

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
Blindern

PRA 2.1 FORSØKSANLEGGET PÅ KJELLER

Delprosjekt

0-40/71-C

DRIFTSUNDERSØKELSER AV MEKANISKE, KJEMISKE
OG BIOLOGISKE RENSEANLEGG

Fjerning av tungmetaller

ved

kjemisk felling av kommunalt avløpsvann

Saksbehandlere: siv.ing. Ole Falk Frederiksen
tekn.lic. Peter Balmér
Medarbeider : cand.real. Rolf Tore Arnesen

Rapporten avsluttet: november 1974

F O R O R D

"Fjerning av tungmetaller ved kjemisk felling av kommunalt avløpsvann" er en del av prosjekt PRA 2.1, NIVA-oppdrag O-40/71-C "Driftsundersøkelse av mekanisk, biologisk og kjemisk renseanlegg".

Forsøkene er gjort på Norsk institutt for vannforsknings (NIVAs) forsøksanlegg på Kjeller, mens prøvene er analysert på NIVAs laboratorium på Blindern. Analysene er utført av fil.kand. Karin Balmér, mens forsøk, litteraturstudium og rapportering er gjort av siv.ing. Ole Falk Frederiksen. Tekn.lic. Peter Balmér har deltatt i opplegget av arbeidet og i vurdering og rapportering av det framkomne materiale. Den generelle delen av rapporten er utarbeidet i samarbeid med cand.real Rolf T. Arnesen.

Blindern, oktober 1974

Ole Falk Frederiksen

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	2
INNHALDSFORTEGNELSE	3
TABELLFORTEGNELSE	4
FIGURFORTEGNELSE	5
SAMMENDRAG	6
1. INNLEDNING	7
2. GENERELT	8
2.1 Tungmetaller i avløpsvann	8
2.2 Utfelling av hydroksyder	8
2.3 Utfelling av andre forbindelser	11
2.4 Adsorpsjon	12
2.5 Medfelling	12
2.6 Kompleksforbindelser	13
3. TUNGMETALLKONSENTRASJONER I AVLØPSVANN	15
3.1 Fjerning av tungmetall ved de konvensjonelle renseprosessene	17
4. EGNE UNDERSØKELSER	19
4.1 Forsøksanlegget	19
4.2 Råkloakk	19
4.3 Prøvetaking	19
4.4 Analyser	21
4.5 Forsøkene utførelse	21
4.6 Resultater og diskusjon	22
SUMMARY	31
English text to TABLES	32
English text to FIGURES	34
LITTERATURLISTE	35
BILAG A Fjerning av tunge metaller ved mekanisk og biologisk rensing. Data fra noen områder i USA	38
BILAG B Tungmetallsalter og fellingskjemikalier som har vært tilsatt under forsøkene	42
BILAG C Resultater fra forsøkene samlet i tabellform	44

TABELLFORTEGNELSE

	Side:
Tabell 1 Data for hydroksydfelling av forskjellige metaller, (Hartinger 1968)	10
Tabell 2 Konsentrasjoner ($\mu\text{g}/\text{l}$) av tungmetaller i rent kommunalt avløpsvann i Oslo-området der industriinnblandingen må regnes å være ubetydelig og der industriinnblandingen er merkbar	16
Tabell 3 Konsentrasjoner ($\mu\text{g}/\text{l}$) i kommunalt avløpsvann i Osloområdet sammenliknet med data fra andre land	16
Tabell 4 Sammenstilling av data som viser konsentrasjon i innløpsvann og fjerning av tungmetaller i noen vanlige renseprosesser	18
Tabell 5 Data over forsøksanlegget	19
Tabell 6 Prosentuell fjerning av tungmetallene kadmium (Cd), kobolt (Co), krom (Cr), kopper (Cu), mangan (Mn), bly (Pb), nikkel (Ni), sink (Zn), suspendert stoff (SS), kjemisk oksygenforbruk (KOF), fosfor (tot-P) og ortofosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$). Fjerningen er beregnet ut fra råkloakk	30
Tabell A1 Analyses of Data from Municipal Treatment Plants in the Interstate Sanitation District Having Primary Treatment (Mytelka 1973)	39
Tabell A2 Analyses of Data from Municipal Treatment Plants in the Interstate Sanitation District Having Acrobic Biological Treatment (Mytelka 1973)	40
Tabell A3 Data for effluent for utløpsvann for 58 anlegg i Michigan-området. Anleggene er mekaniske og biologiske (Blackslee 1973)	41
Tabell B1 Tilsatte tungmetallsalter og fellingskjemikalier	43
Tabell Cla, serie 1, serie 2 og serie 3 Vannmengde (Q_{vann}), slammengde (Q_{slam}) og doseringsmengde	45-47
Tabell Clb, serie 1 Innhold og total rensegrad på de forskjellige trinn, suspendert stoff	

Tabell C1b, serie 2 og 3 Vanlige driftsanalyser	48
Tabell C2, serie 1, 2 og serie 3 Konsentrasjon og fjerning av tunge metaller på de forskjellige trinn i prosessen. Fjerningen som % reduksjon er beregnet ut fra råkloakk. Filtrert prøve er angitt i parentes	49-53
Tabell C3, serie 1, serie 2 og serie 3 Massebalanse over de enkelte rense-trinn. Den totale mengde inn og ut er angitt som summen av dagens og foregående dags masse. Den totale masse inn og ut ved serie slutt, er understreket	54-59

FIGURFORTEGNELSE

Figur 1	Titrasjon med alkali i metallholdig løsning (Hartinger 1968)	9
Figur 2	Løseligheten av sink ved tilsats av natronlut, kalk og soda, målt etter to timer (Hartinger 1968)	9
Figur 3	Prosentuell fjerning av løst metall ved forsøk av Jenkins (1964) og Nilsson (1970) sammenliknet med teoretisk løselighet i rent vann for metallet ved angitt konsentrasjon	11
Figur 5a	Total konsentrasjon av metall i løsning (M_{tot}) som funksjon av pH	14
Figur 5b	Total konsentrasjon av metall i løsning (M_{tot}) som funksjon av pH i vann med NTA-innhold ($10^{-4,7}$ mol/l)	14
Figur 6	Oversikt over kjemisk fellingsanlegg med forsedimentering	20
Figur 7a og b	Konsentrasjonen av tungmetall i utløpsvann for aluminiumfelling (pH = 6,5), jern + kalkfelling (pH = 8,5) og kalkfelling (pH = 11,3), med angivelse av konsentrasjonene i råvann	27-28
Figur 8	Prosentuell fjerning av tungmetall med aluminiumfelling (pH = 6,5), jern + kalkfelling (pH = 8,5) og kalkfelling (pH = 11,3). Konsentrasjonen i råvann er angitt	29

SAMMENDRAG

Kommunalt avløpsvann uten innblanding av industriavløpsvann har lavt innhold av tunge metaller. Sink og kopper er normalt de tungmetaller som fins med høyest konsentrasjon, (100-300 µg/l), mens innholdet av krom, kobolt, nikkel, mangan, bly, kadmium og kvikksølv normalt er én til to størrelsesordner lavere. Når man har industrielle utslipp til det kommunale nettet, kan konsentrasjonen av ett eller flere tunge metaller være høy.

Litteraturen viser at tunge metaller kan fjernes fra avløpsvann ved forskjellige mekanismer som kjemisk felling, medfelling, adsorpsjon m.m. Ved mekanisk rensing er fjerning av tunge metaller normalt beskjedent. Ved aktivslamprosessen vil de høye konsentrasjoner av suspendert stoff i luftebassenget gi mulighet for en binding av tunge metaller. Ved aktivslamprosessen vil det være en risiko for forgiftning av det aktive biologiske materialet.

Fjerning av tunge metaller ved kjemisk rensing av kommunalt avløpsvann, er undersøkt ved forsøk i halvteknisk målestokk. Forsøkene er utført som sekundærfelling med aluminiumsulfat (fellings-pH 6,5), jern(III)-klorid (pH 6,0), jern(III)klorid + kalk (pH 8,5) og kalk (pH 11,3) som fellingsmiddel.

Ved undersøkelsene er både vannfase og slam analysert. Materialbalanseberegninger viser at prøvetaking og analyser er representative. Hvis en ser bort fra seksverdig krom som gjennomgående blir fjernet dårlig, viser resultatene at ved høye konsentrasjoner, ca. 1000 µg/l, får en bedre fjerning ved økende fellings-pH. De beste rensegradene får man derfor ved felling med kalk og de dårligste ved felling med aluminiumsulfat og jern(III)klorid. Ved konsentrasjoner i størrelsesorden 100 µg/l fikk man for de fleste metallene fortsatt best fjerning ved høy pH. Ved naturlig forekommende konsentrasjoner var det ingen entydige tendenser i resultatene.

Ved bruk av aluminiumsulfat har en fått de høyeste rensegrader ved lave konsentrasjoner av tunge metaller i innløpsvannet, mens ved kalkfelling har rensegraden vært best når konsentrasjonen av tunge metaller i innløpsvannet var høy. Dette kan indikere at en ved kalkfelling har hydrok-syduutfelling av tunge metaller som dominerende mekanisme, mens andre fenomener som f.eks. adsorpsjon til organisk partikulært materiale i avløpsvannet har større relativ betydning ved bruk av aluminiumsulfat som fellingsmiddel.

1. INNLEDNING

Tilførsel av tungmetaller til våre vassdrag er i de senere år viet stor oppmerksomhet.

Vi har i Norge i dag liten kjennskap til konsentrasjoner av tungmetaller i kommunalt avløpsvann. Det fins heller ikke noen bestemmelser om tillatte utslipp av tunge metaller til kommunalt avløpsvann. De tillatte konsentrasjoner blir vurdert i hvert enkelt tilfelle. Det er viktig å ha kjennskap til fjerning av tungmetaller ved de prosesser som brukes ved rensing av kommunalt avløpsvann.

For mekanisk og biologisk rensing fins det noe utenlandsk erfaring, men for kjemisk felling fins praktisk talt ikke noe data.

Denne rapporten tar for seg fjerning av tungmetall ved ulike konsentrasjoner ved felling med aluminiumsulfat, jern(III)klorid, jern(III)klorid + kalk og kalk.

2. GENERELT

2.1 Tungmetaller i avløpsvann

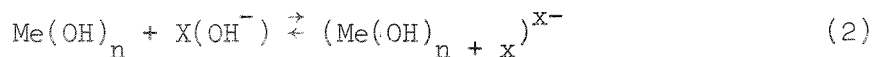
Som ellers i naturen kan tungmetaller i kommunalt avløpsvann foreligge i forskjellige former avhengig av de kjemiske forhold. De kan foreligge oppløst som frie ioner, utfelt som tungtløselige forbindelser, adsorbent til partikler eller løst som kompleksforbindelser.

2.2 Utfelling av hydroksyder

De fleste tungmetaller danner tungt oppløselige hydroksyder etter følgende reaksjonsligning:

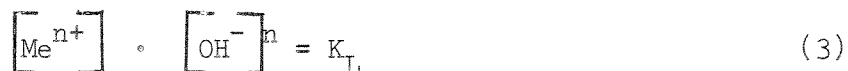


I og med at det ved reaksjonen forbrukes hydroksylioner (OH⁻ ioner) vil en større del av metallionene felles ut etter hvert som pH øker. Noen metallhydroksyder har imidlertid amfotære egenskaper. Det vil si at når pH øker over en viss grense, kan hydroksydet ta opp flere hydroksylioner og danne løselige hydroksylkomplekser etter følgende reaksjonsligning:



Metallhydroksyder med typisk amfotære egenskaper er aluminium, sink og krom. Pilene i begge retninger markerer at reaksjonen går begge veier avhengig av hydroksylionekonsentrasjonen i løsningen.

Løseligheten av metallhydroksyder kan beregnes teoretisk ved hjelp av løselighetsproduktet, K_L , som for reaksjonen i ligning (1) er definert slik:



For amfotære hydroksyder vil løseligheten være avhengig ikke bare av løselighetsproduktet, men også av stabiliteten av de hydroksyl-

komplekser som dannes. Sammenhengen mellom utfelling av hydroksy- syder og pH-verdien kan bestemmes ved titrering med alkali. Figur 1 viser forløpet av en slik titreringskurve. I området der hydroksydet felles ut, er det små forandringer av pH ved tilsats av alkalier. Tilsvarende effekt vil man få i områder der det dannes hydroksykomplekser.

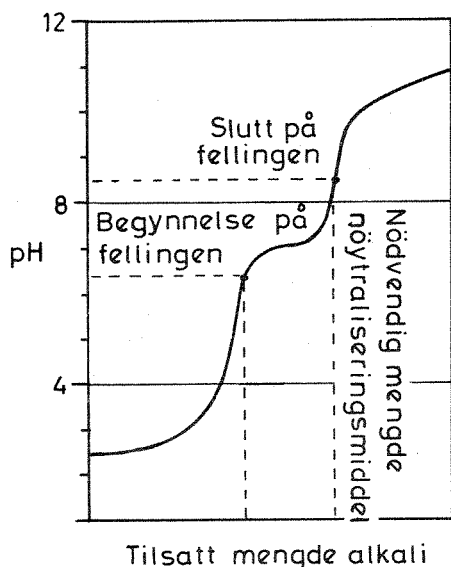


Fig. 1 Titrering med alkali i metallholdig løsning (Hartinger 1968).

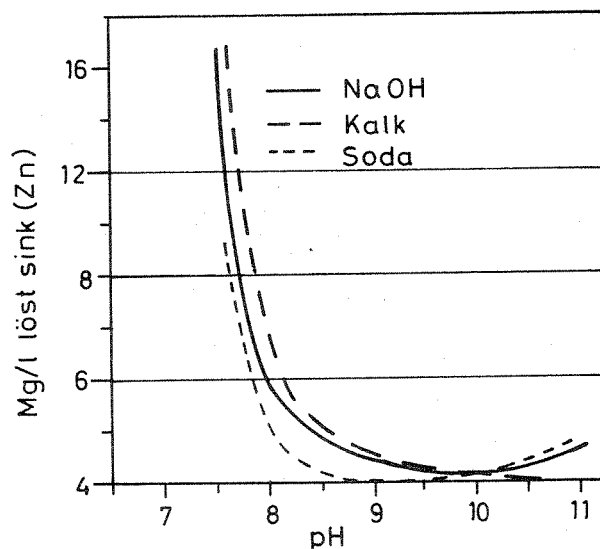


Fig. 2 Løseligheten av sink ved tilsats av natronlut, kalk og soda, målt etter to timer (Hartinger 1968).

Figur 2 viser som eksempel løseligheten av sink ved forskjellige pH-verdier og ved bruk av forskjellige alkalier for innstilling av pH. Det framgår tydelig at løseligheten, noe avhengig av fellingsmiddelet, har et minimum i pH-området 9-10,5.

I tabell 1 er det stilt sammen en del data som viser ved hvilken pH-verdi hydroksydfellingen begynner, i hvilket pH-område utfellingen er kvantitativ og eventuelt ved hvilken pH-verdi hydroksydet igjen kan løses. Tabellen er utarbeidet av Hartinger(1968) og bygger på data fra nøytralisasjonskurver. Av figur 2 framgår det at løse-

ligheten ikke bare avhenger av pH-verdien, men også av fellingsmiddelet. Dette skyldes at tungmetallioner danner en rekke forskjellige tungtløselige forbindelser dersom fellingen ikke foregår i ren løsnings. I kommunalt avløpsvann, som det her er tale om, er det klart at utfelling av hydroksyder bare delvis kan beskrive de prosesser som foregår.

Tabell 1. Data for hydroksydfelling av forskjellige metaller, Hartinger 1968.

Metallion	pH-verdi			
	Begynnelse av utfelling	Kvantitativ ¹⁾ utfelling	Gjenutløsning	Fellings- ²⁾ middel
Fe ⁺⁺⁺	2,8	3,5	-	N K S
Sn ⁺⁺	3,9	kolloidal	10,6	N
Al ⁺⁺⁺	4,3	4,8	8,5	N K S
Cr ⁺⁺⁺	5,5	6,3-6,5	9,2	N S
	5,5	6,3-6,5	-	K
Be ⁺⁺	5,8	ikke bestemt	-	N S
Cu ⁺⁺	5,8	7,5	-	N K
	5,8	8,5	-	S
Zn ⁺⁺	7,6	8,3	>11	N
	7,6	8,3	-	K
	7,4	7,9	>11	S
Fe ⁺⁺	ikke bestemt	ca. 9	-	N
Ni ⁺⁺	7,8	9,3	-	N K S
Pb ⁺⁺	7,0	9,5	-	N K
	5,5	6,5	9,0 koll.	S
Cd ⁺⁺	9,1	9,4-9,8	-	N K
	7,0	7,2	-	S
Ag ⁺	9,5	ikke bestemt	-	N
	9,25	kolloidal	-	-

1) Utfellingen er betegnet som kvantitativ når konsentrasjonen av løst metall er lavere enn ca. 2 mg/l.

2) N = Natronlut, K = Kalk, S = Soda.

2.3 Utfelling av andre forbindelser

Ikke bare hydroksylioner danner tungtløselige forbindelser med tungmetaller. Også en rekke fosfater, karbonater og sulfater samt en del forbindelser mellom hydroksylkomplekser av et metall og andre metaller kan felles ut under bestemte betingelser. Løseligheten av hvert enkelt av disse forbindelsene er gitt ved løselighetsproduktet. Hvorvidt forbindelsen felles ut eller ikke vil avhenge av konsentrasjonen av de komponenter som inngår i løselighetsproduktet. En rekke forhold kan påvirke disse konsentrasjonene, f.eks. pH, gasstrykk etc. Selv om en utfelling er avhengig av pH, kan en ikke derfor gå ut fra at det er hydroksydet som felles ut. De prosesser som kan tenkes å foregå ved kjemisk felling i kommunalt avløpsvann, er kompliserte, og en teoretisk utredning om løselighetsforholdene i et slikt system vil føre for langt i denne sammenheng. I figur 3 er dette illustrert ved at målte konsentrasjoner av tungmetaller i avløpsvann som er behandlet på forskjellig måte, er sammenlignet med den teoretiske løseligheten av det tilsvarende metallhydroksydet ved samme pH-verdier. Måleresultatet er tatt fra Jenkins (1964) og Nilsson (1970), mens de teoretiske løseligheter er beregnet ved NIVA (1973).

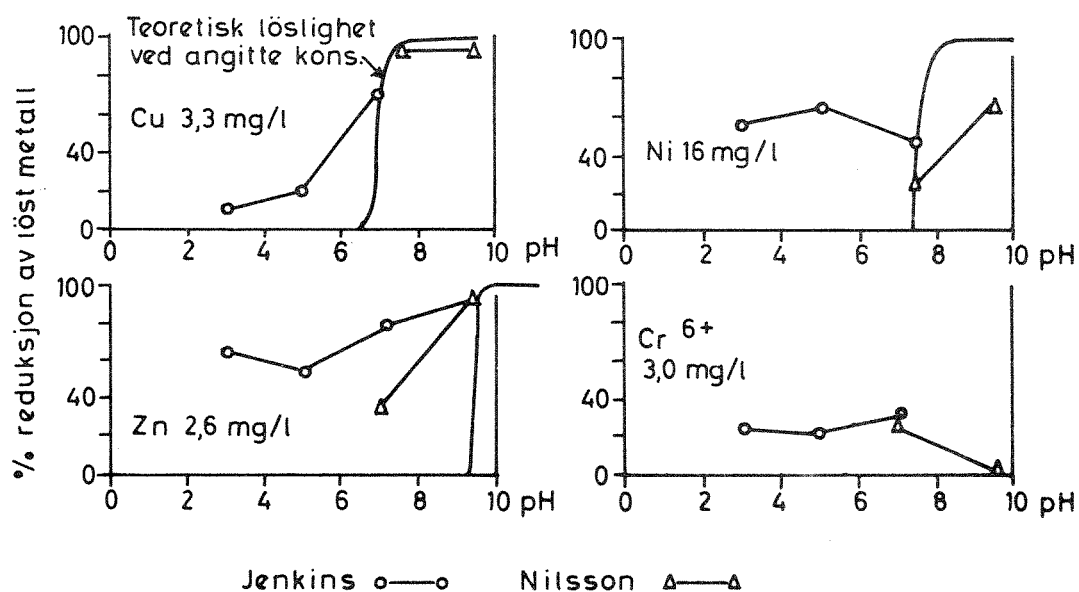


Fig. 3 Prosent fjerning av løst metall ved forsøk av Jenkins(1964) og Nilsson(1970), sammenliknet med teoretisk løselighet i rent vann for metallet ved angitt konsentrasjon (seksverdige kromsalter er lettløselige ved aktuelle betegnelser).

Jenkins tilsatte metallsalter i ubehandlet avløpsvann og undersøkte hvor mye som ble tilbake i vannfasen etter filtrering. Nilsson tilsatte metallsalter i mekanisk rensset vann, felte med aluminium (pH ca. 7) og kalk (pH ca. 9,5), og analyserte etter sedimentering eller sentrifugering på resterende tungmetall.

Av figur 3 framgår at fjerningen av tungmetaller avviker sterkt fra de forløp som kunne forventes fra løselighetsbetraktninger. Det må altså være andre mekanismer i tillegg til kjemisk utfelling som har betydning ved fjerning av tungmetaller.

2.4 Adsorpsjon

Ved adsorpsjon bindes metallion eller utfelte metallforbindelser til overflaten på partikulært materiale som fins i avløpsvannet, eller som er blitt dannet ved f.eks. tilsetting av fellingkjemikalier.

Nilsson(1970) satte tungmetaller til mekanisk og biologisk rensset vann. Etter 3 h kontakttid fikk Nilsson 50-90% adsorpsjon til de suspenderte partikler i mekanisk rensset vann og 40-60% adsorpsjon til suspendert materiale i biologisk rensset vann.

Jenkins(1964) satte kobber, sink, nikkel og krom (VI) til ubehandlet avløpsvann og studerte reduksjonen i vannfasen som funksjon av tiden. Jenkins' forsøk viste at for kobber, sink og nikkel skjedde det en meget hurtig binding til suspenderte materialer i avløpsvannet. For krom gikk det langsommere.

Betingelsene ved Jenkins og Nilssons forsøk var slik at det i tillegg til adsorpsjon kan ha skjedd en utfelling av f.eks. hydroksyder og karbonater. I praksis er det vanskelig å skille mellom kjemisk felling og adsorpsjon.

2.5 Medfelling

Andre mekanismer som kan medvirke ved fjerning av tungmetaller, er forskjellige former for medfelling. Vi pleier vanligvis å skille

mellom to hovedformer: inneslutning (okkulsjon) og dannelse av faste løsninger.

Inneslutning vil si at fremmede ioner, partikler eller små vannmengder lukkes inne i krystallgitteret i det utfelte stoffet. Dette er en prosess som er nær beslektet med adsorpsjon, idet det kan oppfattes som en innbygging av ioner og partikler som adsorberes under utfellingsprosessen. Adsorpsjon og inneslutning er prosesser som er spesielt framtreddende ved fellingsprosesser som foregår raskt og hvor utfelte stoffer fjernes umiddelbart. Dannelse av faste løsninger foregår ved at ioner med beslektede egenskaper kan erstatte hverandre i krystallgittere under fellingen.

Resultater av Hartinger(1968) tyder på at medfellingsfenomen kan ha betydning.

2.6 Kompleksforbindelser

I avløpsvann fins det organiske og uorganiske forbindelser som kan danne kompleksforbindelser med metallioner. Kompleksdannerne vil konkurrere med de ioner (i første rekke hydroksylioner) som kan danne tungtløselige forbindelser med metallionet. Kompleksdannerne vil holde metallene i løsning og derfor minske effekten av den kjemiske fellingen.

NTA (Natrium nitriloacetat), som anvendes i stedet for fosfater i enkelte vaskemidler, danner kompleks med mange metallioner. Forsøk med utfelling av kobber- og blyioner med aluminiumsulfat (Nilsson,1970) viste at for hvert mol tilsatt NTA ble 0,6-1,0 mol metall holdt tilbake i løsningen. Utfelling av krom (III) og kvikksølv ble ikke påvirket av NTA-tilsats. Se figur 5.

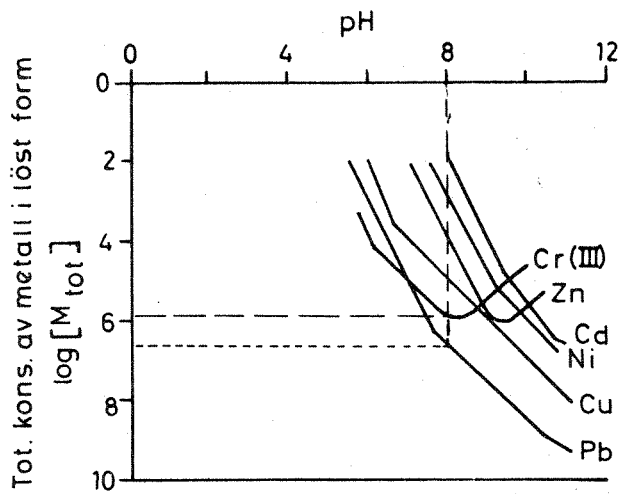


Fig. 5 a

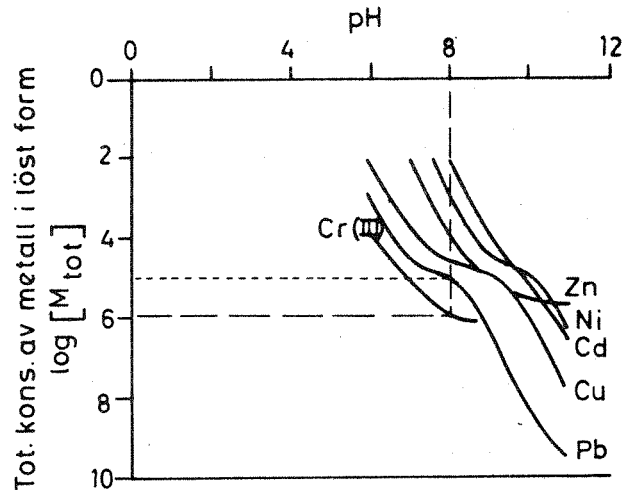


Fig. 5 b

Fig. 5 Til venstre: Total konsentrasjon av metall i løøsning (M_{tot}) som funksjon av pH.

Til høyre : Total konsentrasjon av metall i løøsning (M_{tot}) som funksjon av pH i vann med NTA-innhold ($10^{-4,7}$ mol/l).

Hedberg et al(1972) har studert innvirkning av natriumpyrofosfat- ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)- og NTA-tilsats på kobberreduksjon ved kalkfelling. Utfellingen ble mest redusert ved lave kobberkonsentrasjoner (100 $\mu\text{g/l}$).

3. TUNGMETALLKONSENTRASJONER I AVLØPSVANN

I kommunalt avløpsvann er det til stede tungmetaller i relativt lave konsentrasjoner. Når industribedrifter er tilkopleet avløpsnett, har en ofte høyere konsentrasjoner av ett eller flere metaller. Oliver(1973) undersøkte et stort renseanlegg i Ontario, Canada, og fant at metallbelastningen i avløpsnettets varierte sterkt over døgnet uten at det var noe utpreget periodisk variasjonsmønster.

Det er rapportert lite om hvilke konsentrasjoner av tungmetaller som kan forventes i kommunalt avløpsvann. For å gi et holdepunkt om dette, er tungmetallkonsentrasjoner i noen avløpsvann i Oslo-området satt sammen i tabell 2. Dataene er satt sammen i to grupper, én for områder der en vet at det ikke er noen eller en ubetydelig industriinnblanding, og én for områder med industriinnblanding.

Dataene fra Oslo-området er supplert med data fra andre land (Tabell 3). Tabellen gir et bilde av hvilke konsentrasjoner som kan være aktuelle. Dataene for New York area er medianverdien i den kumulative frekvensfordelingen for innløpskonsentrasjoner til de kommunale renseanlegg. Fullstendig tabell fins i bilag A, tabell A1 og A2.

Tabell 2. Konsentrasjoner ($\mu\text{g/l}$) av tungmetaller i rent kommunalt avløpsvann i Oslo-området der industriinnblandingen må regnes å være ubetydelig og der industriinnblandingen er merkbar.

		Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Mn	Referanse
Områder uten eller med ubetydelig industri	Kjeller 1973	3,2	11,0	40	225	2,4	50	29	172	725) Tabell C2
	1974	0,95	2,8	11	128		33	13	660		
	Åmot, Rælingen				152			22	334		Ødegaard -73
	Losby, Lørenskog				350			24	168		Ødegaard -73
	Asker batteri	<10		<10	138		<50	12	168		Ødegaard -72
	Asker batteri	<10		<10	72		<50	9	155		Ødegaard -72
	Dønski, Bærum	0,8		<10	176	1,3	<50	18	98	80	Rosendahl-73
	MV 1	1,65	6,9	10	179	1,8	<50	19	250	400	
Områder med industri	Skarpsno 1971, Oslo	1,1		20	146	9,3	<25	38	165	38	Rosendahl-74
	Skarpsno 1973, Oslo	(<20)		70	140		100		210		Hallberg -73
	Bekkelaget, Oslo	(<20)		340	280		140		390		Hallberg -73
	Festningen	(<20)		110	130		100		500		Hallberg -73
	MV 2	1,1 (<20)		135	170	9,3	100	38	310	38	

Tabell 3. Konsentrasjoner ($\mu\text{g/l}$) i kommunalt avløpsvann i Oslo-området sammenliknet med data fra andre land og foreslåtte grenseverdier i Sverige.

	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Mn	Referanse
MV 1	1,65	6,9	10	179	1,8	< 50	19	250	400) Tabell 2
MV 2	1,1		135	170	9,3	100	38	310	38	
Lake Ontario area (CAN.)	6	2	290	310	7,1	330	230	2400	60	Oliver -73
New York area 1	<20	<50	<50	100	1,2	<100	<200	200	160	Mytelka -75
Coleshill (England)				320		210				Jenkins -64
Lerum (Sverige)				20	0,5	25	10	40		Hedberg -71
Göteborg (Sverige)				156		41	152	1331		Hedberg -71

3.1 Fjerning av tungmetall ved de konvensjonelle renseprosessene

Ved rensing av avløpsvann er det mange faktorer som har betydning for reduksjon av tungmetaller og flere mekanismer kan foregå samtidig.

Ved mekanisk rensing vil det skje en bunnfelling av uløste metallsalter og metallioner adsorbent til sedimenterbart materiale.

Ved biologisk rensing (aktivslamprosessen) er store mengder suspendert stoff til stede. Tungmetaller bindes til det biologiske slammet og dette vil gi en ytterligere reduksjon. I biologiske anlegg er det viktig å merke seg at høye tungmetallkonsentrasjoner vil virke hemmende på den biologiske prosessen. Det fins en rikholdig litteratur om dette. Å gå inn på den vil føre for langt i denne sammenheng.

Ved kjemisk felling vil en rekke forskjellige mekanismer: kjemisk utfelling, medfelling og adsorpsjon kunne fjerne tungmetaller fra avløpsvannet. Alle disse mekanismene vil være avhengige av forholdene under fellingsprosessen. Spesielt viktig vil innhold av ioner samt pH i avløpsvannet være, men også temperatur, mekanisk omrøring, oppholdstid etc., vil være av betydning.

Reduksjonen av tungmetaller i noen vanlige renseprosesser er representert i tabell 4. Dataene er innsamlet under forskjellige betingelser. Jenkins og Nilsson har utført forsøkene i laboratorieskala. Resten av dataene er hentet fra fullskala anlegg og er derfor påvirket av driften av disse. pH er ca. 7 hvor annet ikke er oppgitt. Mytelka et al.(1970) har samlet inn data fra mekaniske og mekanisk/biologiske anlegg i New-York-området og funnet ut at disse presenteres best i form av en kumulativ frekvensfordeling. Se bilag, tabell A1 og A2. I bilag, tabell A3, er en sammenstilling over registrerte konsentrasjoner i mekaniske og biologiske renseanlegg i Michigan-området, Blackslee(1973).

Tungmetaller i små konsentrasjoner er vanskelig å bestemme da feil ved prøvetaking og analyse kan være meget store. Korrosjon i anlegget eller forurensninger i fellingskjemikaliene kan gi en øking av metallionekonsentrasjonen gjennom anlegget.

4. EGNE UNDERSØKELSER

4.1 Forsøksanlegget

Forsøksanlegget besto av en mekanisk forsedimenteringsenhet og tre parallelle kjemiske fellingssteg. Det mekanisk rensede vannet ble sendt i tre like strømmer inn på hver av de kjemiske stegene. De kjemiske stegene besto av en tre-kamret flokkuleringstank og et sedimenteringsbasseng. Hvert flokkuleringsskammer var utstyrt med en grindomrører med variabel hastighet. Sedimenteringstanken var utformet som en omvendt pyramide med innløp i midten (vertikalstrømningsbasseng). Se figur 6.

Tabell 5. Data over forsøksanlegget

		Forsedimentering	Kjemiske steg	
			Flokk	Sed
Effektivt volum	(m ³)	8,9	1,2	2,0
Overflate	(m ²)	6,5		3,5
Hydraul. belastning	(m ³ /h)	6,5	1,8	
Oppholdstid	(h)	0,75	0,67	1,1
Overflatebelastning	m ³ /m ² ,h			0,5

4.2 Råkloakk

Råkloakken var en delstrøm av avløpsvann fra Skedsmokorset hvor det bor ca. 4000 mennesker. Det var hovedsakelig husholdningskloakk.

4.3 Prøvetaking

På råvann ble det brukt skjepåvetaker og på utløpsvannene ble prøvene tatt med peristaltiske pumper. Det ble analysert på prøver samlet opp over døgnet. Slam ble tappet daglig. Ved tappingen ble stikkprøver av slammet tatt for hver 50. liter, og slått sammen til en blandprøve som så ble analysert.

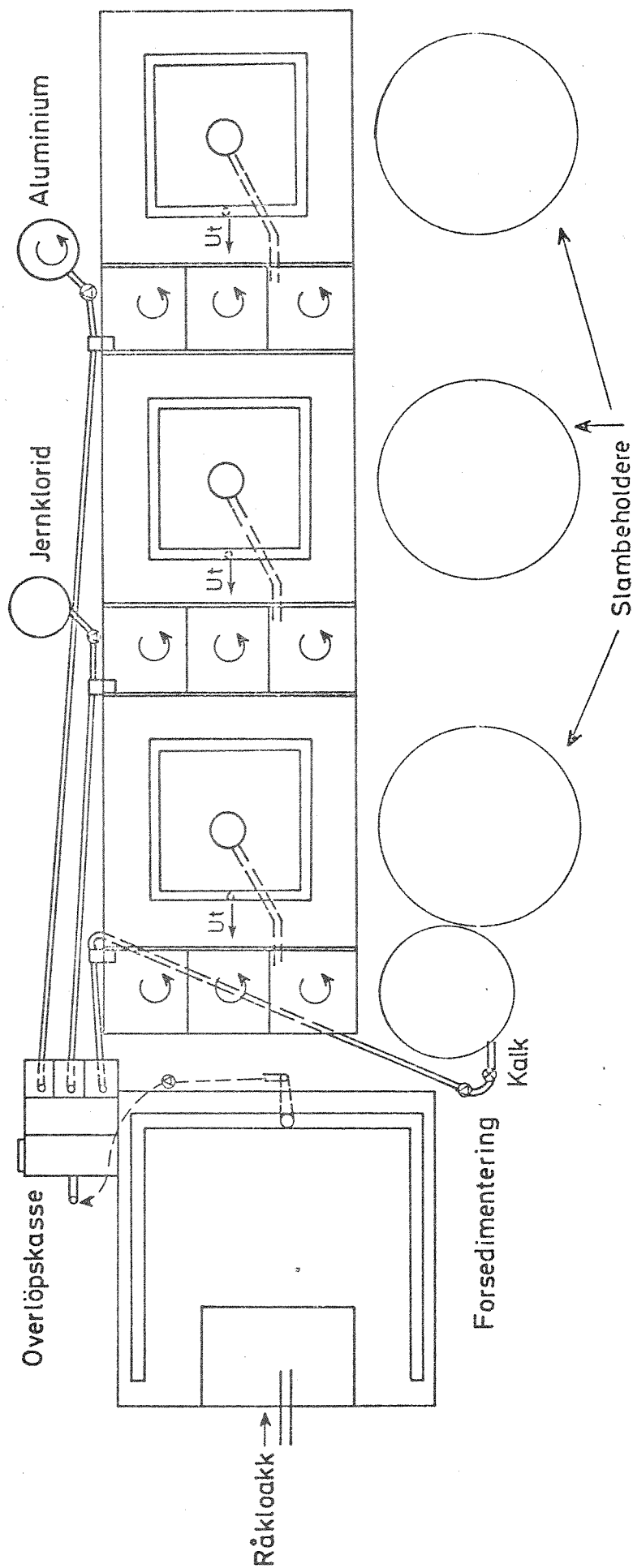


Fig. 6 Oversikt over kjemisk fellingsanlegg m/ forsedimentering

1:50

4.4 Analyser

De parametrene som ble analysert i forbindelse med forsøket var tørrstoff, suspendert stoff, kjemisk oksygenforbruk, total fosfor, ortofosfat, alkalitet og tungmetallene kadmium, kobolt, krom, kopper, kvikksølv, mangan, nikkel, bly og sink.

Alle analyser er utført etter NIVAs analyseforskrifter. I serie 1 ble vannprøvene oppsluttet etter 3 forskjellige metoder og slamprøvene etter 2 metoder. Deretter ble prøvene analysert på tungmetaller ved atomabsorpsjon. De forskjellige oppslutningsmetodene er drøftet i NIVA-rapport QK-3/73 "En sammenligning av forbehandlingsmetoder". Analyseresultatene som er benyttet, er for avløpsvann forbehandlet med 1 ml $\text{HNO}_3(1+3)$ pr. 200 ml prøve. For slam er prøvene forbehandlet ved koking med saltsyre, filtrert og deretter direkte analysert, I serie 2 og 3 var det mulig å bestemme konsentrasjoner rundt 1 $\mu\text{g}/\text{l}$ ved bruk av grafittovn.

4.5 Forsøkenes utførelse

Det ble kjørt parallelle fellingsforsøk med aluminium, treverdig jern og kalk som fellingsmidler (spesifisert i bilag B). Forsøkene varte i 5 døgn. I første forsøk, kjørt i mars 1973, ble metallinnholdet i råkloakken regnet å være så lavt at det ikke var detekterbart etter analysemetoden på NIVA. I noe over 3 døgn ble derfor metallsalter (bilag B) tilsatt i råkloakken, slik at innholdet i råkloakken var ca. 100 ganger over deteksjonsgrensen ved atomabsorpsjon. Det vil si 10^{-3} g Hg/m^3 og 10^{-1} g/ m^3 for de øvrige metallene.

I mars og april 1974 ble dette forsøket komplettert med 2 nye forsøk. Analysemetode på NIVAs laboratorie var nå forbedret slik at det var mulig å utføre et forsøk ved normalt lavt metallinnhold i råkloakken (serie 2). For å undersøke reduksjonen ved høye konsentrasjoner ble det i serie 3 tilsatt ca. 1 mg/l av hver av de undersøkte metaller, (bilag B).

Forsøkene ble kjørt med følgende pH-verdier:

Mekanisk rensing	pH 7,5-7,9
Aluminiumfelling	pH 6,5-7,0
Kalkfelling	pH 11,0-11,6
Jern(III)felling	pH 5,8-6,2

i serie 2 og 3 ble fellingspH for jernfellingen justert med kalk til pH 8,1-8,8. Alkaliteten på råvann i forsøkene lå på 3,70-4,60 mekv/l.

4.6 Resultater og diskusjon

De vanlige driftsregistreringene av vannmengde, dosert fellingskjemikalie og slammengde er presentert i bilag C, tabell C 1. Konsentrasjonen av total tørrstoff (TS), suspendert stoff (SS), kjemisk oksygenforbruk (KOF), total fosfor (tot-P), og ortofosfat på filtrert prøve (PO_4 -P) i inn og utløp fins i bilag, tabell C 1b. I serie 1 ble det bare analysert på suspendert stoff. Konsentrasjon i ufiltrerte og filtrerte prøver og % fjerning av tungmetaller over de forskjellige trinn i prosessen fins i bilag, tabell C 2. Massebalanse over rensenhetene er sammenstilt i bilag, tabell C 3.

Kvikksølvanalysen viste seg å være upålitelig (Henriksen 1973). Kvikksølv ble derfor ikke analysert i serie 2 og 3. Resultatene fra serie 1 er ikke videre kommentert.

Der konsentrasjonen av tungmetall lå under deteksjonsgrensen for analysen i vann og under eller nær deteksjonsgrensen i slam, er dataene forbundet med usikkerhet. Dette framgår av massebalanse for krom i serie 1 og for kobolt, krom og bly i serie 2. I serie 3 er tungmetallinnholdet ut av mekanisk enhet blitt større enn total mengde inn. % fjerning av tungmetall er da regnet ut fra konsentrasjonene i mekanisk rensert vann. Feil i prøvetaking av slam har gitt utslag i at massebalansen ikke stemmer for kalkfelling i serie 3. Dette er angitt med en parentes rundt tallene. Stort sett stemmer massebalansene bra. Dette gjelder både ved god fjerning (hoveddelen av tungmetall i slam)

og ved lav fjerning (hoveddelen av tungmetall i vannfase) av tungmetallkonsentrasjon. Dette viser at prøvetaking og analyser er riktige.

Ut fra visuell bedømmelse og resultater på fosfor, kjemisk oksygenforbruk og suspendert stoff, må renseanleggenes virkningsgrad regnes å være representativ for sekundærfellingsanlegg: Reduksjon av total fosfor ca. 80-85%, ortofosfat 90-97%, suspendert stoff over 80%, bortsett fra for jern(III)- og kalkfelling i serie 1. Differensen mellom ufiltrert og filtrert prøve av tungmetall i utløpsvann i serie 2 og 3, gir et uttrykk for tungmetaller i suspendert form som fulgte med vannet ut. Resultatene viser at det stort sett var lite tungmetall i suspendert form som ikke ble avskilt. % fjerning av tungmetallkonsentrasjonen på ufiltrert prøve må dermed regnes å være omtrent det som maksimalt kan oppnås ved kjemisk felling. Ved kalkfelling fikk man nærmest en total utfelling, men ufiltrert prøve viste at en del likevel gikk ut i suspendert form. Dette kan i stor grad skyldes at sedimenteringsenheten er begrensende for avskillingen, ved at de minste fnokkene ikke får den nødvendige tid til å sedimentere.

De kjemiske forhold i avløpsvann er kompliserte. Diskusjonen av mekanismer for tungmetallfjerning må derfor tas som et forsøk på å finne rasjonelle forklaringer til de observerte renseseffekter. Det kan være andre fenomener enn de diskuterte som har større betydning.

Hydroksydfelling er en vesentlig mekanisme for alle de undersøkte tungmetallene. Forsøkene har gitt mulighet til å diskutere tungmetallkonsentrasjonen i avløpsvann mot metallhydroksydfelling ved de tre pH-verdiene 6,5, 8,5 og 11,3.

(% fjerning av tungmetall i anlegget og konsentrasjon av tungmetall i innløpsvann fins i figur 8).

Fjerningen av kadmium (Cd) økte tydelig med pH ved initialkonsentrasjonen 100 og 2800 $\mu\text{g Cd/l}$. Restkonsentrasjonene av kadmium var i god overensstemmelse med de forventede hvis en antar at kadmium fjernes som $\text{Cd}(\text{OH})_2$. Ved lave initialkonsentrasjoner (1 $\mu\text{g Cd/l}$) var det også en god reduksjon av kadmiuminnholdet. Denne var uavhengig av pH-verdien.

Fjerningen av sink (Zn) var ved en initialkonsentrasjon på 2100 $\mu\text{g Zn/l}$ markert pH-avhengig. Restkonsentrasjonen på filtrert prøve ved kalkfelling kan forklares med en utfelling av sinkhydroksyd. Ved felling med jern(III) + kalk skjedde umiddelbart en markert reduksjon av sinkinnholdet som ikke kan forklares med hydroksydfelling. Utfelling av ZnCO_3 kan være en mulig forklaring.

Fjerningen av kobolt (Co) er markert avhengig av pH-verdien ved initialkonsentrasjonen 1600 og 110 $\mu\text{g Co/l}$. Restkonsentrasjonen er stort sett overensstemmende med hva som kan forventes ved hydroksydfelling.

Fjerningen av nikkel (Ni) er markert avhengig av pH-verdien ved initialkonsentrasjonen 2700 og 125 $\mu\text{g Ni/l}$. Restkonsentrasjonen er imidlertid høyere enn hva som tilsvarer løselighetsproduktet til $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Ved lave initialkonsentrasjoner er reduksjonen av nikkelinholdet liten.

Fjerning av mangan (Mn) (mangan ble tilsatt som Mn^{2+}) var både ved initialkonsentrasjoner 2550 og 970 $\mu g Mn/l$ markert avhengig av pH. Avløpsvannet inneholder fritt oksygen og det er trolig at mangan oksyderes og utfelles som MnO_2 .

Fjerningen av krom(IV) (Cr^{6+}) var lav med samtlige fellingsmidler. For at en effektiv fjerning av krom skal skje, må krom(VI) først reduseres til krom(III). Ved de aktuelle betingelsene med oksygenoverskudd i avløpsvannet, vil betingelsene for en slik reduksjon ikke være til stede. Ved Jenkins(1964) forsøk var fjerningen av krom tydelig avhengig av kontakttiden med avløpsvannet, hvilket indikerer at fjerningen av krom er koblet til en oksydasjon av organisk materiale i avløpsvannet.

Fjerningen av kobber (Cu) økte ved initialkonsentrasjonen 5000 $\mu g/l$ tydelig med pH. Ved initialkonsentrasjonene 130 resp. 330 $\mu g Cu/l$, var fjerningen mest effektiv ved felling med aluminiumsulfat (pH ca. 6,5). Restkonsentrasjonene var her lavere enn hva som kan forklares med en hydroksydutfelling. Restkonsentrasjonene ved høy initialkonsentrasjon og høy pH var vesentlig høyere enn hva som kan forklares med hydroksydutfelling. Kobber er imidlertid amfotært. Høye restkonsentrasjoner av kobber ved høy pH kan skyldes kompleksdannelse med f.eks. ammonium som er reaktivt ved høy pH.

Bly (Pb) ble fjernet effektivt med samtlige fellingsmidler. Hydroksydutfelling kan ikke være en sannsynlig mekanisme. Bly er et metall som synes å fjernes forholdsvis godt ved mekanisk og biologisk rensing, og noen form av adsorpsjon til organisk materiale er derfor en trolig mekanisme.

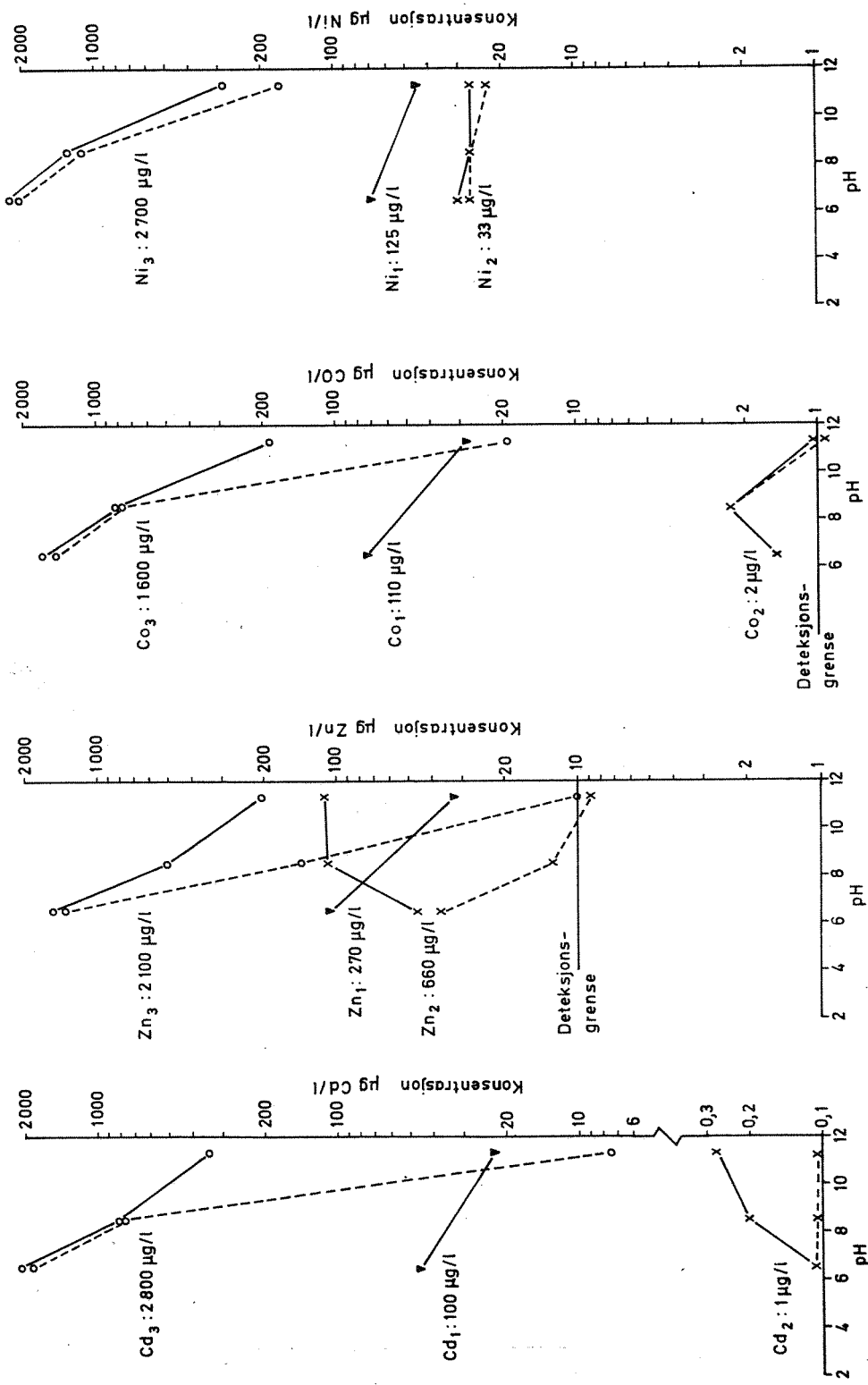
Generelt kan en si at med unntak av seksverdig krom, vil en når konsentrasjonene er høye (større enn ca. 1000 $\mu g/l$) få en økende rensegrad med økende pH. Dette betyr at kalk vil være det mest effektive fellingsmiddelet, og at aluminiumsulfat og treverdig jern alene vil være dårligst.

Ved så lave konsentrasjoner av tungmetaller som er vanlig i kommunalt avløpsvann, er forholdene ikke så entydige. Stort sett er enten rensegraden uavhengig av fellingsmiddel eller så gir kalkfelling de beste resultat.

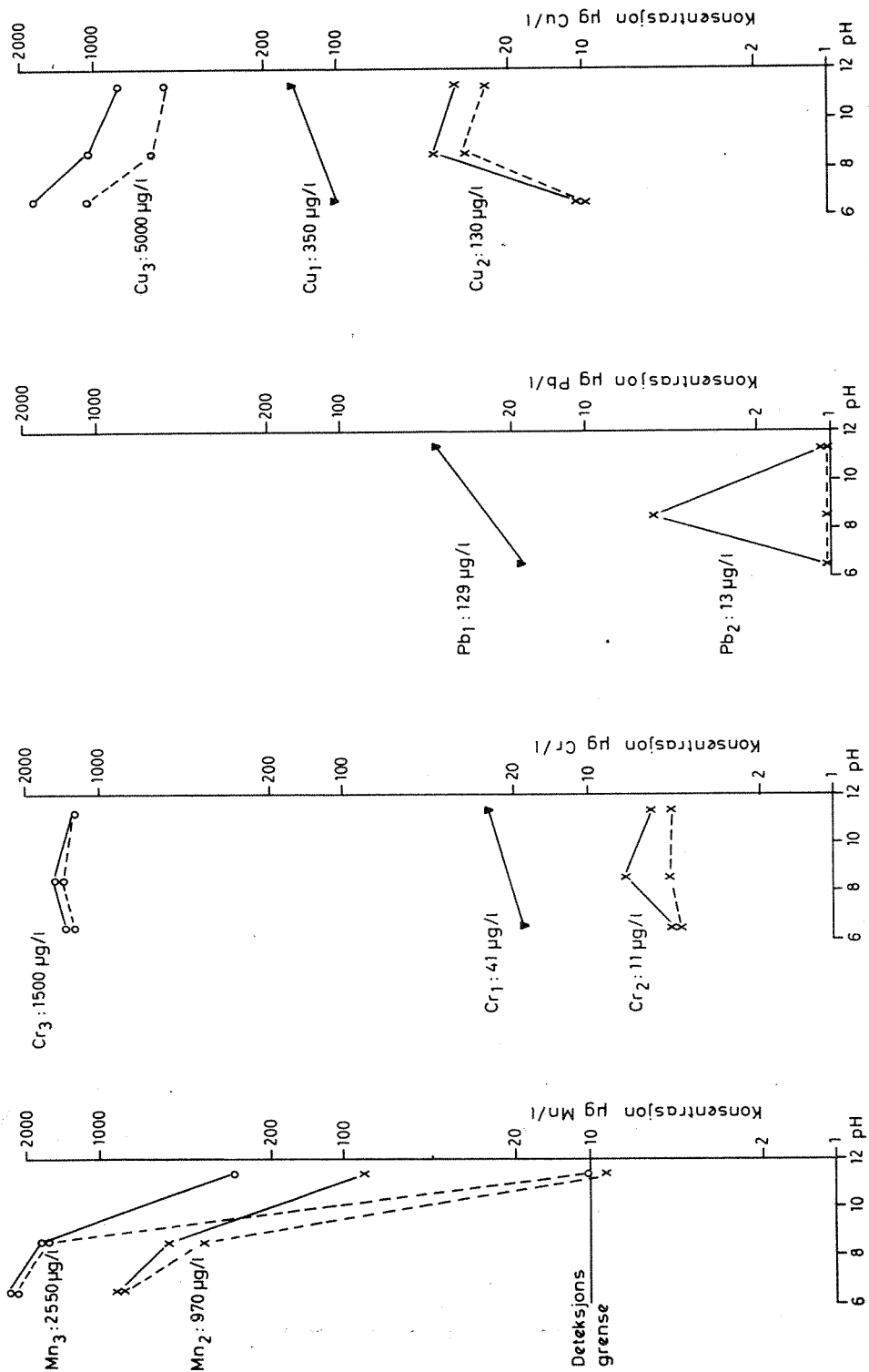
OFF/LJA

11/12 1974

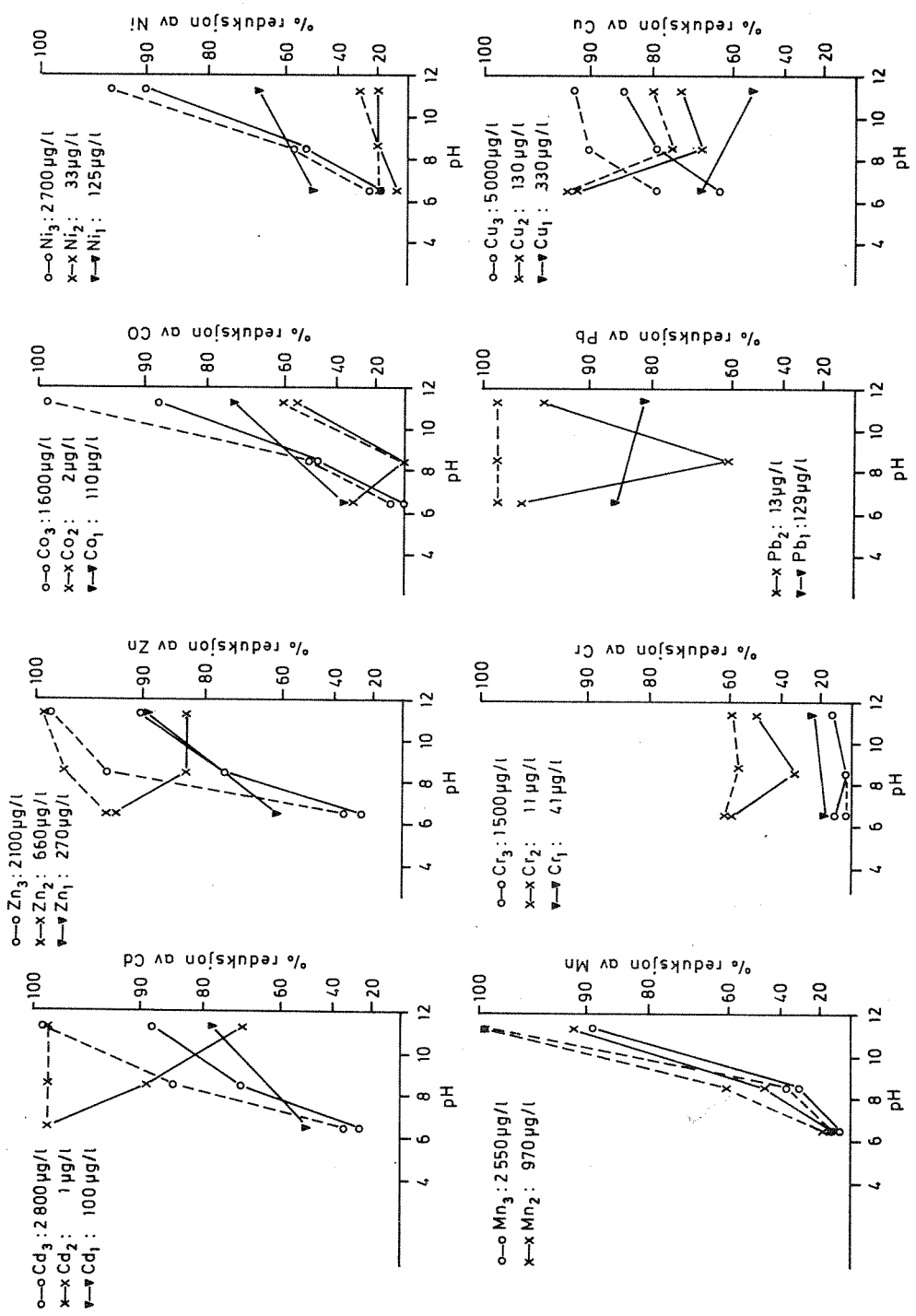
Figur 7a Konsentrasjonen av tungmetall i utløpsvann for aluminiumfelling (pH=6,5), jern + kalkfelling (pH=8,5) og kalkfelling (pH=11,3) i de forskjellige seriene. Konsentrasjonen i råvann er angitt. (Se tabell C 2).
Hel strek = ufiltrert prøve, stiplest = filtrert prøve.



Figur 7b Konentrasjonen av tungmetall i utløpsvann for aluminiumfelling (pH=6,5), jern + kalkfelling (pH=8,5) og kalkfelling (pH=11,3), med angivelse av konsentrasjonene i råkloakk (se tabell C 2). Hel strek = ufiltrert prøve, stiplet strek = filtrert prøve.



Figur 8 % fjerning av tungmetall ved aluminiumfelling (pH=6,5), jern + kalkfelling (pH=8,5) og kalkfelling (pH=11,3).
 Konsentrasjonen av råvann er angitt. Hel strek angir utfiltrert prøve og stiplet strek filtrert prøve, (se tabell 5 og C 2).



Tabell 6. Prosentuell fjerning av tungmetallene kadmium (Cd), kobolt (Co), krom (Cr), kopper (Cu), mangan (Mn), bly (Pb), nikkel (Ni) og sink (Zn) og suspendert stoff (SS), kjemisk oksygenforbruk (KOF), fosfor (tot P) og orto-fosfat (PO₄-P). Fjerningen er beregnet ut fra råkloakk.

Fellings- kjemikalie	Serie nr	SS	KOF	KOF Filt	Tot P	PC ₄ -P Filt	Cd	Co		Cr	Cu		Mn	Pb		Ni	Zn	
								Filt	Filt		Filt	Filt		Filt	Filt		Filt	Filt
Aluminium	1	84					51	35	56		69			86		31		61
Aluminium	2	94	24	27	96	93	>95	33	59	61	92	92	13	>96	>96			93
Aluminium	3	84	57	62	83	96	26	0	8	12	64	79	8			18	24	27
Jern(III)	1	68					50	36	75		55			80		40		51
Jern(III) +kalk	2	83	11	25	83	90	89	0	34	57	69	76	47	60	>96			83
Jern(III) +kalk	3	86	58	58	84	96	71	48	5	4	79	90	31	36		52	57	76
Kalk	1	73					78	74	39		53			81		55		89
Kalk	2	80	27	35	79	90	71	56	50	59	74	80	92	>96	>96			83
Kalk	3	35	56	62	84	97	88	88	13	13	ca.85	92	89	>99		90	94	90

SUMMARY

REMOVAL OF HEAVY METALS IN DOMESTIC WASTE WATER BY THE CHEMICAL PRECIPITATION PROCESS

English text to figures and tables are given in the next pages.

Heavy metal concentration in domestic waste water is low in areas without industry. In areas with industry the heavy metal concentration may be high. Reported heavy metal concentrations in domestic wastewater are compiled (table 2 and 3).

Reported removals of heavy metals in common waste water treatment processes are compiled and presented in table 4.

Heavy metal removals in the chemical precipitation of domestic wastewater have been studied with alum, (precipitation-pH = 6,5), ferric chloride (pH 6), ferric chloride + lime (pH 8,5) and lime (pH 11,3) as precipitants at three heavy metal concentration levels in the influent. The three levels have been the normal concentration in domestic waste water without industrial influence and the normal concentration with 100 and 1000 µg/l of heavy metals added. Results are presented in figures 7, 7a, 8 and tables 6, C1, C2 and C3.

At the highest concentration level the removals were better the higher the precipitation-pH. Hence the best removals were experienced with lime as a precipitant and the worst with alum as a precipitant. At a concentration level of 100 µg/l there was also best removals for most metals with lime as precipitant. At normal concentration levels there were no simple relations.

When alum was used as a precipitant, the best percentage removals were experienced at low influent concentrations, but when lime was used as a precipitant the best removals were achieved at the highest influent concentrations. This may indicate that the dominating mechanism when lime is used, is hydroxide precipitation and that other mechanisms as adsorption to particulate organic matter have a larger relative importance when alum is used as a precipitant.

TABLES

Page:

Tabel 1	Hydroxide precipitation of some metals. pH at the start (begynnelse) of precipitation, pH at quantitative (kvalitative) precipitation and the pH for redissolution (gjenutløsning) of metal-hydroxides having amphoteric character. The precipitants are given as N = sodium hydroxide (NaOH), K = calcium hydroxide (Ca(OH) ₂) and S = sodium carbonate (Na ₂ CO ₃). (Hartinger 1968)	10
Table 2	Heavy metal concentrations (µg/l) in domestic waste-water in areas with no (uten) industry and in areas with (med) industry. All data from the Oslo-area	16
Table 3	Heavy metal concentrations (µg/l) in domestic waste-water in the Oslo-area compered to some data reported from other places	16
Table 4	Reported concentrations and percentage removals of heavy metals in some common waste-water treatment processes (MEKANISK = primary treatment, BIOLOGISK = biological treatment, BIOLOGISK DAM = treatment in oxidation pond, KJEMISK = chemical precipitation, primærfell. = chemical precipitation in the primary settling, forfell. = chemical precipitation in primary settling areal of biological treatment, sim.fell. = simultaneous precipitation)	18
Table 5	Data of the pilot plant. Primary (for-sedimentering) and chemical precipitation steps	19
Tabel 6	Percentage removal in the three series on unfiltered and filtered samples of Ca, Co, Cr, Cu, Mn, Pb, Ni and Zn and of SS (suspended solids), KOF (chemical oxygen demand), Tot-P (total phosphorous) and PO ₄ -P (orthophosphate). Percentage removal is determined with respect to the concentration in untreated sewage. (Jern = Iron, Kalk = Lime)	30
Table A1	Analysis of data from municipal treatment plants in the Interstate Sanitation District having primary treatment. (Mytelka 1973)	39

Table A2	Analyses of data from municipal treatment plants in the Interstate Sanitation District having aerobic biological treatment. (Mytelka 1973)	40
Table A3	Data of the effluents in 58 municipal treatment plants in the Michigan area having primary and biological treatment. (Blackslee 1973). (MV = arithmetic mean. Standard avvik = standard deviation. Løst = Dissolved)	41
Table B1	Heavy metal salts and precipitants added in the experiments	43
Table Cla,	series 1, 2, 3 Waste-water flow (Q_{vann}), amount of sludge withdrawn (Q_{slam}), amount precipitant added (Doserings). (Mekanisk = primary settling tank, Aluminiumfelling = alum precipitation unit, Jern(III)felling = ferric precipitation unit, Jern(III) + kalkfelling = ferric + lime precipitation unit, kalkfelling = lime precipitation unit)	45-47
Table Clb,	serie 1 Effluent concentration and percentage removal of suspended solids. (Råvann = untreated sewage, others see table Cla)	45
Table Clb,	series 2 and 3 Effluent concentrations of total solids, (TS), suspended solids, (SS), orthophosphate (on filtered sample), PO_4-P , total phosphorous, (Tot-P), chemical oxygen demand (KOF) (on unfiltered and filtered sample)	48
Table C2,	series 1, 2 and 3 Effluent concentration and percentage removal (with respect to untreated sewage) of heavy metals. Analysis on filtered sample is given in brackets	49-53
Table C3,	series 1, 2 and 3 Mass balance for the units. The total mass in and out is cumulativly. Summarized and underlined at the end of serie (Rå = untreated waste water. Ut = effluent. Mek = primary settled waste-water. Slam = sludge)	54-59

FIGURES

	Side:
Figure 1 Titration of a metal solution with alkalie. (Hartinger 1968)	9
Figure 2 Solubility of zinc versus pH after addition of sodium hydroxide (NaOH), calcium hydroxide (kalk) and sodium carbonate (soda). Solubility measured after 2 hours. (Hartinger 1968)	9
Figure 3 Percentage removal of dissolved metals in the experiments of Jenkins (1964) and Nilsson(1970) compared to the theoretical solubility of metals in water (hexavalente chromium is totally dissolved)	11
Figure 5a Total concentration of metals in solution (M_{tot}) as a function of pH	14
Figure 5b Total concentration of metals in solution (M_{tot}) as a function of pH when the waste water had a NTA content of $10^{-4,7}$ mol/l	14
Figure 6 The pilot plant. A primary settling tank and three chemical precipitation units in parallell	20
Figure 7a and b Heavy metal concentrations in effluent after precipitation with alum (pH=6,5), ferric + lime (pH=8,5) and lime (pH= 11,3) as a function of pH. Concentration in untreated sewage is given. Solid line = unfiltered sample, blotted line = filtered sample	27-28
Figure 8 Percentage removal of heavy metals after precipitation by alum (pH=6,5), iron(III)+calcium hydroxide (pH=8,5) and calcium hydroxidê (pH=11,3) as a function of pH. Concentration in untreated sewage is given. Solid line = unfiltered sample, blotted line = filtered sample	29

LITTERATURLISTE

Argo, D.G. and Culp, G.L. (1972), "Heavy metals removal in wastewater treatment process - part 2 pilot plant operation". Water and Sewage Works 7. 128-132.

Arnesen, Rolf T. (1973), "Teoretisk løselighet av metallhydroksyder". NIVA-rapport K-4/73 - fremdriftsrapport nr. 2.

Blackslee, P.A. (1973), "Monitoring considerations for municipal wastewater - effluent and sludge application to the land". Environmental Protection Agency report: "Recycling Municipal Sludge and Effluents on Land".

Cheremisinoff, P.N. and Habib, Y.H. (1972), "Cadmium, chromium, lead, mercury: A plenary account for water pollution". Water and Sewage Works 7. 73-74.

Dean, J.G., Bosqui, F.L. and Lanonette, K.H. (1972), "Removing heavy metals from waste water". Environmental Science and Technology 6. 518-522.

Hallberg, P.A. (1973), "Konsentrasjoner av tungmetaller i innløpsvann ved Bekkelaget, Skarpsno og Festningen renseanlegg i første halvår av 1973". Korrespondanse med Oslo kommune.

Hartinger, L. (1968), "Die Beseitigung von Schwermetallen aus Abwässern". Wasser und Abwasser-Forschung 1, 30-40.

Hedberg, T. och Kaffehr, B. (1972), "Tungmetallreduktion vid olika behandlingsmetoder för avloppsvatten". Föredrag vid Svenska Kalkföreningens Vattenvårdsdag.

Henriksen, A., Balmér, K. og Iversen, E.R. (1973), "En sammenlikning av forbehandlingsmetoder". NIVA-rapport QK-3/73.

Jenkins, S.H., Keight, D.G. and Ewins, A. (1964), "The solubility of heavy metal hydroxides in water, sewage and sewage sludge - II. The precipitation of metals by sewage". International Journal Air Water Pollution 8. 679-693.

Netzer, A. Bowers, A. and Norman, J.D. (1973), "Removal of trace metals from wastewater by lime and ozonation". Upublisert materiale fra Department of Chemical Engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.

Netzer, A., and Bowers, A. (1973), "Removal of Heavy Metals from Wastewater by Lime". 16th Conference of Great Lake Research, Canada. p. 260-265.

Nilsson, R. (1971), "Removal of Metals by Chemical Treatment of Municipal Wastewater". Water Research, 5, 51-60.

Mytelka, A.I. et al. (1973), "Heavy Metals in wastewater and treatment plant effluents". Journal Water Pollution Control Federation, 45, 1859-1864.

Offhaus, K. (1970), "Adaption, Ausfällung und sorptionwechtige Vorgänge bei der Entgiftung von Schwermetallion". Wasser und Abwasser - Forschung 2, 35-37.

Oldham, L.W. (1971), "Chemical Aspects of Some Waste Disposal Problems". Water Pollution Control p. 419-425.

Oliver, B.G. and Cosgrove, E.G. (1973), "The efficiency of heavy metal removal by a conventional activated sludge treatment plant". Upublisert materiale fra Canadian Centre for Inland Waters, Burlington, Canada.

Pauly, H. (1973), "Kommunalt spildvandslam". Stensil fra Mineralogisk institutt Lyngby, Danmark.

Rosendahl, A. (1974a) "PRA 2.2 Kjemisk felling i eksisterende anlegg - Skarpsno renseanlegg". NIVA-rapport O-36/71. Under arbeid.

Rosendahl, A. (1974b), "PRA 2.2 Kjemisk felling i eksisterende anlegg - Dønski renseanlegg". NIVA-rapport 0-37/71. Under arbeid.

Stumm, W. and Bilinski, H. (1973), "Trace metals in natural waters". Trace metals in Waters. p. 39-49.

Ødegaard, H. (1973a), "PRA 2.2 Kjemisk felling i eksisterende anlegg - Åmot renseanlegg". NIVA-rapport 0-34/71.

Ødegaard, H. (1973b), "PRA 2.2 Kjemisk felling i eksisterende anlegg - Losby renseanlegg". NIVA-rapport 0-35/71.

Ødegaard, H. (1972), "PRA 2.2 Kjemisk felling i eksisterende anlegg - Asker batteri". NIVA-rapport 0-38/71.

B I L A G A

Fjerning av tunge metaller ved mekanisk og
biologisk rensing. Data fra noen områder i USA

Tabell A 1. Analyses of Data from Municipal Treatment Plants in the Interstate Sanitation District
Having Primary Treatment^{x)} (Mytelka 1973).

Parameter		Number of Values	Lower Detection Limit	Number of values Below Lower Detection Limit	Low Value	Cumulative Frequency Distribution					
						25% Value	50% Value	75% Value	90% Value	95% Value	100% Value
Copper	Influent	263	0.02	6	<0.02	0.05	0.10	0.20	0.55	1.15	9.60
	Effluent	342	0.02	8	<0.02	0.05	0.10	0.20	0.40	0.65	5.90
Zinc	Influent	263	0.02	0	0.02	0.12	0.20	0.40	1.02	1.56	18.00
	Effluent	337	0.02	0	0.04	0.12	0.18	0.32	0.74	1.42	20.00
Chromium	Influent	263	0.05	161	<0.05	<0.05	<0.05	0.10	0.30	0.50	5.80
	Effluent	340	0.05	226	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.25	0.45	3.10
Lead	Influent	112	0.20	103	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	0.60	12.20
	Effluent	112	0.20	104	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	0.40	6.00
Iron	Influent	93	0.10	2	<0.10	0.50	1.00	1.70	3.40	5.30	13.00
	Effluent	159	0.10	1	<0.10	0.40	0.80	1.40	3.00	4.80	15.00
Nickel	Influent	230	0.10	192	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.30	0.60	2.00
	Effluent	268	0.10	229	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.20	0.50	1.50
Cadmium	Influent	230	0.02	204	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.06	1.20
	Effluent	287	0.02	249	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.06	1.20
Manganese	Influent	230	0.02	0	0.02	0.10	0.16	0.22	0.30	0.36	0.95
	Effluent	296	0.02	2	<0.02	0.10	0.16	0.24	0.32	0.40	0.70
Mercury	Influent	69	0.0001	5	<0.0001	0.0005	0.0012	0.0023	0.0040	0.0088	0.0232
	Effluent	78	0.0001	10	<0.0001	0.0004	0.0009	0.0019	0.0040	0.0100	0.0919
Silver	Influent	111	0.05	108	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05
	Effluent	111	0.05	109	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05
Cobalt	Influent	103	0.05	102	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.05
	Effluent	103	0.05	102	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.05

^{x)} All units are mg/l.

Tabell A 2. Analyses of Data from Municipal Treatment Plants in the Interstate Sanitation District
Having Aerobic Biological Treatment^{x)} (Mytelka 1973).

Parameter	Number of Values	Lower Detection Limit	Number of values Below Lower Detection Limit	Low Value	Cumulative Frequency Distribution						
					25% Value	50% Value	75% Value	90% Value	95% Value	100% Value	
Copper	Influent	183	0.02	10	<0.02	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40	1.30
	Effluent	241	0.02	18	<0.02	0.05	0.05	0.10	0.13	0.25	1.50
Zinc	Influent	183	0.02	0	0.02	0.10	0.16	0.22	0.30	0.54	0.84
	Effluent	241	0.02	1	<0.02	0.06	0.08	0.12	0.16	0.26	0.92
Chromium	Influent	183	0.05	128	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.05	0.35	3.30
	Effluent	243	0.05	193	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.15	6.30
Lead	Influent	81	0.20	80	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	0.60
	Effluent	82	0.20	81	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	0.20
Iron	Influent	62	0.10	1	<0.10	0.40	0.80	1.10	1.90	2.30	3.90
	Effluent	110	0.10	5	<0.10	0.20	0.40	0.70	1.00	1.50	3.50
Nickel	Influent	159	0.10	141	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	0.30	1.00
	Effluent	184	0.10	169	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.20	0.80
Cadmium	Influent	158	0.02	149	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.06
	Effluent	204	0.02	189	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.02	6.40
Manganese	Influent	158	0.02	2	<0.02	0.03	0.10	0.16	0.30	0.38	0.66
	Effluent	207	0.02	1	<0.02	0.06	0.10	0.15	0.26	0.38	0.50
Mercury	Influent	44	0.0001	1	<0.0001	0.0011	0.0013	0.025	0.0052	0.0080	0.0680
	Effluent	48	0.0001	4	<0.0001	0.0005	0.0009	0.0015	0.0050	0.0059	0.1250
Silver	Influent	81	0.05	80	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.60
	Effluent	82	0.05	82	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cobalt	Influent	75	0.05	75	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Effluent	76	0.05	76	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

x) All units are mg/l.

Tabell A 3. Data for effluent for 58 anlegg i Michigan-området.
Anleggene er mekaniske og biologiske, (Blackslee 1973).

		MV	Standard avvik	Maks	Min	Løst i % av totalt	
						MV	Standard avvik
pH	mg/l	7,50	0,46	9,3	6,6	-	-
Hg	mg/l	0,00029	0,00018	0,00100	<0,00002	-	-
Cr	mg/l	<0,15	0,29	1,46	<0,005	39,66	27,32
Cu	mg/l	0,14	0,27	1,3	0,01	57,27	19,79
Ni	mg/l	<0,27	0,24	5,4	<0,02	87,31	16,30
Zn	mg/l	0,44	0,77	4,7	0,03	49,78	24,34
Cd	mg/l	<0,014	0,025	0,15	<0,001	38,00	16,38
Pb	mg/l	<0,11	0,22	1,3	<0,02	42,00	35,12
Fe	mg/l	2,10	3,43	21	0,04	15,22	15,55
As	mg/l	<0,0064	0,0038	0,023	0,0045	-	-
Ca	mg/l	60,52	24,86	187,45	28,71	-	-
Mg	mg/l	17,44	6,74	32,44	6,61	-	-
Na	mg/l	86,03	44,41	221,1	11,5	-	-
K	mg/l	13,97	18,41	113,0	3,9	-	-
PCB 1242		2,68	0,74	3,2	2,15	-	-
PCB 1254		<0,29	0,23	1,05	<0,1	-	-
PCB 1242/1254		1,08	0,97	2,9	0,26	-	-

PCB 1242/1254 ratio 1:1

B I L A G B

Tungmetallsalter og fellingskjemikalier
som har vært tilsatt under forsøkene.

Tabell Bl. Tungmetallsaltene som har vært benyttet under forsøkene:

	Serie 1	Kvalitet	Serie 3	Kvalitet
Kadmium	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	p.a.	$\text{CdCl}_2 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$	Ren
Kobolt	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	p.a.	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Krystallren
Kopper	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	p.a.	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Krystallren
Kvikksølv	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	p.a.		
Mangan			$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	p.a.
Nikkel	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	p.a.	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Krystallren
Bly	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	p.a.		
Sink	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	p.a.	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Krystallren
Krom	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	p.a.	K_2CrO_4	Krystallren

Fellingskjemikaliene som har vært brukt:

Aluminiumfelling	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Boliden AVR, 50% oppløsning
Jernfelling	$\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Ferrifloc fra Bohus-EKA, 70% oppløsning
Kalkfelling	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Hydratkalk i pulverform fra Hole kalkverk

B I L A G C

Resultater fra forsøkene samlet i tabellform.

Tabell C la, serie l. Vanngengde (Q_{vann}), slammengde (Q_{slam}), doseringsmengde.

Dag	MEKANISK		ALUMINIUMFELLING			JERN(III)FELLING			KALKFELLING		
	Q_{vann} m^3/h	Q_{slam} m^3/d	Dosering $\text{g Al}/\text{m}^3$	Q_{vann} m^3/h	Q_{slam} m^3/d	Dosering $\text{g Fe}/\text{m}^3$	Q_{vann} m^3/d	Q_{slam} m^3/d	Dosering $\text{g Ca(OH)}_2/\text{m}^3$	Q_{vann} m^3/h	Q_{slam} m^3/d
0	6,750	1,100	22,7	1,860	900	46,5	1,860	900	323	2,160	400
1	6,750	1,150	22,7	1,860	1,450	48,1	1,800	550	315	2,070	750
2	6,750	400	22,0	1,815	715	23,3	1,740	600	356	2,000	320
3	6,400	800	22,0	1,815	1,250	57,0	1,740	900	365	1,930	450
4	5,700	2,050	23,7	1,815	1,150	56,8	1,720	900	447	1,815	650
5	5,400	-	23,9	1,800	1,350	51,5	1,720	900	359	1,900	-

Temperatur i råvann 3 °C.

Tabell C lb, serie l. Innhold og total rensegrad på de forskjellige trinn. Suspendert stoff.

Dag	RÅVANN mg/l	MEKANISK		REWSET		ALUMINIUMSFELLING		JERN(III)FELLING		KALKFELLING	
		mg/l	% red.	mg/l	% red.	mg/l	% red.	mg/l	% red.	mg/l	% red.
1	146	55	62	46	68	30	79	71	51	71	51
2	122	109	11	13	89	74	29	35	71	35	71
3	141	29	79	26	82	32	77	6	96	6	96
4	370	78	79	34	91	53	86	109	73	109	73
M.V.			58		84		68		73		73

Tabell C 1a, serie 2. Vannmengde (Q_{vann}), slammengde (Q_{slam}) og doseringsmengde.

Dag	MEKANISK		ALUMINIUMFELLING		JERN(III) + KALKFELLING		KALKFELLING			
	Q_{vann} m^3/h	Q_{slam} m^3/d	Dosering $\text{g Al}/\text{m}^3$	Q_{vann} m^3/h	Q_{slam} m^3/d	Dosering g/m^3		Dosering $\text{g Ca(OH)}_2/\text{m}^3$	Q_{vann} m^3/h	Q_{slam} m^3/d
						Fe	Ca(OH)_2			
(0) 1802	5,680	0	9,3	1,740	0	20,4	103	310	1,740	0
(1) 1902	5,680	0,600	9,3	1,740	0,800	21,3	94	348	1,740	0,780
(2) 2002	5,680	0,470	10,6	1,740	1,300	22,8	78	450	1,800	0,580
(3) 2102	5,680	0,350	11,4	1,740	0,930	24,1	65	400	1,820	0,700
(4) 2202	5,840	0,300	10,4	1,740	0,800	26,0	50	383	1,820	0,700

Temperatur i råvann 3 °C.

Tabell C la, serie 3. Vannmengde (Q_{vann}), slammengde (Q_{slam}) og doseringsmengde.

Dag	MEKANISK		ALUMINIUMFELLING		JERN(III) + KALKFELLING		KALKFELLING			TUNGMETALL			
	Q_{vann} m^3/h	Q_{slam} m^3/d	Dosering $\text{g Al}/\text{m}^3$	Q_{vann} m^3/h	Q_{slam} m^3/d	Dosering Fe Ca(OH)_2 g/m^3	Q_{vann} m^3/hr	Q_{slam} m^3/d	Dosering $\text{g Ca(OH)}_2/\text{m}^3$	Q_{vann} m^3/h	Q_{slam} m^3/d	Dosering	
												Arøse	Cr
(0) 2502	6,00	tappet alt	9,8	1,740	vanlig ca 0,500	26,0 47	1,800	tappet tom	337	1,800	tappet tom	36	
(1) 2602	6,00	0,400	9,2	1,800	0,400	26,3 47	1,770	0,420	337	1,820	0,400	36	36
(2) 2702	6,17	0,300	8,6	1,850	0,500	28,0 54	1,790	0,500	448	1,720	0,500	61	40
(3) 2802	6,35	0,475	8,6	1,830	0,500	24,3 55	1,780	0,420	428	1,740	0,600	66	55
(4) 0103	6,00	0,600 tom igjen	9,0	1,850	0,500 ca 1 m^3 igjen	29,6 78	1,800	0,900 tom igjen	410	1,770	2,000 tom igjen	55	36

Temperatur i råvann 3 °C.

Tabell C 1b, serie 2 og 3. Vanlige driftsanalyser.

Dato	RÅKLOAKK						MEKANISK						KALKFELLING						JERN(III) + KALKFELLING						ALUMINIUMFELLING					
	TS mg/l	SS mg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot P mg/l	KOF mg/l	KOF filtr mg/l	TS mg/l	SS mg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot P mg/l	KOF mg/l	KOF filtr mg/l	TS mg/l	SS mg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot P mg/l	KOF mg/l	KOF filtr mg/l	TS mg/l	SS mg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot P mg/l	KOF mg/l	KOF filtr mg/l	TS mg/l	SS mg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot P mg/l	KOF mg/l	KOF filtr mg/l
1902	722	204	411	2,9	110	416	618	166	339	2,8	515	430	554	25	110	0,80	404	312	594	15	50	0,26	350	386	600	8	-	0,18	369	377
2002	468	139	465	2,8	363	323	375	100	435	2,1	(292)	262	430	35	5	0,42	364	225	489	28	62	0,40	385	332	365	13	46	0,17	354	311
2102	522	177	968	4,3	338	202	448	99	774	2,5	240	216	435	32	46	0,60	222	195	442	36	78	0,70	241	224	287	11	44	0,15	193	188
2202	496	129	799	3,7	266	179	459	106	-	3,9	248	186	460	35	-	1,10	213	284	472	31	-	0,90	211	172	305	7	-	0,12	187	209
MV	552	162	661	3,4	322	280	475	118	514	2,8	321	273	469	32	69	0,73	301	251	499	28	63	0,57	297	279	394	10	45	0,15	276	271
2602	502	421	1355	5,7	(1050)	141	477	228	678	5,6	272	182	443	174	49	2,40	156	110	455	40	62	1,30	121	129	400	57	96	1,70	173	136
2702	556	188	1404	5,6	312	110	489	156	1379	5,1	208	166	610	31	27	0,05	109	111	296	25	51	0,60	118	116	249	9	41	0,16	100	106
2802	527	105	1418	5,6	288	126	405	116	1463	5,1	226	159	(3021)	178	44	(17,0)	688	108	394	36	92	1,30	127	116	371	35	68	1,10	94	113
0103	545	73	1815	6,0	286	139	516	144	1670	5,2	239	176	325	(318)	29	0,29	112	124	452	11	53	0,40	125	133	383	22	48	0,90	134	91
MV	535	197	1498	5,7	295	129	472	161	1298	5,25	236	171	445	128	39	0,91	130	113	399	28	64	0,90	123	124	351	31	63	0,94	125	111

Tall i parentes er blitt gale ved prøvetaking eller analyse og er ikke tatt med i MV.

Tabell C 2, serie 1. Konsentrasjon og fjerning av tunge metaller på de forskjellige trinn i prosessen. Fjerningen som % red. er beregnet ut fra råloakk.

Pb:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mek renset		Al.felt		Jern(III)felt		Kalkfelt	
			µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red
1	19	114	48	63	16	88	17	87	35	73
2	30	114	100	31	12	92	52	64	29	80
3	37	117	80	48	27	83	18	88	21	86
4	30	53	44	47	18	78	15	82	13	84
M.V.	29	100	68	47	18	86	25	80	24	81

Cr:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mek renset		Al.felt		Jern(III)felt		Kalkfelt	
			µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red
1	4,3	1,14	1,2	78	1,3	76	3,1	43	3,3	39
2	1,3	1,14	1,4	43	0,7	71	2,9	-	1,3	47
3	1,6	1,17	2,7	3	1,6	42	1,2	57	1,1	60
4	(2,5)	0,53	4,5	-	1,8	41	0,9	70	3,4	-
M.V.	2,4	100	2,9	14	1,4	58	2,0	41	2,3	32

Cu:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mek renset		Al.felt		Jern(III)felt		Kalkfelt	
			µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red
1	165	114	305	-	110	60	292	24	110	60
2	360	114	330	30	140	70	110	77	280	41
3	195	117	250	20	85	73	85	73	110	65
4	180	53	180	23	67	71	80	66	108	54
M.V.	225	100	266	18	100	69	144	55	152	53

Zn:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mek renset		Al.felt		Jern(III)felt		Kalkfelt	
			µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red
1	160	114	120	56	80	71	95	65	55	82
2	148	114	152	42	100	62	135	48	15	94
3	160	117	175	37	132	52	147	47	33	88
4	220	53	140	49	120	56	152	65	20	93
M.V.	172	100	146	46	108	61	132	51	31	89

Cd:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mek renset		Al.felt		Jern(III)felt		Kalkfelt	
			µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red
1	1,3	114	26	78	25	78	20	83	37	68
2	6,0	114	81	32	63	48	63	48	21	82
3	4,0	117	63	48	63	48	63	48	20	83
4	1,5	53	50	18	50	8	56	-	11	80
M.V.	3,7	100	55	46	50	51	51	50	22	78

Cr:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mek renset		Al.felt		Jern(III)felt		Kalkfelt	
			µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red
1	<10	0	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-
2	<10	73	40	49	30	62	20	74	35	55
3	<10	29	30	12	20	41	<10	85	30	12
4	<10	5	<10	ca.50	<10	ca.50	<10	ca.50	10	0
M.V.	5	36	25	39	18	56	10	75	25	39

Ni:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mek renset		Al.felt		Jern(III)felt		Kalkfelt	
			µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red
1	<50	114	50	64	<50	82	<50	82	<50	82
2	<50	114	50	64	100	28	125	10	50	64
3	<50	117	75	51	100	30	75	47	50	65
4	<50	53	100	-	50	36	75	4	50	36
M.V.	ca.25	100	68	46	50	60	75	40	40	68

Co:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mek renset		Al.felt		Jern(III)felt		Kalkfelt	
			µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red	µg/l	% red
1	25	114	25	50	60	60	50	60	37	70
2	25	114	75	43	88	29	67	46	25	80
3	25	117	88	31	75	41	88	31	25	80
4	25	53	75	-	75	-	75	-	25	60
M.V.	ca.10	100	65	40	72	35	70	36	28	74

Tabell C 2, serie 2. Konsentrasjon og fjerning av tunge metaller på de forskjellige trinn i prosessen. Fjerningen som % red. er beregnet ut fra råkloakk.

Cd: Filtret prøve er angitt i parentes.

Dag	Råvann µg/l	Mekanisk renset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
		µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	1,2 (0,05)	1,2 (0,10)	0	<0,05 (<0,05)	0,10 (<0,05)	0,50 (<0,05)	0,20 (0,10)	0,50 (<0,05)	
2	1,2 (0,35)	0,6 (0,75)	50	<0,05 (<0,05)	0,15 (<0,05)	0,20 (0,10)	0,15 (<0,05)	0,20 (0,10)	
3	0,7 (0,25)	0,5 (0,15)	29	<0,05 (<0,05)	0,30 (<0,05)	0,15 (<0,05)	0,15 (<0,05)	0,15 (<0,05)	
4	0,7 (0,25)	0,7 (0,25)	0	<0,05 (<0,05)	0,25 (<0,05)	0,25 (<0,05)	0,25 (<0,05)	0,25 (<0,05)	
M.V.	0,95	0,75	21	<0,05 (<0,05)	>95 (>95)	0,20 (<0,05)	89 (>95)	0,275 (>0,10)	71 (>90)

Co:

Dag	Råvann µg/l	Mekanisk renset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
		µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	3,0 (2,0)	3,0 (2,0)	0	1,5 (1,0)	2,0 (3,0)	1,0 (1,0)	<1,0 (1,0)	1,0 (1,0)	
2	2,0 (2,0)	2,0 (2,0)	0	2,0 (1,0)	2,0 (3,0)	<1,0 (1,0)	1,0 (<1,0)	<1,0 (1,0)	
3	2,0 (2,0)	2,0 (1,0)	0	1,0 (1,0)	3,0 (2,0)	1,0 (<1,0)	1,0 (<1,0)	1,0 (<1,0)	
4	2,0 (1,0)	2,0 (<1,0)	0	1,5 (3,0)	2,0 (2,0)	1,0 (<1,0)	1,0 (<1,0)	1,0 (<1,0)	
M.V.	2,75	2,25	0	1,5 (1,5)	33 (33)	2,25 (2,50)	0 0	1,0 (<1,0)	56 (>56)

Cr:

Dag	Råvann µg/l	Mekanisk renset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
		µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	16 (11)	15 (8)		6 (5)	7 (6)	8 (5)		8 (5)	
2	11 (7)	9 (6)		6 (6)	9 (5)	6 (4)		6 (4)	
3	8 (6)	8 (5)		3 (3)	5 (4)	4 (4)		4 (4)	
4	8 (6)	10 (6)		3 (3)	7 (4)	4 (5)		4 (5)	
M.V.	11	10,5	0	4,5 (4,25)	59 (61)	7,0 (4,75)	34 (57)	5,5 (4,5)	50 (59)

Cu:

Dag	Råvann µg/l	Mekanisk renset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
		µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	100 (18)	100 (18)		10 (8)	26 (38)	38 (20)		38 (20)	
2	110 (60)	75 (35)		8 (10)	48 (25)	25 (16)		25 (16)	
3	160 (50)	75 (36)		13 (13)	45 (27)	31 (42)		31 (42)	
4	140 (60)	100 (46)		11 (9)	48 (29)	44 (21)		44 (21)	
M.V.	117,5 (40)	87,5	31	10,5 (10)	92 (92)	41 (30)	69 (76)	33,0 (25)	74 (80)

(forts.)

Tabell C 2, serie 2. (forts.)

Mn:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mekanisk rensset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
			µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	1250 (1020)		1250 (1050)		1020 (980)		690 (650)		120 (<10)	
2	1020 (820)		910 (780)		1000 (950)		470 (380)		70 (<10)	
3	800 (650)		870 (780)		670 (650)		420 (220)		50 (<10)	
4	800 (650)		810 (710)		670 (650)		450 (270)		90 (<10)	
M.V.	967		950	1	840 (810)	13 (17)	508 (385)	47 (60)	82 (<10)	91,5 (99)

Ni:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mekanisk rensset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
			µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	30 (22)		85 (18)		30 (20)		25 (42)		30 (15)	
2	35 (20)		25 (15)		30 (49)		25 (25)		25 (22)	
3	35 (20)		20 (22)		25 (20)		30 (18)		22 (25)	
4	30 (18)		18 (18)		35 (140)		30 (25)		35 (30)	
M.V.	33 (20)		25 (18)	24	30 (27)	9 (18)	27 (27)	18 (18)	27 (23)	18 (30)

Pb:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mekanisk rensset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
			µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	21,0 (<0,5)		19,0 (<0,5)		<0,5 (<0,5)		2,5 (<0,5)		2,5 (<0,5)	
2	12,0 (3,5)		3,0 (<0,5)		<0,5 (<0,5)		4,5 (<0,5)		<0,5 (<0,5)	
3	10,5 (0,5)		3,0 (<0,5)		<0,5 (<0,5)		6,0 (<0,5)		<0,5 (<0,5)	
4	9,5 (<0,5)		4,0 (<0,5)		<0,5 (<0,5)		8,0 (<0,5)		<0,5 (<0,5)	
M.V.	13,25 (1,0)		7,25 (<0,5)	45	<0,5 (<0,5)	(>96) (>96)	5,25 (<0,5)	60 (<96)	<1,0 (<0,5)	>92 (>96)

Zn:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mekanisk rensset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
			µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	970 (90)		900 (110)		50 (50)		90 (20)		190 (<10)	
2	680 (90)		500 (70)		70 (50)		100 (10)		90 (<10)	
3	500 (130)		450 (80)		30 (20)		120 (10)		60 (<10)	
4	490 (130)		420 (90)		30 (30)		130 (10)		90 (<10)	
M.V.	660		552	16	45 (37,5)	93 (94)	110 (12,5)	83 (98)	112,5 (<10)	83 (>99)

Tabell C 2, serie 3: Konsentrasjon og fjerning av tunge metaller på de forskjellige trinn i prosessen. Fjerningen som % red. er beregnet ut fra råkloakk. Filtret prøve er angitt i parentes.

Cd:

Dag	Råvann µg/l	Mekanisk renset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
		µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	50 (20)	2200 (1400)		1100 (900)		590 (140)		750 (5)	
2	5 (130)	3400 (2000)		2800 (2700)		1100 (710)		90 (5)	
3	10 (70)	2700 (1700)		2200 (1900)		1100 (570)		(2900) (15)	
4	<5 (35)	2900 (1600)		2200 (2000)		430 (250)		200 (5)	
M.V.	<17,5	2800	0	2075 (1875)	26 (33)	805 (417)	71 (85)	(990) (7,5)	65 (>99)
								346	88

Co:

Dag	Råvann µg/l	Mekanisk renset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
		µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	17 (16)	920 (1100)		960 (880)		480 (480)		400 (18)	
2	8 (75)	2200 (1700)		2100 (1800)		1200 (1100)		80 (22)	
3	13 (50)	1600 (1400)		1700 (1500)		1000 (960)		(1800) (24)	
4	5 (25)	1700 (1500)		1700 (1600)		640 (640)		50 (13)	
M.V.	10,75	1605 (1425)	0	1610 (1450)	0 (10)	830 (795)	48 (51)	(582) (19,25)	65 (>99)
								186	88

Cr:

Dag	Råvann µg/l	Mekanisk renset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
		µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	- (7)	1200 (1200)		970 (900)		930 (930)		930 (970)	
2	9 (28)	1800 (1900)		1600 (1600)		1700 (1700)		1700 (1700)	
3	18 (27)	1400 (1500)		1400 (1200)		1400 (1400)		1300 (1300)	
4	11 (23)	1500 (1500)		1500 (1500)		1400 (1500)		1400 (1400)	
M.V.	12	1475 (1525)	0	1368 (1300)	7,5 (12)	1408 (1433)	5 (4)	1282 (1288)	13 (13)

Cu:

Dag	Råvann µg/l	Mekanisk renset		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
		µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	290 (100)	3900 (2200)		1200 (620)		1000 (420)		1400 (280)	
2	200 (250)	6300 (2800)		1800 (1600)		1100 (540)		500 (360)	
3	240 (120)	5000 (2400)		1900 (970)		1500 (550)		(5500) (410)	
4	220 (140)	5100 (2300)		1800 (1120)		800 (470)		(6300) (480)	
M.V.	231,5	5075 (2425)	0	1800 (1078)	64 (79)	1075 (495)	79 (90)	(3475) (407,5)	(22) (92)
								800	Ca. 85

(forts.)

Tabell C 2, serie 3. (forts.)

Mn:

Dag	Råvann µg/l	Dosert µg/l	Mekanisk rensed		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
			µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	780 (580)	970	2100 (1800)		1600 (1500)		1200 (1000)		650 (10)	
2	730 (1600)	1600	3000 (2600)		2800 (2600)		2200 (2100)		70 (20)	
3	710 (580)	1680	2500 (2200)		2500 (2300)		2000 (1900)		(2900)(20)	
4	670 (510)	1780	2600 (2200)		2500 (2400)		1600 (1500)		130 (<10)	
M.V.	725 2227,5	1502,5	2550 (2200)	0 (0)	2350 (2200)	8 (14)	1750 (1625)	31 (36)	(937,5)(10) 283	63 (>99) 89

Ni:

Dag	Råloakk µg/l	Dosert µg/l	Mekanisk rensed		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
			µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	50 (100)	1240	2100 (1500)		1300 (1300)		800 (700)		600 (150)	
2	50 (100)	2040	3300 (2400)		2800 (2600)		1700 (1600)		100 (100)	
3	100 (50)	2140	2800 (2000)		2300 (2100)		1600 (1300)		(2600)(150)	
4	<50 (150)	2260	2600 (2000)		2500 (2200)		1000 (900)		150 (250)	
M.V.	<65 1985	1920	2700 (1975)	0 (0)	2225 (2050)	18 (24)	1287 (1125)	52 (57)	(862,5)(162,5) 283	68 (94) 90

Zn:

Dag	Råloakk µg/l	Dosert µg/l	Mekanisk rensed		Aluminiumsfelt		Jern(III) + kalkfelt		Kalkfelt	
			µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon	µg/l	% reduksjon
1	390 (140)	1000	1800 (850)		800 (620)		490 (40)		490 (<10)	
2	280 (250)	1550	2600 (400)		2100 (2100)		650 (270)		90 (10)	
3	280 (120)	1730	2000 (900)		1600 (1300)		780 (200)		(2300)(<10)	
4	240 (120)	1830	2100 (780)		1700 (1500)		280 (40)		120 (120)	
M.V.	297,5 1820	1522,5	2125 (890)	0	1550 (1380)	27 (35)	505 (137,5)	76 (94)	(725) (10) ca.200	66 (99) 90

Tall i parentes på ufiltrert prøve regnes som usannsynlige (skyldes slamflukt, analysefeil etc.) og MV er regnet ut med og uten disse verdiene.

Tabell C 3, serie 1. Massebalanse over de enkelte rensetrinn. Den totale mengde inn og ut er angitt som summen av foregående dagers masse.

Den totale masse inn og ut ved serie slutt er understreket.

Dag	Mekanisk						Aluminiumfelling						Jern(III)felling						Kalkfelling					
	Rå g/d	Dosert g/d	Tot. inn kumulat. g/d	Ut mek g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn Al g/d	Ut Al g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d		
<u>Pb:</u>																								
1	3,1	18,5	21,6	7,8	2,0	9,8	2,2	0,7	2,9	3,6	2,1	0,7	1,0	1,7	2,4	1,7	2,4	1,7	2,4	1,7	2,4	4,1		
2	4,9	18,5	45	16,2	0,4	26,4	6,6	0,5	3,4	7,5	6,3	2,2	2,5	6,4	7,2	1,4	1,7	6,4	7,2	1,4	1,7	7,2		
3	5,7	18,5	69,2	12,3	1,5	40,2	10,1	1,2	3,1	11,8	9,6	0,8	3,0	10,2	10,9	0,9	2,8	10,2	10,9	0,9	2,8	10,9		
4	4,1	7,75	<u>81,1</u>	6,0	6,3	<u>52,5</u>	<u>12,1</u>	0,8	3,6	<u>16,2</u>	<u>11,4</u>	0,6	2,7	<u>13,5</u>	<u>12,8</u>	0,6	2,8	<u>13,5</u>	<u>12,8</u>	0,6	2,8	<u>14,3</u>		
<u>Co:</u>																								
1	1,6	18,5	20,1	4,1	0,3	4,4	1,2	2,2	0,4	2,6	1,1	2,2	0,3	2,5	1,2	1,8	1,5	2,5	1,2	1,8	1,5	3,3		
2	1,6	18,5	40,2	12,2	0,1	16,7	4,5	3,8	0,4	6,8	4,2	2,8	0,7	6,0	5,3	1,2	1,9	6,0	5,3	1,2	1,9	6,4		
3	1,5	18,5	60,2	13,5	0,4	30,6	8,3	3,3	0,5	10,6	7,9	3,7	0,3	10	9,4	1,2	2,3	10	9,4	1,2	2,3	9,9		
4	1,4	7,75	<u>69,4</u>	10,3	1,0	<u>41,9</u>	<u>11,5</u>	3,3	0,4	<u>14,3</u>	<u>11</u>	3,1	0,2	<u>13,3</u>	<u>12,7</u>	1,1	3,3	<u>13,3</u>	<u>12,7</u>	1,1	3,3	<u>14,3</u>		
<u>Ni:</u>																								
1	4,1	18,5	22,6	8,1	0,9	9,0	2,2	1,1	0,7	1,8	2,2	1,1	0,6	1,7	2,5	1,2	1,9	1,7	2,5	1,2	1,9	3,1		
2	4,1	18,5	45,2	8,1	0,2	17,3	5,5	4,4	0,4	6,6	5,3	5,2	0,5	7,4	6,1	2,4	1,2	7,4	6,1	2,4	1,2	6,7		
3	3,8	18,5	67,5	11,5	0,4	29,2	8,8	4,4	0,6	11,6	8,4	3,1	0,5	11,0	9,6	2,3	2,6	11,0	9,6	2,3	2,6	11,6		
4	3,4	7,75	<u>78,7</u>	13,7	2,1	<u>45,0</u>	<u>13,2</u>	2,2	0,6	<u>14,4</u>	<u>12,5</u>	3,1	0,5	<u>14,6</u>	<u>14,0</u>	2,2	3,1	<u>14,6</u>	<u>14,0</u>	2,2	3,1	<u>16,9</u>		
<u>Hg:</u>																								
1	70,5	185	255,5	19,4	43,7	61,1	53,6	58,0	45	103	51,8	136	15,5	151,5	59,7	164	20,2	151,5	59,7	164	20,2	184,2		
2	20,2	185	460,7	22,6	52	135,7	114,6	32,5	48,6	184,1	110,3	123	39,6	314,1	126,9	62,4	28,8	314,1	126,9	62,4	28,8	275,4		
3	24,6	185	670,5	42,3	72	250,0	234,6	69,7	38,1	291,9	225,3	48	27,5	399,6	254,4	51,0	31,5	399,6	254,4	51,0	31,5	337,9		
4	20,0	77,5	<u>768,0</u>	61,5	54,3	<u>365,8</u>	<u>430,6</u>	76,2	28,2	<u>395,3</u>	<u>411,3</u>	39,2	30,2	<u>469,2</u>	<u>450,4</u>	170	26,4	<u>469,2</u>	<u>450,4</u>	170	26,4	<u>534,3</u>		

(forts.)

Tabell C 3, serie 1. (forts.)

Dag	mekanisk						Aluminiumsfelling				Jern(III)felling				kalkfelling				
	Rå g/d	Dosert g/d	Tot.inn kumulat. g/d	Ut mek g/d	Slam g/d	Tot.ut kumulat. g/d	Inn Al kumulat. g/d	Ut Al g/d	Slam g/d	Tot.ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot.ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot.ut kumulat. g/d	
<u>Cu:</u>																			
1	26,7	18,5	45,2	49,4	7,7	57,1	13,6	4,9	4,7	9,6	13,2	12,6	7,4	20	15,2	5,5	12,5	18	
2	58,3	18,5	122,0	53,4	1,3	111,8	28	6,1	14	29,7	27	4,6	9,6	34,2	31	13,4	8,3	39,7	
3	30,0	18,5	170,5	38,4	4,6	154,8	38,8	3,7	11,6	45	37,5	3,6	8,2	46	42,6	5,1	13,8	58,6	
4	24,6	7,75	202,9	24,6	22,4	201,8	46,7	2,9	7,4	55,3	47	3,3	8,3	57,6	50,4	4,7	15,9	79,2	
<u>Zn:</u>																			
1	25,9	18,5	44,4	19,4	8,0	27,4	5,2	3,6	1,5	5,1	5,1	4,1	1,6	5,7	5,8	2,7	7,1	9,8	
2	23,9	18,5	86,8	24,6	1,0	53	11,8	4,4	2,8	12,3	11,5	5,6	2,3	13,6	13,1	0,7	5,0	15,5	
3	24,6	18,5	129,9	26,9	3,9	83,8	19,4	5,6	2,4	20,3	18,8	6,1	1,9	21,6	21,2	1,5	8,6	25,6	
4	30,1	7,75	167,8	19,2	18,9	121,9	25,5	5,2	3,4	28,9	24,7	6,3	1,8	29,7	27,3	0,9	10,3	36,8	
<u>Cd:</u>																			
1	0,2	18,5	18,7	4,2	0,3	4,5	1,6	1,1	0,8	1,9	1,1	0,9	0,3	1,2	1,3	1,8	1,4	3,2	
2	1,0	18,5	38,2	13,1	0,2	17,8	5,1	2,8	0,9	5,6	4,5	2,6	0,9	4,7	5,2	1,0	1,1	5,3	
3	0,6	18,5	57,3	9,7	0,9	28,4	7,3	2,8	1,2	9,6	7,1	2,6	0,8	8,1	8,1	0,9	0,8	7,0	
4	0,2	7,75	65,3	6,8	3,3	38,5	9,5	2,2	1,0	12,8	9,2	2,3	0,5	10,9	10,3	0,5	2,6	10,1	
<u>Cr:</u>																			
1																			
2	0,8	11,5	12,3	6,5	0,1	6,6	1,6	1,3	0,5	1,8	1,5	0,8	1,0	1,8	1,7	1,7	0,3	2	
3	0,8	4,3	17,4	4,6	0,2	11,4	2,9	0,9	0,6	3,3	2,8	0,2	1,8	3,8	3,1	1,4	0,6	4	
4	0,7	0,7	18,8	0,7	1,4	13,5	2,9	0,2	0,3	3,8	2,8	0,2	1,1	5,1	3,1	0,4	0,7	5,1	

Tabell C 3, serie 2. Massebalanse over de enkelte rensetrinn. Den totale mengde inn og ut er angitt som summen av foregående dagers masse. Den totale masse inn og ut ved serie slutt er understreket.

Dag	Mekanisk						Aluminiumsfelling				Jern(III) + kalkfelling				Kalkfelling				
	Rå g/d	Dosert g/d	Tot.inn kumulat. g/d	Ut mek g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn Al kumulat. g/d	Ut Al g/d	Slam g/d	Tot ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	
<u>Cd:</u>																			
1	0,16		0,16	0,16	0	0,16	0,05	(0,002)	<0,8	>0,002	0,05	0,004	0,056	0,06	0,05	0,020	0	0,02	
2	0,16		0,32	0,08	0	0,24	0,075	(0,002)	0,13	0,13	0,08	0,007	0,05	0,117	0,08	0,009	0	0,029	
3	0,10		0,42	0,07	0	0,31	0,095	(0,002)	>0,9	>0,1	0,10	0,013	0	0,13	0,10	0,007	0,07	0,106	
4	0,10		<u>0,52</u>	0,10	0	<u>0,41</u>	<u>0,124</u>	(0,002)	<0,8	>0,130	<u>0,13</u>	<u>0,011</u>	<u>0,03</u>	<u>0,171</u>	<u>0,13</u>	<u>0,011</u>	<u>0,07</u>	<u>0,187</u>	
<u>Co:</u>																			
1	0,41		0,41	0,41	-	0,41	0,126	0,063	<0,8	>0,063	0,126	0,084	0	>0,084	0,126	0,042	<0,78	>0,042	
2	0,27		0,68	0,27	-	0,68	0,210	0,084	<1,3	>0,147	0,210	0,084	0	>0,168	0,210	<0,042	<5,58	>0,082	
3	0,27		0,95	0,27	-	0,95	0,294	0,042	<0,9	>0,189	0,294	0,126	0	>0,294	0,294	0,042	<0,70	>0,124	
4	0,28		<u>1,23</u>	0,28	-	<u>1,23</u>	<u>0,378</u>	0,063	<0,8	>0,252	<u>0,378</u>	<u>0,084</u>	<u>0</u>	<u>>0,378</u>	<u>0,378</u>	<u>0,042</u>	<u><0,70</u>	<u>>0,168</u>	
<u>Cr:</u>																			
1	2,18		2,18	2,04	<0,30	>2,04	0,62	0,25	<0,40	>0,25	0,66	0,31	1,12	1,43	0,62	0,33	0,78	1,11	
2	1,50		3,58	1,23	<0,24	>3,27	1,00	0,25	<0,65	>0,50	1,05	0,40	0,25	2,08	1,01	0,26	0,29	1,66	
3	1,09		4,67	1,09	<0,17	>4,36	1,33	0,125	<0,46	>0,675	1,40	0,22	<0,21	>2,30	1,36	0,17	<0,35	>1,83	
4	1,09		<u>5,86</u>	1,36	<0,15	>5,72	<u>1,75</u>	0,125	<0,40	>0,75	<u>1,84</u>	<u>0,31</u>	<u><0,15</u>	<u>>2,61</u>	<u>1,80</u>	<u>0,18</u>	<u><0,35</u>	<u>>2,01</u>	
<u>Cu:</u>																			
1	13,6		13,6	13,6	6,2	19,8	4,2	0,42	3,9	4,3	4,3	1,1	9,1	10,2	4,2	1,3	5,5	6,8	
2	15,0		28,6	10,2	2,5	32,5	7,3	0,33	3,8	8,4	7,6	2,1	4,3	16,6	7,4	1,1	4,2	12,1	
3	21,8		50,4	10,2	2,2	44,9	10,4	0,54	4,0	12,9	10,9	2,0	5,5	24,1	10,7	1,3	5,9	19,3	
4	19,6		<u>70,0</u>	14,0	1,4	<u>60,3</u>	<u>14,6</u>	0,46	4,0	17,4	<u>15,4</u>	<u>2,1</u>	<u>5,1</u>	<u>31,3</u>	<u>15,1</u>	<u>1,9</u>	<u>7,6</u>	<u>28,8</u>	

Tabell C 3, serie 2 (forts.)

Dag	Mekanisk					Aluminiumsfalling					Jern(III) + kalkfalling					Kalkfalling				
	Rå g/d	Dosert g/d	Tot.inn kumulat. g/d	Ut mek g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn Al kumulat. g/d	Ut Al g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d		
<u>Mn:</u>																				
1	170,4		170,4	170,4	5,4	175,8	52,2	42,6	3,4	46	54,0	28,8	29,2	57,9	59,8	5,0	67,9	72,9		
2	139,0		309,4	124,1	2,2	302,1	90,2	41,8	3,3	91,1	94,0	20,6	21,8	100,3	99,1	3,0	50,5	126,4		
3	109,1		418,5	118,6	1,9	422,6	126,5	28,0	2,8	121,9	132,8	18,7	23,9	142,9	137,7	2,2	44,1	172,7		
4	112,1		530,6	114,9	1,4	538,2	160,7	28,0	2,4	152,3	169,4	20,1	18,9	181,2	172,2	3,9	58,8	235,4		
<u>Pb:</u>																				
1	2,9		2,9	2,6	1,2	3,8	0,8	0,02	1,6	1,62	0,8	0,1	6,7	6,8	0,8	0,1	3,9	4,0		
2	1,6		4,5	0,4	0,45	4,65	0,9	0,02	-	1,64	0,9	0,2	3,0	10,0	0,9	0	2,3	6,3		
3	1,4		5,9	0,4	0,15	5,20	1,0	0,02	1,3	2,96	1,0	0,3	3,3	13,7	1,0	0	2,8	9,1		
4	1,3		7,2	0,5	0,2	5,70	1,2	0,02	1,6	4,58	1,2	0,4	2,7	16,8	1,2	0	2,1	11,2		
<u>Zn:</u>																				
1	132,2		132,2	122,7	6,9	129,6	37,6	2,1	19,2	21,3	38,9	3,9	34,7	38,6	37,6	7,9	27,3	35,2		
2	92,7		224,9	68,2	3,5	201,3	58,5	2,9	20,8	45,0	60,8	4,4	16	59	59,2	3,9	22,0	61,1		
3	68,2		293,1	61,3	3,0	265,6	77,3	1,3	14,9	61,2	80,9	5,4	19,7	84,1	78,8	2,6	18,2	81,9		
4	68,7		361,8	58,9	1,8	326,3	94,8	1,3	11,2	73,7	92,6	5,8	14,7	104,6	97,2	3,9	20,9	106,1		
<u>TiS:</u>																				
1	98,5		98,5	84,0	18,7	102,7	27,3	25,1	6,0	31,1	33,5	25,4	13,4	38,8	40,4	23,1	37,5	60,6		
2	63,8		162,3	51,0	9,3	163,0	45,8	15,3	6,0	52,4	56,4	21,5	6,9	67,2	76,0	18,6	26,8	106,0		
3	71,2		233,5	61,0	9,7	233,7	67,5	12,0	5,7	70,1	82,5	19,7	5,8	92,7	113,1	19,0	30,6	155,6		
4	69,7		300,2	64,5	5,8	304,0	89,5	12,8	4,8	87,7	108,6	21,1	7,5	121,3	149,2	20,1	34,1	209,8		

Tabell C, serie 3. Massebalanse over de enkelte rensetrinn. Den totale mengde inn og ut angitt som summen av foregående dagers masse.
 Den totale masse inn og ut ved serie slutt er understreket.

Dag	Mekanisk					Aluminiumsfelling					Jern(III) + kalkfelling					Kalkfelling							
	Rå g/d	Dosert g/d	Tot.inn kumulat. g/d	Ut mek g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn Al kumulat. g/d	Ut Al g/d	Slam g/d	Pot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	
<u>Cd:</u>																							
1	7,2	240,0	247	316,8	2,0	318,8	95,0	45,9	8,8	54,7	93,5	25,1	37,0	62,1	96,1	32,8	23,6	56,4					
2	0,7	417,0	665	503,5	2,8	825,1	24,6	124,3	20,5	199,5	239,5	47,3	80,0	189,3	236,5	3,7	60	120,1					
3	1,5	440,0	1107	411,5	6,2	1224,5	364,6	96,6	19,5	315,6	355,5	47,0	75,6	311,9	349,3	121,1	90	331,2					
4	0	367,0	1474	417,6	7,2	1667,6	474,8	97,6	24,0	437,2	480,8	18,6	121,5	452	472,5	8,5	(212)	551,7					
<u>Co:</u>																							
1	2,5	116,5	119,0	132,5	0,4	132,9	39,7	41,5	1,2	42,7	39,1	20,4	14,7	35,1	40,2	17,5	14,4	31,9					
2	1,2	197,0	317,2	325,8	0,8	459,5	137,4	93,2	2,0	137,9	133,6	51,6	27,5	114,2	131,0	3,3	38,5	73,7					
3	1,9	213,0	532,1	243,8	1,2	704,5	207,7	74,7	2,5	215,1	201,9	42,7	26,0	182,9	197,8	75,2	56,4	205,3					
4	0,7	213,0	745,8	244,8	1,8	951,1	283,2	75,5	2,5	293,1	272,4	27,6	44,1	254,6	270,0	2,1	(124)	331,4					
<u>Cr:</u>																							
1	1,4	76,5	77,9	172,8	0,5	173,3	51,8	41,9	1,1	43,0	51,0	39,5	1,1	40,6	52,4	40,6	1,4	42,0					
2	1,3	85,0	164,2	266,5	0,5	440,3	131,8	71,0	2,5	116,5	128,3	73,0	2,5	116,1	126,7	72,2	3,2	117,4					
3	2,6	116,5	283,3	213,4	0,6	654,3	193,2	61,5	0	180,5	188,1	59,8	1,7	177,6	185,2	54,3	3,8	175,5					
4	1,6	76,5	361,4	216,0	0,8	871,1	252,8	66,6	3,2	250,3	252,9	60,5	4,1	242,2	248,9	59,5	9,0	244					
<u>Cu:</u>																							
1	41,8	397	438,8	302	4,4	566	168,5	51,8	22	73,8	165,7	42,5	62,2	104,7	170,4	61,2	42	103,2					
2	29,6	674	1142,4	932,9	5,1	1504	448,2	79,9	77	230,7	434,8	47,3	150	302	430,4	20,6	95	218,8					
3	36,6	730	1909,0	762	12,7	2278,7	667,8	83,4	80	394,1	648,4	64,1	134,4	500,5	639,2	(229,7)	141	589,5					
4	31,7	723	2663,7	734,4	13,8	3026,9	894,2	79,9	97,5	571,5	868,7	34,6	207,0	742,1	855,2	267,6	(320)	1177,1					

(forts.)

Tabell C 3, serie 3. (forts.)

Dag	Mekanisk						Aluminiumsfelling				Jern(III) + kalkfelling				Kalkfelling			
	Rå g/d	Dosert g/d	Tot. inn kumulat. g/d	Ut mek g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn Al kumulat. g/d	Ut Al g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d	Inn kumulat. g/d	Ut g/d	Slam g/d	Tot. ut kumulat. g/d
<u>Mn:</u>																		
1	112,3	140	252	302,4	2,7	305,1	90,7	69,1	2,0	71,1	89,2	50,9	21,8	72,7	91,7	28,4	41,2	69,6
2	108,1	236	596	444,2	2,3	751,6	223,9	124,3	4,2	199,6	218,1	94,5	27,0	194,2	215,6	3,1	56,5	129,2
3	108,2	256	962	381	6,0	1138,6	333,7	109,8	3,4	312,8	324,9	85,4	26,5	306,1	320	121,1	79,2	329,5
4	96,5	214	1273	374,4	8,0	1521	449,2	111	4,2	428	437,2	43,2	48,6	397,9	430,4	4,4	(180)	515
<u>Mi:</u>																		
1	7,2	178	185,2	288	1,2	289,2	86,4	56,2	2,0	58,2	85,0	36,1	20,2	56,3	87,4	26,2	21,2	47,4
2	7,4	302	494,6	488	1,5	778,7	232,9	124,3	4,0	186,5	226,7	73,0	44	173,3	223,6	4,1	60	111,5
3	15,2	327	836,8	426,7	2,4	1207,8	355,9	101,0	4,0	291,5	346,3	68,4	41,6	283,3	350,5	108,6	87,6	307,7
4	7,2	272	1109,0	374	3,6	1585,4	471,3	111,0	5,5	408,0	458,7	43,2	72	398,5	451	6,4	(260)	574,1
<u>Zn:</u>																		
1	56,2	144	200,2	259,2	3,0	262,2	77,8	34,6	7,7	42,3	76,5	20,8	45,4	66,2	78,6	21,4	22,8	44,2
2	41,5	244	481,7	385	2,8	650	193,2	93,2	13	148,5	188,2	27,9	70,0	164,1	189,1	3,7	40,5	88,4
3	42,7	264	790,4	304,8	5,5	960,3	281,0	70,3	11,5	230,3	273,6	33,3	67,2	264,6	272,6	96,0	58,2	242,6
4	34,6	220	1045,0	302,4	8,7	1271,4	374,3	75,5	14,5	320,3	364,3	12,1	108,0	384,7	361,8	5,1	140	387,7
<u>TS:</u>																		
1	72,2		72,2	68,6	9,7	78,3	23,1	17,3	3,6	20,9	25,5	19,4	5,5	24,9	35,5	19,3	23,3	22,6
2	82,4		154,6	72,5	8,4	159,2	47,2	11,1	5,6	37,6	52,2	12,7	7,0	44,6	75,3	25,9	15,1	63,6
3	80,3		234,9	61,7	13,8	234,7	67,4	16,3	4,1	58,0	74,9	16,8	7,7	69,1	110,1	135,0	20,1	108,8
4	78,4		313,3	74,2	(37)	346,0	92,8	17,0	5,0	80,0	104,3	19,5	11,0	92,6	149,4	13,8	43,3	165,2