

Hvordan spare penger ved kloakkrensing med kalkfelling?

Av Lasse Vråle

Lasse Vråle er sivilingeniør og ansatt som forskningsleder ved NIVA.

NYERE UNDERSØKELSER VED NIVA VISER AT FELLINGS-PROSESSEN MED KALK KAN OPTIMALISERES

NIVA har gjennomført en laboratorieundersøkelse for å optimalisere kalksjøvannsprosessen. Dette arbeidet er rapportert i en nylig utkommet VA-rapport 5/87, (1).

Hovedkonklusjonen viser at prosessen kan optimaliseres betydelig ved å hindre at uoppløst kalk synker til bunns i kanaler, flokkuleringsbasseng og sedimenteringsbasseng. Uoppløst kalk som synker til bunns går tapt, øker doseringsmengdene og kjemikaliekostnadene, gir lavere rensegrad og øker slamproduksjonen.

MÅLING AV KALKENS OPPLØSNINGSHASTIGHET

Måling av kalkens oppløsningshastighet viste at kalkpartiklene gikk sakte i løsning (1). Når kalken doseres som suspensjon (over 0.15%) vil bare en mindre andel av kalken løses som bestemmes av likevekten. Den finmalte uleskede Tromsdalskalken fra Franzefoss løser seg hurtigere enn den grove og skyldes større overflateareal for den finmalte.

Resultatene i figur 1 viser at hydratkalken fra Franzefoss bare løser seg noe hurtigere de 2 første minuttene enn den uleskede Tromsdalskalken av fineste type 0—0.15 mm. Den analytisk rene hydrat-

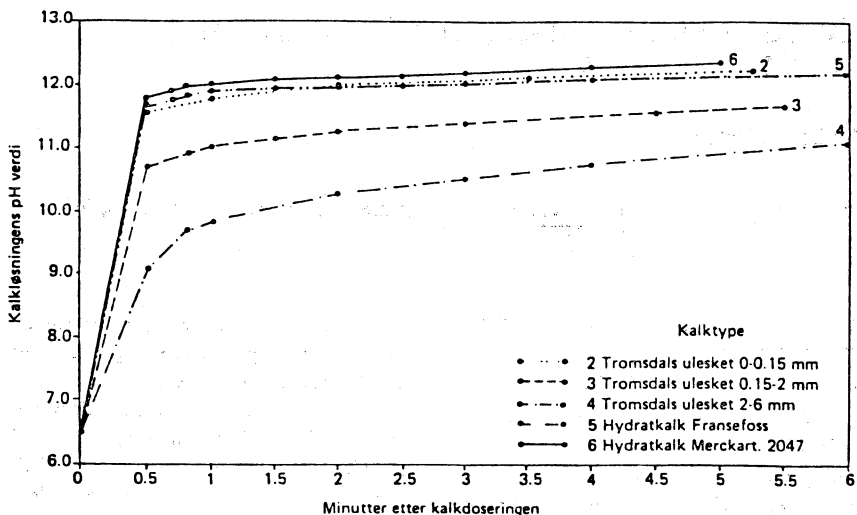
kalken løser seg like hurtig de første 20 sekundene, men pH-kurven ligger deretter ca. 0.10 pH-enheter høyere.

Den fineste uleskede Tromsdalskalken var overraskende lett å løse opp iforhold til hydratkalken. Siden den uleskede kalken er billigere, mer konsentrert og enklere å håndtere i silo, kan man spørre seg hvorfor den ikke i større grad benyttes og spesielt hvis man kan klare seg uten kompliserte leskere.

OMRØRINGSINTENSITETENS INNVIRKNING PÅ OPPLØSNINGSHASTIGHET

Det er vanlig å tilsette kalk som 5 til 10% løsninger suspensjon (slurry) ved norske kloakkrenseanlegg. Siden bare ca. 0.15% av kalken går i løsning, vil en stor andel foreligge som uoppløste kalkpartikler når den tilsettes avløpsvannet. Undersøkelsene på NIVA viste at røreverkets omdreiningshastighet påvirket oppløsningshastigheten betydelig (1). Størst oppløsningshastighet ble oppnådd med de største omrøringsintensitetene.

Årsaken til den vesentlig lavere oppløsningshastighet for lavere omrøringsintensitet, er at en større andel kalkpartikler synker til bunns og forblir i ro. Hydratkalken som dannes på overflaten av de større partiklene hindrer videre hydratiseringen i å trenge dypere inn i den sedi-



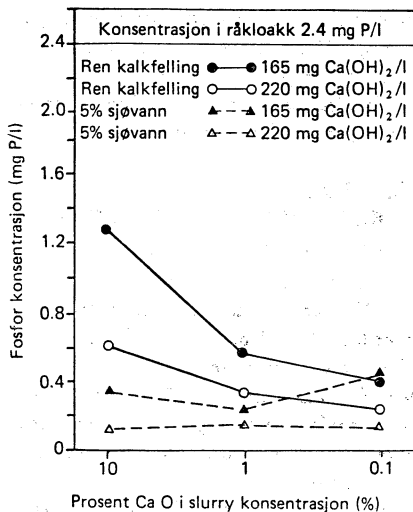
Figur 1. Kalkens oppløsningshastighet målt ved hjelp av pH som funksjon av tid. Konsentrasjon er 1.0 g pr. liter Osetvann. Omrøringshastighet var 100 RPM (1).

menterte «kalkhaugen», og overflaten er betydelig redusert. Ved kraftig omrøring blir de tyngre partiklene holdt i suspensjon slik at partikkeloverflaten øker, og nydannet hydratkalk transporteres hurtig vekk fra overflaten slik at ny uoppløst kalk eksponeres.

LAVERE KALKSLURRY KONSENTRASJON GIR BEDRE RENSEEFFEKT

Det ble gjennomført jartester på avløpsvann fra SRV hvor den eneste parameteren som ble endret i begrene var kalkkonsentrasjonen. Kalkdoseringene var konstante.

Resultatene er vist i figur 2 og viser at ved ren kalkfelling forbedres rensegraden fra 74% med 10% slurry til 86% med 1.0% slurry og til 90% for 0.1% slurry. Dette er en meget stor forbedring på tross av at det bare er konsentrasjonen i slurryen som varierer.



Figur 2.

Kalkslurrykonsentrasjonens innvirkning på renseresultatet uttrykt ved restfosfor i jartest med vanlig kalkfelling og kalksjøvannsfelling(1).

Det var etter dette nødvendig å foreta spesialundersøkelser for å finne årsaken til at kalkslurrykonsentrasjonen alene kunne slå så kraftig ut på renseresultatet.

UNDERSØKELSE AV OMRØRINGS HASTIGHETENS BETYDNING NÅR KALKSLURRY MED 10% BENYTTES, VISTE MEGET SPESEILLE RESULTATER

Et eldre jartest-apparat med trinsedrift ved NIVA, ble ombygget slik at hvert beger fikk økende omdreiningshastighet på omrørerne. I tillegg kunne hastigheten for drivverket reguleres trinnsvis. Alle andre parametre var konstant under forsøkene.

Det måtte kjøres 3 separate jartest-forsøk etter hverandre for å dekke hele omdreiningsområdet for omrørerne.

De to første forsøkene er kjørt på samme råkloakkprøve tatt kl. 0930 med SRV's innløp, mens det siste med høyest

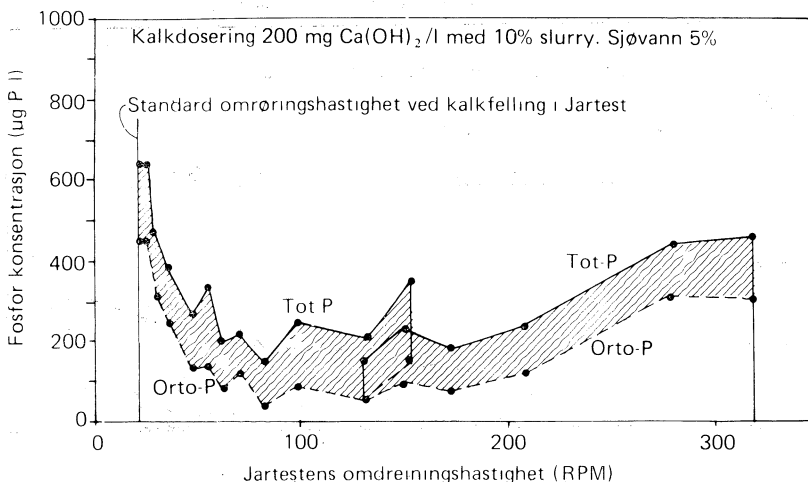
omdreiningshastighet er kjørt med ny råkloakk hentet kl. 1230. Resultatene er grafisk fremstilt i figur 3.

Resultatene viser høyest restfosfor med ca. 620 $\mu\text{gP/l}$ ved 20 RPM som er standard for sakte omrøring i jartest.

Vesentlig bedre resultat oppnås når omdreiningshastigheten på omrøreren øker, og synes best i området 80 til 180 RPM. En videre økning gir imidlertid dårligere resultat. Ved 80 RPM er restfosforkonsentrasjonen helt ned i ca. 200 $\mu\text{gP/l}$.

Det ble ikke benyttet noen hurtigomrøring ved disse forsøkene. Resultatet ved 20—30 RPM uten hurtigomrøring er dårligere enn med kalk og sjøvannsfelling i figur 2, hvor det var hurtigomrøring i 1 min. med 100 RPM før sakte-omrøringen på 20 RPM. Det viser at større omrøringsintensitet i denne første fasen er svært viktig.

På den annen side viser resultatet at når omdreiningshastigheten øker over 180 RPM



Figur 3. Omrøringshastighetens innvirkning på restfosfor ved kalksjøvannsfelling i jartest. (1).

blir renseresultatet gradvis dårligere og dårligst ved maksimal omrøring på 320 RPM. Dette tyder på at det over 180 RPM starter en fnokkoppbrytning.

Det ble kjørt spesialundersøkelser med hurtigomrøring som er nærmere beskrevet i NIVA-rapporten (1). Disse resultatene viser at ekstrem hurtigomrøring ikke hadde noen positiv effekt på renseresultatet.

Dette betyr videre at de forbedrede resultatene i figur 3, når omdreiningshastigheten øker fra 20 RPM, ikke skyldes raskere homogenisering på grunn av bedret hurtigomrøring, men bedre utnyttelse av kalken ved at en større andel løses og ikke sedimenterer og går tapt.

UNDERSØKELSE AV OMRØRINGS- HASTIGHETENS BETYDNING NÅR METTET KALKLØSNING BENYTTES

Det ble nå viktig å få bekreftet eller avkreftet om forbedringer i renseresultatet i figur 3 når sakteomrøringen økes fra de

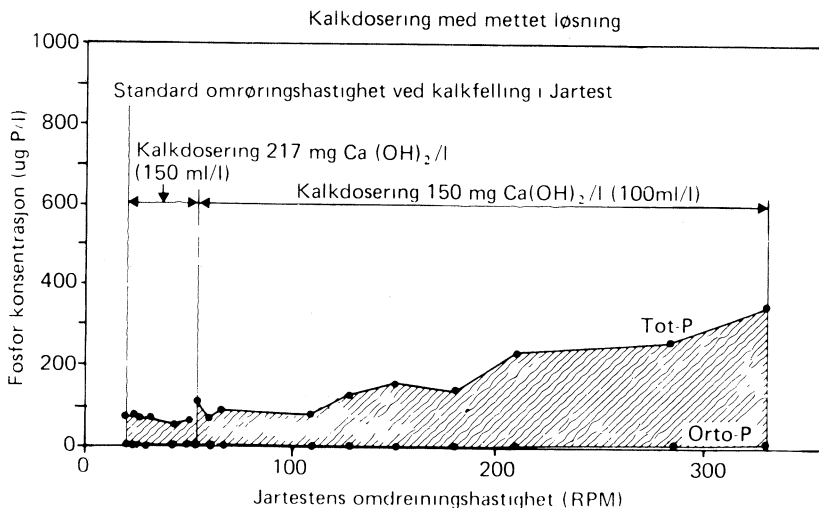
vanlige 20 RPM til 80 RPM, virkelig skyldes at uoppløste kalkpartikler synker til bunns sammen med slammet.

Det ble besluttet å gjenta de 3 jartestene med økende omdreiningshastighet, men denne gang med kalkdosering i form av mettet løsning. Den mettede løsningen ble tatt fra klarvannsfasen fra oppløst hydratkalk. Den inneholder 900 mg Ca/l ved 20°C eller 1.66 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ løsning.

Ved den første jartesten med lavest omdreiningshastighet var kalkdoseringen noe høyere enn ved figur 3, nemlig 217 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /l. I de to neste, hvor omdreiningshastigheten var økende var kalkdoseringen lavere, nemlig 150 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /l.

Resultatene er grafisk fremstilt i figur 4.

Resultatene viser meget gode renseresultater allerede i begeret med de laveste omdreiningshastighetene i sterk kontrast til resultatene i figur 3. Konklusjonen blir at høy omdreiningshastighet bare er viktig



Figur 4. Omrøringshastighetens innvirkning på restfosfor ved kalksjøvannsfelling i jartest hvor kalkmengden tilsettes som mettet løsning. (1).

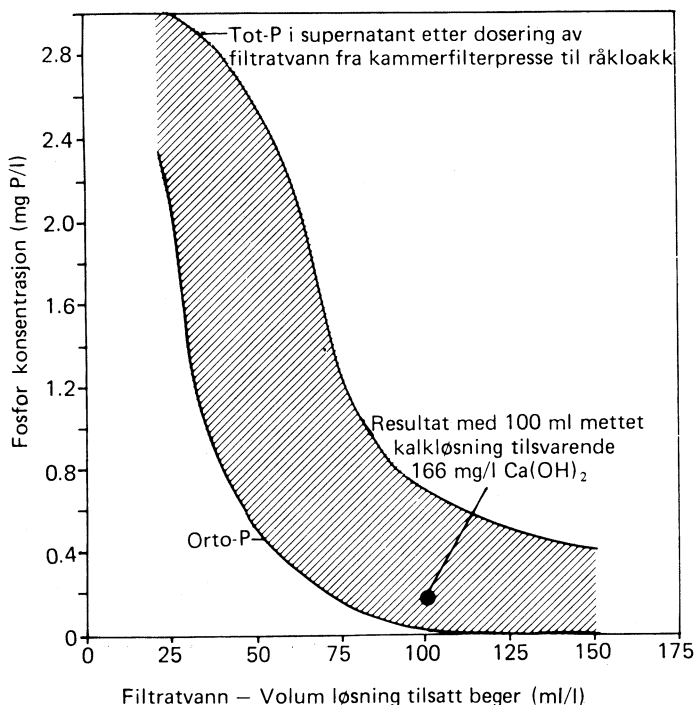
når kalken doseres som slurry. Hensikten med å holde høyere omrøringshastighet er derfor å unngå at uoppløste kalkpartikler sedimenterer og går tapt for prosessen som uoppløst kalk i slammet. Dermed blir den virkelige doseringen mindre enn den tilsatte kalkmengden.

Resultatene viser imidlertid som i figur 3 dårligere rensegrader når omdreiningshastigheten øker, men økningen i total restfosfor i supernatanten begynner tidligere, nemlig allerede ved ca. 110 RPM. Den økte ikke før ved 180 RPM i figur 3 da 10% kalkslurry ble benyttet. Denne forskjellen skyldes sannsynligvis at det

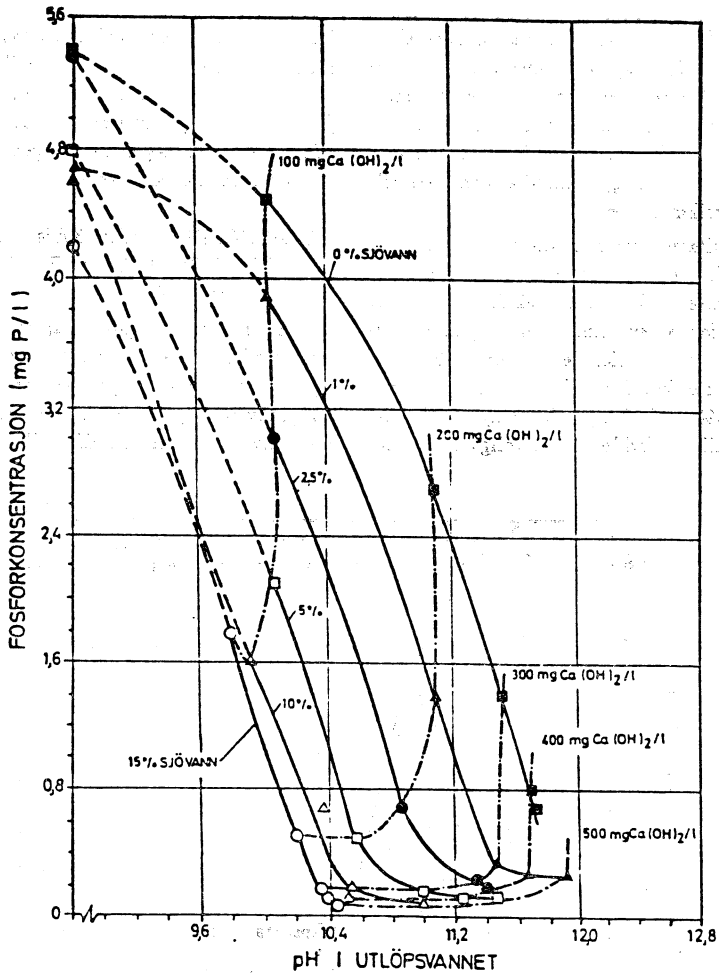
ikke er noen negativ effekt av lavere omrøring når det benyttes mettet kalkløsning. Det er derfor rimelig å forutsette at fjnkokkbrytingen starter allerede ved 110 RPM med den begerutformingen og omrøreren som ble benyttet her.

FILTRATVANNET FRA KAMMER-FILTERPRESSENE VIRKER SOM FELLINGSMIDDEL

Det er tidligere påvist at dekantvann fra fortykkere, rejeckt vann fra sentrifuger og filtratvann fra slampresser har en negativ innvirkning i fellingsprosessen når det benyttes aluminiumsulfat eller jernklo-



Figur 5. Restfosforkonsentrasjoner i begerne når filtratvann fra kammerfilterpressene benyttes som fellingsmiddel. (1).



Figur 6. Total fosforreduksjon som funksjon av pH i utløpsvannet. (3).

rid som fellingskjemikalie i renseprosessen. Derimot er det klart at slamvann kan ha en positiv innvirkning når kalk benyttes som fellingsmiddel. Slamresirkulering ved kalksjøvannsprosessen er tidligere undersøkt ved Sandvika renseanlegg med meget positive resultater (2).

Det var nå ønskelig å undersøke hvilken effekt filtratvannet fra kammerfilterpressene ved VEAS har på kalksjøvannsprosessen.

Den 7.3.86 ble det gjennomført en jarstest med økende dosering av filtratvann i hvert beger. Dette filtratvannet er tid-

ligere undersøkt og inneholder mettet kalkvann. Ny råkloakk ved SRV ble hentet kl. 1330 og 850 ml råkloakk og 45 ml sjøvann ble tilsatt og blandet ut i hvert beger på forhånd.

Den mettede kalkløsningen som ble benyttet i beger nr. 1 tilsvarer en kalkdosering på ca. 166 mg/l som $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Figur 5 viser resultatene og at økende dosering av filtratvann fra kammerfilterpressene faktisk fører til økende renseseffekt. Med 100 ml filtratvann pr. liter tilsatt altså ca. 10% av den totale vannstrømmen, oppnås en restfosfor på ca. 0.7 mg p/l. Så mye filtratvann er neppe tilgjengelig ved VEAS. Konklusjonen er at disse forsøkene viser at filtratet fra kammerfilterpressene virker som fellingsmiddel på kalksjøvannsprosessen og øker rensegraden!

SJØVANN SOM GRATIS FLOKKULERINGS-KJEMIKALIE

Før 1974 var det ukjent at sjøvann kunne benyttes som et fellingskjemikalie. Sjøvannsdosering vil minst halvere kalkdoseringen i kjemiske renselanlegg samtidig som restutslippet av fosfor reduseres fra ca. 0.80 mg P/l til 0.10—0.20 mg P/l. Figur 6 viser samspillet mellom kalk, sjøvann og prosess pH, og er hentet fra en NIVA-rapport fra 1977 (3).

Sjøvann inneholder store mengder magnesiumklorid, nemlig ca. 1000 mg/l avhengig av sjøvannets salinitet. Når sjøvann tilsettes kloakkvann og pH-verdien økes til mellom 10.6—11.2 med kalk, utfelles magnesiumhydroksyd. Fosfatene i avløpsvannet felles ut allerede ved ca. pH 10.2, men de små partiklene vil ikke sedimentere før det er nok magnesiumhydroksyd til å omsvøpe de små fosfatpartiklene og trekke dem til bunns.

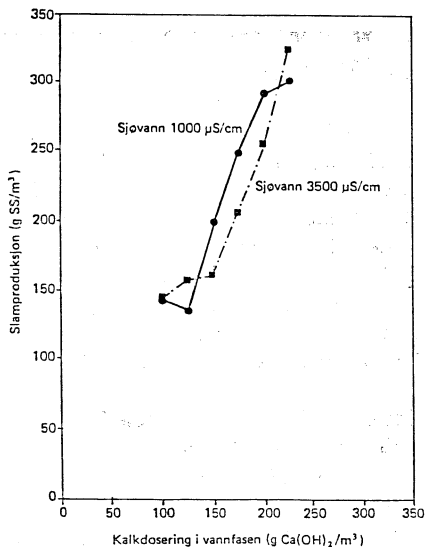
Magnesiumklorid i sjøvannet virker der-ved som en gratis hjelpekoagulant og er tilgjengelig langs hele vår langstrakte kyst.

OVERRASKENDE LAV SLAM-PRODUKSJON

Undersøkelsene på SRV (4) har vist at slamproduksjonen er 6% lavere med kalksjøvannsfelling enn med Ferrriklor, henholdsvis 226 g SS/m³ vann for kalksjøvann mot 240 g SS/m³ med Ferrriklor. Årsaken er den lave kalkdoseringen. Sammenhengen mellom kalkdosering og slamproduksjon er vist i figur 7.

FULLSKALAFORSØK I 1984 MED KALKSJØVANN VED SRV

En 1/4 part av Sentralrenseanlegg Vest (SRV) ble utbygget for bruk av kalk-



Figur 7.

Slamproduksjon som funksjon av kalkdosering ved kalksjøvannsfelling. Utført i jartest av VEAS laboratoriet 4.4.84.

sjøvannsprosessen. Det ble blant annet bygget en egen pumpestasjon for sjøvannsdosering.

I februar og mars 1984 ble det utført fullskalaforsøk med kalksjøvannsprosessen (4). Resultatene er presentert i tabell 1.

Tabell 1. Resultater fra sammenlignbare undersøkelser av kalk-sjøvannsfelling og Ferriklor ved SRV i februar 1984. (4).

Kjemikaliedosering og driftsdata	Kalk-sjøvann	Ferriklor
Kjemikaliedosering i vannfasen, g/m ³ vann	165 Ca(OH) ₂	260 ufortynnet vare
Sjøvannsdosering, % av utgående vannføring	4,5	-
Renseresultater, Tot-P, %	90,9	91,8
Netto spesifikk slamproduksjon, tørrstoff g SS/m ³ vann	226	240
Netto spesifikk slamproduksjon volum, 6% i g slam/m ³ vann	3,77	4,00
Kalkdos. til slamkondisjonering: kg Ca(OH) ₂ /m ³ slam	6,9	14,2
" " " g Ca(OH) ₂ /m ³ vann	26	57
Slamavvanningskapasitet Lasta-pressen, kg TS/syklus	500	400

Fullskala-undersøkelsen ved VEAS viste at 165 mg Ca(OH)/l og 4.5% sjøvann ga samme rensegrad som 260 mg Ferriklor 12 (31 mg Fe/l) eller ca. 175 ml/m³. Rensegraden for begge renseprosessene var 91%. Denne renseseffekten kan økes ved å skru opp doseringen. Målsettingen var å se hvilken kalkdosering som skulle til for å gi samme rensegrad som Ferriklor 12.

KALKSJØVANNSPROSESSEN VAR 28% RIMELIGERE ENN FELLING MED FERRIKLOR FØR OPTIMALISERING

De spesifikke kostnadene er vist i tabell 2.

Dette innebærer at kalksjøvannsprosessen ved VEAS var 28% rimeligere enn Ferriklorprosessen.

Avløpsvannet i februar er spesielt konsentrert slik at kostnadene pr. m³ er høyere enn årgjennomsnittet. Hvis vanntilførselen ved VEAS for 1984 legges til grunn, ca. 90 mill. m³/år, blir kostnadsforskjellen mellom prosessene 4.3 mill. kr./år i favør av kalk-sjøvannsprosessen.

Fra sommeren 1984 og frem til idag har det ved SRV pågått optimaliseringsarbeid for å forbedre Ferriklorprosessen. Blant annet har man tatt i bruk sjøvannspumpestasjonen, fordi det har vist seg at rensegraden også forbedres med denne kombinasjonen. Man har dessuten tatt i bruk polyelektorlytt-dosering for å forbedre avskillingsgraden i sedimenteringsbassengene. Hurtiginnblandingen av fellingkjemikaliene er dessuten forbedret, og antall flokkuleringsbasseng er redusert.

Tabell 2. Spesifikke kostnader ved de fellingsprosessene uttrykt i øre/m³. (4).

Spesifikke kostnader	Kalk-sjøvann Ferriklor	
Kjemikaliedosering i vannfasen øre/m ³ vann	8,09	11,22
Sjøvannspumping energi (nesten stengt ventil)	" "	0,55
Total kostnad i vannfasen	" "	8,59
Kalkdosering til kondisjonering av slam	" "	1,32
Avvanning driftskostn. Lasta-presser	" "	2,26
Totalt	<u>12,17</u>	<u>16,94</u>
Differanse	øre/m ³ vann	- 4,77

Om disse optimaliseringsarbeidene har ført til at ferriklorprosessen nå er rimeligere enn en uoptimalisert kalksjøvannspesess er ikke klarlagt.

Det oppsto «driftsproblem» ved SRV i 1984 da kalksjøvannspesessen ble kjørt i fullskala. De hurtigsedimenterende kalkflokknene sank til bunns i de 4 seriekoblede flokkuleringsbassengene og sedimenteringsbassengene. Det var en mistanke om at det tunge slammet i SRVs flokkuleringsbasseng var uoppløste kalkpartikler. I dag kan vi ut fra de nyeste undersøkelsene bekrefte dette. Det betyr at resultatene fra fullskalaundersøkelsen fra 1984 ytterligere kan optimaliseres.

KONKLUSJONER

1. Resultatene viser at kalksjøvannspesessen kan optimaliseres betydelig ved å hindre at uoppløst kalk synker til bunn i kanaler, flokkuleringsbasseng og se-

dimenteringsbasseng. Uoppløst kalk som går tapt øker doseringsmengdene og kjemikaliekostnadene, gir lavere rensegrad og øker slamproduksjonen.

2. Kalktapet kan hindres eller reduseres på tre måter:
 - a) Ved å benytte så lav kalkslurrykonsentrasjon som mulig. Fullstendig løsning (mettet løsning) altså maksimalt ca. 1.5 g Ca(OH)₂/l (0.15%) eliminerer alt kalktap, men krever en større fortynningsvannmengde.
 - b) Sørge for at de uoppløste kalkpartiklene omrøres så kraftig at de holdes i suspensjon inntil de er løst opp.
 - c) Benytte finere kalkpartikler som løses hurtigere enn grovere partikler, og stiller mindre krav til omrøringsintensiteten for å holdes i suspensjon.

3. Undersøkelsene avslørte at jartest med kalkfelling må kjøres med vesentlig høyere sakteomrøringsintensitet enn det som tradisjonelt er vanlig og minimum 80 RPM når kalken tilsettes i form at kalkslurry. Renseeffekten

blir da økt fra 0.64 mg P/l i supernatanten ved 20 RPM til 0.15 mg P/l ved 80 RPM. Over 120 RPM synes det å forekomme fnokkoppbrytning som gir dårligere rensegrader.

REFERANSER

1. *Vråle, L. og Kristiansen, H.*: «Optimalisering av kalksjøvannsprosessen. Undersøkelse ved NIVAs laboratorium i Oslo og ved SRV». VA-rapport 5/87, 0-85251 og E-86645. Mars 1987.
2. *Ferguson, J. F. and Vråle, L.*: «Chemical aspects of the lime seawater process». Journal WPCF, Volume 56, No. 4, April 1984.
3. *Vråle, L.*: «Kjemisk felling med kalk og sjøvann». Delrapport 1. NIVA-rapport 0.40/71A, PRA 2.1. Januar 1977.
4. *Vråle, L.*: «Kalk og sjøvannsfelling ved SRV vinteren 1984». VEAS Juleseminar 19.12.84.

Andre referanser:

5. *Vråle, L.*: «Kjemisk felling med kalk og sjøvann». Del 2. Fullskala driftsresultater fra Sandvika renseanlegg. C2-32 og O-40/71-A, Juli 1979.
6. *Vråle, L.*: «Primærfelling med ulike fellingskjemikalier ved Sandvika renseanlegg». O-79001, VA-rapport 7/79. Februar 1980.
7. *Vråle, L.*: «Chemical Precipitation of wastewater with Lime and Seawater». Prog. Wat. Tech. 1978, Vol. 10, No. 4, April 1984.