

IV

INSTITUTET FÖR VATTEN- OCH LUFTVÅRDSFORSKNING

HÄLSINGEGATAN 43  
STEN STUREGATAN 42

BOX 21060  
BOX 5207

100 31 STOCKHOLM  
402 24 GÖTEBORG

TEL. 08-24 96 80  
TEL. 031-81 02 80

BIOLOGISK AVFALLSVATTENBEHANDLING

EN EKONOMISK JÄMFÖRELSE MELLAN EN ANAEROB  
TVÅSTEGSPROCESS OCH TVÅ AEROBA METODER

Björn Frostell, IVL

B 367  
Stockholm  
April  
1977

INSTITUTET FÖR VATTEN-  
OCH LUFTVÅRDSFORSKNING  
Biblioteket

77-07-01

Björn Frostell, IVL

BIOLOGISK AVFALLSVATTENBEHANDLING

EN EKONOMISK JÄMFÖRELSE MELLAN EN ANAEROB  
TVÅSTEGSPROCESS OCH TVÅ AEROBA METODER

---

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
Sammanfattning	1
Introduktion	2
Underlag för de ekonomiska beräkningarna	3
Resultat	6
Slutsatser	7
Litteraturreferenser	8

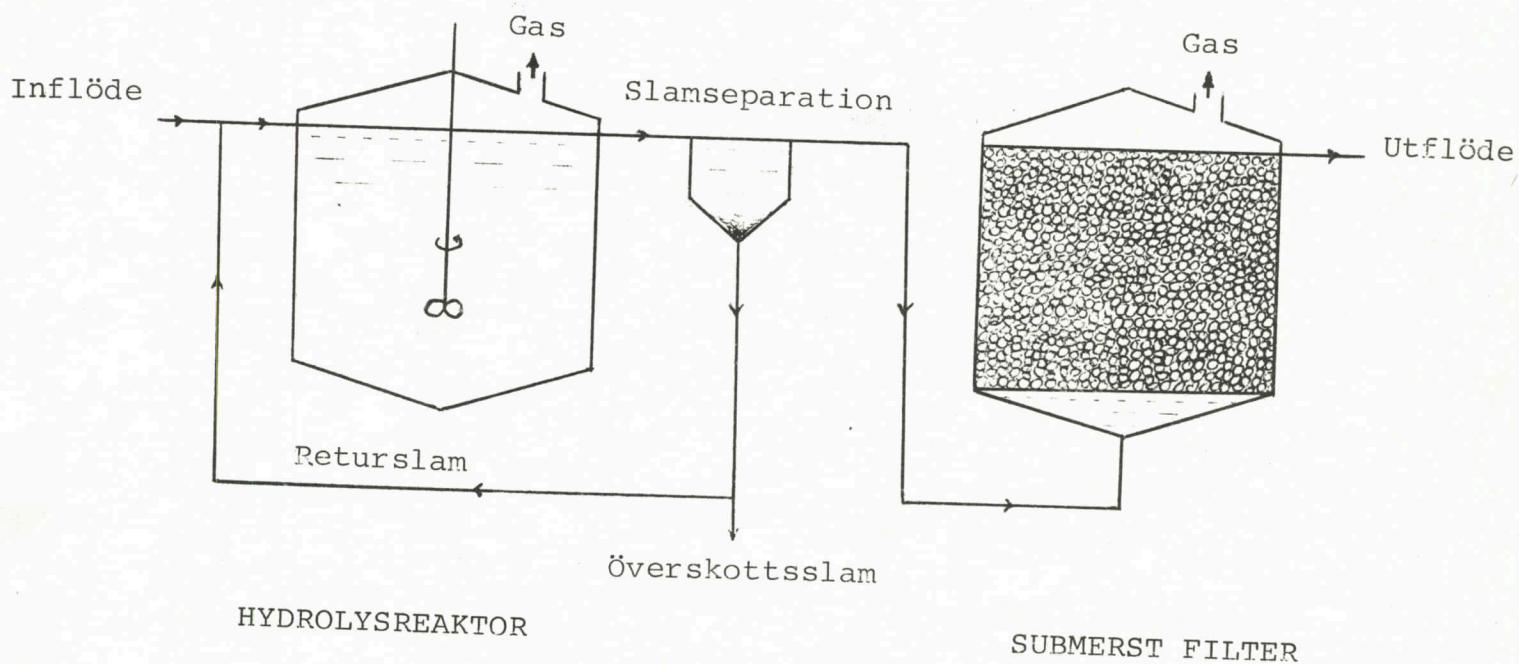
SAMMANFATTNING

En ekonomisk jämförelse har gjorts mellan anaerob behandling av avfallsvatten i en FRONO-reaktor och aerob behandling medelst aktivt slam eller biotorn. Kostnadernas beroende av  $BS_7$ -halten i intervallet 500-3500 mg/l undersöktes.

Resultaten visar att möjligheter till kostnadsbesparingar finns genom att utföra behandlingen anaerobt, då  $BS_7$ -halten överstiger 1000 - 1500 mg/l.

## INTRODUKTION

Vid Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning i Stockholm bedrivs sedan våren 1975 studier över anaerob nedbrytning av organiskt material. Styrelsen för Teknisk Utveckling stöder ett projekt benämnt "Optimering av den anaeroba nedbrytningen av organiskt material". Målet är att utarbeta underlag för projektering av fullskaleanläggningar för anaerob rening av avfallsvatten. Inom arbetets ram har en anaerob tvåstegsprocess, den s k FRONO-reaktorn utvecklats. Se figur 1.



Figur 1. Principskiss över FRONO-reaktorn

Reaktorn separerar delvis syrabildningssteget och metanbildningssteget i den anaeroba nedbrytningskedjan. Resultaten som erhållits med FRONO-reaktorn har varit så lovande att en inledande ekonomisk jämförelse mellan denna reaktor och konventionell aerob reningsteknik ansetts motiverad.

Genomgående har aeroba metoder visat sig mer ekonomiska än anaeroba vid behandling av utspädda avfallsvatten, beroende på den högre tillväxthastigheten hos aeroba mikroorganismer. Vid behandling av mer koncentrerade vatten orsakar emellertid den stora slamproduktionen vid aerob metabolism svåra problem. Detta problem försvinner till stor del vid användning av anaeroba metoder, samtidigt som energiåtervinningen blir alltmer betydelsefull vid ökande substrathalt. En ekonomisk gräns erhålls, vad gäller substrathalten, över vilken anaerob rening blir ekonomiskt gynnsammare. Cillie *et al.*<sup>1</sup> har beräknat denna gräns till 4000 mg COD/l. I föreliggande arbete görs en ekonomisk jämförelse mellan behandling i en anaerob FRONO-reaktor, aktivt slambehandling och behandling i biotorn. Jämförelsen görs för substrathalter från 500 till 3500 mg BS<sub>7</sub>/l.

#### UNDERLAG FÖR DE EKONOMISKA BERÄKNINGARNA

##### Aktivt slam och biotorn

Som underlag för beräkning av kostnaderna för aktivt slam och biotorn har använts data enligt Rennerfelt *et al.*<sup>2</sup>. Använda data avser årskostnader för olika anläggningar med inkommande BS<sub>7</sub>-halt varierande mellan 260 mg/l och 3730 mg/l. Reningseffekten för aktivt slamanläggningarna anges till 75-80 %. Effekten i biotorn som ej angivits, antas ligga på samma nivå. Anläggningarna har delats in i tre olika grupper:

$$\begin{aligned} & \text{BS}_7 < 1000 \text{ mg/l} \\ 1000 \text{ mg/l} < \text{BS}_7 < 2500 \text{ mg/l} \\ & \text{BS}_7 > 2500 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

För varje grupp har årskostnaden per ton dagligen inkommande BS<sub>7</sub> beräknats och ansetts svara mot den genomsnittliga BS<sub>7</sub>-koncentrationen i gruppen. På så sätt har för vardera aktivt slam och biotorn erhållits tre värden



visande kostnadernas beroende av inkommande BS<sub>7</sub>-halt. Vid beräkningarna har hänsyn ej tagits till kostnadernas variation med anläggningarnas storlek, vilket ger en något hög kostnadsbild för stora anläggningar och en för låg för små.

### FRONO-reaktorn

Beräkningarna för FRONO-reaktorn har gjorts på en anläggning för 3 ton inkommande BS<sub>7</sub> per dygn, med en renings-effekt av 75 %. Årskostnader har uträknats för inkommande BS<sub>7</sub>-halter av 750, 1500 och 3000 mg/l.

Data över använda belastningar har samlats i tabell 1.

Tabell 1. Vid beräkningarna använda belastningsdata för FRONO-reaktorn

BS <sub>7</sub> -halt mg/l	Hydrolyssteg kg BS <sub>7</sub> /m <sup>3</sup> ; d				Submerst filter kg BS <sub>7</sub> /m <sup>3</sup> ; d
	6	3	2	1	
750	0,13	0,25	0,38	0,75	0,70
1500	0,25	0,50	0,75	1,5	1,3
3000	0,50	1,0	1,5	3,0	2,0

Som framgår av tabell 1 har mycket varierande belastningar använts för beräkning av hydrolyssteg. Orsaken härtill är att dettas funktion ännu ej tillfredställande utretts. Belastningarna har uträknats för respektive 6, 3, 2 och 1 dygns uppehållstid i detta steg. Senaste resultat antyder att de högre belastningsvärdena torde kunna uppnås.

Med hjälp av använda belastningsdata har investeringskostnaderna beräknats enligt:

Investeringskostnad för hydrolyssteg = Investeringskostnad för rötkammare vid svenska kommunala reningsverk enligt Ulmgren <sup>3</sup>.

$$I = V \cdot 650 \quad (V > 2000 \text{ m}^3)$$

$$I = 7500 \cdot V^{0,67} \quad (200 \text{ m}^3 < 2000 \text{ m}^3)$$

där I = Investeringskostnad i kronor (kostnadsläge 750101)

V = Rötkammarvolym i m<sup>3</sup>.

Investeringskostnad för submerst filter = Investeringskostnad för biotornskropp enligt Boman, et al. <sup>4</sup>.

$$I = 1000 \cdot V \quad (V < 2000 \text{ m}^3)$$

$$I = 900 \cdot V \quad (V > 3000 \text{ m}^3)$$

där I och V har samma betydelse som ovan. (Kostnadsläge 760101). I intervallet  $2000 \text{ m}^3 < V < 3000 \text{ m}^3$  har investeringskostnaden satts till 950 kr/m<sup>3</sup>. Rörinstallationer och pumpar m m för submersa filtret har antagits täckas av investeringskostnaderna för hydrolyssteg, emedan en rötkammare måste göras avsevärt mer komplicerad än hydrolyssteg.

För att utröna om använda investeringskostnader är realistiska gjordes en specialstudie. En anläggning för behandling av 3 ton BS<sub>7</sub>/d., halt 3000 mg/l, enligt FRONO-principen undersöktes närmare beträffande investeringsbehov. Följande kostnadsposter medtogs:

Pumpstation

Hydrolysreaktor

Sedimentering efter hydrolyssteg

Rötkammare för behandling av slam från hydrolyssteg

Anaerobt submerst filter

Värmeväxling in- och utgående vatten

Elektriska detaljer

Mät- och reglerutrustning

Projektering, administration och oförutsett 25 %.

Specialstudien gav 25 % högre investeringskostnad än samma alternativ beräknat enligt ovan. Till summan av investeringskostnaderna för hydrolyssteg och metansteg enligt ovan har därför i samtliga fall adderats 25 %.

Driftkostnaden för anläggningen har satts till driftkostnaden för rötkammare enligt Ulmgren<sup>3</sup>. Härvid har högsta angivna alternativ använts och kostnaden räknats på FRONO-anläggningens totala volym. I kalkylen för FRONO-reaktorn har ej medtagits kostnader för uppvärmning eller besparing genom energiåtervinning. En analys utförd vid IVL<sup>5</sup> visar att inom det aktuella  $BS_7$ -intervallet är dessa poster kraftigt beroende av avfallsvattnets temperatur. Om ingående vatten är kallare än ca 20 °C ökar kostnaden genom uppvärmningsbehovet. Är temperaturen högre erhålls en besparing.

Investeringskostnader avser 10 års avskrivning till 10 % ränta. Alla kostnader gäller kostnadsläget 76-01-01. Där justeringar behövt göras har SBEF:s index, II C, använts.

#### RESULTAT

Erhållna resultat av beräkningarna har samlats i tabellerna 2-6. Tabellerna 3-6 hänför sig till respektive 6, 3, 2 och 1 dygns uppehållstid i hydrolyssteg.

I figur 2 har årskostnader för aktivt slam, biotorn och FRONO-reaktorn avsatts som funktion av  $BS_7$ -halten inom intervallet 500 mg/l <  $BS_7$  < 3500 mg/l. Som framgår av figur 2 uppvisar anaerob behandling en mycket kraftig variation beträffande kostnaderna i det studerade intervallet. Vid  $BS_7$ -halter understigande 1000 mg/l stiger kostnaderna mycket snabbt. Vid ökande halt ser kostnadsbilden gynnsam ut gentemot aktivt slam och biotorn.



## SLUTSATSER

De erhållna resultaten tyder på att kostnadsbesparingar kan göras vid användning av anaerob rening istället för konventionell aerob rening då halten  $BS_7$  i avfallsvattnet överstiger 1000-1500 mg/l, men även att anaerob rening av mycket utspädda vatten med nu känd teknik blir mycket kostnadskrävande.

Osäkerheten i en jämförelse mellan metoder i praktisk drift och resultat erhållna i laboratoriet måste med kraft betonas. De erhållna resultaten bör antas ge en alltför gynnsam ekonomisk bild för FRONO-reaktorn till dess mer hållbara praktiska data föreligger. De möjliga kostnadsbesparingarna är emellertid så stora att anaerob rening av koncentrerade biologiskt nedbrytbara vatten bör undersökas närmare.



## LITTERATURREFERENSER

1. Cillie, C.G., Henzen, M.R., Stander, G.J., Baillie, R.D.: Anaerobic Digestion, IV. The application of the process in waste purification. Water Res. 3:623-643. 1969.
2. Rennerfelt, J., Ulmgren, L., Westermarck, M.: Externa reningsmetoder för avloppsvatten och slam. Naturvårdsverket, PM 819. 1977.
3. Ulmgren, L.: Tekniska lösningar för slambehandling. Ur Behandling og jordbruksanvendelse av kommunalt kloakkslam. Nordforsks miljövårdssekretariatet, publikation 1975:3:25-70. 1975.
4. Boman, B., Björklund-Jansson, M., Rennerfelt, J.: Biologisk rening av wallboardavloppsvatten, del 8. Teknisk-ekonomisk jämförelse av reningsmetoder. IVL B-publikation 326. 1976.
5. Frostell, B.: Energiaspekter på aerob- och anaerob avfallsvattenbehandling. IVL B-publikation under tryckning.

Tabell 2. Årskostnader för aktivt slam och biotorn som funktion av inkommande BS<sub>7</sub>-halt.

BS <sub>7</sub> -halt mg/l	Årskostnad , kkr/ton ink.BS <sub>7</sub>	
	Aktivt slam	Biotorn
590	930	770
1590	570	-
1750	-	470
2910	-	430
3070	500	-

Tabell 3. Kostnadsdata för FRONO-reaktor med 6 dygns hydrolystid. Anläggning för 3 ton inkommande BS<sub>7</sub>/dygn och 75 % reningseffekt.

	BS <sub>7</sub> -halt mg/l		
	750	1500	3000
Flöde, m <sup>3</sup> /dygn	4000	2000	1000
Hydrolysreaktor , m <sup>3</sup>	24000	12000	6000
Inv.kostn. hydrolysreaktor, kkr	16240	8120	4060
Filterbelastning, kg BS <sub>7</sub> /m <sup>3</sup> ;dygn	0,7	1,3	2,0
Filter, m <sup>3</sup>	4290	2400	1500
Inv.kostn. filter, kkr	3860	2280	1500
Inv.kostn. hydrolysreaktor + filter, kkr	20100	10400	5560
Tillägg 25%, kkr	5025	2600	1390
Driftskostnad, kkr/år	764	389	203
Total årskostnad, kkr	3275	1690	900
Årskostnad/ton ink. BS <sub>7</sub> , kkr	1090	560	300

kkkr = kilokronor

Årskostnad/ton BS<sub>7</sub> = Årskostnad/ton dagligen inkommande BS<sub>7</sub>

Tabell 4. Kostnadsdata för FRONO-reaktor med 3 dygns hydrolystid. Anläggning för 3 ton inkommande BS<sub>7</sub>/dygn och 75 % reningseffekt.

	BS <sub>7</sub> -halt mg/l		
	750	1500	3000
Flöde, m <sup>3</sup> /dygn	4000	2000	1000
Hydrolysreaktor, m <sup>3</sup>	12000	6000	3000
Inv.kostn. hydrolysreaktor, kkr	8120	4060	2030
Filterbelastning, kg BS <sub>7</sub> /m <sup>3</sup> ;dygn	0,7	1,3	2,0
Filter, m <sup>3</sup>	4290	2400	1500
Inv.kostn. filter, kkr	3860	2280	1500
Inv.kostn. hydrolysreaktor + filter, kkr	11980	6340	3530
Tillägg 25%, kkr	2995	1585	885
Driftskostnad, kkr/år	428	227	128
Total årskostnad, kkr	1925	1020	620
Årskostnad/ton ink.BS <sub>7</sub> , kkr	640	340	210

Tabell 5. Kostnadsdata för FRONO-reaktor med 2 dygns hydrolystid. Anläggning för 3 ton inkommande BS<sub>7</sub>/dygn och 75 % reningseffekt.

	BS <sub>7</sub> -halt mg/l		
	750	1500	3000
Flöde, m <sup>3</sup> /dygn	4000	2000	1000
Hydrolysreaktor, m <sup>3</sup>	8000	4000	2000
Inv.kostn. hydrolysreaktor, kkr	5410	2710	1350
Filterbelastning, kg BS <sub>7</sub> /m <sup>3</sup> ;dygn	0,7	1,3	2,0
Filter, m <sup>3</sup>	4290	2400	1500
Inv.kostn. filter, kkr	3860	2280	1500
Inv.kostn. filter + hydrolysreaktor, kkr	9270	4990	2850
Tillägg 25%, kkr	2245	1250	715
Driftskostnad, kkr/år	332	173	109
Total årskostnad, kkr	1485	800	465
Årskostnad/ton ink. BS <sub>7</sub> , kkr	500	270	160

kkkr = kilokronor

Årskostnad/ton inkommande BS<sub>7</sub> = Årskostnad per ton dagligen inkommande BS<sub>7</sub>

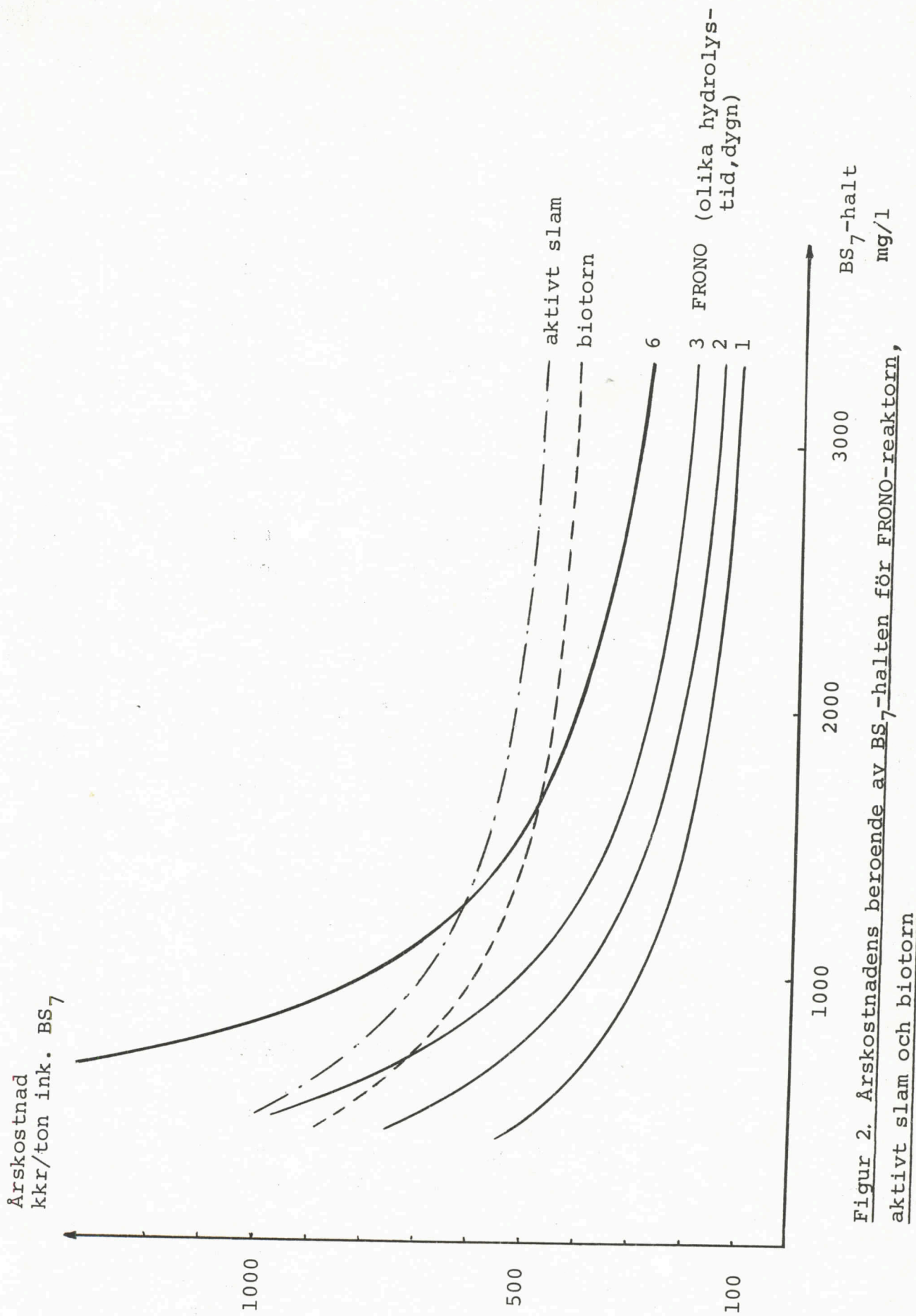
Tabell 6. Kostnadsdata för FRONO-reaktor med 1 dygns hydrolystid. Anläggning för 3 ton inkommande BS<sub>7</sub>/dygn och 75 % reningseffekt.

	BS <sub>7</sub> -halt mg/l		
	750	1500	3000
Flöde, m <sup>3</sup> /dygn	4000	2000	1000
Hydrolysreaktor, m <sup>3</sup>	4000	2000	1000
Inv.kostn. hydrolysreaktor, kkr	2710	1350	750
Filterbelastning, kg BS <sub>7</sub> /m <sup>3</sup> ;dygn	0,7	1,3	2,0
Filter, m <sup>3</sup>	4290	2400	1500
Inv.kostn. filter, kkr	3860	2280	1500
Inv.kostn. hydrolysreaktor + filter, kkr	6570	3630	2250
Tillägg 25%, kkr	1645	910	565
Driftskostnad, kkr/år	224	123	85
Total årskostnad, kkr	1045	575	365
Årskostnad/ton ink. BS <sub>7</sub> , kkr	350	190	120

kkkr = kilokronor

Årskostnad/ton BS<sub>7</sub> = Årskostnad per ton dagligen inkommande BS<sub>7</sub>





Figur 2. Årskostnadens beroende av BS<sub>7</sub>-halten för FRONO-reaktorn, aktivt slam och biotorn