



## N O T A T

## PRA 2.1 FORSØKSANLEGGET PÅ KJELLER

Utført arbeid, oppnådde resultater,  
planer for videre arbeid samt oversikt  
over tilsvarende forskning i andre land.

O-40/41

Oslo, 6. november 1973

Peter Balmér

I utarbeidelse av dette notat har deltatt:

Peter Balmér

Bjerne Paulsrud

Arild Eikum

Tor Traaen

Ole Falk Fredriksen

Bjarne Vik

Arne Lundar

INNHOOLD

	Side:
Kort historikk	3
Utnyttelse av prosjektets resultater	4
Annen nytte av prosjektet	5
Informasjon om oppnådde resultater	6
Ytterligere synspunkter på opplegget	7
Delprosjekt 0-40/71-C    Undersøkelse av driftsforhold ved mekaniske, biologiske og kjemiske renseanlegg	8
Delprosjekt 0-40/71-D    Biodammer i kombinasjon med kjemisk felling	12
Delprosjekt 0-40/71-H    Renneforsøk til belysning av ulike kloakkrensemetoders virkning på biologiske forhold i resipienten	15
Delprosjekt 0-40/71-N    Aerob slamstabilisering	19
Delprosjekt 0-40/71-P    Stabilisering av slam ved kalk	22
Delprosjekt 0-40/71-R    Fortykking av kjemisk slam	25
Delprosjekt 0-40/71-S    Avvanning av slam ved små renseanlegg	27
 Vedlegg 1	
Oversikt over rapporter og artikler vedrørende PRA 2.1	

PRA 2.1 - FORSØKSANLEGGET PÅ KJELLER

UTFØRT ARBEID, OPPNÅDDE RESULTATER, PLANER FOR VIDERE ARBEID  
SAMT OVERSIKT OVER TILSVARENDE FORSKNING I ANDRE LAND

Kort historikk

Prosjektet var opprinnelig en omformulering av et tidligere forskningsprosjekt ved NIVA vedrørende biologisk respons i forsøksresipienter for ulike typer avløpsvann. Da prosjektet startet, fantes det et program for virksomheten hva gjelder de biologiske forsøk, mens det derimot for den tekniske delen bare var antydning at det i sammenheng med produksjon av ulike typer rensert vann for de biologiske forsøkene skulle kunne gjøres rensetekniske forsøk.

Arbeidet innen PRA 2.1 startet 1971. Det første arbeidsåret viste klart at mulighetene til å drive rensetekniske forsøk ved Kjeller-stasjonen var meget beskjedne i dens daværende utforming. Det ble derfor på høsten 1971 søkt om penger for å bygge om forsøksstasjonen slik at den skulle bli en hensiktsmessig innretning for renseteknisk virksomhet. Penger for dette ble bevilget, og vinteren og våren 1971-1972 ble det oppført en ny forsøkshall på Kjeller. Fra og med juni 1972, da hallen var ferdig, har forutsetningene for å drive rensetekniske forsøk vært til stede.

Parallelt med oppbyggingen av den nye forsøkshallen på Kjeller ble det satt i gang en planlegging av forskningsaktiviteten. Ved planleggingen prøvde vi ut fra ulike aspekter å vurdere forskningsbehovet for de ulike enhetsprosesser som er aktuelle innen rensing av avløpsvann og slambehandling. Vi prøvde å sammenstille informasjonene skjematisk i tabeller og avslutte dette arbeid med en prioritering. Denne prioritering lå siden til grunn for de første diskusjonene i prosjektkomiteén vedrørende Kjeller-prosjektets fortsatte utforming. Det viste seg at de økonomiske rammer som var forutsatt i den første planleggingen, var altfor optimistiske, og at en begrensning måtte skje. De prosjekter som gjenstod etter en fornyet prioritering, er presentert og motivert i søknaden for 1972-73 (Søknad av 15.5.1972).

I søknaden for 1973-74 er det gjort en vurdering av prosjektet med forslag til omprioriteringer mellom de ulike delprosjekter.

Av ovenstående fremgår det at det ligger en samlet vurdering som bakgrunn for prosjektet i dets nåværende utforming. De opplysninger som Miljøverndepartementet nå har bedt om, har gitt anledning til en ny vurdering av hele prosjektet.

#### Utnyttelse av prosjektresultater

Rensetekniske forsøk startet i juni-juli 1972. Det har altså vært drevet arbeid i noe over ett år, og det har allerede innen flere av delprosjektene kommet frem opplysninger som er av stor praktisk verdi.

I delprosjekt 0-40/71-C - Undersøkelser av mekaniske, biologiske og kjemiske renseanlegg, har en funnet frem til kjemikaliebehov samt hvilke renseeffekter og hvilken driftsstabilitet som kan oppnås ved mekanisk-kjemisk rensing ved bruk av ulike fellingskjemikalier. En har her også funnet frem til hvilke slammengder som dannes ved denne prosess, noe som det tidligere fantes få oppgaver om. I delprosjekt 0-40/71-N - Aerob slamstabilisering, har en kommet frem til retningslinjer for dimensjonering av enheter for aerob stabilisering av kjemisk slam. Undersøkelser av aerob stabilisering av kjemisk slam er ikke tidligere utført, og det er grunn til å tro at det vil bli bygget mange renseanlegg med denne prosess i Norge. Innen delprosjekt 0-40/71-P - Stabilisering av slam med kalk, har en funnet frem til hvilke kalkmengder som trenges for å forhindre nedbrytning av ulike slamtyster. Anlegg der man vil få nytte av disse opplysninger, er allerede under bygging. I delprosjekt 0-40/71-S - Avvanning av slam ved små renseanlegg, har man ved litteraturstudier og en del enkle forsøk fått frem retningslinjer for dimensjonering av tørkesenger under norske klimaforhold for ulike typer slam. For delprosjekt 0-40/71-D - Biodammer i kombinasjon med kjemisk felling, og 0-40/71-R - Fortykking av kjemisk slam, er dette notat den første presentasjon av resultater. Det har imidlertid vært stor interesse for disse prosjekter, og foreløpige resultater er gitt i samband med muntlige henvendelser. Delprosjekt 0-40/71-H - Biologiske responsforsøk, har gitt resultater som er til stor nytte ved vurderingen av hvilke rens tiltak som må til i ulike sammenheng. Prosjektet har derfor i første omgang vært nyttig for NIVA fordi det har gitt oss mulighet til bedre vurderinger i sammenheng med alle de uttalelser som gis om påvirkning av resipienter.

De som i første rekke har benyttet våre resultater er rådgivende ingeniører. Vi har gjennom artikler og foredrag prøvd å spre opplysninger om hvilke prosjekt som pågår, og hvilke typer opplysninger som finnes på NIVA. Det synes som om denne informasjon har nådd frem fordi vi daglig har telefonhenvendelser

der man spør etter saker som - slamproduksjonen ved ulike anlegg, hvordan slamstabiliseringstanker skal dimensjoneres etc. Også fra institusjoner som ANØ og de større kommuner har det vært spørsmål etter data. Det har også vært mange henvendelser fra mindre kommuner, men her har ønsket om opplysninger i de fleste tilfeller ligget mer på det generelle plan.

#### Annen nytte av prosjektet

Prosjektet har også hatt nytte i mange andre former som er mindre konkrete. Til Kjeller-anlegget kommer det en mengde studiebesøk. Vi har hittil i år hatt ca. 45 større eller mindre grupper som er blitt vist om på anlegget. Når det gjelder fagfolk, er det klart at det i første rekke er teknisk informasjon som gis ved disse besøk. Forsøksanlegget har dog også stor betydning for besøkende lekmenn. Kommunepolitikere får f.eks. ved disse omvisninger demonstrert hvordan urensset avløpsvann ser ut, og at dette kan renses til et sluttprodukt som ser vesentlig bedre ut. Man får også demonstrert praktisk hvilke uheldige konsekvenser det kan bli i en resipient når man slipper ut urensset eller dårlig rensset vann, og samtidig kan man få se at rensetiltak virkelig nytter.

Den kanskje største betydning av Kjeller-prosjektet på lengre sikt er det faktum at man her har skapt et miljø der det foregår en renseteknisk forskning. Dette gjør det i dag mulig at diplomkandidater ved Norges tekniske høgskole kan få arbeide med praktiske oppgaver innen renseteknisk forskning, noe som de hadde meget beskjedne muligheter til tidligere. Både i 1972 og 1973 har der vært tre diplomkandidater som har arbeidet ved anlegget.

Også for NIVA's stipendiatvirksomhet har prosjektet hatt stor betydning. Stipendiatene behøver nå ikke lenger bare lese om renseanlegg og renseteknikk og gå på en og annen befaring, men kan også få konkrete oppgaver. Foruten prosjektarbeid har f.eks. årets stipendiatkull ved instituttet

hatt et par uker der de har prøvd seg som driftsoperatører ved anlegget og virkelig fått kjenne hva avløpsvann og slam er for slags materie. Verdien av slik erfaring når disse ingeniører senere skal over i praktisk arbeid, kan ikke vurderes høyt nok. Selvsagt har denne miljøskapning med muligheter til eksperimentelt arbeid i halvstor målestokk en uhyre stor betydning for å opprettholde et høyt kompetansenivå ved NIVA innen dette felt.

### Informasjon om oppnådde resultater

Det er lagt ned meget arbeid på å informere om opplegget innen prosjektet generelt og om oppnådde resultater.

### Rapporter og tidsskriftartikler

For delprosjektene 0-40/71-H - Biologiske responsundersøkelser, og 0-40/71-N - Aerob slamstabilisering, er det utarbeidet rapporter med omfattende resultatpresentasjon. For delprosjekt 0-40/71-C - Undersøkelse av driftsforhold ved mekaniske, biologiske og kjemiske renseanlegg, er det rapportert resultater sammen med delprosjekt 0-40/71-H. Rapport for det øvrige arbeidet som er utført innen dette prosjekt, vil foreligge innen 1.1.1974 i likhet med rapport om utført arbeid innen delprosjekt 0-40/71-P - Stabilisering av slam med kalk, og 0-40/71-R - Fortykking av kjemisk slam. For delprosjekt 0-40/71-D - Biodammer i kombinasjon med kjemisk felling, er en rapport for sommersesongen 1973 under utarbeiding og vil foreligge før årets utgang.

En sammenstilling av rapporter og tidsskriftsartikler om prosjekt 2.1 finnes i vedlegg 1.

### Foredrag og kollokvier

Et viktig forum for presentasjon av resultater er Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene. Arbeidet innen PRA 2.1 er presentert ved et godt besøkt kollokvium 28.9.1972, og ytterligere ett vil finne sted den 20.11.1973.

### Kurs

Det har i løpet av 1973 vært et kurs i slambehandling arrangert av NITO, som vil bli gjentatt i november 1973. Ved dette kurs var det tre foredragsholdere fra NIVA, som for en stor del baserte sine foredrag på resultater fra PRA-prosjekt 2.1.

NIF arrangerte i oktober 1973 et kurs i kjemisk felling av kommunalt avløpsvann. Hoveddelen av det stoff som ble presentert, kom fra PRA-prosjektene 2.1 og 2.2.

### Henvendelser

Vi har daglig flere henvendelser, hovedsakelig pr. telefon, der vi enten blir spurt direkte etter resultater fra Kjeller-prosjektet, eller der vi benytter resultater for å besvare de stilte spørsmål.

Befaringer på anlegget

Det er hver uke besøk ved forsøksanlegget. Ved slike besøk gis mye informasjon. Vi har hittil i år hatt 45 grupper på besøk.

Ytterligere synspunkter på opplegget

PRA-prosjekt 2.1 har en bred ramme for å dekke mange av de akutte behov for kunnskaper vedrørende behandling av avløpsvann og slam. Opplegget dekker selv- sagt ikke alt som det er behov for, og for flere av de felter som vi synes ikke er dekket, er det formulert nye prosjekter som er sendt PRA-komitéen. Prosjektforslagene berører til dels akutte behov, spesielt prosjektet vedrø- rende septiktankslam.

Hvor vidt disse søknader blir bevilget eller ikke, må også influere på opp- legget av prosjekt 2.1 for tiden etter 1.7.1974.

De hygieniske forhold, spesielt innen slambehandling, vil være av stor betydning når en tar standpunkt til ulike prosesser. Hygieniske forhold er ikke tatt opp innen PRA-prosjekt 2.1 og heller ikke innen andre prosjekter innen PRA 2.

Delprosjekt 0-40/71-C - Undersøkelse av driftsforhold ved mekaniske, biologiske og kjemiske renseanlegg

---

Utført arbeid

Sommeren 1971 ble de mekaniske, biologiske og kjemiske renseanleggene i det gamle utendørs anlegget på Kjeller drevet for å produsere rensset vann til renneforsøkene (delprosjekt 0-40/71-H). Driftserfaringer og resultat er rapportert i fremdriftsrapport for 1971. Våren 1972 ble renseanleggene bygget om, og en del enheter ble tilføyet i samband med oppbyggingen av den nye forsøkshallen på Kjeller. Sommeren 1972 var de mekaniske, biologiske og kjemiske renseanleggene på nytt i drift for å produsere rensset vann til renneforsøkene. Driftserfaringer og resultat finnes rapportert i fremdriftsrapport for delprosjektet 0-40/71-H. Fra oktober 1972 til mai 1973 ble det utført omfattende forsøk med mekanisk-kjemisk rensing ved bruk av ulike fellingskjemikalier. Resultatene er bearbeidet og foreligger nå sammenstilt via EDB. Endelig rapport er under utarbeiding og vil foreligge før 1.1.1974. I løpet av sommeren 1973 har de mekaniske og kjemiske renseanleggene vært i drift for produksjon av rensset vann til rennene. Driftserfaringer og resultater vil bli rapportert sammen med det øvrige arbeid ved renneforsøkene i rapport som ventes å foreligge i februar/mars 1974.

Oppnådde resultater

Resultatene fra de sommerperioder da renseanleggene var i drift for produksjon av rensset vann til rennene, er i første rekke tall på sammensetning av de ulike typer avløpsvann. Disse tall behøver vi for vurdering av responsen i rennene. Samtidig har man fått omfattende driftserfaringer, og vi har fått tall på hvor godt ulike renseanlegg virker over lengre tid.

Arbeidet vinteren 1972/73 med studier av mekanisk-kjemisk rensing med ulike fellingskjemikalier har gitt følgende resultater:

1. Med samtlige brukte fellingskjemikalier (aluminiumsulfat, jernklorid, og kalk, samt kombinasjoner av jernklorid og kalk) kan man oppnå gode renseresultater, dvs. fosforreduksjoner på 90% eller høyere, tilsvarende en fosforkonsentrasjon i effluenten mindre enn 0,5 mg P/l.



2. Resultatene er sterkt avhengig av ved hvilken pH fellingen utføres. Ved bruk av aluminiumsulfat må man ha en pH-verdi mindre enn 6,2, ved bruk av jernklorid pH mindre enn 5,9, og ved kombinasjon med kalk en pH over 8,0. Ved kalkfelling er gunstig pH over 11,2.
3. Fjerning av organisk stoff har i gjennomsnitt gått best med aluminiumsulfatfelling som har gitt reduksjoner på 70% uttrykt som KOF. Jernfelling har gitt vekslende resultater, men med et gjennomsnitt på ca. 60% i gunstig pH-område. Felling med kalk har gitt dårligere fjerning av organisk stoff med et gjennomsnitt på 55%. Det synes som om dette skyldes en hydrolyse av organisk materiale ved de høye pH-verdiene under kalkfellingen.
4. Total slamproduksjon (dvs. inkludert suspendert stoff i effluenten) ved bruk av aluminium og jern har vært omkring  $200 \text{ g/m}^3$ . Utførte materialbalanser styrker riktigheten av disse tall. Ved kalkfelling er det funnet slamproduksjoner på ca.  $600 \text{ g/m}^3$ . Utførte materialbalanser tyder på at disse tall er altfor høye.
5. Bruk av jern må, i hvert fall ved Kjeller, skje i et pH-område der det er meget vanskelig å oppnå stabil drift. Bruk av jern ved mekanisk-kjemisk rensing synes derfor mindre aktuelt, fordi avløpsvannets bufferkapasitet avtar sterkt ved pH-verdier under 5,9.
6. Aluminium, kalk samt kombinasjon av treverdige jern og kalk vil være brukbare fellingskjemikalier for mekanisk-kjemisk rensing. Fellingen stiller dog høye krav til stabil drift, og vanskeligheter kan ventes ved mindre anlegg med sterkt varierende driftsforhold og/eller dårlig driftsovervåking.
7. Foreløpige forsøk med bruk av toverdige jern + kalk, som er en økonomisk sett meget gunstig kombinasjon av fellingsmidler, peker på at man også her kan oppnå gode resultater.

#### Videre arbeid

Det arbeid som er blitt utført ved mekanisk-kjemisk rensing, har gitt omfattende erfaringer, og vi har nå brukbare arbeidshypoteser for hvilke faktorer det er som styrer forbruket av fellingskjemikalier og slamproduksjonen. En tilleggsinnsats her ville kunne gi en vesentlig heving av kunnskapsnivået innenfor kjemisk felling idet man skulle kunne bruke mer beregninger og mindre empiriske forsøk.

De gode resultater som har vært oppnådd med primærfelling (også kalt kjemisk sedimentering) i en del renseanlegg, har gitt anledning til å spørre om man trenger forsedimentering ved mekanisk-kjemisk rensing. Dette forhold har stor økonomisk betydning, og det vil her være enkelt å undersøke om forsedimenteringen har noen betydning f.eks. for kjemikalieforbruket gjennom bruk av eksisterende opplegg på Kjeller.

Bruk av toverdige jern har foreløpig gitt så pass lovende resultater, og når en tar i betraktning at en her skulle kunne minske kjemikaliekostnadene med omtrent 50%, synes det her berettiget å gå videre med undersøkelsene. Det er i Bårum gjort en del verdifulle undersøkelser i laboratoriemålestokk med bruk av sjøvann i samband med kalkfelling av avløpsvann. Den foreslåtte prosessen har stor potensiell interesse for kommuner som ligger ved fjord- og sjøresipienter. Det finnes behov for tilleggsundersøkelser slik at metoden kan vurderes i forhold til de etablerte prosesser. Foreløpige forsøk med tungmetallfjerning i mekanisk-kjemisk rensing har gitt resultater som ikke stemmer overens med de oppgaver som oppgis bl.a. av kjemikalieprodusenter. Det finnes derfor behov for videre arbeid her. En del av disse oppgaver vil bli bearbeidet i løpet av vinteren 73-74.

Våre erfaringer med mekanisk-kjemisk rensing viser at man kan oppnå gode resultater, men at det er vanskelig å opprettholde en stabil drift. De resultater som finnes rapportert fra biologisk-kjemisk renseanlegg, tyder på at en her har mindre driftsproblemer med fellingstrinnet. En sannsynlig forklaring er at den biologiske rensingen gir en utjevning i vannsammensetningen samt en fjerning av kolloidalt stoff fra avløpsvannet, som påvirker fellingen gunstig. Det er ikke usannsynlig at biologisk-kjemisk rensing derfor kan bli aktuelt også i de tilfeller der, fra resipientsynspunkt, mekanisk-kjemisk rensing er tilstrekkelig, på grunn av at en biologisk-kjemisk rensing vil gi stabilere drift og muligheter til å overholde renskravene med større varighet.

Når man skal bruke biologiske metoder ved små renseanlegg, er det diskutabelt om de nå dominerende aktivt slam prosessene er de riktige, fordi disse er meget følsomme for hydrauliske overbelastninger hvilke, som kjent, ofte inntrer. Det er grunn til å tro at biologiske systemer med fastsittende bakteriekulturer vil være vesentlig mer driftssikre.

Prosesser med fastsittende bakteriekulturer vil også gi enklere muligheter til kombinasjon med kjemisk felling fordi man ved etterfelling her ikke trenger noen mellomsedimenteringsbasseng.

I renneprosjektet planlegges det sommeren 1974 å drive undersøkelser med biologisk-kjemisk rensed vann. Vi må derfor i løpet av vinteren 1973-74 gjøre en del forberedelser for dette slik at biologisk-kjemisk rensed vann kan produseres. Vi må da også gjøre en del test-kjøringer, og dette burde gi oss erfaringer som vil muliggjøre en nærmere vurdering av ovennevnte problemkompleks. Mer underbygde vurderinger og eventuelle forslag til studier av biologiske renseprosesser vil da bli presentert i søknad for 1974-75.

#### Arbeid i utlandet

Det skjer et meget omfattende arbeid i mange land vedrørende kjemisk felling av avløpsvann. Vi prøver å følge med dette arbeid så godt som mulig og får på denne måte mye informasjon av stor verdi. Det finnes dog enkelte faktorer som begrenser mulighetene <sup>for</sup> å tillemppe materialet til norske forhold. Det første er at avløpsvannene på kontinentet og i USA i de fleste tilfeller har vesentlig høyere alkalitet enn de norske avløpsvann. Det andre er at man utenlands har festet størst interesse ved bruk av kjemisk felling i kombinasjon med biologisk rensing. Arbeid med kjemisk felling av stor interesse for oss utføres ved de tekniske høgskolene i Stockholm, Lund og Gøteborg i Sverige, og ved EAWAG i Zürich. Vi har ved disse institusjonene personlige kontakter slik at informasjonsutbyttet går meget greit. Også i USA pågår det arbeid med kjemisk felling som er av stor interesse. En kan her nevne forsøksanlegget i Blue Plains i Washington, og Lebanon, Ohio, der en har gjort og gjør omfattende forsøk, spesielt med kalkfelling. Et viktig forhold når det gjelder de amerikanske undersøkelser, er anleggsstørrelsen. I USA betraktes et anlegg for 1 mgd som et lite anlegg. 1 mgd tilsvarer en befolkning på ca. 10 000 personer, og i Norge er det meget få renseanlegg som blir så store eller større.

De undersøkelser som drives ved Kjeller vedrørende kjemisk felling, er derfor bare en liten del av det totale arbeid innen dette felt. De problemer som vi tar opp til behandling, er imidlertid slike hvor vi ikke har funnet tilstrekkelig informasjon fra andres arbeid.

Delprosjekt O-40/71-D-Biodammer i kombinasjon med kjemisk felling.

Utført arbeid

Våren 1973 ble det satt i drift ni parallelle biologiske dammer ved NIVA's forsøksstasjon på Kjeller. Dammene har hver et areal på 50 m<sup>2</sup> og en dybde på 0,9 m.

Tre av dammene mottar råkloakk, og har oppholdstider på ca. 3, 10 og 30 døgn. På utløpsvannet fra disse dammene er det kjørt fellingsforsøk med aluminiumsulfat i et pilotanlegg.

I en annen serie på tre dammer doseres råkloakk tilsatt aluminiumsulfat (felling direkte i dammer). Oppholdstider er ca. 3, 10 og 30 døgn.

Den siste serien består av tre dammer som tilføres aluminiumrenset vann (fra fellingsanlegg i forsøkshallen på Kjeller). Oppholdstider er 3, 10 og 30 døgn.

Ved fellingsforsøk på vann fra dammene som mottar råkloakk, er slamproduksjonen målt og sammenlignet med teoretisk beregnet slamproduksjon. Slamproduksjonen fra etterfellingen blir sammenlignet med slammengde produsert ved sekundærfelling av en tilsvarende mengde råkloakk. Resultatene fra denne delen av arbeidet er ikke klar for presentasjon ennå.

Det er tatt analyser på inn- og utløp i alle dammene.

Oppnådde resultater

Tabell 1 viser kjemiske data for de to vann typer som tilføres i biodammene. Driftsresultater for sommeren 1973 er presentert i tabell 2.

Tabell 1

Kjemiske data for råkloakk og mekanisk-kjemisk renset kloakk (fellings-kjemikalium er Al-sulfat).

Type vann	KOF mg O/l	TOTN mg N/l	TOTP mg P/l	SS mg /l
Råkloakk	314,9	24,9	5,8	257
Al-renset	110,9	20,1	1,86	48

Det presiseres at resultatene i tabell 2 bare omfatter drift under sommerforhold.

Tabell 2

Kjemiske data for utløpsvannet fra forskjellige kombinasjoner av biodammer/kjemisk felling. Resultatene er middelværdier for juni, juli og august. Basis for beregning av rensegrader er råkloakk.

Dam nr.	Type vann tilført	Oppholds tid i døgn	KOF ut mgO/l	Prosent red.	TOTN ut mgN/l	Prosent red.	TOFP ut mgP/l	Prosent red.	SS ut mg/l	Prosent red.
1	Råkloakk	28,8	238,3	24	15,3	39	4,2	28	88	66
2	"	13,1	183,6	42	20,4	18	5,1	12	65	75
3	"	3,3	212,6	33	22,5	10	5,4	7	66	74
4	Råkloakk + Al-sulfat 1/	22,2	96,4	69	14,2	43	1,2	79	64	75
5	"	7,8	92,3	71	17,7	29	0,64	89	42	84
6	"	2,7	88,9	72	20,0	20	0,66	89	32	87
7	Al-renset kloakk	34,4	78,9	75	10,3	59	0,42	93	38	85
8	"	11,8	84,9	73	14,3	43	0,45	92	40	84
9	"	3,8	118,1	62	17,8	29	0,74	87	46	82
1	Etterfel-		36,8	87	4,2	82	0,10	98	9	96
2	ling med		106,0	66	19,6	21	0,54	91	25	90
3	Al-sulfat 2/		49,1	85	21,0	16	0,42	93	16	94

1) Doseringsmengde: 140 - 167 mg Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> x 18 H<sub>2</sub>O.

2) " " : 154 - 185 " " " " " "

Resultatene forventes å gi informasjon om

- a) hvilke kombinasjoner av biodammer/kjemisk felling som er gunstigst for helårsdrift her i landet.
- b) hvor effektiv kombinasjonen biodammer/kjemisk felling er i forhold til et mer konvensjonelt renseanlegg (f.eks. mekanisk/kjemisk) både med hensyn til rensegrad og økonomi.

#### Videre arbeid

Det videre arbeidet vil bli å overvåke driften av dammene med analyser - foreløpig fram til sommeren 1974 - slik at årstidsvariasjoner kan registreres. Prosjektet vil derfor i sin nåværende utforming være avsluttet eksperimentelt til den 1.7.1974. Hvorvidt det vil bli ønskelig med noen tilleggsundersøkelser er det for tidlig å ta stilling til.

#### Arbeid i utlandet

For prosjektet er det gjort et omfattende litteraturstudium. Dette arbeidet vil resultere i en rapport innen 1.1.1974.

Litteraturundersøkelsen viser at det arbeides mye med biodammer i utlandet, særlig i USA. Kombinasjonen biodammer/kjemisk felling er det ikke rapportert noe om, med unntak av noen "jartest"-undersøkelser. Det finnes imidlertid noen anlegg av denne type som nylig er blitt tatt i bruk i Sverige og Finland.

Delprosjekt O-40/71-H - Renneforsøk og laboratorieundersøkelser til  
belysning av ulike kloakkrensemetoders virkning  
på biologiske forhold i resipienter

---

Utført arbeid

I 1971 og 1972 er biologisk respons undersøkt ved unnblanding av 0,5-15% mekanisk, biologisk og kjemisk (Al) rensset avløpsvann i to ulike typer resipientvann. Resultatene er rapportert.

Resultatene 1971 og 1972 viste at kjemisk rensset avløpsvann gav bedre biologisk balanse i forsøksresipientene, og 1973 ble det derfor utført forsøk med avløpsvann som var blitt rensset kjemisk med ulike fellingskjemikalier (Al, Ca, Fe+Ca). I tillegg er i 1973 fosforets spesifikke virkning undersøkt.

Resultatene fra undersøkelsene 1973 vil bli rapportert i februar/mars 1974. Parallelt med arbeidet i renneanlegget er det gjennomført bioassay forsøk på laboratorium.

Oppnådde resultater

1. Ved bruk av rennene kan reproducerbare resultater for biologisk respons oppnås.
2. De ulike parametre på biologisk respons, som har vært i bruk, peker stort sett på ensstemmige resultater hva gjelder de ulike avløpsvannstypers påvirkning av resipienten.
3. Det er påvist god korrelasjon mellom konsentrasjonen av fosforforbindelser og flere former av biologisk respons.
4. Resultatene av undersøkelsene av mekanisk, biologisk og kjemisk rensset avløpsvann er sammenfattet i nedenstående skjema.

Vanntype Parameter	REF.	0.5% M	0.5% B	0.5% K	5% M	5% B	5% K
Vekstpotensial, alger	ref.				+++	++	+
Etableringshastighet i rennene (A-C):							
A. Org. C	ref.	+	+	ref.	+++	++	+
B. ATP	ref.	++	++	ref.	+++	+++	+
C. Klorofyll	ref.	+++	++	+	+++	+++	++
Brutto primær- produksjon (P)	ref.	++	+	ref.	++	+	+
Respirasjon (R)	ref.	+	ref.	ref.	+++	++	ref.
P/R	ref.	ref.	+	ref.	+++	++	ref.
Artsforskyvning alger	ref.	++	++	ref.	+++	+++	+
Kvantitative utslag for zooenthos	ref.	+	+++	+	+++	+++	+

Symbolforklaring:

ref.: liten eller ingen forandring i forhold til referansen.

+: merkbar forandring.

++: markert forandring.

+++ : sterk forandring.

M: mekanisk rensed

B: biologisk rensed

K: kjemisk rensed



### Videre arbeid

Sommersesongen 1974 er det planlagt å studere biologisk respons for ulike kombinasjoner av biologisk og kjemisk rensing. Det er et stort behov for å få en vurdering av hva en biologisk rensing i tillegg til en kjemisk betyr for resipienten.

I og med undersøkelsene 1974 vil de mest aktuelle rensemetodene være undersøkt. Hva som eventuelt skal gjøres sommeren 1975, er det for tidlig å ta stilling til nå. Det vil sikkert finnes et behov for komplementerende undersøkelser. Samtidig ville det være interessant å få studert hva ulike typer av videregående rensing betyr for resipienten. Eventuelle undersøkelser herav vil imidlertid være avhengig av hvilken renseteknisk aktivitet det blir innen dette felt på Kjeller. Grunnlaget for å ta stilling til eventuelle forsøk sommeren 1975 og 76 vil foreligge ved årsskiftet 1974/75.

### Arbeid i utlandet

Ulike former for resipientvurderinger drives i nær sagt alle teknologisk utviklede land. Forsøksoppstillinger med renner finnes ved EAWAG i Zürich, Bayerische Biologische Versuchsanstalt i München, CEBEDÉAU i Liège og i Ann Arbor i USA. De undersøkelser som gjøres utenlands i renneoppstillinger, er i første rekke selvrenningsstudier. Ved Kjeller brukes rennene som en "analysemetode". Kjeller-opplegget finnes tillempet på en stasjon ved Truckee river i USA. Denne stasjon er delvis bygget på erfaringer fra Kjeller.

Av større utenlandske prosjekter er sannsynligvis et nytt svensk prosjekt det mest interessante sett ut fra den målsetningen vi har ved Kjeller-anlegget. Det er Naturvårdsverkets undersøkelser over restaureringsforløpet i sjøer som avlastes fra forurensinger, den såkalte RR-(reningsverk-recipient)undersøkningen.

I Sverige er man allerede kommet godt i gang med bygging av kjemiske renseanlegg, og man har nå startet det nevnte prosjektet for å finne ut hvilken reell effekt anleggene har for resipientene. 15 renseanlegg og 20 resipienter inngår i undersøkelsen. Noen av renseanleggene er allerede i drift, og andre vil bli startet i de nærmeste

år, de siste i 1975. Renseanleggene vil inkludere 8 stk. med alumini-  
umsfelling, 4 stk. med jernfelling og 1 stk. med kalk. Siden Norge  
ennå er i startfasen når det gjelder renseanlegg, skulle vi ha mulig-  
heter til å nyttiggjøre oss verdifulle informasjoner fra dette pro-  
sjektet i de kommende år.

Utført arbeid

Det ble i perioden 1972-73 utført omfattende laboratorie- og fullskala-forsøk på aerob stabilisering av mekanisk og blandet mekanisk-kjemisk (A1) slam. Dette arbeidet er nå avsluttet, og endelig rapport foreligger.

Oppnådde resultater

Følgende liste gir kun en oppsummering av en del av hovedresultatene som ble oppnådd ved dette prosjektet:

1. Aerob stabilisering av slam fra et mekanisk-kjemisk kloakkrensingsanlegg vil ikke bli inhibert av det høye aluminiuminnholdet i slammet.
2. Innvirkninger av temperaturen på reduksjon av organisk stoff er større på mekanisk slam alene enn på blandet mekanisk-kjemisk slam.
3. Reduksjon av kjemisk oksygenforbruk fulgte samme forløp som reduksjon av flyktig suspendert stoff.
4. Ved lave oppholdstider (< 10 dager) øker pH under stabiliseringsprosessen for deretter å synke gradvis ved ytterligere stabilisering (> 10 dagers oppholdstid). Ekstremt høye eller lave pH-verdier ble aldri påvist som bremsende på den biologiske prosessen.
5. Nitrogeninnholdet i slammet blir redusert ved aerob stabilisering. Dette skyldes nitrifikasjon med påfølgende denitrifikasjon.
6. Økende temperatur har en gunstig innvirkning på det stabiliserte slams sedimenteringsegenskaper.
7. Stabiliseringstider mindre enn 5-10 dager ved lav temperatur (mindre enn 12 °C) gir slammet dårligere sedimenteringsegenskaper enn ubehandlet slam.
8. Totalt vannvolum drenert fra et stabilisert slam vil øke med økende oppholdstid i stabiliseringsenheten. Fra 85% til 90% av vannvolumet i et stabilisert slam kan fjernes ved ren drenasje.
9. Fosforinnholdet i slamvannet ved aerob stabilisering er mindre i blandet mekanisk-kjemisk slam enn i mekanisk slam alene.

Den praktiske nytten av prosjektets resultater kan oppsummeres på følgende måte:

1. Reduksjonshastighet av totalt tørrstoff, flyktig suspendert stoff og kjemisk oksygenforbruk ved forskjellige driftstemperaturer er nødvendig for at den praktiserende ingeniør skal kunne velge nødvendig oppholdstid. Tabell 3 viser hvilke resultater som ble oppnådd.

Tabell 3. Nødvendige oppholdstider og stabiliseringstankvolum ved aerob stabilisering.

Temperatur	Oppholdstid (dager) <sup>1)</sup>				Sp.stab.tank volum (l/p)				Antatt <sup>2)</sup> slammgd.
	7°C	12°C	18°C	25°C	7°C	12°C	18°C	25°C	l/p.d
Mekanisk	40	30	18	10	48-120	36-90	22-36	12-30	1,2-3,0
Mekanisk +kjemisk (Al)	40	30	18	10	160-360	120-270	72-162	40-90	4,0-9,0

1) Nødvendig oppholdstid for å oppnå 35-40% reduksjon av FSS.

2) Slamvolum uten fortykning.

2. Ved mekanisk-kjemiske kloakkrensaneanlegg hvor aluminiumsulfat anvendes som fellingsmiddel, bør slammene behandles sammen og ikke i separate slambehandlingsanlegg.
3. Behandlingsprosessens innvirkning på sedimenterings-, filtrerings- og drenasjeegenskaper, samt kompressibilitet er viktig ved valg av videre avvanningstrinn etter stabiliseringsprosessen.
4. Å hindre utløsning av fosfor til slamvannet under lagring er viktig for å unngå resirkulasjon av fosfor i kloakkrensaneanlegget.

#### Videre arbeid

Arbeidet har, inntil i dag, vært konsentrert om mekanisk og blandet mekanisk-kjemisk slam fra et sekundærfellingsanlegg som anvender aluminiumsulfat som fellingsmiddel. Siden aerob slamstabilisering antageligvis vil bli en mye anvendt stabiliseringsprosess i Norge, er det et behov for å se på andre slamtyper

enn de som allerede er undersøkt. Det vil i første rekke bli blandet mekanisk og kjemisk slam fra sekundærfellingsanlegg hvor jern og jern+kalk anvendes som fellingsmiddel.

Aerob stabilisering av septiktankslam er det også aktuelt å få belyst. Undersøkelser av denne slamtypen vil ikke omfatte så mange sider ved aerob stabilisering som det tidligere arbeid. Det vil bli lagt vekt på de parametrene som har direkte praktisk nytte.

Det vil også bli gjort en vurdering av luftetyper, konstruktiv utforming og drift av eksisterende slamstabiliseringsenheter for å skaffe til veie praktiske erfaringer.

#### Arbeid i utlandet

Under arbeidet med aerob stabilisering har man i alt gjennomgått 64 utenlandske arbeider som dekker mange forskjellige aspekter ved aerob stabilisering. En stor del av dette arbeidet har vært gjort i USA, Tyskland og England. En detaljert diskusjon av disse arbeider er referert i sluttrapport datert juli 1973. Ingen av de nevnte arbeidene omhandler kjemiske slamtyper. Vi har således ikke hatt noen mulighet til å innhente våre opplysninger fra utenlandske forskeres arbeid, selv om gjennomgåelsen av disse arbeidene har gitt oss verdifulle tilleggsopplysninger.

### Utført arbeid

Alle undersøkelser er hittil gjort i laboratoriemålestokk.

Kalkmengden som trenges for å oppnå ulike pH-verdier, er bestemt for en rekke slamtyper fra forsøksstasjonen på Kjeller og fra eksisterende renseanlegg.

For en del slamtyper er det også undersøkt forskjellen i kalkbehov ved tilsetning av tørr kalk, kalkslurry og mettet kalkløsning.

Da det har vist seg at pH synker igjen ved en viss lagringstid for slam som er gitt en høy initial-pH ( $> 11$ ) ved kalktilsetning, er det gjort undersøkelser for å bestemme de kalkmengder som må til for å opprettholde en høy pH-verdi i ulike slamtyper også ved lengre tids lagring (opptil 1 mnd.).

Et slams kalkbindingskapasitet, dvs. den kalkmengden som bindes til selve slampartiklene, er lansert som en mulig parameter for bestemmelse av nødvendige kalkmengder for å unngå pH-senkning med tiden. Det er gjort en del forsøk for å vurdere denne parameter.

En har også utført noen innledende undersøkelser for å finne årsakene til at de forskjellige slamtyper oppviser en pH-senkning.

Tørrstoffkonsentrasjonens innvirkning på den kalkdosering som behøves for å holde en høy pH ved lagring, er undersøkt for en slamtype.

### Oppnådde resultater

1. Det er påvist at de kalkmengder som skal til for å oppnå en høy initial-pH i ulike slamtyper, ikke er representative for de kalkdoseringer som er nødvendige for å holde høye pH-verdier over et visst tidsrom ved lagring av slammene i uavvannet form.
2. Kalken bør av praktiske grunner tilsettes slammene i form av slurry (5-25%  $\text{Ca(OH)}_2$ , avhengig av doseringsutstyret).

3. Forsøkene med bruk av Sontheimers teori om et slams kalkbindingskapasitet gav negative resultater m.h.t. denne parameterens brukbarhet for å forutsi nødvendige kalkdoseringer.
4. De foreløpige forsøk på å klarlegge mekanismene ved pH-senkningen i slam har ikke gitt noen entydige resultater. Fenomenet kan ha både biologiske og fysisk-kjemiske årsaker.
5. For mekanisk slam har man ikke kunnet påvise noen stor innvirkning av fortykning på den kalkdose som behøves for å holde en høy pH ved lagring.
6. Ut fra forsøkene i laboratorieskala har man kommet frem til følgende nødvendige kalkdoseringer for å holde  $\text{pH} > 11$  i 14 dager ved  $20^\circ\text{C}$ :

Slamtype	Dosering $\left[ \frac{\text{g Ca(OH)}_2}{\text{kg SS}} \right]$
Mekanisk slam	100 - 150
Biologisk slam	300 - 500
Al-slam fra sekundær-felling	400 - 600
Al-slam fra sekundær-felling + Mek.slam ( $\text{SS}_{\text{Al}} : \text{SS}_{\text{Mek}} = 1:1$ )	250 - 400
Fe-slam fra sekundær-felling	350 - 600
Ca-slam fra sekundær-felling	Ingen dosering
Ca-slam fra sekundær-felling + Mek.slam ( $\text{SS}_{\text{Ca}} : \text{SS}_{\text{Mek}} = 2:1$ )	Ingen dosering
Septiktankslam	100 - 300

#### Videre arbeid

For å kunne vurdere brukbarheten av stabilisering med kalk er det nødvendig å se denne enhetsprosessen i sammenheng med de andre enhetene innen et renseanlegg. Videre forsøk vil derfor bli konsentrert om hvilke effekter kalktilsetningen har på ulike slamtypers fortykkings- og avvanningsegenskaper samt på slamvannets muligheter for resirkulering i ulike typer renseanlegg.

Det bør følges opp med undersøkelser i teknisk målestokk (f.eks. ved anlegg innen ANØ-området som prosjekteres med kalkstabilisering) for å verifisere de data som kommer frem ved forsøkene i laboratorie- og halvteknisk målestokk.

Det kunne også vært ønskelig å få vurdert de hygieniske aspekter ved denne form for stabilisering da dette utvilsomt er av stor betydning for kalkstabilisert slams anvendbarhet i praksis (jordbruksanvendelse, dumping på fylling osv.).

#### Arbeid i utlandet

Det er gjennomgått all tilgjengelig litteratur som omhandler kalk i forbindelse med slambehandling. Dette litteraturstudiet viste at det foreligger svært lite materiale om bruk av kalk for midlertidig stabilisering av slam. Det er ikke gjort noe for å undersøke pH som funksjon av tiden ved lagring utover 3 dager.

Når det gjelder kalkens innvirkning på slams fortykkings- og avvanningsegenskaper, foreligger det en rekke referanser på bruk av kalk som kondisjoneringsmiddel, men da helst i samband med andre uorganiske kondisjoneringsmidler. Kontakttiden mellom kalk og slam vil da også som regel være mye kortere enn den som må ansees aktuell ved bruk av kalk for stabiliseringsformål.

De hygieniske virkningene av kalkstabilisering er også svært lite undersøkt, og de referanser som finnes på akkurat dette eller tilgrensende emner, gir ikke grunnlag for noen fullgod vurdering av de hygieniske aspekter ved kalkstabilisert slam.



## Delprosjekt O-40/71-R Fortykking av kjemisk slam

### Utført arbeid

Forsøkene er utført i pilotskala. Under innledende forsøk er hver slamtype kjørt parallelt i pilotskala og laboratorieskala. Slamtypene er undersøkt med og uten omrøring i pilotskala. Slamtypene fra sekundærfelling som har inngått i forsøkene er aluminium-, jern-, kalk og jern+kalk slam.

I første forsøksperiode er det benyttet aluminiumslam i forskjellige konsentrasjoner i de 4 sylindrene. Initialhøyden er holdt på 2,5 m og forsøkene er gjort uten omrøring.

### Oppnådde resultater

Forsøk har vist:

1. At fortykking av slam i pilotskala og laboratorieskala gir forskjellige resultater. Resultater av laboratorieskala-forsøk kan som ventet ikke legges til grunn for dimensjonering av full skala anlegg.
2. At omrøring ikke bedrer fortykkingen av kjemisk slam ved de konsentrasjoner man normalt har ved renseanlegg for kommunalt avløpsvann.
3. At dekantatet - som normalt skal tilbake til renseanleggets innløp - ved normal drift av fortykker, ikke er mer forurenset enn råkloakk. Resultatene er fra batchfortykker og antageligvis ikke direkte overførbare til kontinuerlig fortykking.
4. At de ulike slamtypenes fortykkingsegenskaper har rangorden med kalk som best og deretter jern+kalk, jern og aluminiumslam.
5. At aluminiumslammets karakter forandrer seg mye dag til dag, men at det likevel skal vær mulig å få en partikkelflux/konsentrasjonskurve som gir grunnlag for å finne dimensjonerende areal for fullskala fortykker.
6. At aluminiumslammets avvanningsegenskaper målt ved  $\frac{CST}{\%SS}$  blir lite forandret ved fortykking der fortykkingstiden har vært fra 6 t - 2 døgn.

### Videre arbeid

Det er påvist stor forskjell mellom fortykkingsegenskapene til de forskjellige kjemiske slamtyper. For utgangen av 1973 vil det bli gjort ytterligere forsøk med kalk og jern/kalk slam. Det foreløpige arbeid på prosjektet vil da foreligge i en

rapport. Første halvår av 1974 vil det gjøres forsøk med de forskjellige kjemiske slamtyper i blanding med biologisk og mekanisk slam. Dette er aktuelle blandings-typer i anlegg med flere rensetrinn. Spørsmålet om ulike slamtyper skal fortykkes separat eller blandes før fortykning, er ikke tidligere studert, enda det har stor betydning for den praktiske utformingen og for driften av renseanlegg. Hoveddelene av det eksperimentelle arbeidet regnes å være avsluttet innen 1.7.1974.

#### Arbeid i utlandet

Fortykking er en prosess som lenge er blitt benyttet. Det finnes mye litteraturodata om fortykkingssegenskaper og dimensjoneringsgrunnlag for mekaniske og biologiske slam-typer. Kjemisk slam er lite undersøkt og det som er gjort av forsøk er utført i laboratorieskala og gir derfor ikke dimensjoneringsgrunnlag for fortykker i full størrelse.

Av de institusjoner det i dag drives aktivt forskningsarbeid ved kan nevnes Duke University, USA og KTH, Stockholm. Der har vi personlige kontakter som prosjektet er gjennomdiskutert med.

### Videre arbeid

Det ansees som lite formålstjenlig å gjøre ytterligere forsøk med tørkesenger, da realistiske forsøk er helt avhengig av de klimatiske forhold, og disse varierer så mye her i landet at man ut fra forsøkene på Kjeller neppe kan trekke opp sikrere generelle dimensjoneringsregler enn de som er gitt i tabell 4.

En mulig fortsettelse av dette prosjektet kan være å se nærmere på andre enkle avvanningsmetoder enn tørkesenger, f.eks. en videreutvikling av det drenasjearrangement som man har gjort innledende forsøk med. Vi mener dette kan ha stor praktisk interesse, da det utvilsomt er en mangel på avvannings-tilbud for anlegg i området ca. 500-2000 pe., dvs i det området hvor hverken konvensjonelle tørkesenger eller mekanisk avvanningsutstyr (sentrifuger, silbandpresser osv.) er spesielt økonomisk gunstige.

### Arbeid i utlandet

Det er publisert en god del materiale om dimensjonering av og virkningsmåte for tørkesenger, spesielt i England og USA. En del av disse arbeider er utført under helt kontrollerte, "kunstige" klimaforhold, mens andre har vært rene registreringer av de resultater som er oppnådd ved praktisk drift. Dette data-materialet er gjennomgått og vurdert og delvis lagt til grunn for utarbeidelse av tabell 4.

Når det gjelder enkle drenasjearrangement er det ikke funnet noen relevante referanser fra utlandet.

Tabell 4. Arealbehov ved naturlig avvanning.

Rense- prosess	Slammengder før avvanning (fortykket)		Nødvendig avvanningsareal (m <sup>2</sup> /p)			
	Ustabilisert slam	Aerob stab. slam	Tørkesenger u/overbygg	Tørkesenger m/overbygg	Drenasje- arrangement innendørs	
	gTS/p.d	gTS/p.d	Frosne i vinter- helvåret Dim.avvannings- tid 6 mnd. Max.slandybde 50 cm	Drift hele året Dim. Avvanningstid 2 mnd Max.slandybde 25 cm	Ren drenasje m/kond.midler Dim.dren.tid 1 døgn Max.slandybde 10 cm	
Mekanisk Biologisk (lavbelastet) Mek.+Biol.	60	0,8-1,5	40	0,29-0,54	0,19-0,36	0,008-0,015
(normalt belastet)	-	-	40 <sup>1)</sup>	0,40-0,58	0,26-0,38	0,011-0,016
Mek.+Kjemisk (Al)	95	1,9-3,8	65	0,58-1,15	0,38-0,77	0,016-0,032
Biol./Kjem.(lavbel. simultenfelling)	115	2,9-5,8	80	0,72-1,44	0,48-0,96	0,020-0,040
Mek.+Biol.+Kjem.(Al)	125	4,2-8,3	90	0,72-1,08	0,48-0,72	0,020-0,030
				0,80-1,62	0,53-1,08	0,022-0,045

1) Ikke separat aerob stabilisering.

## RAPPORTER VEDRØRENDE PRA 2.1

1. 0-55/68, B-11/69, 0-40/71: S.T. Källqvist:  
Användning av algekulturen vid bedömning av olika avloppsreningsmetoders betydelse för eutrofieringer i sötvattenrecipienten (dec. 1971).
2. 0-40/71: P. Balmér og T. Traaen:  
Fremdriftsrapport nr. 1 (jan. 1972)  
(innhold resultater fra 1971).
3. 0-40/71: P. Balmér:  
Fremdriftsrapport nr. 2 (aug. 1972).
4. 0-40/71: M. Laake:  
Innledende studier over adenosin trifosfat (ATP) som mål på biomasse i forsøksresipienter og aktiv slam anlegg (okt. 1972).
5. 0-40/71-H H. Steensland:  
Veksthastighet for alger - En parameter til bedømmelse av rensed avløpsvann (des. 1972).
6. 0-40/71: P. Balmér et al.:  
Fremdriftsrapport nr. 3 (juni 1973).
7. 0-40/71-H T. Traaen og P. Balmér et al.:  
Renneforsøk og laboratorieundersøkelser til belysning av ulike kloakkrensningemetoders virkning på biologiske forhold i resipienten (mars 1973).
8. 0-40/71-N A. Eikum:  
Aerobic Stabilization of Primary and Mixed Primary/  
Chemical Sludge (July 1973)

ARTIKLER VEDRØRENDE PRA 2.1

1. P. Balmér:  
Virksomhet ved NIVA's forsøksstasjon på Kjeller. VANN 7 (1972) s. 288.
2. P. Balmér:  
FoU innen rensing av avløpsvann. Teknisk Ukeblad 120 (1973) Nr. 7, s. 19.
3. T.Traaen:  
Eksperimentelle biologiske resipientundersøkelser ved NIVA's forsøksstasjon, Kjeller. NIVA's årbok 1972, s. 45.
4. P. Balmér:  
Virksomhet ved NIVA's forsøksstasjon på Kjeller. NIVA's årbok 1972, s. 39.
5. A.S. Eikum and B. Paulsrud:  
Filtration Properties of Aerobic Stabilized Primary and Mixed Primary-Chemical (Alum) Sludges. Water Research (under trykking).
6. A.S. Eikum, D. Carlson and B. Paulsrud:  
Aerobic Stabilization of Primary and Mixed Primary-Chemical (Alum) sludge. Sendt for publikasjon.
7. P. Balmér and O.F. Fredriksen:  
A Pilot Plant Scale Evaluation of Potential Precipitants in the Secondary Precipitation Process. Sendt for publikasjon.