

# Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 15 1992

Bundfældningsegenskaber  
for aktiv slam

**Bundfældningsegenskaber for aktiv slam**  
Undersøgelse af danske renseanlæg med  
næringssaltfjernelse

Gert Holm Kristensen og Per Elberg Jørgensen,  
Vandkvalitetsinstituttet  
Per Halkjær Nielsen, Aalborg Universitetscenter.  
Laboratoriet for Miljøteknik

**MILJØSTYRELSEN**  
BIBLIOTEKET  
Strandgade 29  
1401 København K

Miljøstyrelsen  
Miljøstyrelsen

## Forord

Vandkvalitetsinstituttet, ATV, og Laboratoriet for Miljøteknik, AUC, har i samarbejde for Miljøstyrelsen gennemført projektet: "Bundfældningsegenskaber for aktiv slam i anlæg med næringssaltfjernelse", M 2046-0061.

Projektet er udført i perioden 1989-91, og projektets resultater er rapporteret i tre rapporter:

- "Bundfældningsegenskaber for aktiv slam - Litteraturredport".
- "Bundfældningsegenskaber for aktiv slam - Karakteriseringsmetoder og kontrolstrategier".
- "Bundfældningsegenskaber for aktiv slam - Undersøgelse af danske renseanlæg med næringssaltfjernelse".

Projektet har været tilknyttet en styringsgruppe med følgende sammensætning:

Tage V. Andersen, Miljøstyrelsen (formand)  
Gert Holm Kristensen, Vandkvalitetsinstituttet (projektleder)  
Karsten Krogh Andersen, COWI-Consult  
Kjær Andreasen, I. Krüger AS  
Mogens Henze, Lab. for Tekn. Hyg., DTH  
Per H. Nielsen, Lab. for Miljøteknik, AUC  
Ejvind Thorsen, Grindsted Products Danisco A/S

## Indhold

<b>0. Resumé</b>	1
<b>1. Indledning</b>	3
<b>2. Projektoversigt</b>	4
<b>3. Screeningundersøgelse</b>	5
3.1 Beskrivelse af undersøgelsen	5
3.2 Resultater og diskussion	6
3.2.1 Omfang af bundfældningsproblemer	6
3.2.2 Dominerende mikroorganismer	10
3.2.3 Vurdering af karakteriseringsparametre	12
<b>4. Tidsserieundersøgelser for tre renseanlæg</b>	16
4.1 Beskrivelse af tidsserieundersøgelse	16
4.2 Anlægsbeskrivelser	16
4.3 Resultater og diskussion	17
4.3.1 Bundfældningsmåling	17
4.3.2 Trådindex	21
4.3.3 Dominerende mikroorganismer	21
4.3.4 Trådtal	23
4.3.5 Slamafvandingssegenskaber	23
4.3.6 Forbedring af bundfældningsegenskaber	26
4.3.7 Vurdering af karakteriseringsparametre	27
<b>5. Konklusion</b>	33
<b>6. Referencer</b>	35

## Bilag

Bilag 1. Vejledning og svarskema ved screeningundersøgelse.
Bilag 2. Resultater af screeningundersøgelse
Bilag 3. Tekniske data for Frederikssund, Søholt og Aalborg Vest renseanlæg
Bilag 4. Resultater fra Frederikssund renseanlæg
Bilag 5. Resultater fra Søholt renseanlæg
Bilag 6. Resultater fra Aalborg Vest renseanlæg

## 0. Resumé

Ved projektet er gennemført to undersøgelsesserier: dels en screeningundersøgelse af en lang række danske renseanlæg med næringssaltfjernelse og dels en tidsserieundersøgelse, hvor tre renseanlæg er fulgt regelmæssigt gennem godt et år.

Screeningundersøgelsen omfattede tre runder, hvori deltog 35-40 danske kommunale renseanlæg. Bundfældningsegenskaberne for det aktive slam blev ved undersøgelsen karakteriseret gennem bestemmelse af slamvolumenindex, SVI, fortynder slamvolumenindex, FSVI, og trådindex. For aktiv slam med trådindex over 2 blev dominerende typer af trådformende mikroorganismer endvidere identificeret.

Undersøgelsen viste, at afhængig af årstiden havde 20-40% af anlæggene et SVI over 150 ml/g eller et trådindex over 2. Overskridelse af disse værdier antages i almindelighed at indikere dårlige bundfældningsegenskaber. Sammenlignes med nyere danske erfaringer fra kommunale anlæg uden næringssaltfjernelse, synes der at være tale om en markant stigning i andelen af anlæg med bundfældningsproblemer. Dette resultat stemmer overens med erfaringer fra andre lande.

Dominerende trådformende mikroorganismer var i nævnte rækkefølge: *Microthrix parvicella*, type 0041, type 021N og type 0092. De samme dominerende mikroorganismer er fundet ved udenlandske undersøgelser, omend ikke med samme dominansfordeling som her observeret.

SVI og FSVI var kun i yderområderne i stand til generelt at give en indikation af mængden af trådformende mikroorganismer. I mellemområdet udviste data meget stor variation. Variationen var dog mindst for FSVI.

FSVI/SVI udviste markant faldende tendens ved øget slamvolumen og ved øget SVI. Resultaterne af undersøgelsen understøtter således, at SVI i almindelighed anses for en tvivlsom måling ved høje slamvolumener og ved dårlige bundfældningsegenskaber. I en håndbog /2/ udarbejdet i forbindelse med projektet anbefales, at der generelt anvendes FSVI, når slamvolumen er større end ca. 200 ml/l.

Ved tidsserieundersøgelsen blev bundfældningsegenskaberne på tre renseanlæg karakteriseret løbende gennem godt et år. Anvendte karakteriseringsparametre var: SVI, FSVI, trådindex, trådtal samt identifikation af dominerende trådformende mikroorganismer.

De tre undersøgte anlæg var Frederikssund, Søholt og Aalborg Vest.

For alle tre anlæg blev fundet en tydelig årsvariation med forbedrede bundfældningskarakteristika i sommerperioden. Årsvariationen antages at skyldes temperaturrens indflydelse på konkurrenceforholdene i det aktive slam.

Årsvariationen kom til udtryk gennem alle karakteriseringsparametrene. For slam med højt indhold af trådformende mikroorganismer var trådtallet dog klart den bedste parameter til at påvise variationer i slamsammensætningen. Ved større variationer i indholdet af suspenderet stof i aktiv slam tankene synes det relevant at benytte det specifikke trådtal, hvor trådtallet er normeret med slamtørstofindholdet.

Dominerende trådformende mikroorganismer i Frederikssundslammet var 021N i hele perioden. Herudover blev observeret sekundær dominans af *Microthrix parvicella* samt af typerne 0041 og 0092. Bekæmpelse af den umådeholdne vækst af trådformende mikroorganismer i Frederikssund bør være mulig ved anvendelse af en selektor.

Søholtslammet udviste konstant udmærkede bundfældningskarakteristika, og der er ikke foretaget identifikation af trådformende mikroorganismer.

Dominerende trådformende mikroorganismer i Aalborg Vest slammet var primært *Microthrix parvicella* og sekundært typerne 0041 og 0092. *Microthrix parvicella* lader til at være tilpasset de skiftende oxidationsforhold i lavtbelastede anlæg med N- og/eller P-fjernelse, og det har hidtil generelt vist sig vanskeligt at bekæmpe deres vækst. Spildevands- og procesforhold må derfor vurderes nærmere, inden en strategi for en bekæmpelse af de trådformende mikroorganismer kan etableres.

Ved sammenligning mellem de forskellige karakteriseringsparametre fremgik det generelt, at SVI har ringe evne til at vise variationer i slamkarakteristika for slam med dårlige bundfældningsegenskaber, idet data udviser alt for stor spredning. For FSVI var sammenhængen med de kvantificerede mål for mængden af trådformende mikroorganismer, trådindex og trådtal, bedre end for SVI. Variationen ved større mængder af trådformende mikroorganismer var dog stadig betydelig.

Der fandtes generelt god indbyrdes overensstemmelse mellem trådindex og trådtal. For trådindex over 2.5-3 var der dog tale om en betragtelig spredning af data, og trådindex viste tydeligt begrænset følsomhed til at vise variationer ved høje index (3-4).

De forskellige slamtyper reagerede forskelligt ved anvendelse af FSVI i stedet for SVI. Søholtslammet viste stort set uændret index ved anvendelse af fortyndingen, mens Frederikssundslammet øgede index ved anvendelse af fortyndingen, og Aalborgslammet mindskede index ved måling med fortynding. Af det fortyndede index var det muligt at se den med trådindex og trådtal påviste forskel i mængden af trådformende mikroorganismer i Frederikssundslammet og Aalborg Vest slammet, mens en sådan forskel ikke fremgik med anvendelse af SVI.



## 1. Indledning

Bundfældningsegenskaber for aktiv slam varierer stærkt fra anlæg til anlæg og undertiden også på det enkelte anlæg. Adskillelsen af aktiv slam og rensed spildevand er af afgørende betydning for anlæggets funktion, og det er derfor overordentligt væsentligt at øge kendskabet til og forståelsen for de mekanismer, der påvirker aktiv slams bundfældningsegenskaber.

Den mest almindelige årsag til forringede bundfældningsegenskaber er tilstedeværelsen af store mængder trådformende mikroorganismer. Man taler da om "bulking".

Denne projektfase har til formål at bidrage til at skaffe overblik over omfanget af bundfældningsproblemer i danske renseanlæg med næringssaltfjernelse. Herudover skal projektfasen bidrage til at øge viden om eventuelle forskelle i bundfældningsegenskaber over året, samt til at demonstrere anvendelsen af og sammenhænge mellem nogle centrale karakteriseringsparametre. Endelig vil muligheder for at afhjælpe konstaterede forringede bundfældningsegenskaber blive præsenteret.

Den eksisterende viden om betydningen af spildevandets sammensætning, anlægsudformning, procesforhold m.v. for væksten af trådformende mikroorganismer er endnu meget mangelfuld og i vid udstrækning empirisk baseret. Det samme kan siges om viden knyttet til faktorerne, der styrer væksten af flokdannende og trådformende mikroorganismer. Det empiriske grundlag giver mulighed for at "forsøge sig kvalificeret frem" med kontrol af en række af de problematiske mikroorganismer. Der kan imidlertid ikke herske tvivl om, at et grundigt kendskab til de problemvoldende mikroorganismers vækstbetingelser er et vigtigt led i en effektiv bekæmpelse af deres dominans, og den mikrobiologiske forståelse bliver i den sammenhæng en vigtig del af spildevandsteknikken.

## 2. Projektoversigt

Projektet har været afviklet over tre til dels sideløbende faser:

- 1) Udredning vedrørende mekanismer, der påvirker flokkulerings- og bundfældningsegenskaber for aktiv slam.
- 2) Undersøgelser af slamegenskaber for danske renseanlæg med næringssaltfjernelse.
- 3) Opstilling af karakteriseringsrutiner for aktiv slam samt forslag vedrørende kontrolstrategier med henblik på etablering af slam med gode flokkulerings- og bundfældningsegenskaber.

Under første fase er den seneste litteratur vedrørende aktiv slams bundfældningsegenskaber indsamlet og gennemgået. Litteraturen beskæftiger sig hovedsageligt med de mekanismer, der fører til udvikling af slam domineret af trådformende bakterier. Resultatet af litteraturudredningen er rapporteret særskilt i /1/.

I anden fase er aktiv slam fra en række danske anlæg med næringssaltfjernelse undersøgt og karakteriseret. Undersøgelsen har bestået af tre screeningsrunder, der for hver runde har inkluderet 35-40 anlæg, samt en mere intensiv overvågning af 3 udvalgte anlæg. Nærværende rapport gennemgår forløbet af undersøgelsen, samt præsenterer og diskuterer undersøgelsens resultater.

Tredje fase har omfattet en sammenfatning af erfaringerne opnået gennem udførelsen af de to foregående faser. På baggrund af disse erfaringer er der i /2/ opstillet forslag til rutineprocedurer for karakterisering af aktiv slam, ligesom en række årsager til bundfældningsproblemer er beskrevet, og der er stillet forslag til afhjælpning af problemerne. Rapporten er tilstræbt udformet som en håndbog, der kan anvendes af driftspersonale som støtte i bestræbelserne på at undgå driftsproblemer forårsaget af forringede bundfældningsegenskaber for det aktive slam. Den basale forståelse af betydningen af en række forhold, der påvirker væksten af mikroorganismene i det aktive slam, er dog endnu ufuldstændig, og /2/ er således at opfatte som en status snarere end en endelig manual.



### 3. Screeningsundersøgelse

#### 3.1 Beskrivelse af undersøgelsen

Formålet med screeningsundersøgelsen var primært:

- at få et indblik i letslamproblemetets omfang på danske anlæg med næringssaltfjernelse, samt
- at få en indikation af, om årsagen til eventuelle letslamproblemer er dominans af trådformende bakterier, og i givet fald at undersøge hvilke arter der er dominerende.

Herudover var det tanken ud fra datamaterialet at forsøge at lokalisere eventuelle generelle mønstre knyttet til karakteriseringsparametrene.

Der blev gennemført i alt tre screeningsrunder: Runde 1 i november 89, runde 2 i maj 90 og runde 3 i september 90.

Før hver runde blev kommuner og driftspersonale pr. telefon orienteret om projektet og anmodet om at give tilsagn om deltagelse i den forestående screeningrunde. To uger før afvikling af en screeningsrunde, fremsendtes til de pågældende renseanlæg:

- En vejledning til brug ved bestemmelse af slamvolumen, (bilag 1).
- Et svarskema til brug ved angivelse af slamvolumen, tørstofindhold m.m., (bilag 1).
- En prøveflaske til brug ved returnering af en aktiv slamprøve til karakterisering ved mikroskopi.
- En svarkuvert til brug ved returnering af svarskema og prøveflaske.

På en fastsat dag blev driftspersonalet på renseanlæggene bedt om at bestemme det aktive slams slamvolumen,  $SV_{30}$ . Herudover blev driftspersonalet anmodet om, at prøveflasken fyldtes halvt op med aktiv slam fra luftningstanken. Når prøveflasken kun skulle fyldes halvt op, var det for at bevare prøven iltet, da der ellers kan ske ændringer i de karakteristiske træk, der ses efter ved mikroskoperingen. Endelig blev driftspersonalet anmodet om, at det udfyldte svarskema, se bilag 1, sammen med prøveflasken blev sendt med posten til AUC.

Ovennævnte procedure varierede lidt fra runde til runde. Under første runde blev slamvolumen således udelukkende bestemt på ufortyndet slam, mens det under anden og tredje runde, blev bestemt såvel på ufortyndet, som på tre gange fortyndet slam (en del slam og to dele rensset spildevand). Når slamvolumen måles på fortyndet prøve kaldes målingen fortyndet slamvolumen,  $FSV_{30}$ .

Under første runde blev der, ud over prøven beregnet for mikroskopisk karakterisering, udtaget yderligere en prøve, der blev sendt til VKI og analyseret for SS. Under anden og tredje runde blev prøven til brug ved måling af SS på VKI udeladt. I stedet blev personalet på anlæggene anmodet om at opgive resultaterne fra de sidste 4-5 målinger af SS i anlægget.

På AUC blev prøverne, straks efter modtagelsen, undersøgt i mikroskop. Ved den mikroskopiske karakterisering blev prøven tildelt et trådindex, se /1/, fra 0-4, hvor 0 angiver, at prøven næsten ikke indeholder trådformende bakterier, og 4 angiver tilstedeværelse af særdeles mange trådformende bakterier. Hvis en prøve indeholdt mange trådformende bakterier (trådindex > 2) blev den eller de typer af trådformende bakterier, der var dominerende, identificeret i henhold til klassificeringssystemet angivet i /1/, /3/.

Ud fra data for slamvolumen,  $SV_{30}$ , og suspenderet stof, SS, blev slamvolumenindex, SVI, beregnet som  $SV_{30}/SS$ . I de tilfælde, hvor der var data for fortyndet slamvolumen, blev der beregnet et fortyndet slamvolumenindex, FSVI, som  $(FSV_{30} \times 3)/SS$ .

### 3.2 Resultater og diskussion

#### 3.2.1 Omfang af bundfældningsproblemer

Et overblik over bundfældningsegenskaberne for danske renseanlæg med næringssaltfjernelse er givet på figurerne 3.1-3.6. Data for de tre screeningrunder er givet i bilag 2.

I figur 3.1-3.3 er vist histogrammer for screeningrunde 2 for de målte parametre: slamvolumenindex, fortyndet slamvolumenindex og trådindex. I bilag 2 er vist tilsvarende histogrammer for de to andre screeningrunder.

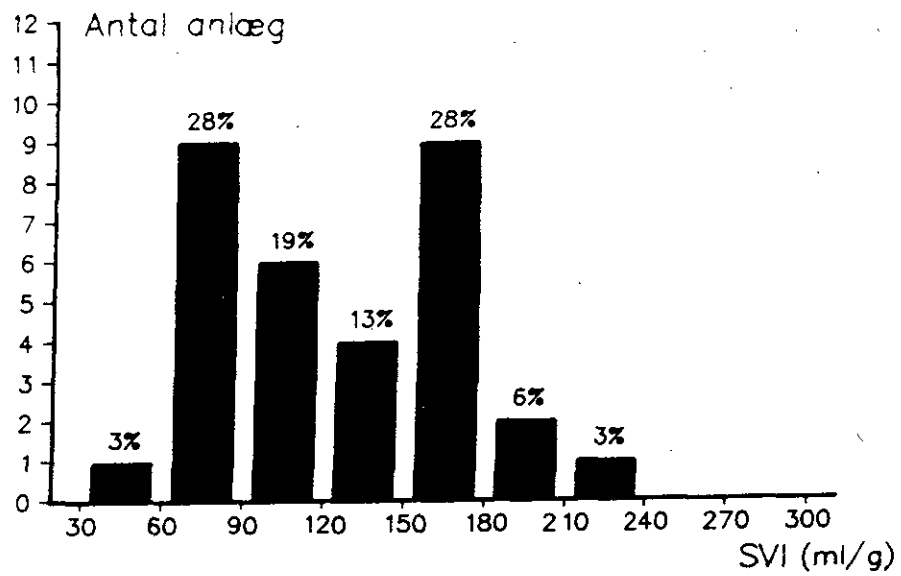
Af figur 3.1 ses, at SVI ved 2. screeningrunde fordelte sig bredt i intervallet 30-240 ml/g, dog med den overvejende del af anlæggene i intervallet 60-180 ml/g. 37% af anlæggene udviste et ufortyndet slamvolumenindex over 150 ml/g, der som tommelfingerregel angiver dårlige bundfældningsegenskaber.

Det fortyndede slamvolumenindex, figur 3.2, viste en noget mere snæver fordeling i intervallet 30-150 ml/g, med et enkelt anlæg med stærkt forhøjet værdi omkring 240 ml/g.

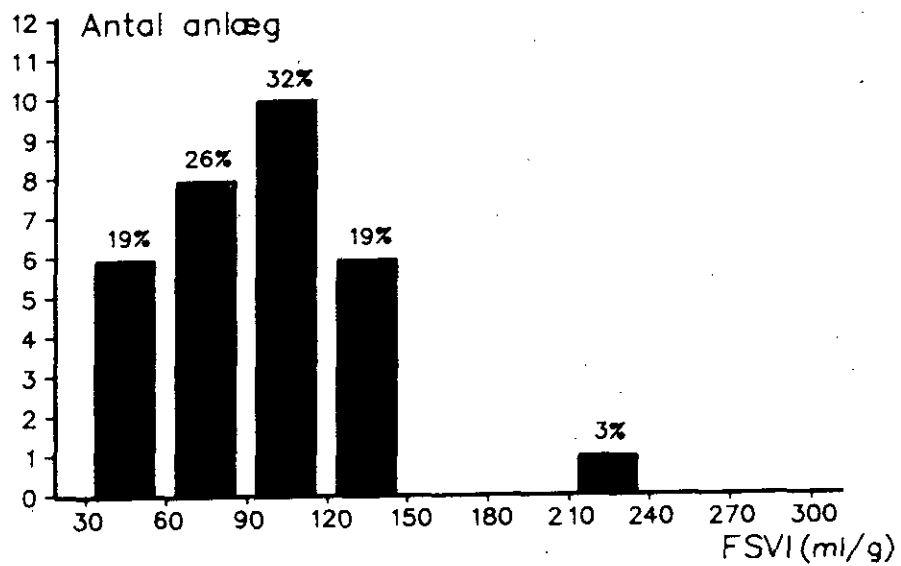
Figur 3.3 illustrerer fordelingen af anlæg på trådindex. Af figuren fremgår, at hele spektret af trådindex er observeret ved undersøgelsen. 45% af anlæggene har index større end 2, hvilket ofte benyttes som indikation for forringede bundfældningsegenskaber.

Sammenfattende kunne således ved 2. screeningrunde konstateres, at forringede bundfældningsegenskaber synes at optræde i omkring 35-45% af de undersøgte anlæg. Screeningrunde 2 fandt sted i maj måned og viste således problemets omfang umiddelbart efter den koldeste periode. Som det fremgår af data præsenteret i afsnit

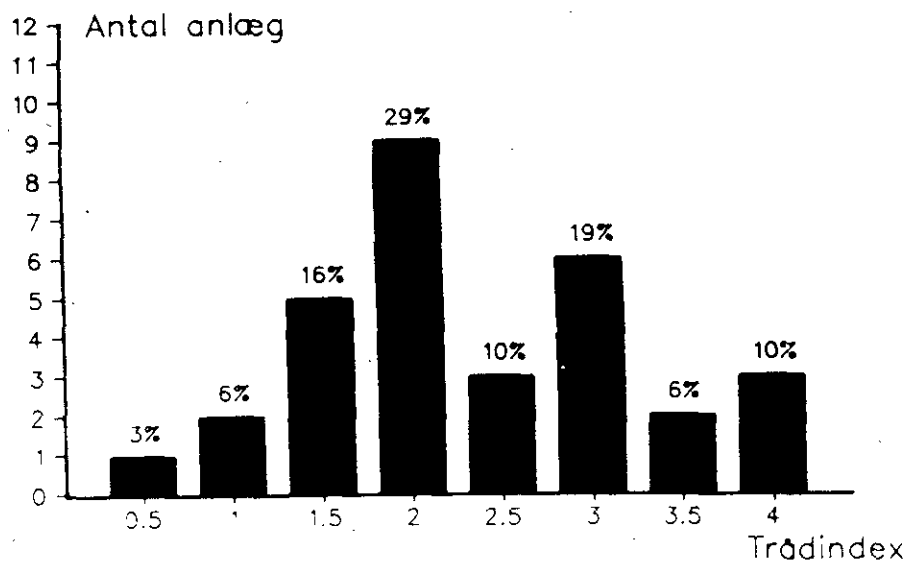
4, er der i denne periode tale om årstidsbetinget forringelse af bundfældningsegenskaberne, og de observerede 35-45% ligger derfor nær den i screeningperiodens øvre grænse for problemets omfang.



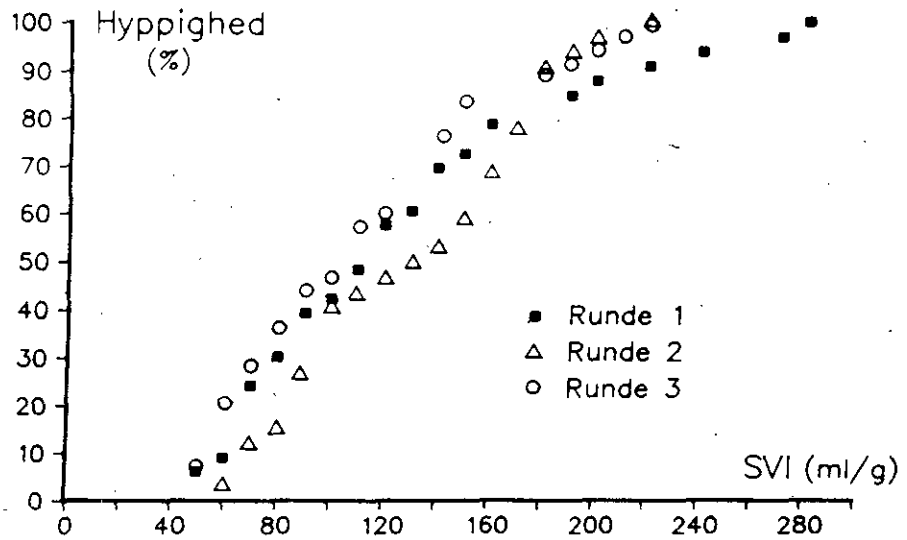
**Figur 3.1** Histogram for slammvolumenindex, screeningrunde 2.



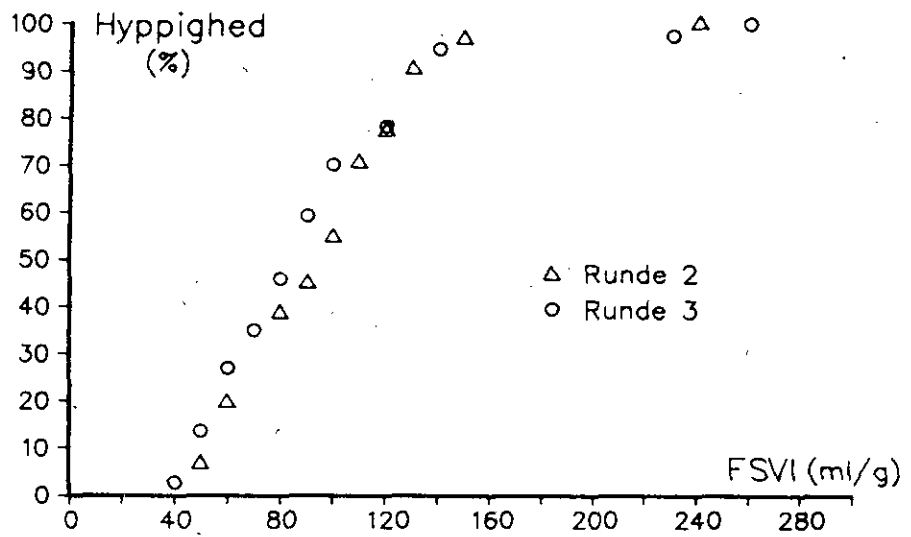
**Figur 3.2** Histogram for fortyndet slammvolumenindex, screeningrunde 2.



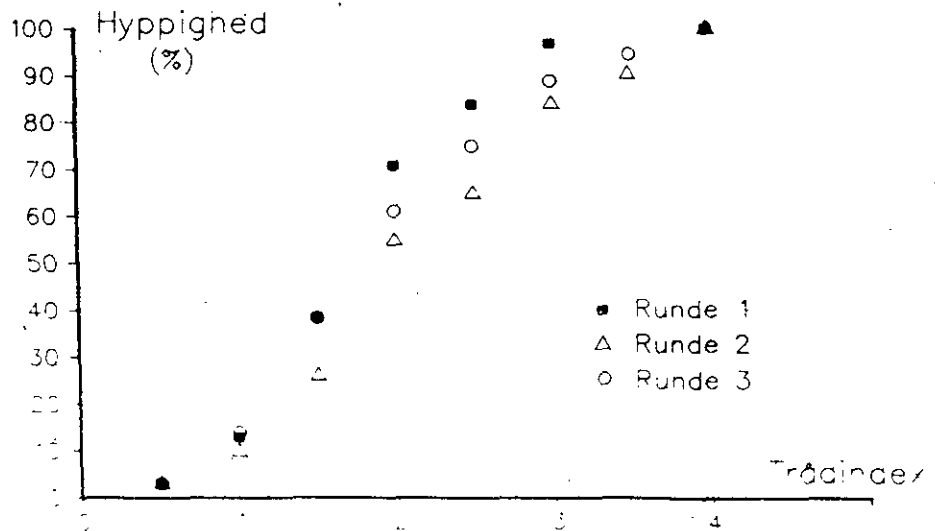
**Figur 3.3** Histogram for trådindex, screeningrunde 2.



**Figur 3.4** Hyppighedskurve for SVI ved de tre screeningrunder.



**Figur 3.5** Hyppighedskurve for FSVI ved de screeningrunde 2 og 3.



**Figur 3.6** Hyppighedskurve for trådindex ved de tre screeningrunder.

I figurerne 3.4-3.6 er for alle screeningrunder vist hyppighedsdiagrammer for de samme parametre som illustreret i histogrammerne.

Af figurerne kan sammenfattes, at afhængig af årstiden har 20-40% af anlæggene et ufortyndet slamvolumenindex over 150 ml/g og/eller et trådindex over 2. Baseret på disse definitioner har altså ca. 40% af anlæggene med næringssaltfjernelse periodevis dårlige eller problematiske bundfældningsegenskaber.

Til sammenligning er der i lavt belastede anlæg i Holland fundet bundfældningsproblemer for ca. 50% af anlæggene, /3/, og i Sydafrika er der fundet dårlige bundfældningsegenskaber på ca. 80% af anlæggene med næringssaltfjernelse, /4/.

I en dansk undersøgelse fra 1989 /6/ blev bundfældningsegenskaberne for et større antal anlæg i Århus amt screenet. I undersøgelsen indgik hovedsagelig lavt belastede anlæg med nitrifikation men uden næringssaltfjernelse. Ved undersøgelsen blev det fundet, at ca. 15% af anlæggene udviste slamvolumenindex over 150 ml/g. Ved at sammenholde de ved denne undersøgelse fundne data kan der således forventes større problemer ved drift af anlæg med næringssaltfjernelse end med de traditionelle lavt belastede anlæg med nitrifikation.

### 3.2.2 Dominerende mikroorganismer

Forskellige typer af trådformende mikroorganismer stiller forskellige krav til deres vækstbetingelser. Når en bestemt type dominerer, populationen af trådformende bakterier i aktiv slam, skyldes det, at de vækstbetingelser, der er til stede i det pågældende anlæg, opfylder den dominerende types krav bedre end nogen anden types krav.

Med kendskab til typen af den eller de dominerende trådformende bakterier kan man derfor få et fingerpeg om vækstbetingelserne i anlægget, og dermed hvad der skal ændres for at bekæmpe de trådformende bakterier i den aktuelle situation.

Som et eksempel kan nævnes arter af bakteriegruppen *Thiotrix*, der kan udvinde energi ved at ilte sulfid til frit svovl. Disse bakterier vil have en konkurrencefordel, hvis spildevandet indeholder megen sulfid, og *Thiotrix* kan blive dominerende i slammet. I en sådan situation vil man forsøge at bekæmpe de trådformende bakterier ved at fjerne sulfid fra spildevandet (ved fældning eller beluftning).

For enkelte bakteriers vedkommende kan man dokumentere eksistensen af karakteristiske vækstbetingelser, f.eks. evnen til at ilte sulfid som nævnt ovenfor. For de fleste trådformende bakteriers vedkommende bygger kendskabet til deres vækstbetingelser imidlertid på et rent empirisk grundlag. Man har f.eks. erfaring for, at hvis iltkoncentrationen er lav, vil man ofte se, at typerne *Sphaerotilus natans*, type 1701, *Microthrix parvicella* og type 021N dominerer. Sådanne erfaringer er givet i /4/ og i /7/. I /7/ gives tillige en sammenfatning af fysiologiske og

vækstkinetiske parametre, fundet ved laboratorie forsøg, for en række typer af trådformende bakterier. I /8/ er på dansk givet en sammenfatning af nogle af de ovennævnte erfaringer.

Det er vigtigt at gøre sig klart, at man oftest ikke umiddelbart kan afgøre årsagen til fremvækst af en konkret dominerende trådformende bakterie. Dette skyldes, at der dels er mange vækstfaktorer der tilsammen bestemmer konkurrenceforholdene i slammet, dels at mange vækstfaktorer for de enkelte bakterier endnu ikke er identificeret. På baggrund af ovenstående har en vigtig del af denne undersøgelse været at identificere typen eller typerne af trådformende bakterier.

Ved hver screeningrunde blev for aktiv slam prøver med trådindex større end 2 foretaget identifikation af dominerende trådformende mikroorganismer.

I tabel 3.1 er sammenstillet resultaterne af disse identifikationer. Af data i bilag 2 fremgår dominansen fordelt på de enkelte anlæg.

**Tabel 3.1** Dominerende bakterietyper fordelt på antal anlæg med trådindex større end 2. Bemærk at det samme anlæg godt kan have 2 eller 3 dominerende typer.

Runde	1		2		3	
	Nov 89 Antal	%	Maj 90 Antal	%	Sep 90 Antal	%
M.p.	7	50	10	59	10	45
0041	5	36	2	12	6	27
021N	1	7	3	17	1	5
0092	1	7	2	12	2	9
0914					2	9
1851					1	5
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100</b>	<b>17</b>	<b>100</b>	<b>22</b>	<b>100</b>

Som det fremgår af tabellen, er den helt dominerende trådformende mikroorganisme ved alle screeningrunder *Microthrix parvicella*. Ved runde 1 og runde 3 var ud over *Microthrix parvicella* også type 0041 klart dominerende i forhold til øvrige mikroorganismer, mens type 0041 ved runde 2 var dominerende på linje med 021N og 0092.

De fire hyppigst forekommende typer har erfaringsmæssigt følgende karakteristika: *Microthrix parvicella*, 0041, samt 0092 ses ofte i lavt belastede anlæg /8/. *Microthrix parvicella* og 021N menes tillige at være favoriseret ved lav iltkoncentration /8/, mens type 021N og 0041 menes at have en fordel ved næringssaltmangel - /4/.



For *Microthrix parvicella* gælder det, at resultaterne af laboratorieforsøg tyder på, at denne bakterie kan udnytte substrat under anaerobe/anoxiske forhold, og at den på samme måde som de fosfor-akkumulerende bakterier i biologisk fosforfjernelses-anlæg, er i stand til at akkumulere kulstof under anaerobe forhold /7/. Dette stemmer godt overens med data i tabel 3, der viser, at *Microthrix parvicella* er den hyppigst forekommende trådformende bakterie i danske anlæg med næringssaltfjernelse, dvs. anlæg med anaerobe og eller anoxiske zoner.

Resultaterne givet i tabel 3.1 kan sammenlignes med en tilsvarende sydafrikansk undersøgelse af næringssaltfjernende anlæg, /5/. Man fandt her, at ud af 33 undersøgte anlæg havde 27 bulking problemer, og i 82% af disse tilfælde var type 0092 én af de dominerende trådformende bakterier. Type 0675 var blandt de dominerende i 45% af tilfældene, type 0041 i 39%, *Microthrix parvicella* i 33%, 0014 i 33% og 1851 i 21%.

Det viser sig således, at det stort set er de samme typer af trådformende bakterier, der forekommer i danske og sydafrikanske anlæg, hvorimod den procentvise fordeling af de enkelte typer er forskellig.

### 3.2.3 Vurdering af karakteriseringsparametre

I figur 3.7 er afbildet slamvolumenindex, SVI, mod trådindex for alle screeningrunder. Tilsvarende afbildninger for hver runde er vist i bilag 2. Af figuren ses, at der er tale om en vis afhængighed således, at SVI stiger med øget trådindex. I midterområdet er der dog tale om ganske store variationer i SVI for samme trådindex, mens variationerne i yderområderne er beskedne.

Af figuren fremgår umiddelbart, at SVI og mængden af trådformende bakterier kun i yderområderne er i stand til at indikere overensstemmende karakterisering af aktiv slams bundfældningsegenskaber.

Den tilsvarende afbildning af det fortyndede slamvolumenindex, FSVI, mod trådindex for runde 2 og 3 er vist i figur 3.8. Afbildninger for hver runde særskilt er vist i bilag 2.

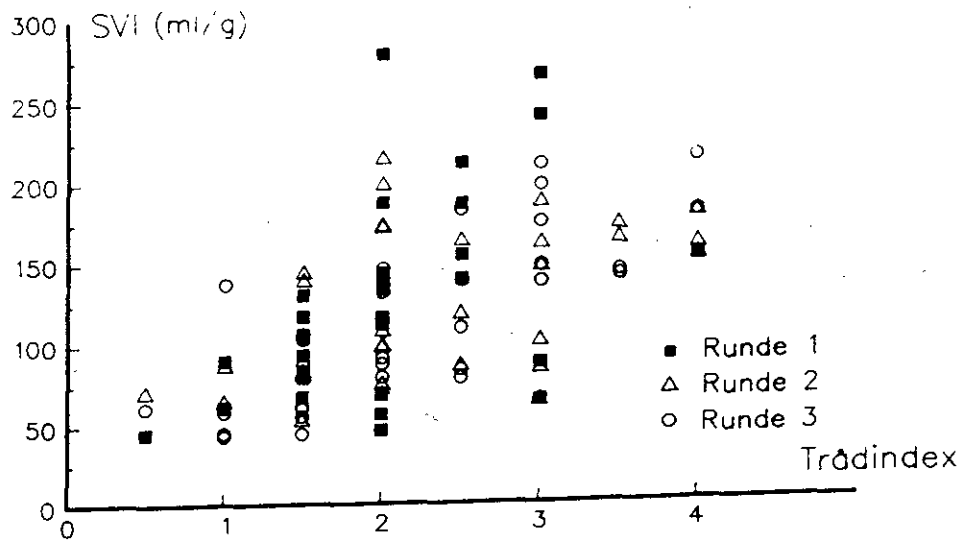
Af figuren fremgår, at der også for FSVI er tale om en stigende tendens med øget trådindex. Som for SVI kan observeres markante variationer i midterområdet, men der er dog med FSVI betydeligt bedre overensstemmelse mellem øget FSVI og øget trådindex.

Sammenfattende synes FSVI således bedre end SVI at kunne anvendes som indikation for mængden af trådformende mikroorganismer, uden at der dog er tale om nogen god overensstemmelse. Af datamaterialet fremgår tydeligt behovet for at anvende både bundfældningskarakterisering og mikroskopisk karakterisering, idet karakteriseringerne udtrykker forskellige egenskaber ved slammet.

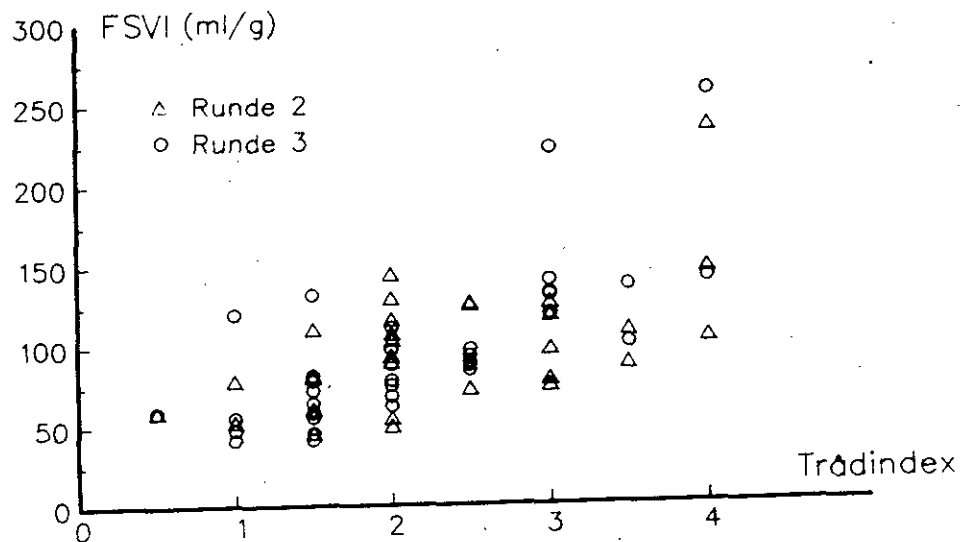
I figur 3.9 er afbildet samhørende værdier af FSVI og SVI for runde 2 og 3. Afbildninger for hver runde særskilt er vist i bilag 2. Det ses af figuren, at det fortyndede index typisk er lavere end det ufortyndede index, og at denne tendens er mest udtalt med øget værdi af SVI.

I figur 3.10 og 3.11 er vist FSVI/SVI som funktion af slamvolumen henholdsvis SVI for alle screeningdata, runde 2 og 3. Figureerne illustrerer, at det ufortyndede slamvolumenindex ofte ikke er i stand til at udtrykke tilstrækkelig følsomhed ved høje værdier af slamvolumen og ved høje værdier af slamvolumenindex.

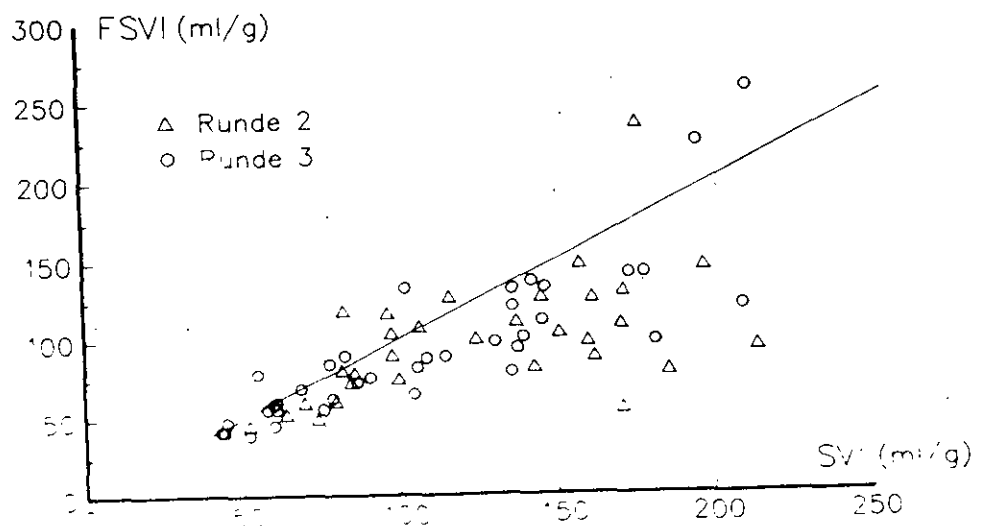
Som beskrevet i /2/ anbefales det generelt at benytte det fortyndede slamvolumenindex, når slamvolumen overskrider ca. 200 ml/l.



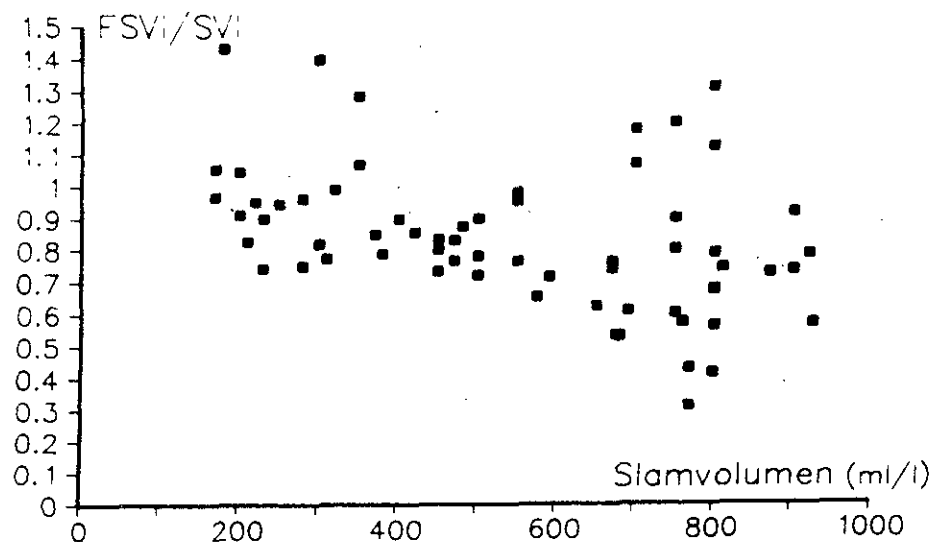
**Figur 3.7** Sammenhæng mellem SVI og trådindex for alle screeningdata.



**Figur 3.8** Sammenhæng mellem FSVI og trådindex for alle screeningdata.

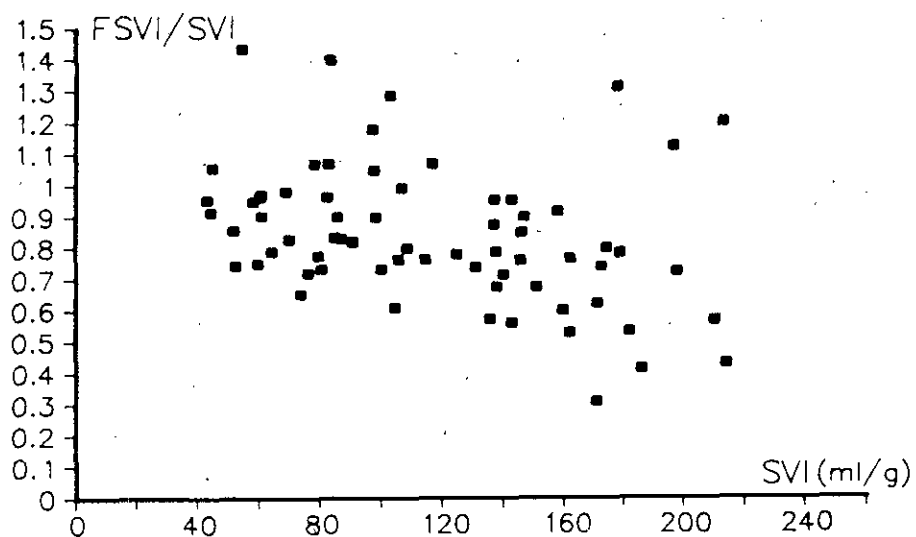


**Figur 3.9** Sammenhæng mellem SVI og FSVI for screeningrunde 2 og 3.



**Figur 3.10**

Samhørende værdier af FSVI/SVI og slamvolumen for screeningrunde 2 og 3.



**Figur 3.11**

Samhørende værdier af FSVI/SVI og SVI for screeningrunde 2 og 3.

#### 4. Tidsserieundersøgelser for tre renseanlæg

##### 4.1 Beskrivelse af tidsserieundersøgelse

Formålet med tidsserieundersøgelsen var:

- at følge udviklingen i bundfældningsegenskaber, SVI og FSVI, samt omfang og typer af trådformende mikroorganismer gennem et år for at undersøge, om der er en sammenhæng mellem disse parametre og temperatur eller andre faktorer, samt
- at demonstrere anvendelsen af slamkarakteriseringsmetodiker i praksis.

Herudover var det tanken ud fra eventuelt identificerede bundfældningsproblemer at diskutere mulige strategier til løsning af problemet.

Tre anlæg blev udvalgt til tidsserieundersøgelsen. Disse var Frederikssund renseanlæg, Søholt renseanlæg og Aalborg Vest renseanlæg.

Undersøgelsen strakte sig over godt et år fra januar 1990 til februar 1991. I løbet af denne periode blev aktiv slam fra de tre anlæg karakteriseret én til tre gange pr. måned.

For hver karakterisering målte driftspersonalet på anlæggene  $SV_{30}$  og SS. Udfra disse data kunne SVI beregnes. I de fleste tilfælde blev der også målt  $FSV_{30}$ , både ved fortynding 1:1 (en del slam til en del afløbsvand) og ved fortynding 1:3 (en del slam til 3 dele afløbsvand). FSVI blev beregnet ud fra det slamvolumenmål, der kom under og tættest til 200 ml/l.

Herudover sendte driftspersonalet ved hver karakterisering en prøve til AUC af aktiv slam fra luftningstanken. På AUC blev prøverne straks efter modtagelsen undersøgt i mikroskop. Den mikroskopiske karakterisering omfattede, foruden placering i trådindex og identificering af dominerende arter af trådformende bakterier, også bestemmelse af trådtal. For en nærmere beskrivelse af de anvendte karakteriseringsparametre henvises til /2/.

##### 4.2 Anlægsbeskrivelser

Frederikssund renseanlæg er opbygget efter Bio-Denitro princippet med to sæt procestanke, der drives parallelt, og en fælles efterklaringstank. Det biologiske anlæg drives med tilløb af råspildevand. Overordnede tekniske data for anlægget er givet i bilag 3.

Det aktive slam i Frederikssund renseanlæg er karakteriseret ved en relativt kort slamalder, der i undersøgelsesperioden typisk lå i intervallet 15-20 døgn (total slamalder). Spildevandet indeholder en markant del let omsætteligt organisk stof hidrørende fra industriel juiceproduktion, 15-20% af belastningen. Den totale industribelastning er høj, op mod 65% af totalbelastningen.

Søholt renseanlæg er ligeledes opbygget med kvælstoffjernelse efter Bio-Denitro princippet, her udformet som et Triple-system bestående af tre procestanke, hvoraf de to skiftevis fungerer som procestanke og efterklaringstanke. Foruden kvælstoffjernelse udføres i anlægget fosforfjernelse ved simultanfældning med jernsulfat. Det biologiske anlæg drives med tilløb af råspildevand. Overordnede tekniske data for anlægget er givet i bilag 3.

Det aktive slam i Søholt er som Frederikssundslammet karakteriseret ved en relativt kort slamalder, i undersøgelsesperioden typisk 13-19 døgn (total slamalder). Den samlede industribelastning udgør ca. 30% af den totale belastning, herunder specielt bryggerispildevand. Anlægget modtager perkolat fra en losseplads, og i løbet af undersøgelsesperioden blev i en kort periode tilført store mængder, hvilket gav tydeligt udslag i bundfældningsegenskaberne.

Aalborg Vest renseanlæg er opbygget med bundfældning af råspildevandet efterfulgt af biologisk rensning i et Bio-Denitro anlæg bestående af tre sæt parallelt drevne procestanke med fælles efterklaring i et antal rektangulære klaringstanke. Den biologiske fosforfjernelse suppleres med simultanfældning med jernsulfat for opnåelse af en tilstrækkelig effektiv fosforfjernelse. Overordnede tekniske data for anlægget er givet i bilag 3.

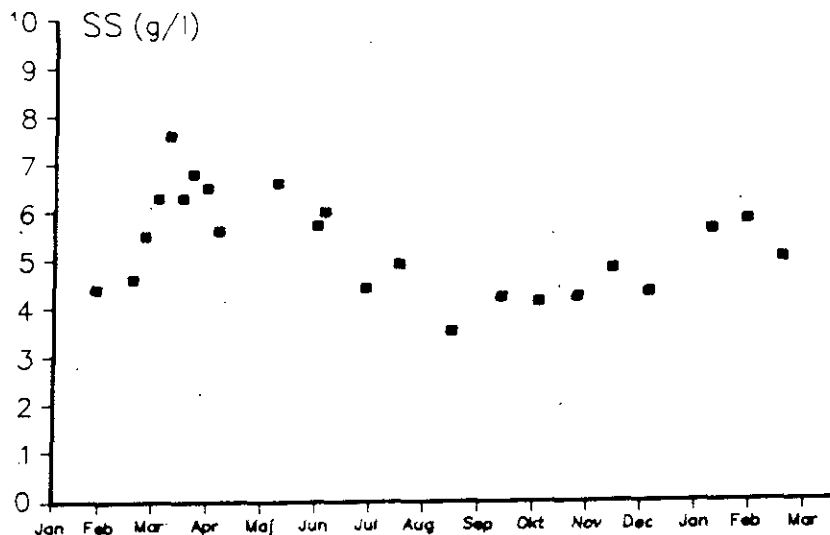
På Aalborg Vest renseanlægget er det aktive slam karakteriseret ved en længere slamalder end på de to andre anlæg. Slamalderen var i undersøgelsesperioden typisk omkring 20-26 døgn (total slamalder). Den samlede belastning med industrispildevand udgør omkring 50% af den totale belastning. Af dominerende kilder skal i den aktuelle sammenhæng især nævnes mejerispildevand, der udgør ca. 20% af den totale belastning. Anlægget er startet op i sommeren 1989.

#### **4.3 Resultater og diskussion**

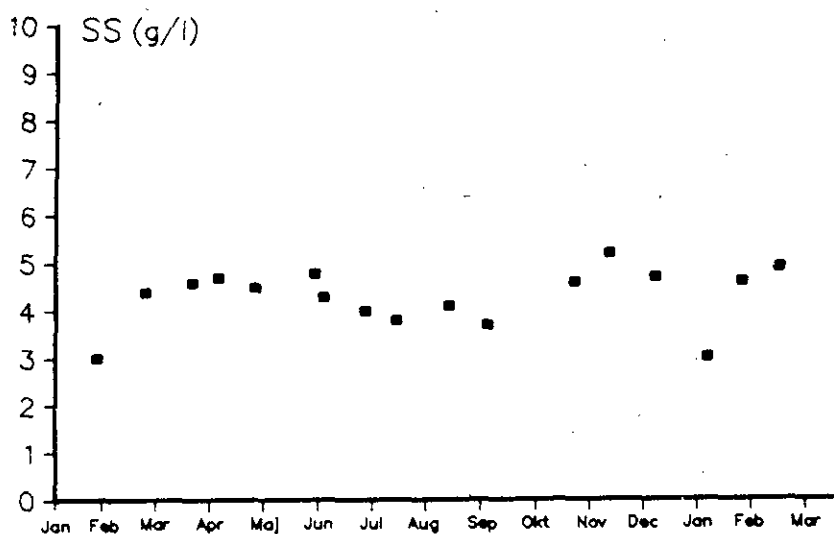
##### **4.3.1 Bundfældningsmåling**

I figur 4.1-4.3 er illustreret de målte koncentrationer af aktiv slam i procestankene på de tre renseanlæg gennem undersøgelsesperioden. Af figurerne fremgår, at aktiv slam indholdet på Frederikssund har varieret en del i intervallet 4-7 g/l gennem perioden med højest tørstofindhold sidst på vinteren og lavest tørstofindhold om sommeren. På Søholt og Aalborg Vest renseanlæg har variationerne i slam-massen været beskedne. Mulighederne for at vurdere parametres eventuelle afhængighed af indholdet af suspenderet stof er således især til stede for data fra Frederikssund renseanlæg.

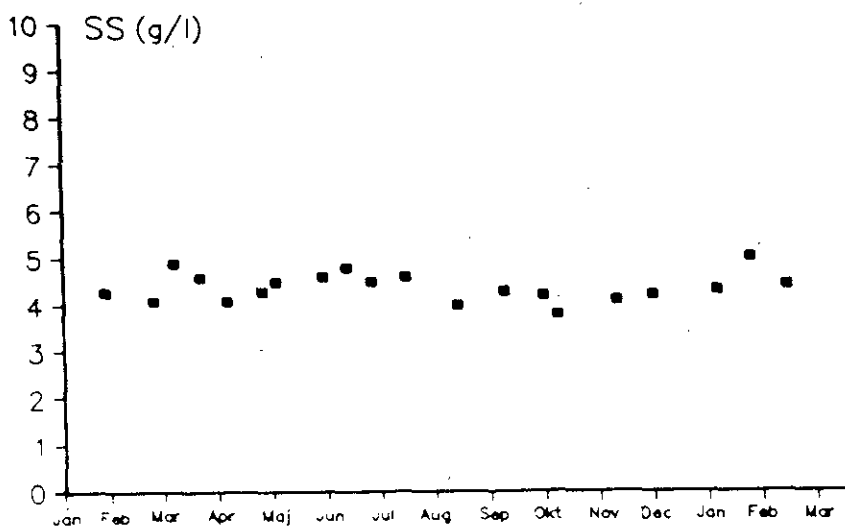
Figur 4.4-4.6 viser de målte værdier af slamvolumenindex og fortyndet slamvolumenindex for de tre renseanlæg gennem undersøgelsesperioden.



**Figur 4.1** Aktiv slam koncentration for Frederikssund renselanlæg i undersøgelsesperioden.

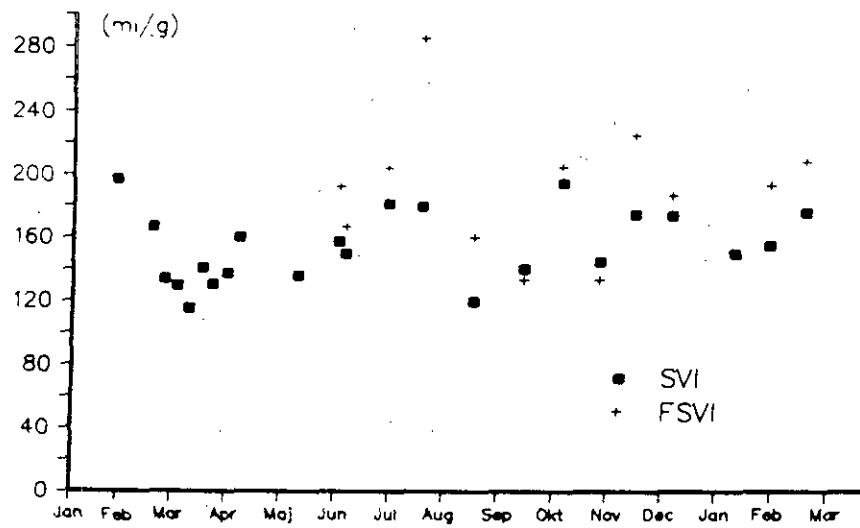


**Figur 4.2** Aktiv slam koncentration for Søholt renselanlæg i undersøgelsesperioden.

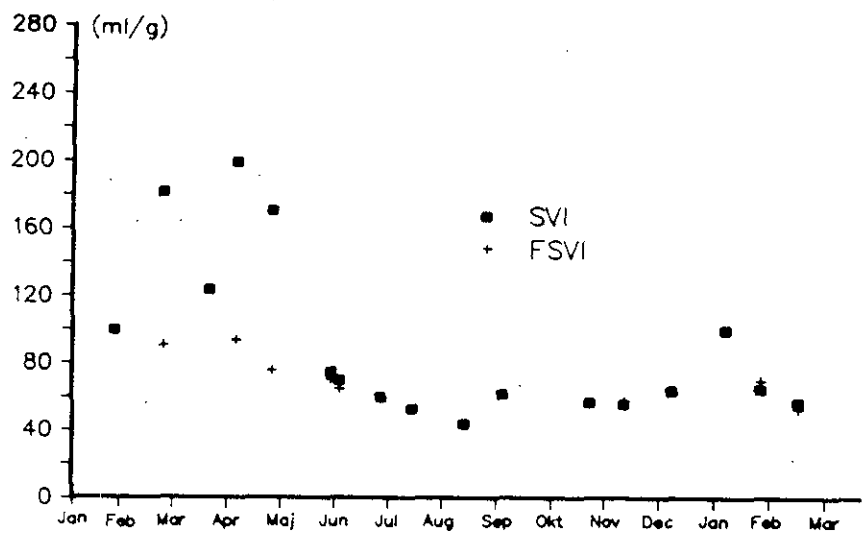


**Figur 4.3** Aktiv slam koncentration for Aalborg Vest renselanlæg i undersøgelsesperioden.

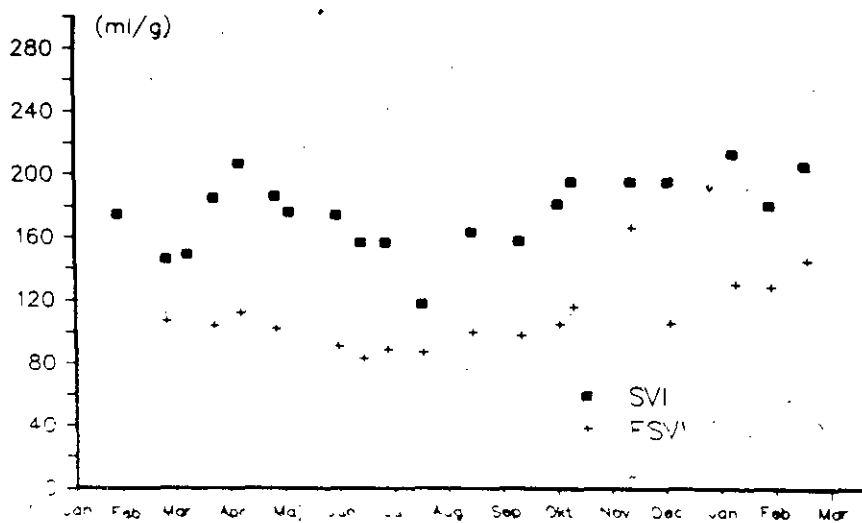




**Figur 4.4** SVI og FSVI for Frederikssund rensesanlæg i undersøgelsesperioden.



**Figur 4.5** SVI og FSVI for Søholt rensesanlæg i undersøgelsesperioden.

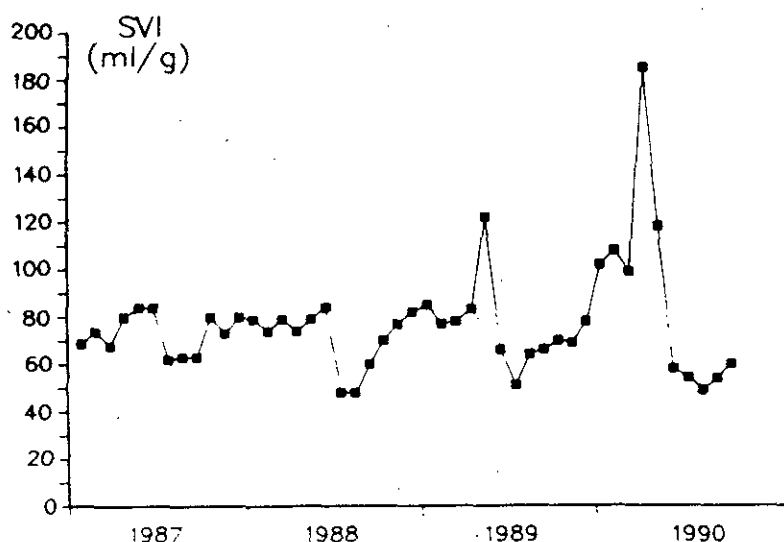


**Figur 4.6** SVI og FSVI for Aalborg Vest rensesanlæg i undersøgelsesperioden.

Baseret på SVI synes Frederikssundslammet og Aalborg Vest slammet at udvise omtrent lige dårlige bundfældningsegenskaber. Søholtslammet udviser bortset fra enkelte data i starten af året lavt index og dermed gode bundfældningsegenskaber. Baseret på det fortyndede index er billedet mere nuanceret, idet Aalborgslammet med denne parameter lægger sig i midterområdet mellem Frederikssund og Søholt.

For Frederikssundslammet er der ikke for SVI og FSVI tale om noget tydeligt variationsbillede, men de høje slamtørstofindhold kombineret med de høje slamvolumener (se data bilag 4) i starten af året giver ikke mulighed for en reel vurdering af slammets bundfældningsegenskaber i denne periode. På Søholt og Aalborg Vest renseanlæg er der for både SVI og FSVI tale om en tydelig årstidsvariation med forbedret index i sommerperioden. I figur 4.7 er illustreret variationen i månedsmiddel for SVI for aktiv slam fra Søholt renseanlæg for den tilsvarende periode 1987-1990. Disse data understøtter observationen om forbedret bundfældningsindex i sommerperioden.

Det forringede slamvolumenindex for Søholtslammet i starten af 1990 falder sammen med tilledningen af store mængder lossepladsperkolat og dermed stærkt øget belastning af anlægget. Eksemplet illustrerer udmærket, hvorledes ændrede belastningsforhold er i stand til pludseligt at ændre slammets bundfældningsegenskaber.



Figur 4.7 Månedsmiddel for SVI for perioden 1987-90, Søholt renseanlæg.

Sammenfattende viser både SVI og FSVI på Søholt og Aalborg Vest renseanlæg en tydelig årstidsvariation, mens en sådan kun indikeres på Frederikssundslammet med FSVI. Data fra Frederikssund viser, at SVI ved højt tørstofindhold eventuelt kombineret med forringede bundfældningsegenskaber ikke er nogen velegnet karakteriseringsparameter.

#### 4.3.2 Trådindex

Figur 4.8-4.10 viser de observerede værdier for trådindex gennem undersøgelsesperioden.

Af figurerne ses, at de tre anlæg ligger på forskellige niveauer for trådindex. Frederikssund ligger med et højt index 3-4 indikerende dårlige bundfældningsegenskaber, Søholt ligger med et lavt index 0.5-2 indikerende gode bundfældningsegenskaber, og Aalborg Vest ligger over middelområdet med index 2-3 indikerende forringede bundfældningsegenskaber. Alle anlæg udviser samme årstidsvariation som også observeret for SVI og FSVI, dog tydeligst Søholt og Aalborg Vest renseanlæg.

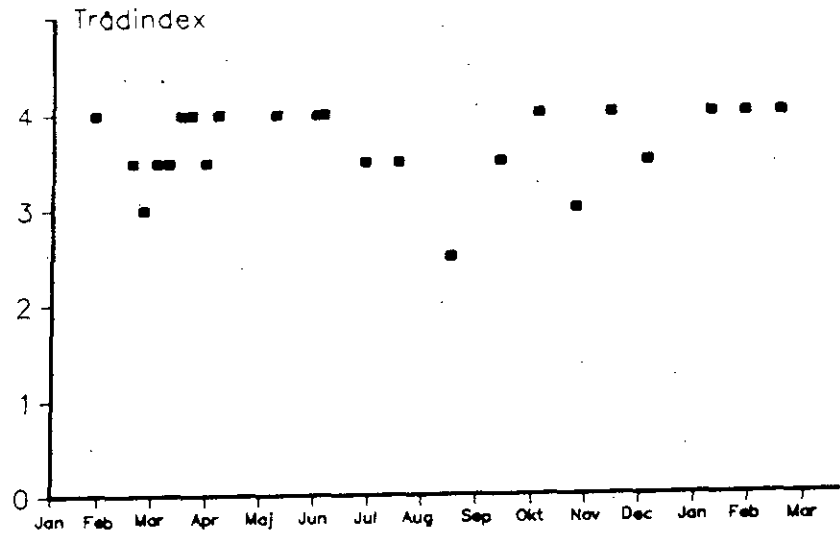
Trådindex er en karakteriseringsparameter med et subjektivt præg og med en relativt grov skala. Ikke desto mindre viser de fundne resultater, at parameteren er udmærket til både at fastlægge et niveau og til at vise variationer i bundfældningskarakteristika.

#### 4.3.3 Dominerende mikroorganismer

Slammet fra Søholt renseanlæg havde gennem hele undersøgelsesperioden et trådindex på 2 eller derunder, hvorfor der ikke er foretaget identifikation af de trådformende bakterier.

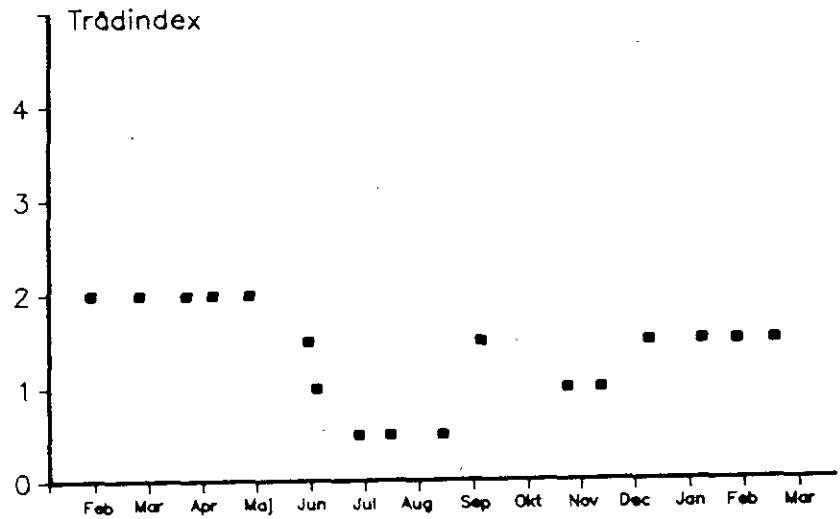
Slammet fra Aalborg Vest renseanlæg var under den anden screeningrunde i maj 90 domineret af *Microthrix parvicella*. Under den tredje screeningrunde i september 90 var *Microthrix parvicella* stadig dominerende men nu sammen med typerne 0041 og 0092.

I prøverne fra Frederikssund renseanlæg var type 021N dominerende i hele undersøgelsesperioden. Under første screeningrunde i november 89 var der også dominans af *Microthrix parvicella*, men denne var gået tilbage i antal ved anden runde, og næsten helt forsvundet ved tredje runde. Under tredje runde sås i øvrigt typerne 0041 og 0092 som sekundære arter.



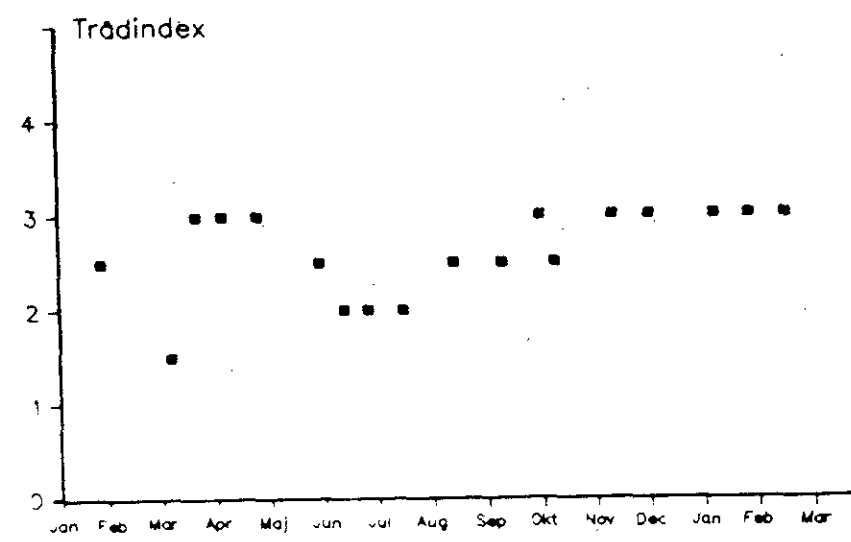
Figur 4.8

Trådindex for Frederikssund renselanlæg i undersøgelsesperioden.



Figur 4.9

Trådindex for Søholt renselanlæg i undersøgelsesperioden.



Figur 4.10

Trådindex for Aalborg Vest renselanlæg i undersøgelsesperioden.

#### 4.3.4 Trådtal

Trådtallet og det specifikke trådtal (trådtallet normeret med SS) er vist for de tre renseanlæg i figur 4.11-4.13.

Billedet baseret på disse parametre er det samme som billedet med de øvrige karakteriseringsparametre. Frederikssundslammet har de højeste trådtal både absolut og specifikt, mens Søholtslammet ligger lavest og Aalborg Vest slammet ligger i mellemområdet. Desuden viser alle anlæg en tydelig variation over året helt i overensstemmelse med de øvrige karakteriseringsparametre.

Trådtallet for Frederikssundslammet udviser i starten af året en stigning. Stigningen skyldes formentlig, at tørstofindholdet i samme periode øgedes markant, idet det af figur 4.11 ligeledes ses, at det specifikke trådtal ikke udviser samme markante stigning. Af disse data ses således, at det ved større variationer i slamtørstofindholdet kan være relevant at benytte det specifikke trådtal for at karakterisere variationer i slamkarakteristika.

Af datamaterialet figur 4.12 fremgår tydeligt, at de forringede bundfældningsindices, SVI og FSVI, for Søholt i starten af 1990, se figur 4.5, skyldtes en markant forøgelse af mængden af trådformende mikroorganismer.

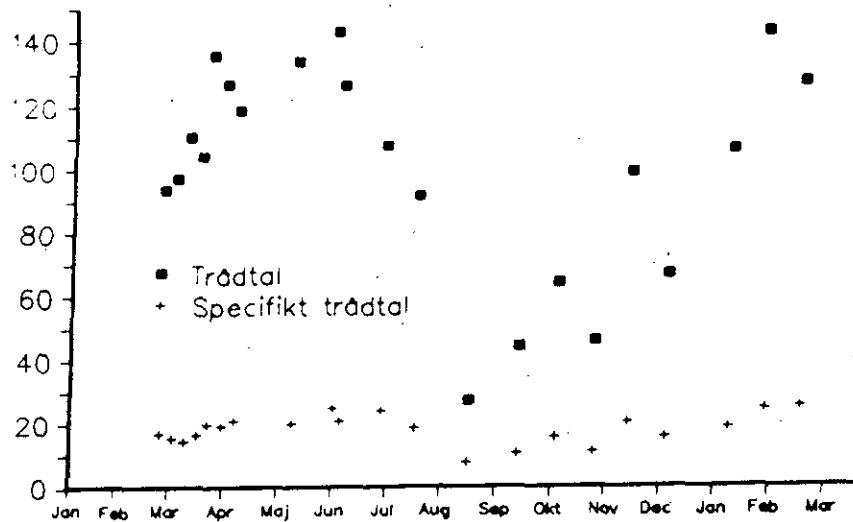
Sammenfattende synes trådtallet, såvel totalt som specifikt, at være en udmærket metode til kvantitativ vurdering af ændringer i slammets indhold af trådformende mikroorganismer.

For alle prøver fra Frederikssund renseanlæg blev der ud over det almindelige trådtal også bestemt et særligt trådtal for type 021N, der på dette anlæg var den mest dominerende trådformende mikroorganisme. Resultaterne af disse målinger er vist i figur 4.14. Af data ses det, at mængden af 021N baseret på trådtal synes at udgøre ca. halvdelen af mængden af trådformede mikroorganismer i slammet. Trådtallet for 021N udviser i øvrigt samme årstidsvariation som det samlede trådtal.

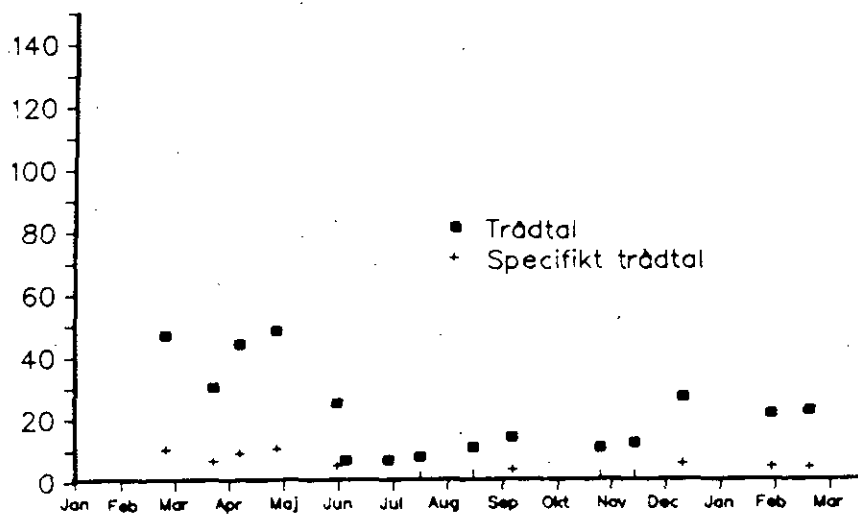
#### 4.3.5 Slamafvandingssegenskaber

I figur 4.15 og 4.16 er afbildet variationer i CST-værdier henholdsvis specifikke CST-værdier (månedsmiddel) for koncentreret aktiv slam (fra koncentreringsstank) for Søholt renseanlæg. Værdierne er vist for perioden 1987-1990.

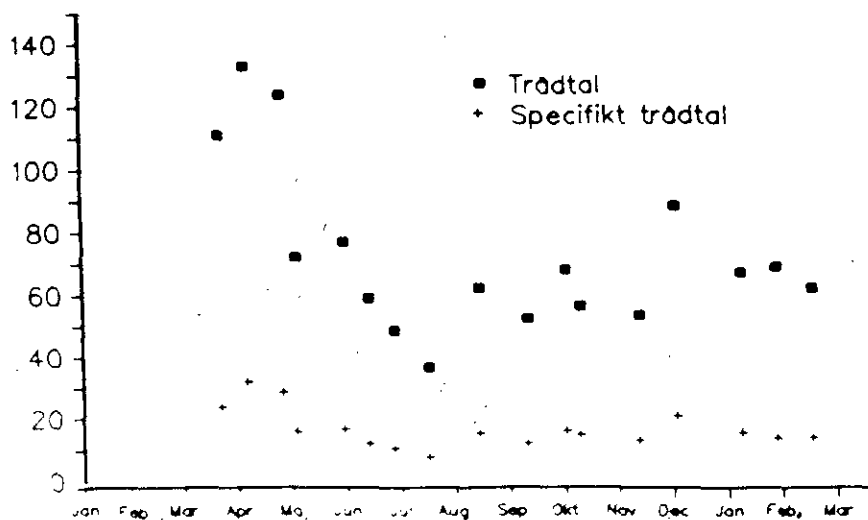
Af figurerne fremgår, at der er tale om en systematisk variation over året. Variationen udviser samme systematik som den for alle tre anlæg observerede årlige variation i parametrene til bundfældningskarakterisering, dvs. forringede egenskaber om vinteren og forbedrede egenskaber om sommeren. CST-værdien siger noget om slammets evne til at binde vandet, og det kan altså umiddelbart konstateres, at vandbindingsevnen er større samtidig med, at bundfældningsegenskaberne er forringede på grund af øget indhold af trådformende mikroorganismer i slammet. Resultaterne indikerer således en vis sammenhæng mellem mængden af trådformende mikroorganismer og slammets afvandingssegenskaber.



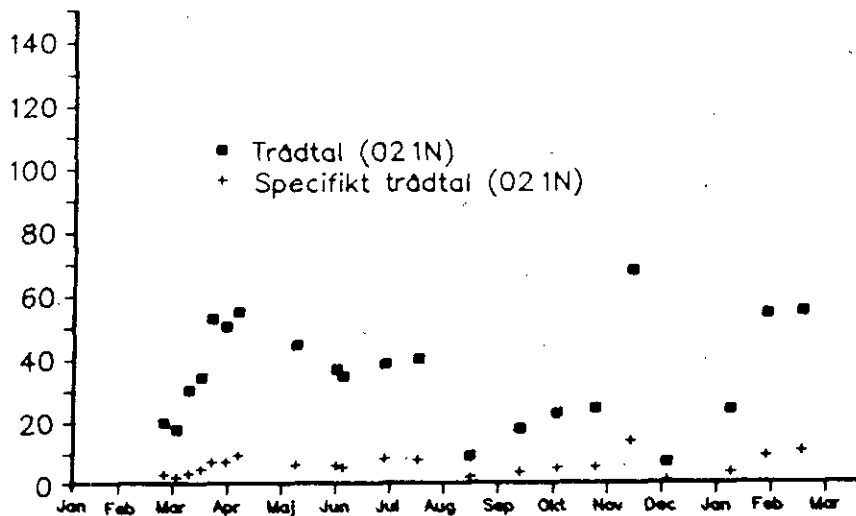
Figur 4.11 Trådtal og specifikt trådtal for Frederikssund renseanlæg i undersøgelsesperioden.



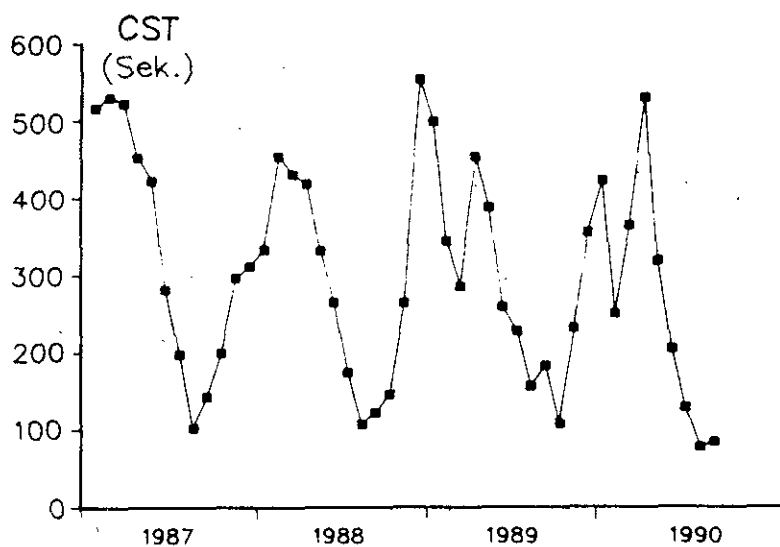
Figur 4.12 Trådtal og specifikt trådtal for Søholt renseanlæg i undersøgelsesperioden.



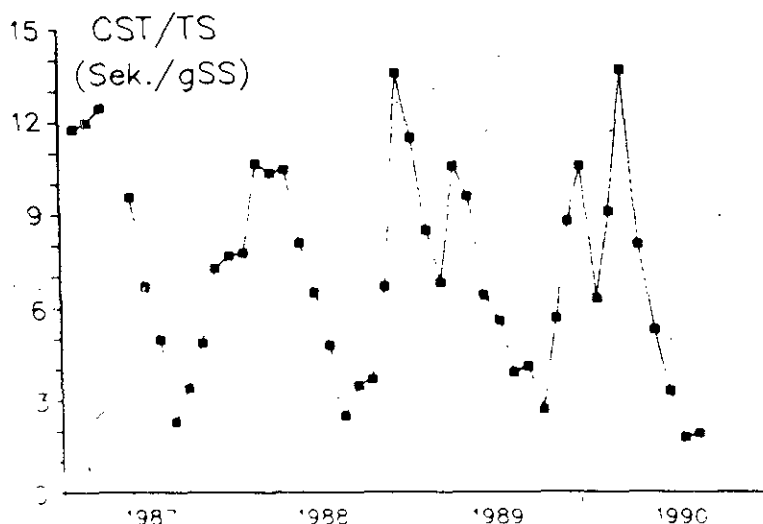
Figur 4.13 Trådtal og specifikt trådtal for Aalborg Vest renseanlæg i undersøgelsesperioden.



Figur 4.14 Trådtal og specifikt trådtal for 021N for Frederikssund renselanlæg.



Figur 4.15 CST for koncentreret overskudsslam for Søholt renselanlæg gennem perioden 1987-90.



Figur 4.16 Specifik CST for koncentreret overskudsslam for Søholt renselanlæg gennem perioden 1987-90.



#### 4.3.6 Forbedring af bundfældningsegenskaber

Baseret på resultaterne af tidsserieundersøgelsen for de tre anlæg er i det følgende kort kommenteret behovet og mulighederne for at forbedre bundfældningsegenskaberne.

Ved vurdering af behovet for tiltag er det vigtigt at bemærke sig, at tilstedeværelsen af forskellige typer trådformende mikroorganismer ikke påvirker bundfældningsegenskaberne på samme måde. *Microthrix parvicella* og især type 0092 er tæt knyttet til flokkene, hvorfor der skal et større antal tråde til, før de påvirker bundfældningsegenskaberne dramatisk. Type 021N og til dels type 0041 består derimod af lange, stive tråde, som i ringere antal kan påvirke bundfældningsegenskaberne.

Behovet for indgreb skal endvidere ses i lyset af, i hvor høj grad de forringede bundfældningsegenskaber giver anledninger til forstyrrelse af driften af anlægget, eller om det er muligt at drive anlægget tilfredsstillende under de aktuelt herskende forhold.

Som det umiddelbart fremgår af de præsenterede data, er der ikke behov for at foretage indgreb af hensyn til bundfældningsegenskaberne på Søholt renseanlæg, idet alle parametre peger på tilfredsstillende bundfældningsegenskaber.

For Frederikssund renseanlæg viser resultaterne, at der er tale om massiv vækst af trådformende mikroorganismer, med type 021N som den helt dominerende. Type 021N er egentlig ikke typisk at møde i et anlæg med biologisk kvælstoffjernelse, men kendes mest fra anlæg med fjernelse af organisk stof (højere belastede anlæg), eventuelt med nitrifikation. Grunden til, at den findes dominerende i Frederikssundslammet, er formentlig en kombination af flere faktorer. Den væsentligste enkeltårsag er nok tilstedeværelsen af store mængder meget letomsætteligt organisk stof i spildevandet. Forstærkende faktorer kan være den relativt korte slamalder og et overvejende lavt iltniveau i procestankene.

Et umiddelbart bud på metoder til forbedring af slamegenskaberne vil være etablering af en selektor /2/, /8/, hvorved væksten af flokdannende mikroorganismer vil kunne favoriseres. Selektoren kan eventuelt være aerob på grund af et meget gunstigt COD/N-forhold i spildevandet, ellers anoxisk. Dette må afgøres ved nærmere karakterisering af spildevandet. Tiltaget vil eventuelt kunne kombineres med øgning af iltniveauet i de aerobe faser.

På Aalborg Vest renseanlæg er der ligeledes tale om massiv vækst af trådformende mikroorganismer, omend knap så udtalt som for Frederikssund. Væksten er her overvejende domineret af *Microthrix parvicella*. Denne type trådformende mikroorganisme synes tilpasset til at leve i disse skiftende aerobe/anoxiske og anaerobe perioder, og det har hidtil vist sig meget vanskeligt at slippe af med dem /9/, /10/. Der arbejdes forskellige steder med selektorløsninger /9/, /10/, men der er ikke nogen umiddelbar løsning til kontrol af den uønskede vækst af *Microthrix parvicella*. Et tiltag, der eventuelt vil kunne dæmpe dominansen, kunne være at

øge iltkoncentrationen i de aerobe faser, idet det vides, at lavt iltindhold kan virke fremmede på væksten af denne type, /8/.

Ellers kan fremgangsmåden ved dette anlæg være at foretage yderligere karakterisering af de sekundært dominerende mikroorganismer og forsøge at bekæmpe disses dominans. Supplerende spildevandskarakterisering vil ligeledes være et naturligt led i bestræbelserne for finde frem til en effektiv kontrol af slam-egenskaberne. Indtil en løsning er fundet, kan der forsøges med afhjælpende foranstaltninger, eksempelvis dosering af flokkuleringsmidler /2/, by-pass af råspildevand eller andet.

#### 4.3.7 Vurdering af karakteriseringsparametre

I det følgende er der foretaget en sammenstilling af de observerede data for slamkarakteriseringsparametrene med henblik på at lokalisere eventuelle generelle sammenhænge.

Figur 4.17-4.19 viser for de tre renseanlæg samhörørende værdier af SVI og de tre øvrige parametre: trådindex, trådtal og specifikt trådtal.

Af figurerne fremgår generelt, at SVI har ringe evne til at vise variationer i slamkarakteristika for slam med dårlige bundfældningsegenskaber. Kun for Søholtslammet er der tale om, at variationer i SVI viser overensstemmelse med variationer i mængden af trådformende mikroorganismer. For de to andre anlægs aktiv slam er det muligt at se tendenser til øget SVI ved øget indhold af trådformende mikroorganismer, men der er alt for stor spredning på data, til at det er tale om en i den sammenhæng anvendelig måling.

Figur 4.20-4.22 viser på samme måde samhörørende værdier af FSVI og de tre karakteristika: trådindex, trådtal og specifikt trådtal.

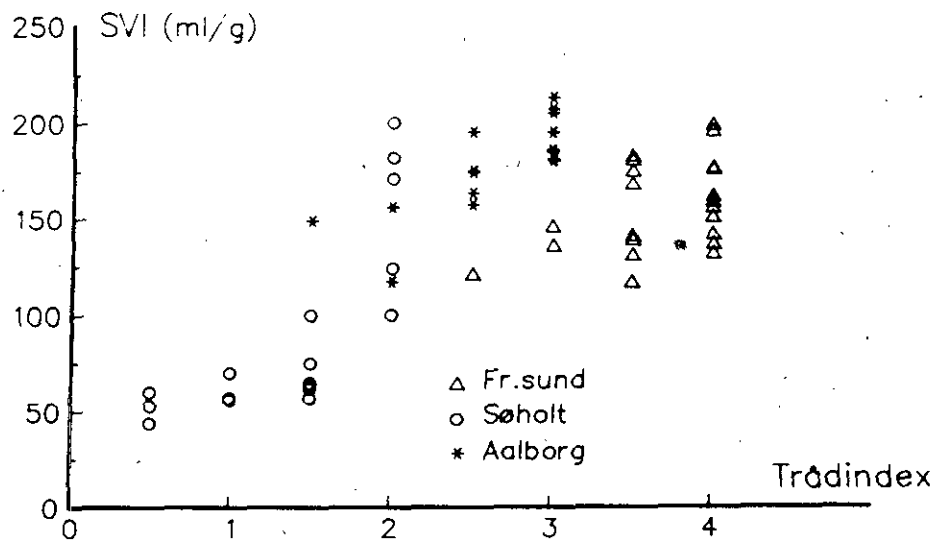
FSVI udviser for alle tre anlæg en rimelig sammenhæng med trådindex. For Frederikssund er der dog tale om stor spredning på data. FSVI viser god overensstemmelse med trådtal og specifikt trådtal for Søholtslammet. For Frederikssundslammet er der tale om en vis sammenhæng med større spredning og med en udfladning af evnen til at vise variation ved øgede trådtal og specifikke trådtal. For Aalborg Vest slammet er sammenhængen ringe, og det må konkluderes, at FSVI ikke er god til at vise variationer i mængden af trådformende mikroorganismer for dette slam.

Figur 4.23 og 4.24 viser for de tre renseanlæg samhörørende værdier for trådtal henholdsvis specifikt trådtal og trådindex.

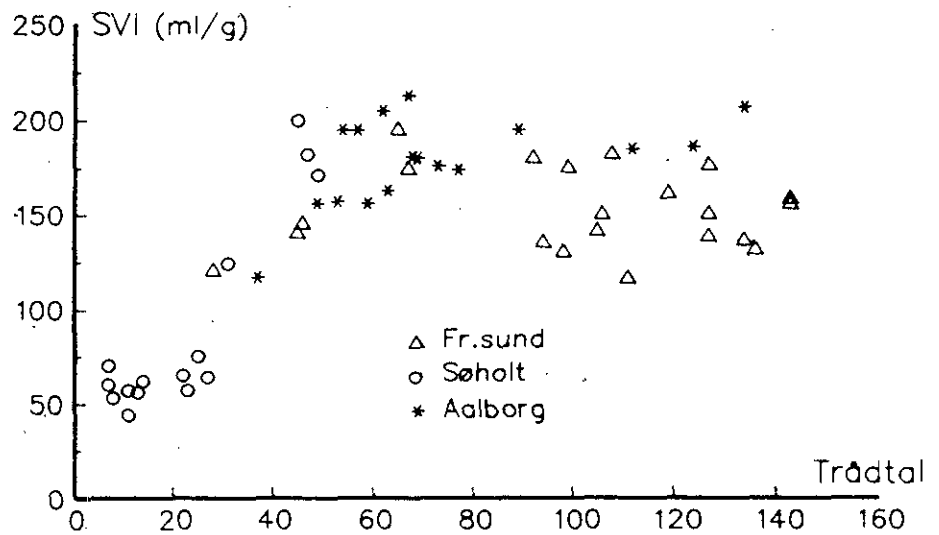
Af figurerne ses, at der er god overensstemmelse mellem de forskellige måder at kvantificere mængden af trådformende mikroorganismer. For trådindex over 2.5-3 sker der dog en betragtelig spredning af data, og trådindex viser tydeligt sin begrænsede evne til at vise variationer ved høje index (3-4).

Figur 4.25 viser samhörørende værdier af FSVI og SVI for de tre

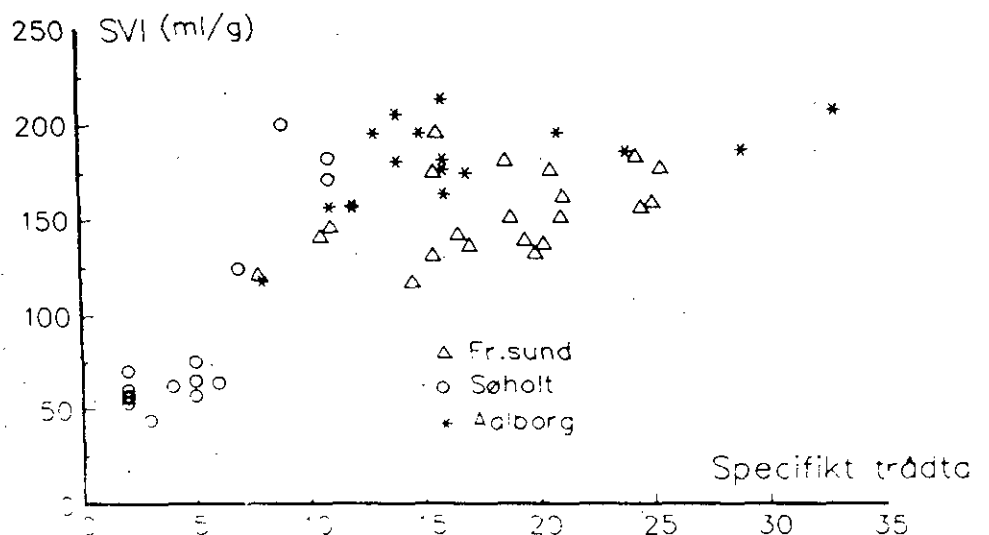
renseanlæg. Af figuren fremgår tydeligt, hvorledes de forskellige slamtyper reagerer forskelligt ved anvendelse af FSVI i stedet for SVI. Søholtslammet er ikke påvirket af fortyndingen, undtagen ved driftsforstyrrelsen med højt SVI, mens Frederikssundslammet øger index ved anvendelse af fortyndingen, og Aalborgslammet mindsker index ved måling med fortynding.



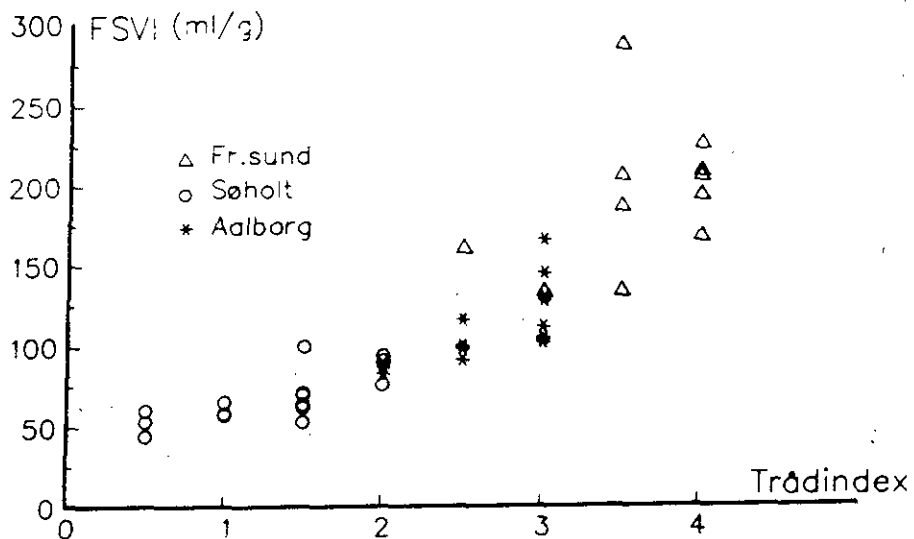
Figur 4.17 Samhørende værdier af SVI og trådindex for de tre anlæg.



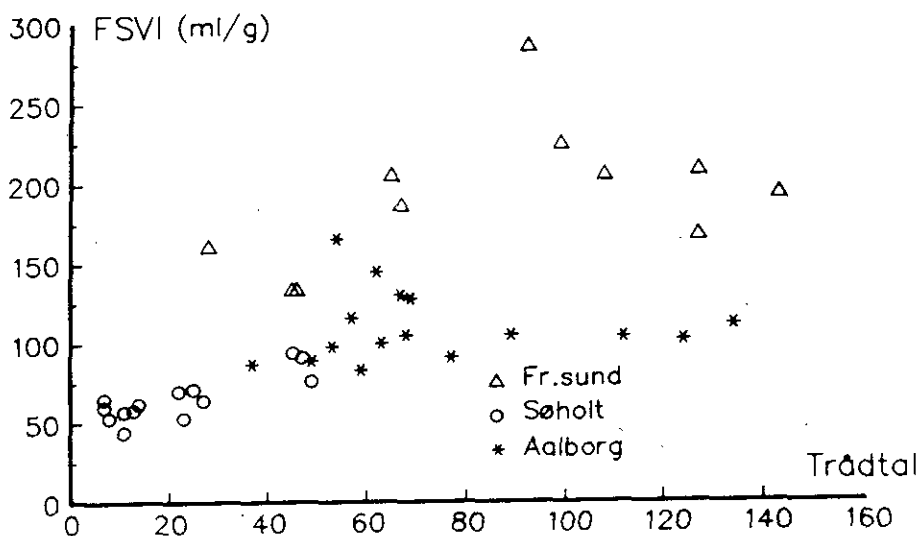
Figur 4.18 Samhørende værdier af SVI og trådtal for de tre anlæg.



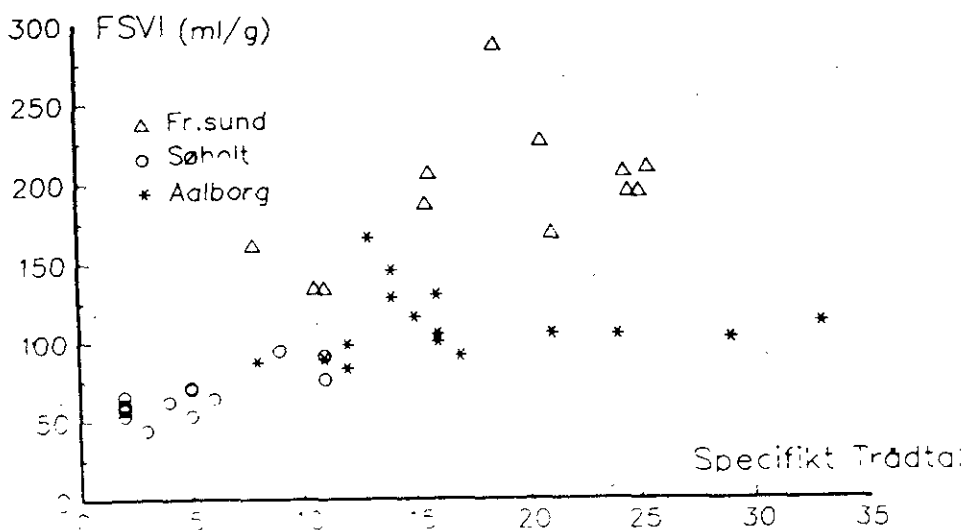
Figur 4.19 Samhørende værdier af SVI og specifikt trådtal for de tre anlæg.



Figur 4.20 Samhørende værdier af FSVI og trådindex for de tre anlæg.

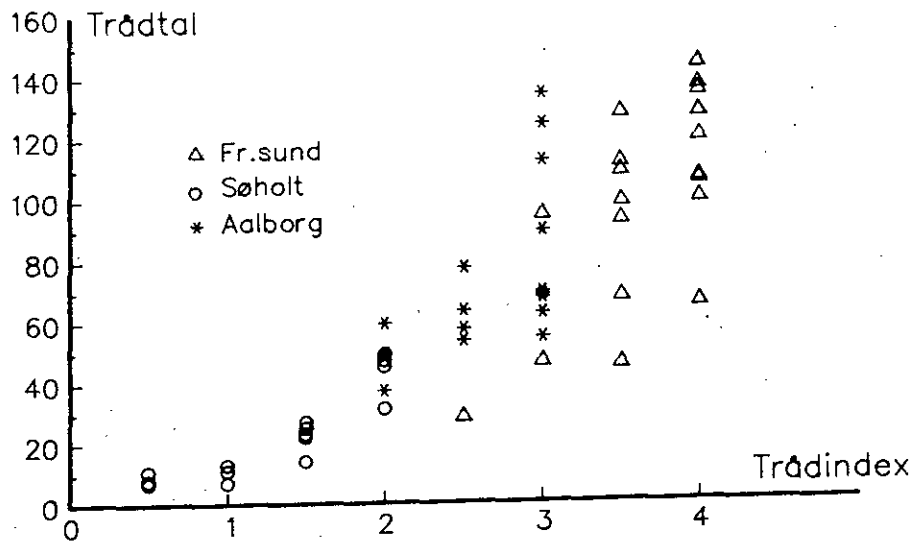


Figur 4.21 Samhørende værdier af FSVI og trådtal for de tre anlæg.

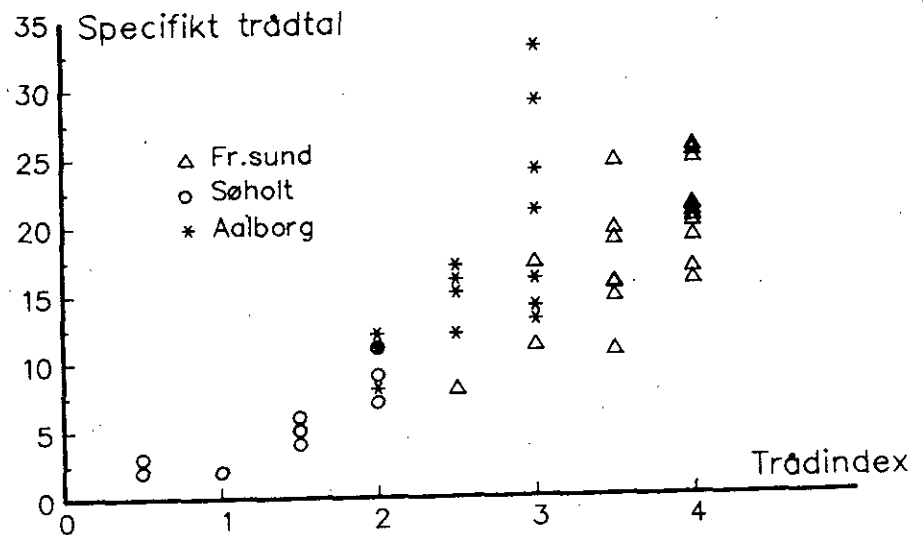


Figur 4.22 Samhørende værdier af FSVI og specifikt trådtal for de tre anlæg.

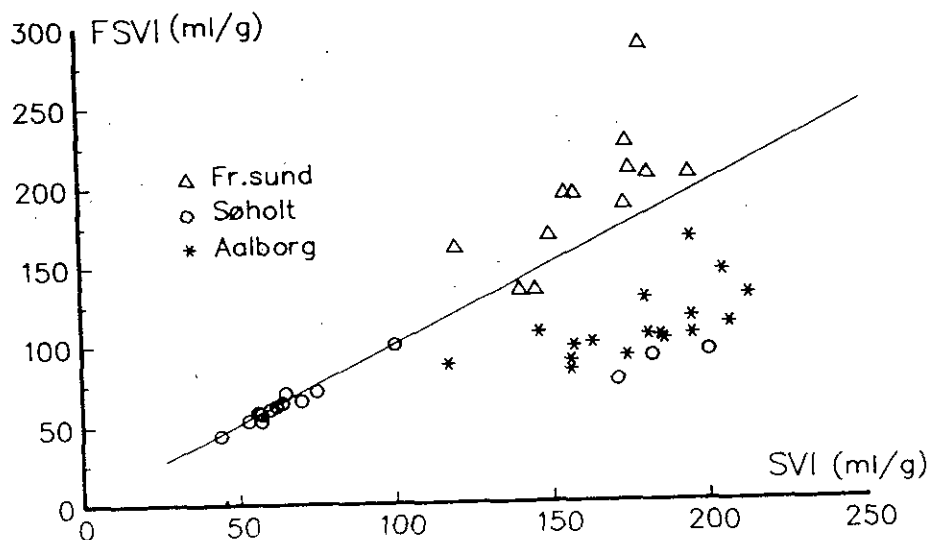




Figur 4.23 Samhørende værdier af trådtal og trådindex for de tre anlæg.



Figur 4.24 Samhørende værdier af specifikt trådtal og trådindex for de tre anlæg.



Figur 4.25 Samhørende værdier af FSVI og SVI for de tre anlæg.



Figuren illustrerer i øvrigt udmærket, hvorledes det med anvendelse af FSVI er muligt at se den med trådindex og trådtal påviste forskel i mængden af trådformende mikroorganismer i Frederikssundslammet og Aalborg Vest slammet, mens en sådan forskel ikke fremgår med anvendelse af SVI.

## 5. Konklusion

Ved projektet er gennemført to undersøgelsesserier: dels en screeningundersøgelse af 35-40 danske renseanlæg med næringssaltfjernelse og dels en tidsserieundersøgelse, hvor tre renseanlæg er fulgt regelmæssigt gennem godt et år.

Screeningundersøgelsen viste, at afhængig af årstiden havde 20-40% af anlæggene et SVI over 150 ml/g eller et trådindex over 2. Overskridelse af disse værdier antages i almindelighed at indikere dårlige bundfældningsegenskaber. Sammenlignes med nyere danske erfaringer fra kommunale anlæg uden næringssaltfjernelse, synes der at være tale om en markant stigning i andelen af anlæg med bundfældningsproblemer. Dette resultat stemmer overens med erfaringer fra andre lande.

Dominerende trådformende mikroorganismer var i nævnte rækkefølge: *Microthrix parvicella*, type 0041, type 021N og type 0092. De samme dominerende mikroorganismer er fundet ved udenlandske undersøgelser, omend ikke med samme dominansfordeling som her observeret.

SVI og FSVI var kun i yderområderne i stand til generelt at give en indikation af mængden af trådformende mikroorganismer. I mellemområdet udviste data meget stor variation. Variationen var dog mindst for FSVI.

FSVI/SVI udviste markant faldende tendens ved øget slamvolumen og ved øget SVI. Resultaterne af undersøgelsen understøtter den generelle opfattelse af SVI som en tvivlsom måling ved høje slamvolumener og ved dårlige bundfældningsegenskaber.

Ved tidsserieundersøgelsen blev bundfældningsegenskaberne på Frederikssund, Søholt og Aalborg Vest renseanlæg karakteriseret løbende gennem godt et år.

For alle tre anlæg blev fundet en tydelig årsvariation med forbedrede bundfældningskarakteristika i sommerperioden. Årsvariationen antages at skyldes temperaturens indflydelse på konkurrenceforholdene i det aktive slam.

Årsvariationen kom til udtryk gennem alle karakteriseringsparametrene. For slam med højt indhold af trådformende mikroorganismer var trådtallet dog klart den bedste parameter til at påvise variationer i slamsammensætningen. Ved større variationer i indholdet af suspenderet stof i aktiv slam tankene synes det relevant at benytte det specifikke trådtal, hvor trådtallet er normeret med slamtørstofindholdet.

Dominerende trådformende mikroorganismer i Frederikssundslammet var 021N i hele perioden. Herudover blev observeret sekundær dominans af *Microthrix parvicella* samt af typerne 0041 og 0092. Bekæmpelse af den umådeholdne vækst af trådformende mikroorganismer i Frederikssund bør være mulig ved anvendelse af en selektor.

Søholtslammet udviste konstant udmærkede bundfældningskarakteristika, og der er ikke foretaget identifikation af trådformende mikroorganismer.

Dominerende trådformende mikroorganismer i Aalborg Vest slammet var primært *Microthrix parvicella* og sekundært typerne 0041 og 0092. *Microthrix parvicella* lader til at være tilpasset de skiftende oxidationsforhold i lavtbelastede anlæg med N- og/eller P-fjernelse, og det har hidtil generelt vist sig vanskeligt at bekæmpe deres vækst. Spildevands- og procesforhold må derfor vurderes nærmere, inden en strategi for en bekæmpelse af de trådformende mikroorganismer kan etableres.

Ved sammenligning mellem de forskellige karakteriseringsparametre fremgik det generelt, at SVI har ringe evne til at vise variationer i slamkarakteristika for slam med dårlige bundfældningsegenskaber, idet data udviser alt for stor spredning. For FSVI var sammenhængen med trådindex og trådtal bedre end for SVI. Variationen ved større mængder af trådformende mikroorganismer var dog betydelig.

Der fandtes generelt god indbyrdes overensstemmelse mellem trådindex og trådtal. For trådindex over 2.5-3 var der tale om en betragtelig spredning af data, og trådindex viste tydeligt begrænset følsomhed til at vise variationer ved høje index (3-4).

De forskellige slamtyper reagerede forskelligt ved anvendelse af FSVI i stedet for SVI. Søholtslammet viste stort set uændret index ved anvendelse af fortyndingen, mens Frederikssundslammet øgede index ved anvendelse af fortyndingen, og Aalborgslammet mindskede index ved måling med fortynding. Af det fortyndede index var det muligt at se den med trådindex og trådtal påviste forskel i mængden af trådformende mikroorganismer i Frederikssundslammet og Aalborg Vest slammet, mens en sådan forskel ikke fremgik med anvendelse af SVI.

## 6. Referencer

- /1/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV og Laboratoriet for Miljøteknik, AUC (1991): Bundfældningsegenskaber for aktiv slam - Litteraturredport. Rapport til Miljøstyrelsen, M 2046-0061.
- /2/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV og Laboratoriet for Miljøteknik, AUC (1991): Bundfældningsegenskaber for aktiv slam - Karakteriseringsmetoder og kontrolstrategier. Rapport til Miljøstyrelsen, M 2046-0061.
- /3/ Eikelboom, D.H. and H.J.J. van Buijsen (1983). Microscopic Sludge Investigation Manual, TNO. Institute for Environmental Science, Delft, Netherlands.
- /4/ Jenkins, D., M.G. Richard and G.T. Daigger (1986). Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming.
- /5/ Gabb, D.M.D., D.A. Still, G.A. Ekama, D. Jenkins, M.C. Wentzel, and G.v.R. Marais (1988): Development and full scale evaluation of preventative and remedial methods for control of activated sludge bulking. Report to the Water Research Commission by the Dept. of Civ. Eng., Univ. of Cape Town.
- /6/ I. Krüger AS (1989): Letslam. Rapport til Industri- og Handelsstyrelsen.
- /7/ Eikelboom, D.H. (1987). Licht-slibhandboek. TNO-report, R 87/358, Institute for Environmental Science, Delft, Netherlands.
- /8/ Andreasen, K., P.H. Nielsen, P.E. Jørgensen, L. Sigvardsen og G.H. Kristensen (1990): Let slam - Et problem i danske renseanlæg? Vand & Miljø 8: 283-287.
- /9/ Eikelboom, D.H. (1991): Personlig kommunikation. TNO, Institute for Environmental Science, Delft, Holland.
- /10/ Wanner, J. (1991): Personlig kommunikation. Prague Institute of Chemical Engineering, Prag, Tjekkoslaviet.

**Bilag 1.**

Vejledning og svarskema ved screeningundersøgelse.

Vejledning til brug ved  
**BESTEMMELSE AF SLAMVOLUMEN.**

Ufortyndet

- a) Aktiv slam fra luftningstanken ophældes efter omrøring til øverste mærke i et én-liters cylinderglas.
- b) Blandingen henstår i 30 minutter, hvorefter slamspejlets position noteres.

Fortynding 1:2

- a) En del omrørt slam fra luftningstanken blandes i en spand med to dele rensed spildevand. Blandingen omrøres let i 10 sek.
- b) Efter omrøring hældes en liter af blandingen på et en-liters cylinderglas.
- c) Blandingen henstår i 30 minutter, hvorefter slamspejlets position noteres, svarende til sædvanlig bestemmelse af slamvolumen.

**SVAR-SKEMA**

Til brug ved 3. screeningsrunde i forbindelse med projektet om bundfældningsegenskaber for aktivt slam.

**U D T A G N I N G S D A T O:** \_\_\_\_\_

**SLAMVOLUMEN**

Slamspejlets position efter 30 minutter (antal ml):

Ufortyndet: .....

Fortynding 1:2: .....

**TØRSTOF**

Anfør venligst de sidste 4-5 værdier for tørstofindholdet i luftningstanken.

Dato	g SS/l
1	
2	
3	
4	
5	

**TEMPERATUR**

Temperaturen i luftningstanken var: \_\_\_\_\_ °C.

**NEDBØR**

Var det kraftigt regnvejr på dagen før eller på selve dagen for udtagelse af prøverne?

Antal mm dagen før: \_\_\_\_\_

Antal mm på selve dagen: \_\_\_\_\_

**SKUM**

Har der været skum-dannelser på overfladen i luftningstankene indenfor det sidste år?

Sæt kryds

	Ofte	Af og til	Sjældent	Aldrig

**Bilag 2.**

**Resultater af screeningundersøgelse.**



## BUNDFÆLDNINGSPROJEKT

## 1. screeningsrunde, november 1989

Prøve nr	Navn	PE	Type	SS g/l	SUPERN mg SS/l	SV ml/l	SVI ml/g	TI	Domin. typer
1	Frederikssund	33000	BDN	6.1	815.0	900	151	4.0	021N, M.p.
2	Søholt	105000	BDN+S	4.3	12.9	350	83	1.5	
3	Aalborg Vest	330000	BDP	3.7	0.9	700	187	2.0	
6	Hoptrup	1800		4.0	8.2	240	61	1.0	
10	Broager Vig	10000	OCO	3.0	27.5	400	130	1.5	
11	Skjern	36600	OCO	4.2	24.3	300	71		
12	Ålestrup	5000	BDN+S	2.8	5.1	600	211	2.5	M.p., (0803)
13	Stoholm	6000	MOD	10.6	9.3	650	61	1.0	
14	Trevad	2200	RECIR+S	4.5	34.8	300	67	1.5	
15	Mønsted	1200	RECIR+S	3.7	22.4	250	68	2.0	
16	Trankjær	10000	RECIR+S	7.5	7.7	480	64	3.0	M.p., (0092)
17	Thrige	5000	BDN+S	5.2	12.3	235	46	2.0	
18	Jerslev	3000	RECIR+S	2.7	6.4	150	56	2.0	
19	Brønderstev	35000	BDN+S	2.9	1.0	320	112	2.0	
20	Vadum	4000	BDN	4.7	12.2	915	193		
22	Nørre Aaby	12500	BDP	7.5	11.8	650	87	3.0	M.p., (0092, 1851)
23	Hørning	18000	BDP	4.8	7.1	510	106	1.5	
24	Åbenrå	85000	BDP	3.8	4.9	540	143	2.0	
25	Ørbæk	12000	BDN+S	6.0	1.0	800	133	2.0	
27	Skals	3500	BDN+S	3.7	7.2	430	116	2.0	
28	Klejtrup	1300	BDN+S	4.1	4.0	475	117	1.5	
29	Bjerregrav	4500	BDN+S	7.7	32.6	800	104	1.5	
30	Karup	9600	BDN+S	3.6	8.2	500	139	2.5	0041, (M.p., H.hy)
31	Bording	6000	BDN+S	2.9	9.6	700	240	3.0	M.p., 0041
32	Engesvang	5000	BDN+S	4.6	4.9	850	186	2.5	M.p., 0041
33	Vejby	2200	BDN+S	6.7	19.5	300	45	0.5	
34	Gedsted	3000	BDN+S	4.9	1.2	445	90	1.0	
36	Faaborg	105000	BDN	5.1	3.2	780	154	2.5	M.p., 0041, (0092)
38	Løgstør	55000	BDN+F	3.2	42.6	850	265	3.0	0092, (0041, M.p.)
39	Struer	60000	RECIR+S	2.8	2.0	770	279	2.0	
40	Lemvig	55000	RECIR+S	4.6	4.2	430	93	1.5	
41	Nr. Nisum	4000	BDN+S	4.9	17.4	380	79	1.5	
42	Jegerspris	13000	BDN	4.7	4.7	650	140	2.0	M.p.

## BUNDFÆLDNINGSPROJEKT

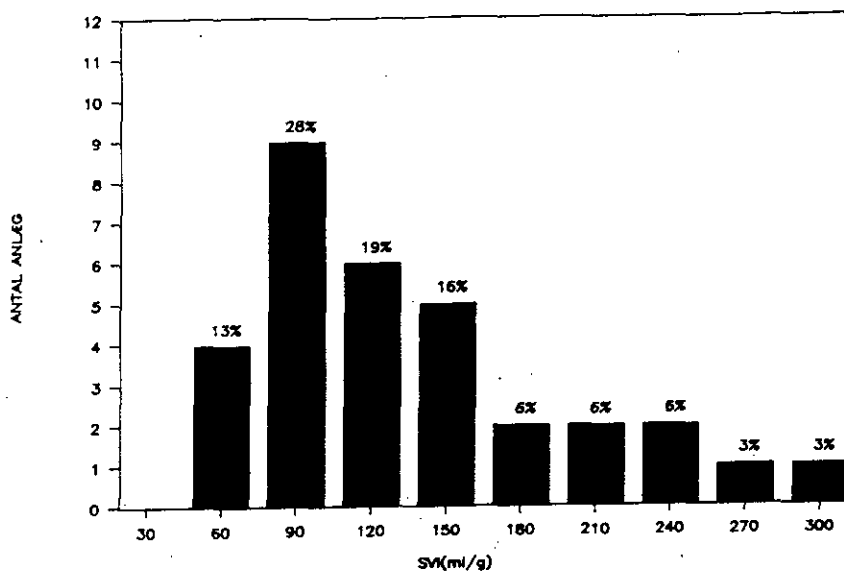
## 2. screeningsrunde, maj 1990

Nr	Navn	PE	Type	SS g/l	SV ml/l	SVI ml/g	FSV 3*FSV		FSVI (1:2) ml/g	TI	Domin. typer
							(1:2) ml/l	ml/l			
1	Frederikssund	33000	BDN	5.7	900	158	275	825	145	4.0	021N, (M.p.)
2	Søholt	105000	BDN+S	4.5	770	171	80	240	53	2.0	
3	Aalborg Vest	330000	BDP	4.3	800	186	110	330	77	3.0	M.p., (0803)
7	Mou	1400	OCO	5.6	800	143	150	450	80	1.5	
8	Lyby	6000	OCO	8.1	420	52	120	360	44	1.5	
9	Spjald	4000	OCO	2.5	370	146	105	315	125	3.0	M.p., (021N)
10	Broager Vig	10000	OCO	5.9	380	64	100	300	51	1.0	
11	Skjern	36600	OCO	3.6	770	214	110	330	92	2.0	
12	Ålestrup	5000	BDN+S	3.0	320	107	106	318	106	2.0	
13	Stoholm	6000	MOD	7.6	750	98	225	675	88	2.0	
14	Trevad	2200	RECIR+S	3.0	350	117	125	375	125	2.5	M.p.
15	Mønsted	1200	RECIR+S	2.1	200	98	70	210	102	2.0	
16	Trankjær	10000	RECIR+S	4.2	680	162	120	360	86	3.5	M.p., 021N
17	Thrige	5000	BDN+S	3.0	210	70	58	174	58	0.5	
18	Jerslev	3000	RECIR+S	3.2	200	63				3.0	M.p., (0041)
19	Brønderslev	35000	BDN+S	3.6	300	83	140	420	117	3.0	
20	Vadum	4000	BDN	9.0	900	100	220	660	73	3.0	M.p., 0041, 0092
22	Nørre Aaby	12500	BDP	7.8	575	74	125	375	48	2.0	
23	Hørning	18000	BDP	3.4	280	82	90	270	79	1.5	
24	Åbenrå	85000	BDP	4.7	810	172	200	600	128	2.0	
25	Ørbæk	12000	BDN+S	5.8	800	138	210	630	109	1.5	
27	Skals	3500	BDN+S		800						
28	Klejtrup	1300	BDN+S		650						
29	Bjerregrav	4500	BDN+S		500						
30	Karup	9600	BDN+S	4.0	500	125	130	390	98		
31	Bording	6000	BDN+S	3.8	650	171	135	405	107	3.5	M.p.
32	Engesvang	5000	BDN+S	4.7	750	160	150	450	96	3.0	M.p., (0041)
33	Vejby	2200	BDN+S	5.6	450	80	110	330	59	1.5	
34	Gedsted	3000	BDN+S	4.7	400	86	120	360	77	1.0	
36	Faaborg	105000	BDN	5.3	800	151	180	540	102	4.0	021N, (M.p.)
38	Løgstør	55000	BDN+F	2.9	470	162	120	360	124	2.5	0041, 0092, M.p.
39	Struer	60000	RECIR+F	4.4	870	198	210	630	143	2.0	
40	Lemvig	55000	RECIR+S	7.2	700	97	275	825	115	2.0	
41	Nr. Nissum	4000	BDN+S	5.3	450	85	125	375	71	2.5	0961 ?
42	Jagerspris	13000	BDN	4.5	800	178	350	1050	233	4.0	M.p., (0803)

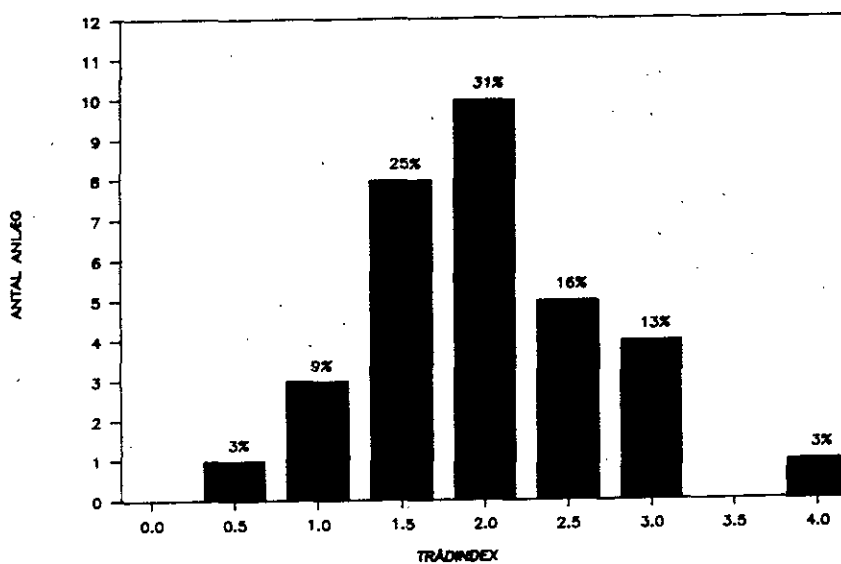
## BUNDFÆLDNINGSPROJEKT

## 3. screeningsrunde, september 1990

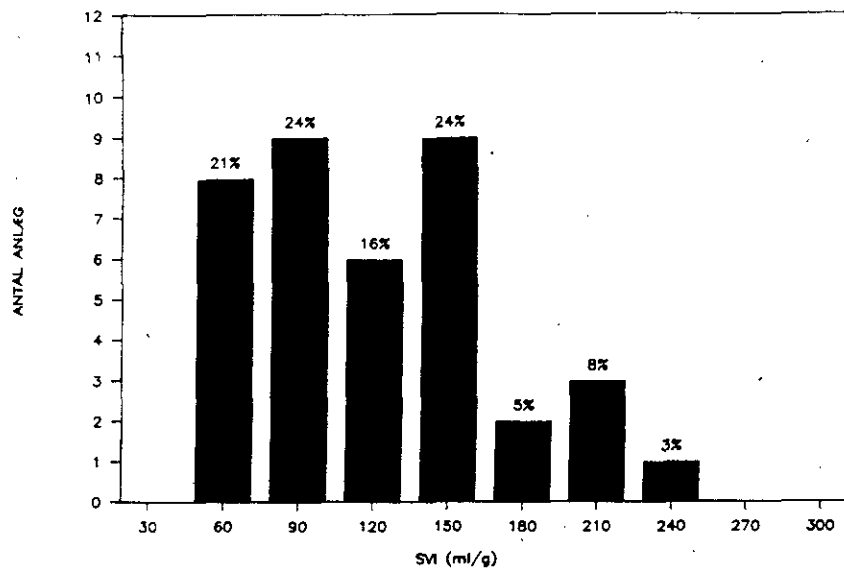
Nr	Navn	PE	Type	SS g/l	SV ml/l	SVI ml/g	FSV		FSVI		TI	Domin. typer
							(1:2) ml/l	3*FSV ml/l	(1:2) ml/g	TI		
1	Frederikssund	33000	BDN	4.2	590	140	140	420	100	3.5	021N, (0041, 0092)	
2	Søholt	105000	BDN+S	3.8	230	61	70	210	55	1.5		
3	Aalborg Vest	330000	BDP	3.7	675	182	120	360	97	2.5	M.p., 0041, 0092	
7	Mou	1400	OCO	4.7	280	60	70	210	45	1.5		
8	Lyby	6000	OCO	4.6	280	60	90	270	58	1.5		
9	Spjald	4000	OCO	3.5	480	137	140	420	120	1.0		
10	Broager Vig	10000	OCO	3.8	170	45	60	180	47	1.0		
11	Skjern	36600	OCO	3.9	310	79	80	240	62	2.0	M.p., 0092	
12	Ålestrup	5000	BDN+S	3.3	300	91	82	246	75	2.0		
13	Stoholm	6000	MOD	8.5	700	83	250	750	89	2.5	M.p., (0092)	
14	Trevad	2200	RECIR+S	4.1	800	197	300	900	222	3.0	M.p., (0041)	
15	Mønsted	1200	RECIR+S	2.6	225	87				2.0		
16	Trankjær	10000	RECIR+S	5.1	670	131	165	495	97	2.0	M.p.	
17	Thrige	5000	BDN+S	2.8	170	61	55	165	59	0.5		
18	Jerslev	3000	RECIR+S	4.5	200	44	61	183	41	1.5		
19	Brønderslev	35000	BDN+S	4.4	230	52	57	171	39			
20	Vadum	4000	BDN	5.6	760	136	145	435	78	2.0		
22	Nørre Aaby	12500	BDP	8.0	550	69	180	540	68	2.0	0041, 0092	
23	Hørning	18000	BDP	4.3	250	58	79	237	55	1.0		
24	Åbenrå	85000	BDP	4.8	550	115	140	420	88	2.0	M.p., 0041	
25	Ørbæk	12000	BDN+S	5.8	800	138	180	540	93	2.5	0092, (M.p., 0041)	
27	Skals	3500	BDN+S	4.5	350	78	125	375	84	2.5	M.p., (0092)	
28	Klejtrup	1300	BDN+S	3.4	500	147	150	450	132	3.0	M.p., (0041, 0092)	
29	Bjerregrav	4500	BDN+S	4.0	550	137	175	525	131	3.0	M.p., (0092)	
30	Karup	9600	BDN+S	3.4	350	103	150	450	132	1.5		
31	Bording	6000	BDN+S	3.9	550	143	175	525	136	3.5	M.p., (0041)	
32	Engesvang	5000	BDN+S	4.3	750	174	200	600	140	3.0	M.p., 0041, 1851	
33	Vejby	2200	BDN+S	6.6	500	76	120	360	55			
34	Gedsted	3000	BDN+S	5.1	220	43	70	210	41	1.0		
36	Faaborg	105000	BDN	6.6	690	105	140	420	64	1.5		
38	Løgstør	55000	BDN+F	3.3	180	55	86	258	78	1.5		
39	Struer	60000	RECIR+F	4.6	670	146	170	510	111	2.0	0041, 0092, (M.p.)	
40	Lemvig	55000	RECIR+S	5.2	550	106	140	420	81	1.5		
41	Nr. Nisum	4000	BDN+S	5.4	470	87	130	390	72	1.5		
42	Jagerspris	13000	BDN	3.5	750	213	300	900	256	4.0	0041, (M.p., 1851)	
101	Ejbymølle	250000	BDP	5.1	920	179	240	720	140	4.0	0041, 0914, (M.p.)	
102	Odense NV	85000	BDN+S	4.4	925	210	175	525	119	3.0	0041, 0914, M.p.	
103	Odense NØ	40000	BDP	4.1	450	109	120	360	87	2.5	M.p.	



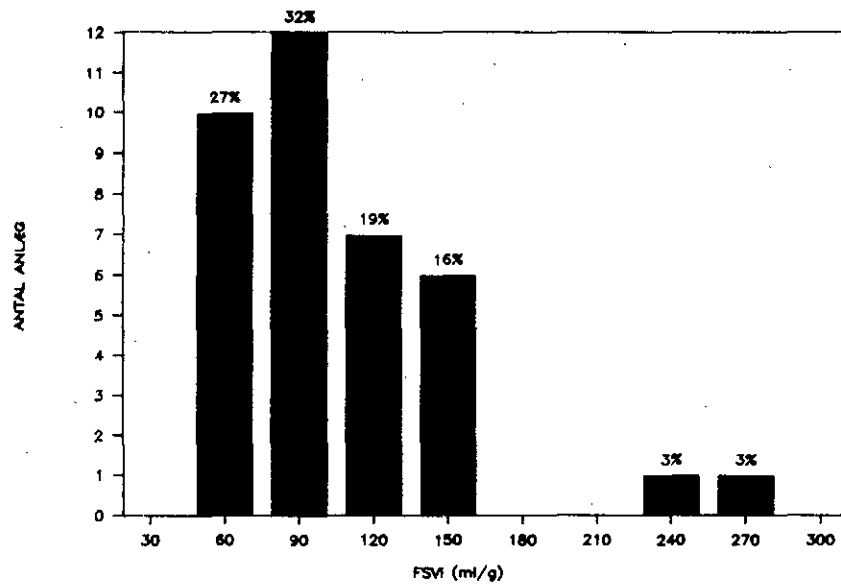
Figur B2.1 Histogram for SVI, screeningrunde 1.



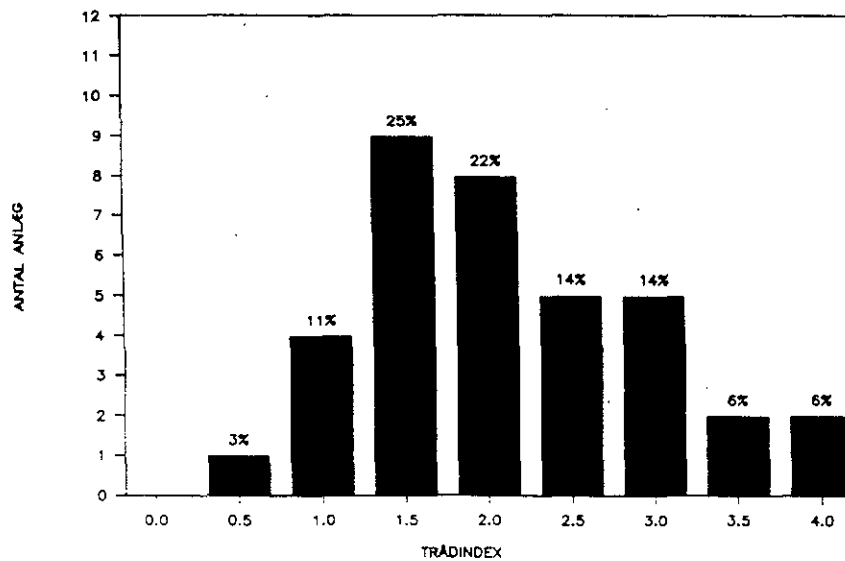
Figur B2.2 Histogram for trådindex, screeningrunde 1.



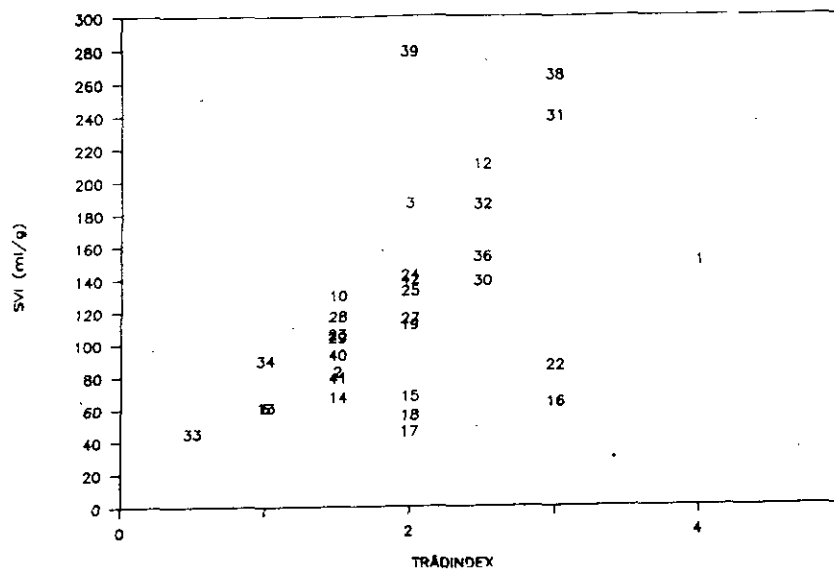
Figur B2.3 Histogram for SVI, screeningrunde 3.



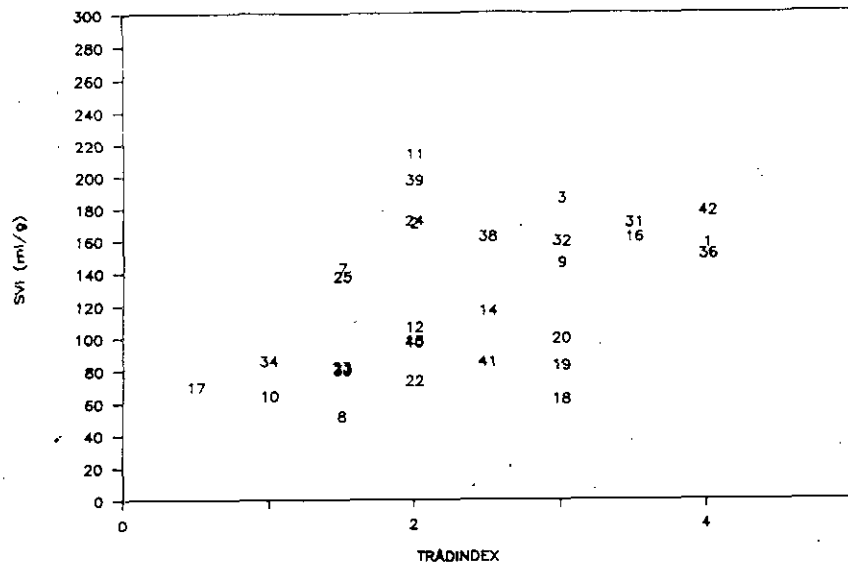
Figur B2.4 Histogram for FSVI, screeningrunde 3.



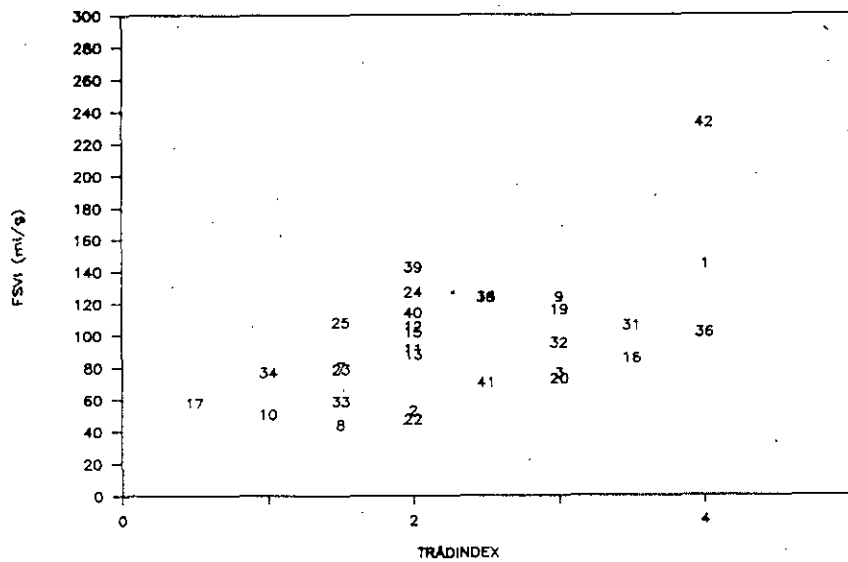
Figur B2.5 Histogram for trådindex, screeningrunde 3.



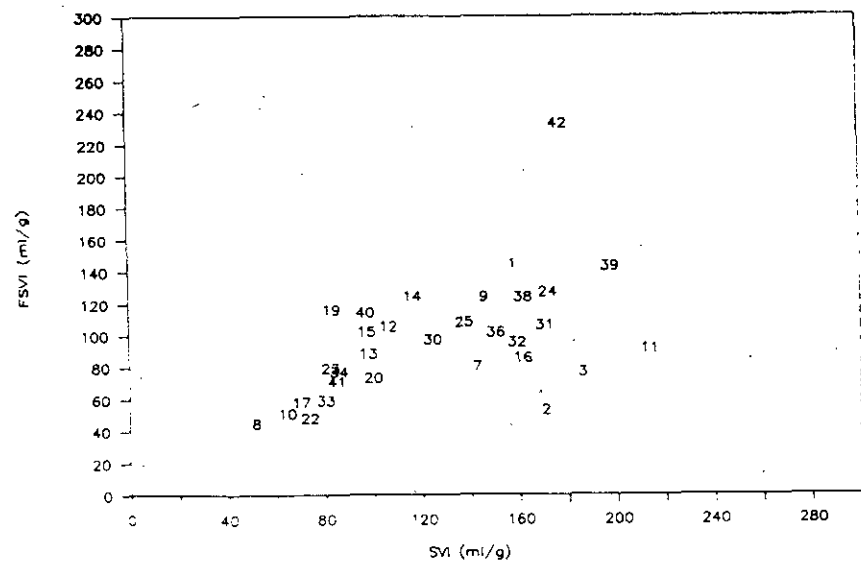
**Figur B2.6** Samhørende værdier af SVI og trådindex, screeningrunde 1. Symbol angiver anlægsnummer.



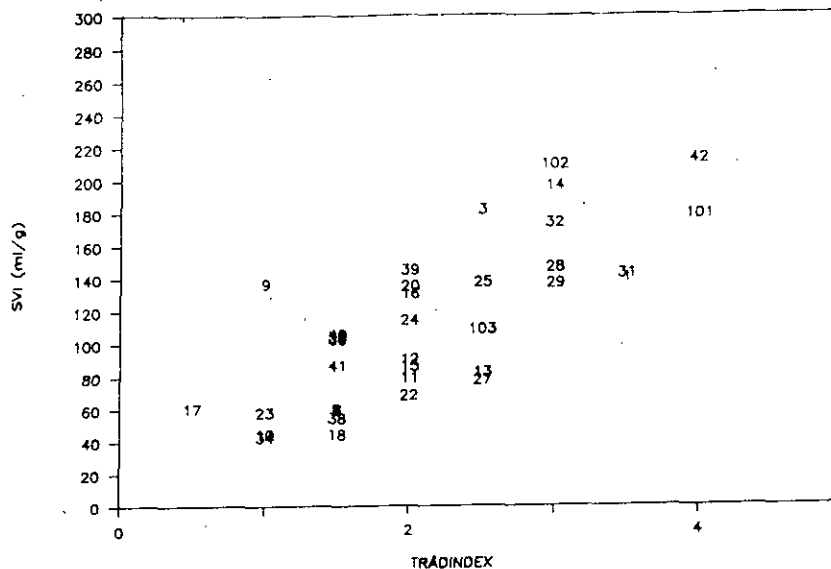
**Figur B2.7** Samhørende værdier af SVI og trådindex, screeningrunde 2. Symbol angiver anlægsnummer.



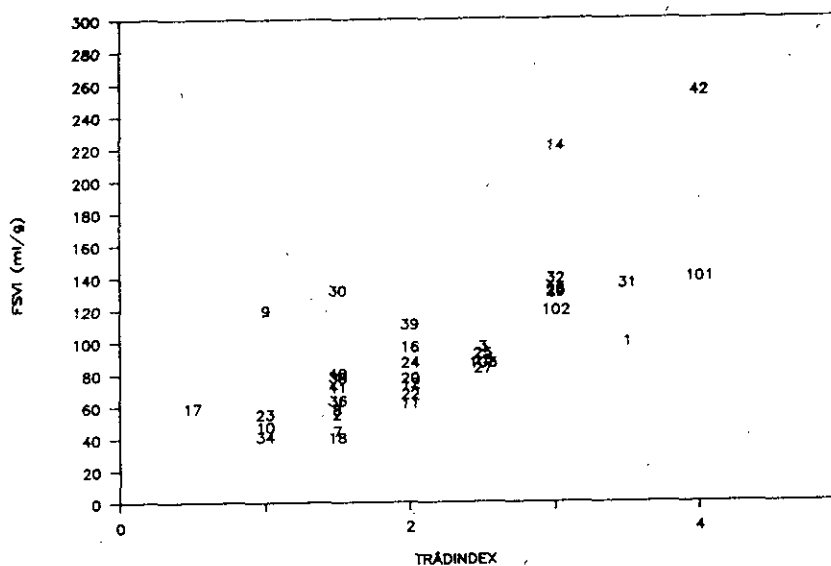
**Figur B2.8** Samhørende værdier af FSVI og trådindex, screeningrunde 2. Symbol angiver anlægsnummer.



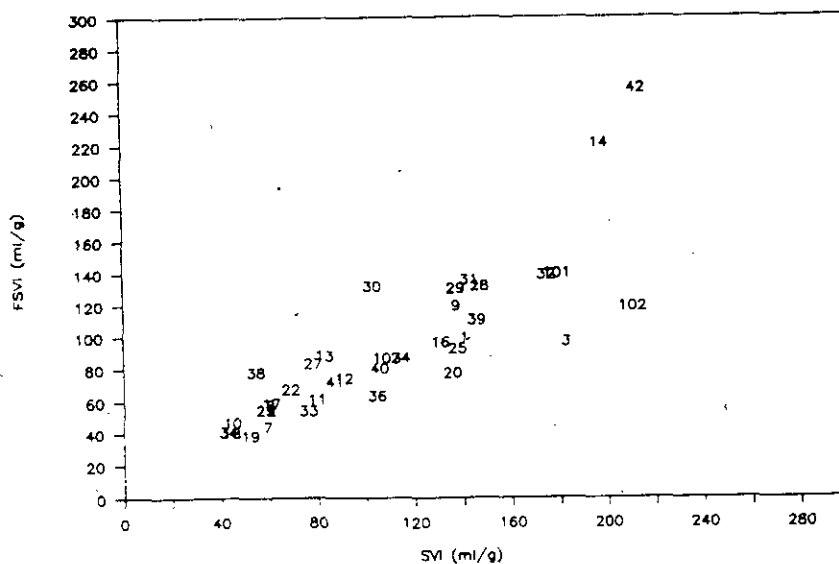
**Figur B2.9** Samhørende værdier af FSVI og SVI, screeningrunde 2. Symbol angiver anlægsnummer.



**Figur B2.10** Samhørende værdier af SVI og trådindex, screeningrunde 3. Symbol angiver anlægsnummer.



**Figur B2.11** Samhørende værdier af FSVI og trådindex, screeningrunde 3. Symbol angiver anlægsnummer.

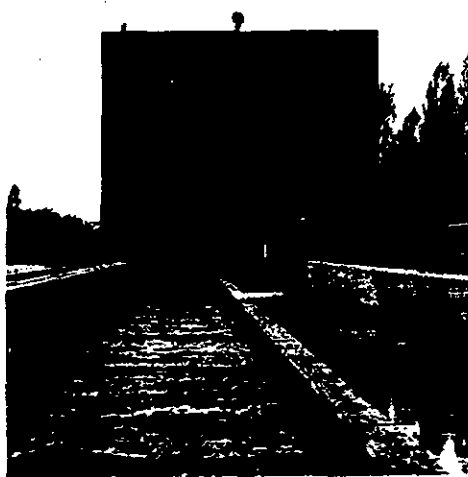


**Figur B2.12** Samhørende værdier af FSVI og SVI, screeningrunde 3. Symbol angiver anlægsnummer.



**Bilag 3.**

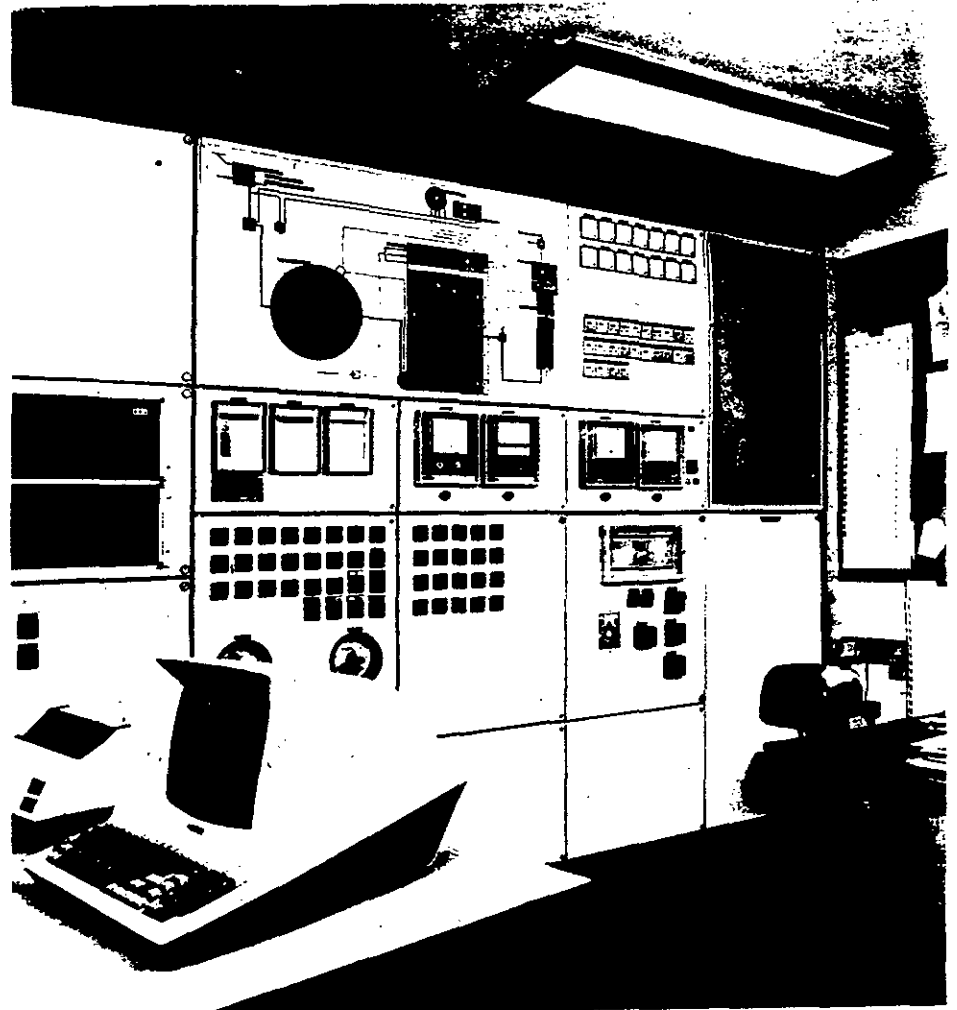
Tekniske data for Frederikssund, Søholt og  
Aalborg Vest renseanlæg.



Grit Chamber



Discharge



Control Room

**Plant Construction**

**Plant Data**

	Structures and Buildings	Data	Equipment
Owner:	Screen chamber	1650 m <sup>3</sup> /h	1 Automatic grit chamber
The Municipality of Frederikssund	Grit and grease chamber	27 m 110 m <sup>3</sup>	Aerated, mechanical skimming
Detailed Design:	4 Aeration tanks	3400 m <sup>3</sup>	8x6 m rotors
I. Krüger AS	Final Clarifier	Ø 36 m 2200 m <sup>3</sup>	Rotating sludge scraper
Architect:	Return sludge pumping station	750 m <sup>3</sup> /h	1 Screw pump
E. de Fine Licht	Concentration tank	140 m <sup>3</sup>	Sludge scraper with agitator
Landscape architect:	Storage building/garage	65 m <sup>2</sup>	
Agnete Muusfeldt	Machine house	260 m <sup>2</sup>	
	Staff room	142 m <sup>2</sup>	

**Effluent Characteristics**

**Dimensioning Data**

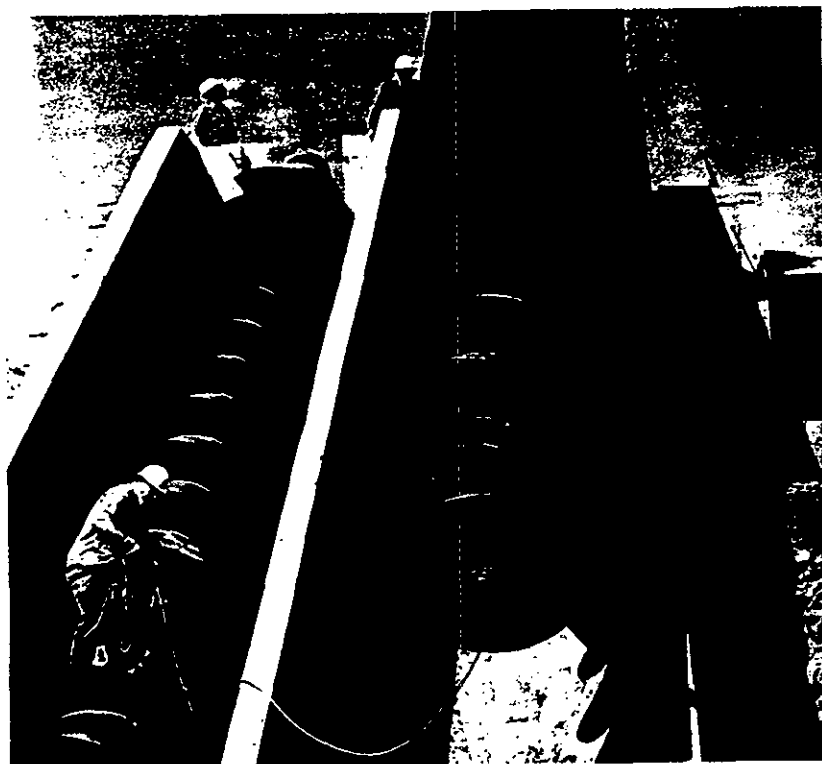
	Parameter	Present Capacity	Full Capacity
Biochemical oxygen demand (BOD <sub>5</sub> )	6-10 mg/l	Population equivalent	33,000 PE
Suspended solids	3- 5 mg/l	Biochemical oxygen consumption	2,000 kg/d
Ammonia-nitrogen	1- 2 mg/l	Max. dry weather flow	950 m <sup>3</sup> /h
Total nitrogen	3 mg/l	Storm weather flow	1,075 m <sup>3</sup> /h
Total phosphorus	4 mg/l		

In the fully built out version, the plant comprises an additional settling tank as well as a concentration tank.



I. Krüger AS  
 Gladsaxevej 363  
 DK-2860 Soeborg

Telephone: + 451 69 02 22  
 Telex: 27033 kryg dk  
 Cable: Softwater  
 Reg. No.: 8342



Inlet pumping station equipped with two screw pumps, each with a lift of 800 l raw wastewater per turn.



Before outlet the treated effluent passes a cascade aerator.

**Technical Data:**

Turn-key delivery: I. Krüger AS  
Architects: Ib Fabiansen (M.A.A.)  
Year of completion: 1975

**Guaranteed Effluent Standard:**

(Daily mean values)

Bod 15 mg/l  
Total nitrogen 5 mg/l  
Ammonia nitrogen 2 mg/l  
Total phosphorus 0.8 mg/l  
Suspended solids 10 mg/l  
Oxygen saturation 60%

**Design Parameters:**

Capacity: 105,000 p.e.  
Dry weather flow 21,000 m<sup>3</sup>/d  
Maximum flow 32,000 m<sup>3</sup>/d  
Content of COD 520 mg/l  
Content of BOD 300 mg/l  
Suspended solids 240 mg/l  
Total nitrogen 43 mg/l  
Total phosphorus 15 mg/l

**Plant Data:**

**Inlet Pumping Station**  
2 screw pumps 2×1,700 m<sup>3</sup>/h

**Screenings**

2 mechanically raked bar screens,  
width 12 m

**Aerated Grit Chamber**

Volume 120 m<sup>3</sup>

**Pre-Aeration Ditch**

Volume 1,100 m<sup>3</sup>  
Aeration, mammoth rotors 2×9 m

**Triple Ditch**

Total volume 14,400 m<sup>3</sup>  
Aeration, mammoth rotors 12×9 m  
Recirculation flow 166/250 l/sec

**Dual Media Filter**

Total surface area 240 m<sup>2</sup>  
Filtration rate, ADWF 6 m/h  
Max. head loss 1.5 m WC

**Post-Aeration**

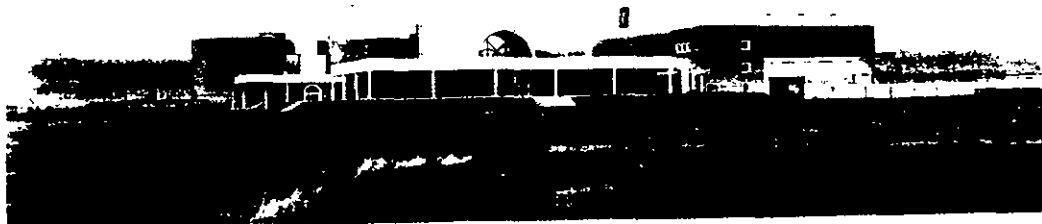
Cascade aerator, steps 3×65 cm

**Chemical Dosage**

Lime storage silo 30 m<sup>3</sup>  
Ferrous sulphate storage, dry 3×40 m<sup>3</sup>  
Ferrous sulphate storage, solution 2×100 m<sup>3</sup>

**Sludge Treatment**

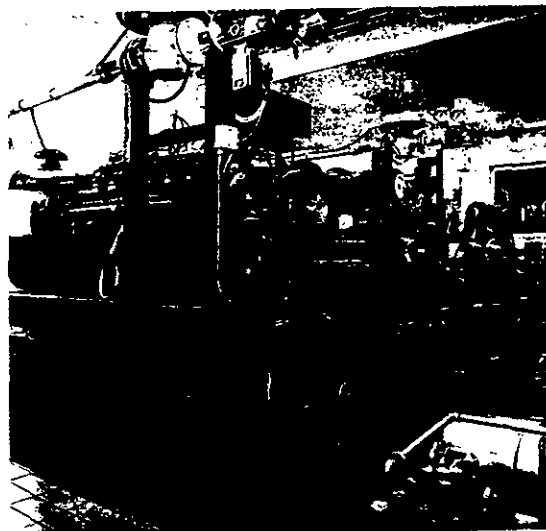
Sludge thickener 1,100 m<sup>3</sup>  
Plate press, capacity 1,800 tons DS/year  
Dry solids in sludge cake approx. 35%



◀ Udsigt mod rådnetanksanlægget.

▶ Udsigt mod Limfjorden fra det biologiske tankanlæg.

▼ De gasdrevne generatorer producerer årligt omkring 2,2 mill kWh el.



## Tekniske data

Anlæggets udførelse		Bygværker og bygninger	Data	Udrustning
Bygherre:	Ålborg kommune	Indløbspumpestation	15.000 m <sup>3</sup> /h	4 snekepumper
Hovedrådgiver:	I Krüger AS	Ristebygværk	15.000 m <sup>3</sup> /h	Skråstillet, aut. oprensning
Arkitekt:	Jacob Blegvad A/S	Sand-fedtfang	1.900 m <sup>3</sup>	
Rådg.ing.:	Studstrup & Østgaard K/S	4 forklaringsstanke, rektangulære	7.500 m <sup>3</sup>	Skraberbro
Geoteknik:	Geodan	Retur- og mellempumpestation	10.000 m <sup>3</sup> /h	4 snekepumper
<b>Afløbskrav</b>		Anaerobe tanke	7.500 m <sup>3</sup>	9 omrørere
BI-5-modificeret	15 mg/l	6 nitrifikation-/denitrifikationstanke	39.400 m <sup>3</sup>	36 9m rotorere
Total-P	1,0 mg/l	15 efterklaringsstanke, rektangulære	13.700 m <sup>3</sup>	Wireskrabere
Total-N	8 mg/l	Opløsertanke for kemikalie	280 m <sup>3</sup>	Doseringspumper
<b>Dimensionering</b>		2 rådnetanke	5.000 m <sup>3</sup>	Varmeveksler
Forurening:	330.000 PE (80% fraktil)	Gasbeholder	600 m <sup>3</sup>	Svømmende gasklokke
Vandmængder:		Slamlagertank	500 m <sup>3</sup>	
Spildevand	60.000 m <sup>3</sup> /d	Maskinhus	557 m <sup>3</sup>	
Maks. tørvejr	3.600 m <sup>3</sup> /h	- Gasmotorrum		2 MAN 160 kW gasmotorer
Maks. regn	5.800 m <sup>3</sup> /h	- Kedelrum		1 kedel 500 Mcal/h
		- Slamafvandringsrum		3 sibåndspresser á 20 m <sup>3</sup> /h
		Containerhal	565 m <sup>2</sup>	3 forafvanderere á 100 m <sup>3</sup> /h
		- Forafvandringsrum		

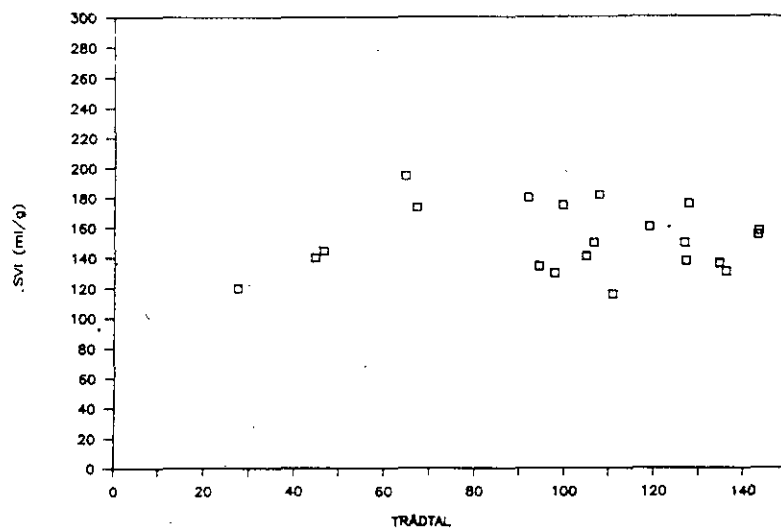
**Bilag 4.**

Resultater fra Frederikssund renseanlæg.

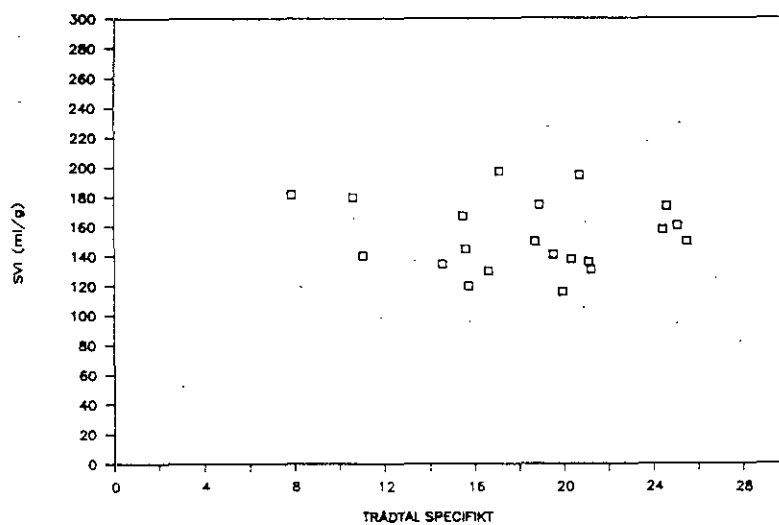
BUNDFÆLDNINGSPROJEKT

Frederikssund

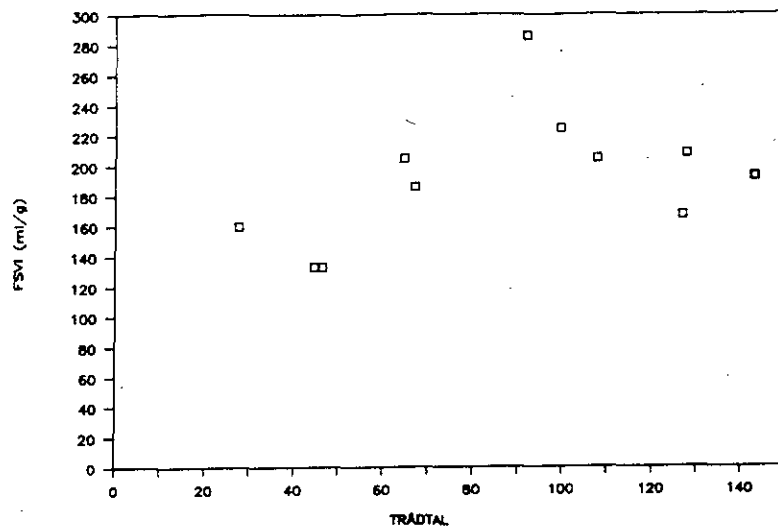
Dato	Mik. dato	SV ml/l	SV2 ml/l	SV4 ml/l	FSV ml/l	SS g/l	SVI ml/g	FSVI ml/g	Tråd index	Trådtal				Specifikt trådtal		
										1	2	3	4	gns. std. gns./SS	std./S	
24/1-90	26/1	870				4.4	198		4.00							
14/2-90	16/2	770				4.6	167		3.50							
21/2-90	22/2	740				5.5	135		3.00							
28/2-90	1/3	820				6.3	130		3.50							
8/3-90	7/3	880				7.6	116		3.50							
14/3-90	15/3	890				6.3	141		4.00							
20/3-90	22/3	890				6.8	131		4.00							
28/3-90	29/3	895				6.5	138		3.50							
4/4-90	5/4	900				5.6	161		4.00							
7/5-90	8/5	900				6.6	136		4.00							
30/5-90	31/5	900	650	275	1100	5.7	158	193	4.00							
13/6-90	14/6	800	550	2250	1000	6.0	150	167	4.00							
27/6-90	29/6	800	430	225	900	4.4	182	205	3.50							
17/7-90	18/7	880	540	350	1400	4.9	180	286	3.50							
15/8-90	16/8	420	250	140	560	3.5	120	160	2.50							
12/9-90	13/9	590	290	140	560	4.1	195	205	3.50							
3/10-90	5/10	800	470	210	840	4.2	145	133	4.00							
25/10-90	26/10	610	260	140	560	4.2	175	225	3.00							
14/11-90		840	430	270	1080	4.8	174	186	4.00							
5/12-90	6/12	750	350	200	800	4.3	174	186	3.50							
10/1-91	12/1	840	590	280	1120	5.6	150	193	4.00							
30/1-91		900	620	260	1040	5.8	155	193	4.00							
20/2-91		880	620	260	1040	5.0	176	208	4.00							



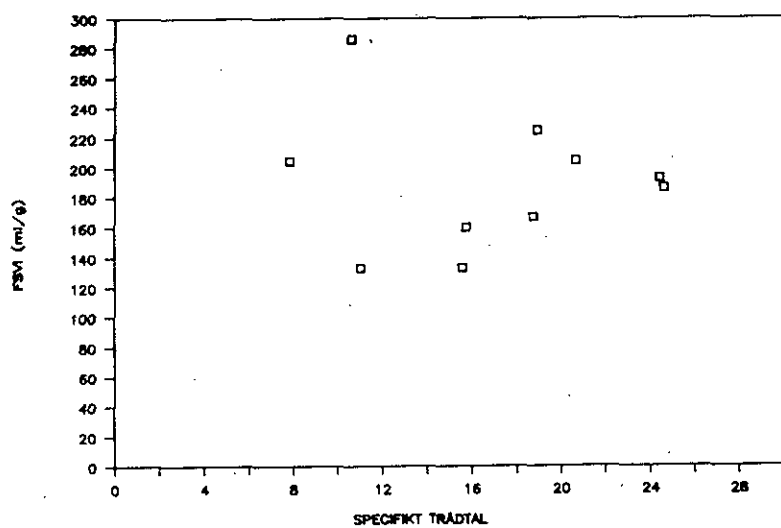
**Figur B4.1** Samhørende værdier af SVI og trådtal, Frederikssund renselanlæg.



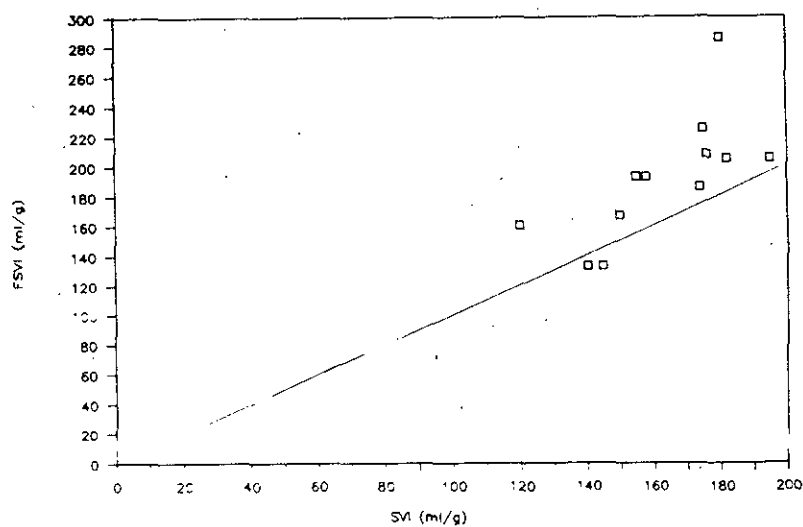
**Figur B4.2** Samhørende værdier af SVI og specifikt trådtal, Frederikssund renselanlæg.



**Figur B4.3** Samhørende værdier af FSVI og trådtal, Frederikssund renseanlæg.



**Figur B4.4** Samhørende værdier af FSVI og specifikt trådtal, Frederikssund renseanlæg.



**Figur B4.5** Samhørende værdier af FSVI og SVI, Frederikssund renseanlæg.



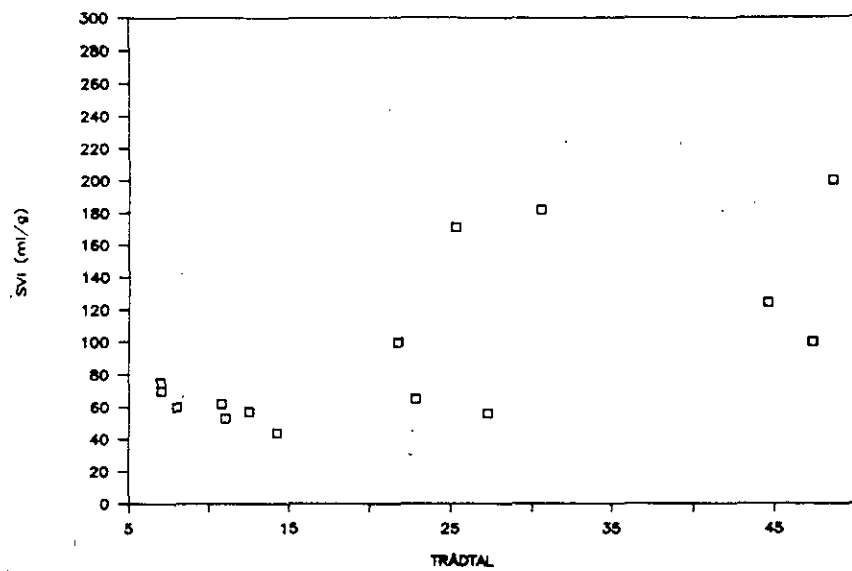
**Bilag 5.**

Resultater fra Søholt renseanlæg.

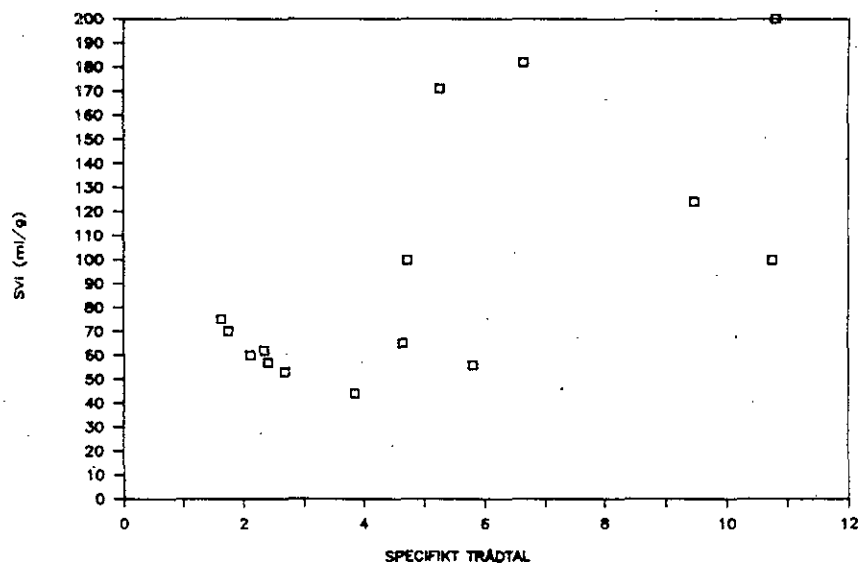
BUNDFELDNINGSPROJEKT

Søholt

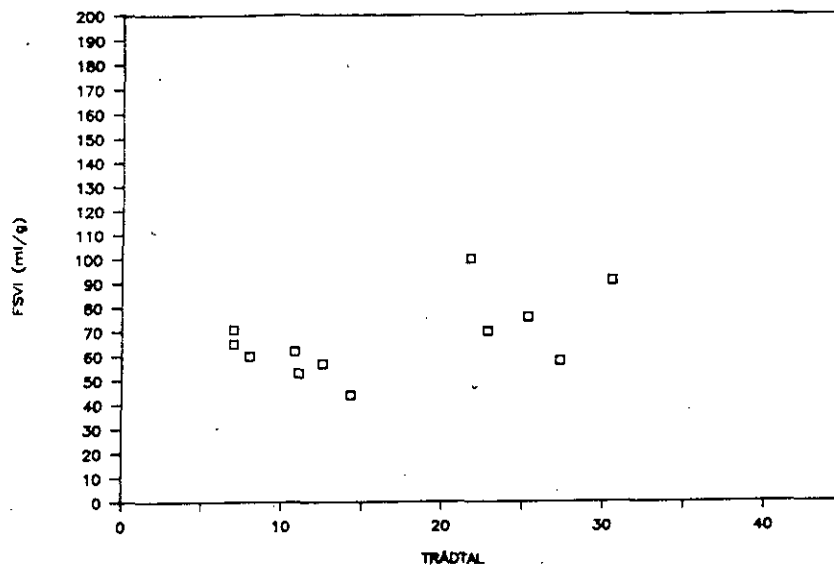
Dato	Mik. dato	SV ml/l	SV2 ml/l	SV4 ml/l	FSV ml/l	SS g/l	SVI ml/g	FSVI ml/g	Tråd index	Trådtal				Specifikt trådtal		
										1	2	3	4	gsn. std.	gsn./SS std./SS	
24/1-90	26/1	300				3.0	100		2							
21/2-90	22/2	800	200	100	400	4.4	182	91	2	48	42	51	48	47	3.27	11 0.74
20/3-90	22/3	570				4.6	124		2	32		29		31	0.33	7 0.33
4/4-90	5/4	940	240	110	440	4.7	200	94	2	40		49		45	4.50	9 0.96
25/4-90	26/4	770	170	80	340	4.5	171	76	2	44	59	50	41	49	6.87	11 1.53
29/5-90	30/5	360	170	90	340	4.8	75	71	1.5	34	24	14	29	25	7.40	5 1.54
13/6-90	14/6	300	140	90	280	4.3	70	65	1.0	6	8	7		7	0.82	2 0.19
27/6-90	29/6	240	120	70	240	4.0	60	60	0.5	8	10	5	5	7	2.12	2 0.53
16/7-90	18/7	200	100	60	200	3.8	53	53	0.5	8	8	10	6	8	1.41	2 0.37
14/8-90	16/8	180	90	50	180	4.1	44	44	0.5	13	11	8	12	11	1.87	3 0.46
5/9-90	6/9	230	130	70	230	3.7	62	62	1.5	18	16	13	10	14	3.03	4 0.82
25/10-90	26/10	260	130	60	260	4.6	57	57	1.0	8	15	8	12	11	2.95	2 0.64
14/11-90		290	150	70	300	5.2	56	58	1.0	8	16	13	13	13	2.87	2 0.55
11/12-90		300	150	80	300	4.7	64	64	1.5	29	23	29	28	27	2.49	6 0.53
10/1-91	12/1	300	150		300	3.0	100	100	1.5							
30/1-91		300	160	80	320	4.6	65	70	1.5					22	3.80	5
21/2-91		280	130	70	260	4.9	57	53	1.5					23	1.30	5



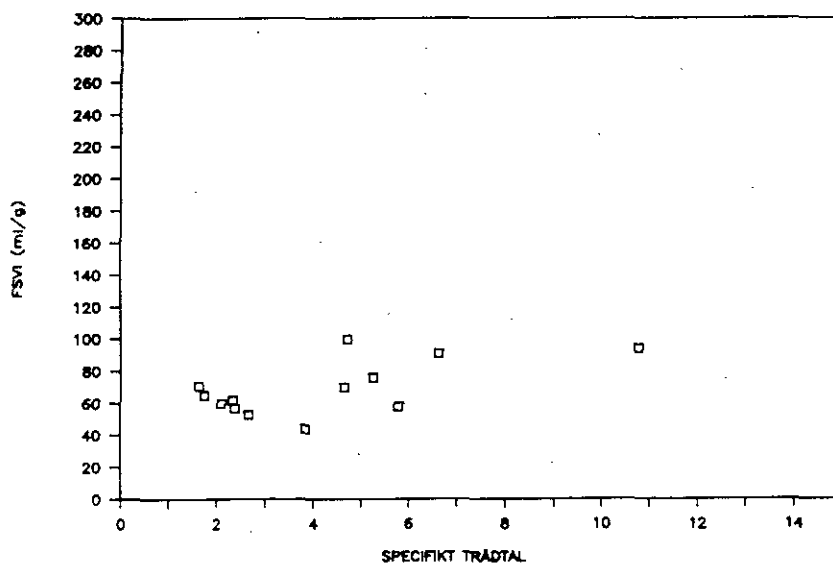
**Figur B5.1** Samhørende værdier af SVI og trådtal, Søholt renseanlæg.



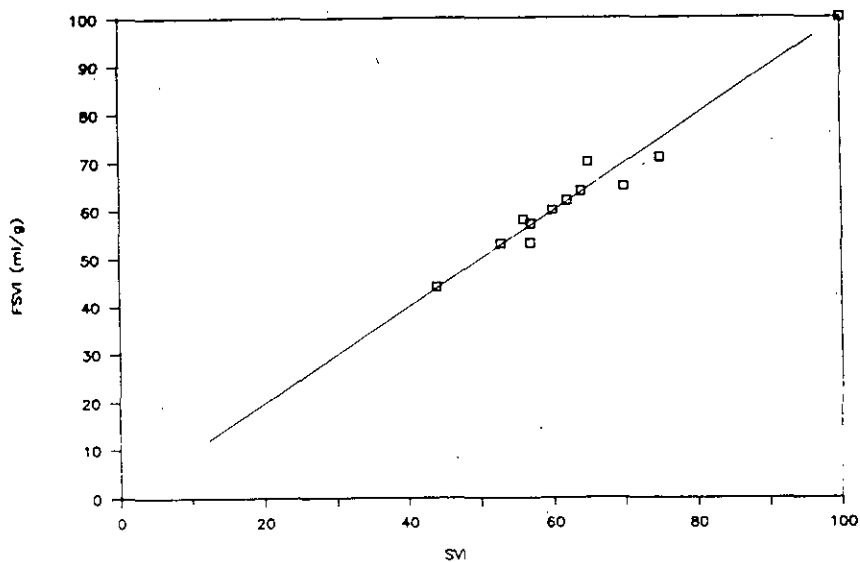
**Figur B5.2** Samhørende værdier af SVI og specifikt trådtal, Søholt renseanlæg.



**Figur B5.3** Samhørende værdier af FSVI og trådtal, Søholt renseanlæg.



**Figur B5.4** Samhørende værdier af FSVI og specifikt trådtal, Søholt renseanlæg.



**Figur B5.5** Samhørende værdier af FSVI og SVI, Søholt renseanlæg.

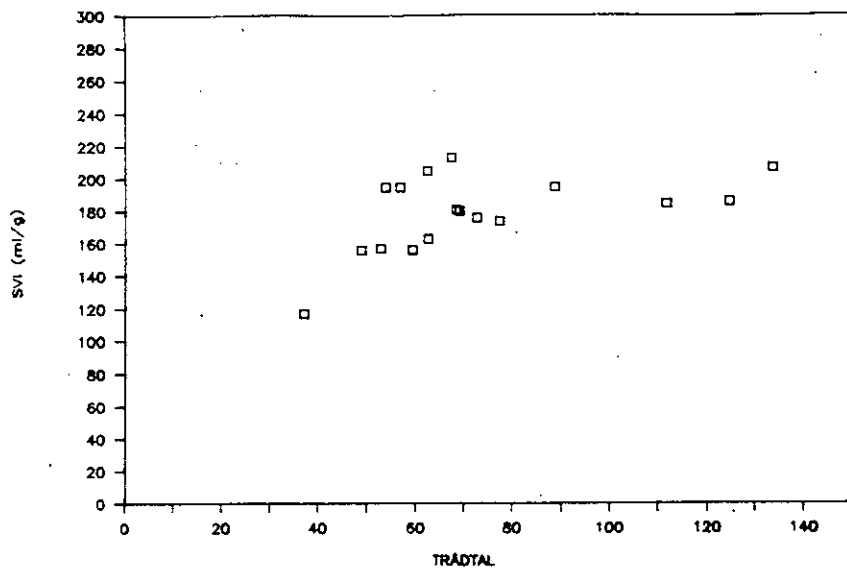
**Bilag 6.**

Resultater fra Aalborg Vest renseanlæg.

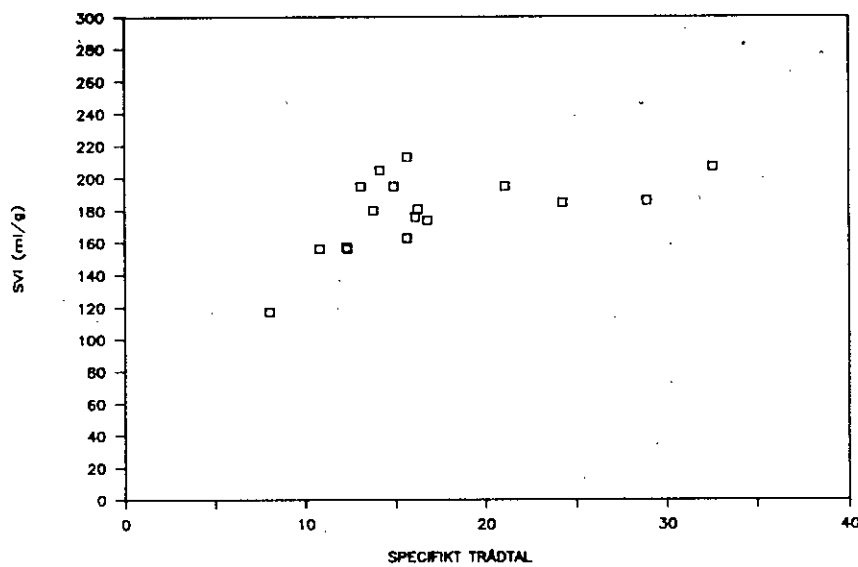
OPRÆKLINGSPROJEKT

Kalborg Vest

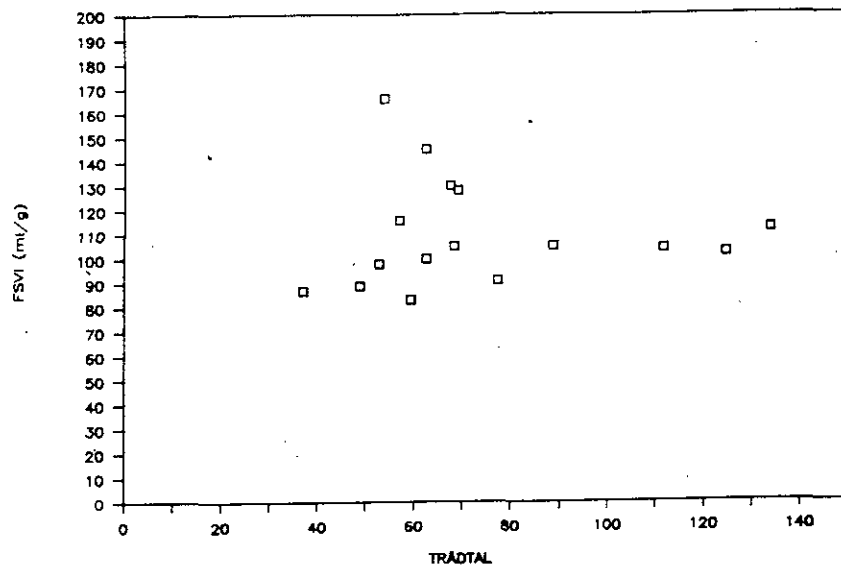
Dato	Mik. dato	SV ml/l	SV2 ml/l	SV4 ml/l	FSV ml/l	SS g/l	SVI ml/g	FSVI ml/g	Tråd index	Trådtal				Specifikt trådtal													
										1	2	3	4	gsm.	std. gsm./SS std./SS												
24/1-90	26/1	750				4.3	175		2.5																		
21/2-90	22/2	600	220	110	440	4.1	146	107																			
5/3-90	5/3	730				4.9	149		1.5																		
20/3-90	22/3	850	240	125	480	4.6	185	104	3.0																		
4/4-90	5/4	850	230	115	460	4.1	207	112	3.0																		
24/4-90	25/4	800	220	110	440	4.3	186	102	3.0																		
2/5-90	3/5	790				4.5	176																				
29/5-90	30/5	800	210	100	420	4.6	174	91	2.5																		
12/6-90	14/6	750	200	80	400	4.8	156	83	2.0																		
26/6-90	27/6	700	200	100	400	4.5	156	89	2.0																		
17/7-90	18/7	540	200	100	400	4.6	117	87	2.0																		
14/8-90	16/8	650	200	100	400	4.0	163	100	2.5																		
10/9-90	11/9	675	210	120	420	4.3	157	98	2.5																		
2/10-90	5/10	760	220	120	440	4.2	181	105	3.0																		
10/10-90	11/10	740	280	120	440	3.8	195	116	2.5																		
13/11-90	14/11	800	300	170	680	4.1	195	166	3.0																		
4/12-90	6/12	820	320	120	440	4.2	195	105	3.0																		
10/1-91	12/1	915	280	140	560	4.3	213	130	3.0																		
30/1-91		900	510	160	640	5.0	180	128	3.0																		
20/2-91		900	360	160	640	4.4	205	145	3.0																		
										115	108	112	134	124	73	71	77	85	78	68	78	85	77	6.06	16.79	1.32	
										101	166	134	134	124	84	73	71	77	85	78	68	78	85	77	6.06	16.79	1.32
										107	136	134	134	124	84	73	71	77	85	78	68	78	85	77	6.06	16.79	1.32
										62	84	73	73	73	84	73	71	77	85	78	68	78	85	77	6.06	16.79	1.32
										58	48	67	64	59	58	48	67	64	59	58	48	67	64	59	7.26	12.34	1.51
										47	41	51	56	49	47	41	51	56	49	47	41	51	56	49	5.49	10.83	1.22
										28	36	45	37	37	28	36	45	37	37	28	36	45	37	37	6.12	8.04	1.33
										70	47	70	63	63	70	47	70	63	63	70	47	70	63	63	9.39	15.63	2.35
										57	46	62	46	53	57	46	62	46	53	57	46	62	46	53	6.98	12.30	1.62
										70	70	67	66	68	70	70	67	66	68	70	70	67	66	68	1.79	16.25	0.43
										49	67	42	69	57	49	67	42	69	57	49	67	42	69	57	11.54	14.90	3.04
										58	52	39	66	54	58	52	39	66	54	58	52	39	66	54	9.86	13.11	2.40
										82	93	92	87	89	82	93	92	87	89	82	93	92	87	89	4.39	21.07	1.04
										62	65	88	54	67	62	65	88	54	67	62	65	88	54	67	12.64	15.64	2.94
										69	69	62	62	62	69	69	62	62	62	69	69	62	62	62	9.70	13.78	
										62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	9.10	14.16	



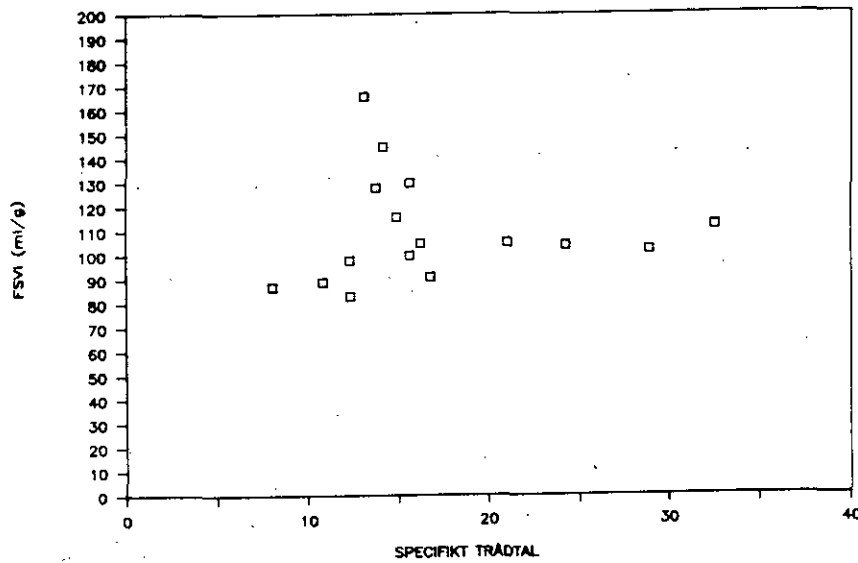
**Figur B6.1** Samhørende værdier af SVI og trådtal, Aalborg Vest renselanlæg.



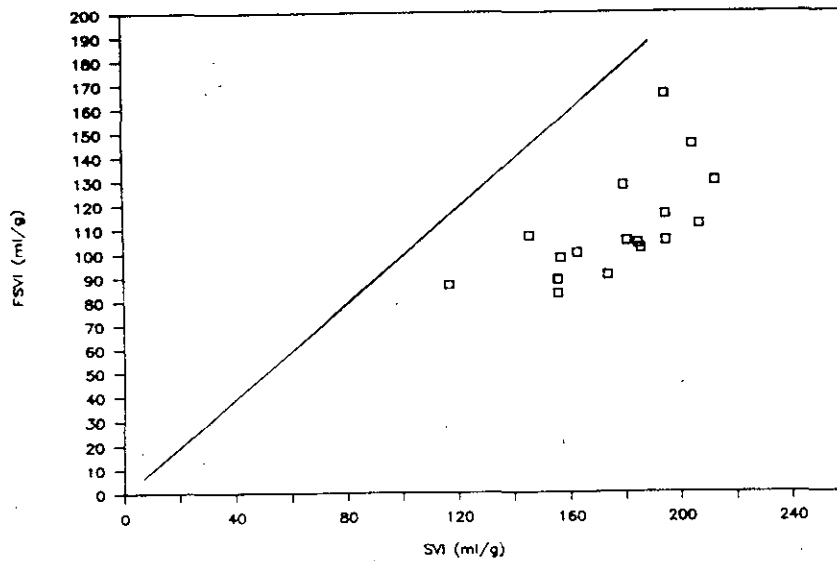
**Figur B6.2** Samhørende værdier af SVI og specifikt trådtal, Aalborg Vest renselanlæg.



**Figur B6.3** Samhørende værdier af FSVI og trådtal, Aalborg Vest renseanlæg.



**Figur B6.4** Samhørende værdier af FSVI og specifikt trådtal, Aalborg Vest renseanlæg.



**Figur B6.5** Samhørende værdier af FSVI og SVI, Aalborg Vest renseanlæg.



## VKI RAPPORTDATABLAD

DATO : 17.01.1992

SAGSNR : 655006

AFDELING : Spildevands- og Procesteknologi

SAGSBEHANDLER(E) : Gert Holm Kristensen, VKI  
Per Elberg Jørgensen, VKI  
Per Halkjær Nielsen, AUC

SEKRETÆR(ER) : ELS

TITEL : Bundfældningsegenskaber for aktiv  
slam - Undersøgelse af danske ren-  
seanlæg med næringssaltfjernelse.

ANTAL SIDER : 35

REKVIRENT : Miljøstyrelsen, Strandgade 29  
1401 København K.

SAMARBEJDSPARTNER : Laboratoriet for Miljøteknik  
Aalborg Universitetscenter  
Sohngaardsholmsvej 57  
9000 Aalborg

NØGLEORD : Aktiv slam  
Næringssaltfjernelse  
Bundfældningsegenskaber  
Screening  
Overvågning

FORSKNINGSRAPPORT : TYPE A  X

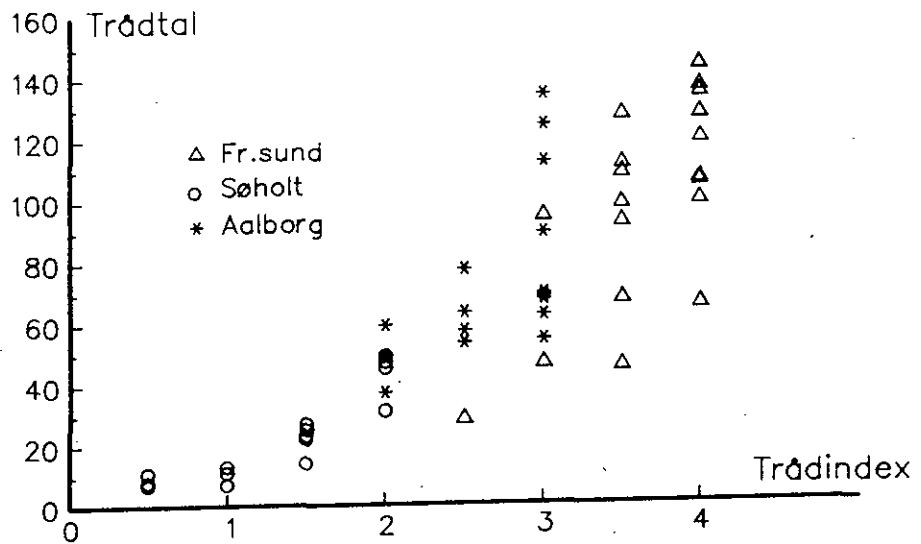
OFFENTLIG REKVIRENT : TYPE B \_\_\_\_\_

PRIVAT REKVIRENT : TYPE C \_\_\_\_\_

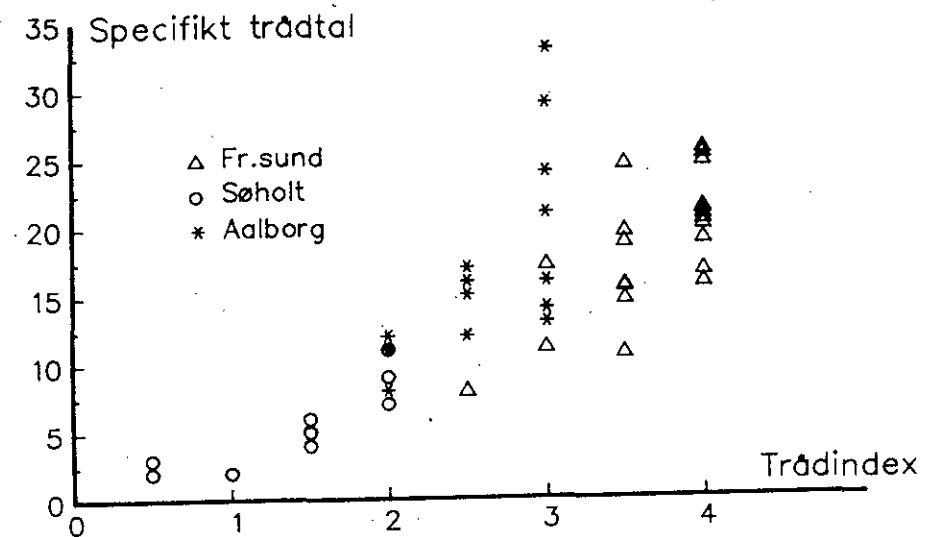
HEMMELIGT MATERIALE : TYPE D \_\_\_\_\_

HENVENDELSE VEDR.  
RAPPORTEN SKAL  
RETTES TIL : Miljøstyrelsen, Strandgade 29,  
1401 København K.

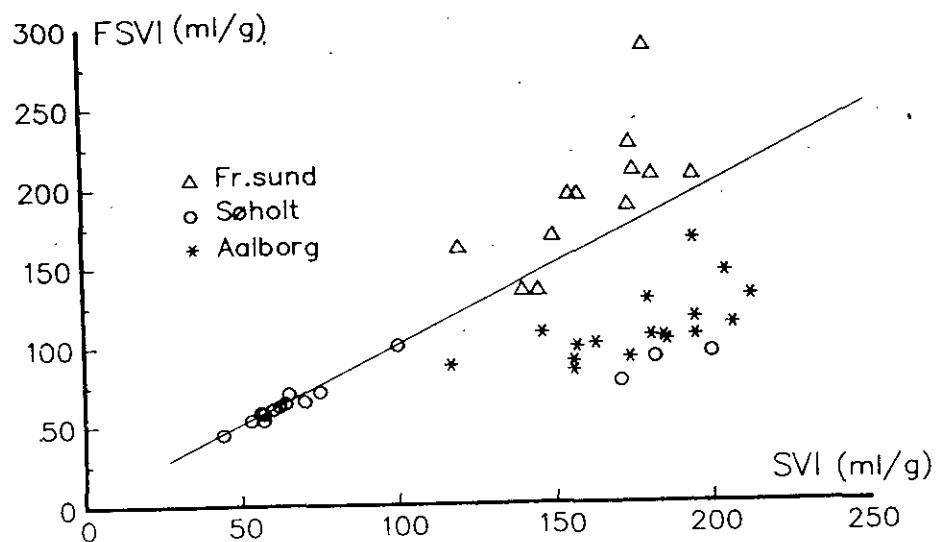
BEMÆRKNINGER:



Figur 4.23 Samhørende værdier af trådtal og trådindex for de tre anlæg.



Figur 4.24 Samhørende værdier af specifikt trådtal og trådindex for de tre anlæg.



Figur 4.25 Samhørende værdier af FSVI og SVI for de tre anlæg.

Figuren illustrerer i øvrigt udmærket, hvorledes det med anvendelse af FSVI er muligt at se den med trådindex og trådtal påviste forskel i mængden af trådformende mikroorganismer i Frederikssundslammet og Aalborg Vest slammet, mens en sådan forskel ikke fremgår med anvendelse af SVI.

## 5. Konklusion

Ved projektet er gennemført to undersøgelsesserier: dels en screeningundersøgelse af 35-40 danske renseanlæg med næringssaltfjernelse og dels en tidsserieundersøgelse, hvor tre renseanlæg er fulgt regelmæssigt gennem godt et år.

Screeningundersøgelsen viste, at afhængig af årstiden havde 20-40% af anlæggene et SVI over 150 ml/g eller et trådindex over 2. Overskridelse af disse værdier antages i almindelighed at indikere dårlige bundfældningsegenskaber. Sammenlignes med nyere danske erfaringer fra kommunale anlæg uden næringssaltfjernelse, synes der at være tale om en markant stigning i andelen af anlæg med bundfældningsproblemer. Dette resultat stemmer overens med erfaringer fra andre lande.

Dominerende trådformende mikroorganismer var i nævnte rækkefølge: *Microthrix parvicella*, type 0041, type 021N og type 0092. De samme dominerende mikroorganismer er fundet ved udenlandske undersøgelser, omend ikke med samme dominansfordeling som her observeret.

SVI og FSVI var kun i yderområderne i stand til generelt at give en indikation af mængden af trådformende mikroorganismer. I mellemområdet udviste data meget stor variation. Variationen var dog mindst for FSVI.

FSVI/SVI udviste markant faldende tendens ved øget slamvolumen og ved øget SVI. Resultaterne af undersøgelsen understøtter den generelle opfattelse af SVI som en tvivlsom måling ved høje slamvolumener og ved dårlige bundfældningsegenskaber.

Ved tidsserieundersøgelsen blev bundfældningsegenskaberne på Frederikssund, Søholt og Aalborg Vest renseanlæg karakteriseret løbende gennem godt et år.

For alle tre anlæg blev fundet en tydelig årsvariation med forbedrede bundfældningskarakteristika i sommerperioden. Årsvariationen antages at skyldes temperaturens indflydelse på konkurrenceforholdene i det aktive slam.

Årsvariationen kom til udtryk gennem alle karakteriseringsparametrene. For slam med højt indhold af trådformende mikroorganismer var trådtallet dog klart den bedste parameter til at påvise variationer i slamsammensætningen. Ved større variationer i indholdet af suspenderet stof i aktiv slam tankene synes det relevant at benytte det specifikke trådtal, hvor trådtallet er normeret med slamtørstofindholdet.

Dominerende trådformende mikroorganismer i Frederikssundslammet var 021N i hele perioden. Herudover blev observeret sekundær dominans af *Microthrix parvicella* samt af typerne 0041 og 0092. Bekæmpelse af den umådeholdne vækst af trådformende mikroorganismer i Frederikssund bør være mulig ved anvendelse af en selektor.

Søholtslammet udviste konstant udmærkede bundfældningskarakteristika, og der er ikke foretaget identifikation af trådformende mikroorganismer.

Dominerende trådformende mikroorganismer i Aalborg Vest slammet var primært *Microthrix parvicella* og sekundært typerne 0041 og 0092. *Microthrix parvicella* lader til at være tilpasset de skiftende oxidationsforhold i lavtbelastede anlæg med N- og/eller P-fjernelse, og det har hidtil generelt vist sig vanskeligt at bekæmpe deres vækst. Spildevands- og procesforhold må derfor vurderes nærmere, inden en strategi for en bekæmpelse af de trådformende mikroorganismer kan etableres.

Ved sammenligning mellem de forskellige karakteriseringsparametre fremgik det generelt, at SVI har ringe evne til at vise variationer i slamkarakteristika for slam med dårlige bundfældningsegenskaber, idet data udviser alt for stor spredning. For FSVI var sammenhængen med trådindex og trådtal bedre end for SVI. Variationen ved større mængder af trådformende mikroorganismer var dog betydelig.

Der fandtes generelt god indbyrdes overensstemmelse mellem trådindex og trådtal. For trådindex over 2.5-3 var der tale om en betragtelig spredning af data, og trådindex viste tydeligt begrænset følsomhed til at vise variationer ved høje index (3-4).

De forskellige slamtyper reagerede forskelligt ved anvendelse af FSVI i stedet for SVI. Søholtslammet viste stort set uændret index ved anvendelse af fortyndingen, mens Frederikssundslammet øgede index ved anvendelse af fortyndingen, og Aalborgslammet mindskede index ved måling med fortynding. Af det fortyndede index var det muligt at se den med trådindex og trådtal påviste forskel i mængden af trådformende mikroorganismer i Frederikssundslammet og Aalborg Vest slammet, mens en sådan forskel ikke fremgik med anvendelse af SVI.

## 6. Referencer

- /1/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV og Laboratoriet for Miljøteknik, AUC (1991): Bundfældningsegenskaber for aktiv slam - Litteraturredport. Rapport til Miljøstyrelsen, M 2046-0061.
- /2/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV og Laboratoriet for Miljøteknik, AUC (1991): Bundfældningsegenskaber for aktiv slam - Karakteriseringsmetoder og kontrolstrategier. Rapport til Miljøstyrelsen, M 2046-0061.
- /3/ Eikelboom, D.H. and H.J.J. van Buijsen (1983). Microscopic Sludge Investigation Manual, TNO. Institute for Environmental Science, Delft, Netherlands.
- /4/ Jenkins, D., M.G. Richard and G.T. Daigger (1986). Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming.
- /5/ Gabb, D.M.D., D.A. Still, G.A. Ekama, D. Jenkins, M.C. Wentzel, and G.v.R. Marais (1988): Development and full scale evaluation of preventative and remedial methods for control of activated sludge bulking. Report to the Water Research Commission by the Dept. of Civ. Eng., Univ. of Cape Town.
- /6/ I. Krüger AS (1989): Letslam. Rapport til Industri- og Handelsstyrelsen.
- /7/ Eikelboom, D.H. (1987). Licht-slibhandboek. TNO-report, R 87/358, Institute for Environmental Science, Delft, Netherlands.
- /8/ Andreasen, K., P.H. Nielsen, P.E. Jørgensen, L. Sigvardsen og G.H. Kristensen (1990): Let slam - Et problem i danske renselanlæg? Vand & Miljø 8: 283-287.
- /9/ Eikelboom, D.H. (1991): Personlig kommunikation. TNO, Institute for Environmental Science, Delft, Holland.
- /10/ Wanner, J. (1991): Personlig kommunikation. Prague Institute of Chemical Engineering, Prag, Tjekkoslaviet.

**Bilag 1.**

Vejledning og svarskema ved screeningundersøgelse.

Vejledning til brug ved  
**BESTEMMELSE AF SLAMVOLUMEN.**

Ufortyndet

- a) Aktiv slam fra luftningstanken ophældes efter omrøring til øverste mærke i et én-liters cylinderglas.
- b) Blandingen henstår i 30 minutter, hvorefter slamspejlets position noteres.

Fortynding 1:2

- a) En del omrørt slam fra luftningstanken blandes i en spand med to dele rensset spildevand. Blandingen omrøres let i 10 sek.
- b) Efter omrøring hældes en liter af blandingen på et en-liters cylinderglas.
- c) Blandingen henstår i 30 minutter, hvorefter slamspejlets position noteres, svarende til sædvanlig bestemmelse af slamvolumen.



**SVAR-SKEMA**

Til brug ved 3. screeningsrunde i forbindelse med projektet om bundfældningsegenskaber for aktivt slam.

**U D T A G N I N G S D A T O:** \_\_\_\_\_

**SLAMVOLUMEN**

Slamspejlets position efter 30 minutter (antal ml):

Ufortyndet: .....

Fortynding 1:2: .....

**TØRSTOF**

Anfør venligst de sidste 4-5 værdier for tørstofindholdet i luftningstanken.

Dato	g SS/l
1	
2	
3	
4	
5	

**TEMPERATUR**

Temperaturen i luftningstanken var: \_\_\_\_\_ °C.

**NEDBØR**

Var det kraftigt regnvejr på dagen før eller på selve dagen for udtagelse af prøverne?

Antal mm dagen før: \_\_\_\_\_

Antal mm på selve dagen: \_\_\_\_\_

**SKUM**

Har der været skum-dannelser på overfladen i luftningstankene indenfor det sidste år?

Sæt kryds

Ofte	Af og til	Sjældent	Aldrig

**Bilag 2.**

**Resultater af screeningundersøgelse.**

## BUNDFÆLDNINGSPROJEKT

## 1. screeningsrunde, november 1989

Prøve nr	Navn	PE	Type	SS g/l	SUPERN mg SS/l	SV ml/l	SVI ml/g	TI	Domin. typer
1	Frederikssund	33000	BDN	6.1	815.0	900	151	4.0	021N, M.p.
2	Søholt	105000	BDN+S	4.3	12.9	350	83	1.5	
3	Aalborg Vest	330000	BDP	3.7	0.9	700	187	2.0	
6	Hoptrup	1800		4.0	8.2	240	61	1.0	
10	Broager Vig	10000	OCO	3.0	27.5	400	130	1.5	
11	Skjern	36600	OCO	4.2	24.3	300	71		
12	Ålestrup	5000	BDN+S	2.8	5.1	600	211	2.5	M.p., (0803)
13	Stoholm	6000	MOD	10.6	9.3	650	61	1.0	
14	Trevad	2200	RECIR+S	4.5	34.8	300	67	1.5	
15	Mønsted	1200	RECIR+S	3.7	22.4	250	68	2.0	
16	Trankjær	10000	RECIR+S	7.5	7.7	480	64	3.0	M.p., (0092)
17	Thrige	5000	BDN+S	5.2	12.3	235	46	2.0	
18	Jerslev	3000	RECIR+S	2.7	6.4	150	56	2.0	
19	Brønderslev	35000	BDN+S	2.9	1.0	320	112	2.0	
20	Vadum	4000	BDN	4.7	12.2	915	193		
22	Nørre Aaby	12500	BDP	7.5	11.8	650	87	3.0	M.p., (0092, 1851)
23	Hørning	18000	BDP	4.8	7.1	510	106	1.5	
24	Åbenrå	85000	BDP	3.8	4.9	540	143	2.0	
25	Ørbæk	12000	BDN+S	6.0	1.0	800	133	2.0	
27	Skals	3500	BDN+S	3.7	7.2	430	116	2.0	
28	Klejtrup	1300	BDN+S	4.1	4.0	475	117	1.5	
29	Bjerregrav	4500	BDN+S	7.7	32.6	800	104	1.5	
30	Karup	9600	BDN+S	3.6	8.2	500	139	2.5	0041, (M.p., H.hy)
31	Bording	6000	BDN+S	2.9	9.6	700	240	3.0	M.p., 0041
32	Engesvang	5000	BDN+S	4.6	4.9	850	186	2.5	M.p., 0041
33	Vejby	2200	BDN+S	6.7	19.5	300	45	0.5	
34	Gedsted	3000	BDN+S	4.9	1.2	445	90	1.0	
36	Faaborg	105000	BDN	5.1	3.2	780	154	2.5	M.p., 0041, (0092)
38	Løgstør	55000	BDN+F	3.2	42.6	850	265	3.0	0092, (0041, M.p.)
39	Struer	60000	RECIR+S	2.8	2.0	770	279	2.0	
40	Lemvig	55000	RECIR+S	4.6	4.2	430	93	1.5	
41	Nr. Nisum	4000	BDN+S	4.9	17.4	380	79	1.5	
42	Jegerspris	13000	BDN	4.7	4.7	650	140	2.0	M.p.

## BUNDFÆLDNINGSPROJEKT

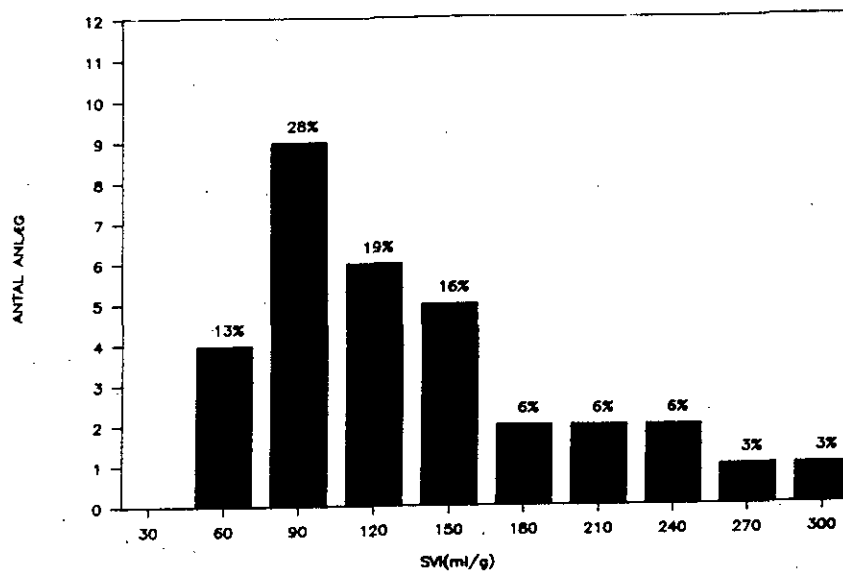
## 2. screeningsrunde, maj 1990

Nr	Navn	PE	Type	SS g/l	SV ml/l	SVI ml/g	FSV 3*FSV		FSVI (1:2) ml/g	TI	Domin. typer
							(1:2) ml/l	ml/l			
1	Frederikssund	33000	BDN	5.7	900	158	275	825	145	4.0	021N, (M.p.)
2	Søholt	105000	BDN+S	4.5	770	171	80	240	53	2.0	
3	Aalborg Vest	330000	BDP	4.3	800	186	110	330	77	3.0	M.p., (0803)
7	Mou	1400	OCO	5.6	800	143	150	450	80	1.5	
8	Lyby	6000	OCO	8.1	420	52	120	360	44	1.5	
9	Spjæld	4000	OCO	2.5	370	146	105	315	125	3.0	M.p., (021N)
10	Broager Vig	10000	OCO	5.9	380	64	100	300	51	1.0	
11	Skjern	36600	OCO	3.6	770	214	110	330	92	2.0	
12	Ålestrup	5000	BDN+S	3.0	320	107	106	318	106	2.0	
13	Stoholm	6000	MOD	7.6	750	98	225	675	88	2.0	
14	Trevød	2200	RECIR+S	3.0	350	117	125	375	125	2.5	M.p.
15	Mønsted	1200	RECIR+S	2.1	200	98	70	210	102	2.0	
16	Trankjær	10000	RECIR+S	4.2	680	162	120	360	86	3.5	M.p., 021N
17	Thrige	5000	BDN+S	3.0	210	70	58	174	58	0.5	
18	Jerslev	3000	RECIR+S	3.2	200	63				3.0	M.p., (0041)
19	Brønderslev	35000	BDN+S	3.6	300	83	140	420	117	3.0	
20	Vadum	4000	BDN	9.0	900	100	220	660	73	3.0	M.p., 0041, 0092
22	Nørre Aaby	12500	BDP	7.8	575	74	125	375	48	2.0	
23	Hørning	18000	BDP	3.4	280	82	90	270	79	1.5	
24	Åbenrå	85000	BDP	4.7	810	172	200	600	128	2.0	
25	Ørbæk	12000	BDN+S	5.8	800	138	210	630	109	1.5	
27	Skals	3500	BDN+S		800						
28	Klejtrup	1300	BDN+S		650						
29	Bjerregrav	4500	BDN+S		500						
30	Karup	9600	BDN+S	4.0	500	125	130	390	98		
31	Bording	6000	BDN+S	3.8	650	171	135	405	107	3.5	M.p.
32	Engesvang	5000	BDN+S	4.7	750	160	150	450	96	3.0	M.p., (0041)
33	Vejby	2200	BDN+S	5.6	450	80	110	330	59	1.5	
34	Gedsted	3000	BDN+S	4.7	400	86	120	360	77	1.0	
36	Faaborg	105000	BDN	5.3	800	151	180	540	102	4.0	021N, (M.p.)
38	Løgstør	55000	BDN+F	2.9	470	162	120	360	124	2.5	0041, 0092, M.p
39	Struer	60000	RECIR+F	4.4	870	198	210	630	143	2.0	
40	Lemvig	55000	RECIR+S	7.2	700	97	275	825	115	2.0	
41	Nr. Nissum	4000	BDN+S	5.3	450	85	125	375	71	2.5	0961 ?
42	Jagerspris	13000	BDN	4.5	800	178	350	1050	233	4.0	M.p., (0803)

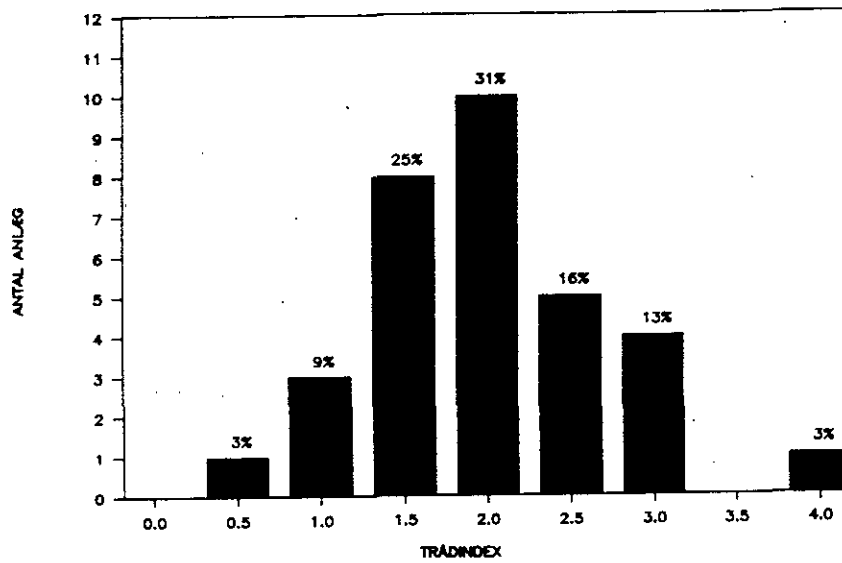
## BUNDFÆLDNINGSPROJEKT

## 3. screeningsrunde, september 1990

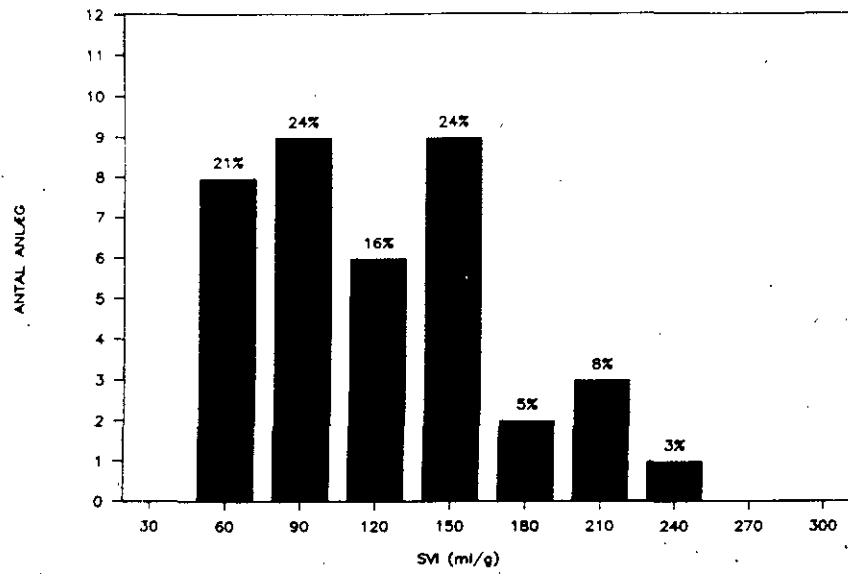
Nr	Navn	PE	Type	SS g/l	SV ml/l	SVI ml/g	FSV 3*FSV		FSVI (1:2) ml/g	TI	Domin. typer
							(1:2) ml/l	ml/l			
1	Frederikssund	33000	BDN	4.2	590	140	140	420	100	3.5	021N, (0041, 0092)
2	Søholt	105000	BDN+S	3.8	230	61	70	210	55	1.5	
3	Aalborg Vest	330000	BDP	3.7	675	182	120	360	97	2.5	M.p., 0041, 0092
7	Mou	1400	OCO	4.7	280	60	70	210	45	1.5	
8	Lyby	6000	OCO	4.6	280	60	90	270	58	1.5	
9	Spjald	4000	OCO	3.5	480	137	140	420	120	1.0	
10	Broager Vig	10000	OCO	3.8	170	45	60	180	47	1.0	
11	Skjern	36600	OCO	3.9	310	79	80	240	62	2.0	M.p., 0092
12	Ålestrup	5000	BDN+S	3.3	300	91	82	246	75	2.0	
13	Stoholm	6000	MOD	8.5	700	83	250	750	89	2.5	M.p., (0092)
14	Trevad	2200	RECIR+S	4.1	800	197	300	900	222	3.0	M.p., (0041)
15	Mønsted	1200	RECIR+S	2.6	225	87				2.0	
16	Trankjær	10000	RECIR+S	5.1	670	131	165	495	97	2.0	M.p.
17	Thrige	5000	BDN+S	2.8	170	61	55	165	59	0.5	
18	Jerslev	3000	RECIR+S	4.5	200	44	61	183	41	1.5	
19	Brønderslev	35000	BDN+S	4.4	230	52	57	171	39		
20	Vadum	4000	BDN	5.6	760	136	145	435	78	2.0	
22	Nørre Aaby	12500	BDP	8.0	550	69	180	540	68	2.0	0041, 0092
23	Hørning	18000	BDP	4.3	250	58	79	237	55	1.0	
24	Åbenrå	85000	BDP	4.8	550	115	140	420	88	2.0	M.p., 0041
25	Ørbæk	12000	BDN+S	5.8	800	138	180	540	93	2.5	0092, (M.p., 0041)
27	Skals	3500	BDN+S	4.5	350	78	125	375	84	2.5	M.p., (0092)
28	Klejtrup	1300	BDN+S	3.4	500	147	150	450	132	3.0	M.p., (0041, 0092)
29	Bjerregrav	4500	BDN+S	4.0	550	137	175	525	131	3.0	M.p., (0092)
30	Karup	9600	BDN+S	3.4	350	103	150	450	132	1.5	
31	Bording	6000	BDN+S	3.9	550	143	175	525	136	3.5	M.p., (0041)
32	Engesvang	5000	BDN+S	4.3	750	174	200	600	140	3.0	M.p., 0041, 1851
33	Vejby	2200	BDN+S	6.6	500	76	120	360	55		
34	Gedsted	3000	BDN+S	5.1	220	43	70	210	41	1.0	
36	Faaborg	105000	BDN	6.6	690	105	140	420	64	1.5	
38	Løgstør	55000	BDN+F	3.3	180	55	86	258	78	1.5	
39	Struer	60000	RECIR+F	4.6	670	146	170	510	111	2.0	0041, 0092, (M.p.)
40	Lemvig	55000	RECIR+S	5.2	550	106	140	420	81	1.5	
41	Nr. Nisum	4000	BDN+S	5.4	470	87	130	390	72	1.5	
42	Jægerspris	13000	BDN	3.5	750	213	300	900	256	4.0	0041, (M.p., 1851)
101	Ejbyhølle	250000	BDP	5.1	920	179	240	720	140	4.0	0041, 0914, (M.p.)
102	Odense NV	85000	BDN+S	4.4	925	210	175	525	119	3.0	0041, 0914, M.p.
103	Odense NØ	40000	BDP	4.1	450	109	120	360	87	2.5	M.p.



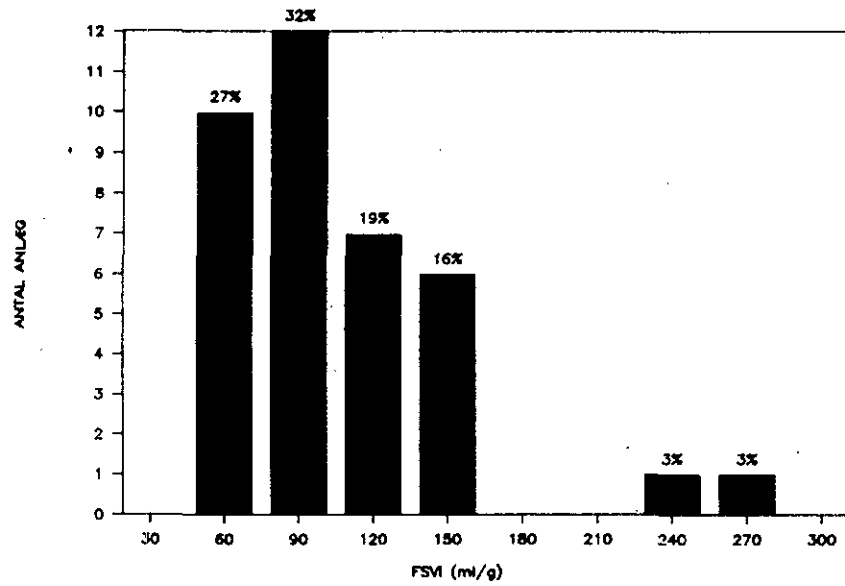
Figur B2.1 Histogram for SVI, screeningrunde 1.



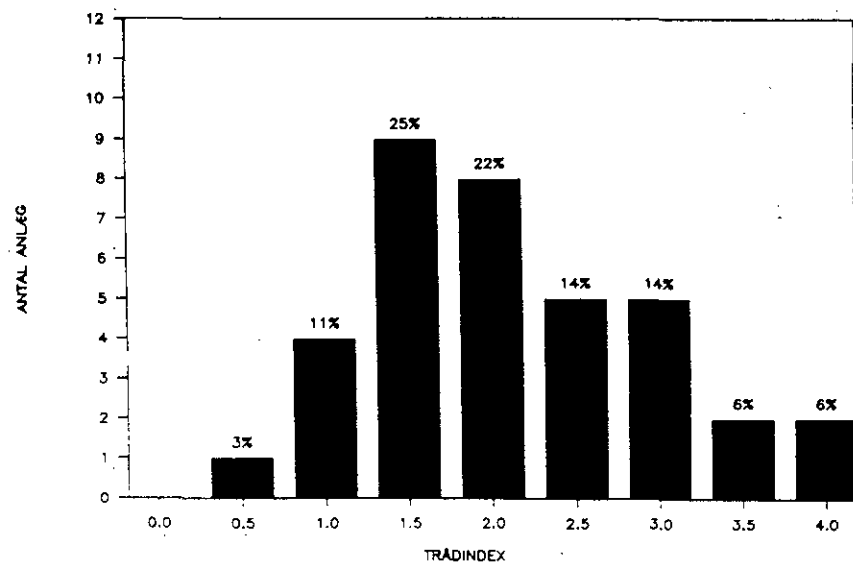
Figur B2.2 Histogram for trådindex, screeningrunde 1.



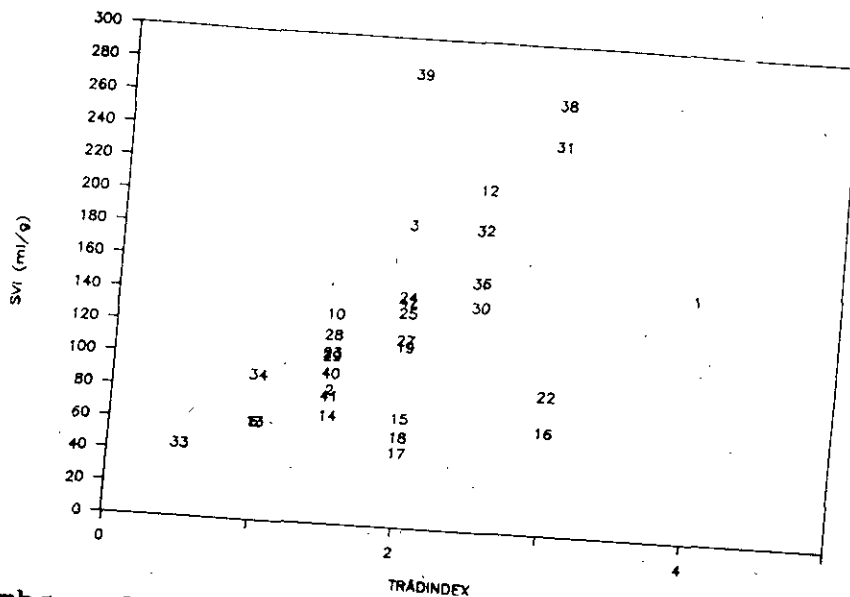
**Figur B2.3** Histogram for SVI, screeningrunde 3.



**Figur B2.4** Histogram for FSVI, screeningrunde 3.



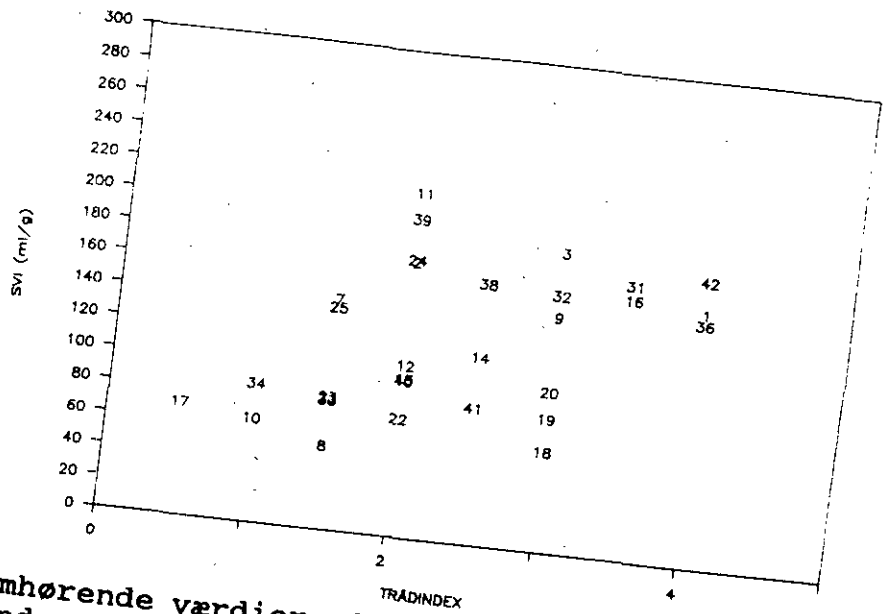
**Figur B2.5** Histogram for trådindex, screeningrunde 3.



Figur B2.6

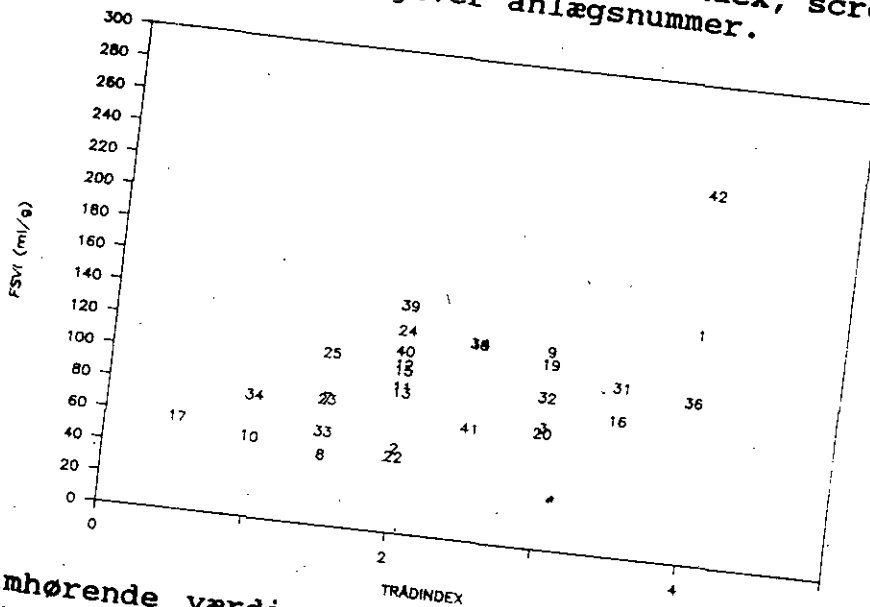
Samhørende værdier af SVI og trådindex, screeningrunde 1. Symbol angiver anlægsnummer.





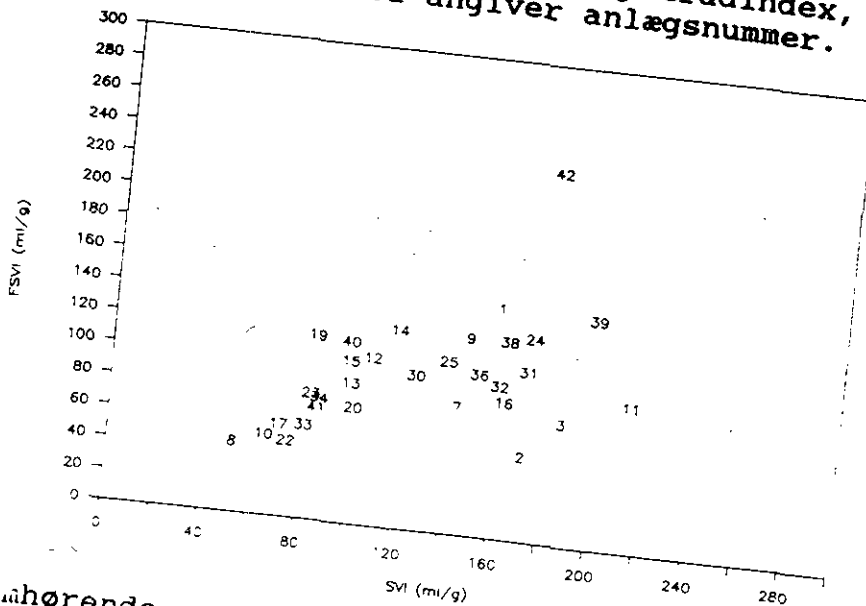
Figur B2.7

Samhørende værdier af SVI og trådindex, screeningrunde 2. Symbol angiver anlægsnummer.



Figur B2.8

Samhørende værdier af FSVI og trådindex, screeningrunde 2. Symbol angiver anlægsnummer.



Figur B2.9

Samhørende værdier af FSVI og SVI, screeningrunde 2. Symbol angiver anlægsnummer.

