

Biologisk/kjemisk rensing i biorotor-anlegg

Av Hallvard Ødegaard

Hallvard Ødegaard er dosent ved Institutt for vassbygging, NTH, og leder for Vannrensegruppen, SINTEF avd. for teknisk kjemi. Han er siv.ing. NTH bygg og dr.ing. samme sted 1975.

INNLEDNING

I løpet av de siste 5 år har det vært en økende bruk av biorotoranlegg i Norge. Av ialt omlag 500 videregående renseanlegg i landet, er 52 anlegg (10%) biorotoranlegg (1982). Hele 48 av de 52 anlegg drives med biologisk/kjemisk rensing. Den kjemiske fellingen etableres selsvagt hovedsakelig for å fjerne fosfor, men man har også erfart at kjemisk felling bedrer resultatet med hensyn på suspendert stoff.

Kjemisk felling kan etableres i kombinasjon med biorotor på prinsipielt 3 forskjellige måter (se fig. 1). Jeg har valgt å kalle disse:

- Simultanfelling
- Kombinertfelling
- Etterfelling.

Ved simultanfelling blir fellingsmiddelet tilsatt selve biorotortanken, fellingen foregår her, og det utfelte stoffet fjernes sammen med biofilmen i den følgende separasjonsenhet som normalt er en sedimenteringstank. I og med at flokkuleringen foregår i biorotortanken har man normalt ikke en egen flokkuleringsenhet.

Etterfellingsanlegg er oppbygget av biologiske og kjemiske steg helt separat fra hverandre. Biorotoren har sin egen sedi-

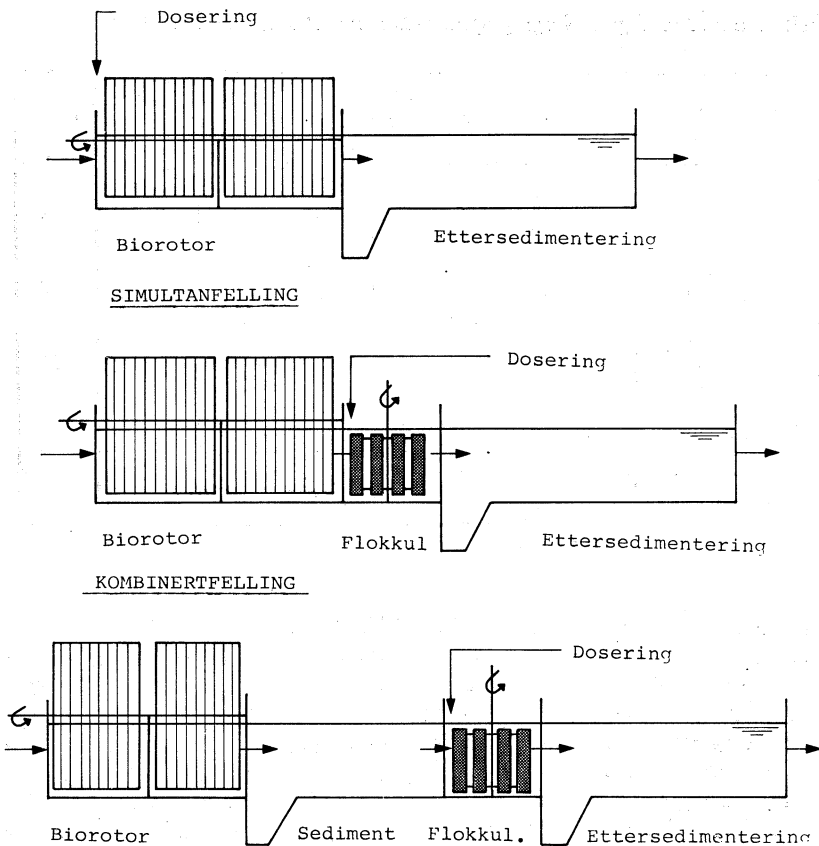
menteringstank fulgt av et eget kjemisk steg.

Som det vil bli vist senere, er hoveddelen av de biologisk/kjemiske biorotoranleggene i Norge prosjektert for kombinertfelling. Sammenlignet med den tradisjonelle etterfelling, har man her uteløst sedimenteringstanken for biofilmslammet. Fellingsmidlet tilsettes til utløpet av biorotoren og hele suspensjonen (biologisk og kjemisk slam) blir så flokkulert før den kombinerte slamfjerningen skjer i sedimenteringstanken.

I det følgende blir det gitt en oversikt over erfaringene med biologisk/kjemiske renseanlegg basert på biorotor. Deretter omtales et spesielt prosjekt, finansiert av NTNF's utvalg for drift av renseanlegg, for å sammenligne simultanfelling og kombinertfelling i biorotoranlegg.

BRUK AV BIOROTORANLEGG I NORGE — EN OVERSIKT

Gjennom en spørreundersøkelse til alle fylkene ble informasjoner om biorotoranleggene i Norge samlet inn i 1982. I tabell 1 er det totale antall av biorotoranlegg gruppert i henhold til deres størrelse og prosessløsning.



Figur 1. Tre måter å etablere kjemisk felling i biorotoranlegg på.

Tabell I viser at biologisk/kjemiske biorotoranlegg er det vanligste (48 av 52 anlegg) og at kombinertfelling er den biologisk/kjemiske prosessløsning som blir mest brukt (42 av 48 anlegg). Med de anlegg som ble bygget i 1983 og de som finnes for rensing av industriavløpsvann, kan vi regne med at vi nå har ca. 60 biorotoranlegg i Norge. Årsaken til at kombinertfellingsprosessen har hatt den største populariteten er å finne i at:

- forurensningsmyndighetene har akseptert denne renseløsningen der de ellers ville krevet etterfellingsanlegg,
- siden etterfellingsanlegg basert på biorotor ikke har vært investeringsmessig konkurransedyktig med etterfelling basert på aktivt slam, har kombinertfelling vært det p.g.a. innsparelsene man får ved å utelate sedimenteringstanken for biofilmslammet.

Tabell I. Biorotoranlegg i Norge gruppert etter størrelse og prosessløsning.

Prosess- løsning	Personekvivalenter				Total
	> 500	> 500-1000	>1000-2000	> 2000	
Uten felling	2		1	1	4
Simultan- felling	2				2
Kombinert- felling	18	8	11	5	42
Etter- felling	1	1	1	1	4
Total	23	9	13	7	52

Man har stilt seg spørsmålet om ikke også simultanfelling kunne gi like godt resultat som kombinertfelling. Hvis dette var slik, kunne også flokkuleringstankene utelates. I og med at alle renselanlegg er innebygget, er det klart at besparelser i arealet på anlegget vil gi vesentlige besparelser i total investeringskostnad.

Hovedmålsettingen med det prosjekt som skal omtales senere, var nettopp å sammenligne simultanfelling med kombinertfelling.

Effluentkvalitet.

Den innsamlede informasjon fra fylkene var ikke fullstendig for alle 52 anleggene, delvis fordi mange av anleggene var så nye at fylkesmyndighetene ikke hadde startet deres kontrollprogram enda, og delvis fordi informasjonen fra fylkesmyndighetene var ufullstendige. I tabell II er vist resultatene av 24 anlegg hvor effluentkvaliteten var blitt analysert på vannmengdeproporsjonale prøver jevnlig tatt over ett år. Anleggene har blitt delt

Tabell II. Midlere effluentkvalitet ved 24 norske kombinertfellingsanlegg.

Srørr.gr. Personekv.	Tot P ppm	Antall		Antall		
		Prøver	Anlegg	ppm	Prøver	Anlegg
< 1000 pe	1,27	42	12	24	35	12
≥ 1000 pe	0,39	70	12	15	70	12

i to grupper, større og mindre enn tusen personer tilknyttet. Alle anleggene som er med i tabell II er kombinertfellingsanlegg.

Vi kan se av tabell II at de små anlegg har problemer med å møte den effluentkvaliteten for fosfor for slike anlegg som man normalt vil kreve (mindre enn 1 milligram fosfor pr. liter). Dette skyldes hovedsakelig driftsproblemer med kjemikaliedoseringsutstyret. I de større anleggene, som er meget godt drevet, er den gjennomsnittlige effluentkvalitet godt under det som er vanlig å kreve for større etterfellingsanlegg i Norge ($<0,5$ mg P/l, $<$ mg BOF₇/l.)

Driftserfaringer.

Det er idag 10 ulike biorotorprodukter representert blant norske biorotoranlegg. Av de større anleggene er det 3 produkter som dominerer fullstendig:

- Bio-surf
- Envirodisc
- NOVA.

Det er ikke mulig ut fra de data som er innsamlet å fastslå om noen av disse produktene gir bedre effluentkvalitet enn de andre. I de store veldrevne anleggene gir alle effluentkvaliteter som man ventet av etterfellingsanlegg ($<0,5$ mg P/l, <20 mg BOF₇/l.)

Vi har imidlertid, som de fleste andre land, erfart en rekke mekaniske feil med biorotoranleggene, og på grunn av dette er det nok riktig å si at biorotorens popularitet har falmet vesentlig i det siste. De største mekaniske problemene har sannsynligvis vært erfart med NOVA-rotoren, men også ved enkelte anlegg basert på de andre produktene har det vært mekaniske problemer. Det viser seg

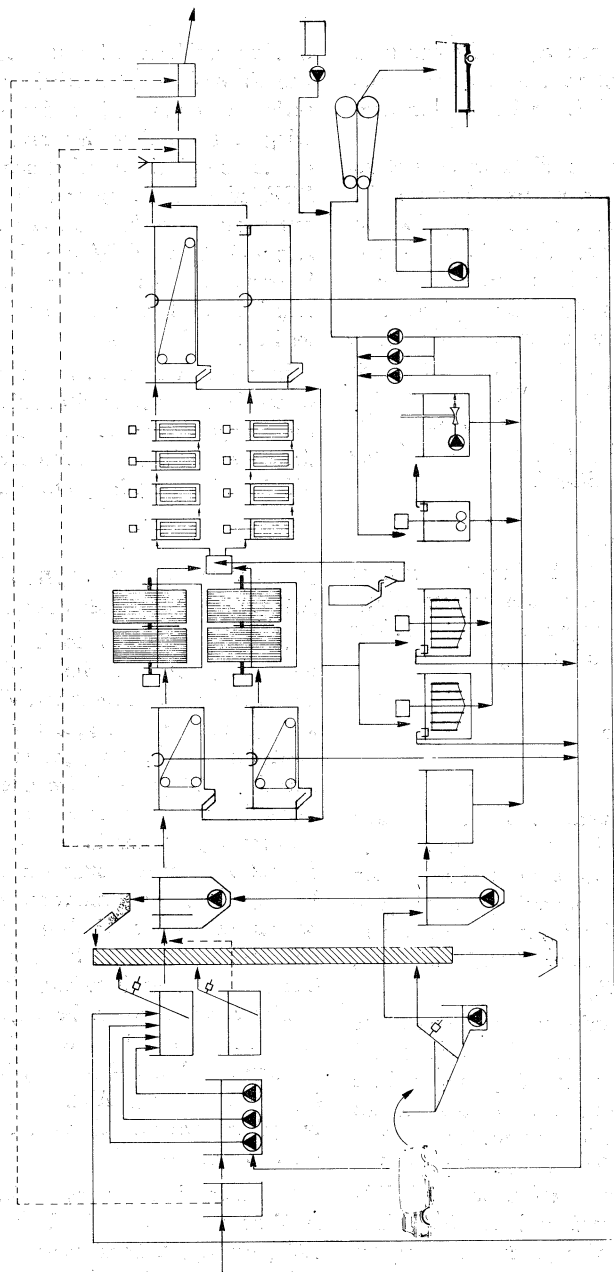
at disse problemene i nesten alle tilfeller kan tilbakeføres til overbelastning. I de reviderte retningslinjene for dimensjonering av renselanlegg, har man derfor redusert noe på tillatt belastning (20 gram BOF₇/m² · døgn), og man har dessuten satt et tak for maksimalbelastning i første steg (35 gram BOF₇/m² · døgn). Dette innebærer at man må kjøre de to første steg i parallell, eller at man må operere med et stort førstesteg.

Et annet problem som erfares ved lavt belastede anlegg er at nitrifikasjonen i biorotoranlegget forbruker så mye alkalitet at det er vanskelig å opprettholde høy nok pH for kjemisk felling etterpå.

RESULTAT FRA ET BIOROTOR-ANLEGG MED KOMBINERT FELLING

Over en periode på to år ble innløpsmengde og utløpskvalitet analysert på vannproporsjonale prøver ved Vinstra renselanlegg som er oppbygget som et kombinertfellingsanlegg. Anlegget er dimensjonert for 5100 personekvivalenter med en dimensjonerende vannmengde på 140 m³ pr. time. Flyteskjema for anlegget er vist i figur 2. Anleggene mottar kommunalt avløp, og en del industriavløp fra meieri og dessuten blir septikslam avvannet på anlegget. Rejektvannet fra denne septikbehandling bidrar betydelig til sammensetningen av råvannet. Fellingen foregår med aluminiumsulfat av AVR-kvalitet. Doseringen på 130—140 mg AVR/l (omlag 11 til 12 mg Al/l) doseres vannmengdeproporsjonalt til vannet nedstrøm biorotorenhetene.

Som man vil se senere, er den midlere BOF₇-konsentrasjonen i råvannet omlag 320 gram O/m³. Forutsetter vi en BOF-reduksjon på 30% i forsedimenteringen,



Figur 2. Flyteskjema, Vinstra rensanlegg.

blir den organiske arealbelastningen 19 gram $\text{BOF}_7/\text{m}^2 \cdot \text{døgn}$, som er omlag det norske dimensjoneringskriteriet for slike anlegg (20 gram $\text{BOF}_7/\text{m}^2 \cdot \text{døgn}$). Anlegget var også hydraulisk full belastet i forhold til den dimensjonerende mengde.

Gjennomsnittlig rensesresultat for dette anlegget over de to siste år basert på månedlige prøver analysert av byveterinæren i Lillehammer, er vist i tabell III.

Dataene i tabell III viser klart at et godt drevet kombinertfellingsanlegg kan gi en efluentkvalitet av minst samme gode kvalitet som et tradisjonelt etterfellingsanlegg basert på aktivt slam. Med tanke på at dette er en midlere resultater over en toårsperiode av alle månedlige prøver, må man si at resultatet er oppsiktsvekkende godt.

Tabell III. *Midlere resultat av månedlige prøver tatt over 2 år ved Vinstra renseanlegg (kombinertfelling).*

Parameter	inn g/m^3	ut g/m^3	R %	n
KOF	578 \pm 240	30 \pm 15	94,8	24
BOF_7	322 \pm 155	10 \pm 4	96,9	23
Total P	8,49 \pm 4,2	0,18 \pm 0,13	97,9	23
SS	267 \pm 148	7 \pm 4	97,4	24

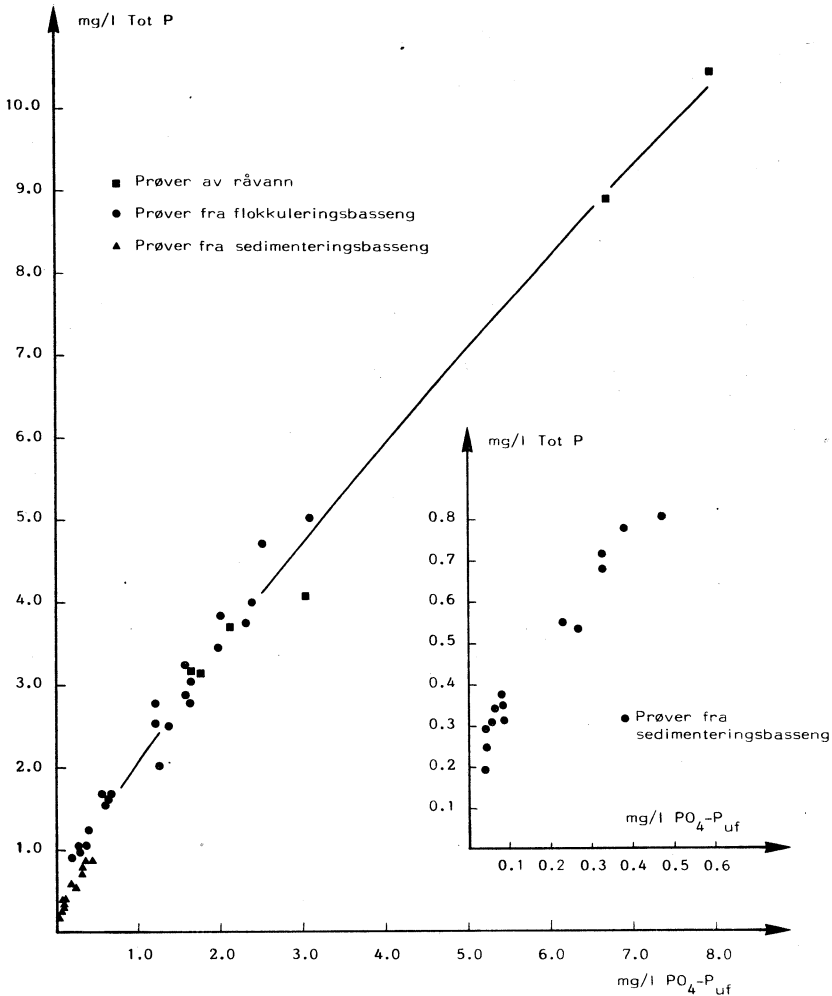
EN EKSPERIMENTELL SAMMENLIGNING MELLOM KOMBINERTFELLING OG SIMULTANFELLING

Høsten 1981 ble det i form av en hovedoppgave ved Institutt for vassbygging, NTH gjennomført forsøk ved Vinstra renseanlegg. Målsettingen med forsøkene var dels å studere kombinertfelling ved ekstreme belastninger og dels å sammenligne kombinertfelling med simultanfelling. Vinstra renseanlegg ble valgt som forsøksobjekt fordi anlegget har to parallele behandlingslinjer. To ulike forsøksperioder ble gjennomført. I den første perioden ble alt vann ledet gjennom bare en av behandlingslinjene etter biorotortankene. I den andre forsøksperioden, ble flokkuleringstankene i en

av behandlingslinjene kortslettet, slik at kombinert- og simultanfelling kunne sammenlignes i parallell med hverandre på det samme forsedimenterte råvannet.

Prøvene ble tatt vannmengdeproporsjonalt og analysert mhp. total og løst KOF, total og løst fosfor, og suspendert stoff. I tillegg ble siktedypet i enden av sedimenteringsbassengene målt. I og med at vi hovedsaklig var interessert i hvordan det biologisk/kjemiske rensesystemet fungerte, er råvannssammensetningen som vi senere beskriver den som man har ved utløpet av forsedimenteringsbassengene.

Den første undersøkelsesperioden varte i en uke, den andre i tre uker. Prøvene ble tatt daglig og analysert straks på anlegget. P.g.a. manglende utstyr ble fosfor



Figur 3. Sammenheng mellom ortho-fosfat på ufiltrert prøve og total fosfor.

målt som ortofosfat både på filtrerte og ufiltrerte prøver. En rekke prøver ble imidlertid tatt til Trondheim for bedømmelse av totalfosfor slik at en korrelasjon mellom totalfosfor og ortofosfat på ufiltrert prøve kunne etableres. Denne kor-

relasjonen var god, se fig. 3 (I de følgende tabeller er derfor orto-P-ufiltrert oppgitt. Se fig. 3 for bestemmelse av tot P.)

I den første forsøksperioden ville vi undersøke hvordan høy hydraulisk be-

lastning influerte på behandlingsresultatet. I og med at vi kjørte alt råvann inn gjennom den ene behandlingslinjen kan man av tabell IV se at den midlere overflatebelastning på sluttsedimenteringsbasenget var $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{døgn}$, og den midlere maksimumsoverflatebelastningen på dagen (Q_{dim}) var $1,6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{time}$. Det norske dimensjoneringskriteriet for denne prosessen er $1,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{time}$, slik at anlegget også hydraulisk var overbelastet i denne perioden.

Nå falt det seg slik at det forsedimenterte råvannet i den første perioden var svært konsentrert delvis p.g.a. et betydelig bidrag av slamvann fra septikslamavvanning i denne perioden.

Dette førte til en svært høy midlere organisk arealbelastning, $57 \text{ gr. KOF}/\text{m}^2 \cdot \text{døgn}$ basert på total KOF og $26 \text{ gr. KOF}_f/\text{m}^2 \cdot \text{døgn}$ basert på løst KOF (KOF_f). Vi kjenner godt sammenhengen mellom BOF og KOF på dette vannet, og basert på de målte KOF verdier kan vi beregne BOF belastningene til å ha vært $33 \text{ gram BOF}_7/\text{m}^2 \cdot \text{døgn}$ basert på total BOF_7 og $16 \text{ gram BOF}_f/\text{m}^2 \cdot \text{døgn}$ basert på løst BOF_7 .

Dette betyr at anlegget var både hydraulisk og organisk overbelastet i denne forsøksperioden slik vi ønsket det skulle være. Den organiske belastningen var i virkeligheten langt over det vi hadde forutsatt at den skulle være, nemlig omlag den maksimale belastningen som er anbefalt i de norske dimensjoneringskriteriene.

I den andre perioden var den hydrauliske belastningen lavere, delvis fordi tilførselen til anlegget var lavere i denne perioden, men hovedsakelig fordi den innkomne vannmengde da ble delt i to

linjer. Den organiske belastningen var omlag slik som ventet, svært nær det norske dimensjoneringskriteriet. I begge perioder var doseringsmengden den samme som normalt, nemlig $135 \text{ gram aluminiumsulfat pr. m}^3$ tilsatt vannmengdeproporsjonalt til avløpsvannet.

RESULTATER OG DISKUSJON

I tabell V er det gitt en oversikt over de midlere behandlingsresultatene fra de to periodene.

Til tross for den ekstremt høye belastningen i kombinertfellingslinjen i forsøksperiode 1, ga anlegget fortsatt svært god utløpskvalitet sammenlignet hva som normalt ble oppnådd ved en hydraulisk belastning som bare var det halve av det man hadde i denne perioden. KOF verdiene i effluenten tilsvarer BOF_7 verdier på rundt 5 gram BOF_7 pr. m^3 av løst BOF_7 , og mindre enn 10 gram BOF_7 totalt pr. m^3 . Fosforfelling var også god. Fellingen var fullstendig (total utfelling av ortofosfat) og selv med en overflatebelastning ved Q_{dim} så høy som $1,6 \text{ m}^3$ pr. time var separasjonen av fnokker god. Utløpsvannet var svært klart med et siktedyp på 63 cm .

Som man kan se av tabell V var effluentkvaliteten i periode to, ikke så god som i periode 1 i noen av behandlingslinjene på tross av at den hydrauliske belastningen var vesentlig mindre. Hvorfor konsentrasjonen av både total og løst organiske belastningen i periode 1 hadde kombinertfelling, vet vi ikke. Det er imidlertid sannsynlig at den ekstreme organiske belastningen i periode 1 hadde en innflytelse på biofilmen på den måten at den resulterte i en tykk biofilm som strippet av i større grad i periode 2, noe som førte til en reduksjon i total aktiv

Tabell IV. Organiske og hydrauliske belastninger, Vinstra. (1.) beregnede verdier.)

	SFT dim.krit	Periode 1	Periode 2	
		Komb.fell.	Komb.	Simult.
Midl.org.arealbel				
$gKOF_{tot}/m^2d$		57	36	36
$gKOF_{løst}/m^2d$		26	10	10
$gBOF_7_{tot}/m^2d^{1)}$	20	34	22	22
$gBOF_7_{løst}/m^2d^{1)}$		16	6	6
Midl.oppholdstid flokkulering				
min.	20	20	50	0
Midl.maks time- avrenning (Q_{dim}) overflatebel. $m^3/m^2 \cdot h$	1,3	1,6	2,6	0,6

biomasse. Siden hovedhensikten med forsøksperiode 3 var å sammenligne de to ulike prosessene er imidlertid det absolutte rensresultat ikke så viktig. Man ser av tabell V at separasjonen av fnokker var dårligere i kombinert-fellingslanjen i periode 2 enn i periode 1. Fosfatfjerningen var fortsatt god. Når man sammenligner resultatene fra de to behandlingslinjene, er det to ting som er klart:

- fjerningen av løst organisk stoff og løst fosfor var like god i de to ulike linjene,
- separasjonen av fnokker var bedre i kombinertfellinglinja.

Forskjellen mellom de to prosessløsningene ligger nettopp i fnokkseparasjonsaspektet slik at man kunne forvente på forhånd. Dette demonstrerer nytten av flokkuleringstankene. Det må imidlertid nevnes at resultatene i simultanfelling kan ha vært influert av:

- det faktum at doseringspunktet for fellingsmiddel ble forandret over perioden for å se om det influerte på resultatet. Det gjorde det tilsynelatende ikke.
- det faktum at doseringssystemet for denne linjen var et provisorium som kan ha gitt en doseringsmengde som

Tabell V. Behandlingsresultater, forsøksdrift Vinstra.

Parameter	Periode 1	Periode 2	
	Kombfelling	Kombinert	Simultan
KOF _{tot} inn	561±220	409±104	409±104
ut	31± 10	57± 30	72± 29
KOF _{løst} inn	287±137	110± 35	110± 35
ut	21± 9	34± 19	34± 22
PO ₄ ^{-P} _{tot} inn	6,5±2,4	6,7±1,6	6,7±1,6
ut	0,34±0,18	0,39±0,21	0,59±0,13
PO ₄ ^{-P} _{tot} inn	5,6±3,4	2,0±0,56	2,0±0,50
ut	0,02±0,01	0,04±0,03	0,05±0,02
SS ut	13±1	27±9	37±12
Siktedyp (cm)	163±33	85±39	50±18

ikke var så pålitelig som i den andre linjen.

Faktisk ble en tredje forsøksperiode gjennomført hvor alt vann ble ledet gjennom simultanfellinglinjen slik at man fikk en relativt høy hydraulisk belastning på anlegget (overflatebelastning 1,2 m pr. time). Resultatene var imidlertid svært like de man fikk i periode to og dessuten var ikke den organiske belastningen i denne perioden særlig høy. Derfor er ikke resultatene tatt med her. Mot slutten av perioden var imidlertid rensesultatet meget godt og like godt som det man oppnådde i kombinertfellinglinjen i periode to. Dette viser at god rensing også kan oppnås med simultanfelling. Basert på resultatene vi har oppnådd vil vi imidlertid anbefale at flokkulerings-tanker bygges med en oppholdstid på

15 til 20 minutter. Det er selvsagt viktig at disse konstrueres på en slik måte at biofilmsedimentering i flokkuleringsbasenget unngås.

Med hensyn til doseringspunktet for fellingsmiddel kan man ikke slå fast av denne undersøkelsen om dette burde gjøres før eller etter biorotortanken ved kombinert felling fordi bare det normale doseringspunktet, etter biorotoren, ble undersøkt her. Man kan imidlertid argumentere med at dosering av fellingsmiddel før biorotoren vil utfelle noe av det løste organiske stoffet og på den måten faktisk redusere den organiske belastningen på biorotoren. Sammenligningen mellom simultanfelling og kombinert felling kunne imidlertid ikke bevise denne hypotesen i og med at løst organisk stoff i effluenten var den samme i de to linjene.

Det kan også argumenteres for at dosering av fellingsmiddel før biorotoren vil gi mindre forbruk av kjemikalier fordi innholdet av suspendert stoff er lavere her, og følgelig vil mindre fellingsmiddel brukes til å koagulere suspendert stoff.

Med simultanfelling mener vi at det mest korrekte doseringspunkt vil være før biorotoren hovedsakelig fordi dette er det punktet hvor man oppnår best innblanding av kjemikalier. I undersøkelsene kunne vi imidlertid ikke se mye forskjell i resultatene med hensyn til hvor vi doserte fellingskjemikaliene, men så ble da også doseringsmengden holdt konstant i undersøkelsene.

Som en konklusjon kan vi kanskje si at biorotoranlegg bør legges opp med et fleksibelt system med hensyn på doseeringspunkt for kjemikalier.

KONKLUSJONER

1. Biologisk/kjemisk rensing i biorotoranlegg kan oppnås ved å tilsette fellingskjemikalier før eller direkte til biorotortanken (simultanfelling), etter biorotortanken og før et flokkulerings/sedimenteringssystem (kombinert-felling) eller med et separat kjemisk fellingssteg nedstrøms biorotortanken (etterfelling).
2. Erfaringene fra norske kombinertfellingsanlegg viser at fremragende rensesultater kan oppnås med denne prosessløsningen. Siden denne prosessen har et slamseparasjonstrinn mindre enn etterfelling er kombinert-felling økonomisk fordelaktig fremfor etterfelling.
3. Simultanfelling kan også gi akseptable renseresultater, men det anbefales at et flokkuleringssteg bygges inn mellom biorotorbassenget og sedimenteringsbassenget fordi dette gir bedre slamseparasjonsforhold.
4. De effluentkvaliteter som normalt kreves ved norske biologisk/kjemiske rensesanlegg kan oppnås med de belastninger som det er lagt opp til i de norske dimensjoneringsretningslinjene for biorotoranlegg.

LITTERATUR

- /1/ *Ødegaard, Hallvard*: «Kjemisk felling i biorotoranlegg». Prosjektrapport nr. 37, NTNF's utvalg for drift av rensesanlegg, 1982.
- /2/ *Ødegaard, Hallvard*: «Combined Biological/Chemical Treatment in RBC-Plants». Proceedings from: First International Conference on Fixed-Film Biological Processes, Kings Island Ohio, USA 1982.
- /3/ *Rødningen, Morten*: «En studie av kjemisk felling med og uten flokkuleringsstrinn ved biorotoranlegg.» Hovedoppgave Institutt for Vassbygging. D-1-80-11. 1980.