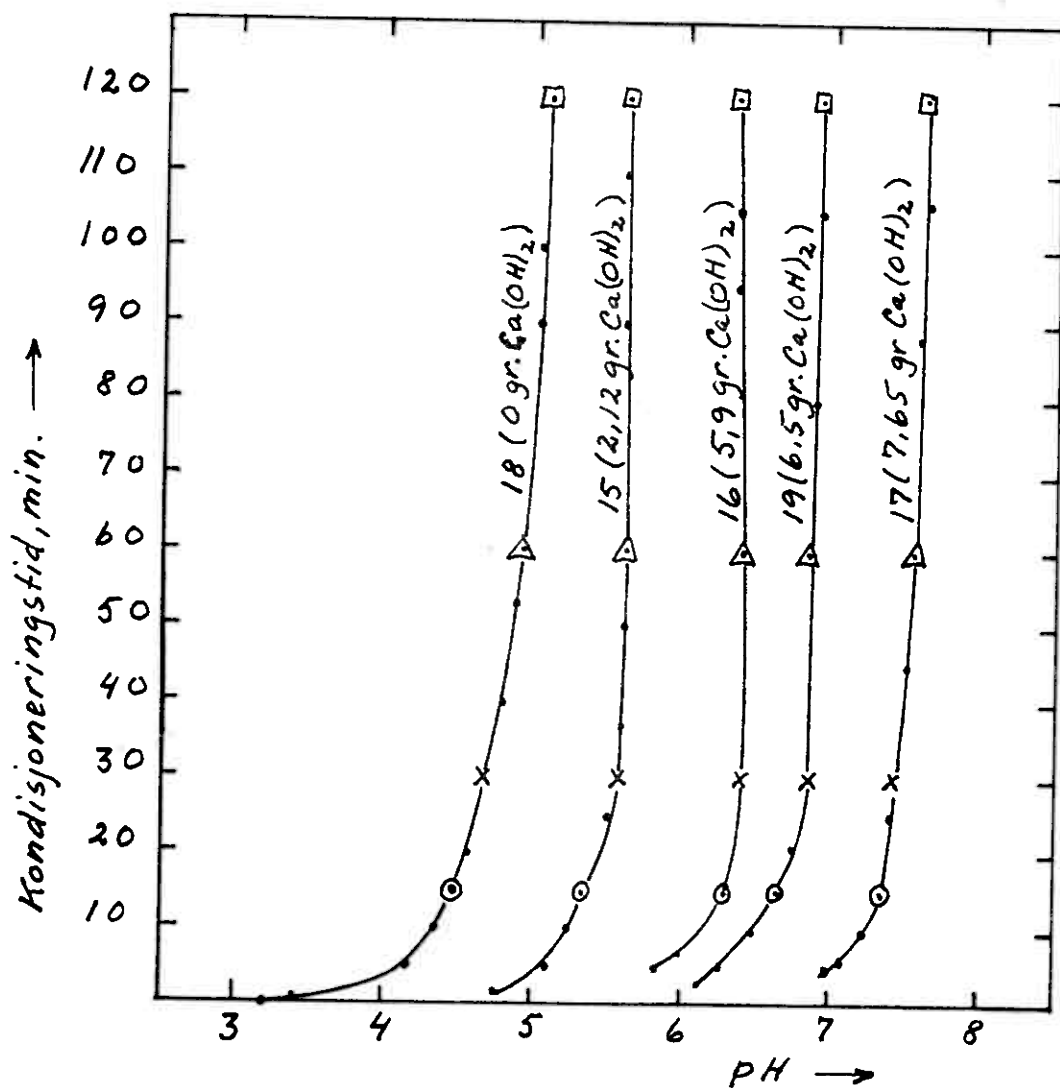
Metalljoner i løsning, p.p.m. $\rightarrow$



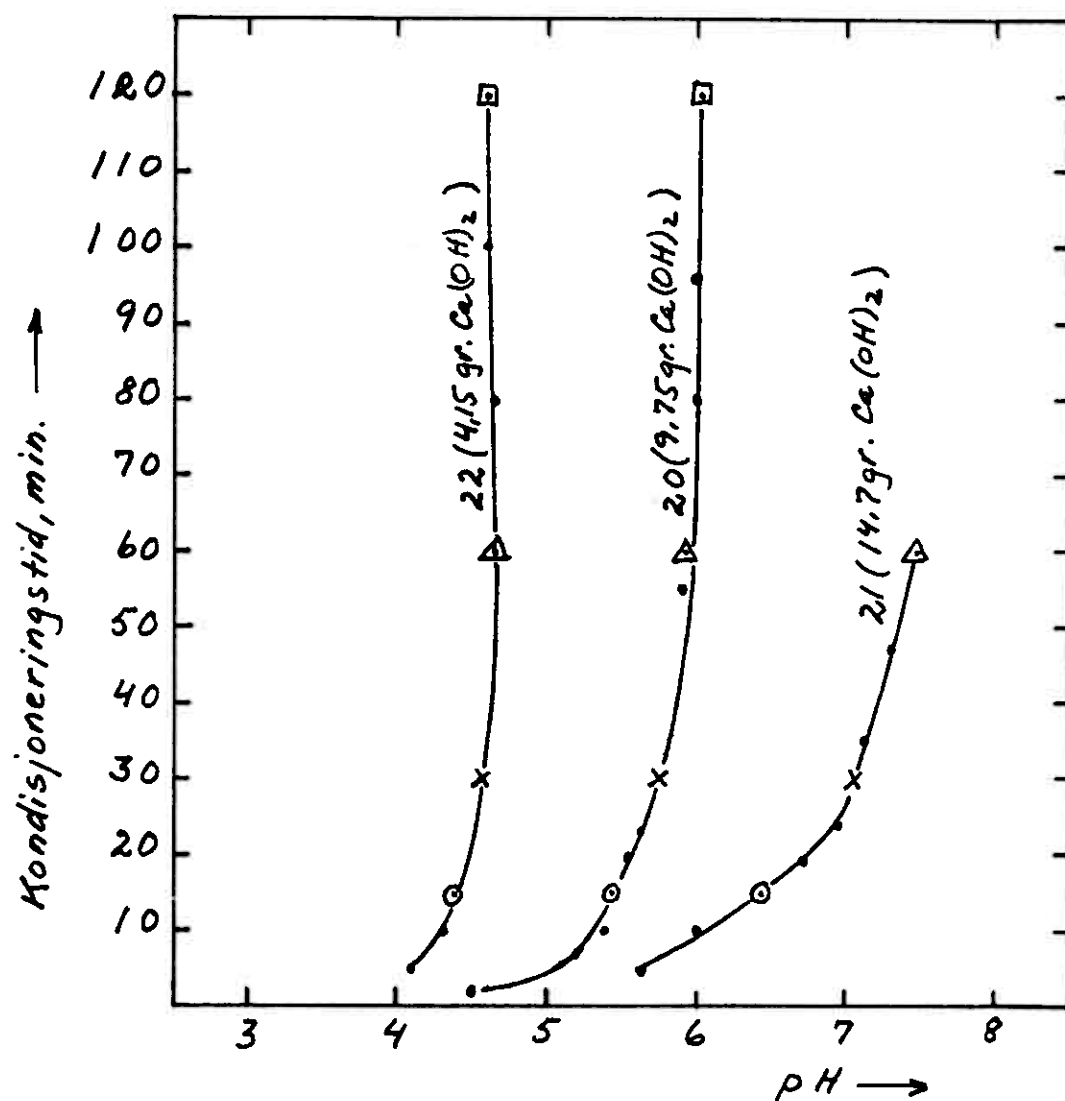
Figur 5. Kondisjonering av avgang med 1,335 liter gruvevann.
Cu og Zn i løsning.



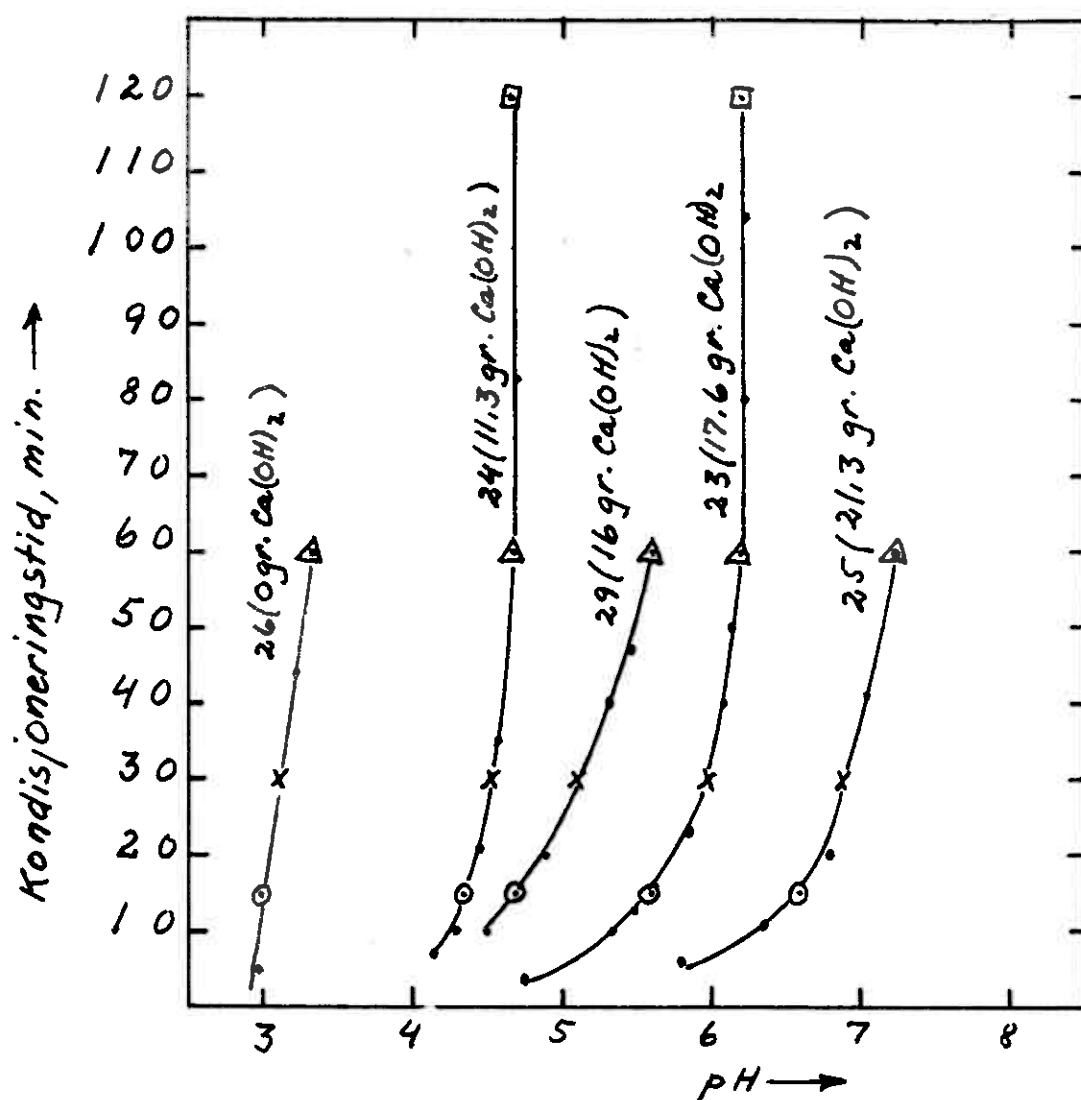
Figur 7. pH som funksjon av kond.tid ved forskjellige tilsatser av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i gram (mengder i parentes). 0,445 liter gruvevann.



Figur 8. pH som funksjon av kond.tid ved forskjellige tilsatser av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i gram (mengder i parentes). 0,89 liter gruvevann.



Figur 9. pH som funksjon av kond.tid ved forskjellige tilsatsmengder av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i gram (mengder i parentes). 1,335 liter gruvevann.



Figur 10. pH som funksjon av kond.tid ved forskjellige tilsatsmengder av Ca(OH)_2 i gram (mengder i parentes). 1,78 liter gruvevann.

I likhet med det som ble funnet for adsorpsjon av Zn på svovelkis i TR nr. 47/2, må man også her gå vesentlig høyere opp i pH for å få fjernet Zn fra løsningen. Under pH ca. 5, der man knapt har påvisbar adsorpsjon av Zn, ser man at man gradvis kommer opp i konsentrasjon av Zn i løsning som overstiger mengde Zn tilsatt fra gruvevann. Dette viser at ved lave pH-verdier har man fått løst noe Zn fra sinkblende i avgangen.

Mens det er hydroksydfelling som markerer grensen for utfelling av Cu, så er det karbonat som her markerer grensen for utfelling av Zn (kfr. TR nr. 47/1 og TR nr. 47/2). I TR nr. 47/2, fig. 9, var grensen for utfelling av ZnCO_3 nådd ved pH 7,5 ved en konsentrasjon av 5 ppm Zn. For undersøkelsene med rensing av gruvevann er Zn i løsning nede i en konsentrasjon av 0,5 ppm ved pH ca. 7,5 (figurene 4, 5 og 6). Over en viss pH-verdi faller kurvene for Zn i løsning ganske godt sammen for de forskjellige mengder tilsatt av gruvevann, og forskjeller i kondisjonerings-tider har ikke gitt nevneverdig utslag. Kurvene for Zn i løsning ligger her noe mer enn 0,5 pH-enheter under fellingsgrensen for ZnCO_3 for partialtrykk av CO_2 lik $10^{-3,5}$ (kfr. TR nr. 47/2, fig. 9). Det er sannsynlig at man her likevel befinner seg på fellingsgrensen. Partialtrykket av CO_2 kan være litt høyere enn $10^{-3,5}$ p.g.a. noe kalkspatt i avgangen. En annen ting er en mulig anrikning av hydroksyljoner ved de store mineraloverflatene.

Imidlertid synes en betydelig del Zn å være festet til kisooverflatene ved en utbyttingsreaksjon, spesielt tilkjenne-gitt ved de krumme delene av kurvene for Zn i løsning.

Resultater for Cu- og Zn-adsorpsjon for det ene forsøket med kis malt i gummiforet mølle er vist på figur 4.

Analyseverdiene er her merket med G og viser noe mindre mengder adsorbent av Cu enn for gods malt i jernmølle.

Dette kan nok forklares med at spesifikk overflate her bare var $55.070 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ for avgangen mot $97.170 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ for avgang fra gods malt i jernmølle.

Når det gjelder mengder Cu fra 0,89 liter gruvevann som antas å adsorberes på svovelkis i avgang, ser man av figur 4 at ved pH 5 er mengde Cu i løsning mindre enn 0,5 ppm. Det betyr at en mengde Cu tilsvarende ca. 112 ppm er fjernet fra løsningen på 3.595 ml. Mengde Cu som antas å være adsorbent, utgjør da 402 mg. Dette kobberet antas bundet vesentlig til de $56,7 \text{ cm}^3 \text{ FeS}_2$ som fins i avgangen (70,9% FeS_2 i avgang). Svovelkisen forutsettes å ha omtrent samme spesifikke overflate som avgangen forøvrig, nemlig $97.170 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$. Det gir da følgende verdier for adsorbent Cu på svovelkis:

$$\begin{array}{ll} 0,73 \cdot 10^{-4} & \text{mg Cu/cm}^2 \text{ svovelkis} \\ 1,15 \cdot 10^{-9} & \text{mol Cu/cm}^2 \text{ svovelkis} \\ 7 & \text{atomer Cu/100 \AA}^2. \end{array}$$

Dette antallet Cu-atomer på overflaten tilsvarer faktisk antall Fe-posisjoner i gitteret på overflaten (2 atomer Fe/29 $\text{\AA}^2$).

Uten at det er direkte sammenlignbart, kan det her være av interesse å sammenligne med adsorpsjon av Cu på ren svovelkis som er omhandlet i TR-47/2. På figur 6 i den rapporten finner man f. eks. at med 20 mg Cu/liter tilsatt var bare ca. 0,5 mg Cu/liter igjen i løsningen ved pH ca. 5 etter 24 timer kondisjonering. Med spesifikk overflate av kisen (fra Bjørkåsen) på $2190 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$, prøvevekt 48 gram og mengde adsorbent Cu som utgjorde 4,9 mg, gir dette følgende verdier for adsorbent Cu på svovelkis:

$$\begin{array}{ll} 2,31 \cdot 10^{-4} & \text{mg Cu/cm}^2 \text{ svovelkis} \\ 3,6 \cdot 10^{-9} & \text{mol Cu/cm}^2 \text{ svovelkis} \\ 22 & \text{atomer Cu/100 \AA}^2. \end{array}$$

Dette er 3 ganger så mye Cu adsorbent pr. arealenhet som tilfelle var med tilsatt av 0,89 liter gruvevann.

Forøvrig ser man av Cu-kurven på figur 6 at mengde Cu i løsning nede ved pH ca. 3 svarer bra til mengde Cu tilsatt med gruvevannet, og altså ikke noe påvisbart bidrag fra selve avgangsprøven og heller ikke fra tilsatt CuSO_4 ved Cu-aktivering i sinkblendeflotasjonen. I sinkblendeflotasjonen var det tilsatt 59 mg Cu. Dette tilsvarer 16,4 mg Cu/liter regnet på væskemengden ved kondisjonering av avgang. En ukjent mengde av dette kobberet har selvsagt havnet sammen med konsentratet ved flotasjonen.

Når det gjelder sink adsorbert fra 0,89 liter gruvevann, fig. 4, synes en mengde tilsvarende ca. 110 mg Zn pr. liter å kunne være adsorbert ved pH ca. 6, mens ca. 50 mg Zn/liter fremdeles er i løsning. Mengde adsorbert sink ved denne pH gir følgende data:

$$\begin{aligned} 0,72 \cdot 10^{-4} \text{ mg Zn/cm}^2 \text{ svovelkis} \\ 1,10 \cdot 10^{-9} \text{ mol Zn/cm}^2 \text{ svovelkis} \\ 6,7 \text{ atomer Zn/100 } \text{\AA}^2. \end{aligned}$$

Dette er litt mindre enn antall Fe-posisjoner i gitteret på overflaten.

Tallene for adsorbert mengde Zn vil forøvrig være noe usikre, idet man ser av kurvene at ved lave pH-verdier fremkommer et tydelig bidrag av Zn i løsning som stammer fra løst sinkblende (ca. 0,5% sinkblende i avgangen).

Det totale bildet av Cu- og Zn-adsorpsjonen fra gruvevann er at selv om mengde gruvevann kommer opp i det dobbelte av det som er regnet som basis, så vil Cu være godt fjernet fra løsningen allerede ved pH ca. 5,5, men for å få fjernet Zn til under 0,5 ppm må pH opp i ca. 7,5. Ut ifra tidligere betraktninger vil da en del av sinken være utfelt og for en stor del kunne være adsorbert fysikalsk.

7.2. Fjerning av Al og Fe.

Fjerning av Al og Fe fra gruvevann er vist på figurene 11 til 14. Som tidligere omtalt, fremgår pH-utviklingen ved hvert forsøk av figurene 7 til 10. På kurvene 11 til 14 er forsøksnummere angitt for 15 minutter kondisjonering.

Kurvene for Al i løsning faller omtrent sammen med kurvene for Cu i løsning (fig. 3-6). Uansett mengder gruvevann som her er tilsatt, ligger kurvene i samme området og faller omtrent sammen med de teoretiske fellingsskurvene for $\text{Al}(\text{OH})_3$. Den teoretiske fellingsskurven er beregnet på grunnlag av følgende data fra Krauskopf (6):

$$[\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]^3 = 10^{-31,2} \quad (2)$$

$$[\text{Al}(\text{OH})_2^+] [\text{OH}^-] = 10^{-14,0} \quad (3)$$

$$\frac{[\text{AlOH}^{++}] [\text{OH}^-]}{[\text{Al}(\text{OH})_2^+]} = 10^{-9,3} \quad (4)$$

$$\frac{[\text{Al}^{3+}] [\text{OH}^-]}{[\text{AlOH}^{++}]} = 10^{-9,0} \quad (5)$$

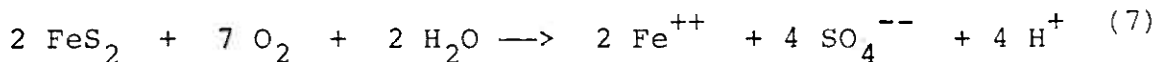
$$\frac{[\text{Al}(\text{OH})_4^-]}{[\text{OH}^-]} = 10^{+1,3} \quad (6)$$

Konstantene her gjelder en temperatur på 25°C . Aluminium vil ikke her kunne bindes til svovel. Både sulfid og karbonat av aluminium vil være fullstendig hydrolysert. Den eneste forbindelsen som kan tenkes her er hydroksydet. Sannsynligvis vil utfelt hydroksyd av aluminium for en stor del kunne være fysikalsk adsorbert på avgangsmineralene. Aluminiumhydroksyd har amfoter karakter med minst løselighet i pH-området 6,5-7, slik det fremgår av figurene 11-14 der også kurven for $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ er stiplet inn. Dette er et moment å ta i betraktning når det gjelder løselighet av aluminium. Ved pH over ca. 5,5 vil Al være fjernet ut av løsningen, men som påpekt ovenfor bør ikke pH bli for høy, d.v.s. ikke vesentlig over pH ca. 8,5.

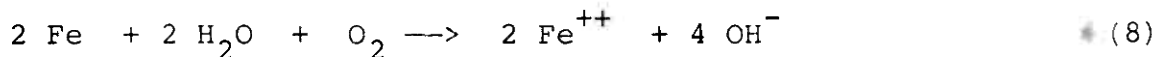
De analysepunktene for Fe i løsning på figurene 11-14 som danner grunnlaget for Fe-kurvene, viser som forventet relativt stor spredning, fordi oksydasjon av Fe^{++} til Fe^{3+} skjer normalt forholdsvis raskt noe over pH ca. 6. (Kfr. kurvene for Fe løst fra kis, fig. 4 i T.R. nr. 47/2). Forholdene her er at man starter med mye Fe fra gruvevannet, hele 984 ppm i suspensjonen ved tilsats av 0,89 liter gruvevann, kfr. fig. 12.

Avhengig av pH kommer Fe fra kis i avgangen p.g.a. utbyttingsreaksjoner mellom tungmetalljoner i suspensjon og Fe i kisen og muligens noe Fe fra kis p.g.a. oksydasjon. I tillegg kommer oksydasjon av slitegods fra møllen.

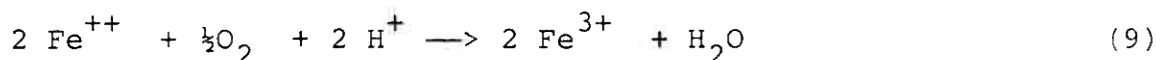
Oksydasjon av kis i surt miljø gir:



Oksydasjon av slitejern i surt miljø kan skrives som:



Oksydasjon fra Fe^{++} til Fe^{3+} kan skrives som:



Elementært jern i suspensjon vil imidlertid virke reduserende på oksydasjonen fra 2-verdig til 3-verdig jern i henhold til reaksjonen



Iflg. Latimer (9) er likevekten her $\frac{[\text{Fe}^{++}]^3}{[\text{Fe}^{3+}]^2} = 10^{41}$

Man har altså her i suspensjonen et sterkt forbruk av oksygen og en reduserende effekt forårsaket av slitejern.

Slitejernet gir også et ekstra bidrag til Fe i løsning.

Disse forholdene kan forklare at man her har jern i løsning

ved relativt høy pH. Betydningen av slitejern i denne

forbindelse fremgår også av figur 12. Punktene for Fe som

er merket med bokstaven G og gjelder møllemaling i gummiforet

mølle, ligger betraktelig under den ordinære kurven for Fe

i løsning.

Et moment som må påpekes er at Cu^{++} kan adsorberes på jern og gi et kobbersjikt utenpå slitejernet etter følgende skjema:



Når det gjelder Fe^{++} fra utbyttingsreaksjonen ved adsorpsjon av Cu^{++} og Zn^{++} på kis, antok man ved 0,89 liter gruvevann

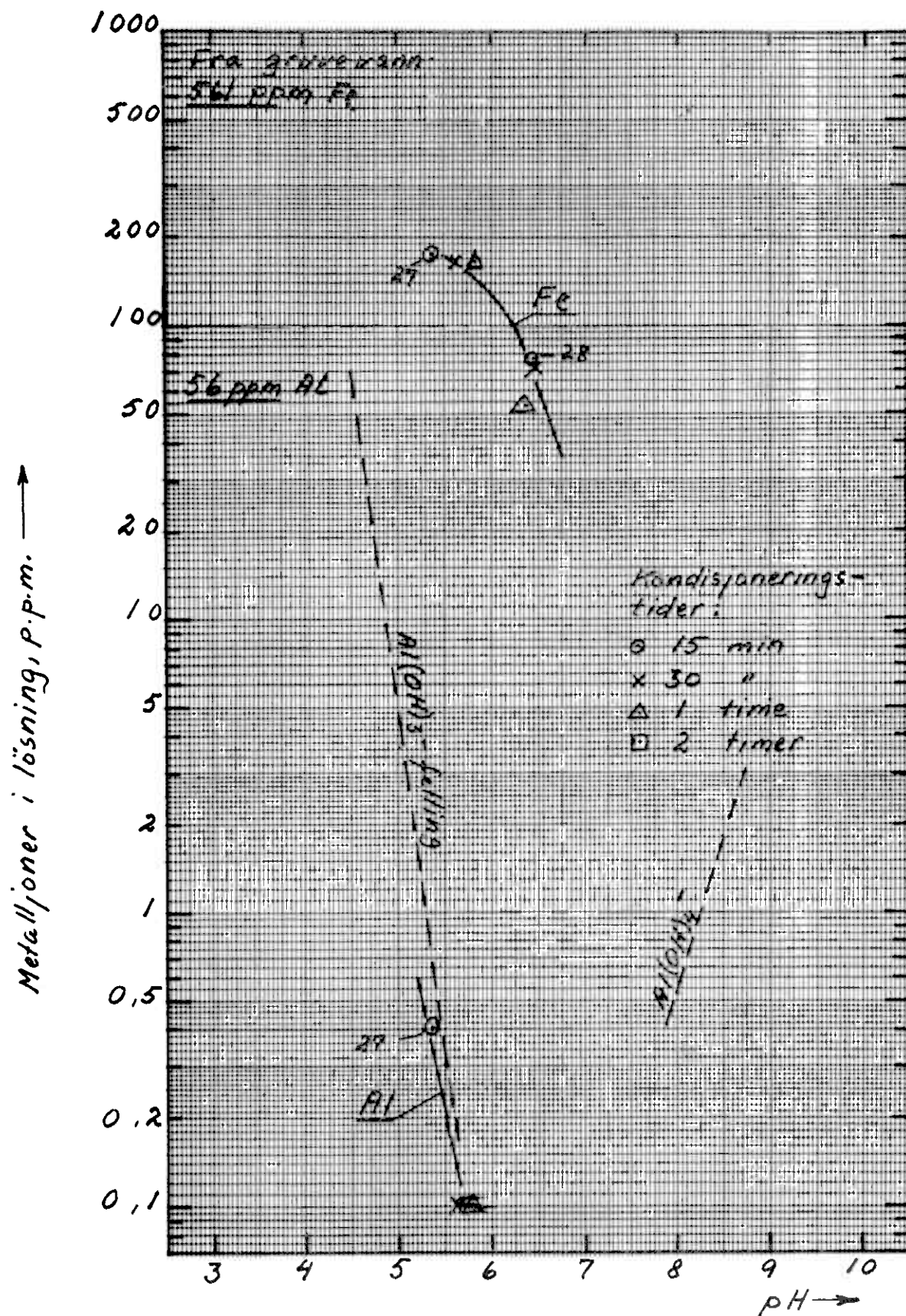
(fig. 4) at ved pH 6 var ca. 110 mg Zn/liter adsorbent på

denne måten og dessuten ca. 112 mg Cu/liter. Disse to mengdene

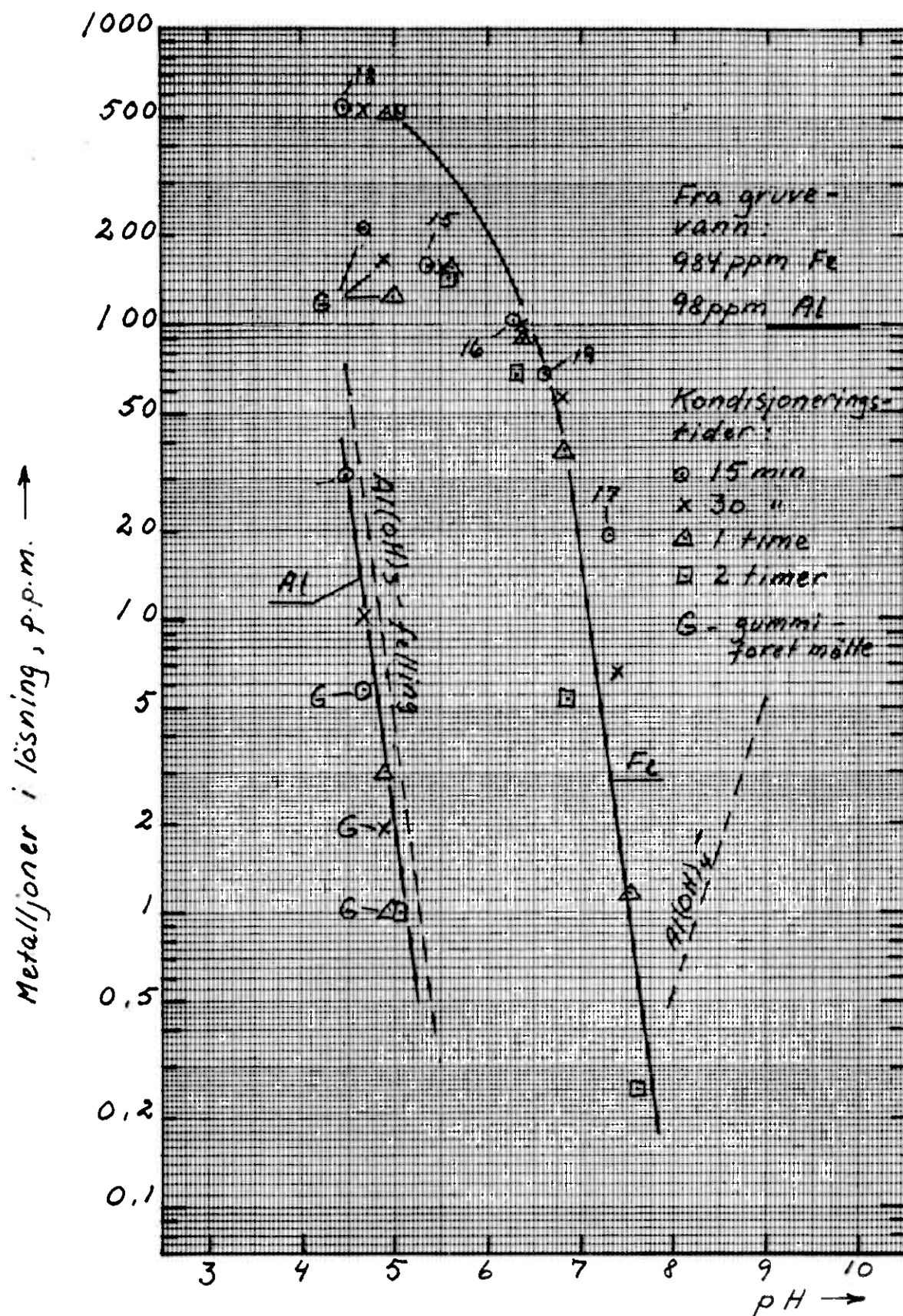
ekvivalerer med 192 mg Fe^{++} /liter. Av figur 12 ser man at

ved pH 6 fins ca. 200 mg Fe i løsning. Altså gir utbyttings-

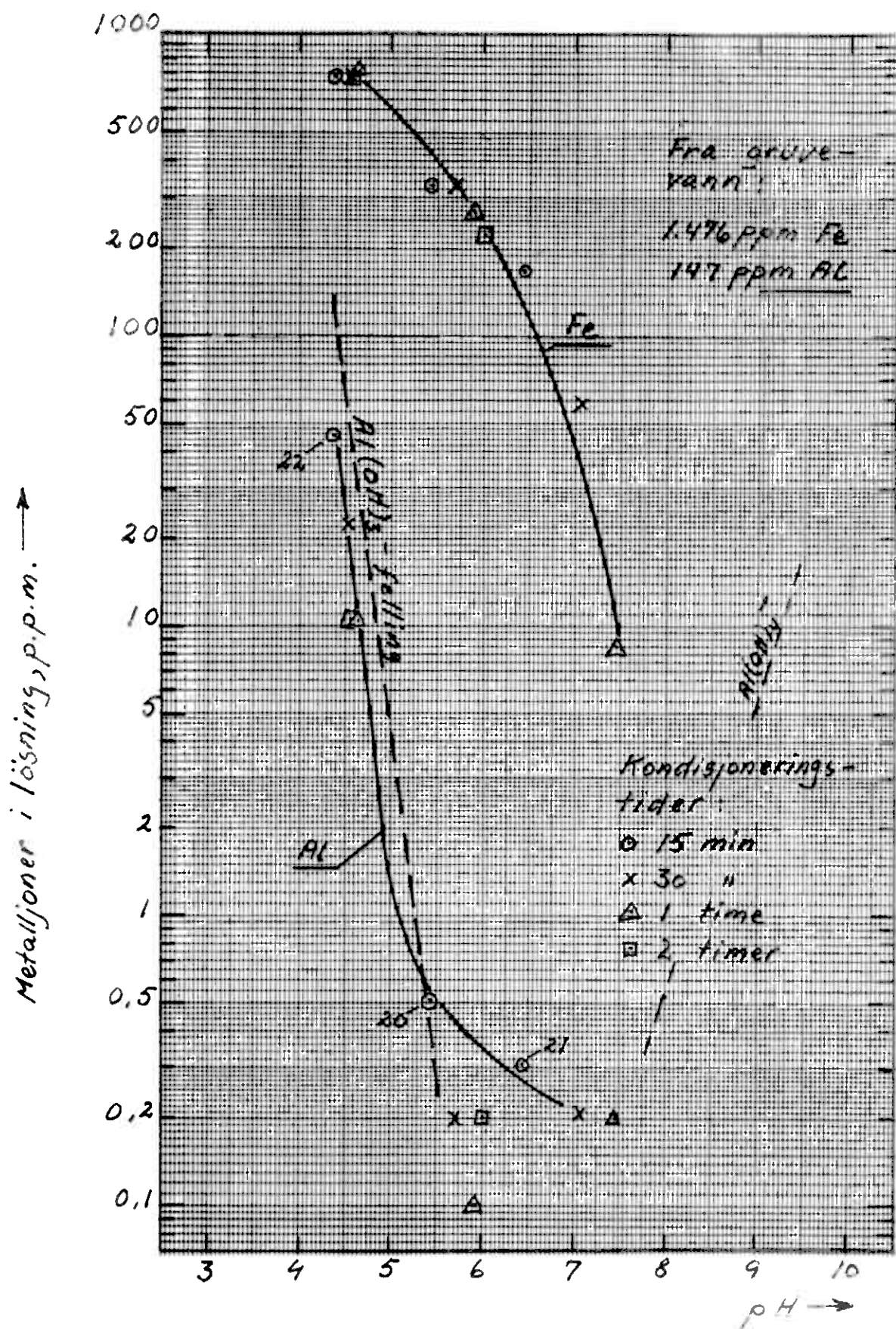
reaksjonen alene nok Fe^{++} til denne mengden.



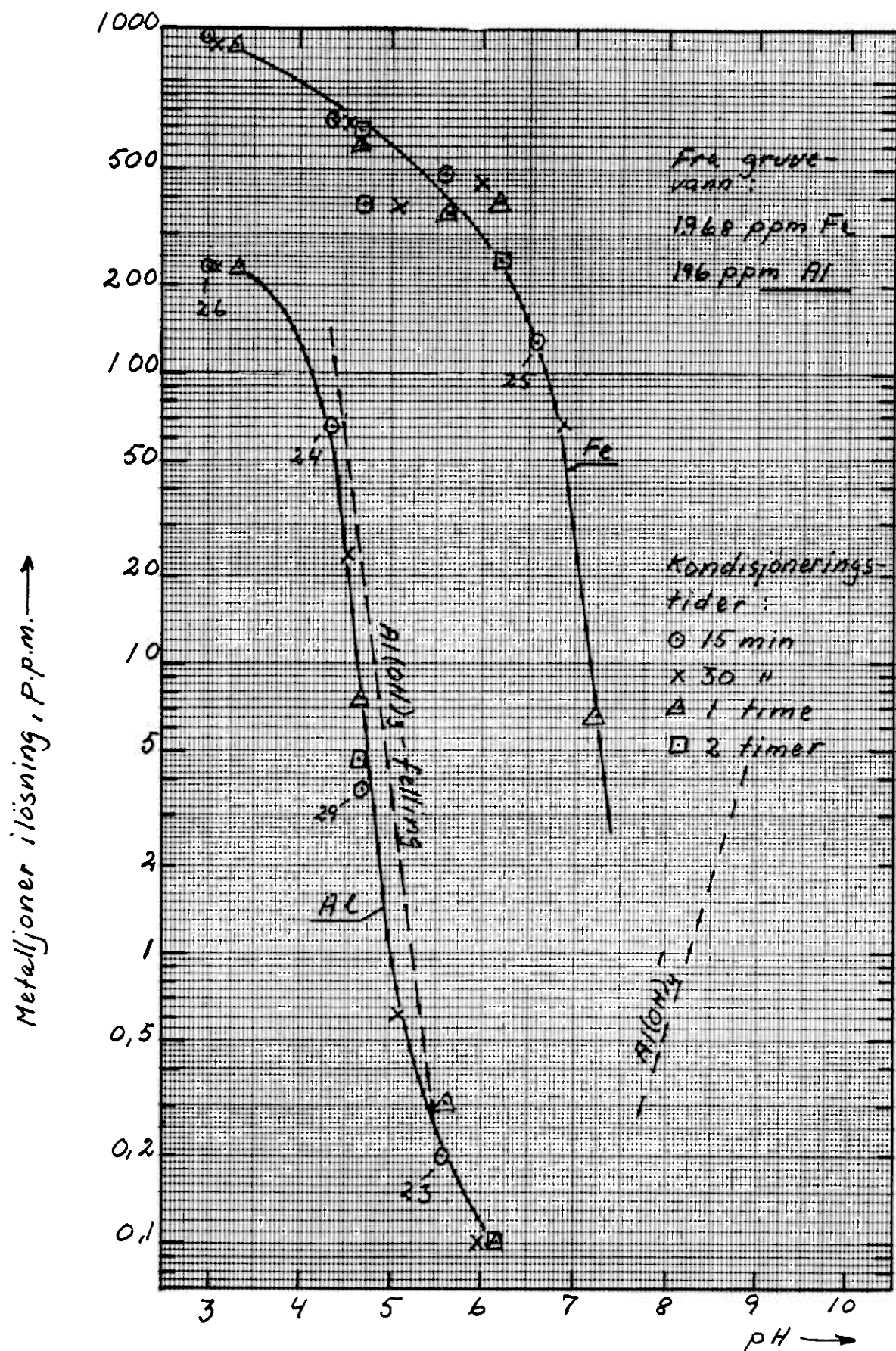
Figur 11. Kondisjonering av avgang med 0,445 liter gruvevann.
Fe og Al i løsning.



Figur 12. Kondisjonering av avgang med 0,89 liter gruvevann.
Fe og Al i løsning.



Figur 13. Kondisjonering av avgang med 1,335 liter gruvevann.
Fe og Al i løsning.



Figur 14. Kondisjonering av avgang med 1,78 liter gruvevann.
Fe og Al i løøsning.

7.3. Fjerning av Cd.

Gruvevannet fra Løkken viste et innhold på 2,4 mg/liter Cd. Av figurene 15 til 17 fremgår at Cd er relativt godt fjernet fra suspensjonen ved pH over ca. 5,5. Kurvene for Cd i løsning ligger godt under kurvene for utfelling av CdCO_3 . Ifølge beregninger i T.R. nr. 47/1 med kurver vist på figur 7 i samme rapport, ligger kurven for Cd(OH)_2 i god avstand til høyre for kurven for karbonatfelling ved partialtrykket $P_{\text{CO}_2} = 10^{-3,5}$. Det tilsier at ved utfelling burde her felles $^2\text{CdCO}_3$ eller en blanding av karbonat og hydroksyd. Beliggenheten av kurvene for Cd i løsning ligger faktisk noe til venstre for kurvene for Cu i løsning, kfr. figurene 20 og 21.

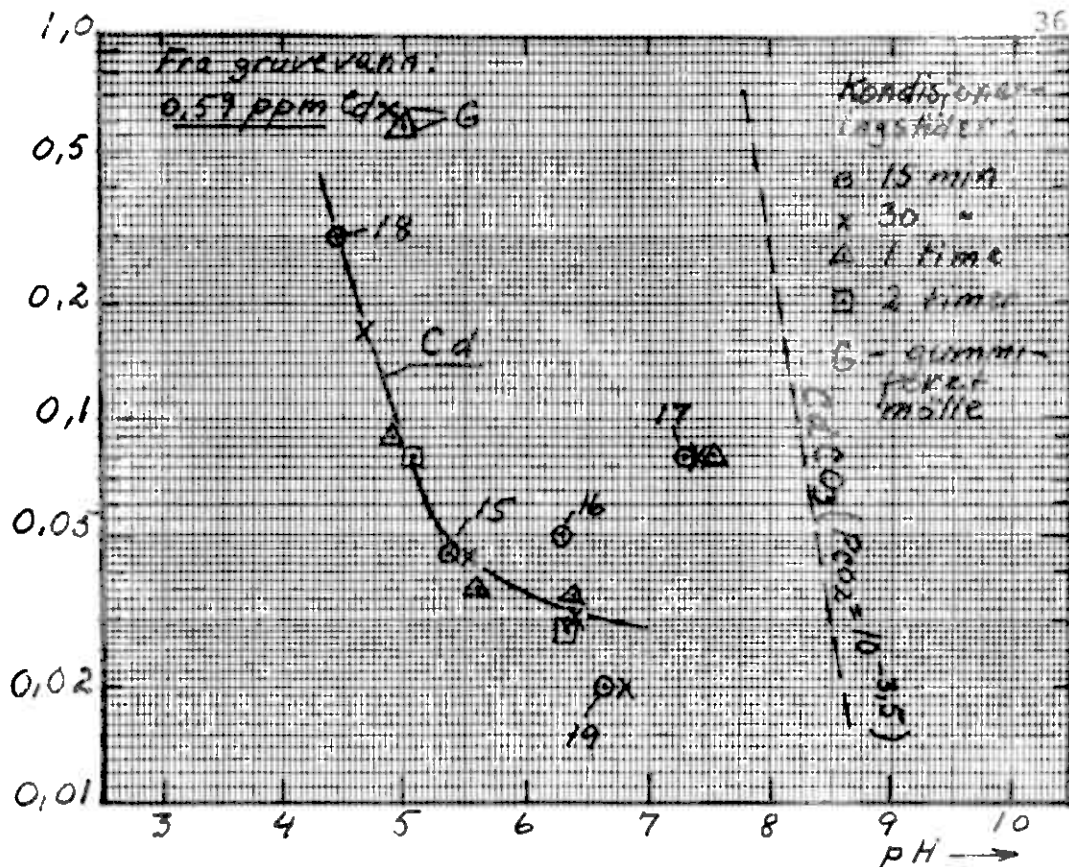
Kurvene for Cd i løsning synes å antyde at man også her har å gjøre med binding av kadmium til svovel. Altså at Cd^{++} inngår i utbyttingsreaksjon med Fe^{++} i svovelkis. Økning av mengde gruvevann fra 0,89 til 1,78 liter har muligens forskjøvet kurven for løst Cd noe nærmere fellingskurven for CdCO_3 (sml. fig. 15 med 16 og 17). Forøvrig har analyser under ca. 0,1 ppm relativt stor usikkerhet.

7.4. Pb i løsning.

Kurver som viser Pb i løsning er vist på figurene 18 og 19. Disse figurene gjelder for tilsats av henholdsvis 0,89 og 1,78 liter gruvevann. Med 0,38 ppm Pb i gruvevannet gir dette når det fortynnes i avgangspulpen til 3,595 liter henholdsvis 0,09 ppm og 0,19 ppm. Av figurene fremgår at fra pH ca. 4,5-5 og nedover øker innholdet av Pb og av figur 19 finner man at nede ved pH ca. 3 er gehalten av Pb helt oppe i ca. 8 ppm. Denne Pb-mengden utover 0,19 ppm Pb må være kommet fra oksydert blyglans i malmprøven. Hvis man tar utgangspunktet i løselighetsproduktet for PbSO_4 , finner man langt mer Pb i løsning enn det som skulle tilsies ut ifra data i litteraturen. Følgende verdi kan man finne (7):

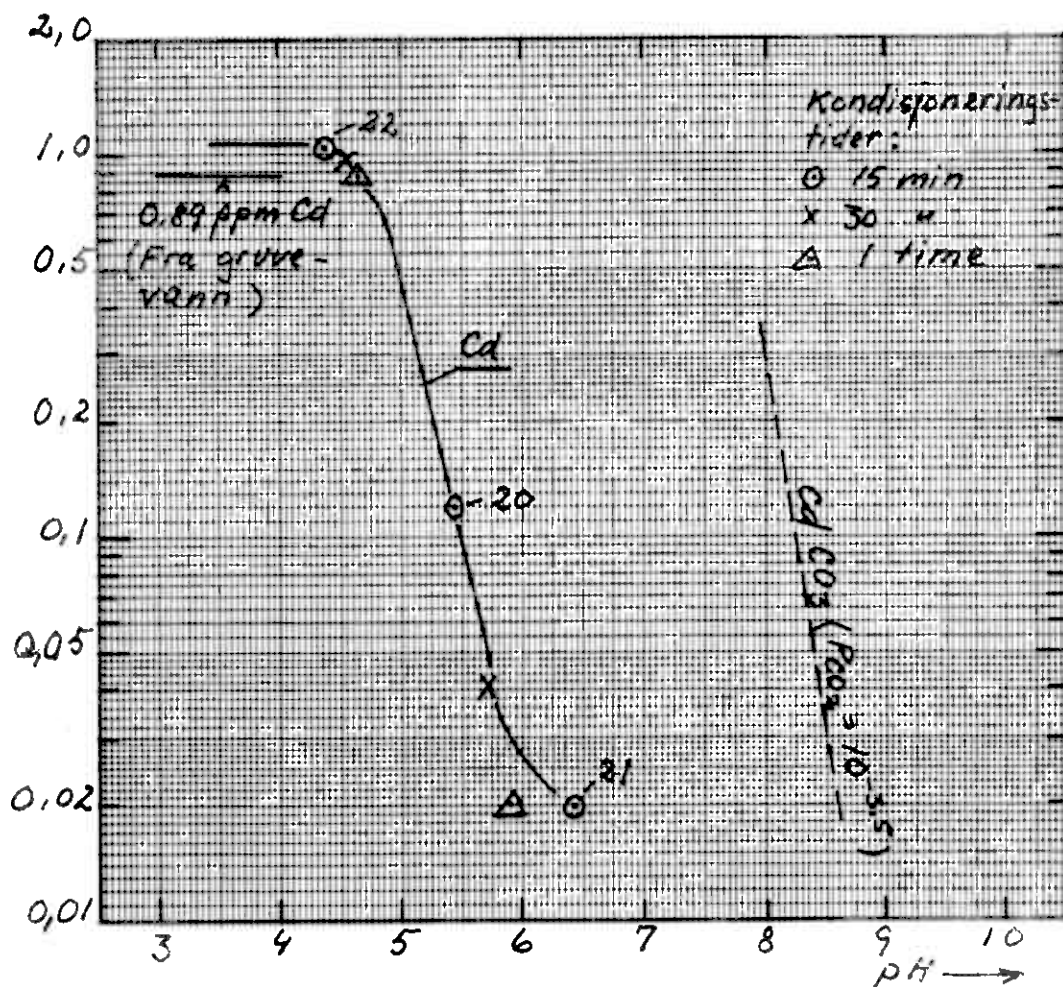
$$[\text{Pb}^{++}] [\text{SO}_4^{--}] = 10^{-7,65}. \quad (12)$$

Cd i lösning, p.p.m. →

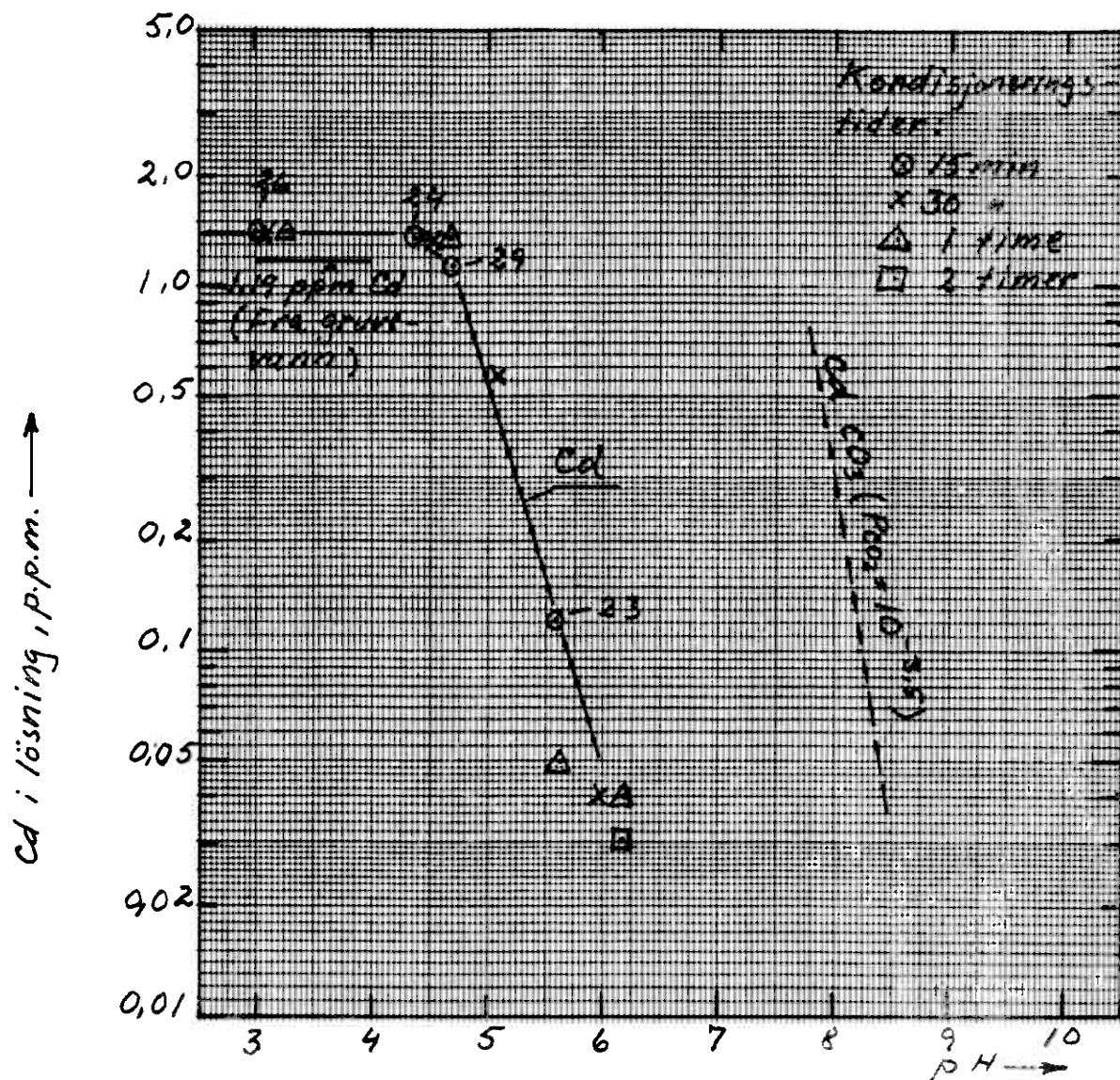


Figur 15. Kondisjonering av avgang med 0,89 liter gruvevann.
Cd i løsning.

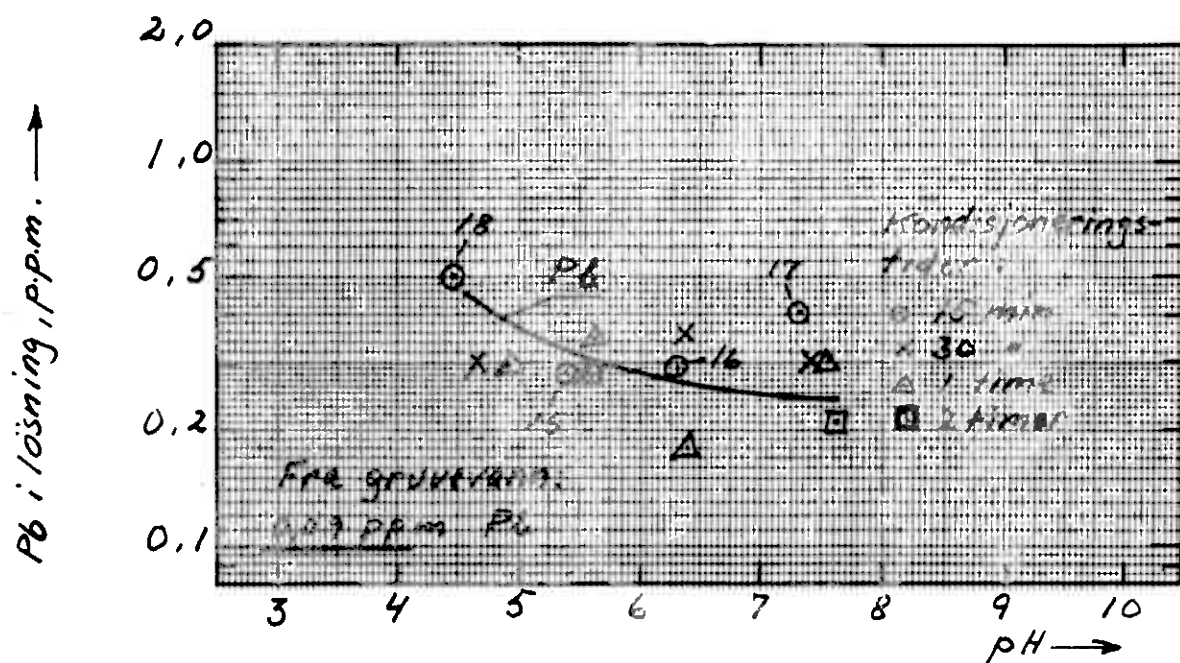
Cd i lösning, p.p.m. →



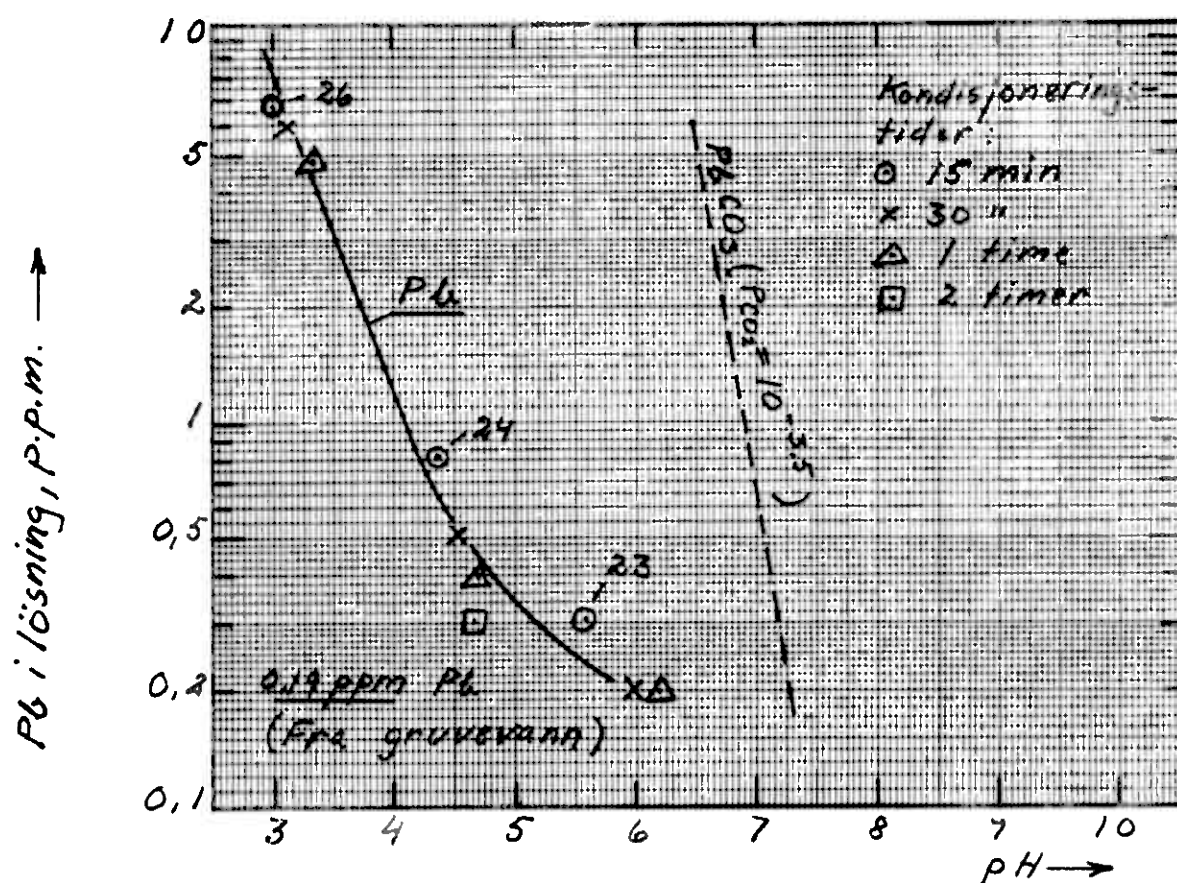
Figur 16. Kondisjonering av avgang med 1,335 liter gruvevann.
Cd i løsning.



Figur 17. Kondisjonering av avgang med 1,78 liter gruvevann.
Cd i løsning.



Figur 18. Kondisjonering av avgang med 0,89 liter gruvevann.
Pb i løsning.



Figur 19. Kondisjonering av avgang med 1,78 liter gruvevann.
Pb i løsning.

Andre verdier fra litteraturen ligger i samme området. Ved tilsats av 1,78 liter gruvevann, figur 19, ble det tilført en mengde SO_4 som tilsvarte 7.826 mg/liter i de 3,595 liter væske ved kondisjoneringen (tabell 1 og 2). Ved forsøk 23 var mengde SO_4 nede i 5.717 mg/liter etter 15 minutter og nede i 3.894 mg/liter etter 60 minutter. Altså hadde man her gipsfelling (se senere). Beregner man Pb^{++} -innhold ut ifra løselighetsproduktet ved å sette inn konsentrasjonen for SO_4^{--} etter 60 minutter kondisjonering, gir dette ca. 0,11 mg/ Pb^{++} /liter, altså vesentlig lavere enn de fundne verdiene. Den sterke økningen av Pb i suspensjonen fra pH ca. 4,5 og nedover mot lavere pH-verdier er noe vanskelig å forklare.

7.5. Ca, Mg og SO_4 i løsning.

I tabell 3 er angitt analyser for Ca, Mg og SO_4 for noen av forsøkene etter 15 og 60 minutter kondisjonering for 0,89, 1,335 og 1,78 liter gruvevann. Med utgangspunkt i bidrag av forurensninger fra gruvevann, tabell 2, finner man i tabell 3 en betydelig tilførsel av Ca. Den overveiende mengden av Ca kommer fra tilsatt $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ved pH-reguleringen. Ca-innholdet synker med kondisjoneringstiden. Det samme gjør også SO_4 -innholdet. Det skjer her en utfelling av gips.

Tabell 3

Ca, Mg og SO_4 i løsning i
mg/liter

For- søk	Mengde gruve- vann, liter	Ca	Mg	SO_4	pH
15/15 m	0,89	143	82	4396	5,30
15/60 m		138	83	4309	5,62
16/15 m	0,89	123	85	4350	6,30
16/60 m		114	73	4098	6,40
20/15 m	1,335	88	78	5090	5,45
20/60 m		75	84	4021	5,92
23/15 m	1,78	-	142	5717	5,58
23/60 m		-	163	3894	6,18

Innhold av Mg i gruvevann er forholdsvis høyt. P.g.a. en viss usikkerhet i analysene er det vanskelig å si om en har fått noe bidrag av Mg fra avgangsmineraler. Felling av $\text{Mg}(\text{OH})_2$ skjer først et godt stykke opp i basisk område, idet løselighetsproduktet fins angitt til $10^{-10,9}$ (6). Også karbonatfelling skjer ved forholdsvis høy pH. Her er løselighetsproduktet angitt til $10^{-5,6}$, altså vesentlig høyere enn for CaCO_3 med løselighetsprodukt $10^{-8,35}$ (kfr. T.R.nr. 47/1, fig. 6).

Magnesium antas å kunne adsorberes på bergartsmineraler først når man kommer opp i pH omkring ca. 11 iflg. svenske undersøkelser (8).

Som allerede nevnt, feller Ca^{++} -joner ut gips. Dette framgår av løselighetsproduktet $[\text{Ca}^{++}][\text{SO}_4^{--}] = 10^{-4,47}$. Med utgangspunkt i 4000 mg/liter SO_4 , som i tabell 3 er omtrent SO_4 -mengden etter 60 minutter kondisjonering ved forsøk nr. 16, skulle uttrykket for løselighetsproduktet tilsi 32 mg Ca^{++} i løsning ved likevekt. Det betyr at med de 114 mg/liter Ca i løsning i tabell 3 faller fremdeles gips ut av suspensjonen.

Man kommer i et senere kapittel tilbake til utfellinger i forbindelse med settling av avgangen.

7.6. Oversikt over rensingen

På figurene 20 og 21 er vist kurver for elementinnhold ved tilsats av 0,89 liter (basis) og 1,78 liter gruvevann. Begge figurene gjelder 15 minutter kondisjonering. Spesielt Cu og Cd er fjernet noe bedre ved relativt lav pH med 0,89 liter gruvevann tilsatt enn med 1,78 liter. Ved pH ca. 6 er gehaltene for disse elementene så lave at analysene begynner å bli nokså usikre. Ved denne pH er også Al felt ut.

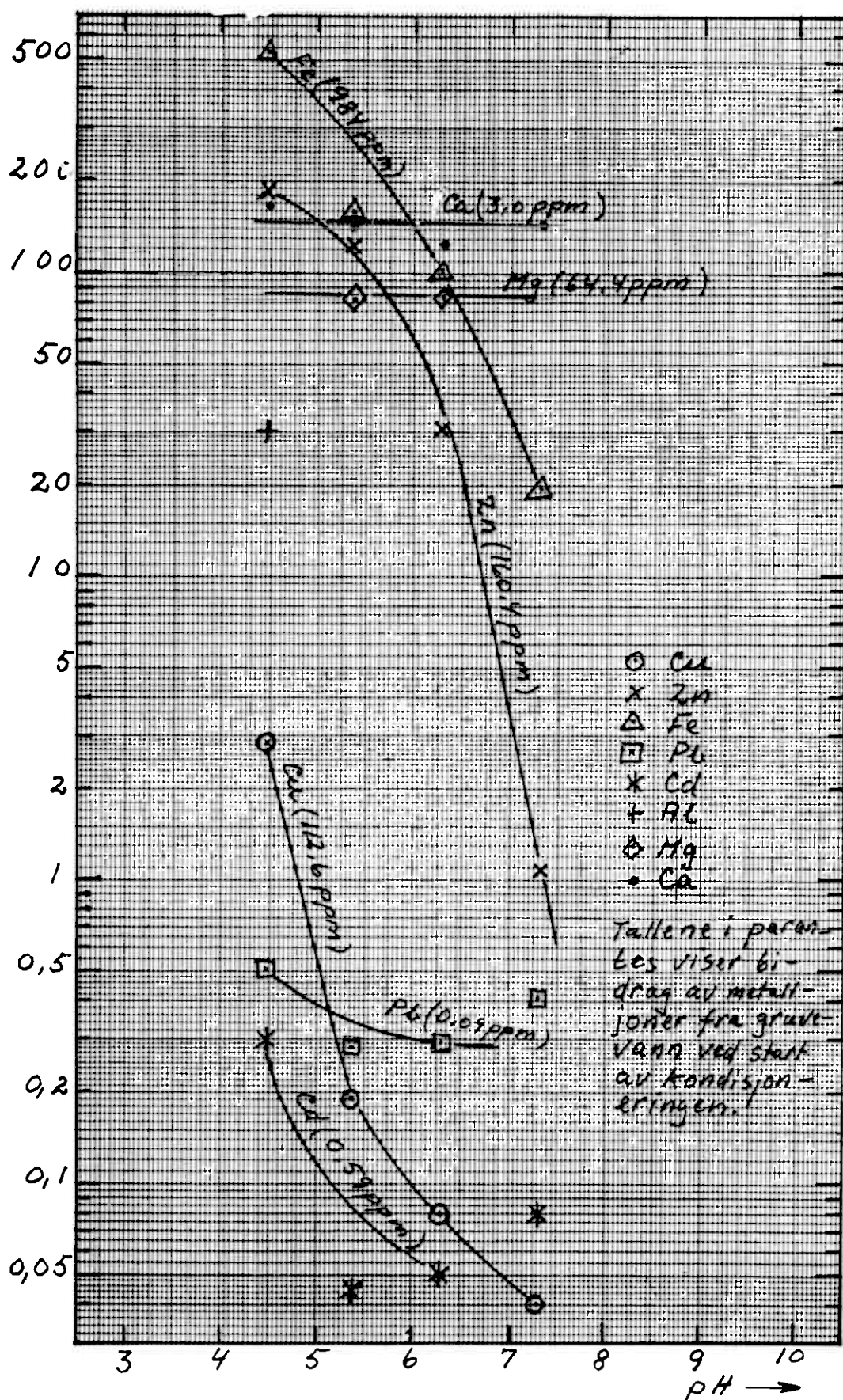
Ved pH 6 er derimot fremdeles en stor mengde Zn og Fe i løsning. Zn antas for en stor del å ha inngått utbyttingsreaksjon med kis ved denne pH. Ved økende pH anses felling av sinkkarbonat å komme sterkere inn i bildet. For å komme ned i lav restkonsentrasjon av Zn, må pH være over ca. 7,5.

Når avgang settler ut av suspensjonen og det fremdeles kommer til oksygen, vil man måtte regne med utfelling av Fe og forholdsvis hurtig utfelling ved pH noe over ca. 6 (kfr. T.R. nr. 47/2, figur 4). En vil i senere kapittel komme inn på fortsatt utfelling av gips.

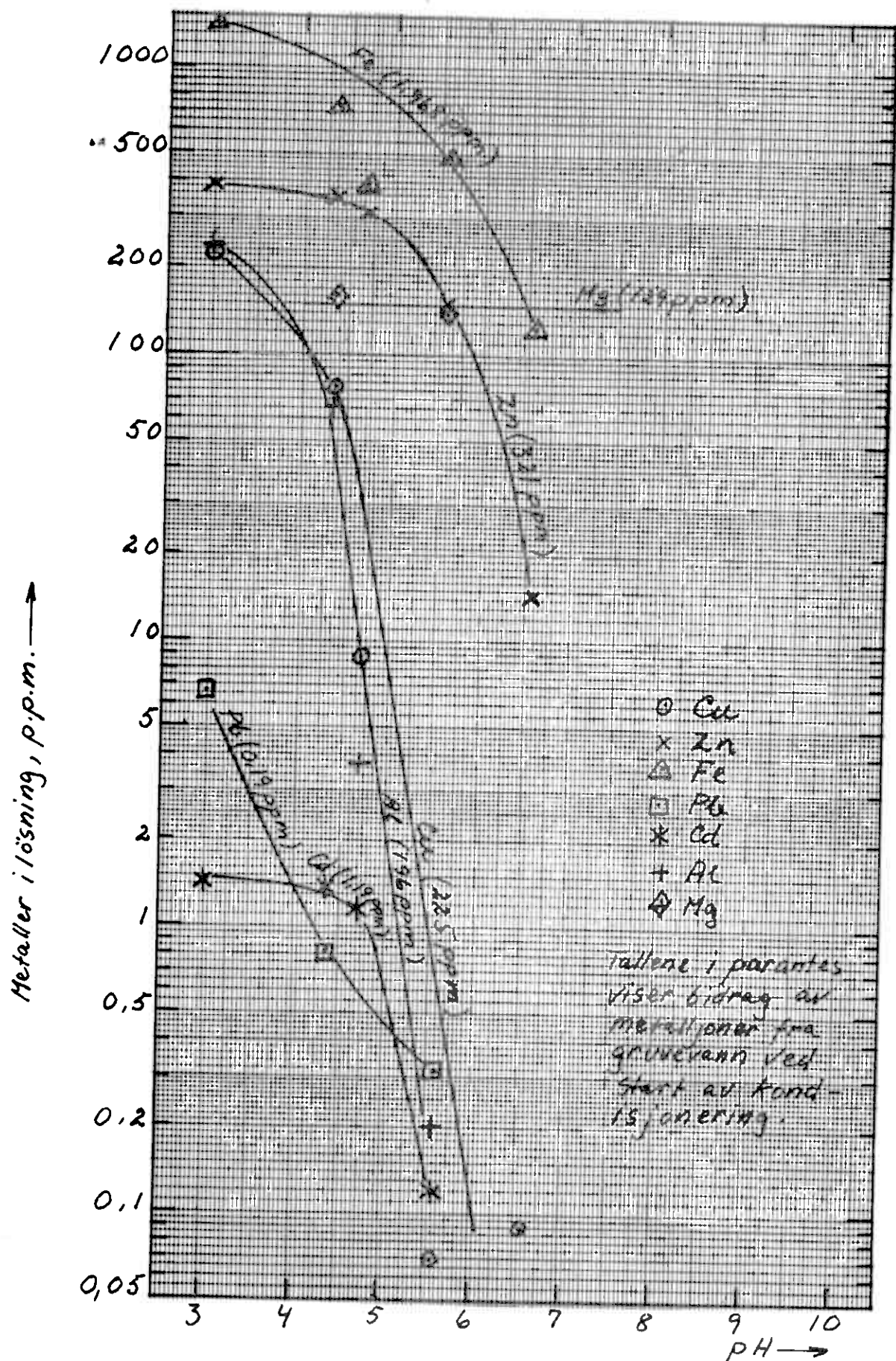
7.7. Settling av avgang. Utfelling av forurensninger i vannet

Ved tre forsøk, nr. 15, 16 og 17 ble det utført settlingsforsøk med avgangene et døgn etter at forsøkene med kondisjonering med gruvevann var utført. Disse forsøkene var alle kondisjonert med 0,89 liter gruvevann (kfr. figur 8). Ved settlingsforsøkene ble alt fast stoff fra avgangene tatt med (også fast stoff fra uttatte prøver under kondisjoneringen). Settlingsforsøkene ble utført i 2-liters målesylinder. En del klar væske fra kondisjoneringen ble utelatt. Resultatene fra settlingen er vist på figur 22. Fra forsøk 15 med liten tilsats av Ca(OH)_2 til forsøk 17 med 7,65 gram Ca(OH)_2 under kondisjoneringen, er det skjedd en viss økning av

Metaller i løsning, p.p.m. →



Figur 20: Kondisjonering av avgang med 0,89 liter gruvevann i 15 minutter.
Metallforurensninger i løsning.



Figur 21: Kondisjonering av avgang med 1,78 liter gruvevann i 15 minutter. Metallforurensninger i løsning.

volumene av utsettlet gods, en økning som først og fremst må skyldes utfelling av gips. Ved veininger av de forskjellige produkter (pebbles etter nedmaling, flotasjonskonsentrater og avgang etter behandling) fant man at adsorpsjon og utfellinger har gitt vektøkninger for avgangene på henholdsvis 1,9, 4,0 og 5,1% for de tre forsøkene nr. 15 til 17. Disse prosent-tallene vil p.g.a. forskjellige tap under flotasjonen være litt for høye. På de tre kurvene på figuren er vektene av tørt gods inklusive felling påført.

Det synes å fremgå av figur 22 at prøvene med sterkest gipsutfelling har gitt en noe saktere settling, men forskjellene er ikke vesentlige.

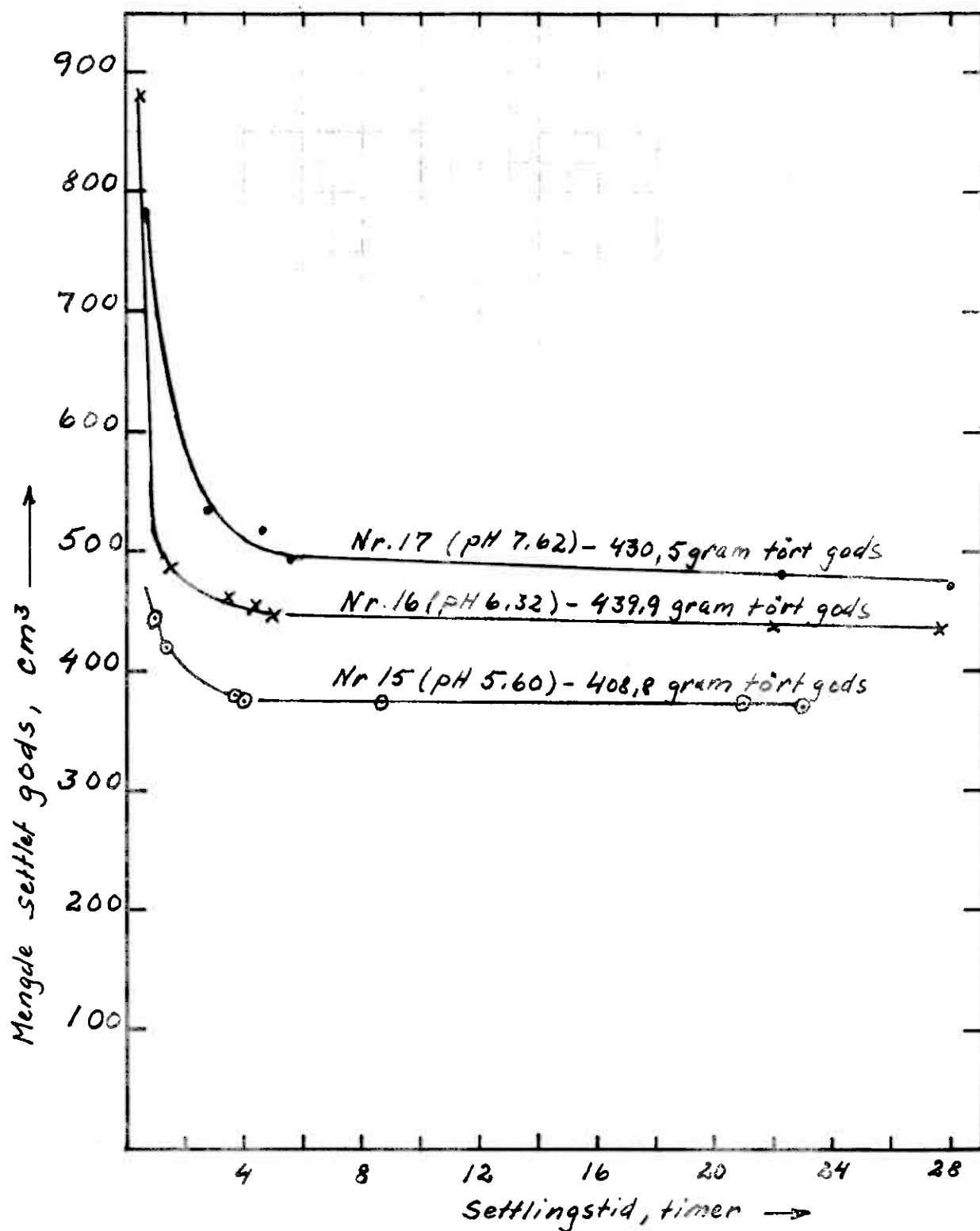
Parallellprøver av uttatte analyseprøver fra forsøk nr. 15 ble stående et døgn uten tilsats av HCl. Det gjaldt prøvene 15/15 min. og 15/60 min. Gips falt ut av prøvene. Klarvæske fra disse prøvene ble dekantert av og analysert. I tabell 4 er vist analyser av væskeprøver uten gipsutfelling (prøver tilsatt HCl) og prøver der gips er felt ut.

Tabell 4

Kjemiske analyser av væske tilsatt HCl (a) og analyse av væske der gips er felt ut etter et døgn (b). Forsøk nr. 15 med pH 5,4-5,6 (0,89 liter gruvevann).

Analyser i p.p.m.

Analyser	15/15 minutter		15/60 minutter	
	a	b (gipsutf.)	a	b (gipsutf.)
Cu	0,19	0,18	0,10	0,09
Zn	121,5	121,0	97,2	96,0
Fe	159,8	154,0	157,3	150,0
Pb	0,28	0,25	0,35	0,25
Cd	0,04	0,04	0,04	0,03
Ca	143,4	126,5	137,8	117,9
Mg	81,5	80,0	-	-
SO ₄	4.396,0	3.901,0	4.309,0	3.784,0



Figur 22: Settlingsforsøk i 2 liters målesylinder med avganger kondisjonert med gruvevann.

Av tabellen (b-forsøkene) fremgår at henstand av klarvæske, etter kondisjonering av gruvevann med avgang, har redusert innholdet av Ca og SO_4 . Muligens har man også en svak utfelling av PbSO_4 og av $\text{Fe}(\text{OH})_3$, men pH er her så lav som ca. 5,5 og det er først noe over pH 6 at oksydasjon av Fe^{++} til Fe^{3+} begynner å skje gradvis raskere. Øvrige komponenter synes ikke å være påvisbart redusert.

Analysesetallene i tabellen antyder en relativt sterkere minskning av SO_4 enn tilsvarende for katjoner. Dette kan skyldes analysene som her kan være noe unøyaktige. Man kunne etter en tids henstand av væskeprøver tilsatt HCl merke en lukt av svovelforbindelser som antas å stamme fra dekomponering av kjemikalier fra flotasjonen.

8. VURDERING AV RESULTATER

Ved tidligere undersøkelser av adsorpsjon av Cu- og Zn-joner på ren svovelkis og magnetkis, ble det konstatert begynnende adsorpsjon av Cu allerede ved så lav pH som 3 og begynnende adsorpsjon av Zn ved pH ca. 5 (T.R. nr. 47/2). Dette er i tråd med det som fremgår her ved forsøkene med gruvevann og flotasjonsavgang, kfr. figur 21.

Ved tilsats av 0,89 liter gruvevann til 0,4 kg avgang, et forhold som er regnet som basis, steg pH uten $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -tilsats til 4,5 etter 15 min. kondisjonering. Mengde avgangsvann var her 2,7 liter som er en forholdsvis stor mengde. Allerede etter 15 minutter kondisjonering var Cu-innholdet i suspensjonen sunket til 3 ppm., og med en liten reduksjon i innhold av Al og Fe (kfr. fig. 20). Denne forholdsvis lave pH-verdien har gitt en utilfredsstillende rensing. Ser man på figur 8 så steg pH opp til ca. 5,1 etter 2 timer kondisjonering. Grunnen må vesentlig være den beskjedne kalkspattemengde i avgangen. Dette førte til en reduksjon av Cu til ca. 0,2 ppm (figur 4), en betydelig reduksjon av Al, noe reduksjon av Fe (fig. 12) og en del reduksjon av Cd. Ellers har ikke Zn-innholdet sunket noe. Denne senkningen i innhold av forurensninger skyldes mer pH-økningen enn den økte kondisjonerings-tiden. Ellers må man regne med en kondisjoneringstid vesentlig over 15 minutter som urealistisk i praksis.

Av figurene 20 og 21 fremgår at Cu, Cd og Al er godt fjernet fra løsningen allerede ved pH 5,5-6.

Skal man komme ned i f.eks. 1 ppm Zn i restløsning, må man ved 15 minutter kondisjonering med 0,89 liter gruvevann opp i pH 7,3 (figur 20). Det har man her oppnådd ved tilsats av 7,65 gram Ca(OH)_2 iflg. figur 8. Fe-innholdet er her kommet ned i ca. 20 ppm.

Så snart væsken her skilles fra avgangen og det er tilgang på oksygen, må man regne med rask utfelling av resterende Fe(OH)_3 idet oksydasjonen av Fe^{++} til Fe^{3+} skjer forholdsvis raskt når man er kommet noe over pH 6. I suspensjon har man det forhold som er omhandlet under kapittel 7.2, at en god del oksygen vil forbrukes ved oksydasjon av såvel Fe^{++} fra gruvevann som oksydasjon av Fe^{++} fra utbyttingsreaksjonene. I tillegg kommer oksydasjon av jern fra slitegods og muligens også litt oksydasjon av kis, skjønt oksydasjon av kis vil neppe være særlig fremherskende etter hvert som utbyttingsreaksjonene skrider frem. En del gips vil også etter hvert felles ut slik som her med vel 140 ppm Ca i løsning. Dette vil skje gradvis samtidig med at SO_4 -innholdet i løsningen reduseres. Bestemmende for hvor langt utfellingen går er løselighetsproduktet $[\text{Ca}^{++}][\text{SO}_4^{--}] = 10^{-4,47}$ (ved 25°C).

Man har her gått ut ifra at Cu og Cd er fjernet fra løsningen ved utbyttingsreaksjon. Det samme gjelder dels Zn, men man har antatt at en del av sinken felles ut og dels kan være adsorbent fysikalsk. M.h.t. Cu er også adsorpsjon på slitejern nevnt som en mulighet (kapittel 7.2.). Til en viss grad kan man tenke seg at kjemikalierester av xantater og Z-200 (Dow) kan binde noe Cu, men dette vil bety svært lite i denne sammenheng. Hvis man betrakter adsorpsjon ved pH 7,3 med 0,89 liter gruvevann, figur 20, kan man anta en adsorpsjon ved utbyttingsreaksjon som tilsvarende 112 ppm Cu og anslagsvis 110 ppm Zn. (Det siste tallet gjelder pH ca. 6.) Man ser da bort ifra ev. Cu adsorbent på slitejern og på andre mineraler. Ifølge beregninger i kapittel 7.1. skulle det tilsi tilsammen ca. 14 atomer av Cu og Zn pr. $100 \text{ \AA}^2$ kisooverflate. Med 2 atomer Fe pr. $29 \text{ \AA}^2$ i gitteret på kisooverflaten, betyr det at mer enn overflateposisjonene av Fe er byttet ut med Cu og Zn.

Hvis man går opp til den dobbelte mengde gruvevann, fig. 21, så kan man fremdeles oppnå bra rensing. Her må Ca(OH)_2 -mengden økes betraktelig, figur 10.

Sammenligner man avgangen som er brukt her med avgang fra verket på Løkken, skulle ikke forskjellen være så stor. Målte spesifikke overflater er omtrent de samme. Avgangen som er brukt her inneholder litt mer FeS_2 enn det en finner angitt for Løkken, 71% FeS_2 mot 65% FeS_2 ved Løkken. I liten grad kan muligens slitejern fra malingen spille inn.

Når det gjelder hvilket pH-område som bør holdes ved adsorpsjonen, vil hensynet til lavt Zn-innhold kreve en pH over 7. Som det fremgår av kapittel 2 vil utbyttingsreaksjonene mellom Cu i løsning og Fe i svovelkis avta gradvis når en kommer over anslagsvis pH 8. Det samme antas også å gjelde Zn. Over pH ca. 10 vil man ha felling av hydroksyder av Cu og hydroksyder og karbonater av Zn. Ved så høy pH som 10 kan det være tvilsomt om hydroksydene er fysikalsk adsorbert på mineralene, men befinner seg i suspensjon som relativt lett mobile felling. Av den grunn bør ikke pH være vesentlig over anslagsvis ca. 8,5 under kondisjoneringen slik det ble antatt i T.R. nr. 47/2 og verifisert i kapittel 2. Ved høye pH-verdier har man dessuten dannelser av thiosulfater.

Av interesse er det å vurdere hva som skjer når pH synker. Hvis Cu hadde vært felt som hydroksyd, ville sannsynligvis Cu allerede ha begynt å gå i løsning ved pH ca. 7, men når som her Cu er bundet til svovel, må man iallfall ned mot pH ca. 5 for at Cu skal gå i løsning, kfr. fig. 3 og 4. Zn, derimot, er langt dårligere adsorbert. En må regne med at noe sink ikke er bundet til svovel men dels foreligger som ZnCO_3 og ev. noe Zn(OH)_2 , fig. 3-6. Selv om en god del Zn vil være bundet til svovel, så er det en langt svakere binding enn den Cu gir med svovel. Man får et begrep om hva som skjer ved å betrakte kurvene for Zn i løsning på figurene 3-6. Man har også forholdet med begynnende adsorpsjon av Zn på svovelkis først over pH ca. 5 (noe avhengig av konsentrasjon). Allerede ved senkning av pH ned til ca. 6,5 vil en god del Zn kunne gå i løsning.

Man har tidligere vært inne på stigning i pH p.g.a. kalkspatt-innholdet i avgangen. Ved kondisjonering av 0,89 liter gruvevann med avgang og avgangsvann, figur 8, steg pH til 4,5 etter 15 minutter kondisjonering og videre til pH 5,1 etter 2 timer. Det ser ut til at effekten av kalkspatten da har omtrent opphørt. CaCO_3 -innholdet i avgangen ble anslått til å være maksimum 0,6% eller ca. 2,4 gram CaCO_3 i chargen (kapittel 5.2). For å få pH opp i ca. 7,3, som er gunstig for adsorpsjon, var det nødvendig med tilsats av 7,65 gram Ca(OH)_2 iflg. figur 8. Man kunne her tenke seg muligheten av å erstatte helt eller delvis Ca(OH)_2 ev. CaO med CaCO_3 . Fra beregninger vet man at kalkspatt i vann gir pH ca. 8,3 når partialtrykket av CO_2 tilsvarer omtrent luftens partialtrykk av CO_2 (T.R. nr. 47/1, fig. 6). I en suspensjon av kalkspatt i vann stiger pH raskt igjen etter syretilsats. Noe saktere kan pH stige når metalljoner er til stede. Det er kjent at adsorberte tungmetalljoner på kalkspatt nedsetter løsningshastigheten av kalkspatt (T.R. nr. 47/1, fig. 10). Etter hvert som pH stiger over en viss grense, må man regne med et gradvis voksende sjikt av mer tungløselige metallkarbonater eller basiske karbonater, adsorbent på kalkspattoverflatene. Dette får man et begrep om ved å studere løselighetene for de forskjellige metallkarbonater i T.R. nr. 47/1. En kan her nevne at ved luftens partialtrykk av CO_2 gir PbCO_3 som løses i vann bare pH ca. 6,75, ZnCO_3 gir pH ca. 7,5, FeCO_3 gir ca. pH 7,56 og CuCO_3 gir litt høyere pH i henhold til løselighetsproduktene. Tidligere er nevnt CaCO_3 som gir pH ca. 8,3. Imidlertid må man anta at før man kommer så høyt i pH at tungmetallkarbonater begynner å gjøre seg gjeldende, vil 3-verdig Fe kunne adsorberes på kalkspattoverflatene som hydroksyd og virke bremsende på løsningshastigheten av kalkspatt. Som det fremgår, er man noe usikker når det gjelder pH-regulering med CaCO_3 p.g.a. ukjente løsningshastigheter og løsningshastigheter som vil være avhengig av partikkelstørrelse av CaCO_3 .

9. KONKLUSJON

Laboratorieundersøkelser i batchskala med kondisjonering av gruvevann fra Løkken og svovelkisholdig avgang fremstilt fra Løkken-kis har vist at Cu, Cd og Al er godt fjernet fra vannet

etter 15 minutter kondisjonering ved pH 5,5-6. Zn- og Fe-innholdet i vannet ble redusert til noenlunde akseptable verdier først ved pH over ca. 7,5. Dette gjaldt endog for den dobbelte mengde gruvevann av det som tilsvarer forholdet mellom årlige mengder av gruvevann og avgang ved Løkken.

Cu og Cd antas å bindes til svovel i kis ved utbyttingsreaksjoner, mens Al vil være utfelt som hydroksyd som sannsynligvis vil adsorberes fysikalsk på mineraler. Zn antas også å bindes til svovel i kis, men ved vesentlig høyere pH enn for Cu og Cd. Noe Zn vil ved pH ca. 7 kunne være utfelt som karbonat ev. hydroksyd og vil sannsynligvis være fysikalsk adsorbert på mineraler. Fe antas for en stor del å være fysikalsk adsorbert som $\text{Fe}(\text{OH})_3$ på mineraler. Tilsats av kalsium vil kunne redusere SO_4 -innholdet ved gipsutfelling.

Med den lille kalkspattemengden som her er i avgangen er det nødvendig med tilsats av kalk, ev. delvis erstattet av kalkspatt, for å nå opp i pH over ca. 7,5 som er ønskelig m.h.t. tilfredsstillende Zn- og Fe-innhold. pH bør ikke være vesentlig høyere enn ca. 8,5 under kondisjonering. Ved pH over ca. 10 adsorberes ikke Cu til svovelkis ved utbyttingsreaksjon når oksygen er tilstede. Det samme gjelder sannsynligvis også Cd og Zn.

Ved senkning av pH vil adsorbert Zn kunne løses betydelig allerede ved pH ca. 7 uansett om Zn er bundet til svovel eller ikke, mens Cu og Cd som er bundet til svovel ikke vil kunne løses nevneverdig før under pH ca. 5. Hvis Cu hadde vært felt som hydroksyd, ville løsningen kunne ha vært betydelig allerede ved pH ca. 7.

LITTERATUR:

1. P. Ljøkjell: "Gruvevann og avganger - Grunnlagsstudium av adsorpsjon av metalljoner på avgangsmineraler".
BVLI, T.R. nr. 47/1, april 1979.
 2. P. Ljøkjell: "Adsorpsjon av Cu-og Zn-joner på svovelkis og magnetkis".
BVLI, T.R. nr. 47/2, mai 1980.
 3. C.H.G. Bushell,
C.J. Krauss
and G. Brown: "Some Reasons for Selectivity in Copper Activation of Minerals".
Trans. CIMM, Vol. 64, 1961, 177-184.
 4. G.A. Parks: "The Isoelectric Points of Solid Oxides, Solid Hydroxides, and Aqueous Hydroxo Complex Systems".
Chemical Reviews, 1965, Vol. 65, No. 2, p. 177-198.
 5. P. Ney: "Zeta-Potentiale und Flotierbarkeit von Mineralien".
Springer-Verlag, 1973.
 6. K.B. Krauskopf: "Introduction to geochemistry".
Mc.Graw-Hill, 1967.
 7. R.K. Freier: "Wässrige Lösungen".
Walter de Gruyer, Berlin, 1976.
 8. P.G. Broman: "Purification of Industrial and Municipal Waste Water by Means of Mineral Slime".
XI IMPC, Cagliari, April 1975.
 9. W.M. Latimer: "Oxidation Potentials",
Prentice Hall.
-