

# Noen synspunkter på simultanfelling og etterfelling — Hvilke resultater kan forventes?

Av Ole Jakob Johansen

Ole Jakob Johansen er for tiden ansatt som overingeniør i Mjøsaksjonen. Han er siv.ing. (1968) og dr. ing. (1972) fra Norges tekniske høgskole, og Ph.D. fra University of Washington, Water and Air Resources Division (1975).

*Innlegg holdt på kollokvium i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene 3. oktober 1978.*

Forurensningstilstanden i flere av våre viktigste vassdrag er blitt betydelig forverret de siste åra. I flere av vassdragene er situasjonen så kritisk at større oppryddingsarbeider må til for å få den nødvendige kontroll over forurensningstilførslene. I denne sammenheng kan nevnes aksjon Mjøsa, hvor målsettingen er å redusere fosforbelastningen som i 1976 var anslått til 380 tonn pr. år ned mot ca. 170 tonn pr. år. Denne grenseverdi er basert på erfaringer fra andre innsjøer.

Av de totale fosfortilførsler til Mjøsa utgjorde kommunale utslipp i 1976 92 tonn pr. år. Etter beregninger bør de kommunale utslipp reduseres til 8 tonn pr. år. Dette betyr en fosforreduksjon i overkant av 90%. Når en tar tilføringsgraden i tilførselsledningene i betraktning betyr dette at fosforfjerningen i renseanleggene bør ligge på 95%. For å komme opp mot en slik renseeffekt i middel over året må det bygges meget driftsikre og effektive renseanlegg.

## Hvilken rensemetode bør velges?

Hvilken renseprosess som skal velges bør bestemmes ut fra resipientforhold og økonomi. I Norge has en rekke gode resipienter slik at vidtgående rensing før utslipp i disse skulle være unødvendig. Det har f.eks. liten hensikt å tilstrebe en høygradig fosforfjerning av avløpsvann med utslipp i våre kystområder fordi det her som regel er nitrogen og ikke fosfor som er begrensende for algeveksten. Fosforfjerning i form av kjemisk felling gir imidlertid en god bakteriologisk reduksjon, hvilket kan være av stor betydning lokalt for fiskebestanden. I vassdrag uten innsjøer vil en normalt stille lavere krav til rensingen enn i vassdrag med innsjøer hvor fosforet delvis magasineres. I hvert tilfelle er det viktig å ha klart for seg hvilke forurensningskomponenter man må konsentrere seg om, og den nødvendige grad av reduksjon for å oppnå den ønskede virkning av tiltakene. Tabell 1 viser en skjematisk oversikt over forventet fjerning av noen viktige forurensningskomponenter ved de viktigste rensemetoder som benyttes i Norge i dag. Tabellen er kun orienterende. Et primærfellingsanlegg kan f.eks. gi en bedre fosforfjerning enn et

Tabell 1

Fjerning av de viktigste forurensningskomponenter ved forskjellige rensemetoder.

	Organisk stoff	Fosfor	Nitrogen	Bakterieinnhold	Tungmetaller
Mekanisk rensing	+	+	+	+	+
Biologisk rensing	+++	+	+	+++	+
Primærfelling	++	++	+	++	++
Sekundærfelling	++	+++	+	+++	+++
Simultanfelling	+++	++ <sub>+</sub>	+	+++	++ <sub>+</sub>
Etterfelling	+++ <sub>+</sub>	+++ <sub>+</sub>	+	+++ <sub>+</sub>	+++ <sub>+</sub>

+ moderat fjerning

+++ høygradig fjerning

sekundærfellingsanlegg hvis belastningen er lavere og forholdene ellers er lagt til rette for en god felling.

I Mjøsområdet har en tatt konsekvensene av den kritiske situasjon som Mjøsa er i. Rensekravene er blitt endret slik at det under Mjøsaksjonen bare blir bygget etterfellingsanlegg (biologisk + kjemisk). Mjøsa er også drikkevannskilde for de største Mjøsbyene. Det er derfor viktig at de hygieniske og bakteriologiske forhold i innsjøen blir av en slik beskaffenhet at de egner seg for drikkevannsforsyning. Dette var også av avgjørende betydning når rensekravene skulle bestemmes for Mjøsas nedslagsfelt.

For å få kjennskap til nyere rensemetoder blir det i Mjøsområdet også startet forsøk med hurtig sandfiltrering som etterbehandling ved 4 renselanlegg. To av disse anleggene bygges/utbedres med simultanfelling og filtrering. Resultatene fra disse forsøk vil gi oss svar på hvilke drifts-

problemer og renseeffekter som kan forventes ved denne rensesprosess.

I forbindelse med Mjøsaksjonen har det fra visse hold vært reist sterk kritikk av at rensekravene for Mjøsområdet er blitt endret. Det er blitt hevdet at simultanfelling kan gi like gode rensesresultater med hensyn på fosfor som etterfelling. I det følgende vil noen synspunkter på disse to rensesprosesser bli diskutert og hvorfor en kan forvente forskjellige rensesresultater.

### Simultanfellingsprosessen er komplisert

De fleste renselanlegg i Norge som drives med fosforfjerning, er simultanfellingsanlegg. En rekke av disse anlegg har tidligere vært drevet som rene biologiske anlegg. Etter hvert som kravene til rensing har øket har stadig flere av disse anlegg blitt tillempt simultanfelling. Anleggene har opprinnelig ikke blitt bygget for simultanfelling slik at en optimal simultanfellingsprosess har vært vanskelig

eller umulig å oppnå. Dette er trolig hovedårsaken til at storparten av norske simultanfellingsanlegg fungerer meget dårlig.

Fjerning av fosfor ved hjelp av metallsalter i simultanfellingsprosessen er sammensatt av en rekke komplekse delprosesser. De viktigste prosesser som inngår er kjemisk felling, adsorpsjon og ionebytte. Utfelling av metallfosfater er en funksjon av pH og metallionenes kompleksbinding med hydroksydioner og mono og dehydrogenfosfationer. Metallhydroksyder dannes også og denne utfelling konkurrerer med fosfationene om jern/aluminiumsionene.

Teoretiske beregninger ut fra aktuelle løslighetsprodukter viser betydelig høyere fosforkonsentrasjoner enn praktiske forsøk og erfaringer viser. Avvik fra de teoretiske fellingsberegninger og verdier som oppnås i praksis, tyder på at andre mekanismer enn ren felling dominerer ved fosforfjerningen, eller at andre fellingsforbindelser dannes enn de man kjenner i dag. I litteraturen antydes at reaksjoner som adsorpsjon av fosfater i det aktive slam kan være avgjørende for fosforfjerningen (1).

### Feil dosering gir dårlig fosforfjerning

Forsøk og praktiske erfaringer viser at 2—3 mg Fe eller 1—1,5 mg Al pr. mg fosfor er tilstrekkelig for å oppnå en god fosforfjerning ved simultanfelling. Dette tilsvarer et molforhold Fe (Al) : P = 1,1 — 1,7. Tilsettes mindre enn dette, reduseres fosforfjerningen og tilsettes mere kan kjemikalietilsetningen føre til et drastisk fall i pH. Både jern og aluminiumsalter forbruker alkalitet, og dette betyr vanligvis en senkning i pH i forhold til ren biologisk rensing. For avløpsvann med

lav alkalitet kan kjemikalietilsetningen føre til en drastisk senkning i pH. Denne senkning i pH vil ha negative virkninger på den biologiske prosess og medfører normalt at avløpsvannet blir turbid og fosforfjerningen dårligere. Lav alkalitet medfører dessuten meget ustabile prosesser, og kan medføre store svingninger i pH. For avløpsvann med lav alkalitet kan endog de biologiske prosesser (nitrifikasjon) alene føre til et drastisk fall i pH. For avløpsvann med lav alkalitet vil det derfor kunne være nødvendig å tilføre vannet alkalitet for å foreta en tilfredsstillende felling. Tilførsel av alkalitet vil normalt skje ved tilsats av lut eller kalk.

De viktigste forbindelser som bidrar til alkalitet er hydroksyd, karbonater og bikarbonater. Andre forbindelser som bidrar til alkalitet, utgjør i praksis så lite av den totale alkalitet at man kan se bort fra dem (2, 3). Alkaliteten kan derfor beregnes som:

$$\text{Alkalitet} = (\text{HCO}_3^-) + 2 (\text{CO}_3^{2-}) + (\text{OH}^-)$$

I området fra pH 9—10 til ca. 7 domineres alkaliteten av hydrogenkarbonat. Ved lavere pH verdier enn 6 — 6,5 forvandles hydrogenkarbonat til karbondioksyd og vann ved lufting ( $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ). Karbondioksyden drives av som gass og får et fall i alkalitet. Holdes derimot pH i et område høyere enn ca. 7 hvor hydrogenkarbonat dominerer, avdrives ikke vannets naturlige alkalitet i form av karbondioksyd. For å oppnå stabile biologiske prosesser, må en derfor drive disse ved pH høyere enn 7. Erfaringer viser også at man får de beste fosforfjerninger ved pH 7 — 8, både når det gjelder felling med jern og aluminiumsalter.

## Riktig dosering avgjørende for fosforfjerningen

Ved simultanfelling skal doseringen helst være proporsjonal med tilført mengde fosfor. I praksis styres doseringen vanligvis etter vannføringen. For anlegg med dårlig avløpsnett hvor infiltrasjonsvannmengden er sterkt avhengig av nedbørforholdene vil en slik dosering være ugunstig. I nedbørperioder vil en derfor kunne få overdosering med fall i pH og dårlig fosforfjerning. Simultanfelling er imidlertid ikke så ømfintlig for variasjoner i doseringen som andre fellingsanlegg. Årsaken til dette er at kjemikaliene følger slammet. Ved stopp i doseringen vil derfor ikke fosforfjerningen opphøre med en gang, men gradvis avta. Hvor hurtig dette skjer er en funksjon av slamalderen.

### God sedimentering viktig

Ved simultanfelling akkumuleres fosforet i det biologiske slam og fjernes fra prosessen i form av overskuddslam. Fosformengden i slammet er således proporsjonalt med slamalderen. Ved en slamalder på f.eks. 5 døgn inneholder slammet en fosforkonsentrasjon som er 5 ganger høyere enn den gjennomsnittlige fosforkonsentrasjon i innløpet pr. døgn. Slamflukt fra simultanfellingsanlegg vil derfor normalt føre med seg mye fosfor i utløpet. I en langtidslufter hvor man f.eks. tømmer slam to — tre ganger pr. år, vil slamflukt få store konsekvenser. Blir f.eks. anlegget hydraulisk overbelastet, slik at alt slam tappes med utløpsvannet vil all fosfor som er fjernet siden siste slamtømming føres med utløpsvannet. Fosforfjerningen har med andre ord vært null i denne perioden.

Ved simultanfelling inneholder vannet

inn til sedimenteringsenheten vanligvis 3 000 — 4 000 mg/l slam. Det tilsvarende tall ved etterfelling (etter flokkulering) er ca. 80 mg/l. Dette betyr at sedimenteringsbassengene for et simultanfellingsanlegg må separere ca. 50 ganger mer slam enn et tilsvarende etterfellingsanlegg. Det er derfor meget viktig at sedimenteringsbassengene ved simultanfelling er dimensjonert tilstrekkelig for å unngå slamflukt.

Sedimenteringsegenskapene for det biologiske slam forbedres normalt ved simultanfelling. I litteraturen rapporteres det at dosering med jernsulfat gir bortimot en halvering av slamvolumindeksen og aluminiumsulfat omlag 25% reduksjon (4). Erfaringer viser også at slamsvelling i mange tilfeller reduseres betydelig ved simultanfelling sammenlignet med ren biologisk rensing. Rundt omkring i landet drives det derfor en del biologiske anlegg med tilsats av fellingskjemikalier primært for å unngå slamsvelling.

### Simultanfellingsanlegg må dimensjoneres større enn tilsvarende biologisk trinn ved etterfelling

Simultanfellingsanlegg skal ifølge de nye retningslinjer for dimensjonering av kommunale kloakkrenseanlegg dimensjoneres vesentlig større enn det tilsvarende biologiske trinn for etterfellingsanlegg. De anbefalte slambelastninger ved 10°C er henholdsvis 0,3 og 0,5 kg BOF<sub>7</sub>/kg SS døgn for henholdsvis simultanfelling og etterfelling. Ved like slamkonsentrasjoner i luftebassengene vil dette si at luftebassengene ved etterfelling bare blir ca. halvparten av et tilsvarende simultanfellingsanlegg. I praksis betyr dette at et etterfellingsanlegg ikke behøver å bli særlig

større enn et simultanfellingsanlegg. Dette fordi flokkuleringsenheten og ettersedimenteringsenheten ikke opptar særlig større volumer eller arealer enn den reduksjon i luftebassengvolum som fås når slambelastningen øker fra 0,3 til 0,5 kg BOF<sub>7</sub>/kg SS døgn. Sedimenteringsbassenget ved simultanfellingsanlegg må også dimensjoneres større (ca. 30%) enn for det biologiske trinnet i etterfellingsanlegget. Ved at anleggenes størrelse ikke blir vesentlig forskjellig, vil en heller ikke forvente store forskjeller i investeringskostnader for de to anleggstyper. I Mjøsaksonen bygges det flere større etterfellingsanlegg (> 1 000 p.e.) hvor investeringskostnadene for renseanlegget ligger på ca. 1 200 kr. pr. p.e. (inklusive merverdiavgift). Det er lite trolig at simultanfellingsanlegg dimensjonert for tilstørende kapasitet hadde blitt vesentlig rimeligere.

#### **Driftsomkostningene lavere for simultanfellingsanlegg**

For større renseanlegg vil driftsomkostningene for simultanfelling kunne bli betydelig lavere enn for etterfelling dersom toverdige jernsalter benyttes som fellingsmiddel. Jernsulfat f.eks. er et avfallprodukt, og er derfor rimelig sammenlignet med andre fellingskjemikalier. Toverdige jernsalter kan bare benyttes ved simultanfelling fordi det toverdige jern må oksydes til treverdige jern. Bruk av to- og treverdige jernsalter ved simultanfelling gir samme rensresultater. En forutsetning for å få oksydert det toverdige jernet er at oksygentilførselen er tilstrekkelig og at pH i luftetanken ikke er for lav.

Ved bruk av aluminiumsulfat som fellingsmiddel vil driftsomkostningene ved etterfelling være ubetydelig høyere enn ved

simultanfelling. For mindre anlegg betyr imidlertid utgifter til fellingskjemikalier mindre. For et etterfellingsanlegg med en belastning på 1 000 p.e. utgjør fellingskjemikaliene ca. 8 000 kr. pr. år. Dette er lave kostnader sammenlignet med utgifter til f.eks. betjening og energiforbruk.

#### **Etterfellingsanlegg er mer driftssikre enn simultanfellingsanlegg**

Etterfellingsanlegg vil normalt være mer driftssikre enn simultanfellingsanlegg fordi to separate renseprosesser følger i serie. Det biologiske rensetrinn virker utjevne på vannkvaliteten slik at høye konsentrasjoner som kan virke forstyrrende på fellingsprosessen blir redusert. Selve doseringen kan også gjøres mer korrekt enn ved simultanfelling, idet denne kan styres både av vannmengdemålere og pH. På denne måten kan en sørge for at tilstrekkelig fellingskjemikalier foreligger, og at fellingen kan foregå i et optimalt pH-område. For de minste etterfellingsanlegg vil imidlertid en slik kjemikaliestyling falle uforholdsmessig kostbar, slik at kjemikalietilsettingen ved små etterfellingsanlegg vanligvis skjer som for simultanfellingsanlegg, dvs. proporsjonalt med vannføringen. Erfaringer viser at registrering av vannføringen ved små anlegg ofte blir svært unøyaktig. Dette bekreftes av NIVA's landsomfattende driftsundersøkelse (5.6). Ved at vannmengdemålingene registrerer feil, vil også kjemikaliedoseringen bli feil. For simultanfellingsanlegg antas at feil i dosering har mindre betydning enn ved etterfelling fordi fellingskjemikaliene følger det biologiske slam (bufferkapasitet), og at simultanfelling er mindre følsom ovenfor «korrekt dosering» enn etterfelling.

Etterfelling er betydelig mer fleksibel enn simultanfelling. Må f.eks. det kjemiske fellingsstrinn settes ut av funksjon ved reparasjoner, kan fellingskjemikalierne tilsettes luftebassenget i det biologiske trinn slik at anlegget under reparasjonsperioden kan drives som et simultanfellingsanlegg. Det biologiske trinn kan også settes ut av funksjon og anlegget kjøres som et kjemisk fellingsanlegg. En forutsetning for dette er selvsagt at anleggene er bygget med muligheter for denne fleksible drift.

Ved et etterfellingsanlegg kan også det biologiske trinn drives som et simultanfellingsanlegg etterfulgt av et vanlig fellingsstrinn. Det kjemiske trinn drives da med vanlig felling. Det kjemiske slam fra fellingsstrinnet pumpes tilbake til luftebassenget for det biologiske trinn. Fellingskjemikalierne i dette slammet blir da brukt på ny i simultanfelling. Alt kjemisk slam tas ut fra det biologiske trinnet i form av overskuddslam. Driftserfaringer fra Sverige viser at ved etterfellingsanlegg kjørt på denne måte reduseres kjemikalieforbruket vesentlig, og en oppnår en forbedret fosforfjerning (7). Under gode fellingsbetingelser vil fosforkonsentrasjonene i utløpsvannet være proporsjonalt med fosforkonsentrasjonene i det suspenderte stoff. Ved f.eks. en halvering av fosforkonsentrasjonene i utløpsvannet fra simultanfelling vil det kjemiske slam i etterfelling inneholde bare halvparten av fosforkonsentrasjonene. Under optimale fellingsbetingelser vil en derfor kunne forvente bortimot en halvering av fosforkonsentrasjonene i utløpsvannet, sammenlignet med konvensjonell drift.

Driftsstabiliteten kan selvsagt forbedres vesentlig både ved simultanfellingsanlegg og etterfellingsanlegg ved å installere

hurtigsandfiltrering som sluttbehandling. Dette vil være særlig aktuelt ved simultanfelling. De driftsresultater som foreligger fra utlandet indikerer at ved simultanfelling etterfulgt av sandfiltrering vil det oppnås omtrent de samme fosforreduksjoner som ved godt drevne etterfellingsanlegg. Ved installasjon av sandfilteranlegg ved etterfelling, vil fosforkonsentrasjonene i utløpsvannet kunne halveres. Ved de fleste sandfilteranlegg vil en også kunne foreta en fosforfelling i selve filteret. Dette gir mulighet for økt fosforfjerning og driftsstabilitet (8).

### Hvilke rensresultater kan forventes?

I Finland har man i 1976 og 1977 foretatt en omfattende driftsundersøkelse av 113 rensanlegg. Av disse var 66 simultanfellingsanlegg, 18 etterfellingsanlegg og 29 sekundær- eller primærfellingsanlegg (9). Resultatene fra denne undersøkelse er som følger.

#### *Fjerning av fosfor*

- 84% av etterfellingsanleggene hadde høyere fosforfjerning enn 90%.
- 62% av simultanfellingsanleggene hadde høyere fosforfjerning enn 80%.
- 64% av primær/sekundærfellingsanleggene hadde høyere fosforreduksjoner enn 80%.

#### *Fjerning av organisk stoff*

- 95% av etterfellingsanleggene hadde høyere BOF fjerning enn 85%.
- 85% av simultanfellingsanleggene hadde høyere BOF fjerning enn 80%.
- 50% av primær/sekundærfellingsanleggene hadde høyere BOF fjerning enn 50%.

Av resultatene ser en at etterfellingsanleggene er betydelig mer effektive når det gjelder fosforfjerning enn simultanfellingsanleggene. Når det gjelder fjerning av organisk stoff, er forskjellen ikke så stor mellom de to typer anlegg.

Den store forskjell i fosforfjerning mellom de to anleggstyper kan delvis skyldes at de undersøkte simultanfellingsanleggene er noe mindre enn etterfellingsanleggene. Av de undersøkte anlegg dimensjonert for mindre enn 500 m<sup>3</sup>/d var det innenfor hver gruppe 11% etterfellingsanlegg og 36% simultanfellingsanlegg.

I en annen finsk undersøkelse fra 1974 har man undersøkt rensresultatene ved 100 simultanfellingsanlegg (10). Materialet bygger på ca. 500 undersøkelser. Resultatene fra undersøkelsen viser at bare 1/3 av anleggene hadde en renseseffekt med hensyn på fosfor på minst 80%. Fosforkonsentrasjonene i utløpet var mindre enn 1 mg/l ved bare 10% av anleggene. Middeltallet av fosforkonsentrasjonene lå på 2 mg/l. Fjerning av organisk stoff var imidlertid langt bedre i det halvparten av anleggene hadde et BOD<sub>7</sub> innhold i utløpet på mindre enn 20 mg/l.

### **Driftsresultater fra norske rensanlegg**

I Norge finnes det i dag ca. 450 kommunale rensanlegg. De fleste er mindre biologiske anlegg. Etter hvert har vi også fått et betydelig antall simultanfellingsanlegg. Dette har skjedd ved at en del eldre anlegg er tillempet simultanfelling.

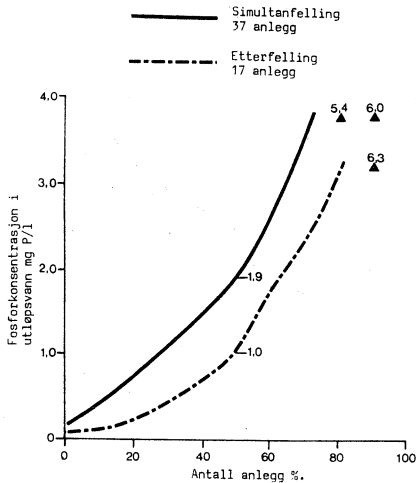
I det følgende vil driftsresultatene fra NIVA's landsomfattende driftsundersøkelse bli behandlet. Omfattende driftsresultater fra et par simultanfellingsanlegg og etterfellingsanlegg vil også bli omtalt.

Analyseresultatene fra NIVA's driftsundersøkelse baserer seg på stikkprøver. Så fremt anleggene ikke er hydraulisk overbelastet slik at slamflukt oppstår, vil stikkprøver av utløpsvannet være tilstrekkelig representativt for vannkvaliteten ut av anlegget på døgnbasis. Slamflukt kan lett sees visuelt eller undersøkes ut fra utløpsvannets innhold av suspendert stoff.

NIVA's driftsundersøkelse omfatter samtlige kommunale rensanlegg i Norge unntatt en del anlegg i Akershus. Det er undersøkt 37 simultanfellingsanlegg og 17 etterfellingsanlegg. Undersøkelsen har funnet sted fra 1976 til 1978. Av simultanfellingsanleggene benyttet 24 aluminiumsulfat og 13 jernsulfat ved fellingen. Alle etterfellingsanlegg ble drevet med aluminiumsulfat.

Når det gjelder fosforkonsentrasjonene i utløpsvannet ved simultanfellingen, viser resultatene at det ikke var noen signifikant forskjell ved bruk av aluminiumsulfat eller jernsulfat. Gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i utløpsvannet for 50% av de anlegg med best fosforfjerning viser 0,97 og 0,96 mg pr. liter for felling med henholdsvis aluminiumsulfat og jernsulfat. Tilsvarende var verdier for 20% av anleggene 0,65 og 0,57 mg pr. liter for henholdsvis aluminiumsulfat og jernsulfat. På grunn av at resultatene ikke viser noen entydig forskjell i fosforfjerningen ved bruk av aluminium- eller jernsulfat, er resultatene bearbeidet felles slik at i den videre diskusjon innbefattes både aluminium- og jernfelling i simultanfelling.

Figur 1 viser fosforkonsentrasjonene i utløpsvannet for både simultanfelling og etterfelling. Figuren viser at fosforkonsentrasjonen i utløpsvannet ved halvparten av anleggene lå under 1,0 og 1,9 mg pr. liter for henholdsvis etterfelling og simul-



Figur 1.

*Fosforkonsentrasjon i utløpsvannet fra etterfelling og simultanfellingsanlegg.*

tanfelling. For 20% av anleggene lå fosforkonsentrasjonene i utløpsvannet lavere enn 0,2 og 0,7 mg pr. liter for henholdsvis etterfelling og simultanfelling. Ser en bort fra 50% av anleggene med de dårligste fosforfjerninger innenfor hver gruppe, viser gjennomsnittsverdiene for fosfor i utløpsvannet 0,48 og 0,97 mg/l for henholdsvis etterfelling og simultanfelling.

Gjennomsnittsverdien for samtlige anlegg viser høye fosforkonsentrasjoner for begge anleggstyper, henholdsvis 2,30 og 2,78 mg pr. liter for etterfelling og simultanfelling.

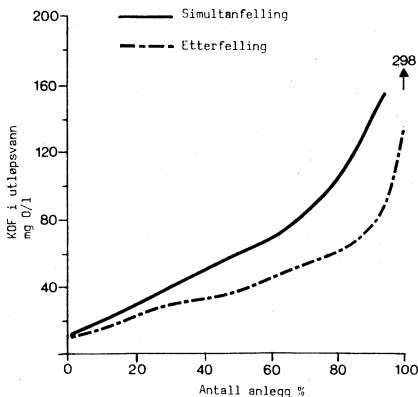
Figur 1 skulle vise at for godt drevne anlegg kan en forvente at etterfelling gir betydelig lavere fosforkonsentrasjoner i utløpsvannet enn simultanfelling. Noe av den store forskjell i fosforfjerning ved de to anleggstyper kan delvis forklares ut fra anleggenes størrelse. Hvis vi kun betrak-

ter halvparten av anleggene med de beste resultater innenfor hver gruppe, var 55% av etterfellingsanleggene og 67% av simultanfellingsanleggene dimensjonert for mindre eller lik 500 personekvivalenter. Det er lite trolig at vi i fremtiden kan regne med å bygge og drive renseanlegg som gir bedre fosforfjerning enn 20% av de best drevne anlegg vi har i dag. Etter dette skulle vi være godt fornøyd om fosforkonsentrasjonene i utløpsvannet kan bringes ned mot ca. 0,6 — 0,7 mg/l og 0,2 — 0,3 mg/l for henholdsvis simultanfelling og etterfelling.

Fosforkonsentrasjonene i innløpsvannet til de undersøkte anlegg varierer meget. Dette er ikke uventet da analysene baserer seg på stikkprøver, og at avløpsnettene til anleggene er av høyest forskjellig kvalitet. Den midlere fosforfjerning for alle anlegg ble beregnet til 69,8 og 76,5% for henholdsvis simultanfelling og etterfelling. Ser en bort fra halvparten av anleggene med dårligst fosforfjerning, er midlere renseeffekt med hensyn på fosfor 85,5% og 94,0% for henholdsvis simultanfelling og etterfelling. Det bemerkes at de beregnede renseeffekter kan være beheftet med betydelige feil da beregningene baserer seg på stikkprøver.

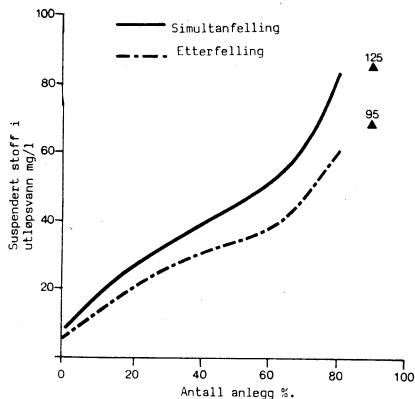
Figur 2 viser konsentrasjonene av organisk stoff uttrykt som kjemisk oksygenforbruk i utløpsvannet. Figuren viser at 50% av anleggene hadde lavere KOF verdier enn 37 og 60 mg O<sub>2</sub>/l for henholdsvis etterfellingsanleggene og simultanfellingsanleggene. Tar en gjennomsnittet av samtlige anlegg blir de tilsvarende tall 46,3 og 77,8 mg O<sub>2</sub>/l. Basert på midlere innløpskonsentrasjoner tilsvarer dette renseeffekter på 88,1 og 83,8% for etterfellingsanleggene og simultanfellingsanleggene. Sammenlignes figur 1 og 2 finner





Figur 2.

*Kjemisk oksygenforbruk i utløpsvann fra etterfelling og simultanfellingsanlegg*



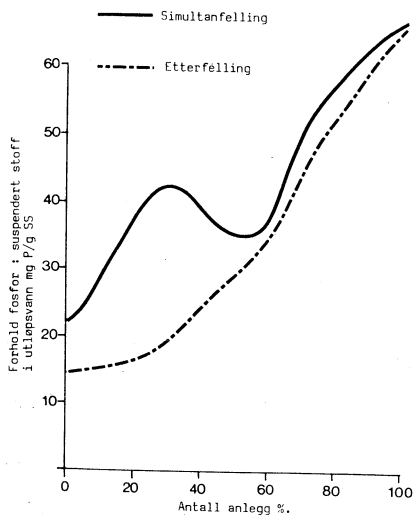
Figur 3.

*Suspensert stoff i utløpsvann fra etterfelling og simultanfellingsanlegg.*

en ut at anleggene i gjennomsnitt fungerer bedre når det gjelder fjerning av organisk stoff enn fjerning av fosfor. Dette skyldes i første rekke feil eller utilstrekkelig kjemikaliedosering ved en rekke av anleggene. Dette gjelder både for simultanfellingsanleggene og etterfellingsanleggene (se tidligere diskusjon).

Figur 3 viser innholdet av suspendert stoff i utløpsvannet for de undersøkte simultan- og etterfellingsanlegg. Som det sees av figuren, er det en markant forskjell i innholdet av suspendert stoff i utløpsvannet for de to anleggstypene. Dette skulle vise at separasjonsprosessen av fnokk eller suspendert stoff er mer kritisk ved simultanfelling enn etterfelling. En av årsakene til dette kan være at fnokkene brytes sammen i luftebassengene, og at sedimenteringsenheten ved simultanfelling må skille ut betydelig mer slam enn ved etterfelling.

Figur 4 viser forholdet mellom fosfor og suspendert stoff i utløpsvannet for



Figur 4.

*Forholdet mellom fosfor og suspendert stoff i utløpsvann fra etterfelling og simultanfellingsanlegg.*

simultanfellingsanleggene og etterfellingsanleggene rangert etter fosforkonsentrasjoner i utløpsvannet. For anleggene med høyest fosforfjerning viser figuren at det suspenderte stoff inneholder betydelig mer fosfor for simultanfellingsanleggene enn etterfellingsanleggene. Årsaken til dette er at for simultanfellingsanleggene akkumuleres fosforet i dete aktive slam og fjernes fra prosessen i form av overkuddslam (se tidligere diskusjon).

At man får vendepunkter på kurvene i figur 4 betyr bare at fellingsprosessen og sedimenteringsprosessen ikke følger samme mønster. Det vil si at et anlegg kan ha et lavt innhold av suspendert stoff i utløpet, men et høyt innhold av fosfor fordi fellingsprosessen går dårlig.

I det følgende vil driftsresultatene fra 2 simultanfellingsanlegg og ett etterfellingsanlegg bli behandlet. Etter å ha gått igjennom det tilgjengelige datamaterialet som finnes, viste det seg at simultanfellingsanleggene Håvemoen og Kapp og etterfellingsanlegget Ørje har de beste driftsresultater innenfor de to anleggsgrupper.

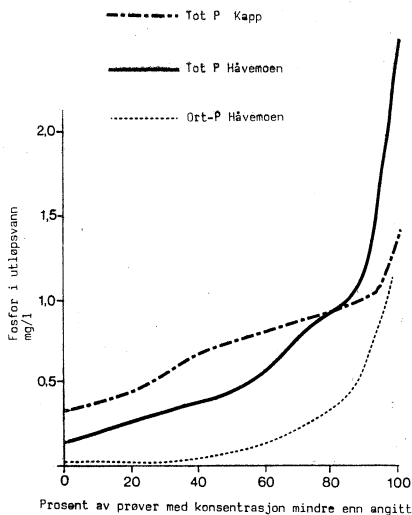
Håvemoen er et simultanfellingsanlegg dimensjonert for 2 000 personekvivalenter. Belastningen på anlegget i perioden hvor driftsresultatene stammer fra har vært 1 600 personekvivalenter. Som fellingsmiddel benyttes aluminiumsulfat (AVR) og doseringen ligger vanligvis rundt 170 mg/l. Ledningsnettets til anlegget er av bra standard slik at avløpsvannet er forholdsvis konsentrert. Det er tilknyttet en militærleir til anlegget (storkjøkken), slik at organisk stoff i avløpsvannet er ekstra høyt. I middel over prøveperioden har innholdet av organisk stoff uttrykt som kjemisk oksygenforbruk vært 420 mg O<sub>2</sub>/l, total fosfor 5,3 mg P/l og alkalitet 3,5

m ekv./l. Analysene baserer seg på blandprøver tatt over døgnet. Driftsresultatene som skal omtales dekkes av 22 døgnsprøver.

Kapp renseanlegg er et simultanfellingsanlegg hvor man benytter jernklorid som fellingskjemikalie. Anlegget er dimensjonert for 2 000 personekvivalenter og har en tilknytning på ca. 700 personekvivalenter. I tillegg til denne belastning mottar renseanlegget rejeaktvann fra avvanning av septisk slam hvor det benyttes kammerfilterpresse. Dette tilsvarer en organisk belastning på ca. 500 personekvivalenter. Dosering av fellingskjemikalier ligger på ca. 130 mg FeCl<sub>3</sub> pr. liter. Avløpsnettets i nedslagsfeltet til renseanlegget er av forholdsvis ny dato og av bra kvalitet. I middel over prøveperioden har fosforinnholdet i avløpsvannet inn til anlegget vært 5,6 mg P/l.

Driftsresultatene fra Kapp som det skal vises til bygger ikke på proporsjonalitetsprøvetaking over døgnet. Prøvene blir tatt ut som 4 — 5 stikkprøver som blandes sammen til en blandprøve. Resultatene som skal omtales bygger på 19 prøvetakingsdøgn.

Figur 5 viser fosforinnholdet i utløpsvannet fra Håvemoen og Kapp renseanlegg. Ved 50% av prøvetakingene lå fosforkonsentrasjonene i utløpsvannet under 0,47 og 0,75 mg P/l for henholdsvis Håvemoen og Kapp renseanlegg. Middelveiden for alle prøver viser 0,73 og 0,80 mg P/l for henholdsvis Håvemoen og Kapp renseanlegg. Renseeffekten med hensyn på fosfor over hele forsøksperioden viser for begge anlegg 86%. De tilsvarende renses effekter med hensyn på organisk stoff uttrykt som kjemisk oksygenforbruk var henholdsvis 81 og 89% for Kapp og



Figur 5.

*Fosforkonsentrasjoner i utløpsvann fra Kapp og Håvemoen simultanfellingsanlegg.*

Håvemoen. Innholdet av suspendert stoff i utløpsvannet var lavt for begge anlegg. Ved 50% av prøvetakingene lå dette lavere enn 15 og 17 mg/l ved henholdsvis Håvemoen og Kapp.

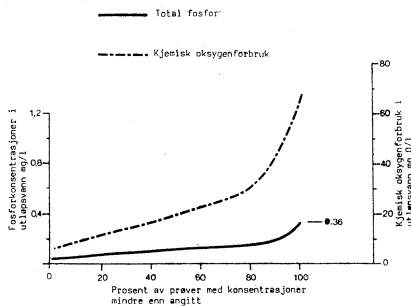
For Håvemoen renseanlegg er også prøvene analysert på ortofosfat. Figur 5 viser at ved 50% av prøvetakingene var ortofosfatinnholdet i utløpsvannet lavere enn 0,11 mg P/l. Dette viser at selve fellingen går meget bra og fosforinnholdet i utløpsvannet i all vesentlig grad skyldes fnokker eller suspendert stoff som ikke separeres i sedimenteringsenheten. Dersom disse fnokker kan fjernes effektivt, kan en derfor vente en meget effektiv fosforfjerning. Dette bekreftes av forsøk med hurtigsandfiltering som ble startet på Håvemoen høsten 1977 (11). Under gun-

stige forhold viste forsøkene at konsentrasjonene av total fosfor etter sandfilteret kunne bringes ned til ca. 0,1 mg P/l. Dette tilsvarer en fosforfjerning i sandfilteret på ca. 70%.

Ørje renseanlegg er et etterfellingsanlegg dimensjonert for 1 500 personekvivalenter. Belastningen på anlegget i perioden hvor prøvetakingen har funnet sted (ca. 7 måneder) har vært ca. 1 000 personekvivalenter. Renseanlegget har imidlertid vært meget høyt belastet hydraulisk fordi avløpsnettet i renseanleggets nedslagsfelt er meget utett. Ved fellingen benyttes aluminiumsulfat (AVR) i doser fra 100 til 150 mg/l.

Driftsresultatene som skal behandles dekkes av 14 døgnprøver tatt som blandprøver. Analyseresultatene viser at avløpsvannet inn på anlegget inneholder mye infiltrasjonsvann. Således har midlere innhold av kjemisk oksygenforbrukende stoff vært 118 mg O/l og midlere fosforinnhold 1,05 mg P/l. Driftsresultatene er vist i figur 6.

Figur 6 viser at fosforinnholdet i utløpsvannet er meget lavt. 50% av prøvene



Figur 6.

*Fosforkonsentrasjoner og innhold av kjemisk oksygenforbrukende stoff i utløpsvann fra Ørje etterfellingsanlegg.*

viser lavere fosforkonsentrasjoner enn 0,12 mg P/l. Gjennomsnittet av alle blandprøver viser også en så lav fosforkonsentrasjon som 0,12 mg P/l. Figur 6 viser også at 50% av prøvene hadde et lavere innhold av kjemisk oksygenforbrukende stoff enn 20 mg O/l. I gjennomsnitt over hele prøveperioden har fosforfjerningen vært 88,2% og fjerningen av kjemisk oksygenforbrukende stoff 79%. Når en tar de store infiltrasjonsvannmengdene i betraktning, må en si at disse renseeffekter er imponerende.

Driftsresultater viser også at mekanisk-kjemiske fellingsanlegg (sekundær-felling) kan oppnå meget gode renseeffekter med hensyn på fosfor. Resultatene fra NIVA's driftsundersøkelse som dekker 19 sekundærfellingsanlegg, viser at 50% av anleggene hadde en fosforkonsentrasjon i utløpsvannet som var mindre enn 0,4 mg P/l. Når en f.eks. sammenligner driftsresultatene fra simultanfellingsanleggene og de mekanisk-kjemiske anlegg fra NIVA's driftsundersøkelse, er det viktig å ta i betraktning at de mekanisk-kjemiske anlegg i gjennomsnitt er vesentlig større enn simultanfellingsanleggene.

Fra Hedmark interkommunale avløps-selskaps renseanlegg (HIAS) foreligger et omfattende analysemateriale fra driften av anlegget. F.eks. resultater fra de 7 første måneder av 1978 dekket av 110 døgnprøver viser at fosforkonsentrasjonen ut fra anlegget i middel har vært 0,11 mg P/l. Høyeste fosforkonsentrasjon i utløpsvannet har i denne periode vært 0,62 mg P/l. Midlere fosforkonsentrasjon i inn-

komende avløpsvann har vært 3,68 mg P/l. Midlere fosforfjerning i de 7 første måneder av 1978 har derfor vært 97,0%. De usedvanlig gode driftsresultater fra HIAS anlegget skyldes i første rekke lav belastning og en meget god drift av anlegget. Renseanlegget er dimensjonert for 75 000 personekvivalenter og er belastet med 40 000 personekvivalenter.

### Konklusjon

De driftsresultater som foreligger fra norske renseanlegg viser at etterfellingsanlegg gir betydelig høyere renseeffekter med hensyn på fosfor enn simultanfellingsanlegg. En bearbeiding av data fra NIVA's landsomfattende driftsundersøkelse viser at halvparten av simultanfellingsanleggene hadde en fosforkonsentrasjon i utløpsvannet som var lavere enn 1,9 mg P/l. Det tilsvarende tall for etterfellingsanleggene var 1,0 mg P/l. Driftsresultater fra de best drevne renseanlegg viser imidlertid at det skulle være mulig å oppnå en fosforkonsentrasjon i utgående avløpsvann i gjennomsnitt på 0,2 — 0,3 og 0,6 — 0,7 mg P/l ved henholdsvis etterfelling og simultanfelling. Dette kan oppnås ved å senke innholdet av løst fosfor (korrekt dosering og fellingsbetingelser) og foreta en effektiv fraskilling av det suspenderte stoff. En senking av fosforinnholdet i det suspenderte stoff ved å foreta fosforfjerningen i flere steg er også aktuelt for å minske fosforkonsentrasjonene i utgående avløpsvann.

## LITTERATURLISTE

1. *Dahlqvist K. I., Hall L., Bergmann L.*: «Fosforreduktion med tvåvärt järnsulfat vid Käppalaverket.» *Vatten* Nr. 2 1975.
2. *Stumm W., Morgan J. J.*: «Aquatic Chemistry — An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters» p 111 — 140 Wiley — Interscience 1970.
3. *Sawyer C. N., McCarty P.L.*: «Chemistry for Sanitary Engineers» p 327 — 340 McGraw-Hill Book Company, Second Edition.
4. *Gujer W., Boller M.*: «Basis for the Design of alternative Chemical — Biological Waste Water Treatment Process». Foredrag holdt på IAWPR-konferansen i Stockholm, 12.—16. juni 1978.
5. *Eikum A. S., Paulsrud B. m.fl.*: «Driftsundersøkelse av rensesanlegg» PRA 2.10, 0 — 52/75. Delrapporter fra alle 18 fylker.
6. *Johansen O. J., Paulsrud B., Eikum A.*: «Bare halvparten av norske kloakkrensanlegg renser avløpsvannet tilfredsstillende». *Teknisk ukeblad, Teknikk* Nr. 31, 1976.
7. *Grönqvist S., Holmström H., Hultman B., Reinius L. G.*: «Experiences and process development in biological-chemical treatment of municipal wastewaters in Sweden». Foredrag holdt på IAWPR-konferansen i Stockholm, 12 — 16. juni 1978.
8. *Holmström Hans*: «Simultanfelling och kontaktfiltrering vid Bälinge reningsverk.» VAV Rapport 1/77 nov 1977.
9. *Rantala Pentti, Kattelus Lauri*: «Jäteveden puhdistuksen kustannukset ja puhdistustehot.»
10. *Vuontela Jukka*: ««Funktion av simultanfellingsanlegg i Finland». Diplomarbete, Helsingfors Tekniska Högskola 1974.
11. *Vik E. A.*: «Filtrering av avløpsvann fra kloakkrensanlegg» NTNF's utvalg for drift av rensesanlegg, april 1978.