

Danske erfaringer med simultanfældning

Av Erik Bundgaard

Erik Bundgaard er sivilingeniør og ansatt i Akvadan-Harvey A/S, Danmark.

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

1. BAGGRUND FOR PROCESVALG

Akvadan-Harvey har i en årrække arbejdet systematisk med simultanfældning i teori og praksis.

Dette arbejdet blev påbegyndt, først og fremmest fordi processen indebærer store økonomiske fordele, og fordi efterfældningsteknikken stort set var fuldt udviklet.

I Skandinavia har simultanfældning hidtil været betragtet som en usikker metode. Vort udviklingsarbejde har imidlertid vist, at dårlige erfaringer skyldes menneskelige fejl — ikke metodens.

Vi ønsker ikke med dette indlæg at lægge op til en diskussion: «For eller imod simultanfældning» eller «Simultanfældning kontra efterfældning», idet disse overskrifter ikke definerer problemstillingen.

Med et sådant oplæg kan man starte en livlig diskussion, — men den bliver diffus og irrationel med en følelsesbetonet stillingtagen baseret på det udpluk af viden, man tilfældigvis besidder.

Den belastning, et renseanlæg modtager, varierer betydeligt i mængde og sammensætning, og der er betydelig forskel på belastningen fra anlæg til anlæg.

De enkelte anlæg er dimensioneret og udformet med forskellig hensigtsmæssighed i forhold til belastningen, og anlægene bliver drevet med større eller mindre dygtighed.

Alle disse forhold har betydning for renseprocessens forløb.

Variationer i afløbskvalitet kan skyldes et stort antal andre faktorer end metodevalget.

Der er således tale om en følelsesmæssig stillingtagen, hvis man uden at analysere betydningen af disse andre faktorer bruger resultaterne til at argumentere for eller imod en metode.

Man kan ganske vist reducere betydningen af disse faktorer ved en statistisk sammenligning af resultaterne fra et større antal anlæg med lignende resultater fra en større antal andre anlæg, der bruger en anden metode.

Selv om der i sådanne undersøgelser evt. kan findes en signifikant forskel på resultaterne opnået med de to metoder, har man ikke uden videre bevist metodens overlegenhed eller underlegenhed.

En systematisk fejl ved dimensioneringen og ved driften af en metode vil nemlig ikke afsløres i en sådan undersøgelse. Da ingeniørpraksis i høj grad bygger på kopiering af den viden og de meninger, som er publiceret og officielt eller uofficielt anvendes i et land, kan systematiske fejl ikke udelukkes.

I det følgende gives en kort beskrivelse af simultanfældningsprocessen og de faktorer, som vi mener er af altafgørende betydning for processens forløb, omtales. Med faktiske analyseresultater fra anlæg, hvor disse forhold er i orden, kan det påvises, at man kan opnå en meget vidtgående fosforfjernelse med simultanfældning. Desuden fremhæves de økonomiske fordele, der i mange tilfælde er ved simultanfældning — evt. kombineret med nitrifikation og denitrifikation, hvor særlige forhold gør sig gældende.

2. SIMULTANFÆLDNING

Ved simultanfældning forstås en fosforfældning, hvor kemikaliet tilsættes til anlæggets biologiske del (aktiv slam), således at fældningen forløber samtidig med den biologiske proces.

De mulige fældningskemikalier, der kan benyttes i denne proces, er ferro-, ferri- og aluminiumsalte.

Ferrosalte er for øjeblikket de billigste, og de er mindst lige så effektive og giver mindst lige så gode slamegenskaber som de andre kemikalier.

Årsagen til at ferrosalte kun benyttes i simultanfældning er, at metallet skal iltes til ferri, for at der opnås en effektiv fældning, og denne iltning foregår i rensningsanlæggets beluftningstank.

3. KRAV TIL ANLÆGSUDFORMNING OG DRIFTSFORM

De vigtigste faktorer, der skal tages hensyn til for at opnå en effektiv rensningsproces, er følgende:

1. Den biologiske proces.

Aktivslamprocessen skal dimensioneres og drives på en sådan måde, at der opnås en stabil biologisk flok.

2. Separationsfunktionen.

Anlæggets separationsdel skal udformes og drives således, at flokseparationen er effektiv.

3. Kemikaliedosering.

For at opnå en given afløbskvalitet må der tilsættes en heraf afledt mængde metalion pr. vægtenhed tilført fosfor.

4. Alkalinitet.

Ved tilsætning af kemikaliet må alkaliniteten i systemet ikke mindskes så meget, at der sker store fald i pH, eller at pH svinger stærkt.

4. DEN BIOLOGISKE PROCES

Den biologiske proces har stor betydning, fordi de udfældede flokke og partikler af ferrifosfat og ferrihydroxyd bindes til disse, og det er derfor af betydning at have et godt flokkulerende, biologisk slam.

Med hensyn til slambelastningen kan man sige, at sikkerheden for at opnå stabilitet øges med faldende slambelastning. Der er dog eksempler i litteraturen (1) på anlæg med slambelastning på ca. 0,5, hvor der stabilt opnås et afløb på ca. 0,7 mg/l total P.

Der er igen fordele ved at drive anlæg med slambelastning under 0,05.

Ved tilsætning af kemikalier øges slamproduktionen, og slamalderen mindskes. I tabel 1 er vist slamalderen ved forskellige slambelastninger med og uden kemikalietilsætning. Især hvor slamalderen kan være af betydning af hensyn til en eventuel nitrifikation, bør man være opmærksom på dette.

SLAMBELASTNING $\frac{\text{kg}}{\text{kg} \times \text{d}}$	0,02	0,05	0,10	0,30	1,0
SS I BELUFTNINGSTANK $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	4,0	4,0	4,0	3,5	3,0
HYDRAULISK OPHOLDSTID I MAXTIME h	30	12	6	2,3	0,8
SLAMALDER EXCL. KEMIKALIESLAM d	100	33	14	3,7	0,8
SLAMALDER INCL. KEMIKALIESLAM d	75	25	11	3,0	0,7

Tabell 1. Slamalder ved forskellige slambelastninger med og uden kemikalie-tilsætning for spildvand med $BOF = 175 \text{ mg/l}$, $P = 6 \text{ mg/l}$ og $M = 1,3$.

Ved tilsætning af ferrosalte fås imidlertid et stærkt forbedret slamvolumenindeks, således at man kan opretholde en ønsket slamalder ved at øge slamkoncentrationen tilsvarende.

Vore erfaringer har vist, at der opnås et fald på ca. 50% i SVI ved tilsætning af ferrosulfat (SVI 40—55 ml/g).

De forbedrede bundfælningsegenskaber medfører desuden, at der samtidig kan opnås 5—8% TS ved koncentration af simultanfældet biologisk slam, hvilket medfører fordele ved slamafvandingen.

5. SEPARATIONSPROCESSEN

Med hensyn til separationsfunktion er den største forskel på klaringsstanken i simultan- og efterfældningsanlæg, at den førstnævnte får tilført ca. 4000 mg/l SS, og den anden ca. 80 mg/l SS. D.v.s. den skal udskille ca. 50 gange så meget SS/tid. Ved dimensionering af klaringsstanke til simultanfældning kan bruges samme regler som til aktivt slam.

6. KEMIKALIEDOSERING

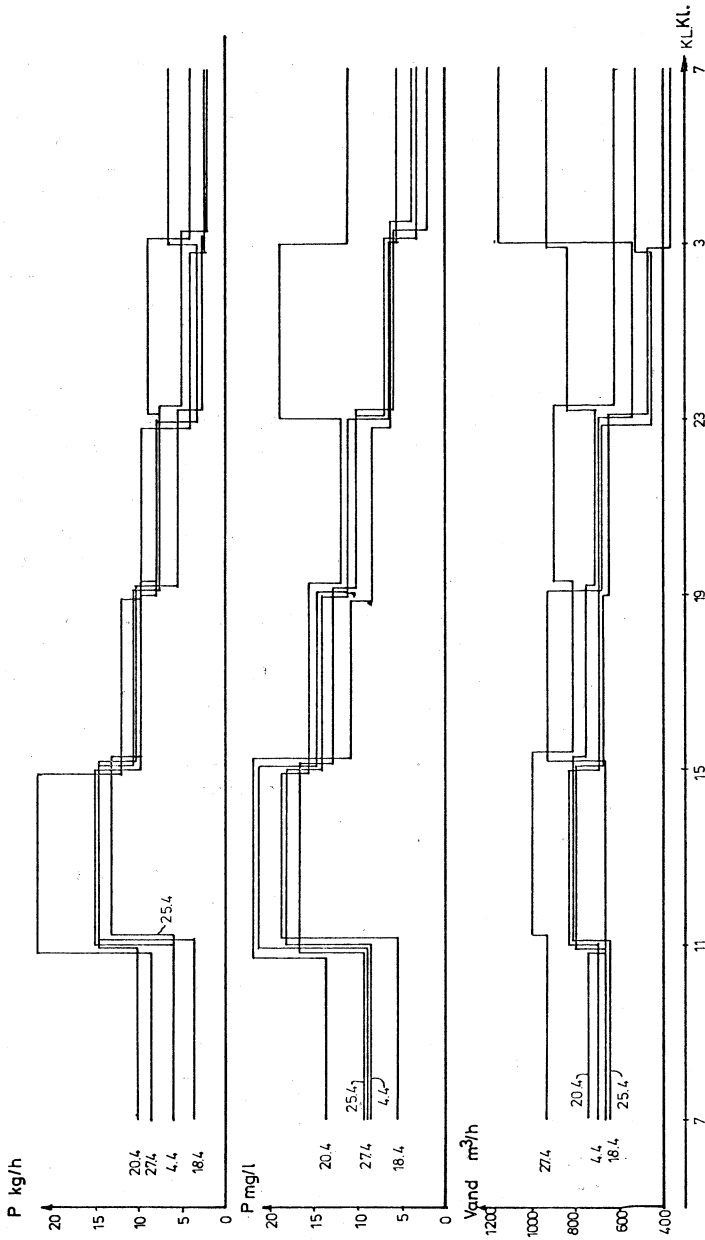
En af de vigtigste faktorer for opnåelse af en given fosforjernelse er tilsætning af en kemikalimængde, som er afhængig af fosformængden.

Variationen i fosformængden i tilløbet til et renseanlæg varierer imidlertid stærkt. Figur 1 viser analyseresultater fra Søholt renseanlæg ved Silkeborg, 105.000 PE. Det ses, at både mængden og koncentrationen af fosfor i tilløbet svinger i løbet af døgnet. Det er imidlertid meget vanskeligt at måle fosforindholdet kontinuerligt, og der benyttes derfor ofte en tilnærmet styring ud fra en vandmængdemåling evt. overlejret med en tidsmæssig styring.

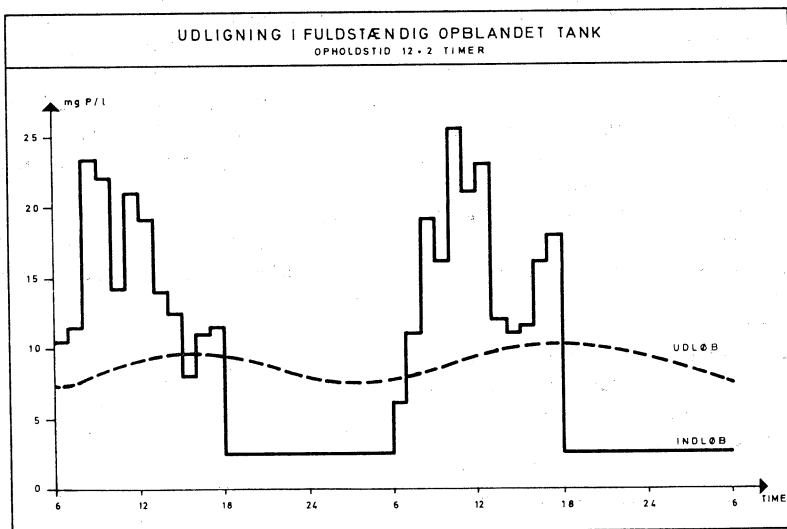
Figur 2 viser den udgligning af fosfor-koncentrationen, der opnås i en fuldstændig opblandet tank.

Ved en fuldt opblandet tank med simultanfældning, eller hvor en sådan efterfølges af en fældningstank, skal kemikaliedoseringen følge den punkterede linie på figuren. Hvis reaktortanken har plug-flow, skal kemikaliedoseringen i efterfældningen følge den fuldt optrukne linie.

Ved simultanfældning bindes fældningskemikaliet til det aktiverede slam, og der findes heri en meget stor bufferkapacitet af kemikalier, som til dels kan optage og udligne de store variationer i fosformængden, der kommer til anlægget. Selve bio/kemslammet synes at fungere som en slags buffersystem.



Figur 1. Søholt rensningsanlæg — variation i fosformængden i tilføbet bestemt ved fraktionsprøver.



Figur 2.

Vore erfaringer har vist, at der er en tydelig sammenhæng mellem forholdet kemikaliedosering tilført fosfor og afløbskvaliteten.

Dette kan udtrykkes som molforhold Fe: P ind og P i afløbet.

På et renselanlæg i Mårslet ved Århus doseres der en fast mængde kemikalier pr. dag (2). Beregning af middelværdier gav markante sammenhænge mellem dosering og afløbsværdi, men ved de enkelte døgnprøver kunne der ikke findes nogen systematisk sammenhæng.

I systemer med høj slamalder synes det således ikke at være nødvendigt at overholde molforholdet inden for et enkelt døgn på grund af den før omtalte buffer-virkning fra slamsystemet. Denne buffer-virkning medfører også, at hvis kemikalie-tilsætningen stoppes, vil forforbindingen

ikke straks ophøre som i et efterfældningsanlæg, men vil aftage langsomt.

I et tilfælde er der i litteraturen (3) refereret 75% P-fjernelse i en langtids-lufter 5 dage efter, at kemikalietilsætningen var ophørt.

For at opnå en ønsket afløbskvalitet må doseringen indstilles på et vist molforhold — som stadig må kontrolleres og overholdes.

Ved anlæg med høj slamalder synes en vandmængdeproportional dosering at være tilstrækkelig nøjagtig, og kontrollen kan indskrænkes til stikprøver.

7. ALKALINITET

Fe+++ og Al-salte er sure og vil nedsætte vandets alkalinitet. Hvor man har blødt vand som f.eks. i Norge, kan pH-værdien derved sænkes til det optimale

område alene med den nødvendige dosering. Hvor man har hårdere vand, må man overdosere eller tilsætte syre for at opnå optimal pH.

Ved simultanfældning er biologidelens alkalinitet af betydning, idet der forbruges alkalinitet ved Fe⁺⁺-tilsætningen. pH er kun af betydning for fældningen, når der sker et væsentligt fald under 7, idet lave pH-værdier kan medføre en dårlig biologisk flokkulering og en langsom iltning af ferro til ferri.

Især i anlæg, hvor der sker nitrifikation, som er en alkalinitetsforbrugende proces (4), kan der til tider ske et så stort fald i alkalinitet og pH, at der må tilsættes kalk for at få stabile processer.

Betydningen af denne faktor synes hidtil at være overset.

Som en nedre grænse for alkaliniteten i afløbet kan angives 0,5 mekv/l.

Kalktilsætning kan øge alkaliniteten og dermed systemets bufferkapacitet. På store anlæg kan kalken tilsættes jævnt over døgnet og på mindre evt. en gang

pr. døgn, idet doseringsformen ikke synes at have den store betydning.

I områder med hårdt vand (f.eks. i visse egne af Danmark) kan alkaliniteten være tilstrækkelig til at opretholde den ønskede værdi på min. 0,5 mekv./l, selv om der foregår nitrifikation og simultanfældning.

I alle tilfælde bør alkalinitetsbudgetter for den pågældende vandtype og proces altid gennemregnes.

HUSHOLDNINGSSPILDEVAND	
BOF7	175 mg/l
TOTAL KVÆLSTOF	30 mg/l
TOTAL FOSFOR	6 mg/l
ALKALINITET SØHOLT	2 mekv/l

Tabel 2. *Sammensætning af «typisk» norsk spildevand.*

ALKALINITETSSÆNKNING VED FÆLDNING MÅLT I mekv/l			
<u>FORUDSÆTNINGER:</u>			
TILLØB:			
HUSHOLDNINGSSPILDEVAND			
KEMIKALIEDOSERING:			
MOLFORHOLD METALION/FOSFOR 1,3			
FÆLDNINGSKEMIKALIE	UDEN NITR.	MED NITR.	MED DENITR.
JERN II SALT	0,3	2,7	1,6
JERN III SALT ELLER ALUMINIUMSALT	0,6	3,0	1,9

Tabel 3. *Kemikalietilsetning ved fosforfjernelse og forskellige grader af alkalinitetssænkning*

En anden metode til at kompensere for nitrifikationens og kemikalietsætnings alkalinitetsforbrug er ved indførelse af denitrifikation. Denitrifikationen har i kombination med simultanfældning således to formål:

1. at fjerne kvælstof
2. at øge alkaliniteten.

Hvis nitrifikation ikke kræves, kan det undertiden være hensigtsmæssigt at dimensionere og drive anlægget uden nitrifikation af hensyn til simultanfældningen.

I tabel 2 er angivet sammensætningen for «typisk» norsk spildevand og i tabel 3 er angivet eksempler på alkalinitetsforbrug ved rensning af dette vand.

Den i tabellen angivne værdi for alkalinitetsgevinst ved denitrifikation svarer til et kalkforbrug, der teoretisk vil koste ca. 2,40 kr./PE/år og i praksis ca. 1,20 kr./PE/år.

8. POLERING AF AFLØB

Ønskes en yderligere polering af afløbet fra et simultanfældningsanlæg, kan påbygges et filter, hvorved man får SS under 10 mg/l, og man opnår herved en yderligere reduktion af fosfor, forudsat at fældningsdelen drives således, at praktisk taget al fosfor findes på partikulær form.

Filteret virker som sikkerhedsnet for fældningsanlægget og opfanger variation i SS i afløbet.

Et filter virker således på samme måde på et simultanfældningsanlæg, som et efterfældningsanlæg virker på et foranliggende biologisk anlæg, idet man ved et filter herved får et tottrinsanlægs sikkerhed, men har en bedre kontrol med SS i afløbet.

9. FÆLDNINGSKEMIKALIER

Tabel 4 viser priser og egenskaber for mulige fældningskemikalier.

Ved sammenligning skal vurderes transport, lagrings- og doseringsform og evt. pH-justering med syre eller kalk.

10. DRIFTSØKONOMI

Ved sammenligning mellem fældningsmetoder og fældningskemikalier forekommer forskellene fortrinsvis på to poster.

1. Slamafvanding/bortskaffelse
2. Kemikalieudgift.

ad 1. Der er kun få direkte undersøgelser, men erfaringer fra bl.a. Käppala tyder dog på en billigere slambehandling ved overgang fra AVR til Ferrosalte.

Vore erfaringer viser tydeligt forbedrede koncentrerings- og afvandingsegenskaber ved indførelse af simultanfældning. Tabel 5 viser en slamanalyse fra Haslev renseanlæg. Afvandingen sker her ved sibåndpresse.

Kemikalieudgiften til rensning af huspildevand ved forskellige proceskombinationer er givet i tabel 6 (priser 1.6. 1978).

11. DRIFTSERFARINGER

Ingen af de nævnte spilleregler er overraskende, men studerer man litteraturen, finder man ofte, at mange af de målinger, som muliggør kontrol af disse regler, ikke er foretaget. I andre undersøgelser er målingerne foretaget, men ikke benyttet til forklaring af resultaterne.

Et særligt forhold er indkøringsperiodens længde. Der går mindst nogle slam-

KEMIKALIE DATA			
OMTRENTLIG FORMEL	FERROHEPTAHYDRAT	FERROMONOHYDRAT	ALUMINIUMSULFAT
	$\text{Fe SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe SO}_4 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$	$\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
AKTIV SUBSTANS MÅLT I ÆKVI-VALENTMÆNGDE Fe	18 %	30 %	18 %
OPLØSNINGSHASTIGHED	HURTIG	LANGSOM	LANGSOM
UOPLØSELIG REST	0,1 %	1,4 %	2,5 %
KONSISTENS	SOM PUDDERSUKKER	GRANULAT	GRANULAT
DOSERINGSFORM	VÅD	TØR	TØR
LAGRING	SYREBESTANDIG OPLAGSPLADS MED UDELUKKELSE AF VAND (REGN) ELLER I OPLØSNING	JERNSILO MED UDELUKKELSE AF FUGT	JERNSILO MED UDELUKKELSE AF FUGT
TRANSPORT I LØS VEGT	ALM. LASTBIL	TANKVOGN	TANKVOGN
PRIS AB FABRIK kr/t	85	260	260
PRIS FOR TRANSPORT kr/t	90	90	180
PRIS PR. KG JERN ELLER TILSVARENDE FÆLDNINGS-EVNE kr/kg	0,97	1,17	2,44

Tabel 4. Egenskaber og priser for fældningskemikalier.

Slamegenskaber Haslev renseanlæg			
Suspenderet stof (MLSS)	mg/l		4000
Slamvolumen indeks (SVI)	mg/l		55
Koncentreret slam	% TS		6,5
Afvandet slam	% TS		27

Tabel 5. *Slamegenskaber for simultan-fældet slam fra Haslev renseanlæg.*

aldre, før der opnås stabile resultater. Studerer man således de undersøgelser, som har medvirket til at nedvurdere simultanfældningsprocessen, vil man konstatere, at fejlene har været menneskelige — ikke metodens.

Tabel 7 viser en serie afløbsresultater fra to danske anlæg, der drives med simultanfældning. Der er samtidig angivet kemikalieforbrug og molforhold for opnåelse af disse resultater.

12. SAMMENFATNING

Optimal drift af simultanfældningsanlæg kræver opfyldelse af en række regler, som kan sammenfattes i ordene:

Biologisk flokkulering

Flokseparation

Molforhold

Alkalinitet

Overholdes disse regler, synes man med simultanfældning at kunne opnå resultater, som er sammenlignelige med dem, der opnås ved andre fældningsmetoder.

Desuden er simultanfældning overordentlig attraktiv set ud fra et økonomisk synspunkt, og ønsker man et trinnsanlægs sikkerhed, kan simultanfældning suppleres med filtrering.

	KEMIKALIEFORBRUG OG UDGIFT					
	SIMULTANFÆLDNING			EFTERFÆLDNING		
	- N	+ N	DN	- N	+ N	DN
FÆLDNINGSKEMIKALIEFORBRUG mg/l	78	78	78	78	78	78
ALKALINITET I INDLØB mekv/l	2	2	2	2	2	2
ALKALINITETSFJERNELSE mekv/l TABEL 3	0,3	2,7	1,6	0,6	3,0	1,9
ALKALINITET FØR JUSTERING mekv/l.	1,7	-0,7	0,4	1,4	-1,0	0,1
NØDVENDIG JUSTERING mekv/l	0	1,2	0,1	-0,4	1,2	0,1
ANVENDT HYDRATKALK mg/l		45	4		45	4
ANVENDT ALUMINIUMSULFAT mg/l				42		
TOTAL FORBRUGT	FERROHEPTAHYDRAT mg/l	78	78	78		
	ALUMINIUMSULFAT mg/l				120	78
	HYDRATKALK mg/l		45	4		45
KEMIKALIEUDGIFT øre/m ³	1,4	3,2	1,5	5,3	5,2	3,6
KEMIKALIEUDGIFT PR. PERS. PR. ÅR kr	2,00	4,70	2,20	7,60	7,00	5,30

Tabel 6. *Kemikalieforbrug og -udgift ved kemisk fældning.*

	År	måned/dato	TILLØB			AFLØB				
			Fe ⁺⁺ g/m	P g/m	M Fe: P	P.f.f. mg/l	P.e.f. mg/l	n		
								t	ff	ef
SØHOLT	1977	Juni	28,8	12,7	1,26	0,40	0,35	4	1	4
		Juli	21,2	10,8	1,09	0,45	0,33	4	2	4
		August	20,9	8,8	1,32	0,53	0,47	3	3	3
		September	23,8	9,4	1,41	0,52		6	5	0
		Oktober	26,5	10,4	1,42	0,40	0,58	5	1	4
		November	26,5	6,7	2,19		0,50	2		2
		December	26,9	12,0	1,24		0,50	2		2
	1978	Januar	25,0	10,0	1,39		0,40	2		2
		Februar	24,8	9,5	1,45	1,10	0,50	2	1	1
		Marts	23,1	7,7	1,67	0,90		2	2	
		April	28,8	8,3	1,92	0,95		2	2	
		Maj	32,5	11,2	1,68		0,85	2		2
		Juni	34,0	9,5	1,99	1,0	0,55	2	1	2
		Juli	30,0	10,5	1,59	0,7	0,85	2	1	2
HASLEV	1978	April 24-26	16,7	8,3	1,13	0,30				
		Maj 29-31	22,2	9,5	1,30	0,54				
		Juni 27-29	20,9	6,3	1,84	0,35				

M = Molforhold
ff = før filtrering
ef = efter filtrering
t = tilløb
n = antal døgnprøver

Tabel7. Analyseresultater fra 2 danske anlæg med simultanfældning.

LITTERATURLISTE:

- (1) *Leumann, P.* Die Phosphatfällung in kommunalen Abwasser nach dem Simultanverfahren — Ihre Anwendung in der Schweiz, GWF — Wasser/Abwasser 114 (6) p. 272—283, 1973.
- (2) *Bundgaard, E.* «Fosforfjernelse ved simultanfældning. Intern rapport nr. 52, Akvadan-Harvey 1976.
- (3) *Ødegaard, H.* Vejledning for kjøp og prosjektering av renseanlæg for mindre bebyggelsesområder.
V.V.-konferance i Jönköping 1.—5. september 1975
- (4) *Nielsen, M. K. og E. Bundgaard.* Alkalinity — a neglected parameter in advanced waste water treatment systems. Prog. Wat. Tech. 1978, Vol. 10 no. 5/6.