

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0-203/72 !!

(0-123/72)

INTERKOMMUNALT RENSEANLEGG I HAMAR

FORSØK I HALVTEKNISK MÅLESTOKK

Delrapport nr. 2:

Forsøk med biologisk-kjemisk rensing

Saksbehandler: tekn.lic. Peter Balmér

Medarbeider: siv.ing. Ole Morten Grini

Rapporten avsluttet 2.9.1974

## F O R O R D

Den daglige drift og forsøksvirksomhet ved anlegget er blitt ledet av sivilingeniør Olle Morten Grini, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Han har også skrevet hoveddelen av rapportens kapittel 1-3.

Ingeniør Egil Ole Murland, Østlandskonsult A/S, har samarbeidet med Grini under forsøksperioden og takkes for en svært verdifull innsats.

Fylkesingeniør B.W. Grundseth og kommuneingeniør F. Blomquist har fulgt forsøksdriften og bidratt med nyttige synspunkter.

Fra Østlandskonsult A/S har ingeniør Plassen og ingeniør J. Jonsen holdt seg underrettet om forsøksdriften og bidratt med verdifulle opplysninger.

Oslo, 2. september 1974

  
Peter Balmér

INNHOLDSFORTEGNELSE

Side:

FORORD	2
TABELLFORTEGNELSE	4
SAMMENDRAG	5
1. INNLEDNING	6
1.1 Oppdraget	6
1.2 Generell orientering	6
1.3 Fremdrift	7
2. BESKRIVELSE AV FORSØKSANLEGGET - OPPLEGG FOR FORSØKSDRIFTEN	8
2.1 Beliggenhet	8
2.2 Teknisk beskrivelse av forsøksanlegget	8
2.3 Drift av forsøksanlegget	12
2.4 Analyser	13
3. RESULTATER FRA FORSØKSSERIENE	17
3.1 Biologisk rensing	17
3.2 Resultater fra etterfelling med aluminiumsulfat	22
3.3 Resultater fra etterfelling med kalk	25
3.4 Resultater fra etterfelling med jern(II)sulfat + kalk	28
3.5 Slamundersøkelser	31
4. VURDERING AV OPPNÅDDE RESULTATER	36
4.1 Forsøksresultatenes representativitet	36
4.2 Renseresultater	37
4.3 Slammengder	37
4.4 Kjemikaliekostnader	38
4.5 Øvrige forhold	40
4.6 Valg av fellingsmiddel ved etterfelling	40
5. SAMMENSTILLING AV DRIFTSRESULTATER FRA FORSØK MED MEKANISK-KJEMISK RENSING OG BIOLOGISK-KJEMISK RENSING	42
5.1 Generelt	42
5.2 Sammenligning av renseeffekter	43
5.3 Kjemikaliekostnader	44
5.4 Slamproduksjon	44
Vedlegg 1: Sammenstilling av resultater fra forsøk med mekanisk-kjemisk rensing	
Vedlegg 2: Sammenstilling av resultater fra forsøk med biologisk-kjemisk rensing	

TABELLFORTEGNELSE

Tabell nr.:		Side:
2.2	Tekniske data	11
2.4	Analyseprogram	14
3.1	Sammenstilling av hydrauliske data for det biologiske rensetrinnet	17
3.2.1	Sammenstilling av hydraulisk belastning for det kjemiske rensetrinnet ved etterfelling med aluminiumsulfat	22
3.2.2	Oversikt over renseeffekter og doseringsmengder ved etterfelling med aluminiumsulfat	23
3.3.1	Sammenstilling av hydrauliske data for det kjemiske rensetrinnet ved etterfelling med kalk	25
3.3.2	Oversikt over renseeffekter og doseringsmengder ved etterfelling med kalk	26
3.4.1	Sammenstilling av hydrauliske data for det kjemiske rensetrinnet ved etterfelling med jern(II)sulfat + kalk	28
3.4.2	Oversikt over renseeffekter og doseringsmengder ved etterfelling med jern(II)sulfat + kalk	29
3.5.1	Middelverdier for slamvolum, slamproduksjon og slamkonsentrasjon for kjemisk slam	31
3.5.2	Slamproduksjon - korrigerte verdier	32
3.5.3	Oppnådd fortykning etter ca. ett døgn for kjemisk slam	33
3.5.4	Resultater fra metallanalyser for kjemisk slam	34
3.5.5	Utfelt mengde metaller fra avløpsvannet i etterfellingstrinnet	34
4.1	Gjennomsnittlig sammensetning av innkommende avløpsvann under forsøksseriene	36
4.2	Sammenstilling av oppnådde renseeffekter ved tre forsøksserier med etterfelling. Utløpskonsentrasjon og reduksjon i prosent	37
4.4	Kostnader for fellingskjemikalier eksklusiv merverdiavgift	39
5.2	Sammenlignbare renseeffekter ved sekundærfelling og etterfelling. Utløpskonsentrasjoner og reduksjon	43
5.3	Kjemikaliekostnader ved sekundærfelling og etterfelling	44
5.4	Slamproduksjon ved sekundærfelling og etterfelling	44

SAMMENDRAG

I løpet av januar-februar 1974, er det i Hamar utført forsøk i halyteknisk målestokk med biologisk-kjemisk rensing av kommunalt avløpsvann. Forsøkene er en fortsettelse av tidligere utførte forsøk med mekanisk-kjemisk rensing av det samme avløpsvann.

Ved forsøkene er følgende fellingsmidler prøvet: aluminiumsulfat, kalk og jern(II)sulfat + kalk. Konsentrasjoner i utløpsvann og prosentuelle reduksjoner gjengis i nedenstående tabell.

	Biokjemisk		Kjemisk		Total fosfor		Suspendert stoff	
	oksygenforbruk mg O/l	Red. %	oksygenforbruk mg O/l	Red. %	mg P/l	Red. %	mg/l	Red. %
Felling med aluminiumsulfat	2-8	95-98	19-23	90-95	0,3-0,4	90-95	5-15	90-95
Felling med kalk	3-8	95-97	16-22	82-92	0,2-0,5	90-95	10-15	83-93
Felling med jern(II)sulfat + kalk	1-2	98-99	20-30	89-91	0,3-0,4	92-95	10-15	85-95

Med samtlige undersøkte fellingsmidler har en oppnådd meget gode renses effekter. Sammenlignet med forsøkene med mekanisk-kjemisk rensing er fosforreduksjonene omtrent den samme, mens fjerningen av organisk stoff er vesentlig bedre, 95-98% mot 60-70%. Driften har også vært vesentlig stabilere ved etterfelling. Slamproduksjonen har ved biologisk-kjemisk rensing vært noe lavere enn ved mekanisk-kjemisk rensing til tross for den høyere renses effekten.

Samtlige undersøkte fellingsmidler og spesielt aluminiumsulfat og jern(II)sulfat + kalk, kan bli aktuelle å bruke. Derfor anbefales et opplegg av doseringsutstyret for sentralrenseanlegget slik at en relativt enkelt kan bytte fellingsmiddel.

## 1. INNLEDNING

For at delrapport 2 skal kunne leses uavhengig av delrapport 1, er det i kapittel 1 og 2 gjentatt en del stoff fra delrapport 1.

### 1.1 Oppdraget

I brev av den 20/10 1972 ble NIVA av Østlandskonsult A/S bedt om å hjelpe til med å utføre forsøk med rensing av avløpsvann i pilot-plant målestokk. Forsøkene skulle være et ledd i prosjekteringen av et nytt interkommunalt kloakkrenseanlegg for Hamarområdet.

Etter diskusjoner på NIVA den 11/12-72 (møtoreferat av den 14/12-72) ble det fastlagt at NIVA's oppdrag skulle bestå i:

1. Gi råd og veiledning ved oppbygging av forsøksanlegget.  
Østlandskonsult skulle være ansvarlig for denne del.
2. Gjennomføring av forsøkene.  
NIVA skulle svare for forsøksopplegg (planlegging, valg av fellingskjemikalier, prøvetaking, analyser etc.). Innkjøring av forsøksanlegget skulle foretas av Østlandskonsult og NIVA skulle bidra med råd og veiledning. Østlandskonsult skulle også svare for den daglige drift av anlegget (tilførsel av kloakkvann, stell og vedlikehold etc.).
3. NIVA skulle være ansvarlig for rapportering av forsøksresultatene og foreta de nødvendige vurderinger for at resultatene kunne benyttes ved utformingen av rensenanlegget.

### 1.2 Generell orientering

Det planlagte interkommunale kloakkrenseanlegg for Hamarregionen er et samarbeidsprosjekt mellom kommunene Hamar, Løten, Ringsaker, Stange og Vang. Anlegget skal være fullt utbygget for mekanisk-kjemisk

rensing innen 31. desember 1977. Dimensjonerende belastning er 62 000 personekvivalenter. Anlegget skal senere kunne utvides til biologisk-kjemisk rensing. Det rensede avløpsvannet vil bli ledet ut i Mjøsa.

Hensikten med forsøksdriften har vært å skaffe til veie informasjon om hvilke renseeffekter som kan oppnås med mekanisk-kjemisk rensing (s.k. sekundærfelling) og med biologisk-kjemisk rensing (s.k. etterfelling) ved bruk av ulike fellingskjemikalier.

Så langt som mulig var hensikten også å få informasjon som vil være av verdi ved prosjekteringen av renseanlegget (valg av fellingskjemikalier, kjemikalieforbruk, slamproduksjon etc.).

### 1.3 Fremdrift

Forsøksprogrammet har vært delt i to perioder. I den første perioden ble forsøk med mekanisk-kjemisk rensing utført. Resultatene fra disse forsøk er presentert i delrapport 1. Denne rapport omhandler forsøk med biologisk-kjemisk rensing.

Nedenfor er angitt tidsrommet for driften med de forskjellige fellingskjemikalier, samt antall dager hver forsøksserie har vart.

<u>Fellingsmiddel</u>	<u>Tidsrom</u>	<u>Antall prøvedøgn</u>
Aluminiumsulfat	21-27/1-74	6
Kalk	30/1-6/2-74	6
Jern(II)sulfat + kalk	10-17/2-74	7

## 2. BESKRIVELSE AV FORSØKSANLEGGET - OPPLÉGG FOR FORSØKSDRIFTEN

### 2.1 Beliggenhet

Figur 2.1 viser en situasjonsplan for forsøksanlegget. På denne planen er hovedutløpsledningen for Hamar tegnet inn. Denne ledning munner ut i en utløpskum, og avløpsvannet ledes videre i en dykket ledning ut i Mjøsa.

Forsøksanlegget er plassert like ved utløpskummen. Avløpsvann fra hovedledningen pumpes over til forsøksanlegget ved hjelp av en pumpe som er senket ned i utløpskummen. Ved siden av anlegget er det plassert en mobil brakke, innredet som oppholdsrom med WC, dusj, oppvaskbenk, kjøleskap (for prøver) etc.

### 2.2 Teknisk beskrivelse av forsøksanlegget

Figur 2.2 gir en skjematisk fremstilling av forsøksanleggets oppbygning og den normale vannveien gjennom anlegget når dette drives som et biologisk-kjemisk anlegg (etterfellingsanlegg).

Anlegget består av følgende hovedkomponenter:

- To tanker for lagring av h.h.v. tilkjørt avløpsvann (se avsnitt 2.3) og avløpsvann pumpet fra hovedutløpsledningen.
- Rister for fjerning av større partikler, filler o.l.
- Overløpskasse med regulerbare V-overløp. Her kan de to avløpsvannstypene blandes i et ønsket forhold.
- Luftetank. Her blandes avløpsvannet med en bakteriekultur, kalt aktivt slam. Luft blåses inn i blandingen, og bakteriene i slammet bryter ned det organiske materiale i avløpsvannet til kulldioksyd og vann. Nedbrytningsprosessen er avhengig av tilgang på oksygen som skaffes ved innblåsing av luft. Denne blåses inn som fine bobler langs luftetankens ene langside. Luftinnblåsing tjener også til å holde det biologiske slammet i suspensjon.



- Sedimenteringstank for avskilling av aktivt slam (mellomsedimentering). Tilførselen av aktivt slam skjer sentralt via en sylindere. Sylinderen er teleskopisk slik at en kan regulere utslippsdybden i sedimenteringstanken. Ved en oppadrettet vertikal strømming skilles så slammet fra vannet, og det rensede vann ledes via overløpsrenner videre til flokkuleringsenheten mens slammet sedimenterer. Det sedimenterte slam pumpes kontinuerlig i retur til luftetanken (returslam).
- Flokkuleringsenhet. Denne består av et miksekammer hvor kjemikalier blandes med avløpsvannet ved hurtigomrøring, og tre flokkuleringskammer hvor det bygges opp fnokker under langsom omrøring.
- Sedimenteringstank for avskilling av fnokker fra kjemisk felling (sluttsedimentering). Sluttsedimenteringstanken er av samme type som mellomsedimenteringstanken. Fnokkene sedimenterer og danner slam på bunnen av tanken mens det rensede vannet via overløpsrenner ledes til utløp.
- Slamtanker. Ved nedbrytningen av det organiske materiale i avløpsvannet dannes nytt aktivt slam. Slam må derfor regelmessig avtappes. Ved uttappingen ble slammet samlet i en slamtank for volummåling, prøvetaking og eventuelle forsøk. Det fins en tilsvarende tank for tapping av kjemisk slam fra sluttsedimenteringstanken.
- Kjemikalietank. Herfra ble kjemikalieløsningen dosert med membranpumpe til flokkuleringsenheten.

I tabell 2.2 er det gitt de viktigste tekniske data for hovedkomponentene i anlegget.

Tabell 2.2 Tekniske data.

Anleggsdel	Volum $\text{m}^3$	Diameter m	Netto overflate $\text{m}^2$
Lagringstank	12		
Luftetank	2,55		
Sedimenteringstank, biologisk trinn	3,0		1,3
Miksekammer	0,050		
Flokkuleringskammer	3 x 0,125		
Sedimenteringstank, kjemisk trinn	3,5		1,4
Slamtank	0,135	0,4	

## 2.3 Drift av forsøksanlegget

### Tilførsel av avløpsvann

I delrapport 1, kapittel 2, er det gitt en vurdering av avløpsforholdene i tilknytningsområdet for det planlagte sentralanlegget.

Det ble her konkludert med at det valgte opplegg for blanding og tilførsel av avløpsvann til forsøksanlegget var akseptabelt. Opplegget er derfor beholdt uforandret i perioden med biologisk-kjemisk rensing.

Fra en tankbil er det blitt tilkjørt avløpsvann til den ene lagringstanken to ganger pr. dag - om morgenen (kl. 08) og om ettermiddagen (kl. 15). Avløpsvannet ble hentet fra følgende plasser:

- 34% fra Briskebyen, Hamar
- 22% fra Strandveien, Åker
- 44% fra Kjonerud, Stange.

Blandingen fra tankbilen utgjorde 50% av avløpsvannmengden inn på forsøksanlegget ved dagbelastning. Avløpsvann fra hovedledningen fra Hamar sentrum og Hamar Vest ble tilført den andre lagringstanken ved vippestyring fra denne. Vippene var innstilt slik at pumpen slo inn med korte mellomrom. Dermed ville konsentrasjonsvariasjonen i avløpsvannet fra lagringstanken svare noenlunde til variasjonen i hovedledningen.

De to avløpsvanntypene ble etter overløpskassen blandet i forholdet 1:1.

Om natten ble anlegget kjørt bare med avløpsvann fra hovedledningen (halv hydraulisk belastning), likeså ble det i helgene ikke tilkjørt vann. Den hydrauliske belastning på anlegget ble holdt under kontroll gjennom hyppige målinger og justeringer av vannføringen.

### Dosering av kjemikalier

Aluminiumsulfat (Bolider AVR) ble dosert som 10% løsning og kalk som 5% slurry. Både aluminiumsulfat og kalk ble tilsatt membradoseringspumpe (Prominent). Jern(II)sulfat ble dosert som 15% løsning og dosert med peristaltisk pumpe (Multifix).

Doseringen av de ulike kjemikalier skjedde uten større vanskeligheter. Det har imidlertid vært nødvendig med hyppig kontroll og justering av doseringsmengden.

### Prøvetaking

Det er benyttet samme type automatiske prøvetakere som beskrevet i delrapport 1. Foruten de to prøvetakerne ved innløp og utløp ble det nødvendig med en ny prøvetaker for det biologiske rensetrinnet. Denne ble montert ved utløpet fra mellomsedimenteringsbassenget.

Prøvetakerne slo inn hvert minutt ved dagbelastning og hvert annet minutt ved nattbelastning, dvs. proporsjonal prøvetaking.

Prøvetaking av slam ble utført i slamtankene. Det ble registrert hvor stort slamvolum som til enhver tid ble tappet både av biologisk overskuddslam og av kjemisk slam. Samtidig ble det tatt prøver av slammet for analysering.

## 2.4 Analyser

### Analyseprogram

På grunn av utvidelsen til biologisk-kjemisk rensing ble det nødvendig med et noe mer omfattende analyseprogram enn det som ble benyttet ved forsøkene med mekanisk-kjemisk rensing.

I tabell 2.4 er prøvetyper, analyseparametre m.m angitt.

Fra hver slamprøve på kjemisk slam under en forsøksserie ble et delvolum tatt av og slått sammen til en samleprøve.

Tabell 2.4 Analyseprogram

Analyseparameter	Analyses- sted	Vann, døgnpøver			Vann, stikkpøver		Slamprøver	
		Innløp Biol. renset	Biol.+ Kjem. renset	Lagertanker for råkloakk	Sedimenteringsbasseng Biologisk slam	Luft- Retur- Oversk.- tank slam	Slam- Bland- tank prøve	
pH	H	x	x	x	x	x		
Alkalitet	H	x	x					
Kjemisk oksygenforbruk	N	x	x					
Biokjemisk oksygen- forbruk	N	x	x					
Total fosfor	N	x	x					
Ortofosfat, ufiltrert prøve	H		x					
Ortofosfat, filtrert prøve	H	x	x					
Suspendert stoff	H	x	x					
Restmengde fellingmiddel	N		x					
<u>Slamanalyser:</u>								
Totalt tørrstoff	N, H					x	x	x
Total gløderest	N					x	x	x
Suspendert stoff	N					x	x	x
Gløderest - suspendert stoff	N					x	x	x
Tungmetaller	N							x
<u>Driftsparametre:</u>								
Temperatur	H			x				x
Siktedyp	H					x		x
Oksygenkonsentrasjon								x

N: Analyse utført ved NIVA's hovedlaboratorium, Oslo

H: " " " anlegget (Hamar)

### Betydningen av analyseparametrene

De ulike analyseparametrene kan tillegges følgende betydning:

#### Vann

- pH (surhetsgrad). For de fleste fellingskjemikalier fins det et definert pH-intervall hvor utfellingen av forurensningskomponentene er optimal.
- Alkalitet uttrykt som mekv/l gir et uttrykk for avløpsvannets innhold av hydrogenkarbonat. Hydrogenkarbonat svarer for den dominerende delen av bufferegenskapene til kommunalt avløpsvann.
- Kjemisk oksygenforbruk (KOF) uttrykt som mg O/l. KOF-tallet er et mål på avløpsvannets totale innhold av organisk materiale.
- Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) uttrykt som mg O/l. BOF-tallet er et mål på avløpsvannets innhold av biologisk nedbrytbart organisk materiale.
- Total fosfor (Tot. P) uttrykt som mg P/l. Total fosfor konsentrasjonen angir vannets totale innhold av fosforforbindelser (organisk bundet fosfor, polyfosfater, pyrofosfater og ortofosfater).
- Ortofosfat (Orto-P) uttrykt som mg P/l på filtrert prøve. Orto-P angir avløpsvannets innhold av uorganisk fosfor i løst form. Innholdet av orto-P i det rensede vann gir et godt bilde av hvor godt utfellingen av fosfor skjer. Total fosfor analysen viser derimot hvor godt hele prosessen (utfelling og avskilling) virker.
- Suspendert stoff (SS) uttrykt som mg/l er et mål på mengden suspendert materiale i vannet. SS i utløpsvannet viser hvor godt flokkulering og avskilling skjer i renseanlegget.
- Siktedypet i sedimenteringsbassenget gir ofte et godt bilde av renseprosessen. Jo bedre siktedyp, desto bedre rensing.

### Slam

- Totalt tørrstoff (TS) uttrykt som g TS/l angir den totale mengde suspenderte og løste stoffer i slammet. Parameteren er her brukt sammen med målt volum tappet slâm for å finne den totale slamproduksjon.
- Total gløderest (TSGR) uttrykt som g/l viser hvor stor andel av det totale tørrstoff som er av ikke-organisk karakter.
- Suspendert stoff (SS) uttrykt som g SS/l angir den totale mengde suspendert materiale i slammet. Ved biologiske renseanlegg er det vanlig å uttrykke slambelastning og slamproduksjonen med basis i suspendert materiale.
- Gløderest av suspendert stoff (SSGR) angir hvor stor andel av det, suspenderte materialet som er av ikke-organisk karakter. Forskjellen mellom SS og SSGR betegnes som flyktig suspendert stoff (FSS) og benyttes som et approksimativt mål for den aktive biomasse i slammet.
- Slamvolum uttrykt som ml/l angir hvor stort volum slammet i en slamvannblanding opptar etter sedimentering i 30 min. i et måleglass. Divideres slamvolumet med konsentrasjonen av suspendert stoff i prøven uttrykt som g/l fås slammets slamvolumindeks (SVI). Slamvolumindeks har dimensjonen ml/l og angir hvor stort volum 1 g suspendert stoff opptar etter sedimentering under ovennevnte betingelser.

### 3. RESULTATER FRA FORSØKSSERIENE

#### 3.1 Biologisk rensing

Etter en innkjøringsperiode på ca. tre uker ble forsøksdriften startet den 21/1 1974. Fram til forsøksdriftens slutt, den 20/2-74, ble det hver dag tatt døgnprøver på vann til og fra det biologiske rensaneanlegget. I de perioder det ble gjort forsøk med etterfelling, ble analyseprogrammet i tabell 2.4 fulgt. I tidsrommet mellom fellingsforsøkene ble døgnprøvene analysert på suspendert stoff og kjemisk oksygenforbruk. Under hele driftsperioden ble mengden av tappet biologisk overskudds-  
slam registrert og prøver tatt for tørrstoffbestemmelse. Det ble i hele perioden tatt stikkprøver for måling av slamkonsentrasjonen i luftetanken. Returslampumpingen ble regelmessig målt, og samtidig ble det tatt ut en prøve av slammet for analyse av slamkonsentrasjonen. Returslampumpingen var konstant  $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$  i hele driftsperioden.

#### Hydraulisk belastning

Tabell 3.1 gir en sammenstilling av de hydrauliske data i løpet av driftsperioden.

Tabell 3.1 Sammenstilling av hydrauliske data for det biologiske rensetrinnet.

	Hydraulisk belastning		Oppholdstid i luftetank		Oppholdstid i sed.tank		Overflatebelastn. i sedim. tank	
	$\text{m}^3/\text{h}$		h		h		m/h	
	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt
Maksimumsverdi	1,1	0,58	2,32	4,40	2,73	5,17	0,85	0,45
Middelverdi	1,07	0,54	2,38	4,72	2,80	5,55	0,82	0,42
Minimumsverdi	1,05	0,49	2,43	5,20	2,86	6,12	0,81	0,38

Tabellen viser at den hydrauliske belastning har variert lite for h.h.v. dag- og nattbelastning. Nominell oppholdstid i luftetanken har vært omkring 2,4 timer ved dagbelastning og 4,7 timer ved nattbelastning.

Regnet som middel over hele driftsperioden har oppholdstiden vært ca. 3,3 timer. Ved beregning av oppholdstiden er det ikke tatt hensyn til returslampumpingen.

Overflatebelastningen for sedimenteringstanken har vært 0,82 m/h og 0,42 m/h ved henholdsvis dag- og nattbelastning. Det er heller ikke her ved beregningen tatt hensyn til returslampumpingen.

### Resultater

Konsentrasjoner i inngående og utgående avløpsvann av suspendert stoff, og kjemisk oksygenforbruk i hele driftsperioden fremgår av figur 3.1.1. Biokjemisk oksygenforbruk er bare analysert i samband med etterfelling. Resultater fremgår av figurene 3.2.2, 3.3.2 og 3.4.2.

I de tre seriene med etterfelling er det biologiske trinnet fulgt nøye. Slambelastningen <sup>1)</sup> har under den første serien vært ca. 0,25 kg BOF<sub>7</sub>/kg SS,d og under de to andre ca. 0,15 kg BOF<sub>7</sub>/kg SS,d. Slamkonsentrasjonen i luftetank og i returslam samt tappede slammengder fremgår av figur 3.1.2.

- 
- 1) Slambelastning (F) er normalt den parameter som blir benyttet for å karakterisere belastningsforholdene ved biologiske rensprosesser. Den er definert som følger:

$$F = \frac{\text{Tilført mengde BOF pr. d\o g n}}{\text{Total mengde suspendert stoff i luftetanken}}$$

$$F = \frac{\text{kg BOF}_7/\text{d\o g n}}{\text{kg SS}} = \frac{Q \cdot \text{BOF}_{im}}{V \cdot \text{SS}}$$

$$Q = \text{Tilrenning m}^3/\text{d}$$

$$\text{BOF}_{im} = \text{Biokjemisk oksygenforbruk i innløpsvannet kg/m}^3.$$

$$V = \text{Luftetankens volum m}^3$$

$$\text{SS} = \text{Konsentrasjon av suspendert stoff i luftetank kg/m}^3.$$



Oksygenkonsentrasjonen i luftetanken ble målt regelmessig. Vanligvis lå konsentrasjonen innenfor området 2,0-5,0 mg O/l, men enkelte ganger ble konsentrasjoner helt ned til 0,5-1,0 mg O/l målt. Temperaturen i luftetanken var 6-8 °C.

#### Diskusjon av resultatene

I den første del av perioden har renseseffekten m.h.p.  $BOF_7$  vært forholdsvis lav, ca. 70-80%, tilsvarende konsentrasjoner i utløpsvannet av 14-74 mg O/l. Innholdet av suspendert stoff i utløpsvannet har også variert. Sannsynlig årsak til dette er at anleggets innkjøringsperiode var noe for kort. Et høyt innhold av organisk stoff i innløpsvannet i periodens begynnelse kan også ha vært en medvirkende årsak. Resten av perioden var renseseffekten 90-98% med tilsvarende utløpskonsentrasjoner på 2-7 mg O/l, hvilket må betegnes som et meget godt resultat.

Angis det organiske stoffet som kjemisk oksygenforbruk, KOF, så lå renseseffekten i området 80-85%. De høye KOF-tall den 27/1 og 8/2 var forårsaket av slamflukt. Slamflukten var i sin tur forårsaket av manglende slamtapping. Når en ser bort fra de første 6 prøvedøgn, var reduksjonen for suspendert stoff i det biologiske trinnet 94-97%, tilsvarende utløpskonsentrasjoner på 3-22 mg/l. Disse resultater må betegnes som meget gode, og de viser at slammet hadde gode flokkulerings- og avsettingsegenskaper.

Konsentrasjonen av biokjemisk syreforbrukende stoff i utløpsvannet synes å være uavhengig av konsentrasjonen i innløpsvannet. Når en derimot betrakter konsentrasjonen av kjemisk oksygenforbrukende materiale, synes det som om et høyere innhold i influenten også gir utslag i en forhøyet effluentkonsentrasjon.

Ved den biologiske rensingen steg avløpsvannets pH-verdi i gjennomsnitt 0,2 enheter. Alkaliteten var uforandret eller sank med høyst 0,3 mekv/l. Reduksjonen av total fosfor i det biologiske trinnet var som ventet lav, 15-40%. Ved den biologiske rensing skjedde det en hydrolyse av organisk bunden fosfor. I innløpsvannet var ca. 70% av fosfor i form av ortofosfat mens praktisk talt alt fosfor forelå som ortofosfat i utløpsvannet. Ortofosfat konsentrasjonen ble derfor ofte høyere i utløpsvannet enn i innløpsvannet.

Det kan konkluderes med at det biologiske trinnet har virket meget bra, og at det ikke merkbart er blitt påvirket av de vanlige konsentrasjons- og pH-svingningene i avløpsvannet. Det synes ikke som om det skulle by på noen problemer å rense dette avløpsvannet biologisk.

### 3.2 Resultater fra etterfelling med aluminiumsulfat

Denne forsøksserie har bestått av i alt 6 prøvedøgn, nummerert som følger:

<u>Prøvedøgn nr.</u>	<u>Tidsrom</u>			
1	man/tirs 21-22/1-74	kl. 09	-	09
2	tirs/ons 22-23/1-74	"	"	"
3	ons/tors 23-24/1-74	"	"	"
4	tors/fre 24-25/1-74	"	"	"
5	fre/lør 25-26/1-74	"	"	"
6	lør/søn 26-27/1-74	"	"	"

Som fellingsmiddel ble det benyttet teknisk aluminiumsulfat, granulat av type AVR fra Boliden AB i Sverige.

#### Hydraulisk belastning

Tabell 3.2.1 gir en sammenfatning av de hydrauliske belastninger under forsøksperioden. Dag- og nattbelastningene er behandlet hver for seg. Sammenlikner en med tabell 4.1.1 idelrapport 1, ser en at den hydrauliske belastning har vært praktisk talt lik ved henholdsvis sekundærfelling og etterfelling med aluminiumsulfat.

Tabell 3.2.1 Sammenstilling av hydraulisk belastning for det kjemiske rensetrinnet ved etterfelling med aluminiumsulfat.

	Hydraulisk belastning		Oppholdstid i flokkulering		Oppholdstid i sluttsed.bass.		Overflatebelastn. i sluttsed.bass.	
	m <sup>3</sup> /h		h		h		m/h	
	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt
Maksimumsverdi	1,08	0,55	0,36	0,72	3,33	6,73	0,77	0,39
Middelvei	1,06	0,53	0,35	0,71	3,30	6,60	0,76	0,38
Minimumsverdi	1,05	0,52	0,35	0,68	3,24	6,36	0,75	0,37

## Resultater

Tabell 3.2.2 gir en oversikt over benyttede doseringsmengder og de viktigste analyseresultater fra forsøksserien. Renseeffektene er beregnet separat for det biologiske trinnet og for hele renseprosessen. Analyseresultater for KOF, BOF, total fosfor og suspendert stoff er også vist i histogram, figur 3.2.1 - 3.2.4.

Tabell 3.2.2 Oversikt over renseeffekter og doseringsmengder ved etterfelling med aluminiumsulfat.

Prøve- døgn nr.	KOF (mg O/l)					BOF <sub>7</sub> (mg O/l)					Tot. P (mg P/l)				Dosering mg AVR/l		
	Inn- løp	Biol. renset	% red	Biol.+ kjem. renset	Total % red	Inn- løp	Biol. renset	% red	Biol.+ kjem. renset	Total % red	Inn- løp	Biol. renset	% red	Biol.+ kjem. renset	Total % red	Dag	Natt
1	516	80	84	57	89	303	74	76	25	92	7,1	5,3	25	2,9	59	169	142
2						152	35	77	8	95	5,5	4,5	18	0,8	85	215	185
3	225	161	28	21	91	176	51	71	5	97	5,9	5,1	14	0,3	95	196	132
4	223	70	69	23	90	93	20	78	4	96	5,1	3,7	27	0,38	93	175	166
5	286	59	79	21	93	138	20	86	<2	>98	5,2	3,6	31	0,31	94	150	122
6	202	47	77	19	91	64	14	78	3	95	5,0	3,5	30	0,32	94	145	116

pH og siktedyp i ettersedimenteringsbassenget ble målt flere ganger pr. dag. Med unntak av de to første prøvedøgn har pH-verdien variert mellom 6,2-6,6. Ved de to første prøvedøgn lå pH nær opp mot 7,0, og av tabell 3.2.2 ser en at for disse to døgn har total fosfor-reduksjonen vært dårlig. Siktedypet har ved normale driftsforhold ligget innenfor området 1,0-1,7 m.

### Diskusjon av resultatene

Reduksjonen av organisk materiale i det biologiske rensetrinnet har vært ca. 70-80% m.h.p. BOF<sub>7</sub> og KOF. Totalt har reduksjonen vært ca. 95-98% for BOF<sub>7</sub>, og noe lavere, 90-95%, for KOF. Det biologiske rensetrinnet gikk ikke helt tilfredsstillende under denne serien, men etter den kjemiske felling var den totale reduksjon av organisk materiale meget tilfredsstillende. BOF<sub>7</sub>-konsentrasjonen i effluenten har ligget i området 2-8 mg O/l, tilsvarende tall for KOF er 20-25 mg O/l.

Utfellingen av fosfor har vært tilfredsstillende med en totalreduksjon i området 90-95%. Utløpskonsentrasjonen har vært ca. 0,3-0,4 mg P/l. Konsentrasjonen av ortofosfat i effluenten har ved gunstig drift vært 0,03 mg P/l eller lavere.

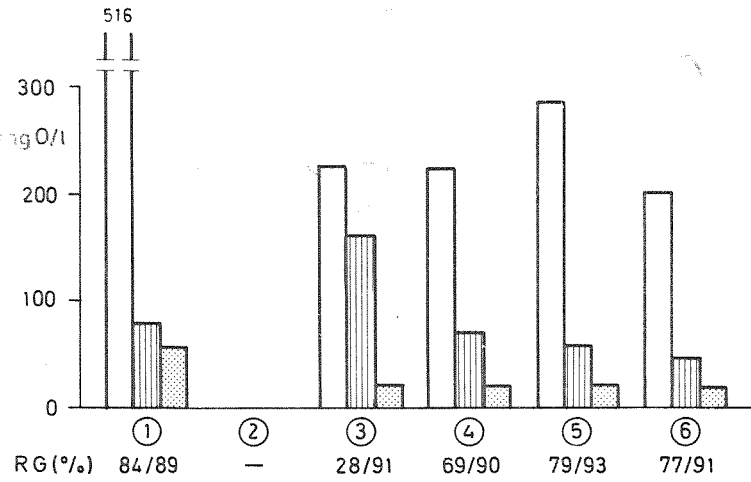


Fig.3.2.1 Kjemisk oksygenforbruk (KOF)

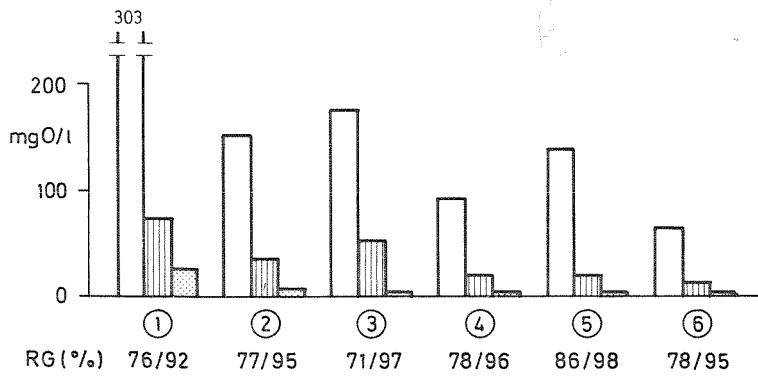


Fig.3.2.2 Biokjemisk oksygenforbruk (BOF<sub>7</sub>)

- Dögnpröve innlöp
- ▨ " " biologisk rensat
- ▤ " " biol.+kjem. rensat
- ① " " nr. 1

RG Rensegrad (biol./biol.+kjem.)

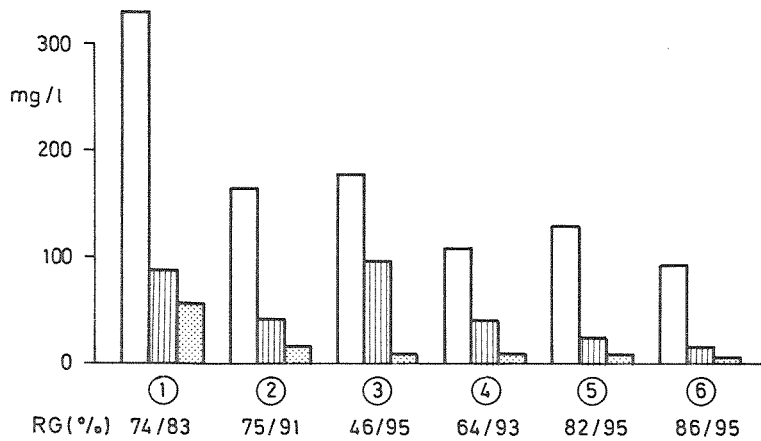


Fig.3.2.3 Suspenderst stoff (SS)

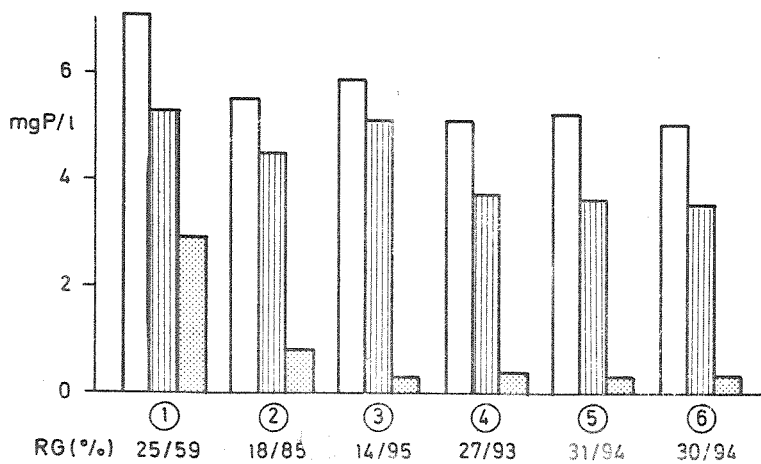


Fig.3.2.4 Total fosfor (Tot.P)

Reduksjonen av suspendert stoff har vært noe varierende for det biologiske trinnet, ca. 65-85%, mens totalreduksjonen har vært ca. 90-95% , med utløps-konsentrasjoner på 5-15 mg/l. Dosert mengde aluminiumsulfat har ved dagbelastning variert i området 140-200 mg AVR/l. Tilsvarende for natt-belastning har vært 120-180 mg AVR/l. De lave doseringene har gitt gode resultater slik at den "optimale" doseringsmengde vanskelig kan anslåes. Visuelle observasjoner og pH-målinger tydet imidlertid på at en dagdosering under 120-130 mg AVR/l ville gi noe dårligere driftsresultater. Nødvendig doseringsmengde anslåes derfor til 130 mg/l.

### 3.3 Resultater fra etterfelling med kalk

Forsøksserien har bestått av 7 prøvedøgn, nummerert som følger:

<u>Prøvedøgn nr.</u>	<u>Tidsrom</u>			
1	ons/tors	30-31/1-74	kl. 09	- 09
2	tors/fre	31/1-1/2-74	" "	"
3	fre/lør	1-2/2-74	" "	"
4	lør/søn	2-3/2-74	" "	"
5	søn/man	3-4/2-74	" "	"
6	man/tirs	4-5/2-74	" "	"
7	tirs/ons	5-6/2-74	" "	"

Som fellingsmiddel ble benyttet teknisk hydratkalk fra Steens kalkbrenneri.

#### Hydraulisk belastning

Tabell 3.3.1 gir en sammenstilling av de hydrauliske data over de 7 prøvedøgn. Den innbyrdes variasjon for dag- og nattbelastningene har vært ubetydelig, og middelveidene er tilnærmet de samme som ved fellingen med aluminiumsulfat.

Tabell 3.3.1 Sammenstilling av hydrauliske data for det kjemiske rensetrinnet ved etterfelling med kalk.

	Hydraulisk belastning		Oppholdstid i flokkulering		Oppholdstid i sluttsed.bass.		Overflatebelastn. sluttsed.bass.	
	m <sup>3</sup> /h		h		h		m/h	
	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt
Maksimumsverdi	1,11	0,58	0,35	0,77	3,27	7,14	0,79	0,41
Middelveidi	1,08	0,55	0,35	0,68	3,25	6,36	0,77	0,39
Minimumsverdi	1,07	0,47	0,34	0,65	3,15	6,03	0,76	0,35

## Resultater

Tabell 3.3.2 gir en oversikt over oppnådde renseeffekter for KOF, BOF<sub>7</sub> og total fosfor. De benyttede doseringsmengder er også angitt.

Analyseresultatene for KOF, BOF<sub>7</sub>, suspendert stoff og total fosfor er også vist i figurene 3.3.1-3.3.4.

Tabell 3.3.2 Oversikt over renseeffekter og doseringsmengder ved etterfelling med kalk.

Prøve- døgn nr.	KOF (mg O/l)				BOF <sub>7</sub> (mg O/l)				Tot. P (mg P/l)				Dosering mg kalk/l				
	Inn- løp	Biol. renset	% red kjem.	Biol.+ % red Total renset	Inn- løp	Biol. renset	% red kjem.	Biol.+ % red Total renset	Inn- løp	Biol. renset	% red kjem.	Biol.+ % red Total renset	Dag	Natt			
1	168	36	79	30	82	104	5	95	5	95	4,9	3,3	33	0,8	84	520	350
2	121	35	71	18	85	105	6	94	5	95	4,5	3,3	27	0,37	92	350	310
3	211	39	82	20	91	99	7	93	8	92	4,8	3,3	31	0,5	90	305	305
4	114	26	77	22	81	51	2	96	8	84	3,8	2,8	26	0,7	82	280	343
5	117	24	79	16	86	51	3	94	3	94	3,6	3,0	17	0,19	95	327	327
6	247	27	89	20	92	135	2	98	4	97	8,1	4,6	43	0,37	95	316	270
7	219	29	87	20	91	119	3	97	7	94	4,9	4,9	-	0,46	91	305	303

pH-verdien i sluttsedimenteringstanken lå normalt i området 11,5-11,8.

Siktedypet i sluttsedimenteringstanken varierte ved gunstig drift innenfor intervallet 1,5-2,5 m.

### Diskusjon av resultatene

Driftsforholdene har vært meget gode for det biologiske rensetrinnet i hele perioden, med en reduksjon i organisk materiale på 95-98% m.h.p. BOF<sub>7</sub>, og tilsvarende 77-87% m.h.p. KOF. Totalt har reduksjonen i BOF<sub>7</sub> vært ca. 95-97%, og for KOF ca. 82-92%. Det kjemiske etterfellingstrinnet har ikke bidratt med noen vesentlig reduksjon av organisk materiale, men dette har sin årsak i de lave konsentrasjoner i det biologisk rensede avløpsvann. BOF<sub>7</sub>-konsentrasjonen i effluenten har vært ca. 3-8 mg O/l, tilsvarende verdier for KOF er 16-22 mg O/l.

Reduksjonen av total fosfor har ligget i området 90-95% ved gunstig drift.

Konsentrasjonen av ortofosfat i effluenten har vært ca. 0,1 mg P/l.

Reduksjonen av suspendert stoff har vært ca. 92-98% for det biologiske rensetrinnet, mens totalreduksjonen har vært lavere, ca. 83-93%. Årsaken til dette var at små fnokker tross den lave overflatebelastningen ble ført med ut fra sedimenteringstanken.

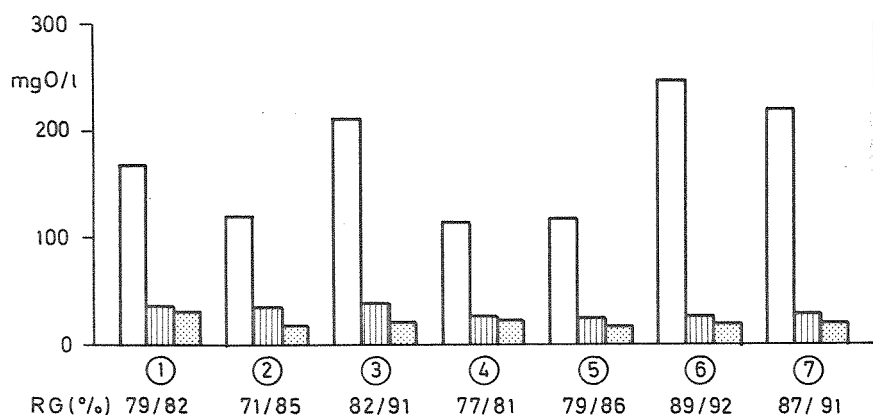


Fig. 3.3.1 Kjemisk oksygenforbruk (KOF)

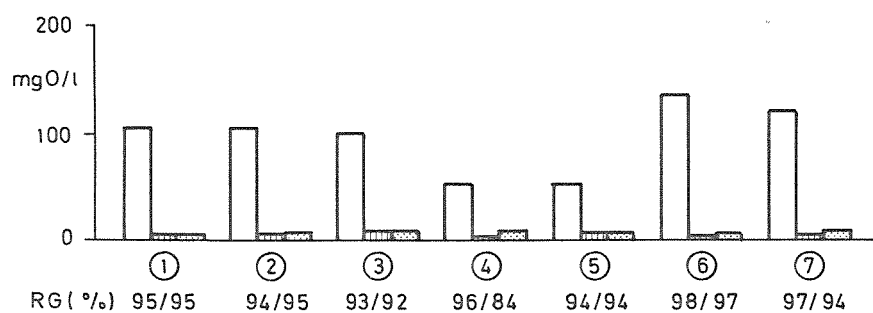


Fig. 3.3.2 Biokjemisk oksygenforbruk (BOF<sub>7</sub>)

□ Dögnpröve innlöp  
 ▨ — " — biologisk rensat  
 ▩ — " — biol.+kjem. rensat  
 ① — " — nr. 1  
 RG Rensegrad (biol./biol.+kjem.)

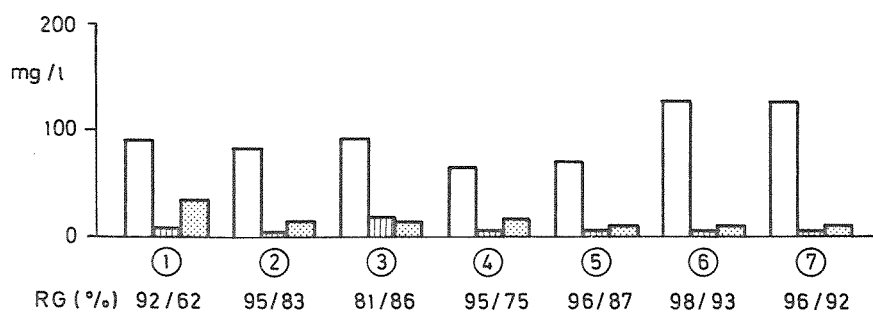


Fig. 3.3.3 Suspenderst stoff (SS)

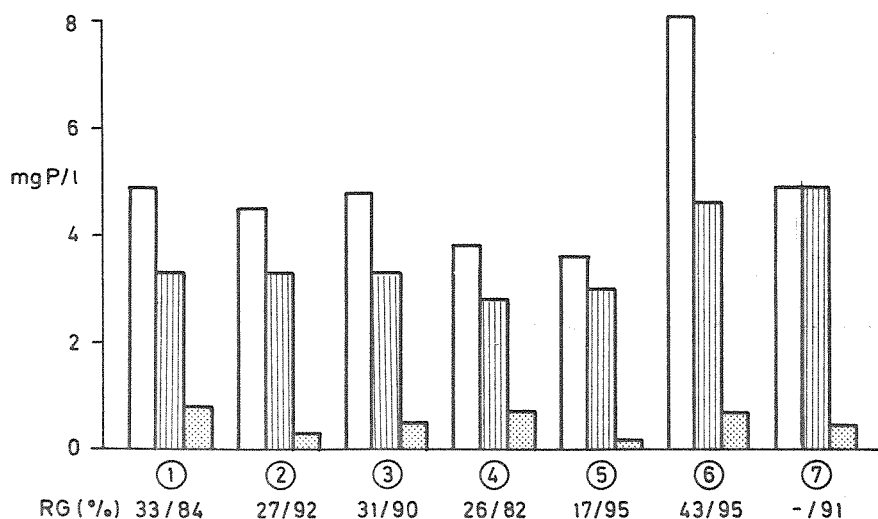


Fig. 3.3.4 Total fosfor (Tot.P)

Doseringsmengdene varierte ved dagbelastningen i området 300-500 mg kalk/l, og tilsvarende for nattbelastningen var 270-350 mg kalk/l. Ved dagbelastning synes omkring 325 mg kalk/l å gi tilfredsstillende resultater.

Det er anmerkningsverdig at siktedypet var så bra til tross for at konsentrasjonen av suspendert stoff var høyt sammenliknet med perioden med aluminiumsulfat felling.

### 3.4 Resultater fra etterfelling med jern(II)sulfat + kalk

Forsøksserien har bestått av 7 prøvedøgn, nummerert som følger:

<u>Prøvedøgn nr.</u>	<u>Tidsrom</u>			
1	søn/man	10-11/2-74	kl. 09	- 09
2	man/tirs	11-12/2-74	" "	"
3	tirs/ons	12-13/2-74	" "	"
4	ons/tors	13-14/2-74	" "	"
5	tors/fre	14-15/2-74	" "	"
6	fre/lør	15-16/2-74	" "	"
7	lør/søn	16-17/2-74	" "	"

Som fellingsmiddel ble benyttet jern(II)sulfat, avrent vare, fra Kronos Titan, sammen med kalk (Steens kalkbrenneri).

### Hydraulisk belastning

Tabell 3.4.1 viser variasjonsgrensene for den hydrauliske belastning over forsøksperioden. Den viser ubetydelige avvik fra de to forutgående forsøksserier.

Tabell 3.4.1 Sammenstilling av hydrauliske data for det kjemiske rensetrinnet ved etterfelling med jern(II)sulfat + kalk.

	Hydraulisk belastning		Oppholdstid i flokkulering		Oppholdstid i sluttsed.bass.		Overflatebelastn. sluttsedbass.	
	m <sup>3</sup> /h		h		h		m/h	
	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt
Maksimumsverdi	1,08	0,56	0,36	0,71	3,33	6,60	0,77	0,40
Middelverdi	1,07	0,54	0,35	0,70	3,27	6,48	0,76	0,38
Minimumsverdi	1,05	0,53	0,35	0,67	3,24	6,25	0,75	0,38



## Resultater

Tabell 3.4.2 gir en oversikt over oppnådde renseeffekter for KOF, BOF<sub>7</sub> og total fosfor. De benyttede doseringsmengder er også angitt.

Analyseresultatene for KOF, BOF<sub>7</sub>, suspendert stoff og total fosfor er vist i figurene 3.4.1 - 3.4.4.

Tabell 3.4.2 Oversikt over renseeffekter og doseringsmengder ved etterfelling med jern(II)sulfat + kalk.

Prøve- døgn nr.	KOF (mg O/l)					BOF <sub>7</sub> (mg O/l)					Tot. P (mg P/l)				Dosering				
	Inn- løp	Biol. renset	% red kjem.	Biol.+ Total renset	Total	Inn- løp	Biol. renset	% red kjem.	Biol.+ Total renset	Total	Inn- løp	Biol. renset	% red kjem.	Biol.+ Total renset	Total	Doseringsmengder			
																mg Fe/l	mg kalk/l	Dag	Natt
1	153	29	81	30	80	90	5	94	2	98	3,9	2,3	41	0,41	89	43	43	148	148
2	279	33	88	27	90	147	4	97	2	99	5,8	3,5	40	0,38	93	35	34	135	138
3	290	54	81	33	89	111	5	95	1	99	3,9	2,3	41	0,18	95	36	36	133	135
4	201	25	87	23	89	62	5	92	1	98	3,8	2,4	37	0,18	95	34	33	116	117
5	204	30	85	19	91	105	2	98	1	99	4,5	2,6	42	0,6	87	34	35	98	121
6	188	27	86	18	90	96	3	97	1	99	4,7	2,9	38	0,31	93	29	32	114	108
7	210	29	86	18	91	64	2	97	1	98	4,3	3,1	30	0,34	92	28	25	127	120

Doseringen av jern(II)sulfat er angitt som rent jern. Mengde teknisk vare er ca. 5,5 ggr større.

pH-verdien i ettersedimenteringstanken lå i området 8,8-9,5.

Siktedypet varierte ved gunstig drift innenfor området 1,0-1,4 m.

pH-verdien ved fellingen har under forsøksserien hovedsakelig vært mellom 8,9 og 9,3. Siktedypet har vært 90-140 cm.

## Diskusjon av resultatene

Reduksjonen av organisk materiale i det biologiske rensetrinnet har vært meget tilfredsstillende. Den har vært 85-87% for KOF, 94-97% for BOF<sub>7</sub>.

De tilsvarende totalreduksjoner har vært h.h.v. 89-91% og 98-99%.

BOF<sub>7</sub>-konsentrasjonen i effluenten har vært meget lav, 1-2 mg O/l.

Reduksjonen av total fosfor har ligget i området 92-95%. Konsentrasjonen av total fosfor i effluenten har ved gunstig drift vært lavere enn 0,4 mg P/l. Konsentrasjonen av ortofosfat har ligget under 0,2 mg P/l.

Reduksjonen av suspendert stoff i det biologiske trinnet har vært ca. 95% og noe lavere, 85-95%, etter biologisk-kjemisk rensing. Den samme effekt ble registrert ved etterfelling med kalk og skyldes at det i det kjemiske rensetrinnet dannes en viss andel små fnokker med dårlige sedimenterings-egenskaper. En dosering av ca. 30 mg Fe/l og ca. 120 mg kalk/l synes å være tilstrekkelig.

ETTERFELLING MED JERN(II)SULFAT OG KALK

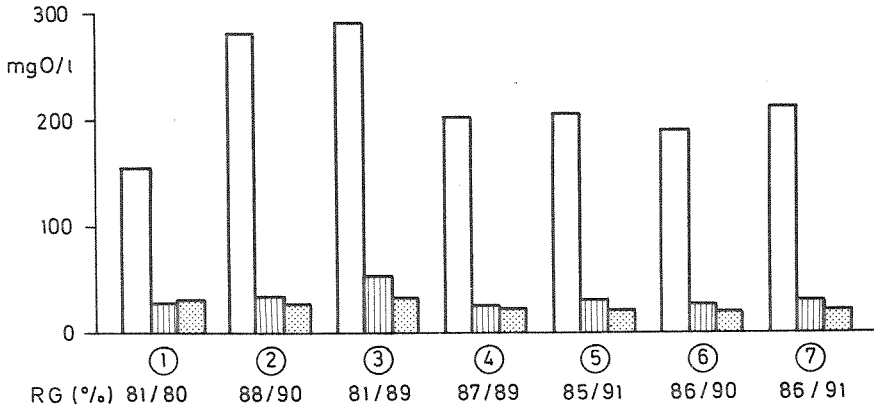


Fig. 3.4.1 Kjemisk oksygenforbruk (KOF)

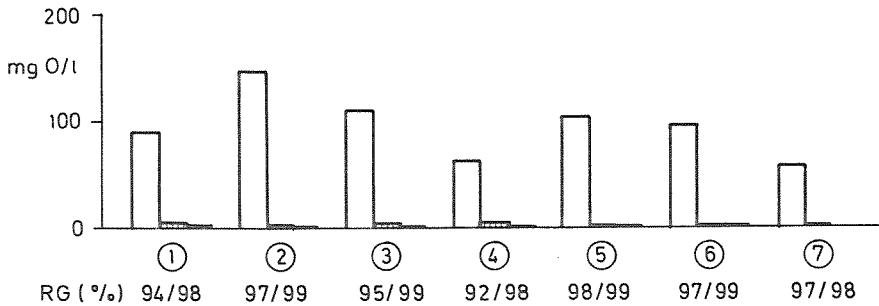


Fig. 3.4.2 Biokjemisk oksygenforbruk (BOF<sub>7</sub>)

Dögnpröve innlöp  
 " " biologisk rens  
 " " biol.+kjem. rens  
 " " nr. 1  
 RG Rensegrad (biol./biol.+kjem.)

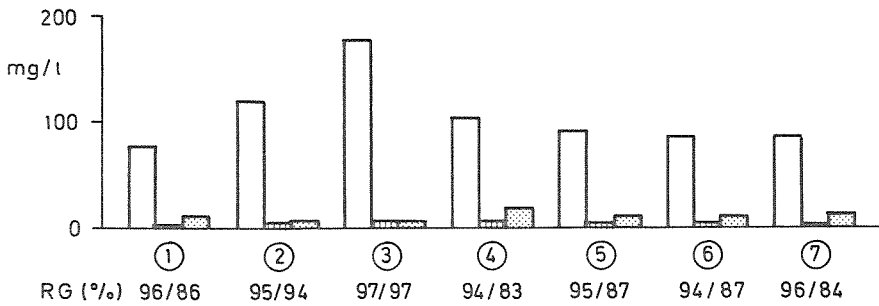


Fig. 3.4.3 Suspendert stoff (SS)

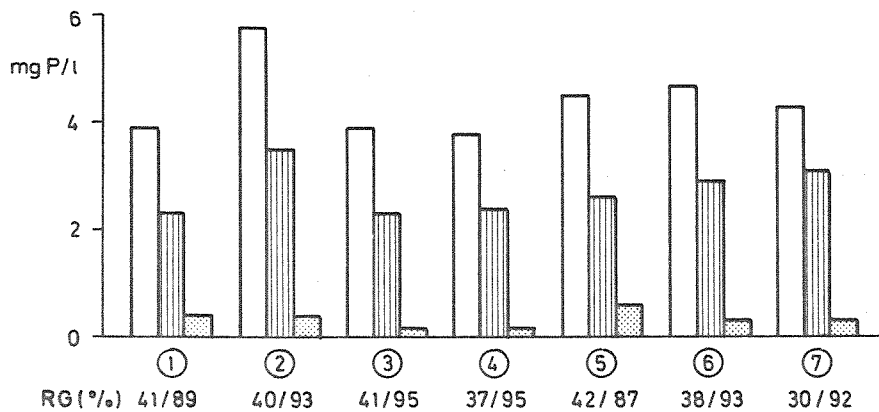


Fig. 3.4.4 Total fosfor (Tot.P)

### 3.5 Slamundersøkelser

#### Slamproduksjon

Produksjonen av biologisk overskuddsslam målt som suspendert stoff var i middel 1,5 kg SS/d. Som totalt tørrstoff er tilsvarende tall 1,6 kg TS/d, eller 82 g TS/m<sup>3</sup>.

Beregningen baserer seg på 27 prøvedøgn. I middel er det tappet 150 liter slam pr. døgn med midlere tørrstoffkonsentrasjon lik 1,1%. Mens det biologiske anlegget var i drift, opptrådte det slamflukt ved enkelte tilfeller. Hvis en tar dette med i beregningene og forutsetter at en normal midlere konsentrasjon av suspendert stoff i effluenten fra det biologiske trinnet er 20 mg/l, så blir den tilsvarende slamproduksjon 1,7 kg TS/d, eller 87 g TS/m<sup>3</sup>.

Produksjonen av biologisk slam er avhengig av slambelastning (høyere slambelastning gir høyere slamproduksjon), temperatur (høyere temperatur gir lavere slamproduksjon) og av mengde ikke nedbrytbart suspendert stoff i influenten til det biologiske trinnet. Den oppmålte slamproduksjon er noe høyere enn hva som av Hopwood, A.P. og Downing, A.L. (1965), men vel innen det normale variasjonsområdet.

I tabell 3.5.1. er det angitt middelveidier for slamvolum (liter) og slammengde (kg tørrstoff) tappet pr. døgn for kjemisk slam ved de tre forsøks-seriene med etterfelling.

Tabell 3.5.1 Middelveidier for slamvolum, slamproduksjon og slamkonsentrasjon for kjemisk slam.

	Al- felling	Kalk- felling	Fe(II) + kalk- felling
Slamvolum, l/d (l/døgn)	202	154	174
Slammengde, kg TS/d	1,72	6,53	2,66
Slammengde g TS/m <sup>3</sup> avløpsvann	90	348	148
Slamkonsentrasjon (% tørrstoff)	0,85	4,23	1,53
Antall døgn	6	7	7

Verdiene i tabell 3.5.1 forutsetter at det ikke har vært noen forandring av mengden slam i anlegget. Eventuelle forandringer vil dog ha forholdsvis liten betydning fordi slamproduksjonen er målt over 6-7 døgn.

Etter etterfelling vil produksjonen av kjemisk slam være lavere enn ved sekundærfelling. Dette har sin naturlige årsak i at avløpsvannet inn til det kjemiske trinnet har lavt innhold av utfellbart løst og suspendert materiale. Fellingsproduktene alene vil derfor utgjøre den dominerende del av tørrstoffet i slammet.

Den registrerte slamproduksjon,  $90 \text{ g TS/m}^3$ , ved felling med aluminiumsulfat er altfor høy. Dette kommer av at effluenten fra det biologiske trinnet i denne periode hadde et høyt innhold av suspendert stoff som ble utfelt i fellingstrinnet. Hvis en hadde hatt samme kvalitet på effluenten fra det biologiske trinnet som i periodene med kalk og jern + kalk felling, ville slamproduksjonen ha blitt redusert til ca.  $45 \text{ g/m}^3$ . Slamproduksjon ved felling med aluminiumsulfat stemmer godt med teoretiske beregninger.

Slamproduksjonen, korrigert i henhold til ovenforstående diskusjon er sammenstilt i tabell 3.5.2.

Tabell 3.5.2 Slamproduksjon - korrigerte verdier.

Slamtype	Slamproduksjon og $\text{TS/m}^3$ avløpsvann
Biologisk overskuddsslam	87
Slam fra felling med	
Aluminiumsulfat	45
Kalk	348
Jernsulfat + kalk	148

Slamproduksjonen ved felling med kalk og ved felling med jern(II)sulfat + kalk er høyere enn ved felling med aluminiumsulfat. Resultatene her er i god overensstemmelse med resultatene fra forsøkene med mekanisk-kjemisk rensing. Slamproduksjon er større enn hva som kan forklares teoretisk. Dette kan indikere at fellingskjemikaliene utnyttes dårlig. En kan f.eks. tenke seg at en del av den doserte kalksupensasjonen aldri blir oppløst i avløpsvannet, men sedimenterer direkte og danner slam. Denne hypotese styrkes av det forhold at kalkforbruket både ved felling med jern(II)sulfat + kalk og med kalk alene er større enn teoretisk beregnet.

Det avløpsvann som er tilført forsøksanlegget tilsvarer nærmest mekanisk rensset avløpsvann. Hvis en antar at slamproduksjonen i det mekaniske trinnet er 100-150 g TS/m<sup>3</sup>, så skulle den totale slamproduksjon med mekanisk-biologisk-kjemisk rensing bli 230-280 g/m<sup>3</sup> ved bruk av aluminiumsulfat, 530-580 g/m<sup>3</sup> ved bruk av kalk og 330-380 g/m<sup>3</sup> ved bruk av jern(II)sulfat + kalk som fellingsmiddel.

#### Fortykkingsforsøk

Med det kjemiske slam ble det utført enkle fortykkingsforsøk i den tidligere beskrevne slamtanken (se figur 2.2). Tanken er sirkulær med indre diameter 40 cm og netto volum 135 liter. Effektiv høyde er 114 cm. Ved forsøkene fikk slammet sedimentere i slamtanken i ca. ett døgn. Tappingen til tanken foregikk så raskt at turbulensen ved oppfyllingen av tanken var tilstrekkelig til å oppnå god blanding av slammet. Ved forsøkets begynnelse ble det tatt ut en prøve av slammet, og tørrstoffinnholdet ble målt. Ved forsøkets slutt ble ca. 10 l slam tappet fra bunn av tanken og tørrstoffinnholdet målt for det fortykkede slammet i bunnen av tanken. Resultatene er vist i tabell 3.5.3.

Tabell 3.5.3 Oppnådd fortykking etter ca. ett døgn for kjemisk slam.

Slamtype	% TS ved start	Varighet (timer)	% TS ved slutt
Al-felt	0,9	23	1,5
"	1,0	21½	1,7
"	1,0	21½	1,5
Kalk-felt	6,0	23	11,7
"	7,0	24	13,8
Fe(II) + kalk-felt	1,6	23	2,3
" "	1,7	24	2,5

Sammenliknes resultatene med de tilsvarende fra forsøkene med sekundærfelling (se tabell 4.7.3, delrapport 1), finner man at samme tendens gjør seg gjeldende:

- Al-felt slam synes vanskelig å fortykke til et tørrstoffinnhold over 1,5-2,0%.
- Kalk-felt slam har gode fortykkingssegenskaper. Spesielt synes dette å være tilfellet ved etterfelling hvor innholdet av organisk materiale er lavt.
- Slam for felling med jern + kalk har noe bedre fortykkingssegenskaper enn Al-slam, men kan ikke måle seg med rent kalk-felt slam.

#### Resultater fra tungmetallanalyser

For hver forsøksserie med etterfelling ble det tatt ut en blandprøve av det kjemiske slammet. Denne prøve ble så analysert for følgende metaller: Kobber, nikkel, sink, bly, kadmium og krom. Resultatene er gitt i tabell 3.5.4.

Tabell 3.5.4 Resultater fra metallanalyser for kjemisk slam.

Slamtype	Kobber mg Cu/ kg TS	Nikkel mg Ni/ kg TS	Sink mg Zn/ kg TS	Bly mg Pb/ kg TS	Krom mg Cr/ kg TS	Kadmium mg Cd/ kg TS
Al-felt	350	290	230	120	230	23
Kalk-felt	38	71	100	24	43	4
Fe(II) + kalk-felt	80	170	290	67	130	13

Tabell 3.5.5 antyder hvilke mengder av metaller som er fjernet fra avløpsvannet i etterfellingstrinnet.

Tabell 3.5.5 Utfelt mengde metaller fra avløpsvannet i etterfellingstrinnet.

Fellingskjemikalier	Utfelt mengde metall µg/l					
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr	Cd
Al-sulfat	31	26	21	10	21	2
Kalk	13	25	35	8,3	15	1,4
Fe(II) + kalk	12	25	42	9,9	20	1,9

Sammenliknes disse resultater med tilsvarende resultater fra sekundærfellingsforsøkene (se tabell 4.7.5, delrapport 1), går det fram at utfelte mengder metaller i etterfellingstrinnet har vært gjennomgående lavere. Årsaken til dette torde være at det har skjedd en viss fjerning i det biologiske rensetrinnet.

#### 4. VURDERING AV OPPNÅDDE RESULTATER

##### 4.1 Forsøksresultatenes representativitet

Teknisk har forsøksanlegget virket godt i hele perioden. Det har vært ubetydelig driftstans som kunne influere på forsøksresultatene. De klimatiske forhold har variert. Det har vært perioder med nedbør, og mildvær forårsaket en del snøsmelting. Dette synes ikke å ha påvirket middelkonsentrasjonene i innkommende avløpsvann ved de tre forsøksserier nevneverdig. Konsentrasjonene har variert en del fra dag til dag, noe som også ble registrert under forsøkene med mekanisk-kjemisk rensing. Ved disse forsøk var imidlertid værforholdene stabile med ubetydelig nedbør. I tabell 4.1 er den gjennomsnittlige sammensetning av avløpsvannet med hensyn på de viktigste komponenter sammenstilt.

Tabell 4.1 Gjennomsnittlig sammensetning av innkommende avløpsvann under forsøksseriene.

	KOF	BOF <sub>7</sub>	Total fosfor	Alkalitet
	mg O/l	mg O/l	mg P/l	mekv/l
Hele forsøksperioden (20 prøvedøgn)	220	113	4,7	2,6
Etterfelling med Al-sulfat (6 prøvedøgn)	290	154	5,6	2,6
Etterfelling med kalk (7 prøvedøgn)	171	95	4,9	2,6
Etterfelling med Fe(II) + kalk (7 prøvedøgn)	218	96	4,4	2,6

Tabellen viser at den gjennomsnittlige sammensetning av innkommende avløpsvann, unntatt innhold av organisk stoff, ikke viser større avvik enn at det finnes forutsetninger for en sammenlikning av de ulike forsøksperioder.

Alkaliteten, som ved forsøkene med mekanisk-kjemisk rensing viste seg å ha avgjørende betydning for den nødvendige kjemikaliedosering, er lik i de tre forsøksseriene.



#### 4.2 Renseresultater

I tabell 4.2 er det gitt en sammenstilling over oppnådde totale rense-effekter for noen av de viktigste forurensningsparametre. De tilsvarende utløpskonsentrasjoner er også angitt.

Tabell 4.2 Sammenstilling av oppnådde renseeffekter ved de tre forsøksserier med etterfelling. Utløpskonsentrasjon og reduksjon i prosent.

	KOF		BOF <sub>7</sub>		Total fosfor		Suspendert stoff	
	mg O/l	% red	mg O/l	% red	mg P/l	% red	mg/l	% red
Etterfelling m/Al-sulfat	19-23	90-95	3- 8	95-98	0,3-0,4	90-95	5-15	90-95
Etterfelling m/kalk	16-22	82-92	3- 8	95-97	0,2-0,5	90-95	10-15	83-93
Etterfelling m/Fe(II)+kalk	20-30	89-91	1- 2	98-99	0,3-0,4	92-95	10-15	85-95

Resultatene tyder på at de benyttede fellingskjemikalier gir likeverdige renseresultater. Under forsøksserien med aluminiumsulfat virket det biologiske trinnet ikke helt godt. Den totale renseeffekt for organisk materiale (KOF og BOF<sub>7</sub>) ble imidlertid tilfredsstillende, og dette viser at etterfelling i mange tilfeller kan gi god kvalitet på utløpsvannet, selv om det biologiske trinnet ikke virker helt etter hensikt. En skal huske at innløpsvannet til forsøksanlegget nærmest tilsvarer mekanisk rensed avløpsvann, hvilket betyr at angitte prosentuelle reduksjoner ikke inkluderer den rensing som skjer i det mekaniske trinnet.

Det visuelle inntrykket av det rensede avløpsvann var i samtlige forsøksperioder godt. Det beste siktedypet ble oppnådd ved felling med kalk.

Driften var med alle tre fellingskjemikalier stabil.

#### 4.3 Slammengder

Ved de tapperutiner som har vært benyttet ved forsøksdriften, har en fått størst volumer uttappet slam ved bruk av aluminiumsulfat som fellingsmiddel og minst ved kalk. Kalkslammet synes å ha så gode fortykkings-egenskaper at det i prinsipp skulle kunne pumpes direkte fra sedimenteringsbassengene til avvanningsutstyret. Av praktiske hensyn vil en sannsynligvis la dette slam gå via en fortykker. Slam fra aluminiumsulfatfelling og fra felling med to-verdig jern og kalk, synes å ha lave

synkehastigheter, og fortykkeren bør derfor dimensjoneres for en lav belastning. Fortykkingssegenskapene til kjemisk slam fra etterfelling synes å være omtrent lik for tilsvarende slam fra sekundærfelling. De fortykkerbelastninger som er antydnet for kjemisk slam fra sekundærfelling i delrapport 1, burde derfor også kunne brukes for kjemisk slam fra etterfelling.

Mengden kjemisk slam målt som tørrstoff ved etterfelling blir minst ved bruk av aluminiumsulfat som fellingsmiddel og størst ved bruk av kalk. De konsentrasjoner som kan oppnås ved fortykking, er imidlertid høyest ved kalk og lavest ved aluminiumsulfat som fellingsmiddel. Hvis en antar at konsentrasjonen etter fortykking er 1,5, 2,5 og 10% ved resp. aluminiumsulfat, jern(II)sulfat + kalk og kalk som fellingsmiddel, så blir de relative volumer kjemisk slam etter fortykking 1 : 2,0 : 1,2. Til det kjemiske slammet skal legges slammet fra de mekaniske og biologiske trinn. Når dette gjøres, blir de relative forskjeller i volum etter fortykking mindre, ca. 1 : 1,3 : 1,05. (Det er antatt at  $120 \text{ g/m}^3$  avløpsvann av mekanisk slam kan fortykkes til 5% TS, og  $87 \text{ g/m}^3$  av biologisk slam kan fortykkes til 2% TS.)

Hvis en antar at det blandede mekanisk-biologisk-kjemiske slammet kan avvannes til 18% TS ved bruk av aluminiumsulfat og jern(II)sulfat + kalk som fellingsmiddel, og til 25% ved bruk av kalk som fellingsmiddel, så blir mengden slam (vektmessig) som skal transporteres bort fra sentralrenseanlegget ca. 40% høyere ved bruk av jern(II)sulfat + kalk og ca. 60% høyere ved bruk av kalk enn ved bruk av aluminiumsulfat som fellingsmiddel. Volumvekten på de ulike avvannede slamtyper vil sannsynligvis være forholdsvis lik, hvorfor ovennevnte tall burde være omtrent riktige også for de volum-messige forskjeller.

#### 4.4 Kostnader

For beregning av kjemikaliekostnader benyttes samme beregningsgrunnlag som vist i avsnitt 5.5 i delrapport 1. I tabell 4.4 er kjemikaliepriser og kjemikaliekostnader pr.  $\text{m}^3$  avløpsvann angitt sammen med de doseringsmengder som er funnet nødvendige ut fra forsøksresultatene.

Tabell 4.4 Kostnader for fellingskjemikalier  
eksklusiv merverdiavgift.

Fellingsmiddel	Nødvendig dosering g/m <sup>3</sup>	Kjemikaliekostnad kr/tonn tekn.vare	Kjemikaliekostnad øre/m <sup>3</sup> avløpsvann
Al-sulfat	130	360	4,68
Kalk	325	190	6,17
Jern(II)sulfat	30	120 x)	)
+ kalk	120	190	) 4,27

x) Såkalt avrent vare med 18 vektspersent Fe.

Antas en midlere vannmengde gjennom sentralrenseanlegget på 20 000 m<sup>3</sup>/d blir kjemikaliekostnadene pr. år følgende:

Etterfelling med Al-sulfat	:	kr. 342 000
" " kalk	:	" 450 000
" " Fe(II) + kalk:	"	312 000.

Hvis en kan få ulesket kalk til samme pris per tonn som lesket, vil kjemikaliekostnadene ved felling med kalk bli omtrent de samme som ved felling med aluminiumsulfat. Kjemikaliekostnadene ved felling med jern(II)sulfat + kalk ville i et slikt tilfelle synke til ca. 3,7 øre/m<sup>3</sup>. Ved noen renseanlegg der en har brukt ulesket kalk er imidlertid erfaringene dårlige.

Ved etterfelling er forbruket av aluminiumsulfat vesentlig lavere enn ved sekundærfelling. Det er derfor ved etterfelling mindre muligheter å senke kjemikaliekostnadene ved å erstatte en del av aluminiumsulfaten med svovelsyre.

Ved felling med jern(II)sulfat + kalk og ved felling med kalk vil en få større slammengder å transportere bort. Hvis en gjør samme antakelser som i delrapport 1 (8 tonn slam/lass, transportkostnad 100 kr/lass) ville dette bety merkostnader på ca. 50 000 resp. ca. 70 000 m/år. Forbruket av

polymerer ved avvanningen er usikkert. Forskjeller her kan gi store utslag. En differanse i polymerforbruk på 1 kg/tonn TS vil ved de slam-mengder som en får ved felling med aluminiumsulfat, bety kostnadsdifferanser på ca. 50 000 kr/år. De tilgjengelige kostnader tyder på at aluminiumsulfat og jern(II)sulfat + kalk er omtrent likeverdige som fellingsmiddel fra økonomisk synspunkt og at kalk stiller seg noe kostbarere. Usikkerhet i slambehandlingskostnader og i fremtidige kjemikaliepriser gjør at disse forhold lett kan forandre seg.

#### 4.5 Øvrige faktorer

Noen øvrige faktorer som kjemikaliehåndtering, desinfisering og resipientforhold er behandlet i delrapport 1. Hva gjelder disse faktorer torde forholdet mellom ulike fellingsmidler ved etterfelling være omtrent de samme som ved sekundærfelling.

#### 4.6 Valg av fellingsmiddel ved etterfelling

De tre undersøkte fellingsmidler synes samtlige å kunne gi tilfredsstillende rensresultater og stabile driftsforhold. Kostnadene for kalk vil med dagens priser sannsynligvis bli noe høyere enn for de andre fellingsmidlene. Erfaringene med bruk av jern(II)sulfat + kalk som fellingsmiddel er imidlertid mindre enn for aluminiumsulfat og kalk. Ved våre forsøk har det dog ikke fremkommet noe som tyder på spesielle problemer ved bruk av jern(II)sulfat + kalk.

Etter opplysninger fra produsenten av jern(II)sulfat, Kronos-Titan A/S, vil det bli bygget et anlegg for fremstilling av granulert jern(II)sulfat som skal kunne håndteres på samme måte som aluminiumsulfat. Hvis prisen, regnet per kg Fe, blir uforandret, skulle dette innebære at jern(II)sulfat + kalk blir et fellingsmiddel på linje med aluminiumsulfat. Håndtering av to fellingskjemikalier vil dog medføre noe merarbeid og en noe lavere driftssikkerhet.

Kostnadsvurderingene har en betraktelig usikkerhet fordi alle kostnader i slambehandlingen ikke kan anslås og fordi prisene på kjemikalierne kan forandres. Vi anbefaler derfor at en planlegger doseringsutstyr på en slik måte at både aluminiumsulfat og jern(II)sulfat + kalk kan benyttes som

fellingsmiddel slik at en kan drive renseanlegget med det fellingsmiddel som til enhver tid er mest gunstig. Et slikt opplegg vil ikke utelukke at en også kan bruke kalk elene som fellingsmiddel, hvis dette senere skulle vise seg å være av interesse.

5. SAMMENSTILLING AV DRIFTSRESULTATENE FRA FORSØK MED  
MEKANISK-KJEMISK RENSING OG BIOLOGISK-KJEMISK RENSING

5.1 Generelt

I det følgende er det gitt en sammenstilling av driftsresultatene fra forsøksperioden med mekanisk-kjemisk rensing (s.k. sekundærfelling), beskrevet i delrapport 1, og fra forsøksperioden med biologisk-kjemisk rensing (s.k. etterfelling) som er beskrevet i det foregående.

Den første forsøksperioden bestod av fire serier hvor forskjellige fellingskjemikalier ble benyttet. Nedenfor er angitt tidsrommet for driften med de forskjellige fellingskjemikalier, samt antall dager hver forsøksserie har vart.

<u>Fellingsmiddel</u>	<u>Tidsrom</u>	<u>Antall prøvedøgn</u>
Aluminiumsulfat	7-16/9, 4-7/12-73	9 + 3
Kalk	4-12/11-73	8
Jern(III)klorid + kalk	29/10-4/11-73	6
Jern(II)sulfat + kalk	16-23/11-73	7

Jern(III)klorid + kalk er ikke blitt benyttet ved etterfellingforsøkene. Årsaken er at erfaringene fra den første driftsperioden tydet på at bruk av jern(III)klorid ikke gav nevneverdig bedre resultater enn jern(II)sulfat når disse doseres sammen med kalk. Jern(II)sulfat gir imidlertid betydelig lavere kjemikaliekostnader og er følgelig mer interessant.

Både ved forsøkene med mekanisk-kjemisk og med biologisk-kjemisk rensing har forsøksanlegget virket godt. Driftsrutinene har vært like i alle forsøksserier. Sammensetningen på avløpsvannet har vært forholdsvis lik (se tabell 5.1, delrapport 1, og tabell 4.1 denne rapport). Den hydrauliske belastning har vært nesten helt lik i alle forsøksseriene. Det burde derfor være forsvarlig å sammenslikne resultatene fra mekanisk-kjemisk og biologisk-kjemisk rensing.

## 5.2 Sammenlikning av renseeffekter

I tabell 5.2 er det vist oppnådde renseeffekter sammen med utløpskonsentrasjoner ved h.h.v. sekundærfelling og etterfelling.

Tabell 5.2 Sammenlignbare renseeffekter ved sekundærfelling og etterfelling.  
Utløpskonsentrasjon og reduksjon.

	KOF		BOF <sub>7</sub>		Total fosfor		Suspendert stoff	
	mg O/l	% red	mg O/l	% red	mg P/l	% red	mg/l	% red
Al-sulfat:								
Sekundærfelling	20-80	65-75	53-56	60-65	0,1-0,3	90-98	5-20	80-95
Etterfelling	19-23	90-95	3- 8	95-98	0,3-0,4	90-95	5-15	90-95
Kalk:								
Sekundærfelling	20-80	40-70	40-70	-	0,4-0,5	85-90	15-30	60-80
Etterfelling	16-22	82-92	3- 8	95-97	0,2-0,5	90-95	10-15	83-93
Fe(II) + kalk:								
Sekundærfelling	40-100	60-70	30-60	50-70	0,3-0,6	85-90	15-30	80-85
Etterfelling	20-30	89-91	1- 2	98-99	0,3-0,4	92-95	10-15	85-95

<sup>x</sup> Basert på del av forsøksserien.

Tabell 5.2 viser at etterfelling først og fremst betyr en forbedret rensing med hensyn på organisk materiale i forhold til sekundærfelling. Reduksjonen av fosfor ble tilnærmet den samme ved etterfelling som ved sekundærfelling.

Det en tydelig har kunnet merke seg ved forsøkene, er imidlertid at det har vært lettere å oppnå gode renseresultater ved etterfelling enn ved sekundærfelling. Den utjevning av variasjoner i avløpsvannets sammensetning og den rensing som skjer i det biologiske trinnet, synes å medføre at fellingsbetingelsene ikke trenger å kontrolleres like nøye ved etterfelling som ved sekundærfelling. Tydeligst merket en dette ved forsøkene med jern(II)sulfat og kalk som fellingsmiddel. Ved sekundærfelling fikk en her sterkt varierende renseeffekter mens en ved etterfelling hele tiden kunne opprettholde en høy renseeffekt.

Ett forhold som også bør noteres, er at etterfellingen ofte gir gode resultater også når det biologiske trinnet ikke virker helt godt. Det ble klart demonstrert i en av forsøksseriene (etterfelling med aluminiumsulfat). Dette forhold gir etterfelling et klart fortrinn fremfor andre kombinasjoner av biologisk-kjemisk rensing som forfelling og simultan-  
felling.

### 5.3 Kjemikaliekostnader

Ved etterfelling kunne en bruke lavere kjemikaliedoseringer enn ved sekundærfelling. I tabell 5.3 er kostnadene pr. m<sup>3</sup> avløpsvann sammenstilt.

Tabell 5.3 Kjemikaliekostnader ved sekundærfelling og etterfelling.

Fellingskjemikalie	Sekundærfelling	Etterfelling
	øre/m <sup>3</sup>	øre/m <sup>3</sup>
Al-sulfat	6,84	4,68
Kalk	8,93	6,17
Jern(II)sulfat+kalk	5,33	4,27

I tillegg til kjemikaliebesparelsene kan en regne med noe lavere kostnader for borttransport av slam ved etterfelling på grunn av lavere slamproduksjon. Denne gevinst vil dog være av ubetydelig størrelse, og andre faktorer som ikke har kunnet undersøkes her, kan ha større betydning.

### 5.4 Slamproduksjon

I tabell 5.4 er det gitt en oversikt over slamproduksjon ved sekundærfelling og etterfelling. Slamproduksjonen er gitt som gram tørrstoff pr. m<sup>3</sup> avløpsvann. For etterfellingen er produksjonen av biologisk overskuddsslam angitt spesielt. (87 g/m<sup>3</sup> avløpsvann i middel over perioden.)

Tabell 5.4 Slamproduksjon ved sekundærfelling og etterfelling.

Fellingsmiddel	Slamproduksjon x) g TS/m <sup>3</sup> avløpsvann	
	Sekundærfelling	Etterfelling
Al-sulfat	211	87 + 45 = 132
Kalk	466	87 + 348 = 435
Jern(II)sulfat+kalk	276	87 + 148 = 235

x) Til de angitt slamproduksjoner skal legges slam fra det mekaniske rensetrinnet, anslagsvis 100-150 g/m<sup>3</sup>.



Tabellen viser at slamproduksjonen totalt ikke er blitt større, men i stedet noe mindre ved biologisk-kjemisk rensing til tross for en høyere renseseffekt. Dette skyldes at organisk materiale brytes ned i det biologiske trinnet.

Referanse:

Hopwood, A.P. og Downing, A.L. (1965):  
Factors effecting the rate of production and properties of  
activated sludge in plants treating domestic sewage.  
J.Inst. Sew Purif 64, pp 435-448.

PBA/OFA/LJA

20.9.1974

Mekanisk-kjemisk rensing. Resultater fra fellingsforsøk med aluminiumsulfat.

Dato	Døgnprøver												Tilkjørt vann xx			Innløp xx						
	pH		SS mg/l		KOF mg O/l		BOF <sub>7</sub> mg F/l		Tot P mg P/l		PO <sub>4</sub> -P mg P/l		Alkalitet mekv/l		Dos <sup>x</sup>	Alkali- tet mekv/l	pH	PO <sub>4</sub> -P mg/l	Temp	pH		
	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Dag	Natt								
1973: 7-8/9	7,6	6,7	70	5	166	99		4,4	0,4	2,55	0,166		2,6	1,2	226							
8-9/9	7,4	6,5	49	3	73	22		2,9	0,12	1,61	0,005	0,53	2,3	0,35	237							
9-10/9	7,6	6,3	53	3,5	68	17		2,8	0,09	1,67	0	0,48	2,1	0,3	237							
10-11/9	7,25	6,7	106	7	178	47		4,6	0,11	2,5	0,005	0,52	2,5	0,9	200			3,3	7,6	3,33		
11-12/9	7,4	6,7	86	-	163	36		5,2	0,2	-	0	0,50	2,9	0,8	210			4,3	7,8	6,75	14	7,4
12-13/9	7,1	6,4	134	14,3	192	85		4,9	0,18	3,22	-	1,4	2,6	0,7	297			3,0	7,35	5,25	15,5	8,1
13-14/9	7,2	6,6	132	19	217	< 280		5,0	0,17	3,19	0	0,43	2,7	1,0	221			4,1	7,6	6,87	14	7,0
14-15/9	7,3	6,8	146	15	127	42		4,4	0,3	2,28	0,006	0,75	2,7	1,5	175			3,8	7,6	6,0	13,5	7,2
15-16/9	7,2	6,75	84	15	105	38		4,4	0,31	2,88	0,005	0,73	2,7	1,5	131			3,3	7,4	4,02	16,5	9,2
													2,5	1,5	91			3,9	7,7	4,27	14	7
													2,6	1,6	145			3,4	7,6	4,25	14,5	7
4-5/12	7,5	7,1	118	13	305	80	163	5,4	0,33	3,2	0,03		2,6	1,6	205			3,8	7,8	6,9	7	7,5
5-6/12	7,6	7,3	96	18	265	72	140	5,0	0,70		0,06		2,7	1,6	180			2,7	7,8	5,0	9	7,9
6-7/12	7,4	7,1	117	14	232	80	136	4,4	0,31		0,02		2,4	1,5	200			3,1	7,9	5,3	7,5	7,5
													2,4	1,5	136			2,5	7,5	4,3	9	9,5
													2,4	1,5	136			3,2	7,8	6,3	7	7,4
													2,4	1,5	136			2,3	7,7	4,4	9	8,1

x Doseringen er angitt som mg/l aluminiumsulfat, teknisk vare.

xx Øvre tall gjelder formiddagen ca. kl. 9.00.  
Nedre tall gjelder ettermiddagen ca. kl. 15.00.

Mekanisk-kjemisk rensing. Resultater fra fellingsforsøk med kalk.

Dato	Døgnprøver												Tilkjørt vann			Innløp xx stikkprøver									
	pH		SS mg/l		KOF mg O/l		BOF <sub>7</sub> mg P/l		Tot P mg P/l		PO <sub>4</sub> -P mg P/l		Ca mg Ca/l		Alkalitet mekv/l		Dos <sup>x</sup> Dag	Natt	Alkali- tet mekv/l	pH	PO <sub>4</sub> -P mg/l	Temp	pH		
	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn									Ut	xxx
1973: 4-5/10	7,3	11,25	98	22	88	56	52	4,6	0,47	2,64	0,063	0,295	2,7	6,2	479	437	3,9	8,1	5	15	7,6				
5-6/10	7,25	11,2	-	29	258	147	> 90	4,8	1,4	3	0,05	1,2	3	7,3	388	319	4,2	7,8	3,9	13	7,35				
6-7/10	7,5	11,25	92	19	87	51	44	4,2	0,42	3	0,03	0,21	3	5,6	496	402	3,4	7,3	6,2	14	8,9				
7-8/10	7,4	11,4	53	17	91	29	28	2,8	0,44	2,04	0,03	0,2	2,4	7,0	442	521	4,0	7,7	5,7	13	7,45				
8-9/10	7,5	11,45	106	23	121	34	50	5,2	0,47	3,5	0,03	0,24	2,9	4,5	524	460	4,3	7,85	6,3	12,5	7,35				
9-10/10	7,6	11,55	122	27	103	39	64	4,3	0,42	3,0	0,126	0,2	2,9	5,8	511	443	3,1	7,55	5,4	14	7,6				
10-11/10	7,5	11,6	90	32	126	47	53	4,0	0,51	2,85	0,058	0,25	2,6	6,7	526	464	4,9	7,6	5,5	14	9				
11-12/10	7,45	11,4	102	40	189	71	84	4,9	1,8	3,8	0,103	0,81	3	7,0	422	300	3,2	8,0	6,6	11	7,8				
																				9	11	12,3			
																				5,3	12,3	8,1			
																				7,75	9	11	7,8		
																				7,50	4,85	13	8,65		

x Doseringen er angitt som mg/l lesket kalk, teknisk vare.

xx Øvre tall gjelder formiddagen ca. kl. 9.00.

Nedre tall gjelder ettermiddagen ca. kl. 15.00.

xxx Øvre tall angir alkaliteten ved titrering til pH 8,3

Nedre tall angir alkaliteten ved titrering til pH 4,5.

Dato	Døgnprøver												Tilkjøpt vann xx			Innløp xx slikkeprøver						
	pH		SS mg/l		KOF mg O/l		BOF <sub>7</sub> mg P/l		Tot P mg P/l		PO <sub>4</sub> -P mg P/l		Alkalitet mekv/l		Dos <sup>x</sup> Dag		Natt	Alkali- tet mekv/l	pH	PO <sub>4</sub> -P mg/l	Terp	pH
	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut								
1973: 25-26/10	7,55	7,2	186	21	344	82		5,8	0,6	3,48	0,015		0,367	3,3	1,8	60	55	4,3	8,0	7,15	12,5	7,6
26-27/10	7,3	6,8	140	64	224	84		5,7	1,8	3,33	0,067		1,19	2,8	1,4	77	76	4,5	8,8	4,5	11	9,2
																		4,4	8,2	5,8	11	7,4
																		3,7	7,9	6,45	10,5	8,7

x Doseringen er angitt som mg Fe/l.

xx Øvre tall gjelder formiddagen ca. kl. 9.00  
Nedre tall gjelder ettermiddagen ca. kl. 15.00.

Mekanisk-kjemisk rensing. Resultater fra fellingsforsøk med jern(III)klorid + kalk.

Dato	Døgnprøver														Tilkjørt vann xx			Innløp xx			
	pH		SS mg/l		KOF mg O/l		BOF <sub>7</sub> mg P/l		Tot P mg P/l		PO <sub>4</sub> -P mg P/l		Alkalitet mekv/l		Dos <sup>x</sup>	Alkali- tet mekv/l	pH	PO <sub>4</sub> -P mg/l	Terp	pH	
	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Dag	Natt							
1973: 29-30/10	7,5	9,3	153	41,5	231	113	94	5,5	1,6	3,65	0,436	4,2	0,832	3,2	4,2	30	31	7,8	7,5	7,7	8,8
30-31/10	7,5	8,8	118	22	193	77	36	5,8	0,7	3,77	0,018	1,1	0,086	3,1	3,3	138	130	7,4	5,46	8,5	8,5
31/10-1/11	7,3	8,0	213	28	409	148	112	6,6	0,7	4,2	0,08	1,5	0,15	2,9	3,4	138	107	7,1	7,8	10,5	7,9
1-2/11	7,5	8,9	103	15	172	69	34	5,1	0,34	2,9	0,003	1,7		2,7	3,0	45	37	7,8	9,0	10,5	7,6
2-3/11	7,3	8,9	115	19	182	75	40	5,3	0,6	3,1	0,05	1,0		2,7	3,4	132	22	7,9	4,4	11,5	9,1
3-4/11	7,5	8,9	135	22	223	76	43	5,6	0,7	3,5	0,12	0,8		2,8	3,3	29	26	7,7	4,9	11	8,5
																123	119	7,3	10	10,5	7,2

x Øvre tall angir dosering av jern(III)klorid som mg Fe/l.  
Nedre tall angir dosering av lesket kalk, teknisk vare i mg/l.

xx Øvre tall gjelder formiddagen ca. kl. 9.00.  
Nedre tall gjelder ettermiddagen ca. kl. 15.00.

Dato	Løgnprøver												Tilkjørt vann xx			Innløp xx						
	pH		SS mg/l		KOF mg O/l		BOF <sub>7</sub> mg P/l		Tot P mg P/l		PO <sub>4</sub> -P filter mg P/l		Fe mg Fe/l		PO <sub>4</sub> -P mg P/l		Alkalitet mekv/l		Alkali- tet mekv/l	pH	Terp	pH
	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut				
1973: 16-17/11	7,7	9,4	164	31	310	177	77	5,7	1,3	2,8	0,5	3,2	0,8	3,0	3,8	47	49	4,0	7,8	6,1	9	7,8
																125	102	3,5	7,7	6,1	10	9,0
17-18/11	7,7	9,1	97	16	131	78	34	4,1	0,6	2,32	0,143	2,3	0,35	2,4	2,8	50,5	47,5	3,0	7,8	5,3	8,5	7,5
																137	105					
18-19/11	7,6	9,2	65	8	90	61	17	3,8	0,27	2,28	0,04	1,1	0,11	2,4	2,9	36	36					
																115	115					
19-20/11	7,3	9,2	210	30	270	139	64	4,9	1,1		0,11	5,1	0,56	2,2	3,2	41	35	3,8	7,6	6,8	8,5	8,4
																120	120				10,5	8,8
20-21/11	7,6	9,3	143	13	244	137	38	5,0	0,46	2,58	0,06	2,1	0,2	2,8	3,0	47	40	3,5	8	5,8	9	7,7
																149	122	3,1	7,4	6,3	10,5	9
21-22/11	7,6	9,3	134	17	255	132	62	5,2	0,6	2,75	0,145	2,3	0,31	2,9	3,1	50	37	3,9	7,6	6,4	8	8,5
																144	115	3,1	7,7	5,0	10	9,5
22-23/11	7,5	9,1	130	23	216	121	35	5,2	0,43	2,75	0,025	1,7	0,133	2,7	3,0	45	36	3,7	7,8	6,45	9	7,7
																123	118	3,3	7,6	6,0	10	8

x Øvre tall angir dosering av (jern(II)sulfat som mg Fe/l.  
Nedre tall angir dosering av lesket kalk, teknisk vare i mg/l.

xx Øvre tall gjelder formiddagen ca. kl. 9.00.  
Nedre tall gjelder ettermiddagen ca. kl. 15.00.

Biologisk-kjemisk rensing. Resultater fra etterfyllingsforsøk med aluminiumsulfat.

Dato	Døgnprøver												Tilkjøpt vann				Innslipp xx													
	pH		SS		KOF		BOF <sub>7</sub>		Tot P		PO <sub>4</sub> -P filtr		AL	PO <sub>4</sub> -P	Alkalitet		Dos <sup>x</sup>	Alkali- tet	pH	PO <sub>4</sub> -P	Temp	pH								
	Inn	Bio	Inn	Bio	Inn	Bio	Inn	Bio	Inn	Bio	Inn	Bio	mg/l	mg P/l	Inn	Kjem							Dag	Matt	mekv/l	mg P/l	°C			
1973: 21-22/1	7,4	7,6	330	87	55	516	80	57	303	74	25	7,1	5,3	2,9	3,70	0,86	4,05	2,3	2,54	3,0	2,2	169	142	4,2	7,5	6,16	-	9,1		
22-23/1	7,2	7,6	165	41	15	116	24	27	152	35	8,4	5,5	4,5	0,8	3,80	3,80	0,14	0,65	0,76	2,5	1,4	215	185	3,0	8,0	5,2	6,0	7,5		
23-24/1	7,2	7,5	177	96	8	225	161	21	176	51	4,8	5,9	5,1	0,3	4,2	3,8	0,02	0,41	0,18	2,6	1,2	196	132	2,9	7,2	8,2	6,0	7,9		
24-25/1	7,4	7,6	109	39	8	223	70	23	93	20	4,3	5,1	3,7	0,4	3,45	3,13	0,03	0,52	0,19	2,7	1,3	175	166	2,8	7,9	5,6	7,0	7,7		
25-26/1	7,2	7,6	128	23	7	286	59	21	138	20	<2	5,2	3,6	0,31	3,45	3,18	0,02	0,45	0,19	2,4	1,3	150	122	2,2	7,8	4,3	7,5	10,2		
26-27/1	7,3	7,5	92	13	5	202	47	19	64	14	2,5	5,0	3,5	0,32	3,7	3,3	0,02	0,46	0,19	2,4	1,2	145	166	1,8	6,8	4,2	8,0	9,0		
																													7,0	7,5

x Dosering angitt som mg/l aluminiumsulfat, teknisk vare.

xx Øvre tall gjelder formiddagen ca. kl. 9.00.

Nedre tall gjelder ettermiddagen ca. kl. 15.00.

Biologisk-kjemisk rensing. Resultater fra etterfyllingsforsøk med kalk.

Dato	Døgnprøyer												Tilkjørt vann				Innlp Stikkprøyer												
	pH			SS			KOF			BOF <sub>7</sub>			Tot P			PO <sub>4</sub> -P filtr			Ca mg Ca/l	Alkalitet		PO <sub>4</sub> -P mg P/l	pH	Alkali- tet mekv/l	Dos x Matt	Temp °C	pH		
	Inn	Bio	Kjem	Inn	Bio	Kjem	Inn	Bio	Kjem	Inn	Bio	Kjem	Inn	Bio	Kjem	Inn		Bio		Kjem	Inn							Bio	Kjem
																			mg/l			mg O/l	mg O/l	mg P/l	mg P/l	mg P/l	mg P/l		
1973: 30-31/1	7,6	7,7	11,4	90,3	7,4	34,5	168	36	30	104	5,0	5,6	4,9	3,3	0,8	3,6	3,4	0,09	39,4	0,6	2,8	2,5	3,3	4,1	1,3	7,7	1,73	8,0	9,4
31/1-1/2	7,4	7,6	11,5	83	4	14	121	35	18	106	6,5	5,0	4,5	3,3	0,4	3,4	4,6	0,11	40,5	0,4	2,4	2,2	3,1	3,6	2,4	7,9	3,85	6,5	7,8
1-2/2	7,2	7,7	11,3	91	17	13	211	39	20	100	7,4	8,0	4,8	3,3	0,5	3,0	3,2	0,09	36,4	0,51	2,6	2,4	2,8	3,2	2,2	7,9	3,4	6,0	7,5
2-3/2	7,5	7,6	11,2	65	4	16	114	26	22	52	2,2	7,8	3,8	2,8	0,7	2,6	2,9	0,09	31,9	0,71	2,4	2,2	2,5	3,2	2,4	7,6	3,4	7,5	8,4
3-4/2	7,5	7,6	11,2	70	3	9	117	24	16	51	2,7	8,4	3,6	3,0	0,2	2,5	3,1	0,05	35,4	0,19	2,4	2,2	2,7	3,3	2,7	8,0	3,8	6,0	8,0
4-5/2	7,3	7,5	11,2	127	3	9	247	27	20	136	2,1	4,4	8,1	4,6	0,4	6,6	4,6	0,07	37,5	0,37	2,7	2,2	3,4	2,7	2,7	7,7	4,85	7,0	6,8
5-6/2	7,3	7,5	11,3	125	5	10	219	29	20	120	2,7	6,9	4,6	4,9	0,5	3,7	5,4	0,1	32,8	0,47	2,6	2,3	2,6	3,3	3,6	7,8	4,1	7,0	7,6
																									2,4	7,5	4,3	7,5	8,1

x Dosering angitt som mg/l lesket kalk, teknisk vare.

xx Øvre tall gjelder formiddagen ca. kl. 9.00.

Nedre tall gjelder ettermiddagen ca. kl. 15.00.

xxx Øvre tall angir alkaliteten ved titrering til pH 8,3.

Nedre tall angir alkaliteten ved titrering til pH 4,5.



Biologisk-kjemisk rensing. Resultater fra etterfyllingsforsøk med jern(II)sulfat + kalk.

Dato	Dågnprøver												Tilkjørt vann				Innløp - xx stikkprøve													
	pH		SS		KOF		BOP <sub>7</sub>		Tot P		PO <sub>4</sub> -P filtr		Jern	PO <sub>4</sub> -P	Alkalitet			Alkali- tet mekv/l	pH	PO <sub>4</sub> -P mg P/l	Temp O C	pH								
	Inn	Kjem	Inn	Bio	Inn	Bio	Inn	Bio	Inn	Bio	Inn	Bio	mg/l	mg P/l	Inn	Bio							Dos	x						
1973: 10-11/2	7,3	7,4	9,1	3	11	153	29	30	89	4,6	2,2	3,9	2,3	0,4	2,5	2,3	0,19	1,5	0,33	2,3	2,0	2,6	43	34	5,4	7,7	5,4	6,0	8,4	
11-12/2	7,3	7,5	9,3	6	7	279	33	27	147	4,2	1,8	5,8	3,5	0,4	3,9	3,5	0,23	9,9	0,35	2,7	2,5	3,0	35	138	4,85	7,6	4,85	8,0	8,3	
12-13/2	7,4	7,4	9,2	6	6	290	54	33	111	4,7	1,1	3,9	2,3	0,2	2,3	2,3	0,10	8,9	0,18	2,3	1,9	2,5	36	135	4,9	7,2	2,5	5,5	7,4	
13-14/2	7,6	7,7	8,9	6	18	201	25	23	62	4,7	0,7	3,8	2,4	0,2	2,5	2,3	0,07	10,7	0,17	2,7	2,5	2,6	116	117	2,4	7,7	2,4	6,0	8,4	
14-15/2	7,5	7,7	8,8	5	12	204	30	19	105	2,3	1,2	4,5	2,6	0,6	2,8	2,5	0,14	2,3	0,33	2,9	2,8	3,1	34	35	4,3	7,8	4,3	4,5	7,8	
15-16/2	7,5	7,7	8,9	5	11	188	27	18	96	2,7	0,3	4,7	2,9	0,3	3,0	2,8	0,14	10,4	0,29	2,9	2,8	3,3	29	32	5,5	8,1	3,25	5,5	7,7	
16-17/2	7,5	7,5	8,8	3	14	210	29	18	64	2,3	1,3	4,3	3,1	0,3	2,8	3,1	0,09	1,7	0,23	2,7	2,6	2,8	28	25	4,6	7,9	4,6	5,0	7,5	
																		9,7					127	120						

x Øvre tall angir dosering av jern(II)sulfat som mg Fe/l.  
Nedre tall angir dosering av lesket kalk, teknisk vare i mg/l.

xx Øvre tall gjelder formiddagen ca. kl. 9.00.  
Nedre tall gjelder ettermiddagen ca. kl. 15.00.

xxx Øvre tall angir jerninnholdet i utløpsvannet som mg Fe/l.  
Nedre tall angir kalsiuminnholdet i utløpsvannet som mg Ca/l.