

# Desinfectie van zuiveringsslib

## Resultaten van een STORA-onderzoek naar de technologische, economische en hygiënische aspecten

### 1. Inleiding

Het zuiveringsslib dat op rioolwater-zuiveringsinrichtingen wordt geproduceerd, bestaat in hoofdzaak uit organisch materiaal en mineralen zoals stikstof en fosfaat. Hierdoor bezit het slib een belangrijke waarde als meststof. Een aanzienlijk gedeelte van het slib wordt dan ook in de landbouw of op plantsoenen en sportvelden als meststof gebruikt. Uit de NVA slibenquête van 1977 [1] blijkt dat ruim 50 % (op basis van droge stof) van het zuiveringsslib een nuttige bestemming heeft.

TABEL I - Vergelijking desinfectiemethoden.

Desinfectie methoden	Hygiënische betrouwbaarheid	Bemestingswaarde	Schadelijke bijproducten	Eenvoud	Kosten per m <sup>3</sup> slib
1. pasteurisatie	+	+	o	+	f 4,-/f 7,-
2. ioniserende straling	+	+	o	+/-	f 6,-/f 10,-
3. UV-bestraling	+/-	—	—	—	—
4. chloring/ozonisering	+/-	—	—	—	—
5. verbranding	+	—	o	—	f 15,-/f 25,-
6. thermische droging	+	+	o	—	f 25,-/f 45,-
7. thermische conditionering	+	—	o	—	f 6,-/f 8,-
8. chemische conditionering met kalk	+/-	—	—	+	f 4,-/f 7,-
9. compostering	+	+	o	+/-	ca. f 8,-
10. thermofiele stabilisatie	+/-	+	o	—	—

— Verklaring tekens + = goed of eenvoudig  
o = niet schadelijk  
+/- = twijfelachtig  
— = slecht, gecompliceerd of schadelijk

— Kosten: prijsniveau 1972 - 1976, volgens opgave in de literatuur.



IR. J. M. KOPPIUS-ODINK  
Witteveen + Bos raadgevend ingenieursbureau, Deventer



IR. F. W. A. M. RIJNART  
Witteveen + Bos raadgevend ingenieursbureau, Deventer

Op dit moment is de aandacht bij het gebruik van zuiveringsslib voornamelijk gericht op de problematiek van de toxische stoffen zoals pesticiden en zware metalen. Daarnaast bestond er bij de STORA (Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater) behoefte aan meer inzicht in de technologische, hygiënische en economische aspecten van de desinfectie van zuiveringsslib. In opdracht van deze stichting is door Witteveen + Bos hieraan onderzoek verricht. In het kader van deze studie is in eerste instantie een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de verschillende desinfectiemethoden. De resultaten hiervan hebben geleid tot de verdere bestudering van het pasteurisatieproces en toepassing van ioniserende straling. Door middel van een praktijkonderzoek is de werking van een pasteurisatie-installatie onder bedrijfsomstandigheden nagegaan.

Deze publicatie geeft de belangrijkste

resultaten van de studie weer. Voor nadere informatie wordt verwezen naar het STORA-rapport 'Desinfectie van zuiveringsslib' [2].

### 2. Desinfectiemethoden

Het literatuuronderzoek heeft een inventarisatie opgeleverd van de diverse slibbehandelingsmethoden, die een desinfecterende werking hebben.

In tabel I zijn de verschillende methoden samengevat onder vermelding van de voornaamste eigenschappen. Onderscheid wordt gemaakt tussen de methoden, die als belangrijkste doel hebben het slib hygiënisch betrouwbaar te maken (eigenlijke methoden; 1 t.e.m. 4) en de methoden, die primair een ander doel hebben, maar waarbij als neveneffect een bepaalde mate van desinfectie wordt verkregen (oneigenlijke methoden; 5 t.e.m. 10). Bij de vergelijking blijkt, dat het pasteurisatieproces op dit moment de meest geschikte methode moet worden geacht voor de desinfectie van zuiveringsslib. Het toepassen van ioniserende straling is een methode, die in de toekomst wellicht een bruikbaar alternatief kan zijn. Deze twee methoden worden daarom nader behandeld.

#### 2.1. Pasteurisatie

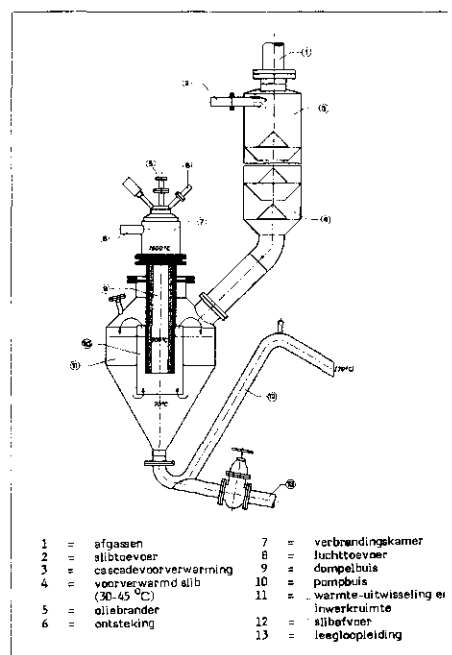
Pasteurisatie van zuiveringsslib beoogt het

vernietigen van pathogene organismen door middel van warmtebehandeling. Het resultaat is afhankelijk van temperatuur en tijdsduur. In het algemeen worden voor d procesomstandigheden een temperatuur v 65-70 °C en een tijdsduur van 20-30 minu als minimum voorwaarden voor een hygiënisch betrouwbaar produkt aangegeven. Ook andere temperatuur-tijdcombinaties worden toegepast.

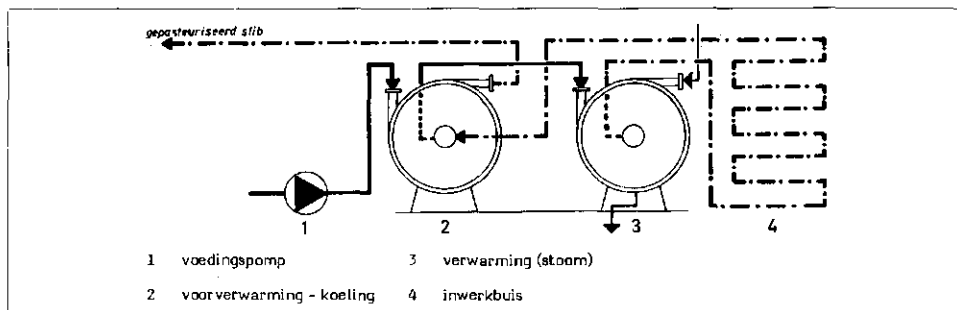
Tevens hebben factoren als turbulentie, deeltjesgrootte, eventuele kortsluitstromen en stabiliteit van het pasteurisatieproces een belangrijke invloed op de desinfectie. In de literatuur is tot dusver nauwelijks gerapporteerd over de effectiviteit van de pasteurisatie-installaties.

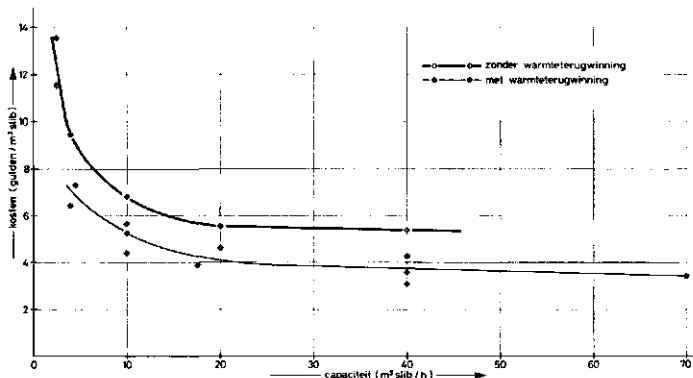
Pasteurisatie van zuiveringsslib wordt voornamelijk in Zwitserland en ook in West-Duitsland toegepast. In Nederland is één

Afb. 2 - Slibpasteurisatie, systeem dompelbrander [4].



Afb. 1 - Slibpasteurisatie, systeem Alfa Laval [3].





afb. 3 - Totale kosten van slibpasteurisatie per m<sup>3</sup> slib (prijsspeil maart 1978).

pasteurisatie-installatie in gebruik (rwzi Almelo-Vissedijk).

De belangrijkste onderdelen van een pasteurisatie-installatie zijn de verwarmingsruimte, de reactieruimte en de koelruimte. In vele gevallen vindt warmte-terugwinning plaats door warmte-uitwisseling tussen het ingaande en uitgaande slib.

In de praktijk kunnen voor het verwarmen van het slib drie methoden worden onderscheiden:

1. Directe warmte-overdracht door middel van stoominjectie. De hoge turbulentie zorgt voor een snelle en volledige opwarming van het slib. Ondermeer bij de Roediger- (zie afb. 9) en Canzler systemen wordt stoominjectie toegepast.

2. Indirecte warmte-overdracht via een warmtewisselaar door middel van stoom of water. Tengevolge van de niet homogene warmte-overdracht kan een onvolledige verwarming van vooral grotere deeltjes plaatsvinden. De kans bestaat dat korstvorming aan het warmte-uitwisselingsoppervlak optreedt. Onder andere wordt dit verwarmingsprincipe bij de systemen volgens Alfa Laval [3] (zie afb. 1) en Klöckner toegepast.

3. Directe toevoer van verbrandingsgassen naar het slib. Bij dit proces voorkomt men warmteverliezen in de stoomketel of warmwaterketel. De Dompelbrander [4] (zie afb. 2) is hiervan een voorbeeld.

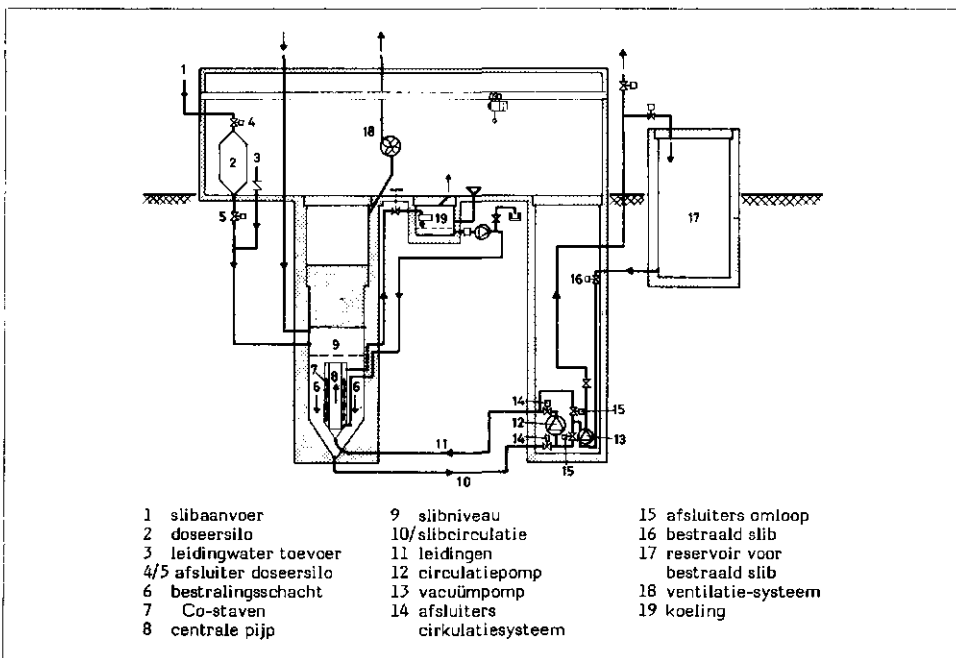
De reactieruimte kan zowel ladingsgewijs als continu worden gevoed. Kleinere installaties hebben vaak een ladingsgewijze bedrijfsvoering. Parallele schakeling van ladingsgewijs bedreven reactoren resulteert in een semi-continu bedrijf. Bij continue doorstroming moet evenwel veel aandacht worden besteed aan de verblijftijd, de afsluitstromen en grote verblijftijdverminderingen moeten worden voorkomen. De koeling van het slib geschiedt veelal met koudwater in een warmtewisselaar. Ook vacuümverdamping wordt wel toegepast.

Het energieverbruik is afhankelijk van het verschil tussen de temperatuur van het uitgangsprodukt — eventueel na voorverwarming — en de pasteurisatietemperatuur en van het thermisch rendement van het systeem. Systemen zonder warmte-terugwinning gebruiken circa 250 tot 350 x 10<sup>3</sup> kJ per m<sup>3</sup> behandeld slib. Met warmte-terugwinning is de energiebehoefte ongeveer 130 tot 200 x 10<sup>3</sup> kJ per m<sup>3</sup> behandeld slib.

De exploitatiekosten van systemen met warmte-terugwinning liggen, afhankelijk van de capaciteit, tussen f 3,50 en f 7,— per m<sup>3</sup> behandeld slib (prijsspeil 1978). Bij installaties met een capaciteit kleiner dan 4 m<sup>3</sup> per uur (circa 55.000 i.e.) past men geen warmte-terugwinning toe. Zonder warmte-terugwinning is de pasteurisatie circa f 1,— tot f 1,50 duurder (zie afb. 3).

De totale jaarlijkse kosten bestaan voor circa 45 - 55 % uit kapitaalslasten, voor

Afb. 4 - Bestralingsinstallatie te Geiselbullach [5].



TABEL II - Kenmerken van de desinfectiemethoden met ioniserende straling.

	<sup>60</sup> Co-bestraling	Thermobestraling	Elektronenbestraling
min. voorwaarde voor hygiënische betrouwbaarheid stralingsbron	300 krad radioactieve <sup>60</sup> Co-staven	in onderzoek <sup>137</sup> Cs uit radioactieve kernsplittingsproducten	300 krad elektriciteit
energievorm	γ-straling	γ-straling + warmte	β-straling
energieverbruik	permanent	straling: permanent, warmte bij installatie in bedrijf	bij installatie in bedrijf
veiligheidsmaatregelen	kostbaar	kostbaar	weinig kosten
bouwkosten	hoog	hoog	laag
bedrijfskosten	nog geen vergelijking mogelijk	nog geen vergelijking mogelijk	nog geen vergelijking mogelijk

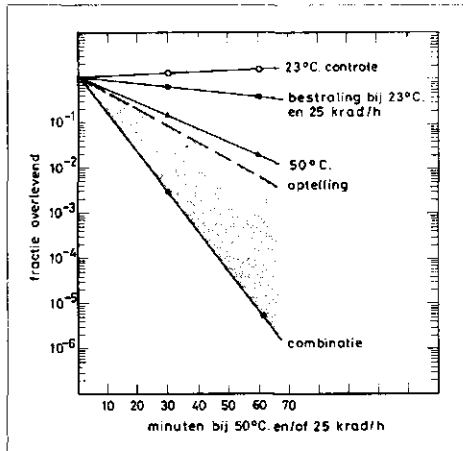
15 - 35 % uit brandstofkosten en voor 15 - 25 % uit overige bedrijfskosten.

2.2. Ioniserende straling

Zowel bèta- (elektronen-) als gammastraling (<sup>60</sup>Co en <sup>137</sup>Cs) kunnen voor de desinfectie worden gebruikt. Een combinatie van gammastraling (<sup>137</sup>Cs-bron) en een warmtebehandeling wordt eveneens toegepast (thermobestraling).

In tabel II worden de systemen vergeleken.

Bij deze systemen wordt het slib gedurende een bepaalde tijd bestraald. Het slib wordt in continu doorstroomde reactoren slechts in dunne lagen blootgesteld aan de straling, omdat de indringdiepte van de straling gering is. In ladingsgewijs bedreven reac-



Afb. 5 - Inactivatie *E.coli* in bouillon bij 25 krad/h en 50 °C [6].

toren wordt het slib gedurende een bepaalde tijd langs een stralingsbron geleid. De desinfecterende werking van deze methoden is goed. Bij een dosis van minimaal 3000 Gy (300 krad) bedraagt de reductie voor Enterobacteriaceae 5 tot 7 decimalen. Zuiver technologisch beschouwd zijn er weinig problemen voor een toepassing op praktijkschaal, maar de veiligheidsaspecten eisen bijzondere aandacht.

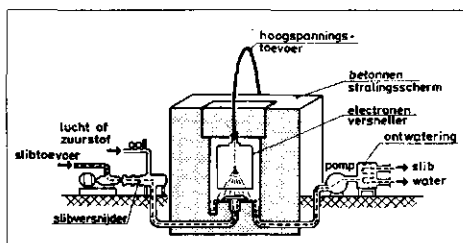
Onderzoek naar de toepassing van ioniserende straling vindt tot dusver in hoofdzaak plaats in de volgende proefinstallaties:

- Geiselbullach, West-Duitsland. De installatie, die sinds 1975 in bedrijf is, heeft een capaciteit van 110 m<sup>3</sup> slib per dag. De stralingsdosis bedraagt 3.000 Gy (300 krad).

In afb. 4 is het processchema van de installatie weergegeven. De voeding is ladingsgewijs. Door het slib rond te pompen wordt in de reactor een goede menging verkregen [5].

- Albuquerque, Verenigde Staten. In de Sandia Laboratories wordt de desinfectie van slib onderzocht door thermobestraling (<sup>137</sup>Cs-bron en warmte). Uit microbiologische onderzoeken blijkt, dat een synergistisch desinfecterend effect optreedt door een dergelijke behandeling. Het huidige onderzoeksprogramma moet leiden tot het ontwikkelen van een proefinstallatie met een capaciteit van ongeveer 380 m<sup>3</sup> slib per dag (continue bedrijfsvoering).

Afb. 6 - Bèta-stralingsdesinfectiesysteem [7].



Ter illustratie is in afb. 5 het effect van thermobestraling op *Escherichia coli* weergegeven [6].

- Boston, Verenigde Staten.

In het Massachusetts Institute of Technology wordt desinfectie door middel van bèta-straling toegepast. De straling kan met behulp van elektriciteit in een elektronenversneller worden opgewekt. Het laboratoriumonderzoek richt zich op factoren als indringdiepte, bestralingstijd en -dosis, energiebehoefte, veiligheid en flexibiliteit, met als doel een proefinstallatie te ontwerpen voor de desinfectie van 400 m<sup>3</sup> slib of afvalwater per dag.

In afb. 6 wordt een schema van een bèta-stralingsinstallatie gegeven. De benodigde stralingsdosis wordt op 4000 Gy (400 krad) gesteld [7].

Men schat de exploitatiekosten van de bovengenoemde methoden met ioniserende straling op dit moment 1,5 tot 2,5 maal zo hoog als voor pasteurisatie. Er zijn verder nog geen praktische toepassingen bekend. Of deze nieuwe methoden op het gebied van de desinfectie van slib binnen afzienbare tijd tot ruime toepassing komen, is niet alleen een economisch-technologisch, maar ook een maatschappelijk vraagstuk.

### 3. Hygiënische aspecten van zuiverings-slib

Ruw zuiverings-slib bevat grote hoeveelheden virussen, bacteriën, protozoën en wormeieren. Als gevolg van slibgisting en aërobe stabilisatie vindt een belangrijke reductie van het aantal kiemen plaats of neemt de levensvatbaarheid af; een kiemvrij eindproduct bereikt men echter niet [8] (zie afb. 7).

De bij onderzoeken gebruikte beoordelingscriteria voor de hygiënische betrouwbaarheid zijn niet eenduidig. Bovendien worden door de onderzoekers vaak slechts één of enkele indicator-organismen onderzocht om het desinfecterend vermogen van een behandelingsmethode te toetsen. De gebruikte indicator-organismen kunnen bij de vergelijking van de alternatieve desinfectiesystemen aanleiding geven tot arbitraire uitkomsten; de diverse organismen reageren namelijk nogal verschillend per behandelingsmethode.

Tot nu toe zijn er in Duitsland, Zwitserland en ook in Nederland [9] richtlijnen opgesteld voor het gebruik van zuiverings-slib in de landbouw. Niet gedesinfecteerd zuiverings-slib mag slechts gedurende bepaalde fasen van de teelt- en weidecyclus voor bemestingsdoeleinden worden gebruikt; voor gedesinfecteerd slib geldt deze beperking niet.

#### 3.1. Nagroei en herinfectie

Onder nagroei wordt verstaan het weer tot

ontwikkeling komen van overlevende kiemen in gedesinfecteerd slib. Herinfectie daarentegen ontstaat door het contact van gedesinfecteerd slib met een hygiënisch onbetrouwbaar product.

In de literatuur is tot nu toe weinig of geen aandacht besteed aan aspecten als na groei en herinfectie. Het belang van deze problematiek wordt in het STORA-onderzoek benadrukt en is mede door de praktijkervaringen bevestigd.

In 1978 zijn in Zwitserland pasteurisatie-installaties stilgelegd in verband met hoge gehalten aan pathogene kiemen in het gepasteuriseerde slib. Aangenomen wordt dat deze hoge concentraties het gevolg zijn geweest van nagroei of herinfectie.

Herinfectie en/of nagroei kunnen op diverse plaatsen optreden:

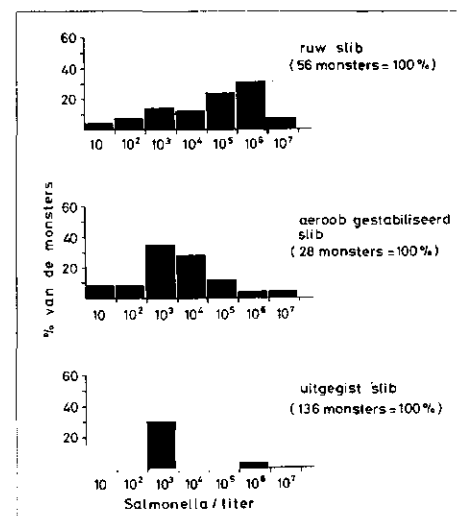
a. In de installatie zelf.

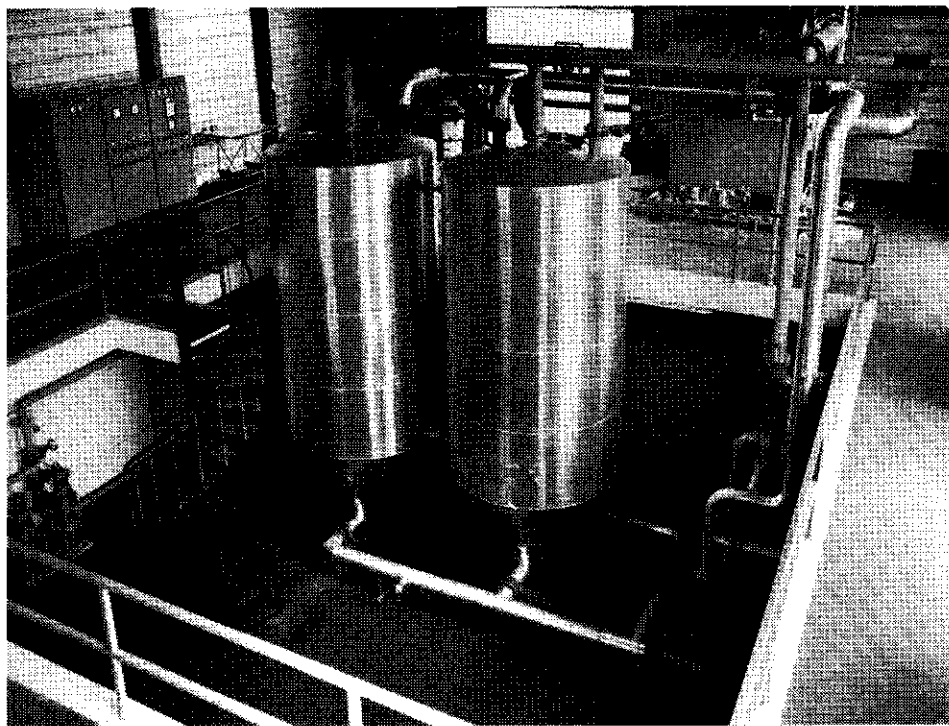
Niet gepasteuriseerd slib kan in contact komen met reeds gepasteuriseerd slib via afsluiters, leidingen, pompen en het koelsysteem. In dode hoeken of tegen de wanden kan ontkieming optreden. Deze infectiehaarden zijn moeilijk te verwijderen. De temperatuur in deze gedeelten van de installatie is vaak ideaal voor de groei van pathogene bacteriën (35 - 45 °C).

b. Tijdens de opslag.

In de opslag tanks kan nagroei optreden al gevolg van de aanwezigheid van onvolledig gepasteuriseerd slib dat een nog relatief hoge temperatuur heeft. Het is voorgekomen dat het gepasteuriseerde slib na een opslag van 2 - 3 dagen weer volledig was geïnfecteerd. De oorzaak van deze herinfectie wordt vooral gezocht in de op slag tanks, waar onder andere door aerosolen of contact met niet of slecht gepasteuriseerd slib, nagroei kan optreden. Een andere reden kan zijn, dat in de winter meestal niet wordt gepasteuriseerd, omdat

Afb. 7 - Procentuele verdeling van de monsters naar het *Salmonella*-gehalte per liter [8].





fb. 8 - Pasteurisatie-installatie rwzi Almelo-Vissedijk.

e kans op contaminatie dan minimaal wordt geacht. Voor de opslag worden echter vaak dezelfde tanks gebruikt.

. Tijdens het transport.

Het slib kan tijdens het transport in contact komen met niet gedesinfecteerde stalmest, die vaak met dezelfde transportmiddelen wordt vervoerd.

. Op het land.

Vanwege in de winter veelal niet wordt gepasteuriseerd en de micro-organismen die zeer lang in het slib kunnen handhaven, kan het gepasteuriseerde slib in contact met ongepasteuriseerd slib op het land komen. In de praktijk wordt bovendien vaak slib in combinatie met ongepasteuriseerd slib toegepast, waardoor infecties kunnen optreden.

**Praktijkonderzoek**

In Nederland is op dit moment één pasteurisatie-installatie in gebruik. Deze bevindt zich op de rwzi Almelo-Vissedijk (zie afb. 8). De installatie, die sinds 1973 operationeel is, is van het fabrikaat Roediger. Dit type pasteurisatie-installatie wordt op het moment het meest toegepast.

Het praktijkonderzoek is voornamelijk gericht op de hygiënische aspecten van de pasteurisatie, waarbij speciale aandacht is besteed aan de controle van de installatie over een langere periode.

Eveneens zijn fysische en chemische analyses verricht om de invloed van de pasteurisatie op de eigenschappen van het slib na te gaan.

**4.1. Procesomstandigheden van de pasteurisatie-installatie**

De installatie wordt ladingsgewijs bedreven. Er vindt geen warmte-terugwinning plaats. De belangrijkste installatie-onderdelen zijn (zie afb. 9) [10]:

- pasteurisatietanks (inhoud 9 m<sup>3</sup> per stuk);
- koeler (met behulp van effluent in een warmtewisselaar);
- pomp ten behoeve van het vullen en het verwarmen (capaciteit 90 m<sup>3</sup>/h);
- pomp ten behoeve van het koelen en het ledigen (capaciteit 90 m<sup>3</sup>/h);
- stoomketel;
- waterontharder;
- stoominjector.

De installatie werkt als volgt:

Eén pasteurisatietank wordt gevuld met 9 m<sup>3</sup> aëroob gestabiliseerd slib. Vanuit de tank wordt het slib langs de stoominjector

gecirculeerd, zodat het slib met stoom wordt verwarmd en opgemengd. Het vullen en circuleren tijdens het opwarmen geschiedt met dezelfde pomp. Zodra het slib een temperatuur van 70 °C heeft bereikt (na 15 - 20 minuten) blijft het slib gedurende 20 minuten op deze temperatuur. Daarna wordt het slib gekoeld tot circa 35 °C door de inhoud van de pasteurisatieruimte gedurende 40 minuten met dezelfde pomp langs de koeler te circuleren.

Het gepasteuriseerde slib wordt via de koeler afgevoerd naar de opslagtanks. Tijdens het koelen en afvoeren van het slib uit de eerste pasteurisatietank vindt het vullen, opwarmen en inwerken van de andere tank plaats.

Per dag worden gemiddeld vier ladingen slib per pasteurisatieruimte verwerkt, zodat gemiddeld 72 m<sup>3</sup> slib per dag wordt gehandeld.

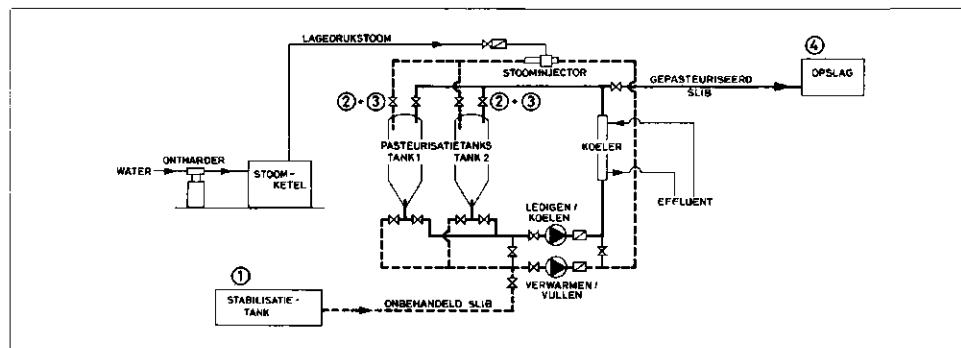
Het te pasteuriseren slib bereikt in de afgedekte aërobe stabilisatietanks reeds een temperatuur van 40 tot 45 °C ten gevolge van het biologische afbraakproces. De bedrijfsvoering van de pasteurisatie-installatie is volledig geautomatiseerd.

De pasteurisatie-installatie wordt slechts gedurende de zomermaanden (april t/m oktober) gebruikt. In de wintermaanden (november t/m maart) gaat het slib ongepasteuriseerd naar de opslagtanks. Aan het einde van de pasteurisatieperiode wordt de installatie met behulp van heet water en een soda-oplossing gereinigd en gedesinfecteerd.

**4.2. Methoden van onderzoek en resultaten**

Het programma voor het microbiologische onderzoek is opgesteld en uitgevoerd in samenwerking met het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid (RIV) te Bilthoven. Voor de algemene controle van de desinfecterende werking van de pasteurisatie is de bacteriefamilie van de Enterobacteriaceae gekozen. Deze familie geldt namelijk als de beste indicator voor het effect van een warmtebehandeling op de vernietiging van pathogene organismen.

Afb. 9 - Slibpasteurisatie rwzi Almelo-Vissedijk, systeem Roediger [10].



Het gehele pasteurisatie-proces is gedurende een periode van 3 maanden gemiddeld 2 x per week gecontroleerd. Op verschillende plaatsen tijdens het proces is de concentratie van de indicator gevolgd (duuronderzoek). Enkele monsters van het onderzoek zijn enige tijd bij verschillende temperaturen bewaard om na te gaan of nagroei optrad. Enige monsters zijn uitgebreider onderzocht. Naast de indicatorgroep is het gedrag van een aantal andere organismen gevolgd. Dit detailonderzoek is vijfmaal gedurende het onderzoek verricht.

De resultaten worden weergegeven als de  $10^{\log}$  van het aantal bacteriën per ml slib, afgerond op een geheel getal.

Wanneer de ingezette verdunning niet de juiste verdunning bevatte om het gehalte te bepalen of wanneer het gehalte kleiner was dan de onderste detectiegrens, is dit aangegeven als groter of kleiner dan de uiterste waarde.

De monsternamen geschiedde op een viertal plaatsen in het proces te weten (zie afb. 9):

1. aanvoer
2. na pasteurisatie (2 x)
3. na koeling (2 x)
4. opslag.

#### 4.2.1. Duuronderzoek

In afb. 10 zijn de resultaten van het duuronderzoek weergegeven. Voor de gedetailleerde gegevens wordt verwezen naar het STORA rapport [2]. Het onderzoek is begonnen op het moment dat de installatie werd opgestart voor de nieuwe pasteurisatieperiode.

De grafiek geeft het volgende beeld:

- Direct na de pasteurisatie zijn geen Enterobacteriaceae gevonden.
- In de eerste weken trad een ernstige

besmetting op in de installatie. De hygiënische kwaliteit van het gekoelde gepasteuriseerde slib viel terug op het niveau van het uitgangsprodukt. Na drie weken is een wijziging aangebracht in de bedrijfsvoering van de pasteurisatie-installatie.

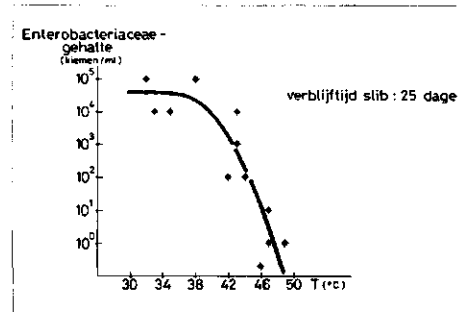
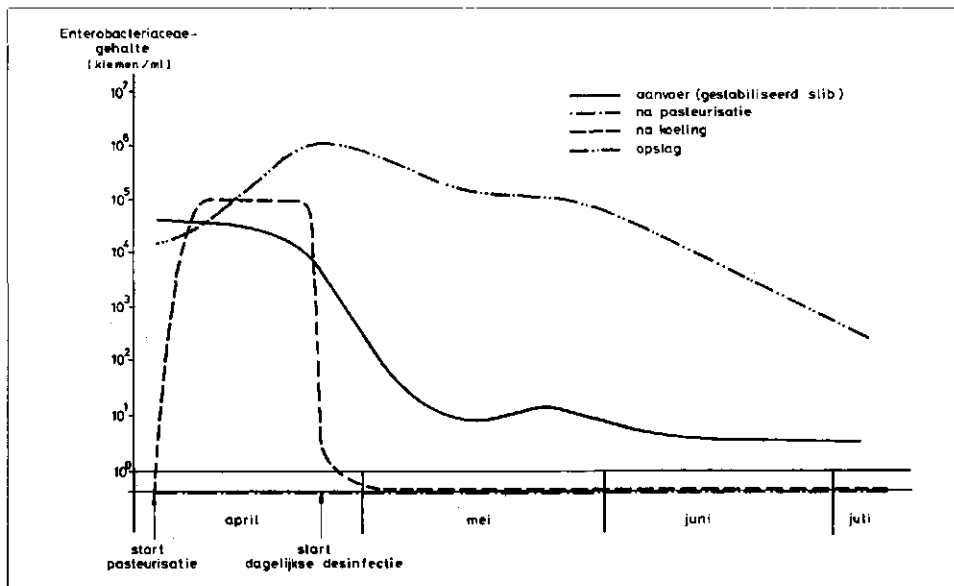
Tijdens de eerste pasteurisatiecyclus van iedere dag wordt het slib gedurende de gehele opwarm- en inwerkperiode ook door het koelsysteem gepompt, terwijl de koeling buiten bedrijf is. Als gevolg hiervan worden het koelsysteem en de leidingen gedurende 20 minuten op 70 °C gehouden, zodat eventueel aanwezige herinfectiebronnen in dit systeem dagelijks worden vernietigd.

— Nadat het koelsysteem éénmaal per dag op een temperatuur is gebracht van 70 °C gedurende 20 minuten, treedt geen herinfectie op en blijft het Enterobacteriaceae-gehalte nagenoeg altijd kleiner dan 1 kiem per ml.

— Het onbehandelde slib afkomstig uit de stabilisatietank had in de beginperiode een Enterobacteriaceae-gehalte van  $10^4$ - $10^5$  kiemen per ml. In de loop van het seizoen steeg de temperatuur in de stabilisatietank. Daardoor is het gehalte aan Enterobacteriaceae tot  $10^0$ - $10^2$  kiemen per ml gedaald.

— Aan het begin van de pasteurisatieperiode bevatte de opslagtank ongepasteuriseerd slib. Het Enterobacteriaceae-gehalte hiervan was circa  $10^4$ - $10^5$  kiemen/ml. Na toevoeging van gepasteuriseerd slib verminderde dit gehalte — na een stijging tot  $10^6$  kiemen/ml als gevolg van de toevoeging van geïnfecteerd slib — enigszins door verdunning. Er is nauwelijks sprake van nagroei in de opslagtank, hoewel de temperatuur hiervoor in deze tank vrijwel optimaal is (30-40 °C). Wanneer niet het gehele jaar wordt gepasteuriseerd, zal men

Afb. 10 - Enterobacteriaceae-gehalte in het slib van de rwzi Almelo-Vissedijk (april-juli 1978).



Afb. 11 - Enterobacteriaceae-gehalte in stabilisatietank als functie van temperatuur (rwzi Almelo-Vissedijk).

extra aandacht moeten besteden aan de opslag van het gepasteuriseerde slib. Verdunning van ongepasteuriseerd slib met gepasteuriseerd slib is weinig zinvol. De gehalten aan (pathogene) bacteriën blijven hoog.

In afb. 11 is de relatie tussen de temperatuur en het Enterobacteriaceae-gehalte in de stabilisatietank weergegeven zoals die in de praktijk is gevonden. Dit effect komt geheel voor rekening van de aerobe stabilisatie, wat blijkt uit het feit dat het aantal kiemen in de toevoer (indikker) ongewijzigd is gebleven (circa  $10^6$  kiemen/ml).

Uit afb. 11 blijkt dat een nagenoeg volledige vernietiging van Enterobacteriaceae kiemen wordt verkregen bij temperaturen hoger dan 50 °C en een verblijftijd van 25 dagen

Om te onderzoeken of nagroei van Enterobacteriaceae in het gepasteuriseerde of gekoelde slib kan optreden, zijn enkele monsters gedurende 1 - 2 weken in goed afgesloten monsterflesjes bewaard bij 4 °C, 20 °C en 37 °C. Het bewaren bleek nauwelijks invloed te hebben op het Enterobacteriaceae-gehalte van het slib. In het gepasteuriseerde slib (al of niet gekoeld) trad niet opnieuw een groei op van Enterobacteriaceae (behalve in één monster slib na koeling).

Het bewaren van slib uit de opslagtank gedurende 2 weken leverde evenmin een duidelijke vermeerdering of vermindering van het Enterobacteriaceae-gehalte op.

#### 4.2.2. Detailonderzoek

Gedurende de loop van het duuronderzoek is vijfmaal een meer gedetailleerd onderzoek verricht naar de aanwezigheid van bacteriën en wormeieren in het slib.

Hierbij zijn onderzocht:

- Enterobacteriaceae
- faecale streptococci
- sulfietreducerende clostridia
- aëroob kiemgetal
- wormeieren: *Ascaris*; *Trichuris*; *Taenia Strongilus*; *Toxocara*; *Fasciola hepatica*.

De resultaten hiervan zijn weergegeven in

abel III. De resultaten van 78-04-13 hebben etrekking op de bedrijfsvoering waarbij het oelsysteem nog niet is gedesinfecteerd. Bij e overige meetdagen is het koelsysteem agelijks gedesinfecteerd.

erschillende methoden gevolgd. De eerste wee keer (78-04-13 en 78-05-08) is alleen

het aantal eieren per 100 ml bepaald. Daarna is besloten tevens de levensvatbaarheid van de eieren van *Ascaris* te onderzoeken. Bij het tellen worden namelijk ook de onbevuchte of de gedode eieren meegeteld, zodat deze waarden weinig informatie geven. Van de overige soorten wormeieren bleken er zo weinig aanwezig te zijn, dat

verder onderzoek naar de levensvatbaarheid niet mogelijk was.

De aantallen eieren per monster waren zo gering dat is besloten de vier monsters slib na pasteurisatie en na koelen samen te voegen (circa 600 ml slib). Dit is mogelijk omdat de eieren in het slib niet tot ontwikkeling kunnen komen, aangezien hiervoor een geschikte gastheer noodzakelijk is. De bepaling van de levensvatbaarheid geschiedt gewoonlijk in drie fasen. Eerst wordt bepaald of de eieren bevrucht zijn. Vervolgens wordt nagegaan of de eieren tot ontwikkeling kunnen komen. Tenslotte wordt met behulp van dierproeven bepaald of de ontwikkelde larven infectief zijn. De aantallen bevruchte *Ascariseieren* waren zo gering dat slechts een voorlopige conclusie mogelijk is. De monsters van 78-05-22 zijn bij 37 °C geïncubeerd, die van 78-06-13 en 78-07-04 bij 28 °C. In geen van de monsters is een verschil in de structuur van de bevruchte eieren waargenomen vóór en ná een incubatie van 3 weken. Geen van de eieren was dus levensvatbaar zodat de dierproeven achterwege konden blijven. Of de stabilisatiecondities alleen reeds voldoende zijn om de wormeieren te vernietigen kon niet worden bepaald, omdat de toevoer van de stabilisatietank niet is bemonsterd.

Uit het onderzoek naar het gehalte aan faecale streptococci blijkt, dat hetzelfde beeld wordt verkregen als bij de *Enterobacteriaceae*. De desinfectie is eveneens nagenoeg volledig en er treedt geen nagroei op wanneer iedere dag het koelsysteem wordt gedesinfecteerd. Sulfietreducerende clostridia zijn sporevormende bacteriën. Dit verklaart waarom deze bacteriën vrij ongevoelig blijken te zijn voor hoge temperaturen. Een vermindering van het gehalte is dan ook nauwelijks opgetreden. Door de hittebehandeling vermindert het aëroob kiemgetal met een factor 100 - 1000. Er blijft een groot aantal (circa 10<sup>4</sup> kiemen/ml) voornamelijk thermoresistente bacteriën aanwezig.

4.2.3. Fysisch-chemisch onderzoek  
Tijdens het onderzoek zijn enige fysische en chemische bepalingen uitgevoerd om een indruk te verkrijgen van de condities tijdens het pasteurisatieproces. Hieruit kan worden nagegaan of de slibeigenschappen van invloed zijn op het desinfecterend vermogen. Tevens is te bepalen of het pasteurisatieproces de eigenschappen van het slib verandert. De temperatuur van de pasteurisatie is op een goed constant niveau gehandhaafd en het droge stof gehalte varieerde ook slechts weinig (2,5 - 3,2 % d.s.), zodat kan worden gesteld dat de pasteurisatie-condities

ABEL III - Bacteriën en wormeieren in slib.

oort	Datum	Onbehandeld slib	Slib na pasteurisatie		Slib na koeling		Opslagtank
			tank 1	tank 2	tank 1	tank 2	
nterobac- riaceae %log/ml)	78-04-13	4	<0	<0	5	6	5
	78-05-08	0	<0	<0	<0	<0	4
	78-05-22	0	<0	<0	<0	<0	4
	78-06-12	0	<0	<0	<0	<0	4
	78-07-03	1-2	<0	<0	<0	<0	2
ecale reptococci %log/ml)	78-04-13	2-3	<0	<0	0-2	2-3	4
	78-05-08	1-2	<1	<0	0-1	<1	3
	78-05-22	1-2	<0	<0	0-1	<0	2
	78-05-12	2	1-2	<2	<1	<2	2
	78-07-03	1-2	<1	<0	<0	<0	0
ulfietredu- erende ostridia %log/ml)	78-04-13	4	3	3	3	3	4
	78-05-08	5	4	4	4	4	4
	78-05-22	4	3	3	4	3	3
	78-06-12	4	3	3	3	0	5
ëroob kiem- stal %log/ml)	78-04-13	7	4	4	5	5	6
	78-05-08	7	4	4	5	4	5
	78-05-22	6	4	3	4	4	4
	78-06-12	6	4	3	4	4	7
	78-07-03	6	4	3	4	4	6
<hr/>							
/ormeieren er 100 ml							
scaris	78-04-13	78	2	7	—	1	—
	78-05-08	42	11	1	11	1	6
evrucht/ bevrucht	78-05-22	2 / 5			— / 0,5		1 / 4
	78-06-12	3 / 44			1 / 12		— / 3
	78-07-03	8 / 140			0,3 / 4		— / 9
aenia	78-04-13	—	—	—	—	—	—
	78-05-08	—	—	—	—	—	—
	78-05-22	—	—	—	—	—	1
	78-06-12	1	—	—	—	—	2
	78-07-03	—	—	—	—	—	—
oxocara	78-04-13	1	—	1	—	2	—
	78-05-08	—	—	—	—	—	—
	78-05-22	—	—	—	—	—	—
	78-06-12	—	—	—	—	—	—
	78-06-03	—	—	—	—	—	—
ichuris	78-04-13	—	—	—	—	3	—
	78-05-08	—	—	—	—	—	—
	78-05-22	—	—	—	—	—	1
	78-06-12	1	—	—	—	—	2
	78-07-03	—	—	—	—	—	—
rongilus	78-04-13	2	—	—	—	1	1
	78-05-08	—	—	1	—	1	2
	78-05-22	1	—	—	—	—	—
	78-06-12	—	—	0,3	—	—	—
	78-07-03	1	—	—	—	—	—
isciola patica	78-04-13	—	—	—	—	—	—
	78-05-08	—	—	—	—	—	—
	78-05-22	—	—	—	—	—	—
	78-06-12	1	—	—	—	—	—
	78-07-03	—	—	—	—	—	—

bacteriën: 10 log aantal kiemen/ml  
ormeieren: aantal per 100 ml  
— = niet aanwezig.

nauwelijks wijzigden tijdens de duur van het onderzoek.

De koeling werkt minder gelijkmatig en heeft onvoldoende capaciteit om het slib te koelen tot de in het algemeen toegepaste waarden van circa 35 °C.

De temperatuur van het toegevoerde slib varieert afhankelijk van de warmte-ontwikkeling in de stabilisatietank. Doordat de meeste warmte die wordt ontwikkeld tijdens de stabilisatie (door de afdekking van de stabilisatietank) in het slib wordt vastgehouden, is het energieverbruik voor de pasteurisatie circa 40 % lager dan wanneer het slib de omgevingstemperatuur zou hebben gehad. Ook is de volumetoename tengevolge van de stoomtoevoer lager. De indamprest en het CZV-gehalte van het gekoelde slib is door de stoomtoevoer 8-10 % lager dan in het gestabiliseerde slib. Het CZV-gehalte en het NH<sub>4</sub>-gehalte in het filtraat werden echter enigszins hoger (3 - 5 %) tijdens de pasteurisatie en de koeling. Er gaat dus wel enige vaste stof in oplossing.

#### 4.3 Conclusies praktijkonderzoek

1. In de installatie te Almelo-Vissedijk zijn direkt na pasteurisatie geen Enterobacteriaceae gevonden. De pasteurisatie-condities zijn voldoende voor de vernietiging van Enterobacteriaceae.
2. Wanneer de gehele installatie iedere dag tijdens de eerste pasteurisatiecyclus wordt gedesinfecteerd, wordt herinfectie in de installatie zelf vermeden.
3. Nagroei is in het gepasteuriseerd slib, dat gedurende 1 - 2 weken bij verschillende temperaturen is bewaard, nauwelijks of niet opgetreden. Hetzelfde geldt voor het slib uit de opslagtank.
4. De hoge gehalten aan kiemen, die nog in de opslagtank zijn gevonden, zijn het gevolg van de aanwezigheid van ongepasteuriseerd slib in de tank. Aandacht moet worden besteed aan de opslag van gepasteuriseerd slib, met name wanneer er niet het gehele jaar wordt gepasteuriseerd. Een goede desinfectiemethode behoeft nog geen waarborg voor een hygiënisch betrouwbaar produkt te zijn, wanneer aan de omgevingscondities (besmettingsplaatsen in het systeem, opslag en dergelijke) niet de nodige zorg wordt besteed.
5. Over de reductie van levensvatbare bevruchte wormeieren kan geen uitspraak worden gedaan. Het ingangsprodukt (gestabiliseerd slib) bevatte al geen levensvatbare wormeieren.
6. Tijdens de aërobe slibstabilisatie treedt al een belangrijke reductie van Enterobacteriaceae op. Het effect is vooral afhankelijk van de temperatuur.

#### 5. Slotbeschouwing

— Niet gedesinfecteerd zuiveringsslib mag slechts gedurende bepaalde fasen van de teelt- en weidecyclus voor bemestingsdoel-einden worden gebruikt; voor gedesinfecteerd slib geldt deze beperking niet.

— Van de desinfectiemethoden voor zuiveringsslib zijn op dit moment de pasteurisatie en de ioniserende straling de meest interessante methoden.

Pasteurisatie wordt voornamelijk in Zwitserland en West-Duitsland toegepast. Een belangrijk probleem van deze methode vormt de herinfectie. Ioniserende straling is nog in de ontwikkelingsfase.

— Een praktijkonderzoek aan een pasteurisatie-installatie heeft uitgewezen, dat herinfectie in de onderzochte installatie eenvoudig kan worden onderdrukt door het koelsysteem regelmatig te desinfecteren.

#### 6. Dankwoord

In dit artikel is een samenvatting gegeven van het STORA-project Desinfectie van Zuiveringsslib [2].

De bijdrage van de begeleidingscommissie van dit project, bestaande uit de heren ir. J. van Selm (voorzitter), ir. H. M. J. Scheltinga, ir. A. A. van der Koppel, dr. ir. D. W. Scholte-Ubing, ir. E. C. W. A. Geuze, ir. J. G. ten Wolde en ir. W. Ankersmit, aan de uitvoering van het onderzoek is voor de auteurs van grote waarde geweest.

#### Literatuur

1. Engers, L. E. van. *NVA-enquête betreffende de produktie, bestemming en kwaliteit van het zuiveringsslib in Nederland in 1977*. H<sub>2</sub>O 12 (1979) p. 359-360.
2. STORA. *Desinfectie van zuiveringsslib* (1980) - in druk.
3. Barker, T. A. *Pasteurization and sterilization of sludges*. Process Biochemistry 9 (1970) p. 44-45.
4. Braun, H. J. und E. Zingler. *Die Erhitzung von Klärschlammen mit dem Tauchbrenner*. Oesterreichische Abwasser Rundschau 2 (1975) p. 19-24.
5. Sivinsky, H. D., J. A. Brandon e.a. *Recent developments in the Sandia Laboratories' sewage sludge irradiation program*. In: Radiation for pollution control; proceedings of the second international conference of ESNA Working group on 'Waste Radiation'. Wageningen, ESNA Working group 'Waste Radiation' 1977, p. 118-155.
6. Sivinsky, H. D. *Treatment of sewage sludge with combinations of heat and ionizing radiation (thermoradiation)*. In: Radiation for a clean environment; Proceedings of the international symposium on the use of high-level radiation in wastewater treatment. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1975, p. 151-167.
7. Trump, J. G., K. A. Wright e.a. *Prospects for high electron irradiation of wastewater liquid residuals*. In: Radiation for a clean environment; Proceedings of the international symposium on the use of high-level radiation in wastewater treatment. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1975, p. 343-354.

8. Hess, E. und C. Breer. *Die Dringlichkeit der Klärschlamm-Hygiënisierung*. Gas, Wasser und Abwasser 56 (1976) 7, p. 385-388.

9. Unie van Waterschappen. *Richtlijnen voor de afzet van vloeibaar zuiveringsslib ten behoeve van gebruik op bouw- en grasland*. Den Haag, 1980.

10. Kugel, G. *Pasteurisierung von flüssigem Klärschlamm; Technisch-wirtschaftliche Aspekte*. In: Stand und Entwicklung der Abwasserreinigung, H. Liebmann, Münchener Beiträge zur Abwasser Fischerei- und Flussbiologie, 1973, 24, p. 93-105.

