

1982-06_desinfectie-zuiveringslib

stora

Desinfectie van zuiveringslib

stora

postbus 414, rijswijk-2109 ☎ 070 - 980.287

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Desinfectie van zuiveringsslib

STOWA
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 8090
3503 RB Utrecht
tel. 030-321199
fax 030-321766

Publikaties en het publikatieoverzicht
kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079-611188
fax 079-613927
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.

| | |
|---|---------|
| Inhoud | I - II |
| Ten geleide | III |
| 1 SAMENVATTING | 1 - 3 |
| 2 STAND VAN ZAKEN | 4 - 35 |
| 2.1 Inleiding | 4 |
| 2.2 Produktie en afvoer van zuiveringsslib | 4 - 6 |
| 2.2.1 <i>slibproduktie en slibafvoer</i> | 4 - 5 |
| 2.2.2 <i>methoden van slibbehandeling met een desinfecterende werking</i> | 5 - 6 |
| 2.3 Hygiënische aspecten | 6 - 13 |
| 2.3.1 <i>inleiding</i> | 6 - 7 |
| 2.3.2 <i>onderzoek en identificatie van potentieel pathogene organismen</i> | 7 |
| 2.3.3 <i>criteria voor de hygiënische kwaliteit</i> | 8 - 9 |
| 2.3.4 <i>de beïnvloeding van potentieel pathogene organismen tijdens het zuiveringsproces</i> | 9 - 12 |
| 2.3.5 <i>nagroei en herinfectie</i> | 12 - 13 |
| 2.4 Desinfectie-methoden voor slib | 13 - 33 |
| 2.4.1 <i>eigenlijke methoden</i> | 13 - 21 |
| 2.4.2 <i>oneigenlijke methoden</i> | 21 - 25 |
| 2.4.3 <i>desinfecterende werking</i> | 25 - 33 |
| 2.5 Evaluatie | 33 - 35 |
| 3 PASTEURISATIE | 36 - 76 |
| 3.1 Inleiding | 36 |
| 3.2 Technologische aspecten | 36 - 42 |
| 3.2.1 <i>algemeen</i> | 36 - 38 |
| 3.2.2 <i>onderdelen pasteurisatie-installatie</i> | 38 - 40 |
| 3.2.3 <i>ontwatering en gedrag van zware metalen</i> | 40 - 42 |
| 3.2.4 <i>gisting vóór of na de pasteurisatie</i> | 42 |
| 3.3 Uitvoeringsvormen van pasteurisatiesystemen | 42 - 57 |
| 3.3.1 <i>systeem Roediger</i> | 42 - 45 |
| 3.3.2 <i>systeem Canzler (flash-verdamping)</i> | 45 - 49 |
| 3.3.3 <i>systeem Alfa Laval</i> | 49 |
| 3.3.4 <i>systeem Klöckner</i> | 49 - 52 |
| 3.3.5 <i>systeem Zimpro</i> | 52 - 53 |
| 3.3.6 <i>dompelbrandersysteem (Canzler)</i> | 53 - 55 |
| 3.3.7 <i>systeem Von Roll</i> | 55 - 57 |
| 3.4 Energieverbruik | 58 - 70 |
| 3.4.1 <i>inleiding</i> | 58 - 59 |
| 3.4.2 <i>energieverbruik van de diverse pasteurisatiesystemen</i> | 59 - 64 |
| 3.4.3 <i>energieverbruik voor de diverse slibbehandelingsprocessen met pasteurisatie</i> | 64 - 65 |
| 3.4.4 <i>pasteurisatie van verslib of slib van een oxydatiesloot</i> | 65 |
| 3.4.5 <i>pasteurisatie in combinatie met slibgisting</i> | 65 - 66 |
| 3.4.6 <i>aërobe stabilisatie - pasteurisatie</i> | 66 - 68 |
| 3.4.7 <i>energieproductie</i> | 68 - 70 |
| 3.4.8 <i>slotopmerkingen</i> | 70 |
| 3.5 Kosten van slibpasteurisatie | 70 - 75 |
| 3.6 Evaluatie en conclusies | 75 - 76 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 4 | DESINFECTIE MET IONISERENDE STRALING | 77 - 92 |
| 4.1 | Inleiding | 77 - 79 |
| 4.2 | Effecten van ioniserende straling op slib | 79 - 80 |
| 4.2.1 | <i>destructie van micro-organismen en parasieten</i> | 79 |
| 4.2.2 | <i>oxydatie en modificatie van de molecuulstructuur</i> | 79 |
| 4.2.3 | <i>verandering in colloïdale eigenschappen</i> | 79 - 80 |
| 4.2.4 | <i>chemische samenstelling van het slib</i> | 80 |
| 4.3 | Bestralingsmethoden | 80 - 88 |
| 4.3.1 | <i>inleiding</i> | 80 - 82 |
| 4.3.2 | <i>behandeling met gammastraling (⁶⁰Co-bron)</i> | 82 - 86 |
| 4.3.3 | <i>thermobestraling met een ¹³⁷Cesium-bron</i> | 86 - 87 |
| 4.3.4 | <i>elektronenstraling</i> | 87 - 89 |
| 4.4 | Kosten | 89 - 91 |
| 4.5 | Conclusies | 91 - 92 |
| 5 | PRAKTIJKONDERZOEK AAN EEN LADINGSGEWIJS BEDREVEN PASTEURISATIE- INSTALLATIE | 93 - 105 |
| 5.1 | Inleiding | 93 |
| 5.2 | Onderzoekprogramma | 93 - 94 |
| 5.2.1 | <i>algemeen</i> | 93 |
| 5.2.2 | <i>duurproef</i> | 93 |
| 5.2.3 | <i>detailonderzoek</i> | 93 - 94 |
| 5.2.4 | <i>bemonstering</i> | 94 |
| 5.2.5 | <i>verdere analyses</i> | 94 |
| 5.3 | Pasteurisatie-installatie | 94 - 95 |
| 5.4 | Resultaten | 96 - 101 |
| 5.4.1 | <i>duurproef</i> | 96 - 98 |
| 5.4.2 | <i>detailonderzoek</i> | 98 - 100 |
| 5.4.3 | <i>fysisch-chemisch onderzoek</i> | 100 - 101 |
| 5.5 | Interpretatie resultaten | 101 - 103 |
| 5.5.1 | <i>herinfectie</i> | 101 - 102 |
| 5.5.2 | <i>effectiviteit van het proces</i> | 102 - 103 |
| 5.5.3 | <i>proces technische aspecten</i> | 103 |
| 5.6 | Conclusies | 103 - 104 |
| 6 | LITERATUUR | 105 - 109 |
| | BIJLAGEN | |
| | 1. Literatuurrecherche | 111 - 113 |
| | 2. Resultaten fysisch chemisch onderzoek van de praktijkproeven | 115 |

Ten geleide

In dit rapport wordt de literatuur geëvalueerd over de technologische, economische en hygiënische aspecten van desinfectie van zuiverings-slib via pasteurisatie en ioniserende straling.

Voor wat betreft de praktijk in Nederland wordt ingegaan op de ervaringen met de, ladingsgewijs bedreven, pasteurisatie-installatie van het waterschap Regge en Dinkel te Almelo-Vissedijk.

Pasteurisatie bij 65 à 70°C gedurende 20 à 30 minuten geeft een hygiënisch voldoende betrouwbaar eindproduct mits de installatie - inclusief het koelsysteem - dagelijks wordt gedesinfecteerd om herinfectie te voorkomen. De kosten variëren, afhankelijk van de capaciteit van de installatie en de warmte-economie, van f 3,50 tot f 8,50 per kubieke meter verwerkt slib.

Desinfectie met ioniserende stralen kost 1,5 à 2,5 maal meer.

Het onderzoek werd, op advies van de Onderzoekadviescommissie*, door het algemeen bestuur van de STORA opgedragen aan Witteveen + Bos, Raadgevend Ingenieursbureau en namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit: ir. J. van Selm (voorzitter), ir. E.C.W.A. Geuze, ir. A.A. van der Koppel, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubing en ir. J.G. ten Wolde.

De eindredactie van het rapport werd verzorgd door het STORA-secretariaat; een uitgebreide technische samenvatting van de uitkomsten van het onderzoek is verschenen in het tijdschrift H₂O.

Rijswijk, 28 mei 1982.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

* De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit: prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en dr.ir. H.J. Eggink, ir. R. Karper, ir. C. Kuggeleijn, ir. M. van der Lugt, ir. Th.G. Martijn, ir. H.A. Meijer, jhr.dr. J.J. Quarles van Ufford, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubing, ir. J. van Selm, ir. F.B. Veldkamp, ir. A.P. Vernimmen M.Sc. (leden).

1 SAMENVATTING

algemeen

Op basis van literatuuronderzoek zijn de technologische, economische en desinfecterende aspecten van verschillende desinfectiemethoden voor zuiverings-slib vergeleken.

In deze vergelijking zijn ook summier betrokken slibbehandelingsmethoden die primair conditionering, ontwatering of stabilisatie tot doel hebben, maar daarbij een desinfecterende werking bezitten.

De hoofdkenmerken van de belangrijkste methoden zijn samengevat in de onderstaande tabel.

| | desinfecterende werking | bemestings-waarde | schadelijke bijprodukten | eenvoud | kosten per m ³ slib |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|---------|--------------------------------|
| 1. pasteurisatie | + | + | 0 | + | f 4,--/f 7,-- |
| 2. ioniserende straling | + | + | 0 | +/- | f 6,--/f 10,-- |
| 3. U.V.-bestraling | +/- | | | - | |
| 4. chloring/ozonisering | +/- | - | - | - | |
| 5. thermische conditionering | + | - | 0 | - | f 6,--/f 8,-- |
| 6. chemische conditionering met kalk | +/- | - | | + | f 4,--/f 7,-- |
| 7. compostering | + | + | 0 | +/- | ca. f 8,-- |
| 8. thermofiele stabilisatie | +/- | + | 0 | - | |

Tabel 1. Hoofdkenmerken van slibbehandelingsmethoden met desinfecterende werking.

- + = goed of eenvoudig
- 0 = niet schadelijk
- +/- = twijfelachtig
- = slecht, gecompliceerd of schadelijk

Van de eigenlijke desinfectiemethoden (1 t/m 4, tabel 1) blijken pasteurisatie en ioniserende straling het meest geschikt.

Voor wat betreft de desinfecterende werking bij pasteurisatie is uitgegaan van richtlijnen in Duitsland en Zwitserland (de desinfectie is betrouwbaar als het slib tenminste dertig minuten bij minimaal 65°C is behandeld).

In de literatuur wordt weinig aandacht besteed aan nagroei van kiemen die de desinfectie hebben overleefd en herinfectie van gedesinfecteerd slib. Mede hierom werd een praktijkonderzoek uitgevoerd aan de pasteurisatie-installatie van het waterschap Regge en Dinkel te Almelo. De analyses ten behoeve van dit deelproject werden uitgevoerd door het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid.

Dit onderzoekaspect leverde als belangrijkste uitkomst de noodzaak om het koelsysteem dagelijks te desinfecteren (twintig minuten bij 70°C). Laat men dit achterwege dan verslechtert de kwaliteit van het gekoelde, gepasteuriseerde produkt nagenoeg tot die van onbehandeld slib.

Pasteurisatie

Bij het pasteurisatieproces is vooral aandacht besteed aan de verschillende uitvoeringsvormen, het energieverbruik en de kosten.

Voor de verwarming van het slib worden tot nu toe stoominjectie, warmtewisselaars en dompelbranders toegepast.

Bij een aantal van de systemen vindt warmte-terugwinning plaats.

- Bij slibverwarming door stoominjectie is het energieverbruik aanzienlijk. Door stoomcondensatie neemt het volume van het slib toe met 5 - 10%. Een grote turbulentie wordt in het slib gecreëerd, waardoor een intensieve menging ontstaat. Dit komt de desinfecterende werking ten goede. Tevens reageert een stoominjectiesysteem snel op wisselende omstandigheden. Het onderhoud is gering.
- Bij de verwarming via warmtewisselaars is het energieverbruik enigszins lager. De turbulentie is echter vrij gering en ook bestaat de kans op korstvorming waardoor intensief onderhoud noodzakelijk is.
- Een dompelbrander heeft een zeer hoog thermisch rendement. Het proces is eenvoudig en robuust en levert een hoge turbulentiegraad. De kans op herinfectie is gering, mede omdat bij de dompelbrander geen warmte-terugwinning wordt toegepast.
- Bij de systemen met stoominjectie en warmtewisselaars kan door warmte-terugwinning het energieverbruik met maximaal circa 40% worden verminderd.

In verband met het energieverbruik is vooral de combinatie van de slibgisting en de pasteurisatie van belang. In het algemeen vindt de pasteurisatie na de gisting plaats. Het totale energieverbruik van deze processen is dan respectievelijk circa $270 \times 10^3 \text{ kJ/m}^3$ slib en circa $210 \times 10^3 \text{ kJ/m}^3$ slib bij systemen zonder en met warmte-terugwinning.

Wanneer de pasteurisatie vóór de gisting plaatsvindt is alleen dan het totale energieverbruik lager dan normaal, wanneer warmte-terugwinning wordt toegepast.

De totale kosten van de pasteurisatiesystemen met warmte-terugwinning liggen afhankelijk van de capaciteit tussen f 3,50 en f 7,-- per m^3 behandeld slib. Zonder warmte-terugwinning is de pasteurisatie circa f 1,-- tot f 1,50 duurder (prijsspeil maart 1978). Voor installaties met een capaciteit kleiner dan $4 \text{ m}^3/\text{h}$ stijgen de kosten snel met dalende capaciteit.

Een capaciteit van $4 \text{ m}^3/\text{h}$ komt overeen met circa 55.000 i.e. bij pasteurisatie van uitgesteid slib en met 25.000 - 30.000 i.e. bij pasteurisatie van vers- of oxydatieslootslib. Hierbij wordt uitgegaan van een bedrijfstijd van 80 uur per week.

Per i.e. zijn de totale jaarlijkse kosten voor de pasteurisatie van uitgesteid slib circa f 1,70 bij systemen met warmte-terugwinning en circa f 2,10 bij systemen zonder warmte-terugwinning.

Uit de kostenberekeningen volgt tevens dat vooralsnog de toepassing van pasteurisatie vóór de gisting economisch minder aantrekkelijk is, circa f 0,30 per i.e. duurder dan bij pasteurisatie na de gisting (prijsspeil 1978).

Ioniserende straling

De toepassing van ioniserende straling wordt in diverse landen onderzocht. De desinfecterende werking van deze methode is goed en technologisch zijn er weinig problemen voor de toepassing op praktijkschaal. Er dient echter wel ruime aandacht te worden besteed aan de veiligheidsaspecten. Over de

risico's van de toepassing van de ioniserende straling is nog weinig bekend.

Ioniserende straling wordt opgewekt door gamma- of electronenstraling, eventueel in combinatie met warmtebehandeling (thermobestraling).

De electronenstraling wordt opgewekt met behulp van elektriciteit.

Een stralingsdosis van 300 - 400 krad wordt beschouwd als voldoende voor een goede desinfectie van de pathogene organismen. Bij thermobestraling, waarbij de slibtemperatuur wordt verhoogd, kan met een kleinere dosis worden volstaan. Onderzoek hieraan is nog gaande.

De stralingsintensiteit van de gamma-bronnen is niet voldoende om ionisatie in het slib op te wekken. Bij bestraling met electronen moet ervoor worden gezorgd dat de intensiteit van de straling lager is dan 10 MeV. Boven deze waarde kan radio-activiteit in de bestraalde materie worden geïnduceerd.

De kosten van deze methode worden op dit moment 1,5 tot 2,5 maal zo hoog geschat als voor pasteurisatie. Praktijkvoorbeelden hiervan ontbreken tot dusver nog.

Praktijkonderzoek pasteurisatie

Het onderzoek is uitgevoerd op de rioolwaterzuiveringsinrichting Almelo-Visdijk, waar aëroob gestabiliseerd slib wordt gepasteuriseerd in een ladingsgewijs bedreven installatie van het type Roediger, zonder warmte-terugwinning. De werking van deze installatie is gedurende enkele maanden gevolgd, met name met betrekking tot het optreden van herinfectie.

Uit de onderzoekresultaten blijkt, dat de vernietiging van de Enterobacteriaceae bij pasteurisatie op 70°C gedurende 20 minuten ruim voldoende is, mits de installatie dagelijks geheel wordt gedesinfecteerd. Bij deze dagelijkse desinfectie worden het koelsysteem, de circulatiepomp en de leidingen enige tijd doorstroomd met het slib van 70°C. De infectiebronnen, vooral in de dode hoeken aanwezig, worden hierdoor vernietigd.

Er kan aanzienlijke herinfectie in het koelsysteem optreden, wanneer dit desinfecteren wordt nagelaten.

Faecale streptococci worden in afdoende mate vernietigd. Clostridiumsporen zijn echter ongevoelig voor pasteurisatie. Het aëroob kiemgehalte neemt slechts weinig af. Deze resultaten zijn in overeenstemming met de literatuurgegevens.

Conclusies ten aanzien van de destructie van wormeieren kunnen niet worden gegeven, omdat de onderzochte Ascariseieren zowel vóór als na de pasteurisatie niet levensvatbaar bleken te zijn.

Andere wormeieren waren in te geringe mate aanwezig om gefundeerd onderzoek naar de levensvatbaarheid hiervan uit te voeren.

De chemische samenstelling van het slib verandert nauwelijks door de warmtebehandeling.

De onderzoeksresultaten werden duidelijk beïnvloed door de aërobe stabilisatie van het slib, die op de betrokken zuiveringsinrichting vóór de pasteurisatie plaatsvindt. Dit proces speelt zich af in afgedekte tanks, die zich bevinden in een overdekte ruimte.

De temperatuur in deze tanks kan oplopen tot boven de 40°C.

Gebleken is dat het aantal Enterobacteriaceae in het gestabiliseerde slib afneemt bij temperaturen boven de 40°C. Bij temperaturen boven 48°C worden nauwelijks Enterobacteriaceae waargenomen. Het onderzoek naar de hygiënische werking van de pasteurisatie-installatie is hierdoor zodanig beïnvloed, dat algemeen geldende conclusies moeilijk kunnen worden getrokken. Uit deze metingen kan niet worden vastgesteld of de afwezigheid van levensvatbare Ascariseieren een gevolg is geweest van de verhoogde temperatuur tijdens de aërobe stabilisatie.

2 STAND VAN ZAKEN

2.1 Inleiding

Het eerste gedeelte van het onderzoek, waarover in dit verslag wordt gerapporteerd, omvat een literatuurstudie naar de stand van zaken op het gebied van de desinfectie van zuiveringsslib.

Aangezien het onderwerp eerst de laatste jaren in de belangstelling is gekomen, verkeert het onderzoek op dit gebied in een beginstadium. Om een zo volledig mogelijk beeld te verkrijgen van de mogelijkheden van desinfectie en van de recente ontwikkelingen hierin, is de literatuur diepgaand ontsloten. De toegepaste methoden voor deze ontsluiting worden in bijlage 1 beschreven.

Op basis van deze studie is een overzicht gegeven van de technieken die voor de desinfectie toegepast kunnen worden.

Diverse technologische en economische aspecten van deze methoden worden toegelicht.

Naast methoden, die primair dienen tot desinfectie (eigenlijke methoden) onderscheidt men nog slibverwerkingsmethoden die naast hun eigenlijke functie (stabilisatie en/of slibontwatering) tevens een zekere desinfecterende werking hebben (oneigenlijke methoden).

Tevens zijn de microbiologische aspecten van de diverse slibsoorten bestudeerd en de invloed van de verschillende desinfectiemethoden op de hygiënische betrouwbaarheid van het slib.

2.2 Productie en afvoer van zuiveringsslib

2.2.1 *slibproductie en slibafvoer*

Door de toenemende hoeveelheid afvalwater die door zuiveringsinrichtingen wordt verwerkt, stijgt de slibproductie in ons land aanzienlijk.

De diverse enquêtes van de Nederlandse Vereniging van Afvalwaterbehandeling en Waterkwaliteitsbeheer (NVA) over de productie en afvoer van afvalwaterzuiveringsslib in Nederland geven een beeld van de toename van de slibhoeveelheid¹.

| jaar | totale belasting in i.e. (54 g BZV/i.e.) | hoeveelheid afgevoerd slib | |
|------|--|----------------------------|-------------------|
| | | in ton droge stof | in m ³ |
| 1965 | 2.900.000 | 32.000 | 311.000 |
| 1970 | 8.200.000 | 86.500 | 800.000 |
| 1974 | 12.550.000 | 137.000 | 3.190.000 |
| 1977 | 18.500.000 | 202.500 | 4.959.500 |
| 1979 | 21.000.000 | 230.000 | 5.208.000 |

Tabel 2. Slibproductie in Nederland

Bij de bovenstaande tabel moet het volgende worden opgemerkt:

- de gegevens van een aantal voornamelijk kleinere zuiveringsinrichtingen waren niet bekend;
- de sterke stijging van het afgevoerde slibvolume in 1974 werd vooral bepaald door de 1,64 miljoen m³ slib (drogestofgehalte 1,5%) die afgevoerd werd naar zee uit de mechanische rwzi te Den Haag.

Uit deze gegevens blijkt dat de gemiddelde slibproductie 10,9 kg droge stof per inwoner-equivalent per jaar bedraagt.

Tabel 3 geeft de verdeling van de slibafvoer in relatie tot de drogestofgehalten.

| drogestofgehalte | gewichtsprocenten | | | | |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|
| | 1974 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 |
| 0 - 5 | 61,7 | 65,7 | 68,8 | 65,1 | 69,7 |
| 5 - 10 | 22,3 | 20,9 | 17,6 | 19,9 | 12,6 |
| 10 - 20 | 6,7 | 4,8 | 4,2 | 4,9 | 7,7 |
| 20 - 30 | 3,9 | 3,7 | 3,0 | 4,1 | 3,1 |
| 30 - 40 | 3,1 | 3,7 | 3,2 | 3,9 | 4,4 |
| 40 - 100 | 2,3 | 1,2 | 3,1 | 2,1 | 2,4 |

Tabel 3. Slibafvoer en drogestofgehalte (excl. Den Haag)

In figuur 1 zijn de verschillende methoden van slibbehandeling en afzetgebieden schematisch weergegeven².

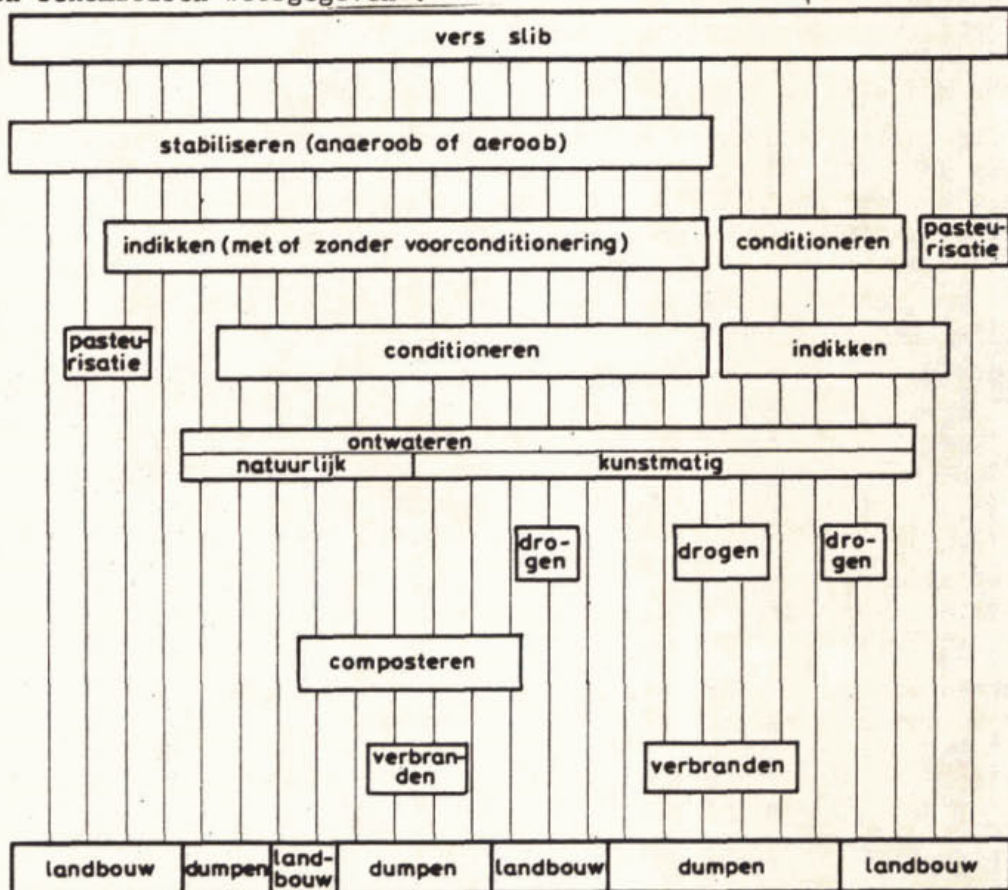


Fig. 1. Slibbehandelingsmethoden en afzetgebieden

2.2.2 methoden van slibbehandeling met een desinfecterende werking

In de literatuur worden diverse methoden van slibbehandeling genoemd, die een desinfecterende werking hebben. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen methoden die als belangrijkste doel hebben het zuiveringsslib hygiënisch betrouwbaar te maken (eigenlijke methoden) en methoden die primair een ander doel hebben, zoals conditionering, ontwatering en stabilisatie, maar die bovendien een zekere mate van desinfectie veroorzaken (oneigenlijke methoden).

De eigenlijke methoden zijn:

- pasteurisatie
- ioniserende straling
- u.v.-bestraling
- chlooring
- ozonisering.

Desinfectie kan voor of na het gistingproces plaatsvinden. Dit kan van belang zijn bij een desinfectie door middel van thermische behandeling (pasteurisatie). Wanneer eerst wordt gepasteuriseerd, kan de daarvoor benodigde warmte worden gebruikt voor een thermofiele slibstabilisatie. Deze stabilisatie verloopt sneller dan mesofiele stabilisatie, zodat een kleinere reactor kan worden gebruikt. De verwarmde gisting verloopt bovendien zonder energietoevoer.

Als oneigenlijke methoden kunnen worden genoemd:

- verbranding
- droging
- thermische conditionering
- chemische conditionering met kalk
- compostering
- thermofiele stabilisatie (aëroob of anaëroob).

De processen die behoren tot de oneigenlijke desinfectie-methoden werden reeds uitvoerig behandeld in het STORA-rapport "Slibontwatering tot meer dan 40% droge stof".*

Hier worden slechts de hoofdlijnen en de informatie uit dit rapport gegeven die nodig zijn voor de vergelijking van de processen.

2.3 Hygiënische aspecten

2.3.1 *inleiding*

voorkomen van potentieel pathogene organismen

Vier groepen van ziekteverwekkers komen in het afvalwater en zuiveringslib voor:

- virussen
- bacteriën
- cysten en oöcysten en protozoën en
- wormeieren

Ziekten die door water, afvalwater en zuiveringslib op mens en huisdier kunnen worden overgebracht zijn onder meer:

- gastro-enteritis (sewage poisoning)
- salmolellosen (zoals tyfus en paratyfus)
- cholera
- shigellosis (bacillaire dysenterie)
- virusziekten, waaronder hepatitis A en poliomyelitis
- guardiasis (*Guardia lamblia*)
- amoebiasis (amoeben dysenterie)
- verscheidene wormziekten, in het bijzonder veroorzaakt door *Ascaris lumbricoides* (grote spoelworm) en *Taenia saginata* (runderlintworm).

bestrijden van potentieel pathogene organismen

Chemische en thermische conditionering worden toegepast om de ontwateringseigenschappen van het slib te verbeteren. Stabilisatie van het slib wordt onder meer bereikt door aërobe afbraak, slibgisting en compostering. Al deze

* gepubliceerd in 1979.

oneigenlijke methoden kunnen een vermindering geven van het aantal pathogenen.

Slibpasteurisatie en behandeling met behulp van ioniserende straling zijn primair voor desinfectie bedoeld.

De organismen die resistente stadia hebben in hun levenscyclus zijn moeilijker te bestrijden dan organismen die alleen een vegetatief stadium hebben. Virussen zijn gemakkelijker te elimineren, evenals bacteriën die geen sporen vormen³.

2.3.2 *onderzoek en identificatie van potentieel pathogene organismen*

Het onderzoek naar pathogene organismen stuit op veel problemen. Vaak wordt het gehalte aan bepaalde indicator-organismen gebruikt als maatstaf voor de aanwezigheid van overige pathogene organismen.

Voor de bepaling van de hygiënische betrouwbaarheid van water gebruikt men in Nederland meestal de zogenaamde proef van Eijkman. Hierbij fungeren de thermotolerante gistingsbacteriën (faecale coli) als indicator-organismen. Deze organismen zijn meestal zelf niet pathogeen en zijn gemakkelijker aan te tonen dan de werkelijke pathogenen. Om de werking van de pasteurisatie na te gaan worden vaak de Enterobacteriaceae gebruikt als indicatoren. De reden hiervan is dat deze groep organismen vergeleken met de thermotolerante gistingsbacteriën een betere correlatie oplevert met de reductie van potentiële pathogenen tengevolge van hittebehandeling.

Aangezien de verschillende organismen ongelijk worden beïnvloed door de diverse behandelingsmethoden, kan bij onderzoek naar de invloed van desinfectiemethoden op zuiveringsslib niet slechts worden volstaan met het hanteren van één indicator-organisme als richtlijn.

De bepaling van bepaalde bacterie-concentraties in slib en water levert weinig problemen op wanneer het gaat om kiemgetal, faecale coli, totaal coligehalte en faecale streptococci. Vaak wordt dan ook het onderzoek tot deze soorten beperkt.

Het aantonen van potentieel pathogene bacteriën, zoals Salmonella en Shigella levert meer problemen op, alleen al vanwege het feit dat de concentraties waarin deze bacteriën voorkomen veel geringer zijn. De isolatie en determinatie van deze organismen vereist ook meer vaardigheid en is tijdrovender.

Onderzoek naar virussen vereist vaak zeer grote monsters voor een statistisch betrouwbaar resultaat en leent zich ook niet voor eenvoudig routine-onderzoek.

Ook het tellen van wormeieren is arbeidsintensief. Niet alleen moeten de wormeieren worden geconcentreerd en met behulp van de microscoop worden geteld, maar tevens moet worden onderzocht of het embryo nog levensvatbaar is. Of de levensvatbare embryo's infectief zijn, wordt onderzocht met behulp van dierproeven. Forstner en Schaetzle hebben hiervoor een standaardmethode ontwikkeld³.

Het is duidelijk dat bij het onderzoek naar het effect van een desinfectiemethode vaak slechts enkele organismen worden onderzocht. Niet alleen het feit dat het onderzoek zo tijdrovend is speelt een rol, maar ook de financiële aspecten zijn van belang.

Het is daarom vaak moeilijk het effect van een desinfectiemethode over het hele spectrum te beoordelen. Bovendien is het niet altijd mogelijk de resultaten van verschillende onderzoekers te vergelijken, doordat verschillende bepalingsmethoden worden gebruikt (bijvoorbeeld verschillende voedingsbodems). Verschillen in resultaten worden dan ook regelmatig gevonden.

2.3.3 criteria voor de hygiënische kwaliteit

Vroeger werd aangenomen dat slib na een desinfectiebehandeling hygiënisch volledig betrouwbaar was. Recente onderzoeken, verricht met meer geavanceerde analysetechnieken spreken dit echter tegen, aangezien na behandeling vaak ongewenste organismen kunnen worden aangetroffen.

Er heerst tevens enige onduidelijkheid over het vereiste reductiepercentage. Zowel 90% reductie (1 decimaal) als 99,999% (5 decimalen) worden als norm of richtlijn gehanteerd.

Ook de terminologie is niet eenvoudig. Zo is de werkelijke betekenis van redelijk, goed, uitstekend, hygiënisch betrouwbaar, "complete" desinfectie en dergelijke niet goed omschreven. Normstelling kan hierin verbetering brengen.

In Duitsland en Zwitserland bestaan richtlijnen voor de toepassing van zuiveringsslib in de landbouw.

De Duitse richtlijnen zijn afkomstig van het Bundesgesundheitsamt⁴.

In tabel 4 zijn deze richtlijnen samengevat.

| | | restgronden 1) | akkerbouw | grasland, wortel en knolgewassen | | vijnbouw | boomgaard zonder ondercultuur 6) | boomkweekerij | tuinbouw |
|---|----------------------|--------------------|-----------|----------------------------------|------|----------|----------------------------------|---------------|----------|
| | | | R 2) V | R | V | | | | |
| vers slib | h.t. | + (voorwaardelijk) | - | - | - | - | - | - | - |
| slib van kleine install. en uit bezinkingsbassins | h.t. | + | + - 3) | - | - | - | - | + | - |
| vloeibaar slib | aëroob of h.t. | + | + - 3) | + 4) | - 5) | + | + | + | - |
| ontwaterd slib | h.t. | | | | | | | | |
| natuurlijk gedroogd slib | h.t. | | | | | | | | |
| chemisch | geconditioneerd h.t. | | | | | | | | |
| thermisch | slib | | | | | | | | |
| thermisch gedroogd slib | | | | | | | | | |
| natte oxydatie van vers of gestabiliseerd slib | | + | + | + | + | + | + | + | + |
| gecomposteerd slib | | | | | | | | | |

Tabel 4. Duitse richtlijnen voor de toepassing van zuiveringsslib in de landbouw

h.t. = hygiënische betrouwbaarheid twijfelachtig
 R = rustperiode
 V = vegetatiegroei en bloeiperiode
 + = toepassing toelaatbaar
 - = toepassing niet toelaatbaar

1) = grond zonder akkerbouw, woeste gronden, herontginningsgronden, omgeploegde graslanden, enz.;
 2) = 's winters en wanneer het land vrij is van planten en fruit bestemd voor menselijke en dierlijke consumptie;
 3) = slib van hygiënisch twijfelachtige kwaliteit kan alleen op akkers worden gebracht na de oogst, zonder dat daarna onmiddellijk tot inzaaien wordt overgegaan;
 4) = alleen gebruik van slib van hygiënisch twijfelachtige kwaliteit na de hooitijd en de oogsttijd;
 5) = uit oogpunt van menselijke en dierlijke gezondheidsaspecten ongeschikt;
 6) = voor boomgaarden met onderculturen gelden de voorschriften voor de overeenkomstige culturen.

De Zwitserse richtlijnen, zoals die staan vermeld in het Milchlieferungsregulativ, hebben evenals die van het Bundesgesundheitsamt alleen eisen wat betreft de behandelingsmethode die het slib moet ondergaan en niet wat betreft de restgehalten aan pathogenen of indicator-organismen⁵.

Gepasteuriseerd slib wordt als hygiënisch betrouwbaar beschouwd, wanneer het minstens 30 minuten bij meer dan 65°C is verhit. Opmerkelijk is het verschil in procescondities bij de dompelbrander. De verblijftijd in de dompelbrander is slechts 5 minuten, terwijl de andere systemen conform de richtlijnen van het Duitse Bundesgesundheitsamt een inwerktijd van 20 - 30 minuten toepassen. De hygiënische betrouwbaarheid van het slib blijkt echter toch goed te zijn (reductie van 10^{12} naar 10^2 coli/ml).

Enkele verklaringen hiervoor zijn:

- de turbulentie in de reactor (kleine vlokken, goede menging) is groot
- in de reactor treden geen "dode" hoeken op

- de temperatuur is zeer stabiel, terwijl bij stoominjectie grote schommelingen kunnen optreden.
- het contact tussen hete verbrandingsgassen en het slib is erg goed
- de kans op infectie van de reactor is klein.

Zowel het Duitse Merkblatt als het Zwitserse Milchlieferungsregulativ beschouwen zuiveringsslib hygiënisch betrouwbaar, wanneer het slib een hittebehandeling heeft ondergaan van minstens 30 minuten bij minimaal 65°C. Er zijn geen voorschriften.

2.3.4 de beïnvloeding van potentieel pathogene organismen tijdens het zuiveringsproces

Bij de *mechanische zuivering* van afvalwater gaan bijna alle spoelwormeieren in het ruwe slib over. Lintwormeieren verdwijnen slechts voor de helft in het slib. Van de bacteriën komt ongeveer 75% in het slib terecht. Er treedt geen noemenswaardige afname op van het aantal virussen in het afvalwater tijdens de mechanische zuivering.

Noch de vegetatieve stadia, noch de tussenstadia van de organismen lopen tijdens de *beluchting* schade op. Ook neemt het virusgehalte tijdens de beluchting nauwelijks af⁶.

Flocculatie en coagulatie van huishoudelijk afvalwater met aluminiumfosfaat verwijderd tussen 94 en 99% van de virussen uit afvalwater. Ze worden daarbij niet geïnactiveerd⁷.

Het uiteindelijke resultaat is dat versslib beschouwd moet worden als een concentraat van de microbiologische componenten van afvalwater^{4,6}.

Aërobe en anaërobe stabilisatie hebben een positieve invloed op de reductie van het aantal potentieel pathogene organismen, maar een volledig betrouwbaar produkt wordt niet verkregen, getuige de volgende onderzoeken. Overigens hanteren de onderzoekers wel verschillende maatstaven.

Bij de *gisting* wordt zelfs na zeer lange gistingstijden nog Salmonella gevonden⁸. De levensvatbaarheid loopt voor de verschillende Salmonella-typen nogal uiteen. Zo overleefde Salmonella paratyfus B slibgisting bij 34°C slechts zeven dagen, terwijl Salmonella enteritis na 30 dagen nog duidelijk aantoonbaar was.

Bovendien werd in het uitgegiste slib uit een continu bedreven gistingsinstallatie, met een gistingstijd van 22 dagen Salmonella paratyfus B gevonden. Dit kan zijn veroorzaakt door het feit, dat het toegevoerde versslib volledig opgemengd wordt met het gistende slib, zodat versslib of nauwelijks gist slib uit de tank kan verdwijnen.

Verder worden ook virussen en hogere organismen in uitgegist slib teruggevonden⁶.

Virusreductie tijdens de slibgisting is een functie van temperatuur en tijdsduur. De meest toegepaste slibgistingsmethoden hebben een korte tijdsduur voor significante virusreductie.⁹ Bij een gistingstemperatuur van 50°C bevatte uitgegist slib nog het poliovirus. Adenovirussen worden sterker geïnactiveerd dan enterovirussen. Het poliovirus heeft een grotere thermoresistentie dan andere virussen^{10,11,12,13}.

Anaërobe en aërobe stabilisatie levert volgens andere auteurs over het algemeen niet voldoende reductie van pathogenen op^{14,15}. Er is wel verschil in desinfecterend vermogen tussen mesofiel en thermofiel gist slib¹⁴ (tabel 5).

| type gisting | gistingstemperatuur (°C) | bacterie-concentratie (aantal/100 ml) | | |
|--------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------|-----------|
| | | Salmonella | Ps.Aeruginosa | Faec.coli |
| geen | - | 24 | 35 | 2 x 10 |
| mesofiel | 35 | 23 | 43 | 4 x 10 |
| thermofiel | 47 | geen waargenomen | 4 | 2 x 10 |

Tabel 5. Pathogeen-reductie tijdens mesofiele en thermofiele slibgisting na 20 dagen, Hyperion Plant, Los Angeles.

Na een gistingstijd van drie maanden bij 10°C is 90% van de potentieel pathogene kiemen vernietigd. Bij een gistingstemperatuur van 28 - 30°C is dit resultaat na twee maanden bereikt. Echter, de vernietiging van vooral Salmonella is niet zeker; wel zijn de virussen en wormeieren afgestorven. Maar omdat de gistingstijd tegenwoordig veel korter is (ca. 20 dagen), zijn nog veel organismen in het uitgestoste slib aanwezig³.

Volgens Buysch¹⁶ wordt bij een slibgistingstemperatuur van 55°C reeds na enkele uren een hygiënisch betrouwbaar produkt verkregen.

In de figuren 2 en 3 wordt duidelijk het effect geïllustreerd van aërobe en anaërobe stabilisatie op de gehalten aan micro-organismen. Versslib bevat grote hoeveelheden Salmonella (tot maximaal 10⁷ Salmonella/l); noch aërobe, noch anaërobe stabilisatie reduceert de contaminatie in voldoende mate^{15,17,18}.

Voor E.coli is een vergelijkbare verdeling gemaakt van het aantal kiemen per liter (zie figuur 3).

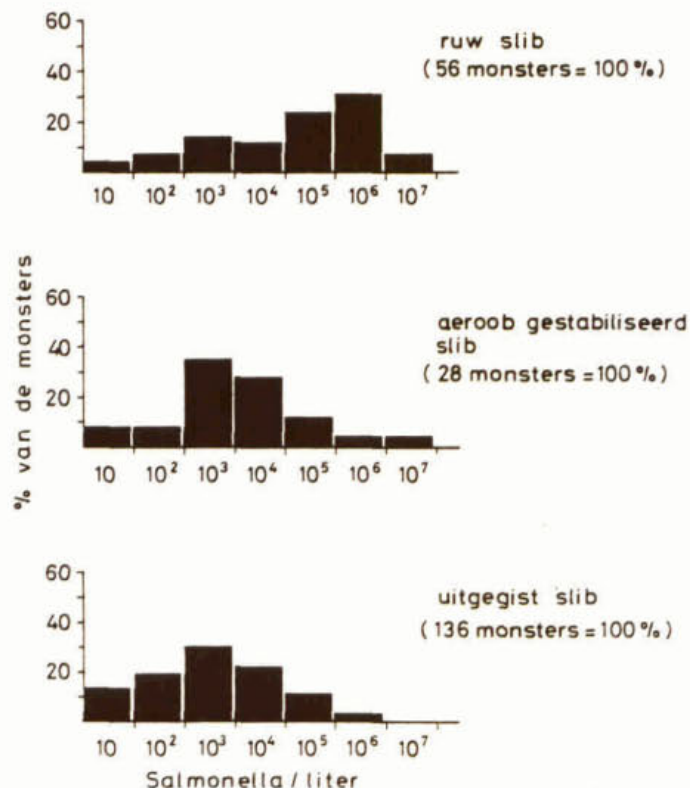


Fig. 2. Slibmonsters en Salmonella-gehalte

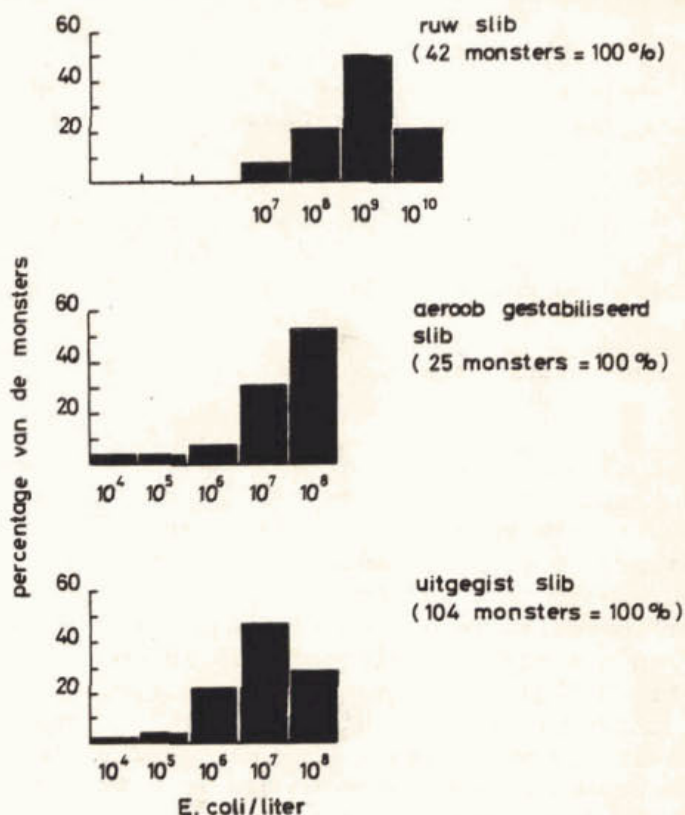


Fig. 3. Slibmonsters en E. coli-gehalte

Salmonella, mycobacteriën, virussen en parasieteneieren kunnen aërobe en anaërobe slibstabilisatie overleven. Er treedt wel een reductie op. Het aantal kiemen vermindert door gisting met 90 - 95% ($10^8 - 10^9$ /ml \rightarrow $10^7 - 10^8$ /ml). Het Salmonellagehalte (10^3 /100 ml) vermindert met 85%¹⁸.

Het aantal coli-achtigen bedraagt in versslib ongeveer $2,4 \times 10^6$ /ml terwijl het uitgegiste slib er $2,4 \times 10^5$ /ml bevat. Het gehalte aan faecale streptococcon bedraagt in uitgegist slib ongeveer $2,2 \times 10^5$ /ml¹⁹.

Tijdens de slibgisting wordt een gedeelte van de ziektekiemen, wormeieren en onkruiden gedood of wordt hun levensvatbaarheid sterk beïnvloed. Echter na de gisting kunnen vele organismen in verhoudingsgewijs korte tijd zich weer herstellen, vooral tuberkelbacteriën en miltvuurverwekkers, in mindere mate ook wormeieren en diverse plantenzaden²⁰.

Het mirco-milieu in slib is zeer gunstig voor de ontwikkeling van Salmonella. Vooral in slib met een hoog eiwitgehalte kan een enorme vermeerdering van het aantal Salmonella-kiemen optreden⁶.

In slib wordt tevens de embryonerig van wormeieren bevorderd³.

Salmonella's uit onvoldoende gegist slib kunnen weken in gras en bodem in leven blijven. Zelfs na 27 weken zijn deze organismen nog aangetroffen. Dit geldt nog in verhoogde mate voor spoolwormeieren. Na zeven jaar kunnen ze nog levensvatbaar zijn. Normaliter echter geldt een periode van circa één jaar, terwijl op zandige gronden enkele droge zomerweken voldoende zijn om deze eieren te doen afsterven.

Lintwormeieren kunnen in slib, dat op weiden is gebracht, na circa 160 dagen in leven blijven^{3,15}.

Opslag in *lagunes* zou het gehalte aan faecale coli binnen 30 dagen reduceren met 99%¹⁴.

Samenvattend kan worden gesteld dat afvalwaterbehandeling en slibstabilisatie wel resulteren in een reductie van het gehalte aan pathogenen, maar daarbij geen hygiënisch betrouwbaar produkt leveren.

2.3.5 *nagroeï en herinfectie*

Onder nagroeï wordt verstaan dat overlevende kiemen in een niet volledig gedesinfecteerd slib weer tot ontwikkeling komen, terwijl herinfectie het gevolg is van een contact van gedesinfecteerd slib met een hygiënisch onbetrouwbaar produkt.

Op diverse plaatsen kan herinfectie en/of nagroeï optreden.

in de installatie

Bij de toegepaste pasteurisatiecondities (stoominjectiesysteem: 70°C, 30 min.; dompelbrander 70°C, 5 min.) wordt een hygiënisch betrouwbaar produkt verkregen. Ook opslag van dit slib gedurende 8 - 30 dagen geeft geen ontkieming van pathogene organismen. Dat bij recente onderzoeken toch vaak pathogene organismen in gepasteuriseerd slib worden gevonden (o.a. in Zwitserland, Almelo) wordt verklaard door infecties in het pasteurisatiesysteem zelf. Door storingen in het systeem kan niet-gepasteuriseerd slib in contact komen met de ruimte na de pasteurisatie (leidingen, pompen, koelsysteem). In dode hoeken of tegen de wand kan ontkieming optreden die moeilijk te verwijderen is. De temperatuur in dit gedeelte is vaak ideaal voor een sterke groei van pathogenen (35 - 45°C). Een voorbeeld van het optreden van infectie is de vacuümverdampert van de "Flash-verdamper". Hierin wordt de damp onder vacuüm afgevoerd naar de voorverwarmingsruimte. Bij schommelingen in de druk kan de damp uit de voorverwarmingsruimte terugslaan naar de vacuümverdampert die hierdoor kan worden geïnfecteerd. Door nagenoeg storingsvrije werking van de dompelbrander, de constante toevoer van verbrandingsgassen en het niet toepassen van warmterugwinning is herinfectie bij dit systeem niet zo snel te verwachten. Voor de controle van de hygiënische kwaliteit worden de indicatoren *Salmonella* en *Enterobacteriaceae* gebruikt. Voor de dompelbrander is hierbij gevonden, dat de hygiënische kwaliteit goed is. Virussen en eieren zijn niet bepaald. Bij herinfectie kan het voorkomen dat slechts enkele bacterietypen zich ontwikkelen (spectrum verschuiving). Kwaliteitscontrole wordt hierdoor veel moeilijker.

Om infecties in de installatie te voorkomen, die o.a. optreden in dode hoeken of na storingen, moet de installatie iedere week worden gepasteuriseerd. Hierbij wordt de koeling afgezet zodat het slib enige tijd met pasteurisatietemperatuur door de leidingen en koelers stroomt. Herinfectie in de installatie treedt niet op bij een goede bedrijfsvoering waarbij de installatie regelmatig wordt gedesinfecteerd.

tijdens de opslag

In de opslagtanks kan nagroeï optreden als gevolg van de aanwezigheid van onvoldoende gepasteuriseerd slib van relatief te hoge temperatuur. Uit recente onderzoeken in Zwitserland^{15,17,21} is gebleken, dat het gepasteuriseerde slib na opslag gedurende 2 - 3 dagen weer volledig was geïnfecteerd. De oorzaak van deze herinfectie wordt vooral gezocht in de opslagtanks, door o.a. aerosolen of contact met niet of slecht gepasteuriseerd slib.

tijdens transport

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

op het land

Aangezien in de winter niet wordt gepasteuriseerd en de potentieel pathogene micro-organismen zich zeer lang in het slib kunnen handhaven, komt het gepasteuriseerde slib in contact met niet gepasteuriseerd slib op het land. In de praktijk wordt bovendien vaak slib in combinatie met niet-gepasteuriseerde stalmeest gebruikt, waardoor infecties optreden.

Het slib moet na de desinfectie voldoende worden gekoeld. Wordt het slib op het land gebracht bij temperaturen hoger dan 30°C, dan kan er een verstoring optreden van de stabiliteit van de bodem-micro-organismen (spectrum verschuiving).

Thans wordt vooral onderzoek verricht naar mogelijkheden van pasteurisatie vóór de gisting. Er wordt verondersteld, dat de potentieel pathogene micro-organismen zich in een biologische actieve massa niet ontwikkelen, aangezien hun groei wordt beperkt door de aanwezigheid van andere organismen. Vroegere onderzoeken hebben uitgewezen dat een flinke reductie in het aantal potentieel pathogene micro-organismen wordt verkregen wanneer gedurende langere tijd wordt gegist.

Wanneer de pasteurisatie dus vóór de gisting plaatsvindt, dan zal zowel tijdens de gisting als tijdens de slibopslag geen herinfectie optreden, zoals het geval is in biologisch dood materiaal dat wordt verkregen na pasteurisatie van uitgegist slib.

Daarnaast wordt pasteurisatie gedurende het gehele jaar beschouwd als methode om herinfectie te voorkomen.

Het praktijkonderzoek in Almelo, dat in het kader van dit project wordt uitgevoerd, staat tot nu toe enkele van de genoemde aspecten van nagroei en herinfectie. Zowel de koeling als de slibopslag hebben tot ongewenste herinfectie geleid.

Overigens treedt herinfectie alleen op bij bacteriën. Wormeieren en virussen kunnen zich niet ontwikkelen in slib.

2.4 Desinfectie-methoden voor slib

2.4.1 *eigenlijke methoden*

pasteurisatie

Een methode die reeds enige jaren op een aantal plaatsen in West-Europa wordt toegepast is het desinfecteren van vloeibaar slib door middel van pasteurisatie. Met de pasteurisatie beoogt men het inactiveren van pathogene organismen door middel van een hittebehandeling^{20,22}. Sporevormende organismen worden onder de pasteurisatie-condities meestal niet geïnactiveerd.

Het desinfecterende vermogen is afhankelijk van de temperatuur en de inwerktijd. In het algemeen wordt gesteld dat een hittebehandeling bij 65 - 70°C gedurende 20 - 30 minuten voldoende is om een hygiënisch betrouwbaar slib te verkrijgen^{4,22}; er zijn echter ook andere combinaties van temperatuur en inwerktijd mogelijk. Hierbij moet er wel op worden gelet dat alle te behandelen slib werkelijk gedurende deze tijd op de voorgeschreven temperatuur blijft. Een homogene temperatuur en een zo klein mogelijke spreiding in de verblijftijd in de reactor is dus van wezenlijk belang²³.

Om hieraan te voldoen zal bij het ontwerp van pasteurisatie-inrichtingen mede aandacht moeten worden besteed aan de volgende factoren¹⁶.

- Vanwege de hoge viscositeit van het slib gaat de opwarming in het algemeen moeilijker dan bij water. Een goede menging tijdens het opwarmen is van belang. Een hoger drogestofgehalte vereist een langere opwarmtijd.
- Door de vlokvorming van het slib zal de gewenste temperatuur binnen in de

vlok minder snel worden bereikt. Een langere opwarm- of inwerktijd is nodig om ook de ziektekiemen die in de vlok zijn ingesloten te inactiveren. Verslib is door het hogere gehalte aan eiwitten en vetten inhomogener dan uitgestig slib.

- Door warmteverlies via de wanden van de pasteurisatietank kunnen plaatselijke lagere temperaturen tijdens het inwerken voorkomen. Een goede isolatie en menging verhogen het desinfectierendement.
- Continue pasteurisatiesystemen met "ideale" menging kunnen een grote verblijftijdsspreiding hebben, zodat een onvolledige desinfectie optreedt. Bij een slechte menging kunnen kortsluitstromen ontstaan, waardoor de werkelijke inwerktijd veel kleiner wordt.
- Bij indirecte verwarming van het slib in warmtewisselaars kan korstvorming aan de warmte-uitwisselingsoppervlakken ontstaan vanwege de hoge temperaturen. Verstoppingen en een verminderde warmte-overdracht zijn hiervan het gevolg.
- Directe verwarming door middel van stoominjectie veroorzaakt een volumetoename van 7 - 10% door stoomcondensatie. Dit kan resulteren in hogere transportkosten bij de slibafvoer.

De belangrijkste kostenfactor van de pasteurisatie-inrichting is het energieverbruik voor de verwarming. Een zo goed mogelijk gebruik van de ingebrachte energie kan zeker voor grote inrichtingen belangrijke kostenbesparingen opleveren.

Kugel²⁴ geeft een overzicht van de verschillende combinatiemogelijkheden tussen de primaire en secundaire energiebronnen en de verschillende warmte-uitwisselingsmethoden voor slibverhitting (zie figuur 4).

Voor verhitting van het slib wordt op het moment voornamelijk gebruik gemaakt van de stoominjectie, aangezien hierbij de gunstigste warmte-overdracht wordt verkregen. Een tegenstroomwarmtewisselaar heeft het nadeel dat bij de toegepaste temperaturen korstvorming aan de uitwisselingsoppervlakken ontstaat, zodat de warmte-overdracht wordt verminderd en de doorvoer van het slib kan worden gestoord. De methode van warmte-overdracht met behulp van een dompelbrander wordt sinds korte tijd met succes op technische schaal toegepast in een pasteurisatie-installatie op een zuiveringsinrichting in het Niersverband (West-Duitsland).

Deze werkwijze kan vanwege zijn eenvoudige procesvoering en de robuuste uitvoering van de apparatuur interessant zijn, vooral voor kleine installaties²⁴.

primaire energiebron → secundaire energiebron → warmte-uitwisseling

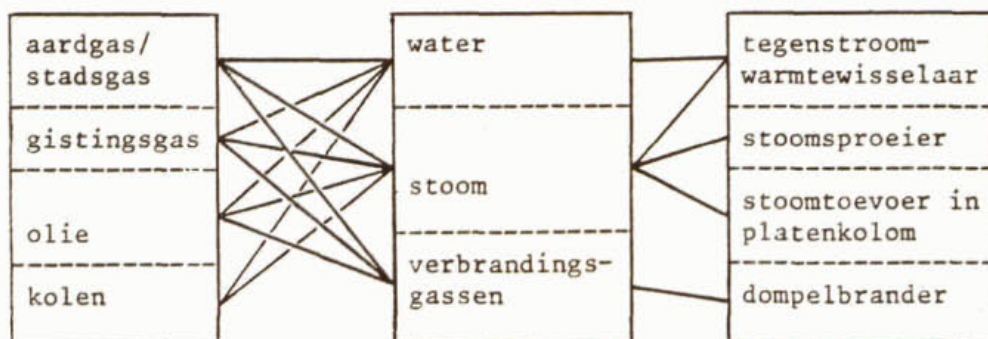


Fig. 4. Energiebronnen en warmte-uitwisselingsmethoden

De afkoeling van het gepasteuriseerde slib kan op verschillende manieren geschieden.

- In een warmtewisselaar met behulp van koelwater of het te behandelen slib, dat zodoende wordt voorverwarmd.
- Door middel van een vacuümverdamer, waarbij de damp weer kan worden gebruikt voor de voorverwarming van het te pasteuriseren slib.
- Schokafkoeling door bijmenging van koud water of reeds gepasteuriseerd slib uit de na-indikker.
- Luchtkoeling; zowel natuurlijke afkoeling in reservoirs als geforceerde koeling door rondpompen over een cascadekolom worden toegepast.

Bij de tweelaatstgenoemde methoden gaat de warmte verloren, terwijl bij de eerstgenoemde een deel van de warmte wordt teruggewonnen.

Bij de klassieke koelmethode met vaste warmte-uitwisselingsoppervlakken leiden de geringe warmte-overdrachtscoëfficiënten tot het gebruik van grote warmtewisselaars of langdurig rondpompen.

Warmte-terugwinning door vacuümverdamping kan bacteriologische problemen opleveren. Onder invloed van het vacuüm en de heersende turbulentie kunnen nog levensvatbare ziektekiemen in onvoldoende verwarmde slibvlokken zich losmaken en aan de wanden hechten. Door de gunstige temperatuur kan een snelle vermeerdering van deze kiemen optreden, zodat herinfectie niet is uitgesloten¹⁶.

Voor een optimale benutting van de toegevoegde energie is de keuze van het verwarmings- en afkoelingssysteem een belangrijke factor.

Voor een verdere optimalisatie van het energieverbruik kan bovendien de combinatie slibstabilisatie - pasteurisatie nader worden onderzocht. Bij pasteurisatie van uitgegist slib komt - ten minste in de zomermaanden - in de meeste gevallen voldoende gistingsgas ter beschikking voor de verhitting van het slib. Dit voordeel wordt niet verkregen bij pasteurisatie van vers of aëroob gestabiliseerd slib²⁵.

Pasteurisatie van versslib geeft echter wel een besparing van de kosten van het gistingproces.

Triebel²⁶ vermeldt, dat pasteurisatie van versslib mogelijk nog goedkoper is dan gisting, gevolgd door pasteurisatie, waarbij de slibverhitting geschiedt met behulp van gistingsgas. In gepasteuriseerd versslib kan echter weer snel herinfectie en stank optreden vanwege het hoge gehalte aan voedingsstoffen.

Door het pasteurisatieproces vóór de slibstabilisatie uit te voeren kan worden bespaard op de verwarming van de gistingruimte. Het stabilisatieproces verloopt bovendien sneller bij hoge temperatuur (thermofiele afbraak) zodat met een kleinere gistingstank kan worden volstaan²⁷.

Tabel 6 geeft een overzicht van de belangrijkste pasteurisatiesystemen die tot nu toe zijn ontwikkeld.

In de literatuur wordt melding gemaakt van diverse zuiveringsinrichtingen die pasteurisatie van het zuiveringsslib toepassen (zie tabel 7).

Daarnaast zijn door de firma's Klöckner en Zimpro nog pasteurisatieprocessen ontwikkeld, die voorzover bekend in de praktijk nog geen toepassing vinden.

| Systeem | Roediger | Canzler | Alfa Laval | Klöckner | Dompelbrander |
|------------------------|----------------------------------|--|------------------------------------|---|----------------------------------|
| toevoer | ladingsgewijs | continu | continu | semi-continu | continu |
| primaire energiebron | olie, gistingsgas, aardgas | olie gistingsgas | | | olie |
| secondaire energiebron | stoom | stoom | stoom | water | verbrandingsgassen |
| warmte-uitwisseling | stoomsproeier | stoomtoevoer in platenkolom | met stoom in warmtewisselaar | warmtewisselaar | dompelbrander |
| koeling | met koelwater in warmtewisselaar | vacuümverdamer | met slibaanvoer in warmtewisselaar | met gekoeld verwarmingswater in warmtewisselaar | met koelwater in warmtewisselaar |
| voorverwarming | geen | met damp uit vacuümverdamer in platenkolom | met afvoer in warmtewisselaar | geen | met afvoer verbrandingsgassen |

Tabel 6. Uitvoeringsvormen van pasteurisatie-inrichtingen

| plaats en land | capaciteit | systeem | literatuur |
|--|-------------------------|---------------|------------|
| 1. Almelo (NL) | 120 m ³ /dag | Roediger | 100 |
| 2. Hinwil (CH) | | Roediger | 9 |
| 3. Lotzwil (CH) | | Roediger | 9 |
| 4. Zürich-Werdhölzli (CH) | | Canzler | 34 |
| 5. Wangen an A. (CH) | | Roediger | 34 |
| 6. Gruppenklärwerk 1 - Mönchengladbach (D) | 28 m ³ /h | Canzler | 53 |
| 7. Nette (Niersverband) (D) | 10 m ³ /h | Canzler | 53 |
| 8. Kopenhagen (DK) | 8 m ³ /h | Alfa Laval | 84 |
| 9. Marburg (D) | | Roediger | 88 |
| 10. Grefrath (D) | | Dompelbrander | 8 |

Tabel 7. Pasteurisatie-inrichtingen in bedrijf

In de figuren 5 en 6 worden de processchema's weergegeven van twee pasteurisatiesystemen die op dit ogenblik de meeste toepassing vinden. De procescondities voor de beide pasteurisatie-installaties zijn een temperatuur van 65 - 70°C en een verblijftijd van 20 - 30 minuten.

De warmte-uitwisseling geschiedt in beide gevallen door middel van stoominjectie. Bij het systeem Roediger (figuur 5) wordt een ladingsgewijze voeding toegepast. Door twee reactoren parallel te bedienen kan een semi-continue toevoer worden toegepast. De capaciteit van dit systeem ligt in de praktijk op maximaal 60 - 70 m³ per dag bij 8 uur bedrijfstijd. Er wordt geen warmterugwinning toegepast.

Het systeem Canzler dat voor grotere capaciteiten is ontworpen (tot + 30 m³/h), werkt met een continue aanvoer. Het slib wordt voorverwarmd met de warme damp uit de vacuümverdamer, die dient voor de afkoeling van het gepasteuriseerde slib (zie figuur 6).

De totale kosten voor de pasteurisatie die voor verschillende in bedrijf zijnde installaties zijn gegeven, liggen in de orde van f 4,-- tot f 7,-- per m³ behandeld slib^{24, 25, 28, 29} (prijspeil 1972/74).

Voor de pasteurisatie-installatie te Almelo bedroegen de totale kosten per m^3 slib f 7.-- - f 7,70 in de periode 1977-1980.

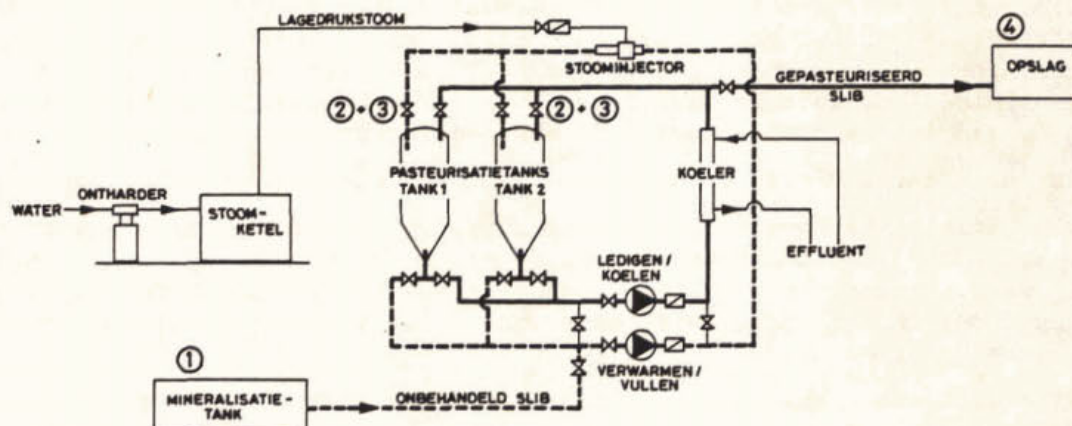
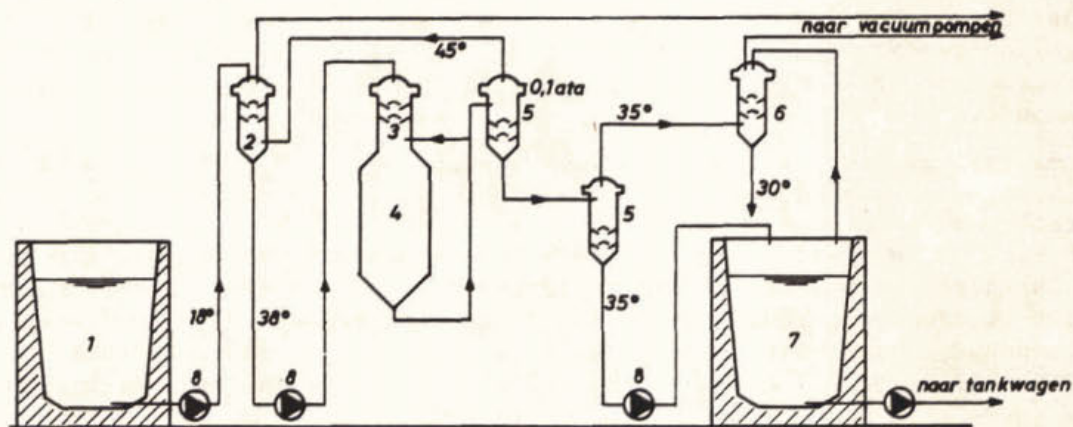


Fig. 5. Schema van een Roediger pasteurisatie-installatie



- 1 = reservoir voor ingedikt uitgestikt slib
- 2 = voorverwarmingsruimte (0,1 ata)
- 3 = verwarmingsruimte met stoominjectie
- 4 = inwerkruimte (65°C - 30 min.)
- 5 = vacuümverdamer (0,1 ata)
- 6 = condensor
- 7 = gepasteuriseerd slib reservoir
- 8 = pompen

Fig. 6. Schema van de slibpasteurisatie-installatie in het Gruppenklärwerk 1, Mönchengladbach (Niersverband)

ioniserende straling

Een methode die vooral de laatste jaren een snelle ontwikkeling doormaakt is de desinfectie van zuiveringsslib door middel van ioniserende straling. De desinfecterende werking van ioniserende straling is reeds bij een aantal processen aangetoond en uitvoerig onderzocht, bijvoorbeeld voor de conservering van levensmiddelen, voor de desinfectie van effluenten van zuiveringsinrichtingen³⁰, van injectienaalden en medische apparatuur.

Behalve desinfectie heeft ioniserende straling nog enige andere voordelen.

- Volgens Etzel¹⁹ heeft ioniserende straling slibconditionerende eigenschappen. Groneman³¹ heeft aangetoond dat de elektrostatische lading van colloïdale deeltjes wordt verlaagd. De ontwateringseigenschappen van het slib worden zodoende verbeterd. Dit in tegenstelling tot de pasteurisatie waarbij de ontwaterbaarheid slechter wordt (hydrolyse).
- De straling veroorzaakt oxydatie van organische stof³². Dit impliceert CZV- en BZV-reductie. Moeilijk afbreekbare, schadelijke organische verbindingen zoals insecticiden, fenolen en dergelijke kunnen worden geoxydeerd bij een voldoende grote dosis.

Er zijn twee soorten straling, die voor de desinfectie van zuiveringsslib kunnen worden gebruikt³³.

- Bêta-straling, die wordt opgewekt in elektronenversnellers. De bêta-straling bestaat uit elektronen met een eenwaardige negatieve lading. Om alle gevaar van geïnduceerde radio-activiteit in het bestraalde voorwerp of medium te voorkomen moet de stralings-energie beneden 10 MeV ($= 1,6 \times 10^{-12} \text{ J}$) worden gehouden³⁴.
- Gamma-straling. Hiervoor kunnen worden gebruikt ^{60}Co en ^{137}Cs bronnen. Een ^{60}Co bron wordt geproduceerd door het stabiele ^{59}Co in een kernreactor bloot te stellen aan neutroneninslag. ^{137}Cs kan worden afgescheiden uit de bijprodukten van het kernsplittingsproces. De energie van de uitgezonden gamma-straling van deze radio-isotopen is niet voldoende om radio-activiteit in de bestraalde stof op te wekken. ^{60}Co zendt 2 gamma-quanta uit met een stralingsenergie van respectievelijk 1,17 en 1,33 MeV ($1,87 \times 10^{-13} \text{ J}$ en $2,13 \times 10^{-13} \text{ J}$) tijdens zijn verval tot ^{60}Ni . ^{137}Cs vervalt tot het stabiele ^{137}Ba waarbij een stralingsenergie vrijkomt van 0,66 MeV ($1,06 \times 10^{-13} \text{ J}$).

Er bestaat een wezenlijk onderscheid tussen deze twee soorten straling.

- De indringingsdiepte van gamma-straling is veel groter dan die van bêta-straling. De maximale indringingsdiepte in water voor bêta-straling is 5 cm bij een stralingsenergie van 10 MeV. De stralingsintensiteit van ^{60}Co en ^{137}Cs neemt af met een factor 10 bij een dikte van een waterlaag van respectievelijk 64 en 55 cm.
- Een gamma-stralingsbron zendt continu straling uit. Een cobaltbron wordt eens in de één of twee jaar vervangen. Een cesiumbron kan 5 tot 10 jaar worden gebruikt.
- Bêta-straling wordt ter plaatse opgewekt in de elektronenversneller. De stralingsbron kan zodoende buiten bedrijf worden gesteld.
- De stralingsintensiteit van bêta-straling is groter dan van gamma-straling. De desinfectie met behulp van bêta-straling kan geschieden door een bestraling van zeer dunne laagjes gedurende zeer korte tijd. Bij gamma-straling kunnen grotere hoeveelheden slib worden bestraald gedurende een langere periode.

Het desinfecterende vermogen van de straling hangt af van de geabsorbeerde dosis straling. De eenheid voor de dosis geabsorbeerde straling is de rad (radiation absorbed dose), waarbij 1 rad = 0,01 J/kg. Deze eenheid wordt vervangen door de S.I.-eenheid Gy (gray).

1 Gy = 1 J/kg.

Op verscheidene plaatsen in Noord-Amerika en West-Europa wordt uitgebreid onderzoek op dit gebied verricht³⁴.

Geiselbullach, West-Duitsland. Hier bevindt zich een proefopstelling waarin bij een stralingsdosis van 300 krad (3.000 Gy) 30 m³ slib per dag kan worden behandeld door bestraling met een ⁶⁰Co-bron.

De stralingsdosis is gebaseerd op onderzoeken waaruit bleek, dat 300 krad eenzelfde desinfecterende werking heeft als pasteurisatie bij 80°C gedurende 30 minuten²¹. De proefopstelling is sinds 1973 in bedrijf³⁵.

Scandia Laboratories in Albuquerque, Verenigde Staten. Hier wordt de desinfectie van slib onderzocht door middel van een gecombineerde behandeling met gamma-straling (¹³⁷Cs) en warmte. Uit microbiologische onderzoeken blijkt, dat een synergistisch desinfecterend effect optreedt bij een gecombineerde behandeling. Dit onderzoek wordt op laboratoriumschaal uitgevoerd en moet leiden tot de ontwikkeling van een proefinstallatie met een capaciteit van ongeveer 380 m³ slib per dag in een continue bedrijfsvoering³⁶.

De desinfectie geschiedt bij 70°C en 500 krad (5.000 Gy).

Bij een stralingsdosis van 100 krad is de capaciteit 1900 m³/dag.

Massachusetts Institute of Technology, Boston. De desinfectie geschiedt door middel van bèta-straling. Er wordt een uitgebreide studie verricht naar de toepassing van elektronenstraling voor de slibdesinfectie. Het laboratoriumonderzoek richt zich op factoren zoals indringingsdiepte, bestralingstijd en -dosis, energiebehoefte, veiligheid en flexibiliteit, met als doel een proefinstallatie te ontwikkelen voor de desinfectie van 400 m³ slib of afvalwater per dag.

In paragraaf 4.3 zal nader ingegaan worden op deze methoden.

De kenmerken van de bestralingsmethoden in vergelijking met die van de pasteurisatie zijn gegeven in tabel 8^{38,39}.

| | pasteurisatie | ⁶⁰ Co bestraling | thermobestraling | elektronenversneller |
|--|---------------------------------|--|---|----------------------------|
| minimale voorwaarde voor hygiënische betrouwbaarheid | 70°C 30 minuten | 200 krad | in onderzoek | 200 krad |
| energiebron | gistingsgas olie, aardgas | radio-actieve ⁶⁰ Co staven | ¹³⁷ Cs uit radio-actieve kernsplittingsproducten | elektriciteit |
| energievorm | warmte | gamma-straling | gamma-straling + warmte | bèta-straling |
| energieverbruik | bij installatie in bedrijf | permanent | straling permanent warmte bij installatie in bedrijf | bij installatie in bedrijf |
| veiligheidsmaatregelen | weinig kosten | kostbaar | kostbaar | weinig kosten |
| bouwkosten | laag | hoog | hoog | hoog |
| bedrijfskosten | nog geen vergelijking mogelijk. | | | |

Tabel 8. Kenmerken van desinfectiemethoden

In vergelijking met pasteurisatie heeft bestraling een aantal voordelen.

- Geen corrosieverschijnselen doordat de desinfectiebehandeling bij 25 - 30°C wordt uitgevoerd.

- Geen afbraak van organische stikstofverbindingen; er komt geen onaangename stank vrij. De mest eigenschappen blijven behouden.
- Geen volumevergroting, zoals bij stoominjectie.
- Betere ontwateringseigenschappen; dit is van belang zowel bij de verwerking tot vast slib als voor een snellere toegankelijkheid tot het land waarop vloeibaar slib is afgevoerd.
- Bij gebruik van gamma-straling zijn geen conventionele energiebronnen zoals gas, olie en elektriciteit nodig.
- Mogelijk kunnen bijprodukten van de kernreactorindustrie worden toegepast.
- De gamma-stralingsbron kan lange tijd worden gebruikt; er is geen continue aanvoer van energie nodig.

Anderszijds zijn er ook enige nadelen.

- Kostbare veiligheidsmaatregelen zijn noodzakelijk.
- Risico's bij verwisseling en transport van het radio-actieve materiaal.
- Het permanente energieverbruik bij bèta-straling.
- Kleine indringdiepte van de elektronenstraling.
- De problematiek van de afvalprodukten.

Aangezien de bestralingsmethoden nog slechts in een experimenteel stadium verkeren is het nog niet mogelijk kosten voor deze desinfectiemethoden te geven op basis van bedrijfsresultaten. Uit de eerste resultaten van de gamma-stralingsproefinstallatie in Geiselbullach zijn door extrapolatie kostencalculaties gemaakt voor een dergelijke installatie onder praktijkomstandigheden.

Andere auteurs vermelden slechts geschatte waarden voor de kosten van een bestralingsinrichting. Deze waarden kunnen slechts een indicatie geven van de te verwachten kosten. De praktijkwaarden kunnen vaak aanzienlijk hoger liggen door niet optimale omstandigheden, extra voorzieningen, enz.

De totale kosten (investeringskosten en bedrijfskosten) per m³ behandeld slib worden vermeld in tabel 9.

| methode | kosten per m slib | auteurs |
|--------------------------------|-------------------|---------|
| gamma-straling (Geiselbullach) | f 4,-- - f 6,-- | 40 |
| gamma-straling | f 1,50 - f 2,50 | 41 |
| bèta-straling | f 1,-- - f 3,50 | 41 |
| | | 37 |
| | | 42 |
| | | 43 |
| thermobestraling | f 1,25 | 44 |

Tabel 9. Kosten van bestralingsmethoden

Opmerking:

bij de berekening van de kosten is aangenomen dat
DM 1,-- = f 1,-- en \$ 1,-- = f 2,50.

u.v.-straling

De stralingsenergie van ultraviolet licht kan worden gebruikt om micro-organismen te vernietigen. De stralingsintensiteit die de cellen bereikt moet echter voldoende hoog zijn. Aanwezigheid van vaste deeltjes in het water vermindert de intensiteit aanzienlijk. Ook opgeloste organische stof kan de straling absorberen⁴⁵.

Om een goede desinfectie te garanderen moet het water vrij zijn van licht-absorberende en vaste stoffen en bovendien moet de laagdikte van het bestraalde water gering zijn vanwege de eigen absorptie van het water⁴⁶.

Oliver en Carly⁴⁷ vermelden, dat er problemen optreden bij de desinfectie van troebel afvalwater. Het water moet in een dunne film worden bestraald. Hieruit blijkt, dat de desinfectie van zuiveringsslib moeilijk te verwezenlijken is door middel van u.v.-straling. Praktische toepassingen van dit systeem worden in de literatuur niet vermeld.

chloring

Chloorgas of andere oxyderende chloorverbindingen, zoals chloorbleekloog (NaOCl), calciumhypochloriet (Ca(OCl)₂), chloordioxyde (ClO₂) en gechloteerde kalk (Ca(ClOCl)) reageren met enzymen, die essentieel zijn voor de stofwisselingsprocessen van micro-organismen. Door de inactivering van enzymen sterven de micro-organismen af. Bovendien worden door de chloring organische verbindingen, ammoniak en andere anorganische reductoren geoxydeerd. Hierbij gaat een hoeveelheid actief chloor voor de desinfectie verloren. Het desinfecterende vermogen van de chloring hangt af van de soorten micro-organismen, het soort en de concentratie van het chloringmiddel, de temperatuur, de hoeveelheid oxydeerbare stoffen en de reactietijd.

Voor een adequate desinfectie moet na een bepaalde reactietijd, gewoonlijk 20 - 30 minuten, een restchloorgehalte van ongeveer 0,5 mg/l aanwezig zijn⁴⁸.

Voor de desinfectie van drinkwater, zwembadwater en effluent van zuiveringsinrichtingen wordt chloring vaak en met goede resultaten toegepast. Vanwege de zeer hoge concentraties aan oxydeerbare stoffen in slib zal de chloorbehoefte hiervan zeer groot zijn. Triebel⁴⁸ geeft hiervoor hoeveelheden van 5 - 6 kg Cl₂ per m³ slib. Bovendien kunnen schadelijke reactieproducten worden gevormd zoals chlooraminen en gechloteerde koolwaterstoffen. In het algemeen wordt daarom desinfectie van slib met behulp van chloor afgewezen^{3,49}.

Mogelijk verkrijgt het slib betere ontwateringseigenschappen door de behandeling met chloor, maar het verkregen slib is onbruikbaar voor een verwerking in de landbouw⁵⁰.

ozonisering

Ozon (O₃) is een sterke oxydator. Met behulp van deze instabiele gasvormige verbinding kunnen micro-organismen, BZV, biologisch niet afbreekbare organische stoffen, reuk- en kleurstoffen snel worden verwijderd⁴⁵. Hoewel het een goed desinfectiemiddel is, kan ozon vanwege de reactie met de organische stof niet worden toegepast voor de desinfectie van zuiveringsslib. Er moet, evenals bij de chloring, een grote hoeveelheid worden gebruikt, terwijl de mestkwaliteit van het slib vermindert^{3,49}.

2.4.2 *oneigenlijke methoden*

chemische conditionering met kalk

De dosering van kalk veroorzaakt een pH-verhoging, waardoor een aanzienlijke reductie van het aantal pathogene kiemen wordt verkregen^{50,51}. Door kalktoe-

voeging treedt geen stank meer in het slib op. Het desinfecterende vermogen van kalk is afhankelijk van de bereikte pH⁵².

In Noorwegen wordt kalk in kleinere zuiveringsinrichtingen toegepast voor de slibstabilisatie omdat de kosten veel lager zijn vergeleken met de biologische stabilisatie. De chemische stabilisatie met kalk geeft geen vermindering van het organische materiaal en wordt dan ook niet beschouwd als een permanente stabilisatie. Er wordt slechts bereikt dat de biologische afbraak tijdelijk wordt geremd, zodat er geen stank en hygiënische bezwaren optreden tijdens de tijdelijke opslag en transport van het slib.

De effectiviteit van deze methode hangt af van de bereikte pH en de tijd waarin deze pH constant blijft. Uit laboratoriumproeven is gebleken dat er stank optreedt zodra de pH lager wordt dan 11. Een daling van de pH tijdens de opslag wordt onder andere veroorzaakt door microbiologische activiteit in het slib waardoor CO₂ en carbonzuren worden gevormd en door CO₂-opname uit de lucht.

In de figuren 7 en 8 is de verandering van de pH in de tijd weergegeven bij de verschillende kalkdoses voor actiefslib en primairslib.

Hieruit blijkt dat tenminste een pH van 12,5 moet worden bereikt om langdurig een hoge pH te kunnen handhaven⁵³.

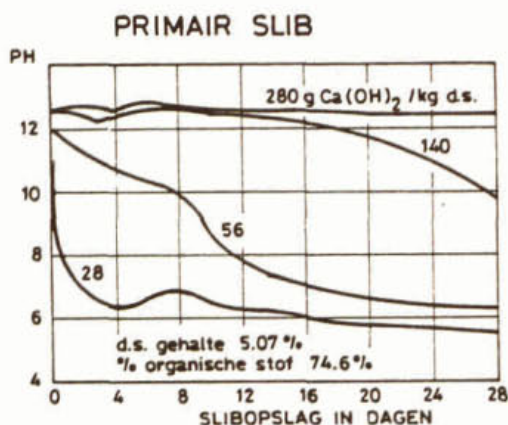


Fig. 7. Verandering in de pH bij opslag van primair slib bij 20°C en verschillende kalkdoseringen.

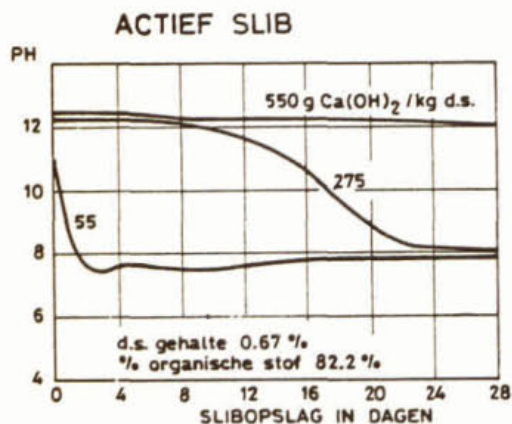
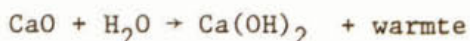


Fig. 8. Verandering in de pH bij opslag van actiefslib van 20°C en verschillende kalkdoseringen.

Een andere toepassing van kalk, waarbij desinfectie optreedt wordt toegepast in Zweden.

Wanneer aan ontwaterd slib ongebluste kalk (CaO) wordt toegevoegd in de verhouding slib/CaO = 1 - 1,5 dan zal er een sterk exotherme reactie optreden van CaO met water:



Bij de toegepaste hoge kalkdosis kan hierdoor de temperatuur van het mengsel stijgen tot + 70°C waardoor slibpasteurisatie optreedt. Kans op herinfectie is vrij gering vanwege de hoge pH die het slib gekregen heeft.

Over de kosten van chemische conditioneringsprocessen met kalk, waarbij wordt gelet op de hygiënische kwaliteit van het slib, zijn in de literatuur geen gegevens bekend.

De prijs van kalk voor de chemische conditionering is in Nederland ongeveer f 150,-- per ton. Toevoeging van 300 kg kalk per ton droge stof voor een slibstabilisatie vraagt aan chemicaliënkosten een bedrag van f 45,-- per ton droge stof of f 2,25 per m³ slib (5% d.s.).

Voor de chemische conditionering en ontwatering worden de totale kosten geschat op f 130,-- tot f 140,-- per ton droge stof, of f 6,50 tot f 7,-- per m³ slib (5% d.s.) waarbij voor de conditionering 100 kg FeCl₃, en 250 kg Ca(OH)₂ per ton droge stof wordt gebruikt en de ontwatering geschiedt met een filterpers.

Chemische conditionering met organische vlokkingsmiddelen en ontwatering met een zeefbandpers of centrifuge geven aan totale kosten circa f 70,-- per ton droge stof of circa f 3,50 per m³ slib (5% d.s.).

Toepassing van CaO aan het ontwaterde slib in de verhouding 1 : 1 geeft een extra verhoging alleen aan chemicaliënkosten van circa f 125,-- per ton droge stof of f 6,25 per m³ vloeibaar slib (5% d.s.) (prijspeil 1979).

composteren

Het composteringsproces kan omschreven worden als de omzetting of mineralisatie van organische verbindingen door aërobe microbiologische processen, waarbij voornamelijk CO₂ en water worden gevormd. Het eindproduct bestaat uit microbiologisch moeilijk afbreekbare humusstoffen. De aanwezige voedingsstoffen zoals fosfor, stikstof en kalium worden tevens vrijgemaakt⁵⁶.

Het biologische afbraakproces kan worden bewerkstelligd door het organisch materiaal op dusdanige wijze op hopen te stapelen, dat voldoende zuurstof kan toetreden voor een ongeremde aërobe biologische afbraak van het materiaal.

Voor een goede ontwikkeling van de micro-organismen is het van belang dat er voldoende organische koolstof en stikstof aanwezig is. Andere noodzakelijke elementen zullen in de praktijk altijd in voldoende mate aanwezig zijn. De micro-organismen gebruiken de organische stof als energiebron; bij de afbraak hiervan komt CO₂ en warmte vrij.

Stikstof is nodig voor de celopbouw. Het wordt volledig omgezet in celeiwit. Tijdens het afsterven van de micro-organismen komt er weer stikstof vrij voor de opbouw van nieuwe cellen. De stikstofvoorraad blijft dus intact en de C/N-verhouding zal tijdens het afbraakproces afnemen. De afbraaksnelheid tijdens de compostering is dus afhankelijk van de aanwezige stikstof voor de celopbouw en de energie die hiervoor beschikbaar is (C/N-verhouding). De gunstigste C/N-verhouding ligt tussen 25 en 30.

Versslib heeft een C/N-verhouding van 15, actiefslib 5 - 8 en uitgegist slib 13. Door toevoeging van slib aan huisvuil kan de composteringssnelheid worden verhoogd. Het eindproduct (compost) bevat bovendien meer stikstof en is daarom waardevoller voor gebruik in de landbouw. Doordat er tijdens de afbraak warmte vrijkomt zal de temperatuur in de composthoop toenemen. Bij goede composteringssomstandigheden en goede isolatie kunnen temperaturen van 60 - 70 °C worden bereikt, waarbij een zeer hoge activiteit van thermofiele micro-organismen optreedt. Het eindproduct is bovendien hygiënisch betrouwbaar¹⁹. Omdat de micro-organismen het voedsel slechts in vloeibare vorm opnemen, moet de vochtigheid in de composthoop voldoende hoog zijn. Het minimale watergehalte ligt op 30 - 32%. Een te hoog vochtigheidsgehalte is nadelig voor de luchttoevoer, omdat de poriën met water gevuld zijn. Bovendien worden niet voldoende hoge temperaturen bereikt.

Het maximale watergehalte is 60%, terwijl een optimale afbraak wordt verkregen bij vochtgehalten van 45 - 50% water²³.

Om een stabiel en stankvrij product te krijgen, dat tevens hygiënisch betrouwbaar is, moet aan enige voorwaarden worden voldaan die betrekking hebben op het te composteren materiaal en de procescondities.

- Het materiaal moet energierijk zijn, zodat voldoende warmte wordt ontwikkeld.
- Het materiaal moet gemakkelijk biologisch afbreekbaar zijn.
- Er moet voldoende stikstof voor de celopbouw aanwezig zijn.
- Het materiaal moet goed toegankelijk zijn voor lucht: de deeltjes moeten zo klein mogelijk zijn en de poriën zo groot mogelijk.
- Er moet voldoende vocht aanwezig zijn (optimaal 45 - 50%). Huisvuil zal bevochtigd moeten worden met water of slib. Slib zal vergaand ontwaterd moeten worden of gemengd met een droge koolstofdrager, zoals zaagsel, stro, huisvuil, enz.
- Er moet voldoende zuurstof in de composthoop aanwezig zijn. Een zuurstofgehalte van minder dan 4% van de totale hoeveelheid lucht zal de afbraaksnelheid doen verminderen.

Het zuurstofgehalte kan voldoende hoog worden gehouden door

- . grote poriën,
- . geringe hoogte van de composthoop,
- . regelmatig omzetten van het materiaal,
- . kunstmatige luchttoevoer.

thermofiele slibstabilisatie

Biologische aërobe of anaërobe slibstabilisatie, die wordt uitgevoerd in een temperatuurtraject waar thermofiele micro-organismen actief zijn (50 - 60°C), biedt een aantal voordelen vergeleken met de conventionele mesofiele stabilisatie^{57,58}.

- Hogere afbraaksnelheden van het organisch materiaal.
- Hoger rendement voor de fractie afgebroken organische stof.
- Betere ontwateringseigenschappen.
- Hoger afstervingsrendement voor pathogene organismen.

In het algemeen wordt dit proces beschouwd als een dure stabilisatiemethode vanwege de hoge energiekosten voor de temperatuurverhoging.

Tijdens de aërobe afbraak vindt een verhoogde warmte-ontwikkeling plaats. Bij de anaërobe processen neemt de gasproductie toe. Hierdoor kan de thermofiele stabilisatie mogelijk toch rendabel worden gemaakt als de vrijgekomen energie optimaal wordt benut bij een goed gecontroleerd proces en in goed geïsoleerde reactoren^{58,59}.

Bovendien wordt de stabilisatietijd aanzienlijk verkort, zodat de installaties kleiner gedimensioneerd kunnen worden. Uit laboratoriumonderzoek is gebleken, dat de aërobe stabilisatie kan worden teruggebracht van 20 - 15 dagen (mesofiele afbraak) tot 24 uur voor een thermofiele afbraak⁵⁹.

De anaërobe stabilisatie vergt onder thermofiele omstandigheden slechts ongeveer 6 dagen, terwijl voor een mesofiele gisting tenminste 20 dagen nodig zijn⁵⁸.

De toepassing van slibstabilisatie bij verhoogde temperaturen, waarbij optimale warmte- en energiebenutting kan worden toegepast, kan aantrekkelijk worden in combinatie met de slibpasteurisatie. Na een pasteurisatie van versslib kan de hoge temperatuur van het slib mogelijk worden benut om de anaërobe stabilisatie in een zeer korte tijd te laten verlopen.

Herinfectie van het slib, die vaak optreedt wanneer het slib niet direct wordt afgevoerd kan met deze methode worden verminderd.

Staab⁶⁰ heeft aangetoond dat gisting van gepasteuriseerd slib een verdere afbraak en een hogere gasproductie geeft dan versslibgisting onder dezelfde

omstandigheden (T = 30 - 37°C). Enig praktisch onderzoek naar de methoden en kostencalculaties zijn in de literatuur niet bekend.

2.4.3 desinfecterende werking

De reductie van het aantal pathogenen tijdens de verwerking van zuiverings-slib is afhankelijk van de toegepaste methoden.

Tabel 10 geeft een indicatie van het te verwachten resultaat¹⁴.

| proces | reductie pathogenen |
|---------------------------------|---------------------|
| slibgisting | redelijk |
| aërobe stabilisatie | redelijk |
| zware chloring | goed |
| kalkbehandeling | goed |
| pasteurisatie (70°C) | uitstekend |
| ioniserende straling | uitstekend |
| thermische behandeling (195°C) | uitstekend |
| compostering (60°C) | goed |
| opslag in lagunes, uitgest slib | goed |

Tabel 10. Rendement van slibbehandelingsmethoden voor de reductie van pathogenen.¹⁴

Ook Knoll⁶¹ geeft een overzicht (zie figuur 9) van de te verwachten resultaten wat betreft de hygiënische betrouwbaarheid van zuiverings-slib indien verschillende behandelingsmethoden worden toegepast.

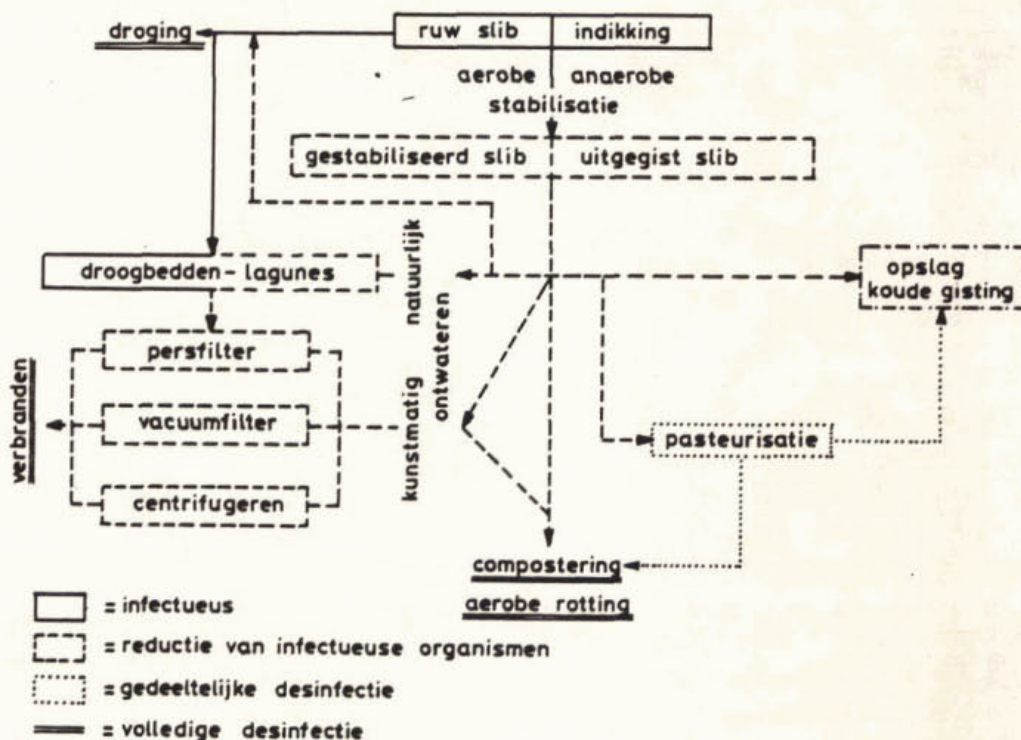


Fig. 9. Overzicht van het desinfecterende vermogen van verschillende behandelingsmethoden van versslib.⁶¹

compostering

Compostering kan worden uitgevoerd met alleen slib of met een mengsel van slib en vast afval. Evenals bij de onder 2.3.4 genoemde onderzoeken, zijn de resultaten en interpretaties met betrekking tot de pathogenenreductie door compostering uiteenlopend. In het algemeen zijn cysten en eieren beter bestand tegen lage temperaturen dan tegen hoge temperaturen. De bij 56°C veroorzaakte coagulatie van eiwitten is ook voor deze stadia schadelijk. Om een volledige vernietiging te verkrijgen van eieren die in de slibvlok liggen opgesloten, dient de temperatuur minimaal 80°C te bedragen³.

Volgens Liebmann⁶² worden de belangrijkste pathogene kiemen en wormeieren pas gedood wanneer de temperaturen tussen 70 en 80°C gedurende enige tijd worden gehandhaafd. Roediger heeft gevonden dat in de praktijk deze meestal niet hoger komen dan 60°C. De hygiënische kwaliteit van het slib zou daarom niet zo goed zijn als welke wordt bereikt bij slibpasteurisatie⁶³.

De desinfecterende werking van het composteren wordt niet alleen door de temperatuurstijging veroorzaakt, doch ook door de uitscheiding van antibiotisch werkende stofwisselingsprodukten. In de winter is daarom wel controle noodzakelijk, aangezien zowel de stowisselingsactiviteit daalt als ook de temperatuur te laag kan zijn om een hygiënisch betrouwbaar produkt te krijgen.

Bij compostering verkrijgt versslib een betere bacterie-reductie dan uitgestort slib, omdat bij de eerste de temperatuur hoger wordt. Hierbij kunnen wel stankproblemen ontstaan.

Epstein⁶⁴ heeft geëxperimenteerd met geforceerde beluchting tijdens het composteren. Door dit systeem te hanteren heeft men geen hinder van stank. De destructie van totale coli, faecale coli en Salmonella is veel groter dan welke optreedt bij gewone compostering. De decimering bedraagt voor totaal coligehalte 3 - 8, voor faecale coli 4 - 7 en Salmonella ongeveer 1.

Resumerend wordt gesteld dat compostering een aanzienlijke reductie oplevert van pathogene organismen; de graad van desinfectie daarbij varieert van redelijk tot volledig.

toepassing van chemicaliën

De desinfectiemiddelen die bij de afvalwaterbehandeling worden gebruikt zijn als toepassing voor slibdesinfectie in de praktijk onbruikbaar. Er zijn te veel acceptorverbindingen in het slib aanwezig, die de desinfectiemiddelen, zoals chloor en ozon reduceren. Er is zo veel van nodig, dat deze middelen dan ook uit het oogpunt van kosten zeer onaantrekkelijk zijn. Een behandeling met chloor of hypochloriet is tevens vanwege de onzekere resultaten ongeschikt voor desinfectie van slib¹⁶.

Versslib, dat met ferrichloride of ferrosulfaat en kalk is geconditioneerd en met behulp van (Komline) filters is gefiltreerd, heeft een aanzienlijke Salmonella reductie ondergaan. De reductie van het aantal Enterobacteriaceae bedraagt 2 - 4 decimalen^{51,66}.

Het gebruik van ongebluste kalk brengt bij een goed uitgevoerde toepassing een temperatuurstijging tot 70°C in het slib teweeg, zodat het slib gedesinfecteerd wordt.

De werking van kalk berust in belangrijke mate op de bactericide en virucide werking van een sterk alkalische reactie (pH 10 en hoger).

Brouwer heeft gevonden dat wanneer de pH met behulp van kalk op 12 wordt gebracht, nog slechts restkiemgehalten van 0,34% coli, 0,63% streptococci en

0,49% Clostridium worden gevonden¹.

In Duitsland wordt aangenomen dat chemisch geconditioneerd slib hygiënisch betrouwbaar is wanneer gedurende bepaalde tijd de pH op 10 wordt gehandhaafd⁴. Een verlaging van de pH (<4) door toevoering van zuren zou een soortgelijk effect hebben¹⁶.

Onderzoekingen van Farrel e.a.⁵² echter toonden aan, dat een pH van 10,5 onvoldoende reductie van pathogenen opleverde. Bij pH 11,5 werden de pathogenen in vloeibaar slib binnen 0,5 uur onder de detectiegrens gereduceerd. De resultaten waren bij pH 12,5 nog beter (tabel 11).

| bacteriën | oorspronkelijk gehalte bact./100 ml | fractie van oorspronkelijk gehalte | | | |
|------------------------|--|------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | pH 10,5 0,5 uur | pH 11,5 0,5 uur | pH 11,5 24 uur | pH 12,5 0,5 uur |
| faecale coli | $3,6 \times 10^7$ | 0,8 | 0,00028 | 0,00011 | 0,00011 |
| faecale streptococci | $2,2 \times 10^6$ | 10 | 0,17 | 0,059 | 0,009 |
| totaal aërobe bact. | $4,9 \times 10^9$ | 0,11 | 0,00067 | 0,00025 | 0,00071 |
| Salmonella sp. | > 1.100 | 0,0033 | < 0,002 | < 0,0027 | < 0,0027 |
| Pseudomonas aeruginosa | 1,100 | 0,0083 | 0,0033 | < 0,0027 | < 0,0027 |

Tabel 11. Reductie van bacteriën in vloeibaar slib

Bij pH 11,5 konden ook in de slib-koek geen pathogenen meer gedetecteerd worden. Opvallend was het slechtere resultaat na 24 uur vergeleken met dat van een half uur (tabel 12).

| bacteriën | oorspronkelijk gehalte bact/g. koek | fractie van oorspronkelijk gehalte | |
|------------------------|--|------------------------------------|-------------------|
| | | pH 11,5 0,5 uur | pH 11,5 24 uur |
| faecale coli | $3,8 \times 10^5$ | 0,005 | 0,022 |
| faecale streptococci | $2,8 \times 10^5$ | 0,72 | 0,77 |
| totaal aërobe bact. | $6,1 \times 10^8$ | 0,0048 | 0,033 |
| Salmonella sp. | > 110 | < 0,0027 | < 0,0027 |
| Pseudomonas aeruginosa | > 46 | < 0,0027 | 0,014 |

Tabel 12. Reductie van bacteriën in slib-koek

Hogere organismen - zoals amoeben, mijnwormen en speelwormen - overleven echter een hoge pH gedurende 24 uur⁵².

Pathogene organismen met tussenstadia zijn veel moeilijker te bestrijden. Cysten en oöcysten van protozoën, wormeieren en bacteriesporen zijn vrijwel ongevoelig voor chemicaliën³.

Samengevat betekent het dat chemische desinfectiemethoden wel resulteren in een (aanzienlijke) reductie van het aantal bacteriën, maar dat virussen en hogere organismen vrij ongevoelig zijn. Bovendien kan het effect van de pH-verhoging van tijdelijke aard zijn.

slibpasteurisatie

Pasteurisatie van uitgegist slib is een algemeen geaccepteerde methode voor desinfectie. Twee factoren beïnvloeden de desinfectie van slib, namelijk temperatuur en reactietijd. Een temperatuur van 70°C die gedurende

20 - 30 minuten blijft gehandhaafd of een temperatuur van 65°C die 30 minuten wordt gehandhaafd, is voldoende om de normaal voorkomende kiemen en wormeieren te vernietigen. Na deze behandeling kan het slib als hygiënisch betrouwbaar worden beschouwd^{3, 4, 14}.

Voor de vernietiging van wormeieren is 1 - 2 minuten al voldoende. Een uniforme temperatuur in de pasteurisatie-inrichting is essentieel⁶³.

Sörensen⁶⁷ vindt bij 80°C 100% eliminatie van Salmonella en E. coli. Onderzoek naar het Salmonella-gehalte van het slib dat was gepasteuriseerd in een Roediger-installatie (ladingsgewijze voeding) wees uit, dat na 10 minuten bij 70°C, na 20 minuten bij 65°C en na 30 minuten bij 60°C de Salmonella's gedood waren. Pasteurisatie gedurende 30 minuten bij 70°C noemt Strauch ruim voldoende⁶.

Köser toonde Salmonella aan in monsters die volgens het systeem Canzler (continue voeding) waren gepasteuriseerd bij 50 - 52°C onafhankelijk van de contacttijd, terwijl boven 55°C na 5 minuten geen Salmonella meer werd aange- toond⁶⁸.

Om de slibkluiten ook volledig te desinfecteren is een pasteurisatie bij hogere temperatuur of gedurende een langere inwerkperiode gewenst¹⁶.

De inactivatie van enterovirussen en Salmonella in vers- en uitgegist slib is vergaand wanneer het slib gedurende 10 minuten wordt gehandhaafd op een temperatuur van 80°C. Sporevormende kiemen worden door deze behandeling niet geïnactiveerd⁶⁹.

Voor uitgegist slib, dat wordt gedesinfecteerd volgens het Roediger pasteurisatieproces gelden - afhankelijk van de organismen - verschillende reactie- tijden en temperaturen²⁰. Tabel 13 geeft deze relatie voor diverse organismen weer.

| reactietijden (in minuten) voor afsterving van | temperatuur | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|
| | 50°C | 55°C | 60°C | 65°C | 70°C |
| - cysten van Entamoeba histolytica | 5 | | | | |
| - eieren van Ascaris lumbricoides | 60 | 7 | | | |
| - Corynebacterium diphteria | | 45 | | | 4 |
| - Brucella abortus | | 60 | | 3 | |
| - Escherichia coli | | | 60 | | 5 |
| - Salmonella typhosa | | | 30 | | 4 |
| - larven van Trichinella spiralis | | | | 2 | |
| - Micrococcus pyogenes var. aureus | | | | | 20 |
| - Mycobacterium tuberculosis var. promixis | | | | | 20 |
| - virussen | | | | | 25 |

Tabel 13. De reactietijden bij verschillende temperaturen benodigd voor de afsterving van diverse pathogenen.

Slibpasteurisatie via het dompelbranderproces resulteerde in een afname van de Enterobacteriaceae van 10^8 - 10^3 /ml tot minder dan 10^2 /ml nadat gedurende 3 - 5 minuten bij 70°C werd verhit⁶⁸.

De resistentie van de tussenstadia van parasieten tegen thermische behandelingen is door Forstner⁷⁰ onderzocht (zie tabellen 14 en 15).

| exogene stadia | temperaturen (° C) | | | | |
|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------|----|
| | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| Ascaris suum | | + | 5M + 10M 90% + 15M 1-3% + | - | - |
| Parascaris equorum | | + | 10M 20% + | - | - |
| Toxocara canis | | | + | 20% + 10M - | - |
| Strongyliden (paarden) | 5M 95%(1)+ 10M 90%(2)+ | 97-98% + 5M 95% + 10M 50% + | 20-60%(3) + 5M 1%(3) + 10M - | - | - |
| Strongyliden (maagdarm, schapen) | | + | - | - | - |

Tabel 14. De resistentie van enige nematoden tegen hoge temperaturen⁷⁰

+ = levensvatbaar
- = afgestorven

M = minuten

(1) 5% van de larven niet kiemachtig

(2) 10% van de eieren ontbindt zich voor de larve-ontwikkeling

(3) ca. 1/3 verminkte larven, verschil in % door verschil in gehalten aan grote Strongyliden

| exogene stadia | temperaturen (° C) | | | | |
|---|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------|----|
| | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| Dictyocaulus arnfieldi D. viviparus, Cystocaulus (Larven I) | | | tot 50% + 10M - | - | - |
| Fasciola hepatica | 5M + 10M + | 5M 80% + 10M 70-80%+ | 75% + 5M 15-20% + 10M 1% + | - | - |
| Coccidia oöcysten | | 10M + | 10M 95% + 20% + | 5% + - | - |

Tabel 15. De resistentie van longwormlarven, Fasciola hepatica-eieren en Coccidia oöcysten tegen hoge temperaturen.⁷⁰

+ = levensvatbaar
- = afgestorven
M = minuten

Opvallend is echter het geringe aantal onderzoekresultaten dat over dit onderwerp in de literatuur is te vinden, temeer daar deze methode erg veel toegepast wordt. Decimeringsgetallen worden nauwelijks vermeld.

ioniserende straling

Gamma-straling in een dosis van 200 - 300 krad levert een adequate ontsmetting op van alle soorten zuiveringsslib, zowel voor spelwormen als waarschijnlijk voor lintwormen^{6, 71, 72, 73, 74}.

Salmonella enteritidis serotype montevideo dat werd toegevoegd aan gecomposteerd slib, werd even snel geïnactiveerd als andere Salmonellasoorten in uitgegist slib, namelijk één decimaal per 30 krad (gamma-straling met ¹³⁷Cs)⁷⁵.

Salmonella wordt 5 tot 6 decimalen gemakkelijker vernietigd dan Streptococcus faecalis⁷⁶.

Ook studies van Etzel e.a.¹⁹ met ^{60}Co wijzen op een snellere eliminatie van colibacteriën dan van faecale streptococci (tabel 16 en figuur 10). Per 22 krad wordt 90% van de colibacteriën geïnactiveerd. Wanneer tijdens de bestraling tevens wordt belucht, neemt het rendement toe, voor *Streptococcus faecalis* met 60% en voor colibacteriën met een factor 4^{76} .

| organismen | stralingsdosis krad | aantal organismen overlevend per ml. monster | percentage overlevend |
|-----------------------------|---------------------|--|-----------------------|
| ruw slib coligroep | 0 | $2,4 \times 10^5$ | 100 |
| | 50 | $2,4 \times 10^4$ | 1,0 |
| | 100 | $2,4 \times 10^3$ | 0,1 |
| | 200 | $2,4 \times 10^2$ | $1,0 \times 10^{-3}$ |
| | 300 | $9,4 \times 10^0$ | $3,9 \times 10^{-3}$ |
| uitgelist slib coligroep | 0 | $2,4 \times 10^5$ | |
| | 50 | $7,9 \times 10^3$ | 3,3 |
| | 100 | $5,4 \times 10^2$ | 0,22 |
| | 200 | $4,6 \times 10^0$ | $1,9 \times 10^{-3}$ |
| | 300 | $1,1 \times 10^0$ | $4,6 \times 10^{-4}$ |
| faecale streptococci | 0 | $2,2 \times 10^5$ | 100 |
| | 50 | $7,0 \times 10^4$ | 3,3 |
| | 100 | $2,8-17 \times 10^3$ | 1,26- 7,8 |
| | 200 | $7,0-14 \times 10^3$ | 3,17- 6,4 |
| | 300 | $3,4 \times 10^3$ | 1,57 |

Tabel 16. Eliminatie van colibacteriën en faecale streptococci na gamma-straling¹⁹

Er bestaat een lineair verband tussen de reductie van Enterobacteriaceae en de gamma-stralingsdosis.

Bij 300 krad bedraagt de eliminatiefactor 4 - 8 decimalen (soms zelfs 9), terwijl er minder dan 10^1 Enterobacteriaceae per gram slib in 97% van de monsters wordt gevonden¹⁷ (zie figuur 11).

Een dosis gamma-straling ^{60}Co van 300 krad bewerkstelligde een reductie met 2 decimalen in het kiemgetal en in het gehalte aan Enterococci; voor Enterobacteriaceae bedroeg deze waarde 6 decimalen. Deze dosis was bovendien voldoende om wormeieren in de ontwikkeling irreversibel te beschadigen⁶⁹. Alexandre e.a.³³ belastten slib met hogere gamma-stralingsdoses (zie tabel 17).

Thermobestraling, een combinatie van ioniserende straling en verwarming, werkt synergistisch op de vernietiging van bacteriën, virussen en parasieten³⁶. Voor *Escherichia coli* en *Ascaris lumbricoides* is dit weergegeven in figuur 12 en 13).

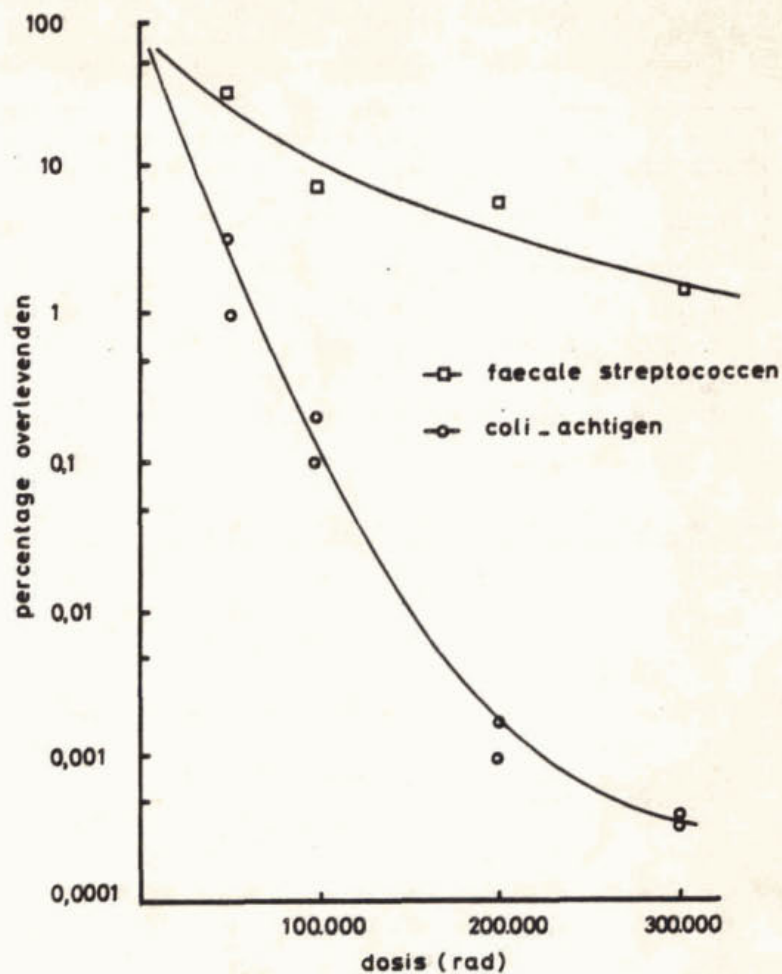


Fig. 10. Overlevingskarakteristieken van de micro-biologische populatie van uitgegist en versslib¹⁹

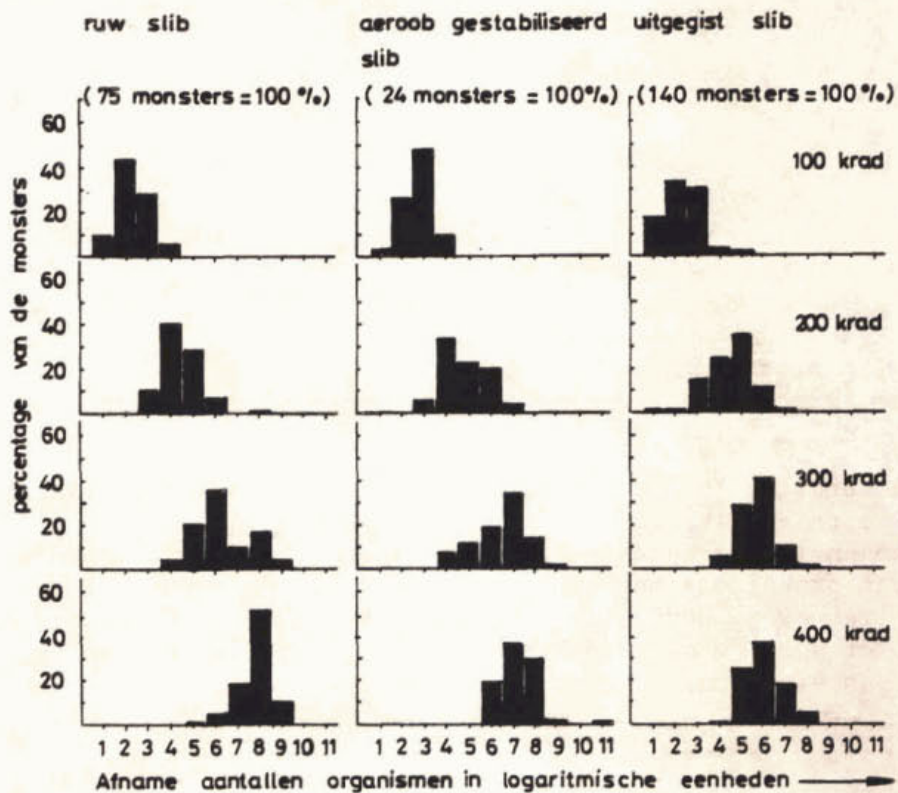


Fig. 11. Vermindering van het aantal Enterobacteriaceae door gamma-straling¹⁷

| dosis krad | percentage overlevend | | | |
|---------------|-----------------------|-------------------------------|-------------|---------------|
| | coli | faecale strepto- coccen | clostridiën | mycobacteriën |
| 400 | 2,22 | 2,23 | 33,8 | 94 |
| 800 | 0,04 | 0,34 | 3,0 | 0,4 |
| 1200 | 0,0023 | 0,007 | 0,2 | 0 |
| 1800 | 0,0006 | 0,0013 | 0,002 | 0 |

Tabel 17. Reductie van enkele bacteriesoorten als gevolg van gamma-straling met ^{60}Co .³³

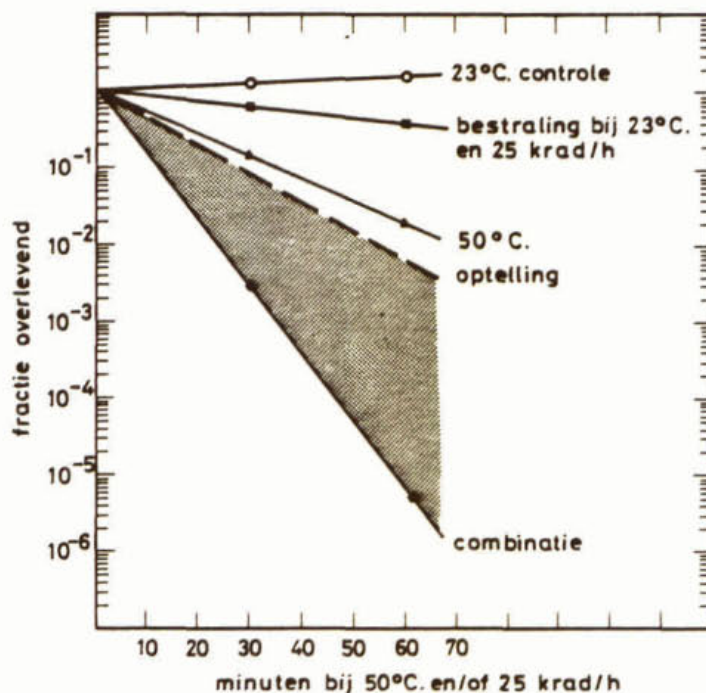


Fig. 12. Inactivatie van Escherichia coli in bouillon bij 25 krad/h en 50°C.³⁶

Thermobestraling levert betere resultaten op dan met ioniserende straling alleen is te bereiken.

Daarentegen is thermobestraling met name voor sporevormende bacteriën nauwelijks van praktische betekenis bij doses van 66 - 70 krad per uur en temperaturen van 60 - 100°C. Bij een temperatuur van 200°C en een dosis van 250 krad wordt voor de onderzochte bacteriesporen slechts een inactivatie van minder dan 4 decimalen gevonden⁷⁷.

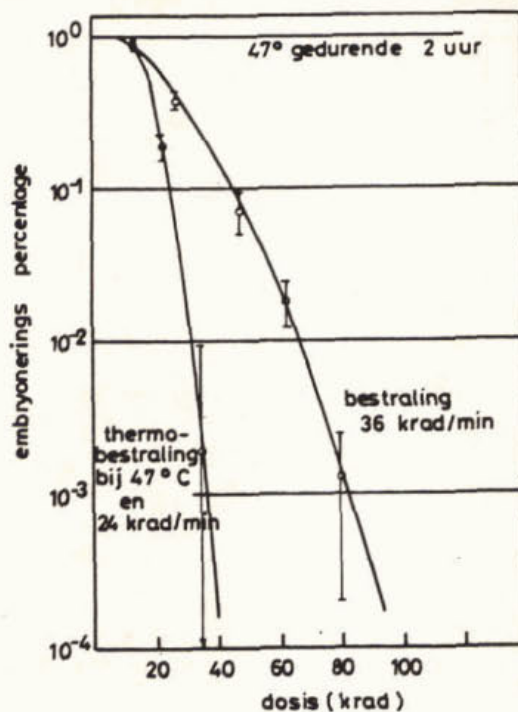


Fig. 13. Vergelijking van het effect van bestraling en thermobestraling op de embryonerings van eieren van *Ascaris lumbricoides*³⁶

Onderzoekingen naar het effect van bèta-straling op de desinfectie van zuiverings-slib leveren ook goede resultaten op. Bèta-straling uit een bron van 400 kV met een elektronenstroom van 10 mA en een tijdsduur van 20 seconden vernietigt 97 - 99% van de eieren van *Ascaris lumbricoides*, *Fasciola hepatica*, gastro-intestinale nematoden en dergelijke (deze dosis komt overeen met 800 krad). Na 72 seconden bedraagt de reductiefactor van *Salmonella senftenberg* zelfs 6 decimalen en *Escherichia coli* 6 - 7 decimalen (deze dosis komt overeen met 2.880 krad)⁴³.

Coli-bacteriën en andere gram-negatieve bacteriën zijn gevoeliger voor ioniserende straling dan de doorsnee populatie. Bij een bèta-straling van 150 krad wordt reeds 100% van deze bacteriën vernietigd, terwijl 300 krad voldoende is voor het doden van 99,99 % van de hele populatie⁷⁸.

Samengevat blijkt dat ioniserende straling een aanzienlijke reductie aan potentieel pathogene kiemen oplevert. De dosis die nodig is om een hygiënisch betrouwbaar eindproduct te verkrijgen varieert per onderzoek sterk. Eén en ander is ook afhankelijk van de aard van de pathogene organismen die zijn onderzocht, omdat de gevoeligheid voor ioniserende straling nogal verschilt per organisme.

2.5

Evaluatie

Bij de keuze van een geschikte methode voor de desinfectie van zuiverings-slib dient rekening gehouden te worden met een aantal eisen waaraan het gedesinfecteerde slib moet voldoen.

- Het slib moet hygiënisch betrouwbaar zijn.
- Het slib moet goede mest eigenschappen bezitten.
- Er mogen geen schadelijke bijproducten ontstaan.
- De desinfectie moet in een eenvoudig proces kunnen worden uitgevoerd.
- De methode moet geschikt zijn voor de kleine en middelgrote zuiveringsin-

richtingen in de landbouwgebieden.

- Het proces moet weinig kosten met zich meebrengen.

Hieronder volgen in het kort de diverse aspecten van de verschillende methoden.

pasteurisatie

- Het desinfecterend vermogen van deze methode is goed, wanneer de temperatuur en inwerktijd voldoende hoog zijn. In het algemeen worden temperaturen van 65 - 70°C gedurende 20 - 30 minuten toegepast.
- Er kan herinfectie optreden, vooral na pasteurisatie van niet gegist slib.
- De mesteigenschappen van slib zijn goed.
- De kosten van de pasteurisatie liggen in de orde van f 6,-- à f 8,-- per m³ vloeibaar slib (prijspeil 1978-1980).
- Door efficiënte warmte-terugwinning kunnen de energiekosten worden vermindert.

ioniserende straling

- Er wordt een goede desinfectie verkregen. De reductie van de pathogene organismen is afhankelijk van de stralingsdosis. Een dosis groter dan 300 krad (3000 Gy) wordt in het algemeen voldoende geacht.
- De mesteigenschappen van het slib blijven geheel behouden.
- De methode verkeert nog in een experimenteel stadium.
- Het gebruik van radio-actief materiaal voor de gamma-straling brengt risico's met zich mee. De gamma-stralingsbron kan niet worden uitgeschakeld. Het bestralingsproces met bèta-deeltjes is wel regelbaar.
- De kosten worden geschat op f 1,-- tot f 6,-- per m³ vloeibaar slib (prijspeil 1973-1974). De hoogste waarde lijkt de meest aannemelijke schatting.

u.v.-straling

- Deze methode wordt niet bruikbaar geacht voor desinfectie van slib vanwege de zeer geringe indringdiepte van de straling.
- Er bestaan geen toepassingen in de praktijk.

chloring/ozonisering

- Er zijn grote hoeveelheden desinfectiemiddel nodig aangezien er een reactie met andere produkten in het slib optreedt.
- Schadelijke bijprodukten kunnen ontstaan.
- De mesteigenschappen van het slib verminderen door de omzetting van organische stoffen.
- Deze methoden worden in de praktijk niet toegepast.

chemische conditionering met kalk

- Er wordt een aanzienlijke bacterie-reductie verkregen. Virussen en hogere organismen zijn echter vrij ongevoelig.
- De reductie is afhankelijk van de bereikte pH en de periode waarin deze pH kan worden gehandhaafd. Om een snelle daling van de pH te voorkomen zal de pH op ongeveer 12,5 moeten worden gebracht. Hierdoor kan herinfectie worden voorkomen.
- Toevoeging van ongebluste klak veroorzaakt een temperatuursstijging die voldoende kan zijn voor een pasteurisatie van het slib.
- De kosten van de chemische conditionering en ontwatering met een filterpers zijn circa f 7,-- per m³ vloeibaar slib. Hierbij wordt geen desinfectie nastreeft (prijspeil 1979).

composteren

- De hygiënische betrouwbaarheid is afhankelijk van de bereikte temperatuur. Vooral in de winter kunnen problemen optreden.
- Recent ontwikkelde bioreactoren hebben wellicht een groter desinfectievermogen dan de conventionele composteringmethoden, vanwege de hogere temperatuur en een verbeterde regelbaarheid.
- De mest eigenschappen van de compost zijn goed.
- Het slib moet eerst worden ontwaterd.
- De kosten van de ontwatering en de compostering liggen in de orde van f 8,-- per m³ vloeibaar slib (prijspeil 1979).

thermofiele stabilisatie

- De hygiënische betrouwbaarheid is goed wanneer temperaturen van 60 - 65°C worden bereikt.
- Anaërobe thermofiele stabilisatie is een instabiel proces bij hoge temperatuur.
- Aërobe thermofiele stabilisatie kan vooral bij een hoog organische gehalte van het slib mogelijk voldoende reactiewarmte ontwikkelen om het proces economisch rendabel te maken.
- Het onderzoek naar deze methoden is nog slechts in de experimentele fase. Praktische ervaring en kosten zijn niet bekend.
- Combinatie met de slibpasteurisatie kan mogelijk energetische voordelen bieden.

Voor de verschillende methoden kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Chlooring en ozonisering zijn vanwege de schadelijke bijproducten en de hoge kosten niet toepasbaar.
- U.v.-bestraling is technisch niet uitvoerbaar.
- De chemische conditionering en de conventionele composteringmethoden zijn hygiënisch niet volledig betrouwbaar en vrij kostbaar.
- Over de praktische uitvoerbaarheid van de thermofiele stabilisatie is nog erg weinig bekend. Het gebruik van deze methode in de nabije toekomst is nog niet te verwachten.
- Pasteurisatie, ioniserende straling en compostering in bioreactoren met geforceerde luchttoevoer bieden mogelijkheden voor een toepassing bij de desinfectie van zuiveringsslib.
- Het composteringproces is vrij duur vanwege de noodzaak van een voorontwatering. Praktijkervaringen van deze methoden zijn nog slechts in geringe mate bekend.

Het pasteurisatieproces en het gebruik van ioniserende straling zullen in het hierna volgende nader besproken worden.

3 PASTEURISATIE

3.1 Inleiding

Uit het literatuuronderzoek is gebleken, dat de pasteurisatie van vloeibaar slib technologisch en economisch een veelbelovende methode is om het slib hygiënisch betrouwbaar te maken.

Tijdens het pasteurisatieproces krijgt het slib een warmtebehandeling waarbij het gedurende een bepaalde tijd aan een zodanige temperatuur wordt blootgesteld, dat de pathogene organismen in voldoende mate worden geïnactiveerd om een hygiënisch betrouwbaar produkt te verkrijgen. Het slib wordt vervolgens in vloeibare vorm op het land verspreid, waar verdere ontwatering en droging plaats vinden.

In dit hoofdstuk worden de diverse pasteurisatiesystemen die de laatste jaren zijn ontwikkeld of in ontwikkeling zijn, nader beschreven waarbij vooral aandacht wordt besteed aan de uitvoeringsvormen, de energiebehoeften en de kosten van deze systemen als functie van de capaciteit.

Hiervoor zijn als informatiebronnen gebruikt:

- de literatuur;
- informatie van fabrikanten en leveranciers van pasteurisatie-inrichtingen;
- schriftelijke en mondelinge contacten met beheerders van pasteurisatie-inrichtingen en met onderzoekinstellingen.

3.2 Technologische aspecten

3.2.1 *algemeen*

De pasteurisatie van zuiveringsslib beoogt het vernietigen van pathogene organismen door middel van een warmtebehandeling. Het desinfecterend vermogen van de behandeling hangt af van

- de temperatuur waaraan het slib wordt blootgesteld en
- de tijd waarin de pasteurisatietemperatuur wordt gehandhaafd.

Verschillende microbiologische onderzoekingen^{79,80} hebben in West-Duitsland en Zwitserland geleid tot de volgende richtlijnen voor de pasteurisatiecondities^{24,81}.

- temperatuur : 65 - 70°C en
- pasteurisatietijd : 20 - 30 min.

Indien hogere pasteurisatietemperaturen worden toegepast kan de pasteurisatietijd worden verminderd. In de literatuur wordt echter geen eenduidige relatie tussen de temperatuur en pasteurisatietijd gegeven.

Voor de pasteurisatieprocessen die worden toegepast bij de desinfectie van voedings- en genotmiddelen zoals melk, bier en vruchtensappen, gelden wel richtlijnen waarbij een relatie tussen pasteurisatietijd en -temperatuur wordt gegeven.

Zo gelden voor de pasteurisatie van melk en melkprodukten de volgende richtlijnen (mededeling Nederlands Instituut voor Zuivel Onderzoek NIZO, Ede):

- pasteurisatietemperatuur : 72°C en 63°C
- pasteurisatietijd : 15 sec., resp. 30 min.

Melk is homogener dan slib. De pasteurisatie duurt dan ook veel korter. Het doel van melkpasteurisatie is het verlengen van de houdbaarheid.

Dikke produkten zoals vla zijn nog vloeibaar tijdens de pasteurisatie. Daarna worden pas de emulgatoren toegevoegd. Het voorkomen van grotere deeltjes wordt een ernstige belemmering gevonden voor de pasteurisatie.

Figuur 14 geeft voor melk de relatie weer tussen pasteurisatietijd en temperatuur.

Uit figuur 15 kan een indruk worden verkregen van de warmte-bestendigheid van enkele bacteriën en enzymen in melk.

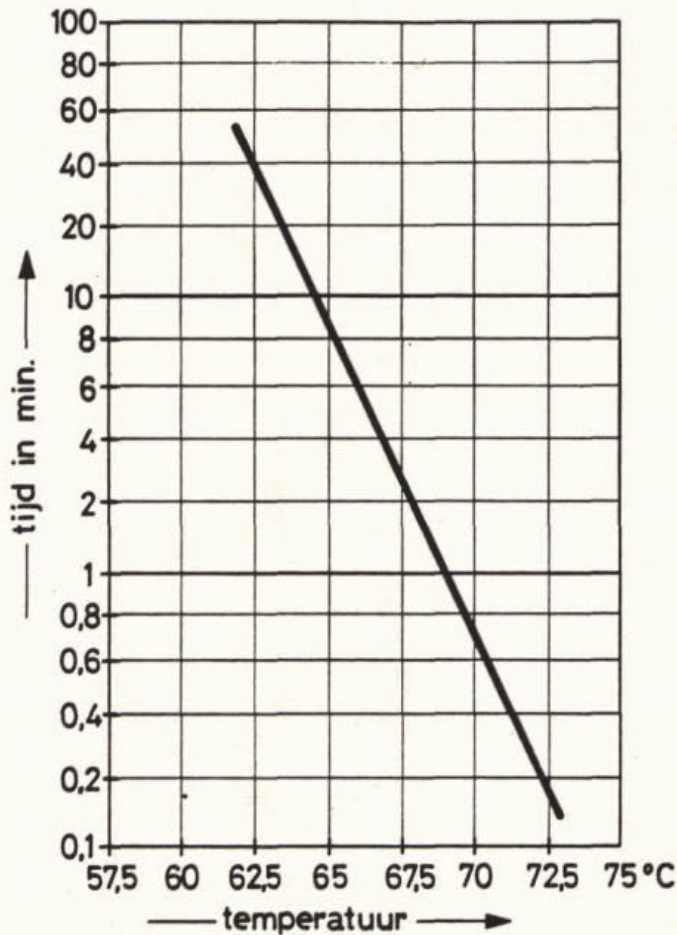


Fig. 14. Richtlijnen voor de pasteurisatie van melk

Om tot een goede desinfectie van het slib te komen bij de betreffende temperatuur en tijd moet de pasteurisatie-inrichting voldoen aan een aantal voorwaarden.

- De vereiste temperatuur moet gedurende de gehele reactieperiode in alle slibdeeltjes worden gehandhaafd. Om dit te bereiken moet
 - . de menging in de pasteurisatiereactor goed zijn,
 - . warmteverlies door de wanden worden beperkt,
 - . vlokvorming worden tegengegaan omdat de binnenste gedeelten van een slibvlok minder snel opwarmen; ziektekiemen die zijn ingesloten in de vlok, worden minder snel geïnactiveerd; aangezien versslib inhomogener is dan uitgegist slib, zijn voor de pasteurisatie van versslib hogere temperaturen of langere pasteurisatietijden nodig dan voor uitgegist slib.
- De verblijftijd in de reactor moet voor alle slibdeeltjes voldoende groot zijn. Een constante verblijftijd wordt verkregen bij een ladingsgewijze voeding. Continue processen met "ideale" menging hebben vaak een grote verblijftijdsspreiding. Bij een slechte menging kunnen kortsluitstromen ontstaan, waardoor de werkelijke inwerktijd vermindert.

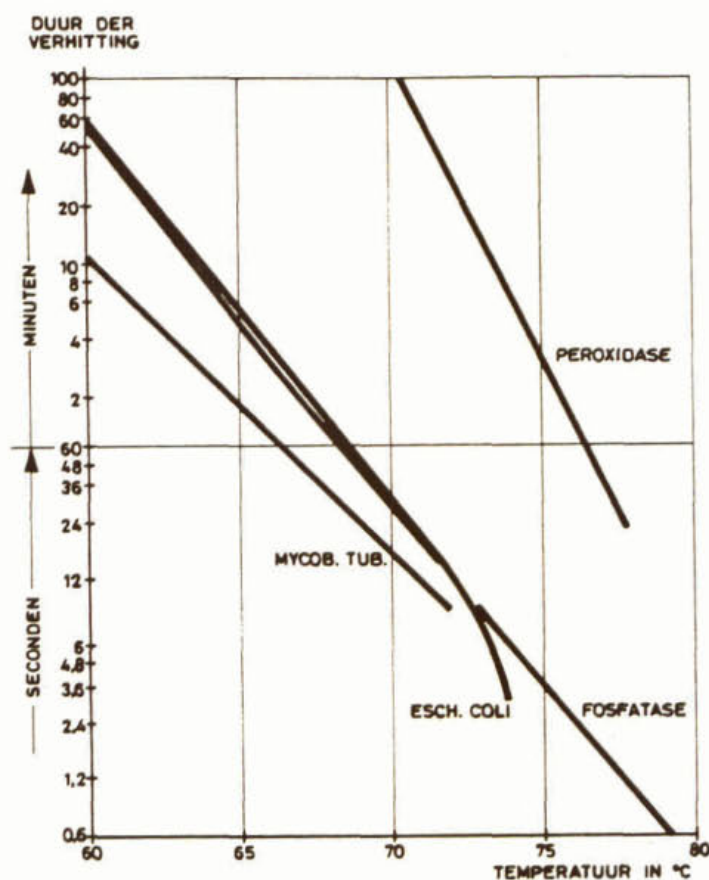


Fig. 15. Bestendigheid van enkele bacteriën en enzymen in melk tegen hoge temperaturen

3.2.2 onderdelen pasteurisatie-installatie

Een pasteurisatie-installatie bestaat uit drie onderdelen:

- de verwarmingsruimte,
- de reactieruimte en
- de afkoelingsruimte.

Eén van de belangrijkste kostenfactoren van de pasteurisatie-installatie is het energieverbruik voor de verwarming. Een optimale benutting van de ingebrachte energie kan zeker voor grote installaties belangrijke kostenbesparingen opleveren.

Hierbij speelt de warmte-terugwinning uit het gepasteuriseerde slib, waarbij geen warmte wordt gebruikt voor de voorverwarming van het te behandelen slib, een belangrijke rol.

verwarming

De methoden voor de verwarming van het slib worden schematisch weergegeven in figuur 16. Deze figuur geeft de verschillende combinatiemogelijkheden aan tussen de primaire en secundaire energiebronnen en de diverse warmte-uitwisselingsmethoden.

Bij de toepassing van slibgisting kan de desinfectie ervóór of erna plaatsvinden. De energiekosten kunnen aanmerkelijk worden verminderd door gebruik te maken van het vrijkomende gistingsgas. Indien het gistingsgas voor andere doeleinden wordt gebruikt en in het geval van pasteurisatie van versslib, zullen olie en aardgas de belangrijkste energiebronnen zijn.

primaire energiebron → secundaire energiebron → warmte-uitwisseling

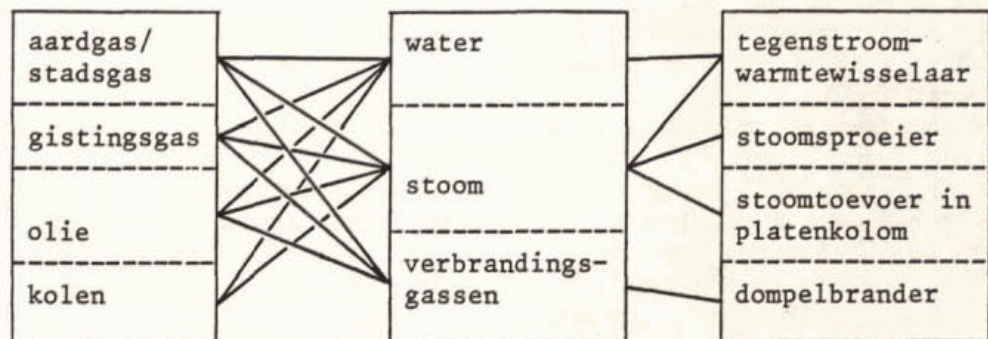


Fig. 16. Combinatiemogelijkheden tussen energiebronnen en warmte-uitwisselingsmethoden.

De directe warmte-uitwisseling met behulp van stoom of verbrandingsgassen geeft een veel hoger warmte-overdrachtsrendement dan de indirecte warmte-uitwisseling in warmtewisselaars, zodat het benodigde oppervlak veel geringer is. Een warmtewisselaar heeft bovendien het nadeel dat bij de heersende hoge temperaturen korstvorming kan ontstaan aan de uitwisselingsoppervlakken, zodat de warmte-overdracht vermindert en de doorvoer van slib kan worden gestoord. Door het vaste warmte-uitwisselingsoppervlak bij warmtewisselaars kan de hoeveelheid over te dragen warmte slechts in beperkte mate worden gevarieerd. Hierdoor bereikt de warmtewisselaar snel zijn minimale capaciteit en moet dan worden schoongemaakt. Bij stoominjectie kan de hoeveelheid stoom die moet worden ingeleid eenvoudig worden aangepast aan de warmtebehoefte over een veel groter gebied. Hierdoor is veel minder onderhoud nodig. Bij stoominjectie kan ook snel worden gereageerd op schommelingen in de aanvangstemperatuur of in de slibhoeveelheid zodat de pasteurisatietemperatuur vrij stabiel kan worden gehouden. De indirecte verwarming past zich veel minder snel aan wisselende omstandigheden aan.

Een ander voordeel van de stoominjectie is de hoge turbulentie die ontstaat. De warmteoverdracht is dus zeer snel en volledig. Ook grotere slibdeeltjes zijn snel op de gewenste temperatuur. De veel tragere opwarming van het slib in warmtewisselaars, waarbij geen intensief contact optreedt tussen slib en het verwarmingsmedium, kan nadelig zijn voor het desinfecterend vermogen.

Een nadeel van stoominjectie is de volumetoename met 5 - 10% door condensatie.

Om korstvorming en dode hoeken in de warmtewisselaar zoveel mogelijk tegen te gaan, moet de doorvoersnelheid van het slib voldoende hoog zijn en moet de warmtewisselaar zeer homogeen doorstroomd worden.

In de praktijk zijn twee typen warmtewisselaars in gebruik, namelijk de "spiraal-warmtewisselaar" en de "dubbele-pijp-warmtewisselaar".

Bij de "dubbele-pijp-warmtewisselaar" moet het slib door de binnenste pijp geleid worden. In de buitenste pijp kunnen dode hoeken optreden.

Bij dit type kan dus alleen warmte worden uitgewisseld tussen slib en water of tussen slib en stoom.

In "spiraal-warmtewisselaars" kan ook warmte worden uitgewisseld tussen twee slibstromen.

Aan de betrouwbaarheid van de warmtewisselaar moeten hoge eisen worden gesteld. Kleine lekkages kunnen ongepasteuriseerd slib in contact brengen met gepasteuriseerd slib, dat hierdoor opnieuw wordt geïnfecteerd.

reactieruimte

De reactieruimte kan zowel ladingsgewijs als continu worden bedreven. Bij ladingsgewijze voeding verblijft het slib gedurende de gewenste inwerktijd in de pasteurisatiereactor waarna deze ruimte worden geleegd. Een goede isolatie en menging is noodzakelijk voor een constante en homogene temperatuur.

Voor grote capaciteiten is een continue aanvoer in het algemeen goedkoper en eenvoudiger. De inhoud van de reactor moet zodanig groot zijn, dat het slib gedurende de gewenste inwerktijd in de reactor verblijft. Een "ideaal" gemengde reactor heeft een homogene temperatuur maar de verblijftijdsspreiding is meestal groot. Is de menging niet voldoende dan kunnen kortsluitstromen ontstaan. Lange propstroomreactoren geven een nagenoeg constante verblijftijd. Het wandoppervlak is echter groot zodat hoge eisen aan de isolatie moeten worden gesteld om warmteverlies te voorkomen.

afkoeling

De afkoeling van het gepasteuriseerde slib kan op verschillende manieren geschieden^{16,24}:

- in de warmtewisselaar met behulp van koelwater of het te behandelen slib. Dit wordt hierdoor voorverwarmd;
- door middel van een vacuümverdamer. Een hoeveelheid water verdampt uit het warme slib in een vacuümruimte. De benodigde verdampingswarmte wordt aan het slib onttrokken, zodat dit hierdoor afkoelt. De warme damp kan weer worden gebruikt voor de voorverwarming van het te pasteuriseren slib;
- schokafkoeling door bijmenging van koud water of van reeds gepasteuriseerd slib uit de na-indikker;
- luchtkoeling. Zowel natuurlijke afkoeling in de reservoirs als geforceerde koeling door rondpompen over een cascadekolom kan worden toegepast.

Bij de eerste twee methoden wordt een gedeelte van de warmte teruggewonnen en benut voor de voorverwarming van het te behandelen slib. De eerste methode van warmte-terugwinning kan zodanig worden uitgevoerd, dat in de gebruikte tegenstroomwisselaars slechts een warmte-uitwisseling tussen slib en water plaatsvindt. Het water stroomt in een kringloop door de koeling en de voorverwarming. De warmte die het water tijdens de koeling heeft opgenomen, wordt tijdens de voorverwarming van het slib weer afgegeven, zodat het water weer voldoende is afgekoeld om het gepasteuriseerde slib te koelen.

3.2.3 *ontwatering en gedrag van zware metalen*

Tijdens de behandeling van het slib treden er veranderingen op in de fysische en chemische eigenschappen. Om de transportkosten van het vloeibare slib te verminderen kan een na-indikking van het slib worden toegepast.

Is een continue afvoer van het gepasteuriseerde slib niet mogelijk zoals bij de toepassing in de akkerbouw, dan kan het slib tijdelijk worden opgeslagen op droogbedden of in sliblagunes. De invloed van de desinfectiebehandeling op de ontwateringseigenschappen en de kwaliteit van het afgevoerde water is hierbij van belang.

In figuur 17 is de sedimentatiecurve gegeven voor uitgegist slib met de volgende behandelingen⁸⁰:

- onbehandeld;
- gepasteuriseerd door middel van stoominjectie;
- gepasteuriseerd door verwarming in een warmtewisselaar en
- bestraald slib (met 300 krad of 3.000 Gy).

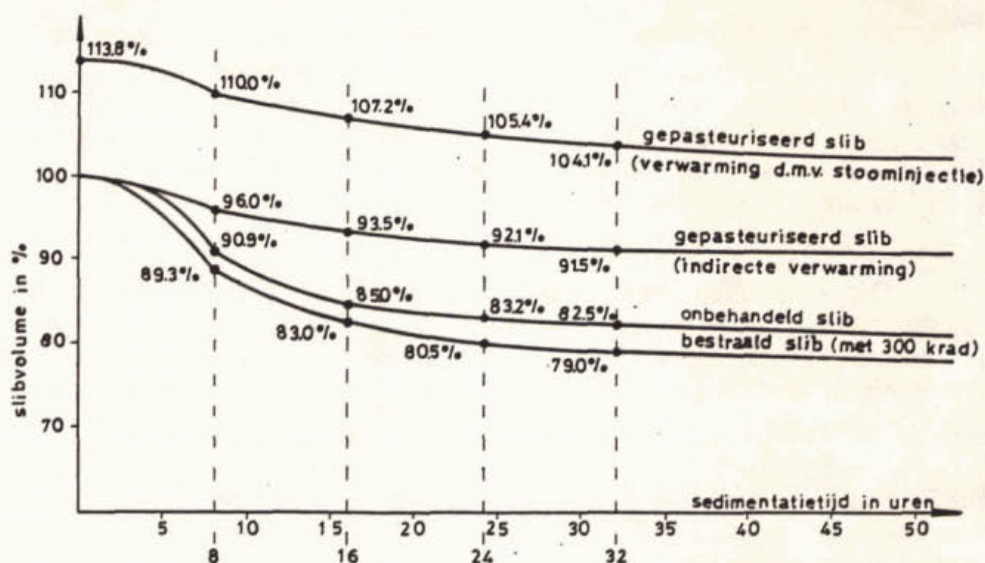


Fig. 17. Sedimentatiecurves van gedesinfecteerd uitgegist slib.

De invloed van de behandeling op de filtreerbaarheid is gegeven in tabel 18³¹.

| behandeling | Geiselbullach | | Starnberg | |
|-----------------|--|-------|--|-------|
| | filtratieweerstand (sec ² /g) | B/O % | filtratieweerstand (sec ² /g) | B/O % |
| onbehandeld | 24,2 x 10 ⁹ | 100 | 18,0 x 10 ⁹ | 100 |
| bestraald | 9,7 x 10 ⁹ | 40 | 5,6 x 10 ⁹ | 31 |
| gepasteuriseerd | 38,1 x 10 ⁹ | 157 | 27,4 x 10 ⁹ | 152 |

Tabel 18. Filtratieweerstand van uitgegist slib

B = Behandeld
O = Onbehandeld

Van slib van de rioolwaterzuiveringsinrichtingen van Geiselbullach en Starnberg (W-Duitsland) is de specifieke filtratieweerstand bepaald na pasteurisatie en behandeling met gamma-straling (300 krad, 3.000 Gy). De metingen zijn uitgevoerd bij een druk van $50 \cdot 10^3$ kPa.

Slib dat gepasteuriseerd is door middel van stoominjectie of door indirecte verwarming neemt na indikking, respectievelijk 25% en 10% meer volume in dan bij indikking van het onbehandelde materiaal.

Het ontwateringswater dat bij de na-indikking van gepasteuriseerd slib wordt afgescheiden, heeft een drogestofgehalte en een KMnO_4 -getal die 50 - 100% respectievelijk 95 - 100% hoger liggen dan die van onbehandeld slib. Indien dit water wordt teruggevoerd zal bij pasteurisatie de zuiveringsinrichting zwaarder worden belast.

Onderzoek van Stärk e.a.⁸² heeft uitgewezen dat het gehalte aan zware metalen die aan het slib zijn gebonden tijdens de pasteurisatie niet verandert. Door Jakma en Cruysberg⁸³ is aangetoond dat zware metalen tijdens het thermisch-conditioneringsproces ($T = 160 - 200^\circ\text{C}$, druk = 26 ato) nagenoeg volledig in de vaste stof blijven. Ook tijdens het gistingsproces blijft de hoe-

veelheid zware metalen in de vaste stof onveranderd⁸⁴. Hieruit blijkt dat door de gisting of een thermische behandeling geen verandering optreedt in dewijze waarop de zware metalen in het slib voorkomen, zodat wat de zware metalen betreft geen andere slibkwaliteit wordt verkregen na indikking of ontwatering.

3.2.4 *gisting vóór of na de pasteurisatie*

In het algemeen wordt een combinatie van pasteurisatie en slibstabilisatie toegepast. Indien niet wordt gestabiliseerd, zal het gepasteuriseerde slib, dat veel snel-afbreekbaar materiaal bevat, eerder stankproblemen opleveren. Bovendien is de kans op herinfectie groter dan bij gestabiliseerd slib.

Vanwege de produktie van methaangas is pasteurisatie in combinatie met slibgisting energetisch een aantrekkelijke methode. Tot op heden vindt de pasteurisatie voornamelijk na de gisting plaats. Er wordt echter op dit moment onderzoek gedaan (vooral in Zwitserland) naar de mogelijkheid om de pasteurisatie vóór de gisting uit te voeren.

Dit onderzoek is vooral gericht op het onderdrukken van herinfectie na de pasteurisatie.

Het uitvoeren van de pasteurisatie vóór de gisting heeft nog een aantal andere voordelen.

- Energie kan worden bespaard doordat verwarming van de gistingstank overbodig wordt. Wel is de hoeveelheid slib die moet worden gepasteuriseerd groter, aangezien uitgegist slib nog aanzienlijk kan worden ingedikt.
- De gisting verloopt sneller en de produktie is groter, omdat door de warmtebehandeling het slib enigszins is gehydrolyseerd.
- De ontwateringseigenschappen van het uitgediste slib zijn beter.

Bij het opstarten van het gistingsproces kan in dit geval geen entslib worden gebruikt, omdat mogelijke infectiebronnen na het pasteurisatieproces moeten worden vermeden. Om deze reden mag de pasteurisatie tijdens de winterperiode dan ook niet worden stilgezet, maar moet het gehele jaar worden gepasteuriseerd.

3.3 Uitvoeringsvormen van pasteurisatiesystemen

Er zijn op dit moment diverse uitvoeringsvormen van pasteurisatie-installaties bekend. Een aantal van deze systemen wordt reeds in de praktijk toegepast, terwijl enkele systemen nog slechts in het ontwikkelings- of teststadium verkeren.

In tabel 19 worden de verschillende pasteurisatiesystemen, die zijn ontwikkeld, en de kenmerken van deze systemen weergegeven.

In tabel 20 is een overzicht gegeven van de pasteurisatiesystemen die in de praktijk worden toegepast.

3.3.1 *systeem Roediger*

Bij pasteurisatie-installaties, die werken volgens het systeem Roediger wordt een ladingsgewijze vulling toegepast. Indien twee of meer reactoren parallel worden bedreven, kan een semicontinue toevoer worden toegepast.

De werking van de installatie verloopt als volgt. De reactieruimte wordt gevuld met slib, waarna de inhoud van deze ruimte met behulp van een pomp gedurende een bepaalde tijd langs een stoomsproeier wordt geleid, zodat verwarming en menging van het slib optreedt. Zodra het slib de gewenste temperatuur (70°C) heeft bereikt, laat men het slib een bepaalde tijd (20 - 30 minuten) op deze temperatuur.

| Systeem | toevoer | primaire energiebron | secondaire energiebron | warmte-uitwisseling | koeling | voorverwarming |
|---------------|---------------|----------------------------|------------------------|----------------------------------|---|--|
| Roediger | ladingsgewijs | olie, gistingsgas, aardgas | stoom | stoomsproeier | met koelwater in warmtewisselaar | geen |
| Canzler | continu | olie, gistingsgas | stoom | stoomtoevoer in platenkolom | vacuümverdamp | met damp uit vacuümverdamp in platenkolom |
| Alfa Laval | continu | | stoom | met stoom in warmtewisselaar | met slibaanvoer in warmtewisselaar | met afvoer in warmtewisselaar |
| Klöckner | semi-continu | | water | warmtewisselaar | met gekoeld verwarmingswater in warmtewisselaar | geen |
| Dompelbrander | continu | olie | verbrandingsgasen | dompelbrander | met koelwater in warmtewisselaar | met afvoer verbrandingsgasen |
| Von Roll | continu | olie, gas | water of stoom | warmtewisselaar of stoominjectie | met warmtewisselaar in gesloten watersysteem | met warmtewisselaar in gesloten watersysteem |
| Zimpro | continu | | stoom | stoomsproeier | met slibaanvoer in warmtewisselaar | met afvoer in warmtewisselaar |

Tabel 19. Uitvoeringsvormen van pasteurisatie-installaties

| | |
|----------------------------|---|
| Roediger | Almelo (NL) Malburg (D) Zwitserland (+ 40 installaties) |
| Canzler (flash-verdamping) | Mönchengladbach (D) Nette (D) |
| Canzler (dompelbrander) | Grefrath (D) |
| Klöckner | Dissen (D) Bogen (D) St. Gallen (CH) |
| Alfa-Laval | Kopenhagen (Dk) |
| Von Roll | Zürich (CH) continue voeding 8 installaties in Zwitserland met ladingsgewijze voeding |

Tabel 20. Pasteurisatie-installaties in bedrijf

Vervolgens wordt het slib afgekoeld tot 30 - 40°C door de inhoud van de reactieruimte een bepaalde tijd langs een warmtewisselaar te pompen. Als koelvloeistof wordt meestal het effluent van de zuiveringsinrichting gebruikt. Verdere afkoeling geschiedt in de na-indikker of in de opslagruimte van het gepasteuriseerde slib.

De capaciteit van de installatie hangt af van het aantal reactieruimten, het volume van de reactoren en de capaciteiten van de opwarm- en koelelementen.

Roediger⁸⁵ heeft enkele richtlijnen gegeven voor de maximale capaciteit bij verschillende aantallen reactieruimten (tabel 21).

| aantal reactieruimten | maximale capaciteit bij 8 uur bedrijfstijd per dag |
|-----------------------|--|
| 1 | 12 - 15 m ³ /dag |
| 2 | 60 - 70 m ³ /dag |
| 3 | > - 200 m ³ /dag |

Tabel 21. Capaciteiten van Roediger pasteurisatie-installaties

Figuur 18 geeft het processchema weer van een installatie met twee reactieruimten, die in de praktijk het meest wordt toegepast.

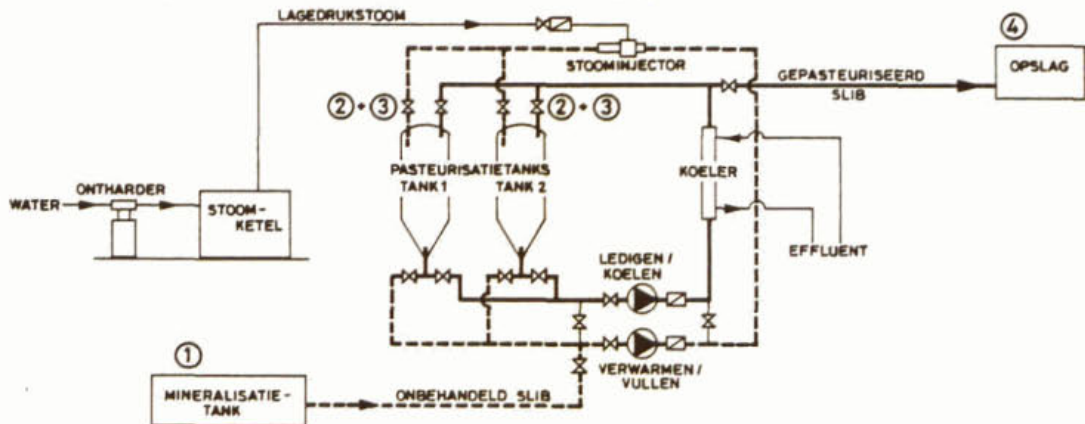


Fig. 18. Roediger pasteurisatie-installatie

De bedrijfsvoering van de installatie kan volledig worden geautomatiseerd. Voor de regeling van het proces kunnen de volgende parameters worden ingesteld:

- de inwerktemperatuur;
- de eindtemperatuur na koeling;
- de inwerktijd en
- het aantal ladingen per dag.

Voor het ontharden van het water voor de stoombereiding wordt een ionenwisselaar gebruikt. Het regenereren van de ontharder geschiedt automatisch met behulp van een verzadigde NaCl-oplossing, die van tijd tot tijd moet worden aangevuld.

Door het injecteren van stoom neemt het volume van het slib met 5 - 10% toe,

hetgeen nadelig is voor de transportkosten. Volgens Roediger⁸⁵ is dit niet-gebonden water eenvoudig in een indikker af te scheiden. Gronemann³¹ vermeldt echter, dat door de pasteurisatie de structuur van de vlokken waarschijnlijk door hydrolyse slechter wordt, zodat de ontwatering moeilijker zal verlopen.

Bij één- of tweetrapssystemen is geen warmte-terugwinning mogelijk, omdat de verwarming en afkoeling niet altijd simultaan geschieden.

Bij drietrapsystemen kan warmte-terugwinning worden toegepast wat een besparing van 40 - 45% in de energiekosten kan opleveren⁸¹.

Het gebruik van gistingsgas voor de verwarming van het slib is economisch aantrekkelijk. Bij gebruik van olie of aardgas maken de stookkosten 15 - 25% van de totale kosten van de pasteurisatie uit. Verlaging van de energiekosten is dan ook op de rwzi Almelo-Vissedijk geconstateerd (hoofdstuk 5).

Hier wordt het slib aëroob gestabiliseerd en vervolgens gepasteuriseerd. Sinds juni 1977 zijn de stabilisatietanks afgedekt. Hierdoor is de temperatuur van het gestabiliseerde slib gestegen van 20°C tot 40 - 45°C. De stookkosten worden hierdoor verminderd met ongeveer 40%. De totale jaarlijkse kosten komen daardoor 6 - 10% lager te liggen.

In figuur 19 is een afbeelding van de pasteurisatie-installatie van de rwzi Almelo-Vissedijk weergegeven.

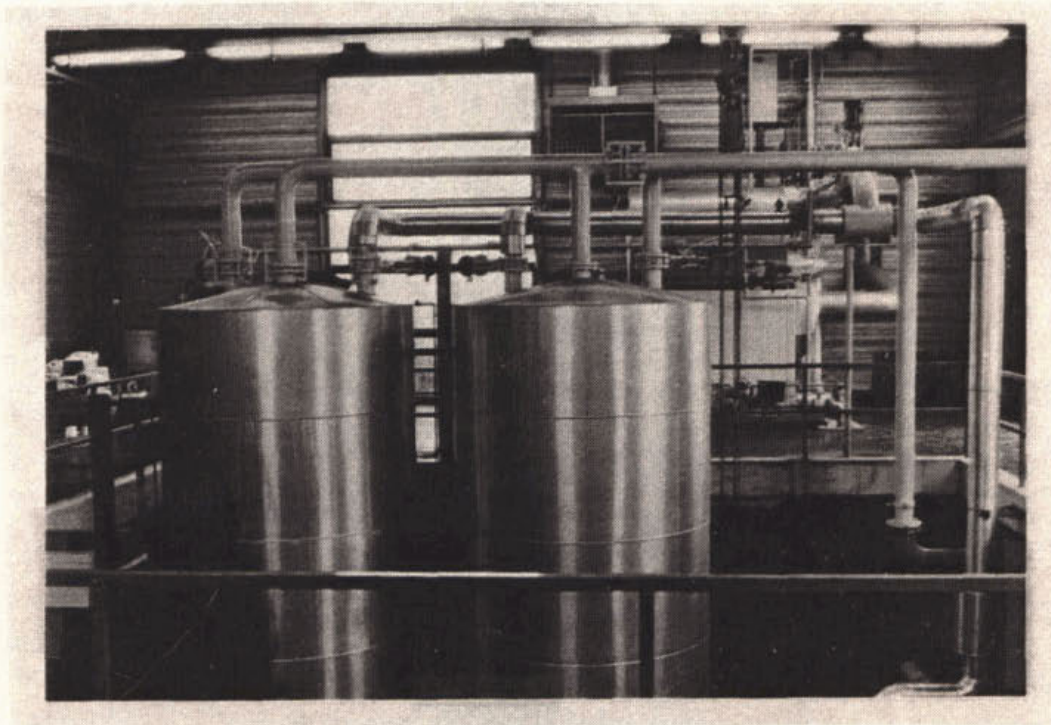


Fig. 19. Pasteurisatie-installatie rwzi Almelo-Vissedijk

3.3.2 *systeem Canzler (flash-verdamping)*

Dit systeem wordt gekenmerkt door

- een continue aanvoer van slib;
- een verhitting door middel van stoom die in direct contact wordt gebracht met het inkomende slib door de stoom in een cilindrisch vat te leiden, waarin het slib langs schuingeplaatste platen naar beneden druipt;

- warmte-terugwinning door afkoeling in een vacuümverdamer, waarna de damp wordt gebruikt voor de voorverwarming van het aangevoerde slib.

De bekendste uitvoeringen van dit type zijn de inrichtingen van Mönchengladbach en Nette in het stroomgebied van Niers^{24, 26}.

In figuur 20 wordt een processchema van de installatie van Mönchengladbach gegeven.

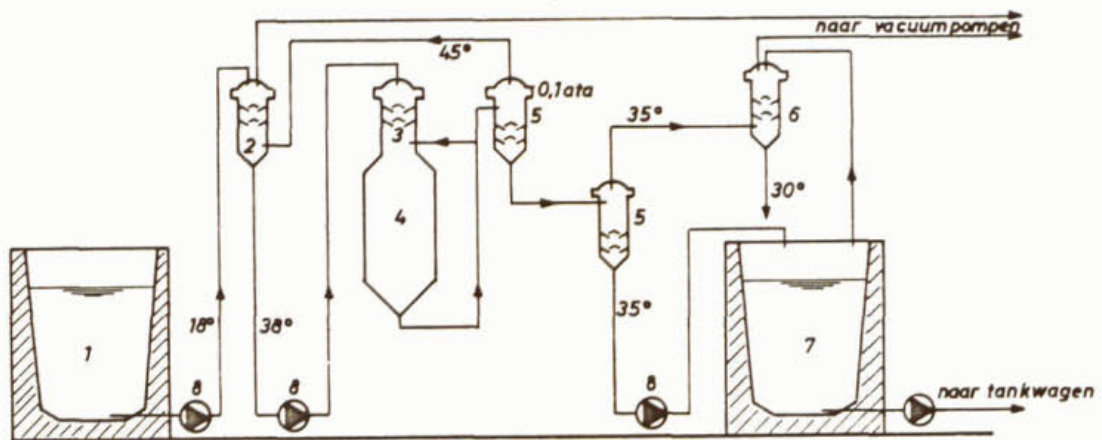


Fig. 20. Schema van de slibpasteurisatie-installatie in het Gruppenklärwerk I, Mönchengladbach (Niersverband)

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1 = ingedikt uitgegist slib reservoir | 5 = vacuümverdamer (0,1 ata) |
| 2 = voorverwarmingsruimte (0,1 ata) | 6 = condensor |
| 3 = verwarmingsruimte met stoominjectie | 7 = gepasteuriseerd slib reservoir |
| 4 = inwerkruimte (70°C - 30 min.) | 8 = pompen |

Het ingedikte, uitgegist slib uit het buffervat (1) wordt in de voorverwarmingstank (2) gepompt, waarin een onderdruk van 0,1 ata heerst.

De voorverwarmingstank heeft de vorm van een cilindrisch vat, dat voorzien is van schuine platen.

De damp uit de vacuümverdamer (druk 0,1 ata, temperatuur 45°C) komt onderin de voorverwarmingstank binnen. Door dit direct contact tussen het toegevoerde slib en de damp die hierbij condenseert, wordt het slib verwarmd van 18 tot 38°C.

Het voorverwarmde slib wordt nu in de reactieruimte geleid, die uit twee delen bestaat. In het bovenste gedeelte (3) vindt de verhitting plaats tot 70°C, in het onderste gedeelte (4) verblijft het slib gedurende 30 minuten bij deze temperatuur.

In deze ruimte heerst weer de atmosferische druk. De warmte-uitwisseling vindt op dezelfde wijze plaats als in de voorverwarming in een platenkolom.

Als secundaire energiebron wordt stoom gebruikt, die in een stoomketel wordt geproduceerd. Als primaire energiebron voor de stoomproductie gebruikt men gistingsgas.

De stoom die in contact komt met het naar beneden druipende slib condenseert. De warmte die vrijkomt bij de condensatie en afkoeling van de stoom wordt overgedragen aan het slib. De hoeveelheid ingebrachte stoom wordt zodanig geregeld dat de gewenste temperatuur wordt bereikt. Na een verblijf van 30 minuten in de reactieruimte wordt het slib naar een vacuümverdamer (5) geleid, waar een druk heerst van 0,1 ata.

Door deze onderdruk zal een gedeelte van het warme slibwater verdampen. De hiervoor benodigde verdampingswarmte wordt onttrokken aan het slib, dat hierdoor

afkoelt tot 45°C. De damp gaat naar de voorverwarmingstank, het slib naar een tweede vacuümverdamer (5). De druk hier is weer lager (0,057 ata), zodat verdere afkoeling optreedt tot ongeveer 35°C, waarna het gepasteuriseerde slib in een voorraadtank (7) wordt opgeslagen. De damp uit de tweede vacuümverdamer wordt in een sproeicondensor met behulp van koelwater gecondenseerd.

Het principe van de installatie in Nette is in grote lijnen gelijk aan dat in Mönchengladbach. Er zijn echter enkele essentiële verschillen.

- Er heeft geen slibgisting plaatsgevonden. Het ingedikte verse slib wordt direct gepasteuriseerd. Dit heeft tot gevolg dat stookolie in plaats van gistinggas nodig is voor de stoomproductie.
- Er wordt slechts één vacuümverdamer gebruikt en geen condensor. Het gepasteuriseerde slib gaat de opslagruimte in met een temperatuur van ongeveer 45°C.
- De diverse onderdelen van de pasteurisatie-installatie zijn in één kolom bijeengebracht, die bestaat uit:
 - . buffervat,
 - . voorverwarmingstank,
 - . verwarmingsruimte en reactieruimte en
 - . vacuümverdamer.

Door deze compacte opstelling wordt de toegevoerde warmte beter benut, aanzien ook warmte-overdracht via de binnenwanden optreedt en er minder warmteverlies is door de buitenwanden.

In figuur 21 is de installatie van Nette afgebeeld.

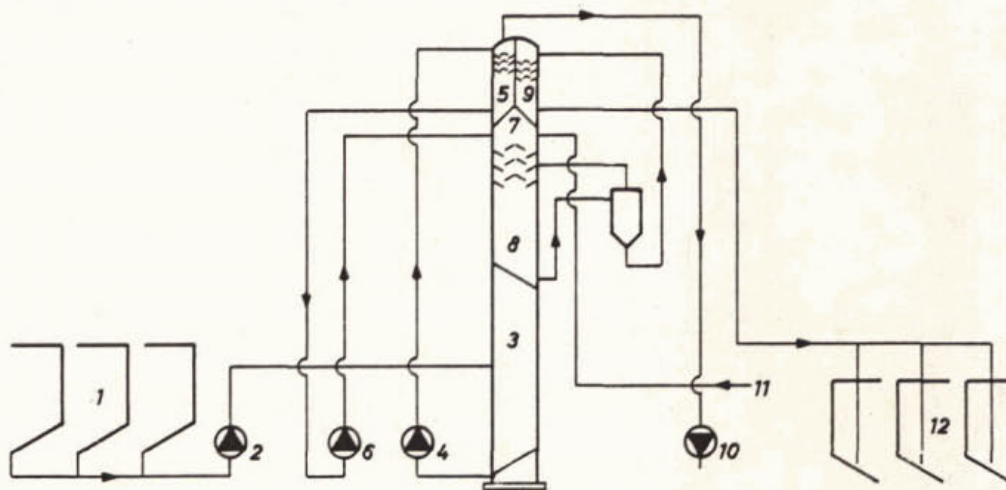


Fig. 21. Pasteurisatie-installatie te Nette (Niersverband)

- | | |
|---|--|
| 1 = versslibindikker (3 x 200 m ³) | 7 = verwarmingsruimte, stoominjectie |
| 2 = pomp | 8 = inwerkruimte 70°C, 1,0 ata, 6,5 m ³ |
| 3 = buffervat (8 m ³) | 9 = vacuümverdamer (0,01 ata) |
| 4 = pomp | 10 = vacuümpomp |
| 5 = voorverwarmingsruimte 40 , 0,08 ata | 11 = stoom 1,5 ata |
| 6 = pomp | 12 = slibindikker (3 x 200 m ³) |

Bij de pasteurisatie van niet gestabiliseerd slib, zoals in Nette, treden vaak stankproblemen op. Het slib dat met circa 45°C naar de opslagruimte gaat, dient hierin af te koelen tot tenminste 30°C alvorens het op het land wordt gebracht. De mogelijkheid bestaat namelijk dat door de hoge temperatuur de stabiliteit van de bodemmicroflora wordt verstoord; er kan een spectrumverschuiving optreden in de soorten micro-organismen (d.w.z. andere soor-

ten kunnen dominant worden).

De twee beschreven installaties worden bedreven met warmte-terugwinning in één trap. Bij grotere installaties kan zelfs een twee- of drietraps warmte-terugwinningsysteem rendabel zijn. Bij dit systeem zijn twee of drie voorverwarmingstanks en twee of drie vacuümverdamers in serie geplaatst. Hierbij wordt verdergaande voorverwarming en afkoeling verkregen.

De capaciteit waarbij meertraps-warmte-terugwinning rendabel wordt, is afhankelijk van het aantal trappen⁸⁶.

| aantal trappen | capaciteit |
|----------------|------------------------|
| 1 | > 7 m ³ /h |
| 2 | > 16 m ³ /h |
| 3 | > 35 m ³ /h |

Triebel⁸⁶ vermeldt een voorbeeld van een installatie met een tweetraps warmte-terugwinningsysteem (zie figuur 22), waarbij door warmte-terugwinning 40 - 50% aan brandstof wordt bespaard.

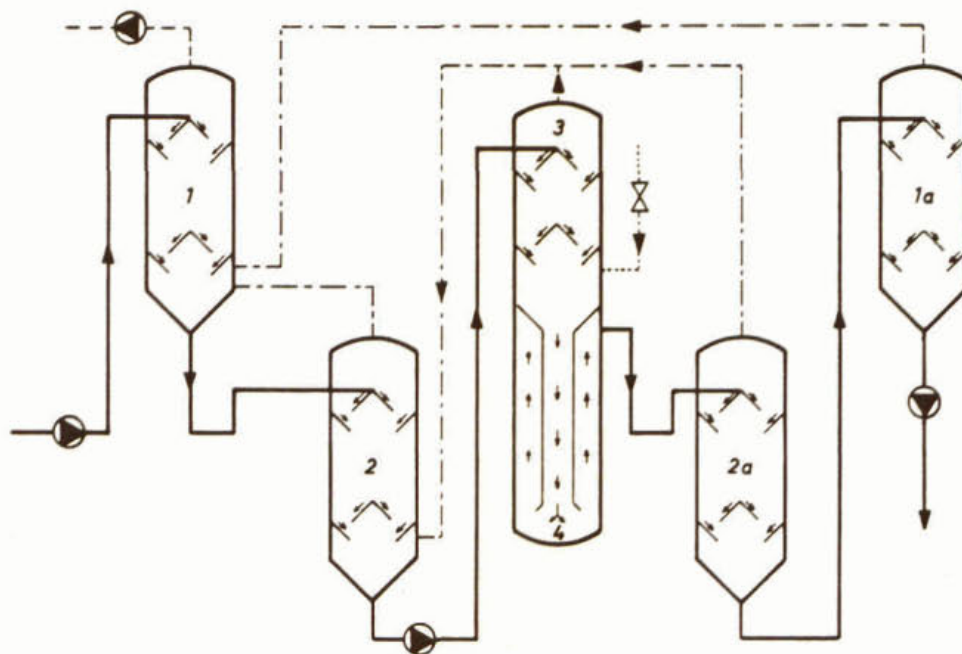


Fig. 22. Tweetraps-warmte-terugwinningsysteem in een pasteurisatie-installatie

- 1 = eerste trap voorverwarming
 - 2 = tweede trap voorverwarming
 - 3 = verwarmingsruimte met stoominjectie
 - 4 = inwerkruimte
 - 2a = eerste trap vacuümverdamping
 - 1a = tweede trap vacuümverdamping
- = slib
 - - - - - = stoom
 - · - · - = damp (vacuüm)

3.3.3 systeem Alfa Laval

Onderzoekingen in Denemarken⁶⁷ hebben uitgewezen, dat indien de pasteurisatietemperatuur verhoogd wordt van 65 - 70°C tot 80°C, de inwerktijd kan worden gereduceerd tot slechts 5 minuten.

Voor de warmte-uitwisseling kan gebruik worden gemaakt van een spiraal-warmtewisselaar. Deze methode van warmte-uitwisseling heeft een aantal voordelen.

- Het uitwisselingsoppervlak is groot, terwijl het volume voor beide media klein is. Hierdoor wordt een goede warmte-overdracht verkregen met een kleine hoeveelheid verwarmingsmedium.
- Het verwarmingsmedium kan zowel dampvormig als vloeibaar zijn.
- Bij relatief lage snelheden wordt turbulentie verkregen. Turbulentie treedt al op bij $Re > 500$. Bovendien is er weinig drukverlies en er zijn geen dode hoeken. Hierdoor is de kans op verstoppingen gering.

Uit bovenstaande gegevens heeft Alfa Laval een systeem voor pasteurisatie ontwikkeld met de volgende kenmerken:

- pasteurisatietemperatuur 80°C;
- inwerktijd 5 minuten;
- warmte-uitwisseling met spiraalwarmtewisselaars;
- warmte-terugwinning door middel van warmte-overdracht in een warmtewisselaar tussen versslibaanvoer en gepasteuriseerd slibafvoer; de slibaanvoer wordt voorverwarmd tot + 55°C en het gepasteuriseerde slib gekoeld tot 45°C;
- verhitting tot 80°C met behulp van stoom;
- inwerking in een buisvormige inwerkruimte die in 5 minuten wordt doorlopen.

Het Alfa Laval proces wordt schematisch in figuur 23 weergegeven. In de praktijk wordt het proces in Kopenhagen toegepast.

Als voordelen van dit systeem worden genoemd:

- het slib wordt niet verdund (indirecte verwarming);
- het systeem is eenvoudig en robuust;
- de warmte-overdracht en het zelfreinigend vermogen zijn goed bij dit type warmtewisselaars.

Als nadelen kunnen worden genoemd:

- de warmtewisselaars zijn gedimensioneerd voor bepaalde optimale doorvoeren; bij een lager slibaanbod wordt aan deze optimale condities niet voldaan, waardoor warmte-uitwisselingsrendementen mogelijk sterk verminderen;
- korstvorming treedt onvermijdelijk op, zodat de warmte-overdracht zal verslechteren.

In figuur 24 is een afbeelding van dit type pasteurisatie-installatie weergegeven.

3.3.4 systeem Klöckner

Dit pasteurisatieproces gaat uit van een warmtebehandeling bij 65 - 70°C gedurende tenminste 30 minuten.

Tegen de bestaande systemen van Roediger en Canzler bestaat een aantal bezwaren^{2,27}.

- Door de methode van stoominjectie in de rondgepompte vloeistof bij het Roediger-systeem is het mogelijk, dat niet de gehele inhoud van de reactor tot de gewenste temperatuur wordt verhit door onvolledige menging (dode hoeken) in het recirculatiesysteem (pompen, leidingen). Niet al het slib zal zodoende aan de gestelde pasteurisatiecondities hebben voldaan.

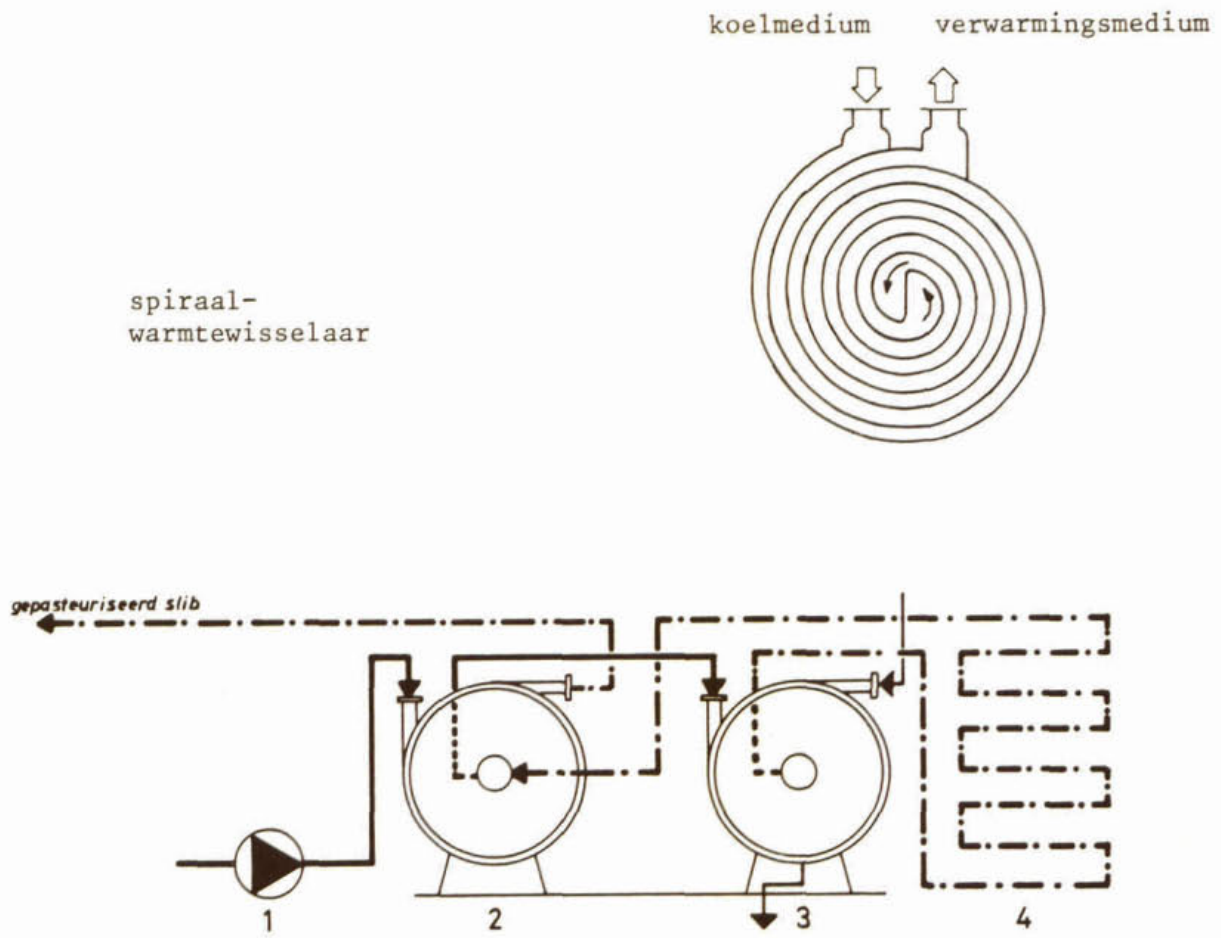


Fig. 23. Slibpasteurisatie, systeem Alfa Laval

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1 = voedingspomp | 3 = verwarming (stoom) |
| 2 = voorverwarming-koeling | 4 = inwerkbus |

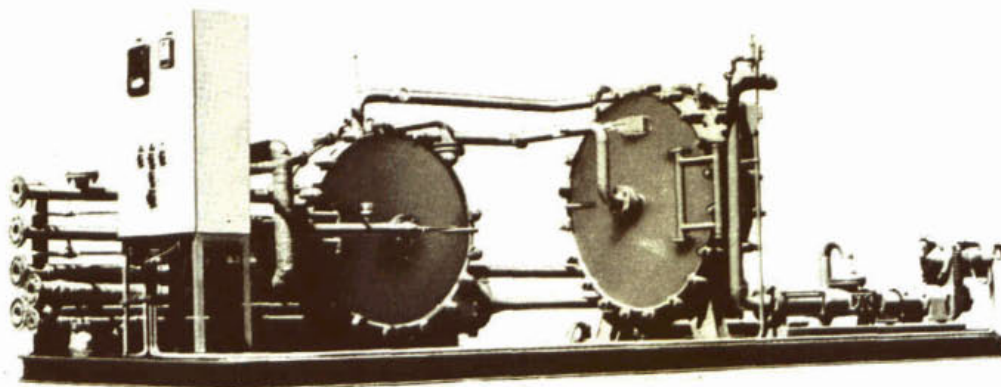


Fig. 24. Pasteurisatie-installatie volgens systeem Alfa Laval

- In het systeem van Canzler kunnen kortsluitstromen ontstaan omdat de reactieruimte constant doorstroomd wordt; de verblijftijd van het slib kan hierdoor te kort worden.

Klöckner heeft getracht deze bezwaren te vermijden door bij een continue aanvoer het slib te verhitten in een warmtewisselaar, zodat alle slib tot een voldoende hoge temperatuur wordt verwarmd. Om korstluitstroom te voorkomen geschiedt de inwerking ladingsgewijs. Er zijn drie inwerkruimten, waarvan er op ieder moment één wordt gevuld, één in rust is en de derde geleegd wordt.

Dit systeem heeft nog enkele andere karakteristieken.

- De pasteurisatie geschiedt vóór de gisting. Het ingedikte versslib wordt eerst gepasteuriseerd en de gisting geschiedt bij verhoogde temperatuur (35°C). Een verkorting van het gistingsproces wordt hierdoor verkregen vanwege
 - . gedeeltelijke hydrolyse van de organische stof tot gemakkelijker afbreekbare stoffen door de warmtebehandeling,
 - . verhoging van de gistingsnelheid bij de verhoogde temperatuur en
 - . geen temperatuurschokken in de gistingstank.
- De verhitting en afkoeling geschieden in twee afzonderlijke dubbel-pijp-warmtewisselaars. Als verwarmingsmedium wordt heet water gebruikt, dat door het koude slib zodanig wordt afgekoeld dat het als koelmiddel voor het gepasteuriseerde slib kan dienen, zodat een goede warmte-terugwinning mogelijk is.
- Een voorverwarming van het slib wordt niet toegepast.

Figuur 25 geeft het processchema van een Klöckner pasteurisatie-installatie.

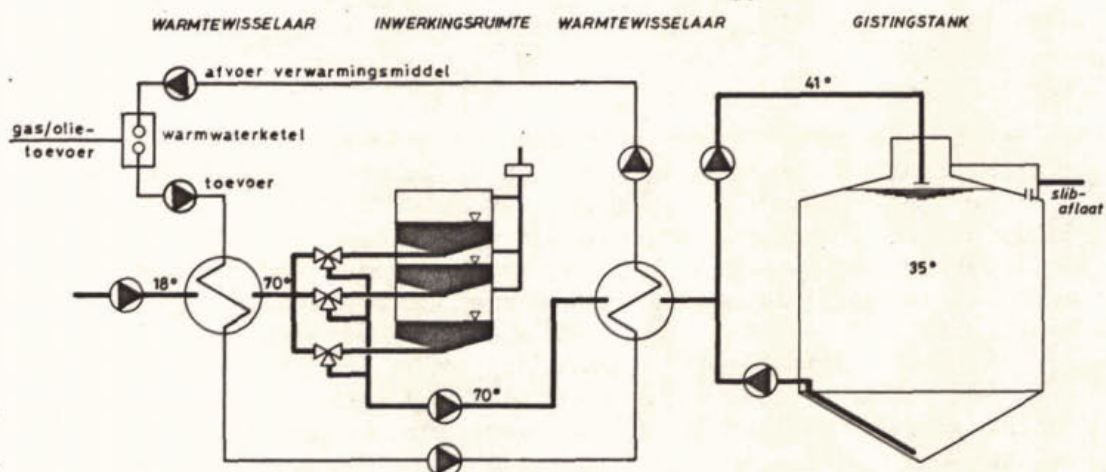


Fig. 25. Slibpasteurisatie volgens het systeem Klöckner

De installaties, die op dit moment kunnen worden geleverd, gaan tot een maximale capaciteit van 9 m³ per uur.

Door de warmte-terugwinning, het gebruik van gistingsgas als energiebron en het uitsparen van een verwarming voor de gistingstank wordt een verlaging van de kosten van deze installatie verkregen. Een warmtewisselaar waarbij de uitwisseling plaatsvindt tussen slib en water wordt eenvoudiger en betrouwbaarder beschouwd dan een warmte-uitwisseling tussen twee slibstromen. In de praktijk heeft men nog weinig problemen met korstvorming gehad.

De pasteurisatieruimte wordt tegenwoordig ook wel uitgevoerd als een toren die door verticale tussenschotten verdeeld is in drie compartimenten. Om af-

koeling van het slib te voorkomen wordt deze ruimte op temperatuur gehouden met behulp van pijpen die om de ruimte zijn gewikkeld en waardoor heet water stroomt.

Om stankbezwaren tegen te gaan wordt de afgevoerde lucht uit de ontluuchtingsleiding via een filter geleid.

In figuur 26 is de pasteurisatie-installatie van de rwzi Bogen weergegeven.

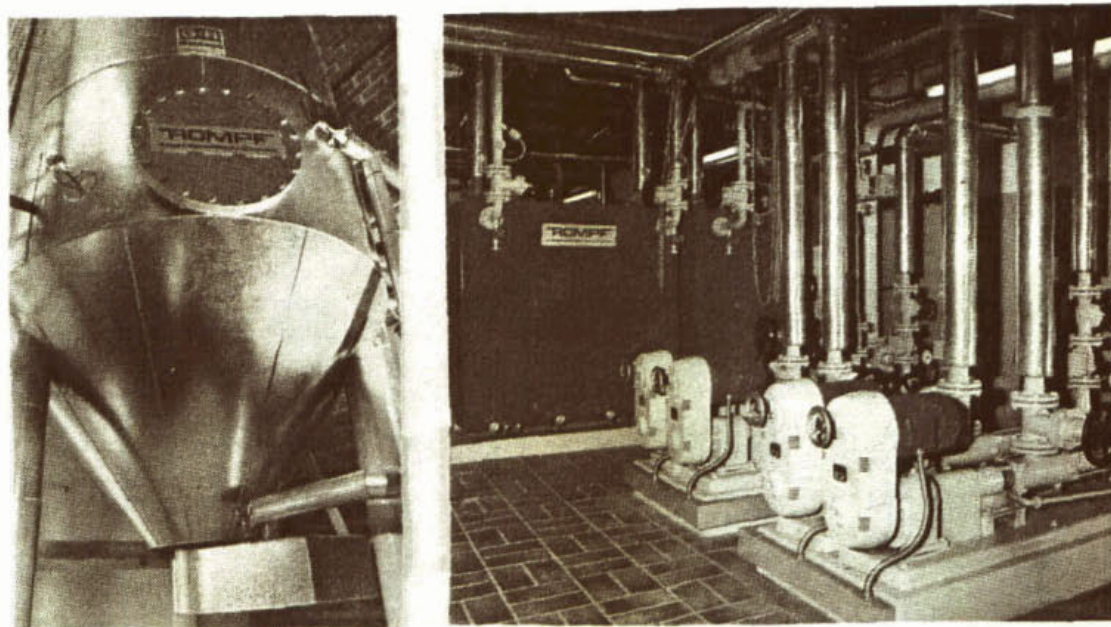


Fig. 26. Pasteurisatie-installatie van de rwzi Bogen (systeem Klöckner)

3.3.5 *systeem Zimpro*

In het Zimpro-systeem wordt slib gepasteuriseerd door gedurende 90 seconden een temperatuur van 86°C in het slib te handhaven. Deze procescondities zijn gebaseerd op eisen die zijn gesteld voor de pasteurisatie van melk. Onder deze condities (hogere temperaturen, zeer korte verblijftijd) is nauwelijks verandering van de eigenschappen van het produkt waar te nemen*. Of de procescondities voor de melkpasteurisatie ook toepasbaar zijn voor de slibpasteurisatie is evenwel niet zeker, omdat de eigenschappen van het produkt verschillend zijn. In slib kunnen de pathogenen ingesloten zijn in de vaste deeltjes, terwijl melk eerst gezeefd en gecentrifugeerd wordt, zodat het aantal organismen reeds aanzienlijk vermindert en het filtraat homogeen kan worden verhit. Studies over de hygiënische betrouwbaarheid van slib in Zimpro-installaties zijn niet bekend.

Het Zimpro-pasteurisatieproces heeft de volgende werkwijze (figuur 27). De gisting vindt plaats na de pasteurisatie om de gisting bij verhoogde temperatuur te laten verlopen zonder dat energietoevoer nodig is. Het ingedikte versslib wordt voorverwarmd tot ongeveer 65°C. In een buisvormige inwerkruimte verblijft het slib 90 seconden, waarna het in de warmtewisselaar wordt afgekoeld met het aangevoerde slib tot 38°C en wordt geleid naar de gistingstank.

Voor zover tot nu toe bekend vindt het Zimpro-pasteurisatieproces in de praktijk nog geen toepassing, zodat geen bedrijfservaringen bekend zijn.

*zie 3.2.1

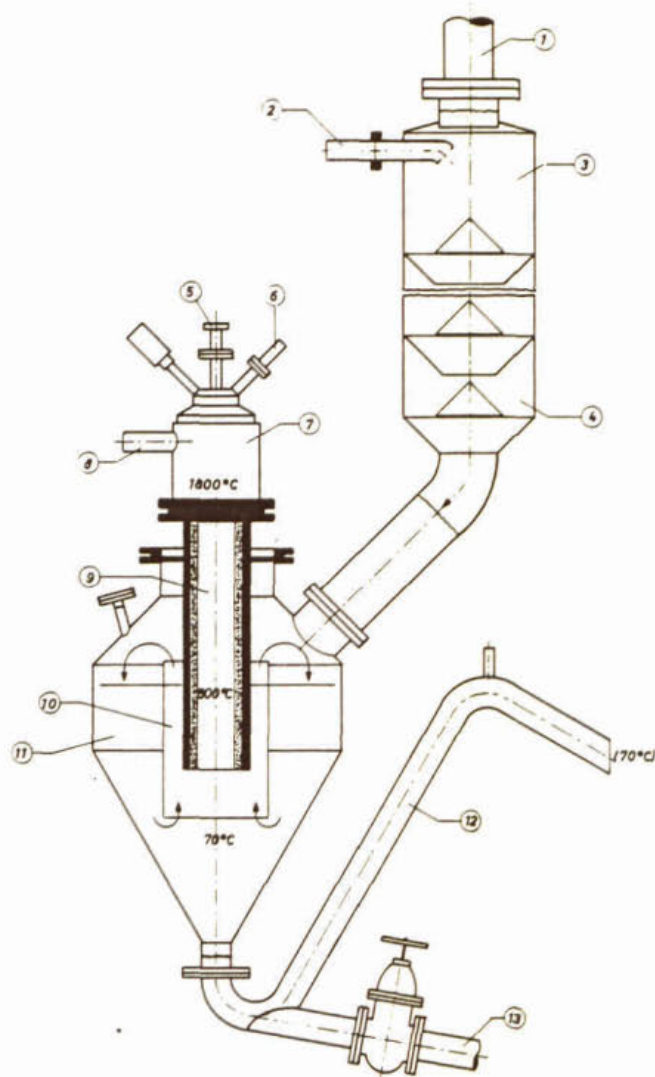


Fig. 28. Slibpasteurisatie met een dompelbrander

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1 = afgassen | 7 = verbrandingskamer |
| 2 = slibtoevoer | 8 = luchttoevoer |
| 3 = cascadevoorverwarming | 9 = dompelbuis |
| 4 = voorverwarmd slib (30-45 °C) | 10 = pompbuis |
| 5 = oliebrander | 11 = warmte-uitwisseling en inwerkruimte |
| 6 = ontsteking | 12 = slibafvoer |
| | 13 = leegloopleiding |

- De turbulentie in de reactor is groot (kleine vlokken, goede menging).
- Er zijn geen dode hoeken in de reactor.
- De temperatuur is zeer stabiel.
- Het contact tussen de hete verbrandingsgassen en slib is zeer goed.
- De kans op infectie in de installatie door storingen is klein.

De installatie wordt zodanig bedreven dat de energietoevoer constant is. Een constante slibtemperatuur wordt verkregen door de slibtoevoer te variëren. De capaciteit van de installatie is daardoor afhankelijk van de ingangstemperatuur van het slib.

De koeling geschiedt in een warmtewisselaar met behulp van het effluent. Bijmenging van gekoeld slib wordt toegepast om korstvorming te voorkomen. Hierdoor wordt de diameter van de koelbuis en de slibsnelheid zo groot mogelijk gemaakt.

Er wordt geen warmte-terugwinning toegepast. De redenen hiervan zijn:

- bij toepassing van warmte-terugwinning wordt de installatie ingewikkelder en minder betrouwbaar;
- de kans op herinfectie van de installatie wordt veel groter;
- door het hogere thermische rendement is het energieverbruik van de dompelbrander niet veel hoger dan bij de andere systemen met energie-terugwinning;
- door gebruik te maken van gistinggas als energiebron kan eenvoudig worden bespaard op energiekosten.

3.3.7 *stelsel Von Roll*

In Zwitserland wordt op een aantal zuiveringsinrichtingen gebruik gemaakt van het stelsel Von Roll voor de slibpasteurisatie.

Het betreft hier een continu-doorstroomde installatie met warmte-terugwinning. De warmte-overdracht kan zowel geschieden door indirecte warmte-uitwisseling in een warmtewisselaar, als met behulp van stoom.

De voordelen van de indirecte warmte-uitwisseling zijn de lagere transportkosten (stoominjectie veroorzaakt een volumevergroting van 6 - 10%) en de hogere betrouwbaarheid van de warmtewisselaars.

Om verstoppingen en korstvorming tegen te gaan geschiedt de warmte-overdracht in een dubbele-pijp-warmtewisselaar, waarbij het slib door de binnenste pijp en water door de buitenste pijp wordt geleid.

Het gebruik van stoom in dit stelsel heeft een aantal voordelen.

- Korstvorming, waardoor capaciteitsverlaging optreedt en meer onderhoud is vereist, wordt vermeden.
- Stoominjectie reageert sneller op veranderingen in debiet en temperatuurschommelingen, waardoor de pasteurisatietemperatuur stabiel is.
- Een hoge turbulentie kan worden bewerkstelligd, waardoor het desinfecterend vermogen waarschijnlijk hoger is.

Het principe van een Von Roll installatie met indirecte warmte-uitwisseling is weergegeven in figuur 29⁸⁰.

De werking van de installatie is als volgt. Uitgestort slib wordt voorverwarmd tot circa 45°C met water dat is verwarmd in de koeler en weer in een kringloop wordt teruggevoerd naar de koeling. In een tweede warmtewisselaar vindt de verwarming tot circa 75°C plaats met behulp van water uit een warmwaterketel (90 - 110°C). In plaats van deze warmtewisselaar kan ook stoominjectie worden toegepast. In de inwerkruimte verblijft het slib minimaal 30 minuten bij 70°C. De inwerkruimte wordt in propstrooming doorlopen. De constructie laat geen kortsluitstromen toe.

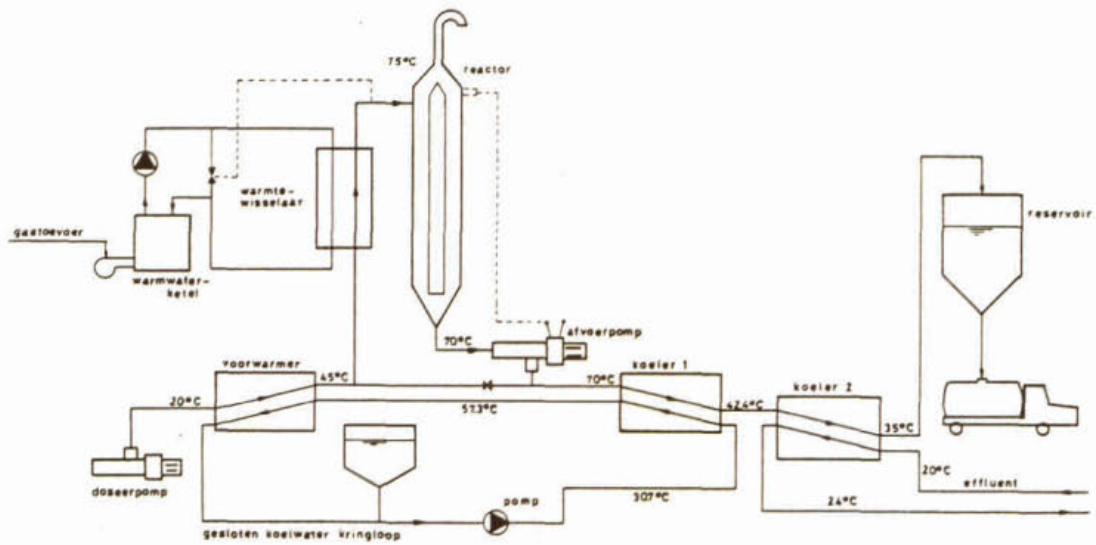


Fig. 29. Schema van een Von Roll pasteurisatie-installatie

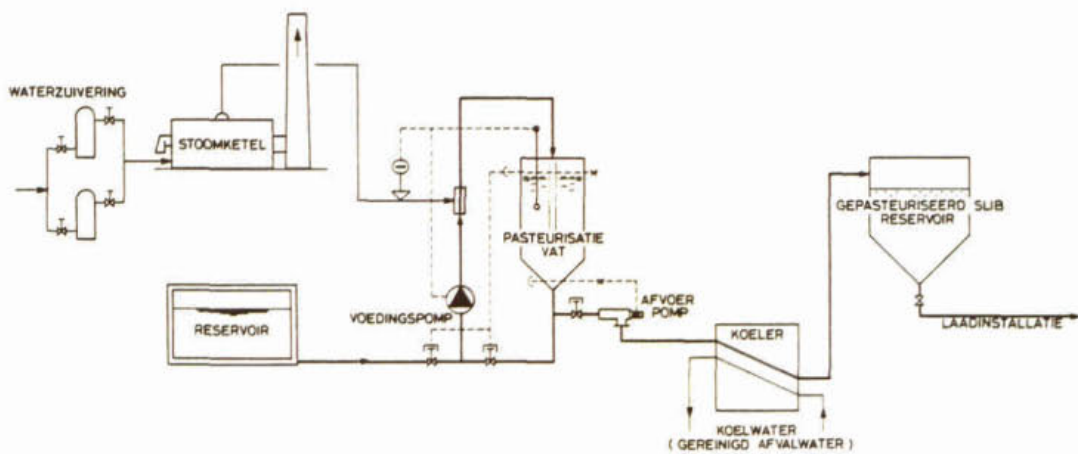
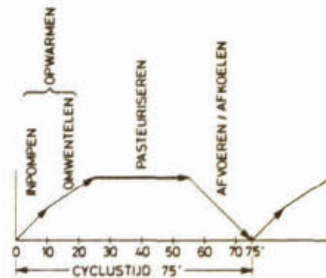


Fig. 30. Pasteurisatie-installatie met ladingsgewijze voeding

De warmte-terugwinning geschiedt in de derde warmtewisselaar waarin het slib wordt gekoeld van 70°C tot circa 45°C; het hierdoor tot circa 55°C verwarmde water wordt in een kringloop rondgeleid en gekoeld tot circa 30°C tijdens de voorverwarming van het slib.

Het slib wordt op de gewenste eindtemperatuur van 30 - 34°C gebracht in een warmtewisselaar met behulp van het effluent van de rioolwaterzuiveringsinrichting.

Als energiebron kan gistingsgas, olie of aardgas worden gebruikt.

De capaciteit van de installatie is 5 - 20 m³/h. Beneden circa 5 m³/h worden de diameters van de leidingen te klein om een goede slibdoorvoer te garanderen, zodat moet worden overgegaan op een ladingsgewijze voeding in het algemeen zonder warmte-terugwinning, zoals is weergegeven in figuur 30.

3.4 Energieverbruik

3.4.1 *inleiding*

Eén van de belangrijkste bijdragen aan de bedrijfskosten van pasteuriseren vormt het energieverbruik voor de verwarming van het slib.

Er moet worden getracht de toegevoerde energie zo goed mogelijk te benutten.

Het gebruik van gistingsgas leidt tot een besparing van energie. Recente ontwikkelingen wijzen er op, dat gistingsgas steeds meer toepassing vindt, o.a. voor eigen energie-opwekking, zodat het gas niet meer moet worden gezien als een afvalprodukt zonder waarde maar als een produkt dat vergelijkbaar is met andere energiebronnen.

In deze paragraaf worden eerst de energiebehoeften bepaald van de verschillende pasteurisatiesystemen. Vervolgens wordt nagegaan wat de invloed is van de plaats van de pasteurisatie in het slibbehandelingsproces op de energiebehoefte. Hierbij kan worden gedacht aan de volgende slibbehandelingsprocessen.

- Pasteurisatie van gestabiliseerd slib uit een oxydatiesloot.
- Pasteurisatie van ingedikt versslib. Een slibstabilisatie wordt hierbij uitgespaard. Het slib heeft in het algemeen een hogere bemestingswaarde. De kans op herinfectie en stank is groter, zeker als het slib voor langere tijd moet worden opgeslagen.
- Pasteurisatie van uitgegist slib. Het gestabiliseerde slib kan aanzienlijk worden ingedikt, zodat de te pasteuriseren hoeveelheid slib kleiner wordt. De gisting vindt plaats bij circa 32°C, zodat ook hiervoor energie nodig is. Het gistingsgas kan worden benut bij de verwarming van de gistings- en pasteurisatieruimte of voor de opwekking van eigen energie. Hierbij wordt een gedeelte van de energie in een gasmotor omgezet in kracht en een gedeelte in warmte via de koeling van de gasmotor. Deze warmte kan voor de gisting en/of pasteurisatie worden gebruikt.
- Pasteurisatie van versslib waarna de gisting plaatsvindt. In dit geval kan verwarming van de gistingstank worden uitgespaard, omdat het gepasteuriseerde slib na koeling en warmte-terugwinning nog een voldoende hoge temperatuur bezit. Ook hier kan het geproduceerde gistingsgas worden gebruikt voor de verwarming van het slib of voor de eigen energie-opwekking.
- Aërobe stabilisatie van het slib. Bij een goede isolatie van de stabilisatieruimte kan hierin de temperatuur stijgen tot circa 40 - 45°C. Het hierdoor voorverwarmde slib wordt vervolgens gepasteuriseerd. Door de temperatuursverhoging tijdens de stabilisatie wordt de energiebehoefte voor de pasteurisatie aanzienlijk verminderd.
De stabilisatie verbruikt echter kostbare elektrische energie.

In figuur 31 worden de hierboven beschreven processen schematisch weergegeven.

De energiebehoeften van deze slibbehandelingssystemen worden in de volgende paragrafen bepaald. Mogelijke energierugwinning door gebruik te maken van het geproduceerde gistingsgas wordt eveneens in de berekeningen opgenomen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het directe gebruik van het gistingsgas als verwarmingsmedium en het gebruik van het gas voor de eigen energie-opwekking, waarbij de warmte die vrijkomt bij de koeling van de gasmotor wordt gebruikt voor de verwarming.

Bij de keuze van de hierboven omschreven slibbehandelingsmethoden kunnen nog enkele opmerkingen worden gemaakt.

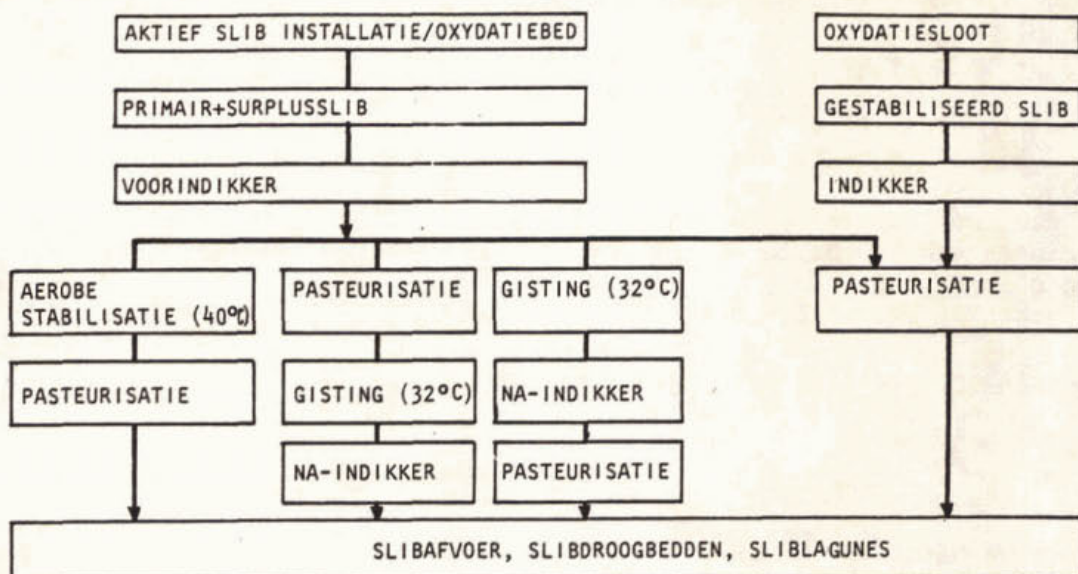


Fig. 31. Mogelijkheden van slibbehandeling met pasteurisatie

- Een indikking na de pasteurisatie kan worden overwogen. Gebleken is echter dat de indikkingseigenschappen door de warmtebehandeling verminderen (zie ook figuur 17).
- Thermofiele gisting (50 - 60°C) wordt op dit moment niet toegepast. Bij de ontwikkeling van dit proces ontmoet men nog veel problemen vanwege de hoge gevoeligheid van de thermofiele methaanbacteriën voor stootbelastingen en temperatuurschommelingen (zie 2.4.2).
- Bij de aërobe stabilisatie wordt een hoeveelheid reactiewarmte geproduceerd die kan worden benut voor een temperatuursverhoging van het slib, indien de stabilisatieruimte voldoende is geïsoleerd. In de praktijk is gebleken (o.a. rwzi Almelo-Vissedijk), dat bij dit proces een temperatuur van 40°C kan worden bereikt. Het stabilisatieproces wordt hierdoor tevens versneld, zodat kleinere stabilisatietanks kunnen worden toegepast. De ontwateringseigenschappen van aëroob gestabiliseerd slib zijn slecht. Om warmteverlies te voorkomen wordt het slib niet ingedikt, maar direct na de stabilisatie gepasteuriseerd.
- Bij de berekeningen wordt alleen het energieverbruik voor de verwarming van het slib bepaald. Het verbruik aan elektrische energie, onder andere voor de pompen wordt niet in de berekeningen opgenomen. Voor de pasteurisatie wordt met warmteverlies door straling geen rekening gehouden. Door de korte verblijftijd (circa 30 minuten) zal deze factor bij goede isolatie klein zijn, zodat verschillen hierin nauwelijks van invloed zijn bij de vergelijking van de verschillende systemen. Voor de gisting wordt gerekend met een verhoging van de energiebehoefte van circa 10% door stralingsverliezen.

3.4.2 *energieverbruik van de diverse pasteurisatiesystemen*

Het energieverbruik voor de verwarming van het slib is afhankelijk van de gewenste temperatuursverhoging en het slibdebiet volgens de vergelijking:

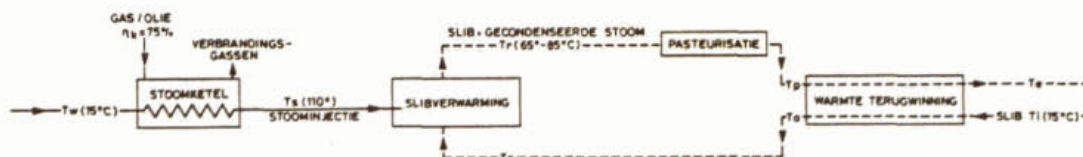
$$E_1 = Q_s \times c_s \times (T_p - T_o) \quad (\text{kJ/dag}) \quad (1)$$

waarin: E_1 = energie-opname slib (kJ/dag)

| | | |
|-------|--|--------------------------|
| Q_s | = debiet slib | (m ³ /dag) |
| c_s | = soortelijke warmte slib | (kJ/m ³ · °C) |
| T_p | = pasteurisatietemperatuur | (°C) |
| T_o | = begintemperatuur eventueel na voorverwarming | (°C). |

Deze energie kan op verschillende manieren worden overgebracht. De berekeningen van het bruto-energieverbruik voor de pasteurisatie per m³ slib worden in de volgende paragrafen weergegeven, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de verschillende methoden van energie-overdracht.

Energie-overdracht door middel van stoominjectie



Bij het injecteren van de stoom wordt condensatiewarmte afgegeven en de warmte om af te koelen tot pasteurisatietemperatuur.

$$E_2 = Q_w \times c_w \times (T_s - T_p) + H \times Q_w \quad (\text{kJ/dag}) \quad (2)$$

waarin: E_2 = energie-afgifte stoom (kJ/dag)
 Q_w = hoeveelheid gecondenseerd water (m³/dag)
 c_w = soortelijke warmte water (kJ/m³ · °C)
 T_s = temperatuur stoom (°C)
 T_p = pasteurisatie temperatuur (°C)
 H = condensatiewarmte stoom (kJ/m³)

Uit $E_1 = E_2$ kan de hoeveelheid water worden bepaald die omgezet moet worden in stoom.

$$Q_w = \frac{c_s (T_p - T_o)}{c_w (T_s - T_p) + H} \times Q_s \text{ m}^3/\text{dag} \quad (3)$$

De energie die nodig is om een hoeveelheid water Q_w met temperatuur T_w om te zetten in stoom in een stoomketel is:

$$E_3 = Q_w \times (T_x - T_w) \times c_w + H \times Q_w \text{ kJ/dag} \quad (4)$$

Bij een rendement van de stoomketel van η_k (circa 75%) geldt voor het bruto energieverbruik per m³ gepasteuriseerd slib, W_p in kJ/m³ slib:

$$W_p = \frac{E_3}{\eta_k \times Q_s} \text{ kJ/m}^3 \text{ slib} \quad (5)$$

Substitutie van (3) en (4) in (5) geeft voor het bruto-energieverbruik:

$$W_p = \frac{c_s (T_p - T_o)}{c_w (T_x - T_p) + H} \times \{(T_s - T_w) \times c_w + H\} \times \frac{1}{\eta_k} \text{ kJ/m}^3 \text{ slib} \quad (6)$$

De volgende waarden kunnen in de vergelijking (6) worden ingevuld:

$$C_s = C_w = 4.200 \text{ kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H = 2,23 \times 10^6 \text{ kJ/m}^3$$

$$T_w = 15 ^\circ\text{C}$$

$$T_s = 110 ^\circ\text{C}$$

$$\eta_k = 0,75$$

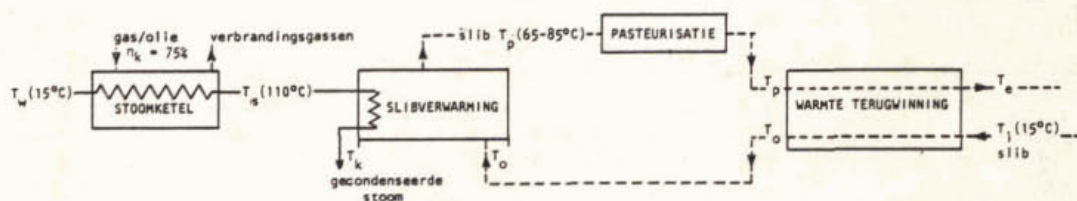
Vergelijking (6) kan als volgt worden omschreven:

$$W_p = \frac{(T_p - T_o)}{(110 - T_p) + 531} \times 3,51 \times 10^3 \text{ kJ/m}^3 \text{ slib} \quad (7)$$

Uit de vergelijking (3) volgt voor de volumetoename van het slib door de stoominjectie

$$\frac{Q_w}{Q_s} \times 100\% = \frac{(T_p - T_o)}{(110 - T_p) + 531} + 100\% \quad (8)$$

energie-overdracht door stoomcondensatie in een warmtewisselaar



De stoom wordt door het slib in een warmtewisselaar afgekoeld tot een temperatuur T_k .

Het bruto-energieverbruik wordt op dezelfde wijze berekend als voor de directe stoominjectie.

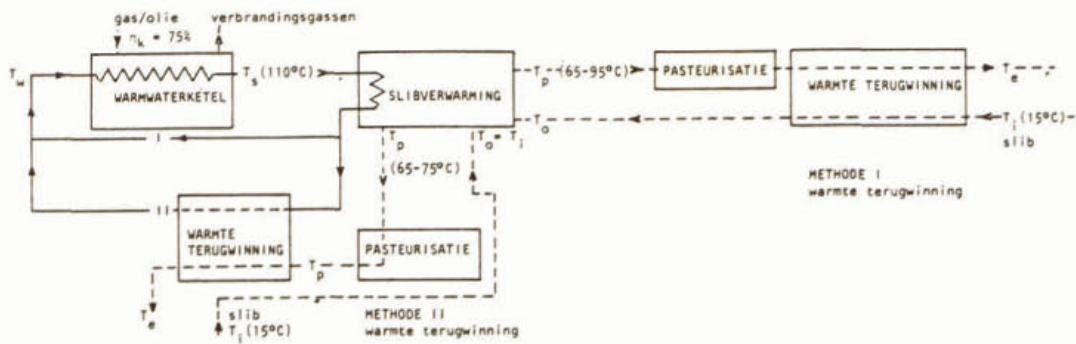
$$W_p = \frac{(T_p - T_o)}{(110 - T_k) + 531} \times 3,51 \times 10^3 \text{ kJ/m}^3 \text{ slib} \quad (9)$$

De volumetoename van het slib is nihil.

energie-overdracht met behulp van warmtewisselaars door middel van een warmwatercircuit

Bij dit systeem wordt het afgekoelde verwarmingsmedium (water) teruggevoerd naar de warmwaterketel. Hierbij gaat geen warmte verloren door afvoer van verwarmingsmedium.

De warmte-terugwinning uit het gepasteuriseerde slib geschiedt eveneens met behulp van warmtewisselaars. Hierbij zijn twee methoden mogelijk. De warmte kan gebruikt worden voor de voorverwarming van het slib (I) of voor de verwarming van het afgekoelde verwarmingswater (II).



In beide gevallen wordt van het slib aan warmte teruggewonnen:

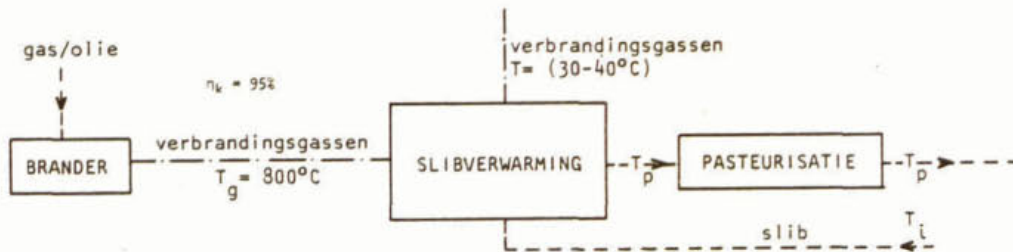
$$E_{wt} = c_s \times (T_p - T_e) \times Q_s \text{ kJ/dag,}$$

zodat het bruto energieverbruik wordt:

$$W_p = \frac{E - E_{wt}}{\eta_k \times Q_s} = \frac{c_s (T_p - T_i) \times Q_s - c_s (T_p - T_e) \times Q_s}{\eta_k \times Q_s} =$$

$$W_p = 5.600 \times (T_e - T_i) \text{ kJ/m}^3 \text{ slib.}$$

energie-overdracht door middel van een dompelbrander



De warmte die verloren gaat met de verbrandingsgassen is zeer klein.

Het rendement van de brander is groter dan 95%.

Het bruto energieverbruik bij dit systeem is:

$$W_p = \frac{E}{\eta_k \times Q_s} = 4.420 \times (T_p - T_i) \text{ kJ/m}^3 \text{ slib}$$

Warmte-terugwinning wordt bij dit systeem in de praktijk niet toegepast om de kans op storingen of herinfecties te verminderen.

resultaten en conclusies

Uit de formules voor het bruto energieverbruik zien we dat dit vooral afhankelijk is van de temperatuur die met de voorverwarming kan worden bereikt (T_o).

Figuur 32 geeft de relatie weer tussen het te overbruggen temperatuurverschil ($T_p - T_o$) en W_p voor de vier methoden van warmte-overdracht.

Voor de verschillende pasteurisatiesystemen die zijn ontwikkeld kan het bruto energieverbruik met behulp van de hierboven afgeleide formules worden bepaald.

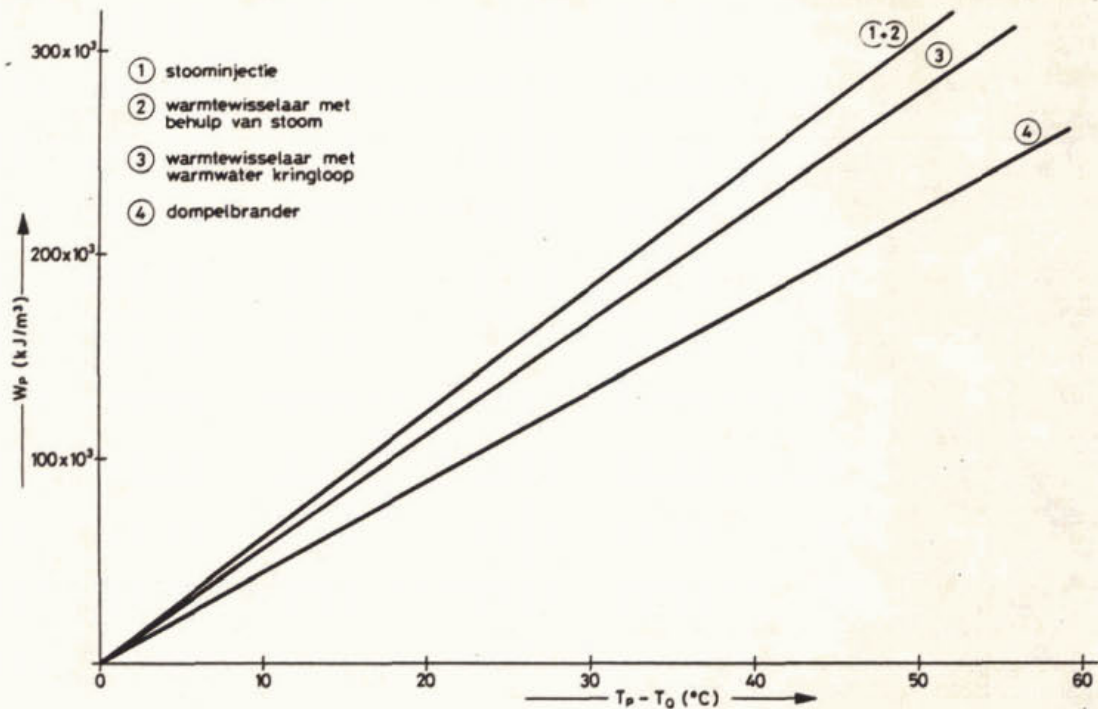


Fig. 32. Bruto-energieverbruik per m³ gepasteuriseerd slib als functie van het verschil tussen pasteurisatietemperatuur en de temperatuur van het (eventueel voorverwarmde) slib.

Hierbij moet een aantal opmerkingen worden geplaatst:

- Bij het Roediger systeem met 1 of 2 inwerkruimten is warmte-terugwinning niet mogelijk. Bij 3 reactoren wordt telkens gelijktijdig een reactor gevuld en een ander geleegd. Hierdoor kan het aangevoerde slib eerst worden voorverwarmd met behulp van het gepasteuriseerde slib.

Het benodigde bruto vermogen van de verwarmingsinstallatie kan worden gesteld op

$$N = Q_s \times W_p = \text{kJ/dag} = \frac{Q_s \times W_s}{86,4} W$$

Voor het Roediger-systeem geldt in het algemeen dat een pasteurisatiecyclus 1,5 uur duurt. De tijd waarin de reactorinhoud moet worden verwarmd is circa 0,5 uur.

Het te installeren vermogen wordt dus:

$$N = \frac{1}{\text{verwarmingstijd}} \times W_p \times \text{inhoud 1 reactor} =$$

$$= 2 \times W_p \times V \text{ kJ/h} = 0,56 \times W_p \times V W$$

Dit vermogen moet worden geïnstalleerd als er 1, 2 of 3 reactoren in bedrijf zijn.

- Bij de berekeningen is uitgegaan van een gemiddelde temperatuur van het verslib van 15°C.
- In tabel 22 zijn weergegeven de procescondities van de verschillende pasteurisatiesystemen, zoals deze door de leveranciers worden vermeld en het

bruto-energieverbruik berekend met de hierboven beschreven methoden.

| procescondities en energieverbruik | pasteurisatiesysteem | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--|--|
| | Roediger zonder warmte-terugwinning | | met warmte-terugwinning | Canzler | Alfa Laval | Klöckner | Zimpro | dompelbrander | Von Roll | |
| warmte-overdracht | stoominjectie | stoominjectie | stoominjectie | warmtewisselaar mbv stoom | warmtewisselaar warmwaterkringloop | stoominjectie | verbrandingsgassen | stoominjectie | warmtewisselaar met warmwaterkringloop | |
| temperatuur na voorverwarming T_o ($^{\circ}\text{C}$) | 15 | 40 | 38 | 55 | 15 | 65 | 15 | 45 | 45 | |
| pasteurisatietemperatuur T_p ($^{\circ}\text{C}$) | 70 | 70 | 70 | 80 | 70 | 86 | 70 | 72 | 72 | |
| temperatuur na warmte-terugwinning T_e ($^{\circ}\text{C}$) | 70 | 45 | 45 | 45 | 41 | 36 | 70 | 45 | 45 | |
| volumetoename slib (%) | 9,6 | 5,3 | 5,6 | 0 | 0 | 3,8 | 0 | 4,7 | 0 | |
| gebruikte vergelijking voor berekening W_p | (7) | (7) | (7) | (9) | (10) | (7) | (11) | (7) | (10) | |
| bruto energie verbruik W_p (kJ/m^3) | 338×10^3 | 185×10^3 | 197×10^3 | 154×10^3 | 146×10^3 | 129×10^3 | 243×10^3 | 166×10^3 | 151×10^3 | |

Tabel 22. Procescondities en energieverbruik van pasteurisatiesystemen

Uit de tabel kunnen enkele conclusies worden getrokken:

- Door warmte-terugwinning wordt in de praktijk het energieverbruik met 40 - 60% verminderd.
- Door warmte-terugwinning met behulp van tegenstroomwarmtewisselaars (von Roll, Alfa Laval, Zimpro) kan een hogere voorverwarmingstemperatuur worden bereikt dan met vacuümverdampers (Canzler) of gelijkstroom-warmtewisselaars (Roediger).
- Overdracht van warmte via een waterkringloop geeft energetisch goede resultaten (Klöckner - von Roll).
- De dompelbrander heeft door zijn hoog thermisch rendement een lager energieverbruik dan andere systemen zonder warmte-terugwinning.
- Bij systemen met stoominjectie treedt een volumetoename van het slib op van 4 tot 10%.

3.4.3 *energieverbruik voor de diverse slibbehandelingsprocessen met pasteurisatie*

Voor een optimaal energieverbruik is niet alleen de pasteurisatie van belang, maar ook moet rekening gehouden worden met de slibstabilisatie. Het totale energieverbruik wordt bepaald door de stabilisatiemethode en de plaats van de pasteurisatie ten opzichte van de slibstabilisatie.

In figuur 31 zijn de mogelijke combinaties aangegeven voor het slibbehandelingsproces. In de hierna volgende paragrafen zal het totale energieverbruik voor deze processen worden berekend.

Ter vereenvoudiging zullen slechts twee pasteurisatiesystemen worden vergeleken, namelijk een systeem met warmte-terugwinning en een zonder warmte-terugwinning.

Voor een verdergaande optimalisatie van het slibbehandelingsproces zal nog worden nagegaan in hoeverre het bij de gisting vrijkomende gas kan worden gebruikt als energiebron, hetzij direct voor de verwarming van de gistingstanks

en/of de pasteurisatieruimte, hetzij voor de eigen energie-opwekking in een gasmotor of turbine, waarbij het koelwater van de gasmotor kan worden gebruikt als verwarmingsmedium voor de pasteurisatie of gisting.

3.4.4 pasteurisatie van versslib of slib van een oxydatiesloot

Het gestabiliseerde slib van een oxydatiesloot kan direct worden gepasteuriseerd. Ook wordt versslib wel direct gepasteuriseerd omdat de voedingsstoffen hierbij behouden worden. Tijdens de gisting gaat een gedeelte van de organische stikstof als ammoniak in oplossing wat tijdens de indikking en/of ontwatering van het slib wordt afgescheiden. Bovendien bespaart men de kosten van een gistingstank. Een nadeel hiervan is dat dit niet gestabiliseerde slib na pasteurisatie snel kan gaan rotten en dat de kans op herinfecties groter wordt.

Het berekende energieverbruik voor deze processen is in tabel 23 weergegeven.

| procestemperaturen en energieverbruik | pasteurisatiesysteem | |
|--|----------------------------|-------------------------|
| | zonder warmte-terugwinning | met warmte-terugwinning |
| slibtemperatuur T_i | 15 °C | 15 °C |
| temperatuur na voorverwarming T_o | 15 °C | 40 °C |
| pasteurisatietemperatuur T_p | 70 °C | 70 °C |
| rendement verwarmingsketel η_k | 75% | 75% |
| bruto energieverbruik W_b (kJ/m ³ slib) | 308 x 10 ³ | 168 x 10 ³ |

Tabel 23. Energieverbruik voor pasteurisatie van versslib of oxydatieslootslib

3.4.5 pasteurisatie in combinatie met slibgisting

pasteurisatie - gisting - na-indikking

Bij het slibbehandelingsproces, waarbij de gisting na de pasteurisatie plaatsvindt is de hoeveelheid slib die wordt gepasteuriseerd en gegist gelijk aan de versslibproductie na voorindikking. Het gepasteuriseerde slib heeft een temperatuur van tenminste 35°C na koeling zodat voor de gisting bij circa 32°C geen warmtetoevoer nodig is. De totale energiebehoefte is dus gelijk aan die voor de pasteurisatie van versslib, namelijk:

bruto-energieverbruik voor het systeem pasteurisatie - gisting - na-indikking:

zonder warmte-terugwinning : $W_p = 308 \times 10^3$ kJ/m³ versslib

met warmte-terugwinning : $W_p = 168 \times 10^3$ kJ/m³ versslib

gisting - na-indikking - pasteurisatie

Indien de gisting vóór de pasteurisatie plaatsvindt, kunnen de slibhoeveelheden op de volgende wijze worden bepaald:

| | |
|--|--|
| versslibdebiet | : $Q_{VS} \text{ m}^3 / \text{dag}$ |
| drogestofgehalte versslib na voorindikking | : $4\% = 40 \text{ kg d.s./m}^3$ |
| drogestofaanvoer vóór de gisting | : $40 \times Q_{VS} \text{ kg d.s./dag}$ |
| organische drogestof vóór de gisting | : $70\% = 28 \times Q_{VS} \text{ kg o.d.s./dag}$ |
| afbraak organische droge stof tijdens gisting | : 50% |
| drogestofafvoer na gisting | : $0,30 \times 40 \times Q_{VS} + 0,50 \times 28 \times Q_{VS} = 26 \times Q_{VS} \text{ kg d.s./dag}$ |
| drogestofgehalte van uitgegist slib na indikking | : $5\% = 50 \text{ kg d.s./m}^3$ |
| debiet uitgegist slib | : $\frac{26}{50} \times Q_{VS} = 0,52 \times Q_{VS} \text{ m}^3 / \text{dag}$ |

Hieruit volgt dat slechts circa 52% van de hoeveelheid versslib hoeft te worden gepasteuriseerd.
De energiebehoefte voor dit proces volgt uit tabel 24.

samenvatting

Het totaal bruto-energieverbruik voor de pasteurisatie gecombineerd met de gisting is weergegeven in figuur 33.

Hieruit blijkt dat het bij pasteurisatiesystemen zonder warmte-terugwinning energetisch gunstiger is, de gisting vóór de pasteurisatie te laten plaatsvinden, terwijl de gisting ná de pasteurisatie gunstiger is bij warmte-terugwinning.

Tevens blijkt dat het energieverbruik slechts circa 23% lager ligt, indien de warmte-terugwinning wordt toegepast bij gisting vóór de pasteurisatie. Bij gisting na de pasteurisatie vermindert het energieverbruik met circa 45% door warmte-terugwinning.

3.4 6 *aërobe stabilisatie - pasteurisatie*

Door aërobe stabilisatie toe te passen in een goed geïsoleerde ruimte kan de temperatuur in het slib oplopen tot ongeveer 40°C door de vrijkomende reactiewarmte. Het energieverbruik voor de daaropvolgende pasteurisatie kan hierdoor verminderen.

Voor de beluchting van het slib is echter ook energie vereist. Voor dit energieverbruik vindt men in het algemeen circa 12 kWh/m^3 slib of $43 \times 10^3 \text{ kJ/m}^3$.²³

De energie voor de stabilisatie wordt echter verkregen uit elektriciteit terwijl voor de pasteurisatie stookolie of aardgas kan worden gebruikt. Elektrische energie per kJ is een factor 5 - 10 duurder dan aardgas.

| processtemperaturen en energieverbruik | pasteurisatiesysteem | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|
| | zonder warmte- terugwinning | met warmte- terugwinning |
| versslibtemperatuur T_i | 15°C | 15°C |
| temperatuur van de gisting T_g | 35°C | 35°C |
| temperatuur in na- indikker T_i | 20°C | 20°C |
| temperatuur na voor- verwarming in pasteu- risatie-installatie T_o | 20°C | 40°C |
| pasteurisatie-tem- peratuur energ. verbr. gisting W_g (kJ/m^3 versslib) (incl. 10% stralings- verliezen) | 123×10^3 | 123×10^3 |
| bruto energieverbruik pasteurisatie W_p (kJ/m^3 versslib) | 146×10^3 | 87×10^3 |
| totaal bruto energie- verbruik W_t (kJ/m^3 versslib) | 269×10^3 | 210×10^3 |

Tabel 24. Energieverbruik voor het systeem gisting - na-indikking - pasteurisatie

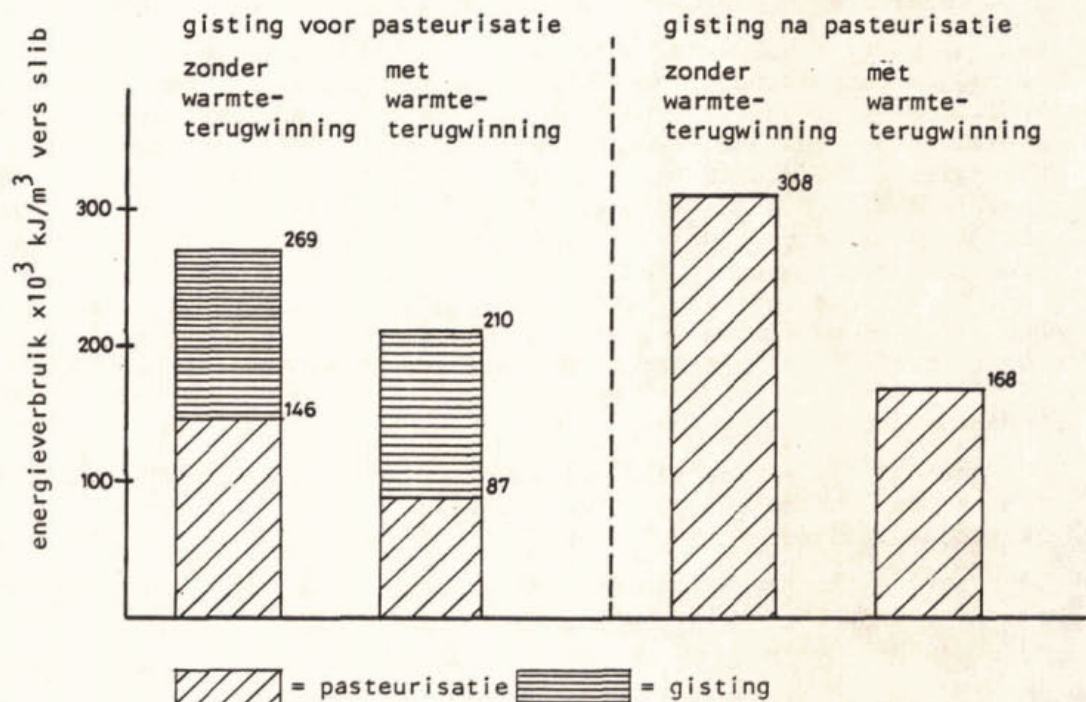


Fig. 33. Totaal bruto-energieverbruik voor de gisting en pasteurisatie

De energiebehoeften voor dit proces worden in tabel 25 weergegeven.

| procestemperaturen en energieverbruik | pasteurisatiesysteem | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| | zonder warmte- terugwinning | met warmte- terugwinning |
| versslibtemperatuur T_i | 40°C | 40°C |
| temperatuur na voorver- warming T_o | 40°C | 40°C |
| pasteurisatietemperatuur T_p | 70°C | 70°C |
| bruto energie-verbruik aërobe stabilisatie W_{as} (kJ/m ³ versslib) | 43x10 ³ | 43x10 ³ |
| bruto energieverbruik pasteurisatie W_p | 168x10 ³ | 84x10 ³ |

Tabel 25. Energieverbruik voor het systeem aërobe stabilisatie - pasteurisatie

Hieruit blijkt dat door de hoge kosten voor elektrische energie de totale energiekosten voor de aërobe stabilisatie en pasteurisatie tenminste 50 - 100% hoger liggen dan voor gisting en pasteurisatie.

Het energieverbruik voor de pasteurisatie die na aërobe stabilisatie bij verhoogde temperatuur plaatsvindt, is ongeveer gelijk aan het energieverbruik voor pasteurisatie na gisting, afkoeling en indikking.

Indien aëroob gestabiliseerd slib in dezelfde mate kan worden ingedikd als uitgedist slib, dan is het energieverbruik voor de pasteurisatie van het ingedikte slib door de volumereductie tijdens de indikking van dezelfde orde als dat voor de pasteurisatie van aëroob gestabiliseerd slib met gebruikmaking van de vrijgekomen reactiewarmte.

Door de slechte indikkingseigenschappen die aëroob gestabiliseerd slib in het algemeen heeft, is het energetisch toch vaak gunstiger om geen indikking toe te passen maar het warme gestabiliseerde slib direct te pasteuriseren.

3.4.7 energieproductie

Het gas dat tijdens de gisting van het slib ontstaat, heeft in het algemeen een methaangehalte van 65%. Voor de verbrandingswarmte van het gistingsgas kan worden aangenomen $5.600 \text{ kcal/Nm}^3 = 23,5 \times 10^3 \text{ kJ/m}^3$.

De gasproductie kan worden geschat op circa 400 l/kg organische droge stof. Bij een drogestofgehalte van 4% met een organisch drogestofgehalte van 70% is de gasproductie per m³ slib:

$$\text{gasproductie} = 40 \times 0,70 \times 0,400 = 11,2 \text{ Nm}^3 \text{ gas/m}^3 \text{ slib.}$$

De bruto-energieproductie is dus: $11,2 \times 23,5 \times 10^3 = 236 \times 10^3 \text{ kJ/m}^3 \text{ slib.}$

Wanneer het geproduceerde gistingsgas wordt gebruikt voor de verwarming van de gistingstank en de pasteurisatieruimte, blijkt er een gemiddeld energieoverschot te zijn voor de systemen met warmte-terugwinning. Voor de systemen zonder warmte-terugwinning moet nog een hoeveelheid energie worden toegevoegd (tabel 26).

| | energietekort kJ/m ³ verslib | energieoverschot kJ/m ³ verslib |
|--|--|---|
| pasteurisatie zonder warmte-terugwinning - pasteurisatie voor gisting - pasteurisatie na gisting | 6×10^3 45×10^3 | |
| pasteurisatie met warmte-terugwinning - pasteurisatie voor gisting - pasteurisatie na gisting | | 53×10^3 95×10^3 |

Tabel 26. Energietekort of -overschot bij gebruik gistingsgas voor verwarming

Het gistingsgas kan worden gebruikt voor de eigen energie-opwekking van de zuiveringsinrichting. Hierbij wordt het gistingsgas gebruikt voor de aandrijving van een gasmotor. Hierin wordt ongeveer 30% van de energie omgezet in kracht die onder andere kan worden gebruikt voor elektriciteitsopwekking of voor de aandrijving van luchtblowers.

Tevens wordt ongeveer 30% van de energie in de vorm van warmte overgedragen aan het koelwater van het motoblok. Deze warmte kan vrijkomen in de vorm van warm water van 90 - 100°C of zelfs in de vorm van lagedrukstoom (maximaal 1 ato) en kan voor verwarmingsdoeleinden worden gebruikt. Het is bovendien mogelijk om uit de verbrandingsgassen nog 15% van de toegevoerde energie te winnen voor verwarming^{87, 88}.

Er volgt dan voor de totale hoeveelheid warmte die beschikbaar komt uit het gistingsgas in de eigen energie-opwekkingsinstallatie:

$$- \frac{0,30}{0,75} \times 263 \times 10^3 = 105 \text{ kJ/m}^3 \text{ slib zonder afgaswarmte}$$

$$- \frac{0,45}{0,75} \times 263 \times 10^3 = 158 \text{ kJ/m}^3 \text{ slib met afgaswarmte}$$

Uit figuur 36 volgt nu dat deze beschikbare warmte niet voldoende is voor de gisting en pasteurisatie. Bij pasteurisatiesystemen met warmte-terugwinning zal een kleine hoeveelheid energie moeten worden toegevoegd. Eigen energie-opwekking kan slechts voorzien in ongeveer 30 - 50% van de warmtebehoefte van gisting en pasteurisatie zonder warmte-terugwinning.

Bij de processen met een pasteurisatiesysteem zonder warmte-terugwinning moet een kleine hoeveelheid extra energie worden toegevoegd, indien gistingsgas alleen wordt gebruikt voor verwarming. Hierbij is de gisting vóór de pasteurisatie energetisch het gunstigst.

Indien warmte-terugwinning wordt toegepast zal een hoeveelheid gistingsgas onbenut blijven. Het systeem van gisting na de pasteurisatie is bij warmte-terugwinning energetisch het gunstigst.

3.4.8 slotopmerkingen

De berekeningen van de energiebehoeften van de diverse slibbehandelingsprocessen met pasteurisatie zijn slechts globaal uitgevoerd voor twee pasteurisatiemethoden, met en zonder warmte-terugwinning. De werkelijke energiebehoefte van de diverse bestaande pasteurisatie-installaties vertoont onderling wel enige verschillen, zoals blijkt uit tabel 22. Er kan echter wel een goed inzicht worden verkregen in de diverse methoden.

Voor de gisting na de pasteurisatie is geen energie voor slibverwarming nodig, zodat het totaal energieverbruik per m³ slib hierbij gelijk is aan dat voor de pasteurisatie van versslib of oxydatieslootslib. Voorkomen moet worden dat er temperatuurschokken in de gistingstank optreden door discontinue pasteurisatie en ongecontroleerde koeling.

Pasteurisatie ná de gisting zal minder energie verbruiken, doordat de slibhoeveelheid tijdens de gisting vermindert en een betere indikkingsgraad kan worden bereikt. Voor pasteurisatiesystemen zonder warmte-terugwinning zal hierdoor het totaal energieverbruik lager zijn dan bij pasteurisatie van versslib en oxydatieslootslib of bij pasteurisatie vóór de gisting.

Indien wel warmte-terugwinning wordt toegepast is pasteurisatie na de gisting energetisch ongunstiger door het relatief hoge energieverbruik voor de verwarming van de gistingstank.

Vindt de pasteurisatie na de gisting plaats dan is de warmte-terugwinning minder effectief geworden. Door de warmte-terugwinning wordt het energieverbruik bij pasteurisatie van versslib ongeveer 45% minder. Bij het systeem gisting - indikking - pasteurisatie wordt het energieverbruik door warmte-terugwinning slechts ongeveer 23% lager.

De energiebehoefte van de pasteurisatie en de gisting kan voor een aanzienlijk gedeelte worden verkregen uit het tijdens de gisting geproduceerde methaangas. Indien warmte-terugwinning wordt toegepast, dan is er nog een overschot aan gistingsgas.

Aërobe stabilisatie bij 40°C doet het energieverbruik voor de pasteurisatie met 45 - 50% verminderen ten opzichte van versslib pasteurisatie. De kosten van elektrische energie voor de beluchting van de stabilisatietank zijn echter per kJ een factor 5 - 10 hoger dan die van brandstof.

De totale energiekosten voor de aërobe stabilisatie en pasteurisatie worden dan ook voornamelijk (+ 75%) bepaald door de slibstabilisatie.

3.5 Kosten van slibpasteurisatie

Om een indruk te verkrijgen van de investerings- en bedrijfskosten van de pasteurisatie is aan de leveranciers van deze installaties verzocht in het kader van dit onderzoek een richtofferte te maken voor enige pasteurisatie-inrichtingen met verschillende capaciteiten.

Hieraan is medewerking verleend door de volgende leveranciers:

| | |
|-------------------------|--------------------|
| Canzler (Dompelbrander) | Düren (D) |
| Roediger | Hanau (D) |
| Baai-Von Roll | Alphen aan de Rijn |
| Alfa Laval | Amstelveen |
| Klöckner | 's-Gravenhage |

Met behulp van deze offertes zijn de gemiddelde jaarlijkse kosten, opgesplitst in kapitaalslasten, brandstofkosten, overige bedrijfskosten en totale jaarlijkse kosten, bepaald per m³ behandeld slib voor installaties met en zonder warmte-terugwinning.

Bij de bepaling van deze kosten is in deze paragraaf steeds uitgegaan van een slibverwerkingstijd van 16 uur per dag gedurende 5 dagen per week gedurende het hele jaar. De slibtemperatuur is 15°C. De temperatuur van het gepasteuriseerde slib na koeling is circa 35°C.

Wat slibverwerkingstijd betekent voor de benodigde capaciteit van de installatie per 1000 aangesloten inwonerequivalenten is in tabel 27 weergegeven.

| | slibproductie (g d.s/i.e. dag) | indikkings- graad | capaciteit per 1000 i.e. (m ³ /h) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|
| actiefslib-inrichting | | | |
| - pasteurisatie vers- slib | 60 | 4% | 0,13 |
| - pasteurisatie uit- gegist slib | 40 | 5% | 0,07 |
| oxydatiesloot | 50 | 3% | 0,15 |

Tabel 27. Benodigde capaciteit pasteurisatie-installatie per 1.000 i.e.

De rekengrondslagen die zijn toegepast voor de bepaling van de kosten zijn:

- afschrijvingstermijn
 - . bouwkundig (n) : 30 jaar
 - . elektro-
mechanisch (n) : 15 jaar
- annuïteit
 - . bouwkundig (a) : 8,88%
 - . elektro-
mechanisch (a) : 11,68%
- BTW : 18%
- voorbereidings- en advieskosten : 15%
- renteverlies tijdens bouw
(circa 0,5 jaar) : 2%
- kapitaalslasten
per jaar (investeringskosten
(I) + voorbereidings-
kosten + BTW + rente-
verlies tijdens bouw)
x annuïteit (a) : 1,15 x 1,18 x 1,02 x a x I

- investeringskosten
 - . bouwkundig : f 450,-- per m³
 - . elektro-
mechanisch : incl. transport, douane en montage
- prijspeil : maart 1978
- rentevoet : 8% per jaar
- inflatie : 6% per jaar
- onderhoudskosten : 2,0% van totale investeringskosten

- personeelskosten
 - . capaciteit < 5 m³/h : 2 manuren per dag
 - . capaciteit < 20 m³/h : 3 manuren per dag
 - . capaciteit > 20 m³/h : 4 manuren per dag
- toename onderhouds- en personeelskosten : met inflatiepercentage
- energiekosten
 - . aardgas (31,75 x 10³ kJ/m³ aardgas : f 0,25 per m³ aardgas
 - . elektriciteit : f 0,20 per kWh
 - . toename energiekosten : 10% per jaar
- chemicaliën (gebruik 5 g/kg stoom) : 1% van aardgaskosten

De figuren 34 en 35 geven het verloop van de diverse kosten als functie van de capaciteit en ook de spreiding tussen verschillende aanbiedingen. Hieruit blijkt dat de systemen met warmte-terugwinning per m³ slib f 1,-- tot f 1,50 goedkoper zijn (25 - 30%) dan de systemen zonder warmte-terugwinning. Dit wordt veroorzaakt door lagere uitgaven voor brandstof en lagere kapitaalslasten.

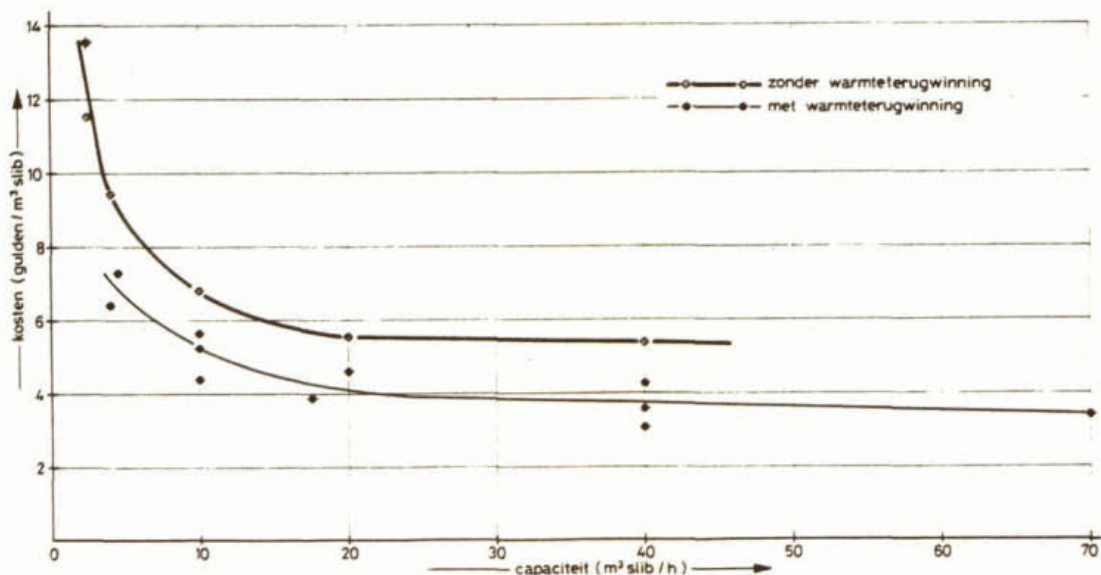


Fig. 34. Totale kosten slibpasteurisatie per m³ slib (prijspeil maart 1978)

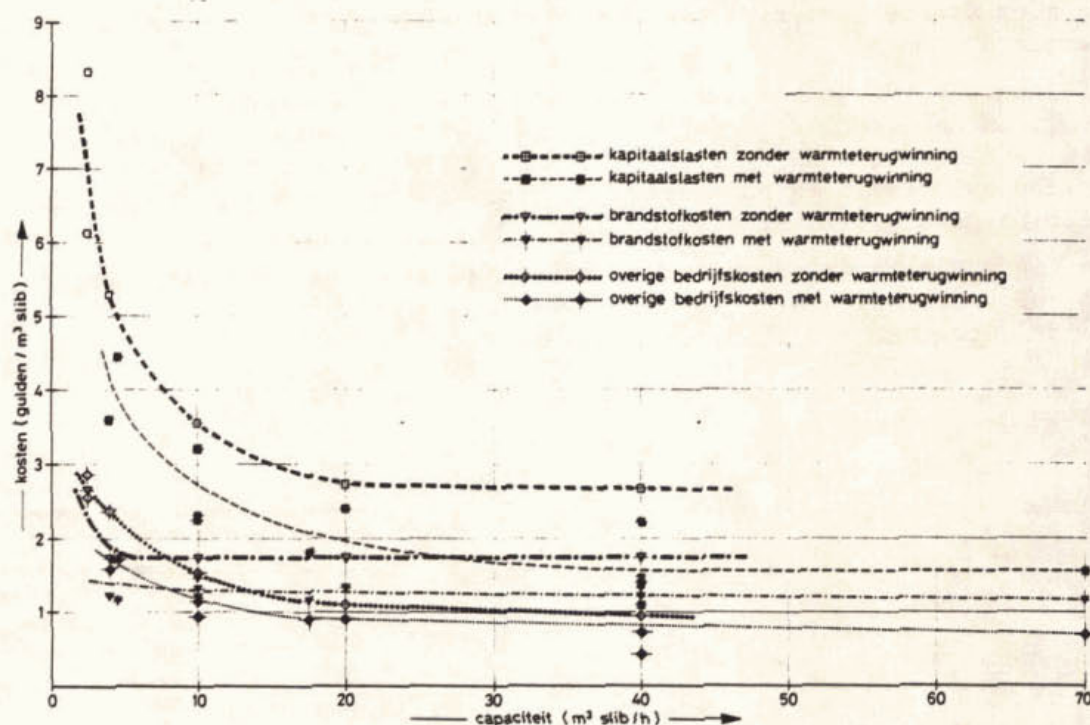


Fig. 35. Opbouwkosten van slibpasteurisatie per m³ slib (prijspeil maart 1978)

Uit de berekeningen met behulp van de richtoffertes blijkt dus dat per m³ slib de totale kosten voor pasteurisatie-installaties groter dan 4 m³/h met warmteterugwinning liggen tussen f 3,50 en f 7,-- en zonder warmteterugwinning tussen f 5,-- en f 8,--.

Uit de literatuurstudie (zie hoofdstuk 2) is gebleken dat voor diverse in bedrijf zijnde installaties kosten zijn berekend van f 4,-- tot f 7,-- per m³ behandeld slib (prijspeil 1972-1974) wat goed overeenkomt met de hier berekende kosten.

Welke kosten de pasteurisatie met warmteterugwinning met zich meebrengt is in tabel 28 gegeven voor een zuiveringsinrichting van 100.000 i.e.

| kosten per jaar | actief-slibinstallatie | | oxydatiesloot |
|------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------|
| | versslib pasteurisatie | uitgestald slib pasteurisatie | |
| capaciteit installatie | 13 m ³ /h | 7 m ³ /h | 15 m ³ /h |
| kapitaalslasten | f 129.800,-- | f 90.300,-- | f 143.500,-- |
| brandstof | f 70.300,-- | f 40.800,-- | f 81.100,-- |
| overige bedrijfskosten | f 54.100,-- | f 37.900,-- | f 56.200,-- |
| totale kosten | f 254.200,-- | f 169.000,-- | f 280.800,-- |

Tabel 28. Kosten pasteurisatie 100.000 i.e. (prijspeil maart 1978)

Bij de pasteurisatie van versslib zijn er geen energiekosten voor de verwarming van de gistingstank. Hierdoor wordt een bedrag van circa f 53.000,-- bespaard.

Afhankelijk van de bereikte indikkingsgraad kan pasteurisatie vóór de gisting, ondanks het lager totaal energieverbruik voor verwarming, duurder zijn dan pasteurisatie na de gisting. Door de matige indikkingseigenschappen van oxydatieslootslib is pasteurisatie hiervan duurder dan pasteurisatie van slib uit een actief-slibinstallatie.

In figuur 36 wordt de verwachte stijging van de pasteurisatiekosten weergegeven. Vooral de sterke verhoging van de energieprijzen die men in de toekomst verwacht, speelt hierbij een belangrijke rol.

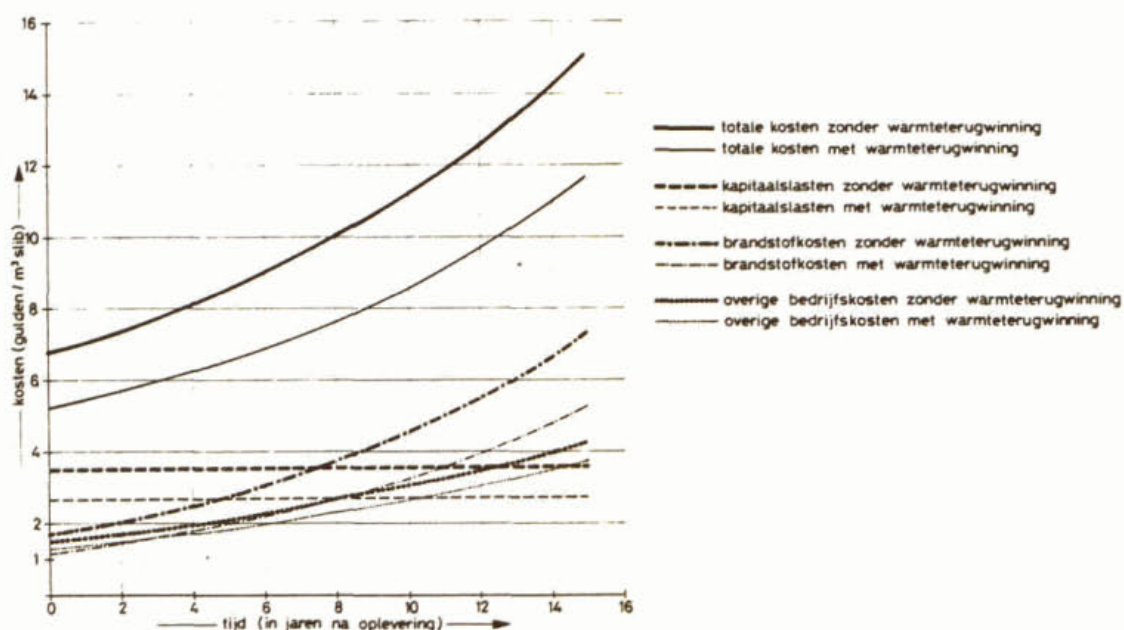


Fig. 36. Kostenverloop slibpasteurisatie (capaciteit 10 m^3 slib/h, prijspeil maart 1978)

Voor een actief-slibinstallatie van 100.000 i.e. waarbij de pasteurisatie na de gisting plaatsvindt, en warmte-terugwinning wordt toegepast, zijn kostenberekeningen uitgevoerd voor diverse bedrijfssituaties.

In tabel 29 zijn de resultaten hiervan weergegeven voor de volgende situaties:

- bedrijfstijd 24 uur/dag gedurende 7 dagen per week
- bedrijfstijd 16 uur/dag gedurende 5 dagen per week
- bedrijfstijd 8 uur/dag gedurende 5 dagen per week
- bedrijfstijd 16 uur/dag gedurende 5 dagen per week, pasteurisatie alleen gedurende 6 zomermaanden.

| | 24 uur/dag 7 dagen | 16 uur/dag 5 dagen | 8 uur/dag 5 dagen | 16 uur/dag 5 dagen, ½ jaar |
|---|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|
| capaciteit installatie (m ³ /h) | 3,3 | 7 | 14 | 7 |
| investeringskosten per m ³ slib | f 2,40 | f 3,10 | f 5,40 | f 6,20 |
| brandstofkosten per m ³ slib | f 1,40 | f 1,40 | f 1,40 | f 1,40 |
| overige bedrijfs- kosten per m ³ slib | f 0,90 | f 1,30 | f 2,00 | f 1,30 |
| totale kosten per m ³ slib | f 4,70 | f 5,80 | f 8,80 | f 8,90 |
| totale kosten per jaar (x10 ³) | f 137,-- | f 169,-- | f 256,-- | f 130,-- |

Tabel 29. Kosten pasteurisatie-installatie voor actief-slibinstallaties van 100.000 i.e. bij diverse bedrijfssituaties (prijspeil maart 1978.

3.6 Evaluatie en conclusies

Pasteurisatie is een bijzonder interessante methode voor de desinfectie van zuiveringsslib. Ten tijde van dit onderzoek waren zeven systemen voor pasteurisatie ontwikkeld. Buiten Zwitserland en in beperkte mate West-Duitsland vindt het proces nog niet veel toepassing.

Bij de pasteurisatie wordt het slib in het algemeen gedurende 20-30 minuten op 70 °C gehouden. Er komen echter ook andere combinaties van tijd-temperatuur voor. Naast deze tijd-temperatuurrelatie spelen ook factoren als turbulentie, deeltjesgrootte, kans op kortsluitstromen en stabiliteit van het systeem een rol bij het desinfecterend vermogen van de installatie. Deze factoren spelen een geringere rol bij dompelbrander en stoominjectie, waardoor daarbij een snellere desinfectie wordt verkregen.

Slib krijgt door pasteurisatie slechtere indikkingseigenschappen. De pasteurisatie heeft nauwelijks invloed op de chemische samenstelling van het slib en geen invloed op de binding van de zware metalen in/aan het slib.

Hoewel de pasteurisatie in het algemeen na de gisting plaatsvindt, wordt op dit moment onderzoek verricht naar de mogelijkheden van pasteurisatie vóór de gisting. Naast redenen van hygiënische aard, zijn er de voordelen van energiebesparing, snellere gisting en verbetering van de ontwateringseigenschappen.

Wat betreft de energiebesparing is berekend dat, wanneer de pasteurisatie vóór de gisting plaatsvindt de systemen met warmte-terugwinning een lager energieverbruik en systemen zonder warmte-terugwinning een hoger energiever-

bruik hebben dan bij de pasteurisatie na de gisting.

De totale kosten zijn voor beide systemen enigszins hoger dan bij pasteurisatie na de gisting.

Het energieverbruik voor de pasteurisatie is afhankelijk van het verschil tussen pasteurisatietemperatuur en voorverwarmingstemperatuur en van het thermisch rendement van het systeem. Systemen zonder warmte-terugwinning gebruiken circa $250-350 \times 10^3$ kJ per m^3 behandeld slib. Met warmte-terugwinning is de energiebehoefte ongeveer $130-200 \times 10^3$ kJ per m^3 behandeld slib.

Aërobe stabilisatie kan een aanzienlijke temperatuursverhoging in de stabilisatietank geven bij goede isolatie, zodat de pasteurisatie minder energie verbruikt. De hoeveelheid primaire energie nodig voor de aërobe stabilisatie is echter groot, zodat vergeleken met andere systemen in totaal de energiekosten veel hoger zijn.

De slibgisting produceert een hoeveelheid energie in de vorm van gistingsgas, dat als energiebron kan worden gebruikt voor de verwarming van de gistingstank en de pasteurisatie.

Bij systemen zonder warmte-terugwinning moet dan nog slechts een kleine hoeveelheid extra energie worden toegevoegd. Indien warmte-terugwinning wordt toegepast wordt niet alle gistingsgas gebruikt.

De totale kosten van pasteurisatiesystemen met warmte-terugwinning liggen tussen f 3,50 en f 7,-- per m^3 behandeld slib, bij installaties groter dan $4 m^3/h$ (prijspeil maart 1978). Kleinere installaties met warmte-terugwinning worden niet toegepast. Zonder warmte-terugwinning is de pasteurisatie circa f 1,-- tot f 1,50 per m^3 behandeld slib duurder.

Voor installaties kleiner dan $4 m^3/h$ (circa 55.000 i.e.) stijgen de kosten per m^3 slib snel met lager wordende capaciteit.

4 DESINFECTIE MET IONISERENDE STRALING

4.1 Inleiding

Ioniserende straling heeft een nadelig dodend effect op levende organismen. Dit effect wordt thans toegepast bij de desinfectie en sterilisatie van voedsel, verband, injectienaalden en medische apparatuur. Er is onderzoek gedaan naar de toepassing van ioniserende straling voor de desinfectie van afvalwater³⁰.

De laatste jaren is er een groeiende belangstelling voor deze methode bij de desinfectie van zuiveringsslib.

Onder ioniserende straling wordt straling verstaan die in de materie ionisaties opwekt, die verantwoordelijk zijn voor de schadelijke effecten; de belangrijkste soorten ioniserende straling zijn:

- röntgenstraling
- alfa-, bèta- en gammastraling
- neutronenstraling.

Röntgen- en gammastraling manifesteren zich als elektromagnetische trillingen met een golflengte van respectievelijk 10^{-8} - 10^{-13} m en 10^{-10} - 10^{-15} m.

Alfastraling bestaat uit heliumkernen die een positieve lading van 2 eenheden hebben. Bêtastraling bestaat gewoonlijk uit elektronen met een negatieve lading van 1 eenheid en neutronenstraling bestaat uit ongeladen kerndeeltjes.

Als eenheid voor de dosis geabsorbeerde straling wordt in het algemeen toegepast de rad (radiation absorbed dose), waarbij 1 rad = 0,01 J/kg. Deze eenheid kan worden vervangen door de S.I.-eenheid Gy (gray) : 1 Gy = 1 J/kg.

De hoeveelheid ioniserende straling die per tijdseenheid door de stralingsbron wordt uitgezonden, wordt uitgedrukt in Curie (Ci) (1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ desintegraties per seconde).

De eenheid van energie van elektronenstraling (bêtastraling) wordt gewoonlijk uitgedrukt in elektronvolt (eV); 1 eV is de energie die een elektron verkrijgt bij het doorlopen van een potentiaalverschil van 1 Volt.
 $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Bêta- en gammastraling kunnen worden gebruikt voor de desinfectie van zuiveringsslib.

Bêtastraling wordt opgewekt in elektronenversnellers. Om alle gevaar van geïnduceerde radioactiviteit in het bestraalde voorwerp of medium te voorkomen, moet de stralingsenergie beneden 10 MeV worden gehouden³⁴.

Voor gammastraling kunnen ^{60}Co - en ^{137}Cs -bronnen worden gebruikt.

Een ^{60}Co -bron wordt geproduceerd door stabiel ^{59}Co in een kernreactor bloot te stellen aan neutroneninslag. ^{137}Cs kan worden afgescheiden uit de bijprodukten van het kernsplittingsproces. De energie van de uitgezonden gammastraling van deze radio-isotopen is niet voldoende om radioactiviteit in de bestraalde stof op te wekken⁴¹.

Deze stralingsbronnen hebben de volgende kenmerken.

- Gamma-straling heeft ten opzichte van bêta-straling het voordeel van een veel grotere indringingsdiepte in het bestraalde medium (zie figuur 37 en tabel 30).

De absorptiewaarden in tabel 30 worden weergegeven als de laagdikte waarin stralingsintensiteit (I_0) is gehalveerd of gedecimeerd.

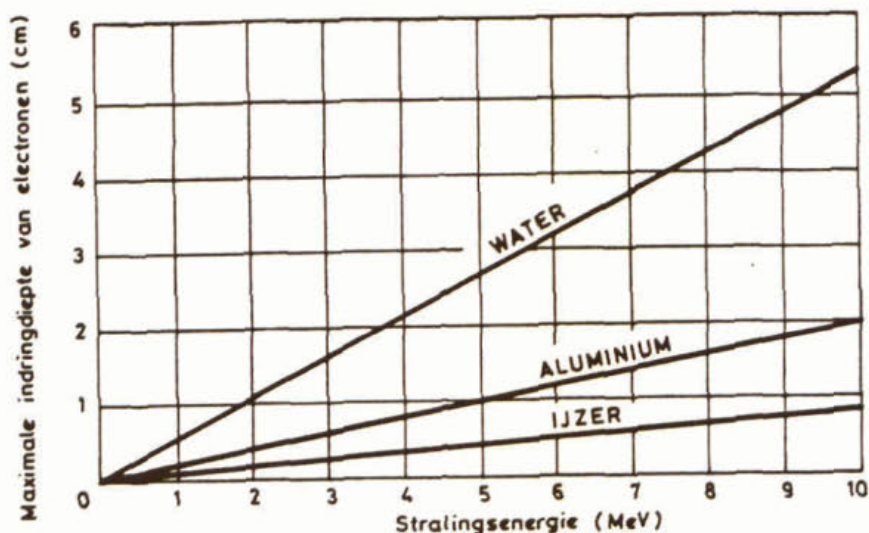


Fig. 37. Maximale indringingsdiepte van elektronen in verschillende materialen

| gammastralingsbron | ^{60}Co | ^{60}Co | ^{137}Cs | ^{137}Cs |
|---|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| stralingsintensiteit (I) | 0,5 Io | 0,1 Io | 0,5 Io | 0,1 Io |
| laagdikte (cm) met stralingsintensiteit (I) in: | | | | |
| - water | 27 | 64 | 24 | 55 |
| - beton (2,35 kg/dm ³) | 13 | 28 | 9 | 21 |
| - staal | 3,5 | 8,0 | 2,5 | 6,6 |
| - lood | 1,8 | 4,5 | 0,7 | 2,5 |

Tabel 30. Absorptiewaarden van gamma-straling in verschillende materialen

- Een gammastralingsbron kan lange tijd worden gebruikt. Er is dus geen continue aanvoer van energie nodig. ^{60}Co , met een halveringstijd van 5,26 jaar, hoeft slechts eens in de een of twee jaar te worden vervangen; een ^{137}Cs -bron (halveringstijd 30,2 jaar) kan 5 jaar worden gebruikt.
- Een nadeel van gammastralingsbronnen is, dat deze ook in werking blijven als de installatie buiten bedrijf is.
- Bij een elektronenstralingsinstallatie kan een grote hoeveelheid straling op een klein oppervlak worden gericht. De bestralingsduur van een dun laagje slib kan dus kort zijn. Voor de energietoevoer is men afhankelijk van elektriciteit.

4.2 Effecten van ioniserende straling op slib

Het onderzoek naar de effecten van bestraling op het slib richt zich voornamelijk op de volgende factoren⁷⁴:

- destructie van micro-organismen en parasieten,
- oxydatie en modificatie van de molecuulstructuur,
- verandering in colloïdale eigenschappen en
- chemische samenstelling van het slib.

4.2.1 *destructie van micro-organismen en parasieten*

Verschillende onderzoekers hebben gevonden, dat er reeds sterfte van micro-organismen optreedt bij een stralingsdosis groter dan 25 krad. Slib vereist een tweemaal zo grote stralingsdosis als gedestilleerd water om hetzelfde afstervings-effect te verkrijgen. Sporevormende bacteriën hebben een veel grotere dosis nodig dan niet-sporevormers. Een goede desinfectie van slib wordt verkregen bij een stralingsdosis van 300-350 krad. Hess en Lott²¹ hebben bepaald dat deze dosis een zelfde effect heeft als pasteurisatie. Volledige sterilisatie wordt pas verkregen bij een dosis groter dan 1 Mrad. Bij gecombineerd gebruik van straling met chloor, ultrasone trillingen of warmtebehandeling treden synergistische effecten op.

4.2.2 *oxydatie en modificatie van de molecuulstructuur*

Uit diverse onderzoeken is gebleken, dat oxydeerbare stoffen door ioniserende straling geheel of gedeeltelijk kunnen worden afgebroken⁷⁴. Er is verlaging van de CZV-waarden geconstateerd³² en in waterige oplossingen kunnen zelfs zeer moeilijk afbreekbare toxische stoffen worden geoxydeerd, zoals cyaniden, fenolen, pesticiden, kleurstoffen, enz. De stralingsintensiteit die nodig is om deze oxydatie effectief te laten verlopen is veel groter dan de benodigde stralingsdosis voor slibdesinfectie, zodat deze oxydatieprocessen slechts in geringe mate zullen plaatsvinden. Een geringe afbraak of een modificatie van de molecuulstructuur zal echter wel optreden. Dit blijkt onder meer uit het feit dat het filtraat van bestraald slib een hogere CZV heeft (soms met een factor 3) dan het filtraat van hetzelfde onbehandelde slib^{31,32}.

4.2.3 *verandering in colloïdale eigenschappen*

Groneman³¹, Compton e.a.³² en Ehlert⁸⁹ hebben experimenteel vastgesteld dat de filtreerbaarheid van het slib verbetert door bestraling.

Compton bepaalde de specifieke filtratieweerstand als functie van de stralingsdosis voor versslib en uitgegist slib. Bovendien is dit verband vergeleken met een FeCl₃-behandeling (fig. 38).

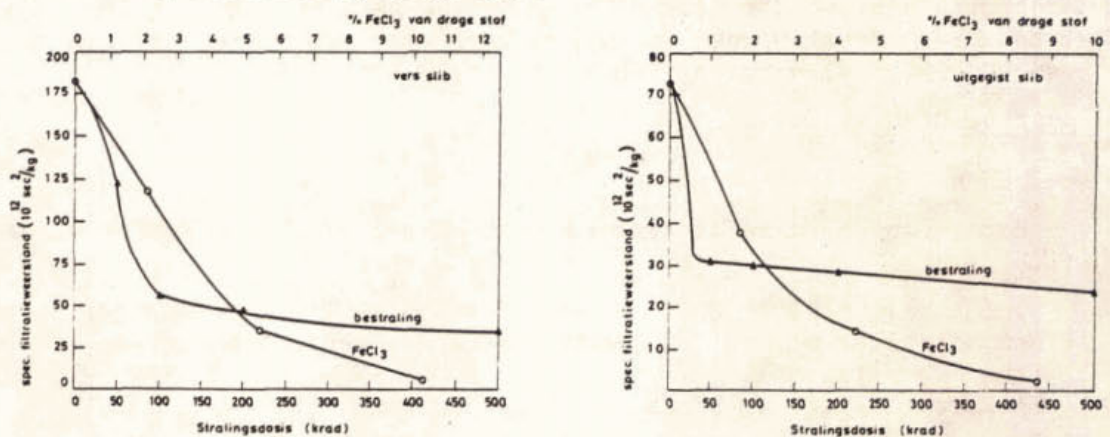


Fig. 38. Specifieke filtratieweerstand van resp. vers- en uitgegist slib als functie van de stralingsdosis en de toegevoegde hoeveelheid FeCl₃

De maximale verlaging van de filtratieweerstand wordt reeds bij een stralingsdosis van 50-100 krad nagenoeg bereikt.

Groneman³¹ heeft het effect van bestraling en pasteurisatie bepaald op de specifieke filtratieweerstand van uitgegist slib, afkomstig van de zuiveringsinrichtingen Geiselbullach en Starnberg.

De resultaten zijn weergegeven in tabel 31. De specifieke filtratieweerstand werd bepaald bij een druk van $50 \cdot 10^3$ kPa.

| behandeling | specifieke filtratieweerstand ($\times 10^{12} \text{sec}^2/\text{kg}$) | |
|----------------|---|-----------|
| | Geiselbullach | Starnberg |
| onbehandeld | 22,8 | 18,0 |
| bestraling: | | |
| dosis 100 krad | 12,8 | 7,0 |
| dosis 200 krad | 15,6 | 6,0 |
| dosis 300 krad | 12,5 | 5,6 |
| pasteurisatie | 38,1 | 27,4 |

Tabel 31. Effect van bestraling en pasteurisatie op de specifieke filtratieweerstand.

Ook hieruit blijkt een sterke verlaging van de filtratieweerstand bij een bestraling > 100 krad, terwijl pasteurisatie een verhoging van de filtratieweerstand veroorzaakt.

Dit effect kan worden verklaard aan de hand van metingen van de elektroforetische mobiliteit, waaruit blijkt dat de negatieve elektrostatiche lading van de colloïdale deeltjes wordt verlaagd door de bestraling en verhoogd door pasteurisatie (hydrolyse). Intensief rondpompen van het slib om een homogene stralingsdosis te verzekeren, doet de ontwateringseigenschappen weer verslechteren.

4.2.4 *chemische samenstelling van het slib*

Door Stärk e.a.⁸² is onderzoek verricht naar het gedrag van de voedingsstoffen en zware metalen in het uitgegist slib van Geiselbullach tijdens de bestralings- en pasteurisatiebehandeling.

Zoals blijkt uit tabel 32 wijzigt het gehalte van deze stoffen in de vaste stof zich niet, zodat door de behandeling geen verandering in chemische kwaliteit van het slib wordt verkregen. De vermelde waarden zijn gemiddelden van 30 analyses, verricht van 1973 tot en met 1975.

4.3 Bestralingsmethoden

4.3.1 *inleiding*

Op dit moment bestaan er drie bestralingsmethoden voor de desinfectie van slib:

- Gammastraling met ^{60}Co .
- Gammastraling met ^{137}Cs , gecombineerd met warmtebehandeling (thermobestraling).
- Elektronenstraling (bêtastraling).

De kenmerken van deze methoden, vergeleken met pasteurisatie, zijn gegeven in tabel 33³⁰.

| behandeling element | onbehandeld | bestraald | gepasteuriseerd |
|-------------------------|-------------|-----------|-----------------|
| Kjeldahl-N (% van d.s.) | 5,51 | 5,45 | 5,30 |
| NH -N/Kjeldahl-N | 0,50 | 0,52 | 0,54 |
| P (% van d.s.) | 3,41 | 3,30 | 3,38 |
| K (% van d.s.) | 0,42 | 0,43 | 0,42 |
| Ca (% van d.s.) | 9,2 | 8,7 | 8,9 |
| Mg (% van d.s.) | 1,04 | 1,03 | 1,05 |
| Na (% van d.s.) | 0,22 | 0,22 | 0,21 |
| Fe (% van d.s.) | 0,63 | 0,63 | 0,64 |
| Zn (% van d.s.) | 0,39 | 0,39 | 0,38 |
| Mn (ppm van d.s.) | 189 | 185 | 191 |
| Cu (ppm van d.s.) | 362 | 370 | 360 |
| Pb (ppm van d.s.) | 186 | 190 | 190 |
| Cd (ppm van d.s.) | 22,1 | 22,6 | 22,6 |
| Co (ppm van d.s.) | 4,6 | 4,9 | 4,6 |
| Cr (ppm van d.s.) | 109 | 109 | 109 |
| Ni (ppm van d.s.) | 28 | 29 | 29 |
| Hg (ppm van d.s.) | 42 | 41 | 42 |

Tabel 32. Chemische samenstelling van slib van Geiselbullach

| | pasteurisatie | ⁶⁰ Co-bestraling | thermo- bestraling | elektronen- bestraling |
|--|--------------------------------|--|---|----------------------------|
| min. voorwaarde voor hygiënische betrouwbaarheid | 70°C 20-30 min | 200 krad | in onderzoek | 200 krad |
| energiebron | gistingsgas olie, aardgas | radio-actieve ⁶⁰ Co-staven | ¹³⁷ Cs uit radio-actieve kernsplittingsproducten | elektriciteit |
| energievorm | warmte | γ-straling | γ-straling + warmte | β-straling |
| energieverbruik | bij installatie in bedrijf | permanent | straling: permanent, warmte bij inst. in bedrijf | bij installatie in bedrijf |
| veiligheidsmaatregelen | weinig kosten | kostbaar | kostbaar | weinig kosten |
| bouwkosten | laag | hoog | hoog | laag |
| bedrijfskosten | nog geen vergelijking mogelijk | | | |

Tabel 33. Kenmerken van de diverse desinfectiemethoden.

In vergelijking met pasteurisatie heeft bestraling een aantal voordelen:

- De desinfectiebehandeling wordt uitgevoerd bij 25-30°C zodat geen problemen optreden in verband met corrosie.
- Organische stikstofverbindingen worden nauwelijks afgebroken. Er treedt geen onaangename stank op en de bemestingseigenschappen gaan niet achteruit.
- Er treedt geen volumevergroting op zoals bij stoominjectie.
- De ontwateringseigenschappen zijn beter.
- Bij gebruik van gammastraling wordt bespaard op energie.
- De gamma-stralingsbron kan lange tijd worden gebruikt; er is geen continue aanvoer van energie nodig.

Nadelen zijn:

- Kostbare veiligheidsmaatregelen zijn noodzakelijk.
- De verwisseling en transport van het radioactief materiaal brengen een zeker risico met zich mee.
- Een verantwoorde verwijdering van de afvalprodukten stuit vaak op moeilijkheden.
- De gamma-stralingsbron is permanent in werking, waardoor
 - . de installatie bij calamiteiten niet kan worden uitgezet,
 - . ook energie wordt verbruikt wanneer er geen slibtoevoer is.
- De indringdiepte van elektronenstraling is gering.

4.3.2 behandeling met gammastraling (^{60}Co -bron)

Deze methode wordt reeds enige tijd toegepast voor de conservering van levensmiddelen en voor de desinfectie van medische apparatuur.

De inzichten die zijn verkregen in het effect van ioniserende straling op levende cellen en de ontwikkeling van de stralingstechniek, hebben het mogelijk gemaakt een bestralingsinstallatie op praktijkschaal te construeren voor de desinfectie van zuiveringsslib. Als stralingsbron wordt de radioactieve isotoop ^{60}Co gebruikt (fig. 39).

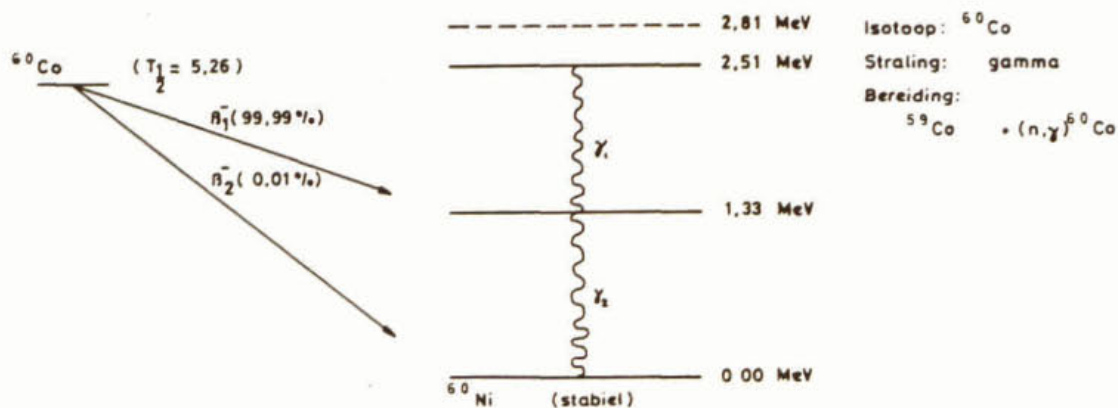


Fig. 39. Vervalschema van ^{60}Co .

In hoofdzaak worden 1 elektron (β_1) en 2 gammaquanta ($\gamma_1 + \gamma_2$) uitgezonden. De golflengte van de beide gammaquanta is ongeveer 10^{-12}m . De energie van de uitgezonden straling is meestal ten hoogste 1,5 MeV, zodat geen radioactiviteit in de bestraalde materie kan worden geïnduceerd.

Als de gammastraling in een bepaalde materie binnendringt, ontstaan er ionisatieprocessen die tot vernietiging van levende cellen leiden.

In Geiselbullach (nabij München) is in juli 1973 een proefinstallatie (capaciteit 30 m³/dag) in gebruik genomen voor de bestraling van slib met behulp van een ⁶⁰Co-bron. Onderzoek uitgevoerd door onder andere Hess (Universiteit van Zürich) en Süss (Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau München) heeft uitgewezen dat met een stralingsdosis van 300 krad (3000 Gy) een hygiënisch betrouwbaar produkt wordt verkregen. Zelfs na langdurige opslag op droogbedden bleef het bestraalde uitgegiste slib van goede hygiënische kwaliteit en werd geen herinfectie geconstateerd. Tevens werd waargenomen dat de ontwateringseigenschappen van het slib sterk verbeterden door de bestraling. Het aantal droogbedden kon daardoor met ca. 40% worden verminderd.

Sinds eind 1975 is de proefinstallatie omgebouwd tot een volledige bedrijfsinstallatie waarin men door verhoging van de stralingsintensiteit van de ⁶⁰Co-bron van 120.000 Ci tot ca. 500.000 Ci een capaciteit van 110 m³ slib per dag kan bereiken.

De installatie bestaat uit

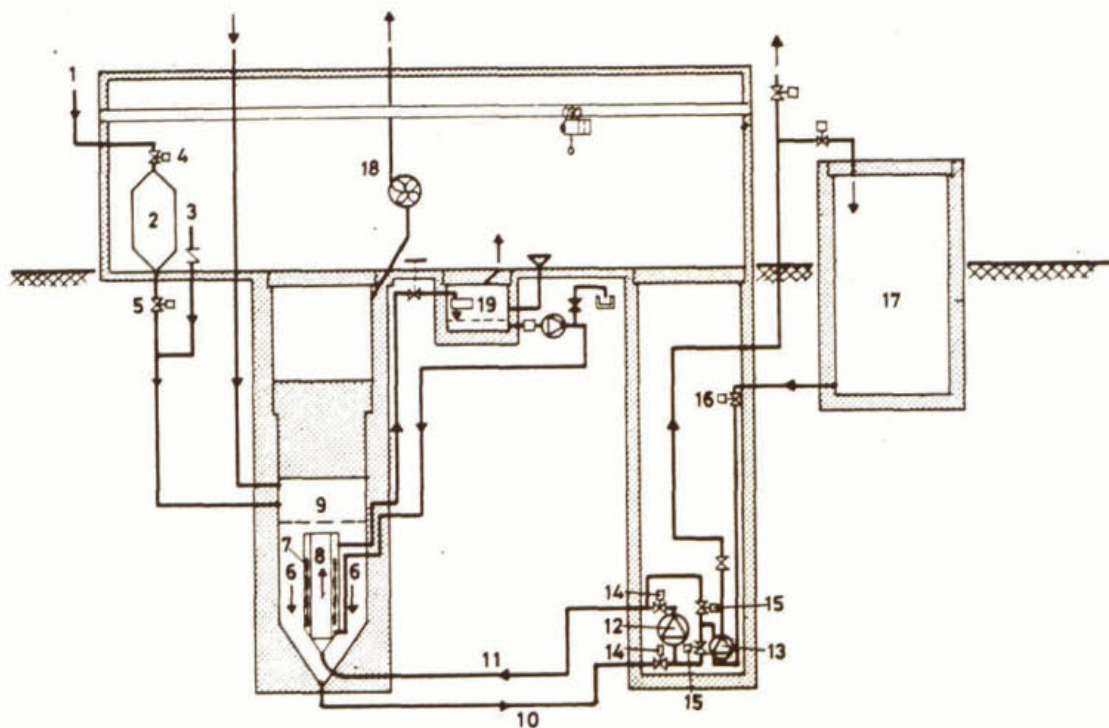
- een bestralingsschacht (inhoud 5 m³),
- een recirculatiesysteem om een goede menging en een homogene bestraling voor het slib te verkrijgen,
- een slibtoevoer- en afvoersysteem voor de ladingsgewijs bedreven installatie en
- een koeling van de stralingsbron; in het koelcircuit wordt tevens de controle op lekkage van de stralingsbron uitgevoerd.

De werking van de bestralingsinstallatie is als volgt.

Het onbehandelde uitgegiste slib wordt naar een doseersilo gepompt, waarvan het volume gelijk is aan het volume van de bestralingsruimte en het recirculatiesysteem (5,6 m³). Deze hoeveelheid stroomt vervolgens in zijn geheel in de bestralingsruimte die zich volledig ondergronds bevindt. Deze ruimte is voorzien van een betonnen deksel met een dikte van 1,80 m (gewicht 10,5 ton). Voor een homogene bestraling van de gehele inhoud van de tank wordt het slib gerecirculeerd met behulp van een pomp die zich in een andere ondergrondse ruimte bevindt. De stralingsbron bevindt zich in de vorm van capsules in de holle wand van een centrale buis in de bestralingsruimte. Het aangevoerde slib stroomt van onder naar boven door de centrale buis en wordt via de buitenkant van deze buis afgevoerd naar de recirculatiepomp. Door de conische vorm van toe- en afvoeropening kunnen geen dode hoeken ontstaan. De bestraling vindt aan beide zijden van de stralingsbuis plaats. Zodoende wordt een optimale stralingsbenutting en stralingsdosis-verdeling verkregen. Na een bepaalde bestralingstijd, waarin het slib de gestelde stralingsdosis heeft ontvangen, wordt het gedesinfecteerde slib in een buffertank gepompt, waarna een nieuwe hoeveelheid slib uit de doseersilo wordt ingelaten. Het proces is volledig geautomatiseerd. Het processchema is in figuur 40 weergegeven.

De vul- en ledigingstijd is 6-8 minuten. De bestralingstijd hangt af van de intensiteit van de stralingsbron en de gestelde dosis. Met de huidige ⁶⁰Co-bron van circa 500.000 Ci kan per dag 110 m³ slib worden gedesinfecteerd (stralingstijd circa 1-1,5 uur). De halfwaardetijd van de ⁶⁰Co-bron is 5,26 jaar. De stralingsintensiteit zal dus steeds afnemen, zodat de stralingstijd langer moet worden. Om een voldoende capaciteit te handhaven zal de ⁶⁰Co-bron na 1-2 jaar vervangen moeten worden.

In de bestralingsruimte zijn geen beweegbare delen aanwezig, zoals pompen, kleppen, regelorganen, enz. zodat reparaties en onderhoud tot een minimum be-



- | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1. slibtoevoer | 9. slibniveau | 15. afsluiters omloop |
| 2. doseersilo | 10/11. slibcirculatie | 16. bestraald slib |
| 3. leidingwater toevoer | leidingen | 17. reservoir voor bestraald slib |
| 4/5. afsluiter doseersilo | 12. circulatiepomp | 18. ventilatie-systeem |
| 6. bestralingsschacht | 13. vacuumpomp | |
| 7. ^{60}Co -staven | 14. afsluiters circulatesysteem | |
| 8. centrale pijp | | |

Fig. 40. Gamma-bestrallingsinstallatie te Geiselbullach

perkt blijven.

De warmte die in de stralingsbron vrijkomt wordt met een watercirculatiesysteem afgevoerd (zie figuur 41).

Door direct contact tussen de ^{60}Co -bron en het slib kan hierin radio-activiteit ontstaan. Om dit te voorkomen zijn diverse maatregelen genomen. De stralingsbron bevindt zich in kleine roestvrijstalen capsules die weer in grotere roestvrijstalen pijpen zijn opgeborgen.

Hieromheen stroomt het circulatiewater voor de koeling. Het slib is dus door een drievoudige roestvrijstalen bescherming gescheiden van de bron. Het watercirculatiesysteem wordt op lekkage gecontroleerd door middel van een detectiesysteem voor gamma- en bètastraling.

Hierna kan het water via een warmtewisselaar worden teruggevoerd naar de bestralingsruimte.

In figuur 42 en 43 zijn nog enige foto's van de installatie van Geiselbullach afgebeeld.

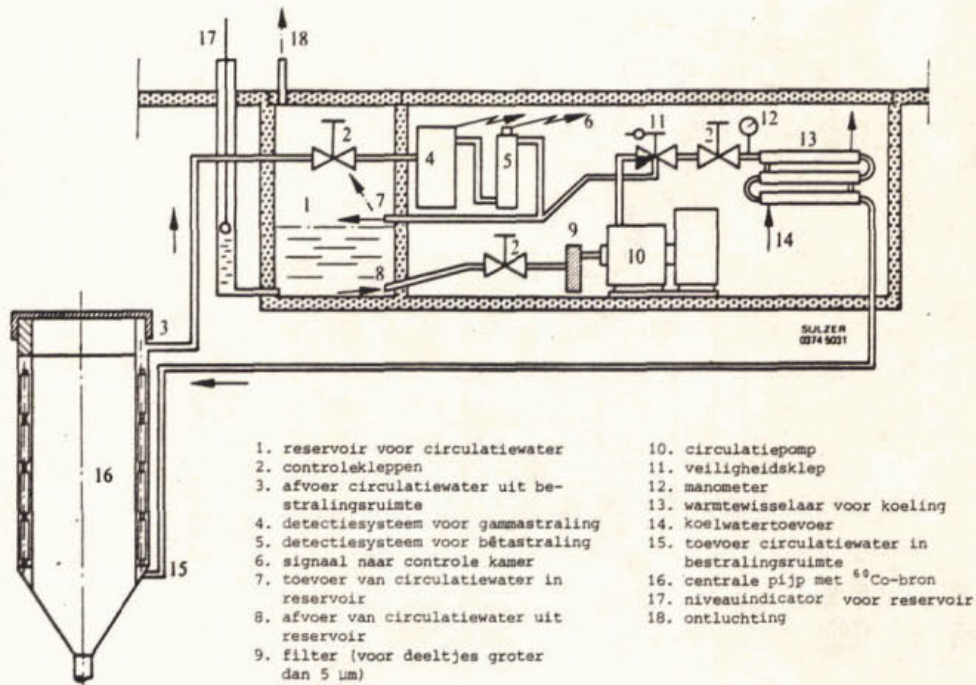


Fig. 41. Watercirculatiesysteem

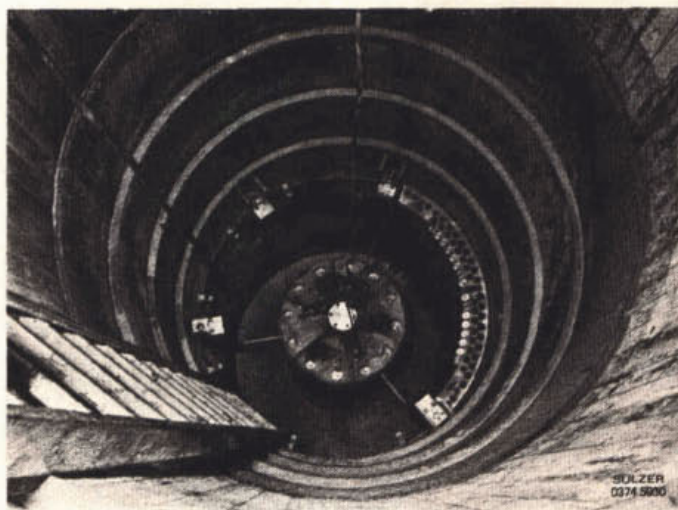


Fig. 42. Bestralingsschacht met afgedekte centrale buis

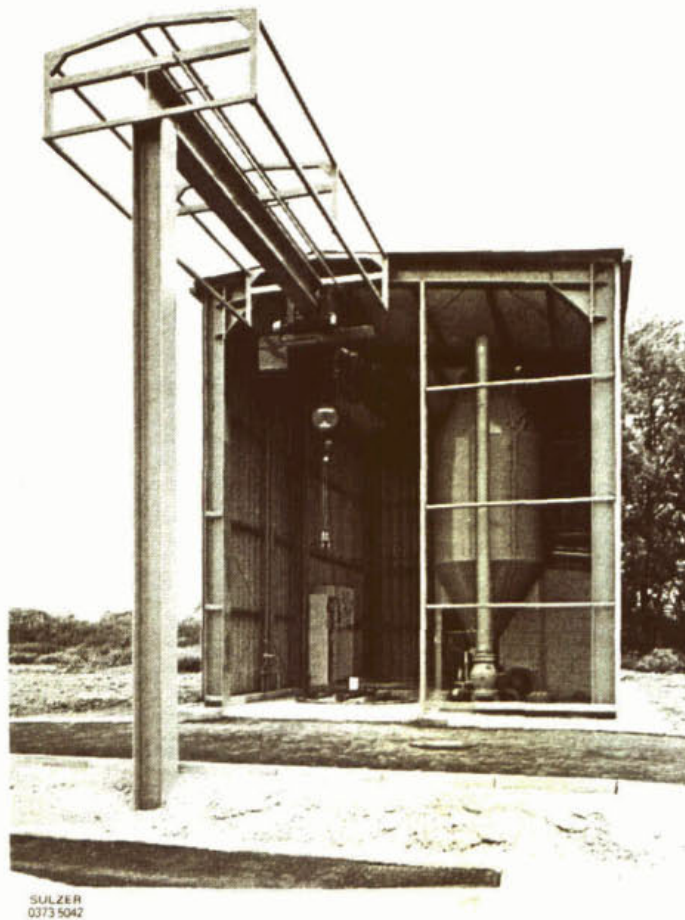


Fig. 43. Bovengronds gedeelte gamma-bestralingsgedeelte met slibdoseer-silo, regel- en controle-apparatuur en takelinrichting voor verwisseling stralingsbron.

4.3.3 *thermobestraling met een $^{137}\text{Cesium}$ -bron*

Bij Sandia Laboratories in Albuquerque, New Mexico, Verenigde Staten, is een uitgebreid onderzoek verricht naar de desinfectie van zuiveringsslib.

Bepaald is de relatie tussen de stralingsdosis, pasteurisatietijd en pasteurisatietemperatuur enerzijds en eliminatiefactor van pathogene bacteriën, wormeieren en virussen anderzijds. Combinatie van bestraling en pasteurisatie werkt synergistisch op de afsterving van pathogenen. Dit houdt in, dat de stralingsdosis aanzienlijk kan worden gereduceerd door warmte toe te voegen ofwel dat de pasteurisatietijd sterk verkort wordt door gelijktijdig te bestralen³⁶.

In september 1975 is een continu doorstroomde reactor op laboratoriumschaal in gebruik genomen. Het volume van de reactor is 1 liter. De verblijftijd is circa vijf minuten. De verwarming geschiedt met warm water in een warmtewisselaar. Aan het begin en het einde van iedere desinfectieperiode wordt de opstelling volledig gedesinfecteerd door er gedurende enige tijd water met een temperatuur van 85°C door te leiden.

Onder de omstandigheden:

slib : uitgegist slib met tenminste 5% droge stof
temperatuur : 65 °C
stralingsdosis : 180 krad
desinfectietijd : 5 minuten
totale periode van experimenten : 2,5 week

werd een reductie van het coliformgehalte geconstateerd van 4 decimalen. Verondersteld wordt, dat de overlevende organismen zich in grotere slibdeeltjes bevinden, waardoor deze moeilijker te inactiveren zijn. Een goede homogenisatie van het slib is dus noodzakelijk.

Dit laboratoriumonderzoek richtte zich met name op de volgende vier aspecten:

- het bepalen van de optimale procesomstandigheden van de thermobestraling;
- aanpassing van het proces, waardoor ook verslib kan worden gedesinfecteerd. Aangezien het slib wordt gedroogd voordat het wordt toegepast als veevoeder of als meststof in kassen, heeft verslib een hogere waarde aan voedingsstoffen dan uitgegist slib. Tijdens het drogen gaat namelijk een deel van de ammoniumstikstof, dat vooral tijdens de gisting wordt gevormd, verloren. In Albuquerque geschiedt de droging op natuurlijke wijze in de buitenlucht;
- het desinfecteren van vast slib en compost door bestraling met ^{137}Cs in een continu proces.
Capaciteit 1 ton d.s./dag, stralingsdosis 1 Mrad;
- het construeren van een proefopstelling op praktijkschaal (vermoedelijk in 1979 in bedrijf). De procesparameters worden bepaald aan de hand van de resultaten van de laboratoriumopstelling. In figuur 44 wordt het ontwerp van deze installatie schematisch weergegeven.

4.3.4 elektronenstraling

Een alternatieve bron van hoogenergetische straling is een elektronenversneller. Dit is een apparaat waarin elektronen (bêtadeeltjes) een hoog potentiaalverschil doorlopen en een zodanige energie wordt verkregen, dat de deeltjes in staat zijn dezelfde chemische en fysische effecten in de bestraalde materie teweeg te brengen als gamma-straling. De belangrijkste onderdelen van de elektronenversneller zijn:

- elektronenbron,
- versnellingsveld (met verschillende technieken kan dit veld worden opgewekt),
- vacuümbuis in het versnellingsveld waarin de elektronen hun hoge energie verkrijgen en
- raam waardoor de elektronenstraal buiten de machine treedt.

In figuur 45 wordt de elektronenversneller schematisch weergegeven.

Energie-arme elektronen treden uit de kathode-(elektronenbron) als gevolg van verhitting. Een groot aantal anodeplaten met ieder een bepaalde deelspanning geeft aan de elektronen een steeds grotere snelheid. Na het verlaten van de onder hoogvacuüm staande versnellingsruimte verdelen de afbuigingsspoelen de elektronen over de gehele breedte van de slibfilm. De energie van de elektronenstraal is afhankelijk van de sterkte van het versnellingsveld. In het algemeen hebben de toegepaste elektronenversnellers een stralingsenergie van 0,5 - 3 MeV. Er zijn echter ook elektronenversnellers ontwikkeld met een stralingsenergie groter dan 10 MeV. Bij de toepassing van deze hoge stralings-

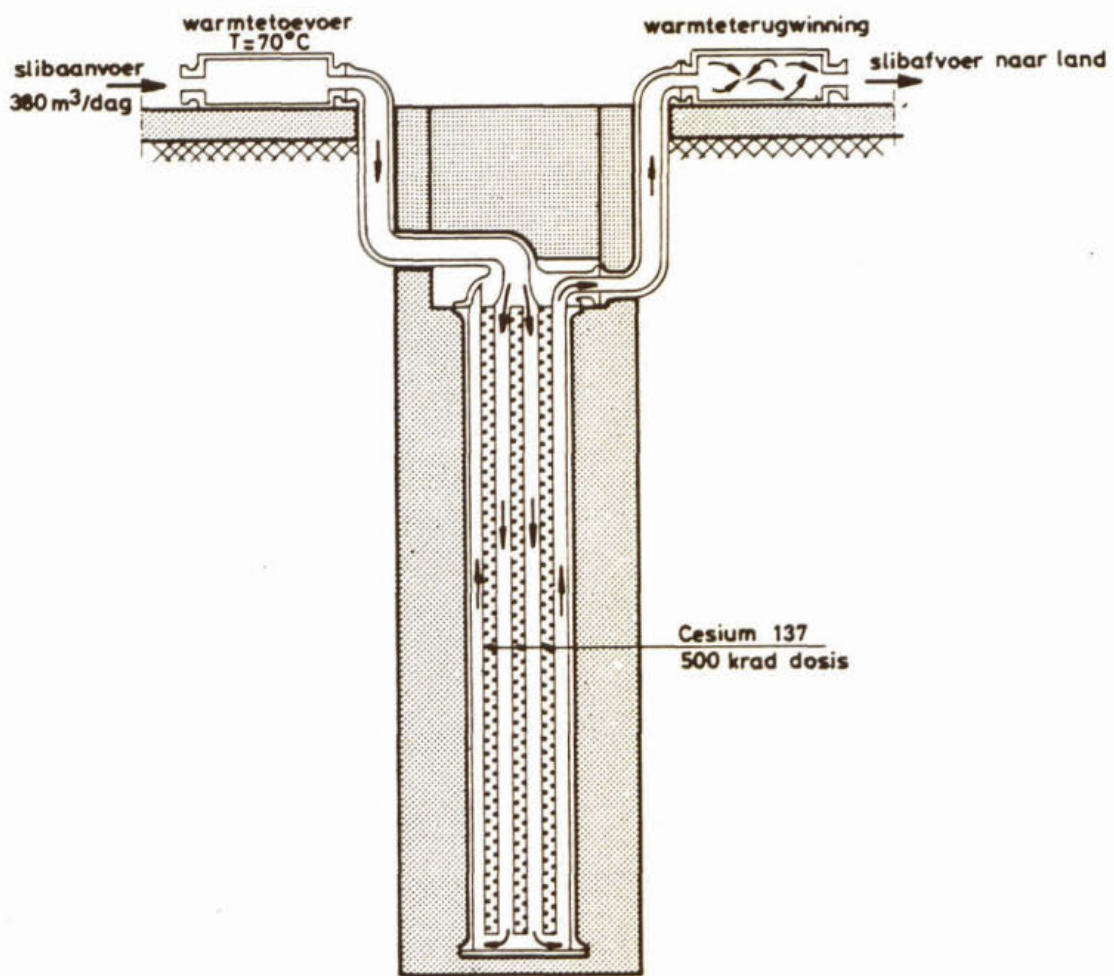


Fig. 44. Continue desinfectie installatie m.b.v. ^{137}Cs -straling en warmtebehandeling.

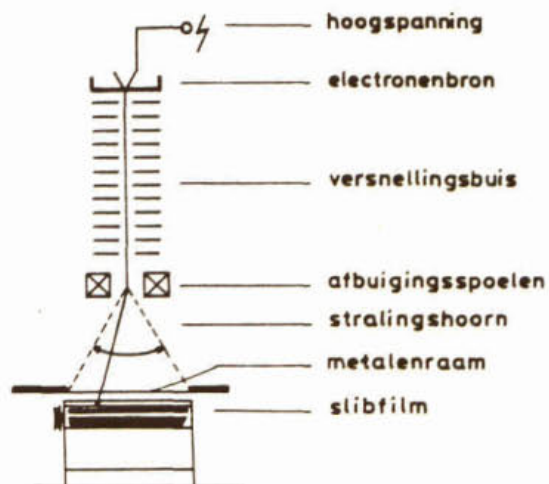


Fig. 45. Elektronenversneller

energie bestaat de kans, dat er radioactiviteit in de bestraalde materie wordt geïnduceerd.

Elektronenstraling heeft een aantal voordelen boven gamma-straling¹¹:

- de intensiteit van de straling is groot. Om een bepaalde stralingsdosis te krijgen kan de bestralingstijd zeer kort zijn;
- het rendement van de krachtbron is hoog;
- de kosten van de energiebron zijn laag vergeleken met de gammastralingsbron;
- de elektronenversneller kan worden stilgezet bij calamiteiten of als er geen aanvoer van slib is.

Er zijn echter twee belangrijke nadelen:

- de indringdiepte is erg gering. De dikte van de bestraalde sliblaag mag niet meer zijn dan 2-5 mm bij een stralingsenergie van 0,5 - 3 MeV, om nog een effectieve desinfectie te verkrijgen. Ook de diameter van slibdeeltjes moet klein zijn om tevens pathogene organismen die in een slibvlok zijn ingesloten goed te kunnen inactiveren;
- de werking van de installatie is afhankelijk van de toelevering van elektriciteit.

De laatste jaren is een sterke groei opgetreden in de productie van elektronenversnellers. Aan enkele hiervan wordt onderzoek gedaan naar de aanpassing van hun apparatuur voor de desinfectie van slib.

Een dergelijk onderzoek aan het Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) heeft ertoe geleid, dat in mei 1976 de eerste slibdesinfectie-installatie met behulp van elektronenstraling in gebruik is genomen op de rioolwaterzuiveringsinrichting van Deer Island nabij Boston. De capaciteit van deze installatie is circa 375 m³ per dag (primaair uitgestigt slib, drogestofgehalte 8 - 10%).

Enige gegevens van deze installatie zijn:

| | |
|---|------------------------|
| potentiaalverschil elektronenversneller | : 750 kV |
| stroomsterkte elektronenstraal | : 67 mA |
| bruto vermogen elektronenstraal | : 50 kW |
| stralingsdosis | : 400 krad (4000 Gy) |
| breedte slibstroom | : 1,2 m |
| dikte slibstroom | : 2 mm |
| snelheid slibstroom | : 2 m/s |
| rendement energietoevoer elektronen | : 35%. |

In figuur 46 wordt de installatie van Deer Island schematisch weergegeven. Aan het slib wordt tevens zuurstof of lucht toegevoegd. Onderzoek van Sinskey e.a.⁷⁸ heeft uitgewezen dat hierdoor een groter desinfecterend vermogen wordt verkregen.

4.4 Kosten

Deze desinfectiemethoden worden nog slechts zeer recent en incidenteel toegepast. De resultaten van de kostenberekeningen die in de literatuur worden gegeven, moeten dan ook als ramingen worden beschouwd. Het blijkt ook dat de diverse onderzoekers daarvoor aanzienlijke verschillen vinden. Voor een indicatie worden hieronder enige resultaten weergegeven.

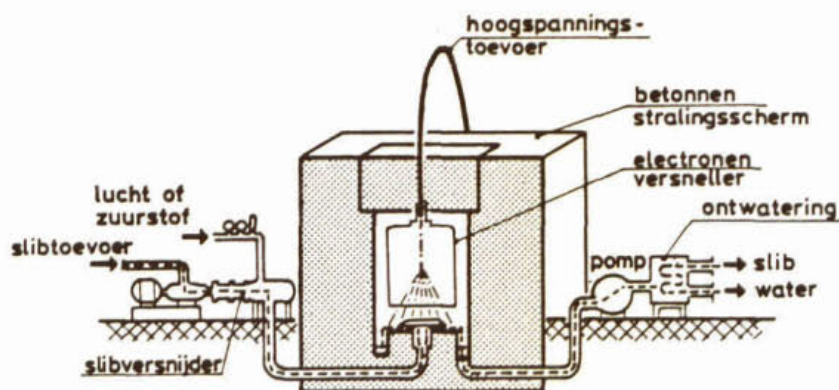


Fig. 46. Bêta-stralingsdesinfectie systeem

Aan de hand van de resultaten van de bestralingsinstallatie te Geiselbul-
lach hebben Herrnhut e.a.⁹² de kosten bepaald voor bestralingsinstallaties
die gebruik maken van de gamma-stralingbron ^{60}Co .

De prijzen zijn gebaseerd op de volgende parameters:

bedrijfstijd : 8400 uur/jaar
 onderhoudskosten : 1,7% van investeringen
 levensduur : 20 jaar
 rente : 8%
 personeelskosten : geen
 bestralingsbron : marktprijs 1976
 van ^{60}Co = 140 Zw.Fr/Ci.

In figuur 47 zijn de totale jaarlijkse kosten gegeven als functie van de
capaciteit van de installatie.

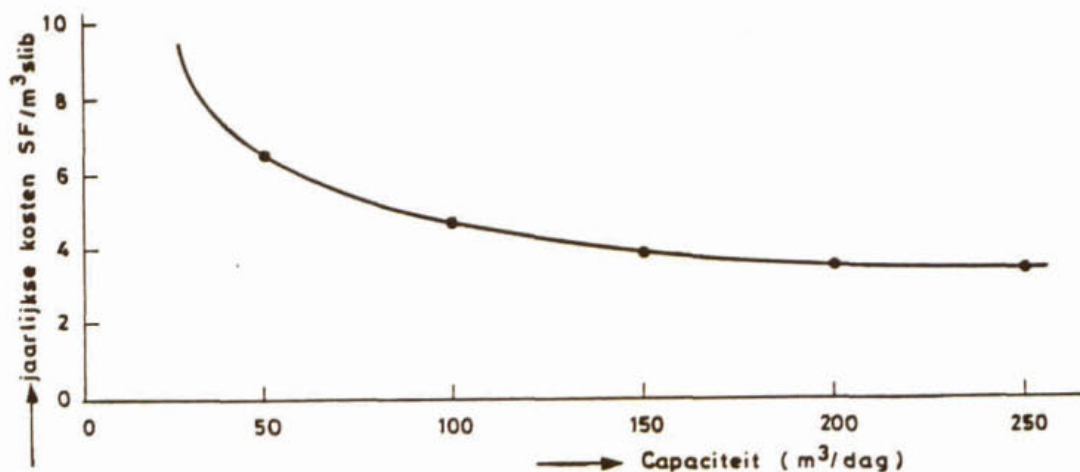


Fig. 47. Totale jaarlijkse kosten bestraling m.b.v. ^{60}Co -bron (prijspeil 1976)

Sivinski⁹³ geeft voor de diverse desinfectiemethoden een raming van de
jaarlijkse kosten voor installaties groter dan 100 m³/dag (zie tabel 34).

| desinfectiemethode | kosten \$/m ³ slib |
|--------------------|-------------------------------|
| gammastraling | 2,10 |
| thermobestraling | 1,32 |
| pasteurisatie | 0,92 |

Tabel 34. Kosten desinfectiemethoden
(prijspeil 1976)

Een kostenvergelijking voor drie alternatieve desinfectie-installaties voor Bern (slibdebiet 300 m³/dag) is in tabel 35 opgenomen⁸⁰.

| kosten (Zw.Fr/m ³ slib) | pasteurisatie | elektronen- straling | gamma-straling |
|---------------------------------------|---------------|-------------------------|----------------|
| bedrijfskosten | 0,62 | 1,01 | 2,62 |
| kapitaalskosten | 0,96 | 1,42 | 1,19 |
| totaal | Zw.Fr 1,58 | Zw.Fr. 2,43 | Zw.Fr 3,81 |

Tabel 35. Kosten desinfectiemethoden
(prijspeil 1976)

Trump e.a.³⁷ geven voor de totale kosten van de elektronenstralingsinstallatie te Deer Island een waarde op van \$ 0.67 per m³ behandeld slib (prijspeil 1976).

Hoewel deze waarden slechts indicatief zijn, is toch wel enige vergelijking mogelijk met de kosten van het pasteurisatieproces.

Geschat wordt, dat op dit moment de thermobestraling en de behandeling met elektronenstraling ongeveer anderhalf maal zo duur zijn als pasteurisatie; de toepassing van gammastraling is 2 tot 2,5 maal duurder dan pasteurisatie.

4.5 Conclusies

De toepassing van ioniserende straling voor de desinfectie van zuiverings-slib is een alternatieve methode voor het pasteurisatieproces, waaraan op dit moment uitgebreid onderzoek wordt verricht in diverse landen, zowel op laboratoriumschaal als op praktijkschaal.

Het desinfecterend vermogen van deze methode is goed en technologisch zijn er weinig problemen voor toepassing van deze methode op praktijkschaal.

Over de risico's van de toepassing van radio-actieve bronnen is weinig bekend. Bij het ontwerp van de installaties is wel ruime aandacht besteed aan de veiligheidsaspecten.

Risico's van de toepassing van radio-actieve bronnen kunnen worden voorkomen door toepassing van elektronenversnellers.

De ioniserende straling heeft geen invloed op de samenstelling van het slib. Er treden wel enige veranderingen op in de colloïdale eigenschappen van het slib, waardoor ondermeer de ontwateringseigenschappen van het slib enigszins verbeteren.

De belangrijkste methoden voor desinfectie met behulp van ioniserende stra-

ling die op dit moment op praktijkschaal worden toegepast zijn

- bestraling m.b.v. de gamma-stralingsbron ^{60}Co en
- bestraling met elektronen.

Een thermobestralingsinstallatie met ^{137}Cs -bronnen is in ontwikkeling.

De kosten van de toepassing van gamma-straling kunnen worden geschat op 2 tot 2,5 maal de kosten van pasteurisatie. De kosten van de bestraling met elektronen en thermobestraling zijn ongeveer 1,5 maal zo hoog als de kosten van pasteurisatie.

5 PRAKTIJKONDERZOEK AAN EEN LADINGSGEWIJS BEDREVEN PASTEURISATIEINSTALLATIE

5.1 Inleiding

De literatuurstudie (hoofdstuk 2) heeft uitgewezen dat op dit moment pasteurisatie de meest gebruikte desinfectiemethode is.

Bij de beschrijving van het pasteurisatieproces komt naar voren dat de procescondities voornamelijk gebaseerd zijn op proeven die op laboratoriumschaal zijn verricht. Er is echter gebleken, dat tot op dit ogenblik nog weinig onderzoek is verricht naar de werking van pasteurisatie-installaties op praktijkschaal.

De technologische en economische aspecten zijn uitvoerig behandeld in hoofdstuk 3.

Het praktijkonderzoek richt zich daarom voornamelijk op de hygiënische aspecten van de pasteurisatie, en wel in het bijzonder op een controle over een langere periode met betrekking tot de desinfecterende werking van de installatie onder bedrijfsomstandigheden, en op aspecten als nagroei en herinfectie. Het onderzoek werd uitgevoerd met de pasteurisatie-installatie van de rwzi Almelo-Vissedijk.

5.2 Onderzoekprogramma

5.2.1 *algemeen*

Voor een controle op de desinfecterende werking van een pasteurisatie-installatie geeft het gehalte aan Enterobacteriaceae een goede indicatie; de bepaling hiervan is eenvoudig uitvoerbaar. De familie van Enterobacteriaceae behoort tot de orde van de gram-negatieve niet-fotosynthetische Eubacteriales. De bacteriën zijn alle facultatief, niet sporevormend en staafvormig. Vele zijn darmbewoners. Het meest voorkomende geslacht van deze familie is *Escherichia*. *Escherichia coli* vormt 95% van de darmbacterieflora. De belangrijkste pathogenen zijn *Salmonella* en *Shigella*. Zij zijn ondermeer verantwoordelijk voor bacterie-dysenterie, tyfus en paratyfus. Een periodieke controle op de aanwezigheid en levensvatbaarheid van diverse soorten wormeieren is echter ook noodzakelijk.

Bij de controle op herinfectie van slib is het hanteren van één enkele indicatorwaarde niet toereikend, aangezien de herinfectie zich tot enkele soorten kan beperken. Een periodieke controle op andere pathogene bacteriesoorten is derhalve nodig. Herinfectie met wormeieren treedt niet op. Het onderzoek kan daarom worden verdeeld in twee onderdelen.

5.2.2 *duurproef*

Het gehele pasteurisatie-proces is gedurende een periode van drie maanden gecontroleerd. Hierbij is op verschillende plaatsen in het proces het gehalte van de indicator (Enterobacteriaceae) gevolgd in de tijd.

Enkele monsters van het duuronderzoek zijn enige tijd bewaard bij verschillende temperaturen om te onderzoeken of nagroei optrad.

5.2.3 *detailonderzoek*

Tijdens het detailonderzoek zijn enkele monsters van het duuronderzoek uitgebreid onderzocht, waarbij het gedrag van een aantal organismen, die niet behoren tot de indicatorgroep, is gevolgd gedurende het pasteurisatie-proces op een bepaald moment.

Het detailonderzoek is vijfmaal gedurende het duuronderzoek verricht. Van

enkele verschillende organismen zijn de concentraties bepaald.

- Faecale streptococcen
- Sulfietreducerende clostridia
- Salmonella
- Aëroob kiemgetal
- wormeieren
 - . Ascaris
 - . Taenia
 - . Toxocara
 - . Trichuris
 - . Strongilus
 - . Fasciola hepatica

5.2.4 *bemonstering*

De bemonstering voor het duuronderzoek geschiedde op de volgende plaatsen en tijdstippen (voor een beschrijving van de installatie zie paragraaf 3.3; de bemonsteringspunten zijn ook in figuur 5 weergegeven).

- Aanvoer
Monstername uit de mineralisatietank.
- Na pasteurisatie.
Monstername uit de pasteurisatieruimte aan het einde van de inwerkperiode. Zowel tank 1 als tank 2 zijn bemonsterd.
- Na koeling.
Monstername uit de pasteurisatieruimte aan het einde van de koelingsperiode. Bemonstering van tank 1 en tank 2.
- Opslagtank.
Monstername uit opslagtank.

Het onderzoekprogramma en de analysemethoden zijn besproken met het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid te Bilthoven (RIV), dat ook het detailonderzoek van de monsters uitvoerde.

5.2.5 *verdere analyses*

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

De volgende analyses zijn verricht van het onbehandelde en gepasteuriseerde slib:

- pH,
- drogestofgehalte,
- gloeirest,
- CZV-ongefiltreerd slib,
- CZV-filtraat en
- NH_4^+ filtraat.

5.3 Pasteurisatie-installatie

De installatie (fabrikaat Roediger) wordt ladingsgewijs bedreven; er wordt geen warmte-terugwinning toegepast. Dit type pasteurisatie-installatie wordt op dit moment het meest toegepast (zie fig. 5 en 18).

De belangrijkste installatie-onderdelen zijn:

- 2 pasteurisatietanks (inhoud 9 m^3 elk),
- koeler (m.b.v. effluent in een warmtewisselaar),
- pomp voor vullen en verwarmen (capaciteit $90 \text{ m}^3/\text{h}$),

- pomp voor koelen en ledigen (capaciteit $90 \text{ m}^3/\text{h}$),
- stoomketel,
- waterontharder en
- stoominjector.

Het slib dat wordt gepasteuriseerd is eerst in een mineralisatietank aëroob gestabiliseerd.

De werking van de installatie is als volgt. Een pasteurisatietank wordt gevuld met 9 m^3 slib uit de mineralisatietank, waarna de inhoud van de tank langs de stoominjector wordt gecirculeerd. Hierdoor vindt verwarming en menging van het slib plaats. Het vullen en opwarmen geschiedt met dezelfde pomp. Zodra het slib een temperatuur van 70°C heeft bereikt (na 15-20 minuten) laat men het slib gedurende 20 minuten inwerken bij deze temperatuur. Vervolgens wordt het slib gekoeld tot circa 35°C door de inhoud van de pasteurisatieruimte 40 minuten langs de koeler te circuleren. Het gepasteuriseerde en gekoelde slib wordt dan via de koeler afgevoerd naar de opslag-tanks.

Tijdens het koelen en afvoeren van de eerste pasteurisatietank vindt het vullen, opwarmen en inwerken van de andere tank plaats. Het pasteurisatieproces is in figuur 48 weergegeven.

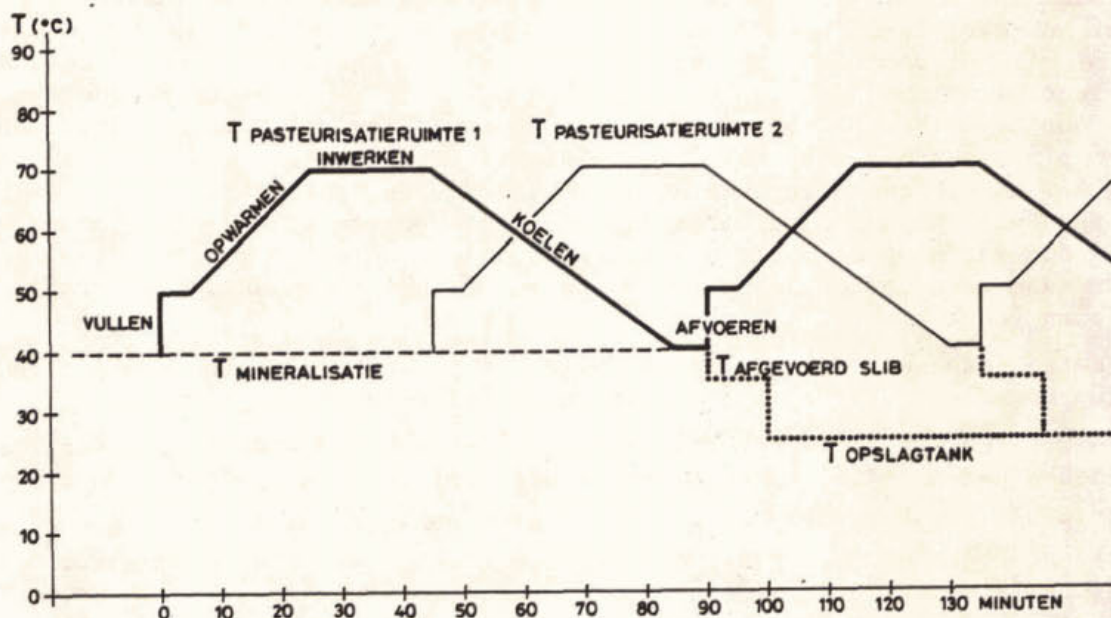


Fig. 48. Temperatuurverloop tijdens pasteurisatieproces

Per dag worden gemiddeld vier ladingen slib per pasteurisatieruimte verwerkt, zodat gemiddeld 72 m^3 slib per dag wordt gepasteuriseerd. De temperatuur van het te pasteuriseren slib is $40-45^\circ\text{C}$ (ten gevolge van opwarming in de afgedekte mineralisatietanks). 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 opslag tanks. Aan het einde van de pasteurisatieperiode wordt de installatie met behulp van heet water en een soda-oplossing gereinigd en gedesinfecteerd.

5.4 Resultaten

5.4.1 *duurproef*

Tijdens de duurproef is regelmatig het gehalte aan Enterobacteriaceae op diverse plaatsen in de pasteurisatie-installatie bepaald. De bepaling van het Enterobacteriaceae-gehalte is op twee manieren uitgevoerd:

- Bepaling kiemgetal.

Van het slibmonster zijn decimale verdunningen gemaakt in duplo met een pepton fysiologische zoutoplossing. Vervolgens is 1 ml van deze oplossingen bebroed op een violetrood-gal-glucose-agar-voedingsbodem gedurende 24 uur bij 37°C.

Het aantal specifieke kolonies is daarna geteld van die platen die 30 tot 300 kolonies bevatten, waarna het kiemgetal (aantal kiemen per ml slib) kon worden berekend.

- Bepaling grensreactie.

Deze bepaling is vooral belangrijk bij gehalten kleiner dan 10 kiemen per ml.

1 ml van het onverdunde slibmonster is toegevoegd aan een voorophopingsmedium (gebufferd peptonwater, OXOID L34). Het medium is gedurende 16-20 uur bebroed bij 37°C.

1 ml van het voorophopingsmedium is vervolgens gebracht in een vloeibaar selectief ophopingsmedium (EE bouillon OXOID M317) en bebroed gedurende 24 uur bij 37°C. Dit bebroede selectief ophopingsmedium is uitgestreken op een plaat met een vast selectief medium (violetrood-gal-glucose-agar OXOID CM323) en bebroed gedurende 24 uur bij 37°C. De bepalingen zijn in triplo uitgevoerd. Wanneer het uitgangsprodukt kiemen van Enterobacteriaceae bevatte, dan waren op de bebroede platen kolonies van dit organisme aanwezig. Met deze methode kon dus worden bepaald of in 1 ml onverdund materiaal nog kiemen voorkwamen.

Uit beide methoden, die elkaar aanvullen of juist overlappen, kan een indruk worden verkregen van het aantal kiemen per ml slib.

De resultaten worden weergegeven als de 10^{\log} van het gehalte aan Enterobacteriaceae per ml slib, afgerond tot een geheel getal.

Wanneer de ingezette verdunningen niet die verdunning bevatte om het juiste gehalte te bepalen of wanneer het gehalte kleiner was dan de onderste detectiegrens (grensreactie bij onverdund slib), is dit aangegeven als groter of kleiner dan de uiterste waarde die kan worden bepaald met de ingezette verdunningen. De nauwkeurigheid van deze weergave is voor de beoordeling van het desinfecterend vermogen van de pasteurisatie-installatie voldoende. Deze weergave maakt de vergelijking van de resultaten ook eenvoudiger.

In tabel 36 zijn de resultaten weergegeven van een meetserie die begon op het moment dat de installatie werd opgestart voor een nieuwe (zomer) pasteurisatieperiode (78-04-03). De opslagtanks bevatten nog een hoeveelheid ongepasteuriseerd slib. Op 78-04-13 heeft het RIV eveneens analyses uitgevoerd. Tussen haakjes is vermeld van welke lading van de meetdag het monster is genomen.

Omdat de resultaten na koeling erg onbevredigend waren, is na deze meetserie een wijziging aangebracht in de bedrijfsvoering van de pasteurisatie-installatie.

Tijdens de eerste pasteurisatiecyclus van iedere dag werd vanaf dat moment gedurende het opwarmen en inwerken van het slib de pomp voor de koeling in bedrijf gehouden, terwijl geen koelwater werd aangevoerd. Het warme slib werd

| datum | onbehandeld | slib na pasteurisatie | | slib na koeling | | buffertank |
|----------|-------------|-----------------------|--------|-----------------|--------|------------|
| | | tank 1 | tank 2 | tank 1 | tank 2 | |
| 78-04-03 | 5 | <0 (1) | <0 (2) | <0 (1) | <0 (2) | 4 |
| 78-04-06 | 4 | <0 (1) | <0 (2) | >2 (1) | >2 (2) | 4 |
| 78-04-10 | 4 | <0 (1) | <0 (2) | >2 (1) | >2 (2) | 5 |
| 78-04-13 | 5 | >2 (1) | <0 (2) | >5 (1) | 4 (2) | 5 |
| | | <0 (7) | <0 (6) | 5 (7) | 5 (6) | |
| RIV | 4 | <0 (7) | <0 (6) | 5 (7) | 5 (6) | 5 |

Tabel 36. Enterobacteriaceae-gehalte tijdens pasteurisatieproces zonder desinfectie koelsysteem (¹⁰log aantal kiemen/ml)

zo door de koeler en de leidingen van het koelcirculatiesysteem ongekoeld gevoerd. Hierdoor werden het koelsysteem en de leidingen gedurende 20 minuten op 70°C gehouden, zodat eventueel aanwezige herinfectiebronnen in dit systeem dagelijks werden vernietigd. De resultaten van een tweede serie van de duurproef zijn in tabel 37 weergegeven. De resultaten zijn nu wel bevredigend.

| datum | onbehandeld slib | slib na pasteurisatie | | slib na koeling | | opslagtank |
|----------|------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | tank 1 | tank 2 | tank 1 | tank 2 | |
| 78-04-24 | 4 | <0 (2) | <0 (1) | 1 (2) <0 (4) <0 (6) <0 (8) | 4 (1) 0 (3) <0 (5) <0 (7) | 6 |
| 78-04-27 | 3 | <0 (2) | <0 (1) | 0 (2) 0 (4) <0 (6) 0 (8) | 0-1 (1) 0 (3) <0 (5) <0 (7) | 7 |
| 78-05-08 | <1 | <0 (6) | <0 (7) | <0 (6) | <0 (7) | 5 |
| RIV | 0 | <0 (6) | <0 (7) | <0 (6) | <0 (7) | 4 |
| 78-05-16 | <0 | <0 (6) | <0 (7) | <0 (6) | <0 (7) | 4 |
| 78-05-22 | 1 | <0 (4) | <0 (3) | <0 (2) | <0 (3) | 5 |
| RIV | <0 | <0 (4) | <0 (3) | <0 (2) | <0 (3) | 4 |
| 78-05-24 | 2 | <0 (2) | <0 (3) | <0 (2) | <0 (3) | 6 |
| 78-06-12 | 0 | <0 (2) | <0 (1) | <0 (2) | <0 (1) | 5 |
| RIV | 0 | <0 (2) | <0 (1) | <0 (2) | <0 (1) | 4 |
| 78-07-03 | 2 | <0 (4) | <0 (3) | <0 (2) | <0 (3) | 2 |
| RIV | 1-2 | <0 (4) | <0 (3) | <0 (2) | <0 (3) | 0 |

Tabel 37. Enterobacteriaceae-gehalte tijdens pasteurisatieproces met dagelijks desinfectie van het koelsysteem (¹⁰log aantal kiemen/ml).

Op 78-05-22 is tevens de indikker bemonsterd. Hierin zijn 10^6 kiemen per ml gevonden.

Om te onderzoeken of nagroei van Enterobacteriaceae op kon treden, zijn enkele monsters enige tijd bewaard bij verschillende temperaturen, waarna opnieuw het Enterobacteriaceae-gehalte is bepaald. De monsters zijn bewaard in goed afgesloten monsterflesjes in een koelkast (bij 4°C) in een broedstovf (bij 37°C) of in de laboratoriumruimte (circa 20°C). Tabel 38 geeft de resultaten van deze bewaarproeven weer.

| datum monstername | bewaar-tijd (dagen) | tempera-tuur bewaren | slib na pasteurisatie | | slib na koeling | | opslag-tank |
|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|--------|-----------------|--------|-------------|
| | | | tank 1 | tank 2 | tank 1 | tank 2 | |
| 78-05-29 | 0 | - | <0 | | | <0 | |
| | 7 | 4°C | <0 | | | 3 | |
| | 7 | 20°C | <0 | | | 3 | |
| | 7 | 37°C | <0 | | | 1 | |
| 78-06-12 | 0 | - | <0 | <0 | <0 | <0 | 5 |
| | 7 | 20°C | <0 | <0 | <0 | <0 | 5 |
| | 7 | 37°C | <0 | <0 | <0 | <0 | |
| | 14 | 20°C | <0 | <0 | <0 | <0 | 4 |
| | 14 | 37°C | <0 | | <0 | | |

Tabel 38. Enterobacteriaceae-gehalte na bewaren (10^0 log aantal kiemen/ml)

5.4.2 detailonderzoek

Voor het detailonderzoek is door het RIV vijf maal gedurende de loop van het duuronderzoek een uitgebreider onderzoek verricht naar de aanwezigheid van bacteriën en wormeieren in het slib.

Hierbij zijn onderzocht:

- faecale streptococcen : kiemgetal + grensreactie
- sulfietreducerende clostridia : kiemgetal + grensreactie
- Enterobacteriaceae : kiemgetal + grensreactie
- aëroob kiemgetal
- wormeieren
 - . Ascaris . Trichuris
 - . Taenia . Strongilus
 - . Toxocara . Fasciola hepatica

De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 39. De resultaten van 78-04-13 hebben betrekking op de werkwijze waarbij het koelingssysteem niet is gedesinfecteerd. Bij de overige meetdagen is het koelsysteem dagelijks gedesinfecteerd.

Bij het onderzoek naar wormeieren zijn verschillende methoden gevolgd. Aanvankelijk (78-04-13 en 78-05-05) is het aantal eieren per 100 ml bepaald. Daarna is besloten de levensvatbaarheid van de parasieteneieren van Ascaris te onderzoeken. Bij het tellen worden namelijk ook de onbevruichte of de gedode eieren meegeteld, zodat deze waarden weinig informatie geven. Van de overige wormeieren bleken er zo weinig aanwezig te zijn dat verder onderzoek niet mogelijk was.

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.

| soort | datum | onbehandeld slib | slib na pasteurisatie | | slib na koeling | | opslagtank |
|--|----------|---------------------|--------------------------|--------|--------------------|--------|------------|
| | | | tank 1 | tank 2 | tank 1 | tank 2 | |
| faecale streptococceen (¹⁰ 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 |
| | 78-06-12 | 2 | 1-2 | <2 | <1 | <2 | 2 |
| | 78-07-03 | 1-2 | <1 | <0 | <0 | <0 | 0 |
| sulfietredu- cerende clostridia (¹⁰ 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 |
| | 78-07-03 | <0 | <0 | <0 | <0 | <0 | <0 |
| aëroob kiem- getal (¹⁰ 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 |
| wormeieren per 100 ml | | | | | | | |
| Ascaris bevrucht/ onbevrucht | 78-04-13 | 78 | 2 | 7 | - | 1 | - |
| | 78-05-08 | 42 | 11 | 1 | 11 | 1 | 6 |
| | 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 |
| Taenia | 78-04-13 | - | - | - | - | - | - |
| | 78-05-08 | - | - | - | - | - | - |
| | 78-05-22 | - | - | | | | 1 |
| | 78-06-12 | 1 | - | | | | 2 |
| | 78-07-03 | - | - | | | | - |
| Toxocara | 78-04-13 | 1 | - | 1 | - | 2 | - |
| | 78-05-08 | - | - | - | - | - | - |
| | 78-05-22 | - | - | | | | - |
| | 78-06-12 | - | - | | | | - |
| | 78-07-03 | - | - | | | | - |
| Trichuris | 78-04-13 | - | - | - | - | 3 | - |
| | 78-05-08 | - | - | - | - | - | - |
| | 78-05-22 | - | - | | | | 1 |
| | 78-06-12 | 1 | - | | | | 2 |
| | 78-07-03 | - | - | | | | - |
| Strongilus | 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 | - | | | | - |
| Fasciola hepatica | 78-04-13 | - | - | | | | - |
| | 78-05-08 | - | - | | | | - |
| | 78-05-22 | - | - | | | | - |
| | 78-06-12 | 1 | - | | | | - |
| | 78-07-03 | - | - | | | | - |

Tabel 39. Bacteriën en wormeieren in slib

bacteriën: ¹⁰log aantal kiemen/ml
wormeieren: aantal per 100 ml
- = niet aanwezig

Om zoveel mogelijk eieren per monster te verzamelen zijn de vier monsters van slib na pasteurisatie en slib na koelen samengevoegd (ca. 600 ml slib). Dit was mogelijk omdat de eieren in het slib niet tot ontwikkeling kunnen komen, aangezien hiervoor een geschikte gastheer noodzakelijk is. De resultaten van deze 4 monsters behoren dus gelijk te zijn. De beide overige monsters van ca. 150 ml zijn eveneens onderzocht. Daarna zijn de resultaten omgerekend naar aantallen per 100 ml.

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 de incubatie gedurende 3 weken. Geen van de eieren was dus levensvatbaar zodat de dierproeven achterwege konden blijven.

5.4.3 fysisch-chemisch onderzoek

Tijdens het onderzoek zijn verschillende fysische en chemische bepalingen uitgevoerd met slib afkomstig van diverse plaatsen in het pasteurisatieproces.

Deze bepalingen zijn:

- temperatuur
- indamprest
- gloeirest
- CZV van het ruwe slib
- CZV van het filtraat
- ammoniumgehalte van het filtraat
- pH.

Deze bepalingen geven een indruk van de condities tijdens het pasteurisatieproces. De invloed van het proces op de eigenschappen van het slib kan eveneens worden bepaald. Bovendien kan worden nagegaan of de slibeigenschappen van invloed zijn op het desinfecterend vermogen. In bijlage 2 zijn de resultaten van de metingen weergegeven. Hieruit zijn de gemiddelde waarden bepaald (tabel 40).

| | onbehandeld slib uit mi- neralisatie- tank | slib na pasteurisatie | slib na koeling | opslagtank |
|--|---|----------------------------|----------------------------|------------|
| temperatuur (°C) | 48 | 71 (tank 1) 71 (tank 2) | 48 (tank 1) 49 (tank 2) | 32 |
| indamprest (kg/m ³) | 28,9 | 28,8 | 26,4 | 37,3 |
| gloeirest (%) | 34 | 34 | 35 | 34 |
| CZV ruw slib (kg O ₂ /m ³) | 36,3 | 35,5 | 32,5 | 45,4 |
| CZV filtraat (kg O ₂ /m ³) | 2,9 | 3,4 | 3,0 | 3,3 |
| NH ₄ filtraat (kg N/m ³) | 0,58 | 0,74 | 0,61 | 0,63 |
| pH | 7,7 | 7,5 | 7,7 | 7,1 |

Tabel 40. Resultaten fysisch-chemisch onderzoek slib tijdens pasteurisatieproces (gemiddelde waarden van de onderzoekperiode)

De procesomstandigheden en de resultaten van de metingen geven aanleiding tot een aantal opmerkingen.

- De temperatuur van het onbehandelde slib is afhankelijk van de werking van het mineralisatieproces. In de eerste maand van het onderzoek was deze temperatuur duidelijk lager dan tijdens het verdere onderzoek. De mineralisatietemperatuur varieerde in het geheel tussen 32 en 48°C.
- Door de verschillende ingangstemperaturen varieerde tevens de warmtetoevoer. De volumetoename door de stoomtevoer was dan ook afhankelijk van de ingangstemperatuur, waardoor de concentratievermindering als gevolg van deze verdunning kan variëren.
- De temperatuur van het slib na koeling is genomen juist voor het legen van de tank. Het slib passeert dan nog eenmaal de koeler zodat de werkelijke temperatuur van het gekoelde slib dat in de opslagtank werd gevoerd nog circa 3°C lager was. Uit bijlage 2 blijkt dat na de koeling aanzienlijke verschillen optraden in de temperatuur. Bovendien was de temperatuur hoger dan in het algemeen werd toegepast (35°C), (een mogelijke oorzaak kan zijn, dat de pompen voor het koelwater niet naar wens werkten. De capaciteit van de pompen kan dan ook regelmatig aanzienlijk lager zijn geweest dan de opgegeven 120 m³/h).
- De temperatuur van het gekoelde slib varieerde tussen 37 en 56°C.
- De temperatuur van het slib tijdens de pasteurisatie was konstant (70-72°C).
- De temperatuur in de buffertank steeg tijdens de onderzoeksperiode van 24°C tot circa 40°C door de toevoer van onvolledig gekoeld slib.
- In de opslagtank vond een gedeeltelijke afscheiding tussen slib en water plaats. Bovendien vormde zich een drijfslag op het slib. Er konden dan ook geen monsters worden genomen die representatief waren voor de inhoud van de opslagtank.
- Tijdens het inwerken is het slib in de pasteurisatietank in rust. Enige verschillen in slibgehalte in verticale richting van de tank zijn dus mogelijk, zodat de waarden voor de indamprest en het CZV-gehalte van het ruwe slib mogelijk enigszins kunnen afwijken. De vergelijking van de slibeigenschappen kan dan ook het best geschieden tussen het onbehandelde slib en gepasteuriseerde slib na koeling.

5.5 Interpretatie resultaten

5.5.1 *herinfectie*

De duurproef heeft uitgewezen dat het Enterobacteriaceae-gehalte van het gepasteuriseerde slib kleiner was dan 1 kiem per ml, wat een afdoend effect mag worden genoemd. Bij het niet dagelijks desinfecteren van de koeling trad echter weer een aanzienlijke herinfectie op tijdens de koeling. De hygiënische kwaliteit van het gekoelde gepasteuriseerde slib werd weer nagenoeg gelijk aan die van het uitgangsprodukt, wat betreft het Enterobacteriaceae-gehalte. Werd het koelsysteem eenmaal per dag op een temperatuur gebracht van 70°C gedurende 20 minuten, dan trad geen herinfectie op en bleef het Enterobacteriaceae-gehalte nagenoeg altijd kleiner dan 1 kiem per ml.

Het onbehandelde slib uit de mineralisatietank had in de beginperiode een Enterobacteriaceae-gehalte van 10⁴-10⁵ kiemen/ml. Naarmate de temperatuur steeg, daalde dit gehalte terwijl dit in de indikker hoog bleef (10⁶ kiemen/ml.). Bij temperaturen hoger dan 45°C bevatte het slib nog slechts 0-10 kiemen/ml. In figuur 49 is de relatie tussen de temperatuur en het Enterobacteriaceae-gehalte in de mineralisatietank weergegeven zoals deze in de praktijk is gevonden.

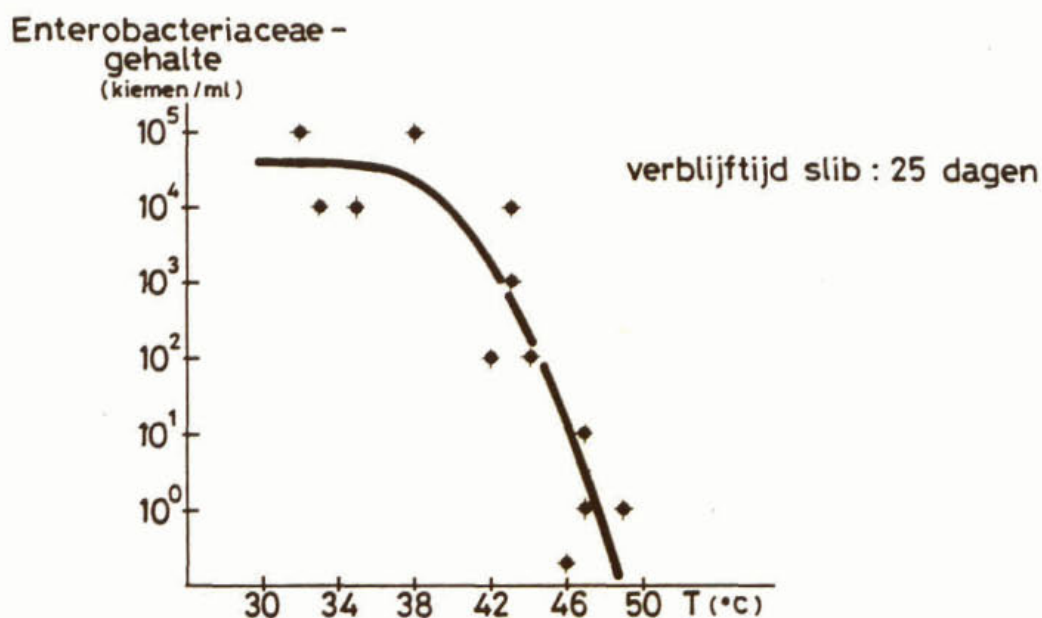


Fig. 49. Enterobacteriaceae-gehalte in mineralisatietank als functie van temperatuur

Hieruit blijkt dus dat een nagenoeg volledige vernietiging van Enterobacteriaceae kiemen werd verkregen bij temperaturen hoger dan 50°C en een verblijftijd van 25 dagen.

Door deze gunstige voorbehandeling tijdens de mineralisatie zijn de resultaten van de desinfecterende werking van het pasteurisatieproces minder duidelijk. Anderzijds geldt in het algemeen dat het terugbrengen van het aantal kiemen van 10¹-10² tot minder dan 10⁰ (tijdens pasteurisatie) moeilijker is dan het terugbrengen van het aantal kiemen van 10⁶ tot 10¹-10² zoals tijdens de mineralisatie is geconstateerd.

Aan het begin van de pasteurisatieperiode bevatte de opslagtank ongepasteuriseerd slib. Het Enterobacteriaceae-gehalte hiervan was circa 10⁶ kiemen/ml. Na toevoeging van gepasteuriseerd slib verminderde dit gehalte tot 10⁴-10⁵ kiemen/ml door verdunning. Er is dus nauwelijks sprake van nagroei in de opslagtank. De temperatuur in deze tank is nagenoeg optimaal voor de groei (30-40°C).

Het bewaren van het slib bij verschillende temperaturen gedurende 1-2 weken heeft nauwelijks invloed op de hygiënische kwaliteit van het slib. In het gepasteuriseerde slib (al of niet gekoeld) trad niet opnieuw groei op van Enterobacteriaceae, behalve in één monster slib na koeling (78-05-29). De resultaten hiervan zijn niet te verklaren. Bewaren van slib uit de opslagtank gedurende 2 weken gaf geen duidelijke vermeerdering of vermindering van het Enterobacteriaceae-gehalte.

5.5.2 effectiviteit van het proces

Uit het detailonderzoek blijkt, dat de resultaten van de metingen met betrekking tot het gehalte aan faecale streptococci hetzelfde beeld geven als dat van de Enterobacteriaceae. De desinfectie was eveneens nagenoeg volledig en er trad geen nagroei op wanneer iedere dag het koelsysteem werd gedesinfecteerd. De faecale streptococci zijn minder gevoelig voor temperaturen van 40-50°C dan Enterobacteriaceae, hetgeen blijkt uit het feit dat de mineralisatietank nog

10-100 kiemen/ml bevatte bij deze temperaturen en bij lagere temperaturen 100-1000 kiemen/ml. Vergelijkbare resultaten worden in de literatuur ook gevonden. In de opslag vermindert het gehalte wel aanzienlijk. Nagroei treedt dus nog minder op dan bij Enterobacteriaceae.

Sulfietreducerende clostridia zijn sporevormende bacteriën. In de praktijk blijkt dan ook dat deze bacteriën vrij ongevoelig zijn voor hoge temperaturen. Een vermindering van het gehalte trad nauwelijks op. Een verklaring voor het feit dat de laatste monstercyclus geheel negatief was, is volgens de onderzoekers niet te geven.

Door de hittebehandeling verminderde het aëroob kiemgetal met een factor 100-1000. Er blijft een groot aantal (circa 10^4 kiemen/ml) voornamelijk thermoresistente bacteriën over.

Wormeieren bleken vóór en na de pasteurisatie aanwezig te zijn. Dit is echter niet zo interessant. Wel is belangrijk of de wormeieren nog levensvatbaar zijn. Vanaf proef 3 (78-05-22) is alleen de levensvatbaarheid bepaald van bevruchte Ascariseieren. Hiervan waren de aantallen gering, zodat slechts een voorlopige conclusie kan worden getrokken. Noch vóór noch na de pasteurisatie zijn levensvatbare parasieteneieren aangetroffen. Of de mineralisatiecondities reeds voldoende waren voor een vernietiging van de wormeieren kan niet worden bepaald, aangezien de toevoer van de mineralisatietank niet is bemonsterd en geanalyseerd.

5.5.3 *procestechnische aspecten*

De temperatuur van de pasteurisatie werd op een goed constant niveau gehandhaafd en de aanwezige hoeveelheid slib varieerde ook slechts weinig (2,5 - 3,2% d.s.), zodat de pasteurisatiecondities redelijk gelijk bleven tijdens de duur van het onderzoek. De koeling werkte minder gelijkmatig en had onvoldoende capaciteit om het slib te koelen tot de in het algemeen toegepaste waarde van circa 35°C .

De temperatuur van het toegevoerde slib varieerde afhankelijk van de warmteontwikkeling in de mineralisatietank. Doordat de meeste warmte die wordt ontwikkeld tijdens de mineralisatie wordt vastgehouden in het slib door de afdekking, is het energieverbruik voor de pasteurisatie circa 40% lager dan wanneer het slib de omgevingstemperatuur heeft. Hierdoor is de volumetoename tengevolge van de stoomtoevoer ook lager. De indamprest en het CZV-gehalte van het ruwslib is door de stoomtoevoer toch nog 8 - 10% lager in het gekoelde slib dan in het onbehandelde slib.

Het CZV-gehalte en het NH_4^+ -gehalte in het filtraat werden enigszins hoger (3 - 5%) tijdens de pasteurisatie en koeling. Er gaat dus wel enige vaste stof in oplossing.

5.6 Conclusies

De pasteurisatiecondities (70°C , 20 min.) zijn voldoende om een afname van het Enterobacteriaceae-gehalte te verkrijgen tot minder dan 1 kiem/ml.

Dagelijks is desinfectie van de installatie (inclusief koelsysteem) noodzakelijk om herinfectie van het slib in het koelsysteem te voorkomen.

Stijgt de temperatuur in de mineralisatietank tot $45-50^{\circ}\text{C}$ dan treedt hierin een belangrijke afname van het Enterobacteriaceae-gehalte op (van 10^6 tot 10^0-10^2 kiemen/ml).

De faecale streptococci worden onder pasteurisatie-condities in afdoende mate vernietigd. Zij zijn minder temperatuurgevoelig dan de Enterobacteriaceae bij temperaturen van $40-50^{\circ}\text{C}$.

Clostridiumsporen zijn ongevoelig voor pasteurisatie bij temperaturen van 70°C.

Het aëroob kiemgetal neemt vrij weinig af door pasteurisatie.

Wormeieren zijn altijd in zuiveringsslib aanwezig; zowel vóór als na pasteurisatie zijn de onderzochte bevruchte Ascariseieren niet levensvatbaar gebleken. Over de effectiviteit van pasteurisatie op de afsterving van wormeieren valt met dit resultaat niets te zeggen. De mogelijkheid is aanwezig dat de verhoogde mineralisatietemperatuur de oorzaak is geweest van de afwezigheid van levensvatbare wormeieren. Verder onderzoek hiernaar is wenselijk.

De chemische samenstelling van het gestabiliseerde slib verandert nauwelijks door warmtebehandeling.

6 LITERATUUR

1. Duvoort-van Engers, L.E. - De produktie en bestemming van zuiverings-slib H₂O. 15 (1982) 2 : 25 - 27.
2. Möller, U. - Entwicklungstendenzen in der Klärschlammbehandlung, Berichte der ATV, 28 (1975) : 447 - 474.
3. Liebmann, H. - Die Hygienische Anforderungen an die Schlammpasteurisierung und ihre Kontrolle in der Praxis. In: Die Pasteurisierung von Klärschlamm. Zürich, Informationsblatt I.A.M., 1967, 30 : 141 - 145.
4. Bundesgesundheitsamt. - Die Behandlung und Beseitigung von Klärschlämmen unter besonderer Berücksichtigung ihrer seuchenhygienisch unbedenklichen Verwertung im Landbau, Bundesgesundheitsblatt, (1972) 15/16 : 234 - 237.
5. Schweizerischer Milchlieferungsregulativ. Düngung und Nutzung der Futterflächen, 1971 : 2871 - 2873.
6. Strauch, D. - Hygienic considerations in sludge treatment. In: Conference in connection with the International Water Conservancy Exhibition at Jönköping, Sweden, 1972 : 4.1 - 4.18.
7. Chaudhuri, M. & Engelbrecht, R.S. - Virus removal in wastewater renovation by chemical coagulation and flocculation. In: Advances in Water Pollution Research. Oxford, Pergamon Press, 1971 : II-20/1 - II-20/22.
8. Braun, H.J. & Zingler, E. - Die Erhitzung von Klärschlämmen mit dem Tauchbrenner, Österreichische Abwasser Rundschau, (1975) 2 : 19 - 24.
9. Palfi, A. - Survival of enteroviruses during anaerobic sludge digestion. In: Advances in water pollution research. Oxford, Pergamon Press, 1972 : 99 - 104.
10. Lund, E. - Observations on the virusbinding capacity of sludge. In: Advances in water pollution research. Oxford, Pergamon Press, 1971.
11. Ward, R.L. & Ashley, C.S. - Inactivation of poliovirus in digested sludge Appl. Environ. Microbiol., 31(1976) 6 : 921 - 930.
12. Ward, R.L. & Ashley, C.S. & Moseley, R.M. - Heat inactivation of poliovirus in wastewater sludge, Appl. Environ. Microbiol., 32 (1976) 3 : 399 - 346.
13. Wellings, F.M. & Lewis, A.L. & Mountain, C.W. - Demonstration of solids associated virus in wastewater and sludge, Appl. Environ. Microbiol., 31 (1976) 3 : 354 - 358.
14. Farrell, J.B. & Stern, G. - Methods for reducing the infection hazard of wastewater sludge. 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 : 19 - 27.
15. Hess, E. & Breer, C. - Salmonellenepidemiologie und Grünlanddüngung mit Klärschlamm, Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig., 161 (1975) : 54 - 60.
16. Buysch, H.P. - Pasteurisierung von Klärschlamm. In: Min.f. ELUF des landes NRW, Wasser und Abfallwirtschaft in NRW. München, Verwaltungs-Verlag, 1975 : 137 - 141.
17. Hess, E. & Breer, C. - Sanitary effect of gamma irradiation on sewage sludge. In: Radiation for a clean environment; Proceedings of the international symposium of the use of high-level radiation in wastewater treatment. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1975 : 203 - 208.
18. Leclerq, H. & Brouzes, P. - Sanitary aspects of sludge treatment, Water-Research, 7 (1973) : 365 - 360.
19. Etzel, E.L. & Born, G.S. & Stein, J. e.a. - Sewage sludge conditioning and disinfection by gamma irradiation, Am.J. of Public Health, 59 (1969) 11 : 2067 - 2076.
20. Roediger, H. - Die Technik der Schlammpasteurisierung; praktische Erfahrungen von Klärschlamm. Zürich, Informationsblatt I.A.M., 1967 30 : 145 - 151.

21. Hess, E. & Lott, G. - Klärschlamm aus der Sicht der Veterinärhygienikers, Gas, Wasser und Abwasser, 51 (1971) 2 : 1.
22. Kugel, G. - Pasteurisierung von Roh- und Faulschlamm. In: Behandlung und Beseitigung von Abwasserschlämmen, B. Böhnke. Gewässerschutz Wasser-Abwasser, Aachen, (1971) 6 : 311 - 323.
23. Pallasch, O. & Triebel, W. - Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik. Berlin, W. Ernst und Sohn, 1969, 3.
24. Kugel, G. - Pasteurisierung von flüssigem Klärschlamm; Technisch-wirtschaftliche Aspekte. In: Stand und Entwicklung der Abwasserreinigung, H. Liebman. Munchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, 1973, 24 : 93 - 105.
25. Obrist, W. & Rollé, G. - Kosten der Klärschlamm-Pasteurisierung in der Schweiz, Umwelthygiene, (1974) 5 : 95 - 97.
26. Triebel, W. - Erfahrungen des Nierverbandes mit der Schlammpasteurisierung von Klärschlamm, Zürich, Informationsblatt I.A.M., 1967, 30 : 151 - 160.
27. Noerenberg, N. & Averiek, W. - Stahlbehälter in der Abwasserreinigung, Wasserwirtschaft, 64 (1974) 10.
28. Kram, P. - Pasteuriseren van slib op de R.W.Z.I. Almelo-Vissedijk, Klaar-meester, (1974) 1 : 2 - 8.
29. Van Selm, J. - Klärschlammabgabe an die Landwirtschaft im Regge-Gebiet, Berichte der ATV, (1975) 28 : 401 - 416.
30. Ridenour, G.M. & Armbruster, E.A. - Effect of high-level gamma radiation in disinfection of water and sewage, J.A.W.W.A., 48 (1965) : 671.
31. Groneman, A.F. - Effects of gamma radiation at pilot plant level compared with the effects of pasteurization on the dewatering of sewage sludges. 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 : 491 - 502.
32. Compton, D.M.J. & Black, S.J. & Lieurance, F.L. e.a. - Application of ionizing radiation to the treatment of wastewaters and sewage sludge. In: Large radiation sources for industrial processes. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1969 : 399 - 415.
33. Alexandre, D. & Gevaudan, P. & Charvel, J. e.a. - La désinfection des boues résiduaires urbaines, T.S.M. L'eau, 70 (1975) 12 : 547 - 555.
34. Farrell, J.B. - High energy radiation in sludge treatment. Status and Prospects. In: Proceedings of the 5th National Conference on Municipal Sludge Management and Disposal at Anaheim (California, E.P.A., 1975, 1975 : 124 - 133.
35. Süss, A. & Mötsch, H. & Bosshard, E. e.a. - Eine Versuchsanlage zur Hygienisierung von Klärschlamm, Kerntechnik, 16 (1974): 65 - 70.
36. Sivinski, 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: 151 - 167.
37. Trump, J.G. & Wight, K.A. & Merrill, E.W. e.a. - Prospects for high-energy 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 Agency, 1975: 343 - 354.
38. Obrist, W. - Die Klärschlamm-Behandlung durch Pasteurisierung oder Bestrahlung, Städtehygiene, (1972) 3 : 68 - 70.
39. Mötsch, H. & Süss, A. - Eine Versuchs-Bestrahlungsanlage zur Hygienisierung von Klärschlämmen, Abwassertechnik, (1973) 6 : 2 - 5.

40. Lessel, T. & Mötsch, H. & Henning, E. e.a. - Experience with a pilot plant for the irradiation of sewage sludge. 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 : 447 - 464.
41. Ballantine, D.S. - Alternative high-level radiation sources of sewage and wastewater treatment. 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 : 309 - 323.
42. Tauber, M. & Hoffman, E.G. & Offermann, B.P. - Practical aspects of the pasteurization of sewage sludge by electron irradiation. 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 : 359 - 366.
43. Holl, P. & Schneider, H. - Desinfection of sludge and wastewater by irradiation with electrons of low accelerating voltage. 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 : 123 - 136.
44. Dix, G.P. - Considerations in the public acceptance of sewage sludge irradiation systems. 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, 1975 : 399 - 408.
45. W.P.C.F. manual of practice. - Utilization of municipal wastewater sludge; Composting. 1971, 2 : 14 - 31.
46. Fair, G. & Geyer, J. & Okun, D. - Elements of water supply and wastewater disposal, 2e dr., New York, John Wiley and Sons, 1971.
47. Oliver, B.G. & Garly, J.H. - U.V. disinfection; an alternative to chlorination, JWPCF, 48 (1976) 11.
48. Triebel, W. - Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik. Berlin, Wilhelm Ernst und Sohn, 1975, 2.
49. Braun, R. - Die Hygienisierung des Klärschlammes, Technische Rundschau, (1969) 21 : 13 - 15.
50. Vesilind, P.A. - Treatment and disposal of wastewater sludges. Ann Arbor, Ann Arbor Science Publ. Incl., 1974.
51. Kampelmacher, E.H. & Van Noorle Jansen, L.M. - Reduction of bacteria in sludge treatment, JWPCF, 44 (1972) 2 : 309 - 313.
52. Farrell, J.B. & Smith, J.F. & Hathaway, S.W. e.a. - Lime stabilisation of primary sludges, JWPCF, 46 (1974) 1 : 113 - 122.
53. Paulsrud, B. & Eikum, A.S. - Lime stabilization of sewage sludges, Water Research, 9 (1975) : 297 - 305.
54. Ebbenhorst, J. - Vergelijking van verschillende mechanische slibontwateringsmethoden op de R.W.Z.I. Utrecht, H₂O, 6 (1973) 16 : 406 - 409.
55. Pepping, R. - Gecentraliseerde slibverwerking, H₂O, 6 (1973) 25 : 687 - 693.
56. Bardtke, D. - Müllbeseitigung durch Kompostieren; Grundlagen-Verfahren. In: Fachlehrgang für Müll- und Abfallbeseitigung an der Universität Stuttgart, 3e dr., Berlin, Erich Schmidt Verlag, 1976.
57. Loll, U. - Stabilisierung Hochkonzentrierter organischer Abwasser und Abwasserschlämme durch aerob thermophile Abbauprozesse. Dissertation Darmstadt, 1974.
58. Buhr, H.O. & Andrews, J.F. - The thermophilic anaerobic digestion process; review paper, Water Research, 11 (1977) : 129 - 143.
59. Smith, J.E. & Young, K.W. & Dean, R.B. - Biological oxidation and disinfection of sludge, Water Research, 9 (1975) 1 : 17 - 24.

60. Staab, K.F. - Schlammfäulung mit Hitzesterilisiertem Frischschlamm, GWF (Wasser-Abwasser) 111 (1970) 3 : 131 - 135.
61. Knoll, K.H. - Hygiene der Abfallbeseitigung. In: Fachlehrgang für Müll- und Abfallbeseitigung, 3e dr., Berlin, Erich Schmidt Verlag, 1976.
62. Liebmann, H. - Folgerungen für die Praxis auf den Ausführungen über die Verwertung und Beseitigung von Häuslichen und industriellen Abwasserschlämmen. In: Die Verwertung und Beseitigung von häuslichen und industriellen Abwasserschlämmen, H. Liebmann, Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, 1966, 13 : 327 - 333.
63. Roediger, H. - Sludge digestion, sludge pasteurisation and the use of sludge as a soil improvement agent. In: Conferences in connection with the international Water Conservancy Exhibition at Jönköping, Sweden, 1972 : 4.49 - 4.76.
64. Epstein, E. & Wilson, G.B. & Burge, W.D. e.a. - A forced aeration system for composting wastewater sludge, JWPCF, 48 (1976) 4 : 688 - 694.
65. Kreuzmann, E. - Heat drying and incineration of sludge. In: Conferences in connection with the International Water Conservancy Exhibition at Jönköping, Sweden, 1972 : 4.53 - 4.68.
66. Kampelmacher, E.H. & Van Noorle Jansen, L.M. - Onderzoekingen in slib over bacteriële reductie, voornamelijk van Salmonella, in slibverwerkingsinstallaties te Apeldoorn, Maastricht en Mierlo, H₂O, 3 (1970) 23 : 604 - 606.
67. Sörensen, C.K. - Pasteurisierung von Faulschlamm, GWF (Wasser-Abwasser) 116 (1975) 5 : 222 - 224.
68. Strauch, D. - Beseitigung Kommunaler Schlämme und landwirtschaftlicher Abfälle und deren hygienische Bewertung. In: Fachlehrgang für Müll- und Abfallbeseitigung an der Universität Stuttgart, 3e dr. Berlin, Erich Schmidt Verlag, 1976.
69. Süß, A. & Lessel, T. - Kobalt-Bestrahlung besser als Pasteurisierung, Umschau, 76 (1976) 23 : 752 - 753.
70. Forstner, M.J. - Untersuchungen über Grenztemperaturen zur Abtötung parasitärer Entwicklungsstadien, Wasser- und Abwasser Forschung, 7 (1974) 6 : 176 - 179.
71. Stein, J.E. & Bacon, V.W. - The over-all approach and goal of the Chicago Sanitary district in the use of radiation, Am. J. of Public Health, 59 (1969) 12 : 2257 - 2263.
72. Venosa, A.D. & Chambers, C.W. - Bactericidal effect of various combinations of gamma radiation and chloramine on aqueous suspensions of Escherichia coli, Appl. Microbiol., 25 (1973) 5 : 735 - 744.
73. Murphy, K.L. - Gamma radiation as an effective disinfectant, Wat. Pollut. Control, (1974) 4 : 24 - 28.
74. Feates, F.S. & George, D. - Radiation treatment of wastes; a review. In: Radiation for a clean environment; Proceedings of the international symposium on the use of highlevel radiation in wastewater treatment. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1975 : 61 - 71.
75. Brandon, J.R. & Burge, W.D. & Enkiri, N.K. - Inactivation by ionizing radiation of Salmonella enteritidis serotype montevideo grown in composed sewage sludge, Appl. Environ. Microbiol., 33 (1977) 4 : 1011 - 1012.
76. Brandon, J.R. - Pathogen reduction and filterability enhancement on irradiated sewage sludge, Transaction American Society, (1976) 23 : 110 - 111.
77. Emborg, C. - Inactivation of dried bacteria and bacterial spores by means of gamma irradiation at high temperatures, Appl. Microbiol., 27 (1954) 5 : 830 - 833.

78. Sinsky, A.J. & Shah, D. & Wright, K.A. e.a. - Biological effects of high-energy electron irradiation of municipal sludge. 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 : 139 - 148.
79. Roediger, H. - Pasteurisierung von Faulschlamm, Städtehygiene, (1958) 9 : 178.
80. Huber, J. & Meyer, M. - Schlammhygienisierung durch Wärme und ionisierende Strahlen; Ergebnisse einer Verfahrensstudie für die ARA Bern-Neubrück, Gas, Wasser und Abwasser, 57 (1977) 5 : 385 - 394.
81. Konstandt, H.G. - Schlammpasteurisierung von verschiedenen Klärschlämmen im Chargen-Verfahren mit oder ohne Wärmerückgewinnung, Gas, Wasser und Abwasser, 56 (1976) 11 : 585 - 587.
82. Stärk, H. & Rosopulo, A. e.a. - Chemical analysis in sewage sludge after different treatments. In: Radiation for pollution abatement; Proceedings of the first international conference of ESNA working group on "Waste Radiation". Wageningen, ESNA working group "Waste Radiation", 1976 : 70 - 86.
83. Jakma, F.F.G.M. & Cruysberg, E.E.A. - Zimpro-installatie te Apeldoorn. Afstudeerrapport T.H. Eindhoven, afdeling Scheikundige Technologie, 1973.
84. Roediger, H. - Die anaerobe alkalische Schlammfäulung. GWF Schriftreihe Wasser-Abwasser I, 3e dr., München, R. Oldenbourg Verlag, 1967.
85. Roediger, H. - Erfahrungen mit der Schlammpasteurisierung, Kommunal Wirtschaft, (1971) 9.
86. Triebel, W.-Pasteurisierung der Klärschlamme, L.S.W.A. Informationsblatt, 1970, 3 : 93 - 99.
87. Leijendeckers, P.H.H. - Total energy en gecombineerde warmtekrachtvoorziening met motoren en gasturbines, P.T., (1971) : 857 - 865.
88. Kok, H.E. & De Mol van Otterloo, J.W.H. - De toepassing van gasmotoren op rioolwaterzuiveringsinrichtingen, H₂O, 11 (1978) 18 : 402- 406.
89. Ehlert, N. - Gamma irradiation of sewage and sewage sludge. Ont. Water Resources Comm. Div., 1971, 38.
90. Obrist, W. - Die Klärschlamm-Behandlung durch Pasteurisation oder Bestrahlung, Städtehygiene, (1972) 3 : 2 - 5.
91. Cleland, M.R. & Farrell, J.P. e.a. - Use of high-power electron beam radiation for the treatment of municipal and industrial wastes. 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 : 325 - 342.
92. Herrnhut, H. & Marsch, U. & Bosshard, E. - Technical and economical aspects of a large and small plant for irradiation of liquid waste. In: Radiation for pollution abatement; Proceedings of the first international conference of ESNA Working group of "Waste Radiation". Wageningen, ESNA working group "Waste Radiation", 1976 : 200 - 206.
93. Sivinski, H.D. & Brandon, J.A. 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 : 118 - 155.

1 LITERATUURRECHERCHE

Om een zo compleet mogelijk beeld te krijgen van de literatuur die op het gebied van de desinfectie van zuiveringsslib is verschenen, is een uitgebreide literatuurrecherche uitgevoerd, met name naar moeilijk toegankelijke literatuur, zoals rapporten, congres- en symposiumverslagen. De recherche is verricht over de periode 1970 tot 1977.

Hierbij zijn de vakgebieden biologie, werktuigbouw en gezondheidstechniek geraadpleegd. Het vakgebied gezondheidstechniek is op de conventionele wijze doorzocht, voor de beide andere vakgebieden is gebruik gemaakt van gecomputeriseerd literatuuronderzoek:

- "Conventioneel" - systematisch onderzoek met descriptoren, sterpublicaties en handboeken;
 - sneeuwbalstelsel waarbij de referenties bij de literatuur werden gebruikt om eerdere publicaties op te sporen (citatiedraden);
 - bibliografische en geografische recherche op auteur en instituut.
- "On line" (geautomatiseerd)- trefwoorden/acceptwoorden profielen met logische combinaties en uitsluitingen;
 - rubrieksgroepen in de databases met logische combinaties.

De conventionele literatuurrecherche is verricht op de bibliografische afdeling van de TH-Delft en met de interne bronnen. De gecomputeriseerde recherche is uitgevoerd bij de Nederlandse Organisatie voor Chemische Informatie (NOCI) te Den Haag.

conventionele recherche

De grote verspreiding van de literatuur en de matige ontsluiting op dit specifieke terrein maakt het opsporen van deze literatuur complex. Een gering deel van de gezondheidstechnische vakliteratuur is terug te vinden in specifieke bronnen op dit werkgebied. Hierbij valt de nadruk nog sterk op de continentale Europese vakliteratuur. Gezocht is met de volgende descriptoren:

UDC 628.336.7
 628.381

Slib; desinfectie; pathogenen, processen;
 hygiëne; bacteriën;
 sterilisatie; virussen.

Gezocht is in de volgende systemen en bibliografieën:

- intern quick reference;
- intern documentatiesysteem;
- Dokumentation Wasser;
- Pollution abstracts;
- Bulletin signalitique;
- Literaturberichte über Wasser, Abwasser, Luft und feste Abfallstoffe;
- Handbuch Müll und Abfallbeseitigung;
- Journ. Water Poll. Contr. Fed. Annual Review;
- trefwoorden, systematische en hoofdwoorden-catalogus TH Delft.

De recherche leverde een honderdtal publicaties op.

Vanuit de verkregen referenties is nog slechts een gering aantal nieuwe publicaties via citaatdraden gevonden. Er zijn duidelijke clusters waarneembaar met betrekking tot de Duitstalige publicaties.

gecomputeriseerde recherche

Uit de indicatie dat mogelijk relevante literatuur in randgebieden te vinden zou zijn, is besloten de werkgebieden biologie, biotechniek, werktuigbouw, kerntechniek en gezondheidszorg te onderzoeken met behulp van in geautomatiseerde databases opgeslagen referentiemateriaal. Een nadeel van deze zoekmethode is dat men zoekt met een aantal "losse" termen, zodat de resultaten veel "ruis" kunnen bevatten. Verder stuit men op linguïstische problemen als homoniemen en synoniemen, specifieke termtoekenning en te wijd geïndiceerde artikelen. Zo valt bijvoorbeeld bij één systeem de term *activated sludge* in het zoekprofiel van *sludge*. Met de logische *niet* relatie kon de groep worden beperkt.

Een voordeel van de automatische recherche is dat de handeling en de output eenduidig zijn vastgelegd.

Aan de hand van de verrichte recherche is het mogelijk op elk tijdstip de recherche weer op te vatten of op een andere wijze te ordenen volgens nieuwe gezichtspunten. Verdubbelingen van recherches treden hierbij niet meer op.

Gezocht is met het volgende zoekprofiel:

- A. *sludge*
sludges
- B. *desinfect* *
hygiën *
steril *
inactivat *
- C. *pathogen* *
bacter *
virus. *
- D. *pasteur* *
radiat *
irratiat *
chlorin *
ozon *
ultrason *
- E. *treatment*
- F. *activated sludge*

De logische combinatie bij de recherche heeft primair bestaan uit: A en (B of C of D of E) NIET F.

Gezocht is in de volgende databases vanaf 1970 of vanaf het tijdstip later dan 1970 tot heden:

- Chemical Abstracts
- Compendex (Engineering Index)
- Biosis (Biological Abstracts)

"*" is het teken voor de woordverkorting (trunkage). De termen hebben gewichten meegekregen in de volgorde zoals ze hier zijn opgenomen.

- NTIS (National Technical Information Service)
- Pollution Abstracts
- ISA (Information Scientific Abstracts) voor biografische citaatdragen
- Pascal (groep afvalwater) was niet ingevoerd.

Gevonden werden 288 referenties, die na analyse een vijftigtal nieuwe publicaties opleverden. Met deze methode werd een goede ontsluiting verkregen van de rapportliteratuur uit de Verenigde Staten.

Bevreemdend is, dat in de databases van Chemical Abstracts weinig relevant materiaal aanwezig is.

| A. <u>Indamprest</u> (g/l) | | | | | | | |
|--|---------------------|-----------------------|--------|-----------------|--------|------------|--------------|
| Datum mon- stername | Onbehandeld slib | Slib na pasteurisatie | | Slib na koeling | | Opslagtank | Voorindikker |
| | | tank 1 | tank 2 | tank 1 | tank 2 | | |
| 78-04-06 | 31,8 | 24,5 | | 23,9 | | 26,6 | |
| 78-04-10 | 31,2 | 30,8 | | 28,7 | | 27,9 | |
| 78-04-13 | 32,3 | 28,4 | 28,5 | 28,0 | 25,8 | 25,2 | |
| 78-04-24 | 28,4 | 23,1 | | 25,9 | | 10,0 | |
| 78-04-27 | 28,4 | 28,3 | | 26,7 | | 79,2 | |
| 78-05-08 | 29,6 | 36,7 | 30,0 | 27,9 | 29,3 | 39,3 | |
| 78-05-16 | 29,3 | 32,1 | | 28,3 | | 49,0 | |
| 78-05-22 | 27,4 | 28,4 | 36,3 | 24,2 | 25,2 | 57,1 | 3,1 |
| 78-05-29 | 25,3 | 47,8 | | 27,5 | | 29,0 | |
| 78-06-12 | 26 | 28 | 25 | 28 | 25 | 42 | |
| 78-07-03 | 28 | 25 | 31 | 24 | 21 | 24 | |
| B. <u>Gloeirest</u> (% indamprest) | | | | | | | |
| 78-05-08 | 32 | 35 | 35 | 35 | 31 | 32 | |
| 78-05-22 | 34 | 35 | 35 | 36 | 35 | 36 | 27 |
| 78-06-12 | 35 | 36 | 38 | 38 | 37 | 33 | |
| 78-07-03 | 35 | 34 | 31 | 34 | 34 | 34 | |
| C. <u>CZV</u> (kg O ₂ /m ³) ruw slib | | | | | | | |
| 78-04-06 | 45,0 | 34,0 | | 37,0 | | 44,0 | |
| 78-04-10 | 52,5 | 41,0 | | 40,5 | | 36,5 | |
| 78-04-13 | 43,0 | 41,5 | 39,75 | 37,5 | 36,0 | 30,0 | |
| 78-04-24 | 46,0 | 44,0 | | 29,0 | | 17,0 | |
| 78-04-27 | 48,0 | 41,0 | | 42,0 | | 75,9 | |
| 78-05-08 | 36,0 | 42,0 | 33,0 | 35,0 | 34,0 | 56,0 | |
| 78-05-16 | 23,2 | 27,8 | | 25,0 | | 80,0 | |
| 78-05-22 | 25,9 | 23,8 | 39,5 | 24,2 | 25,2 | 60,9 | 4,4 |
| 78-05-29 | 32,0 | 47,0 | | 31,0 | | 30,0 | |
| 78-06-12 | 26,0 | 29,5 | 28,0 | 38,0 | 38,0 | 44,0 | |
| 78-07-03 | 30,0 | 28,0 | 27,0 | 31,0 | 17,0 | 24,0 | |
| D. <u>CZV na filteren</u> (kg O ₂ /m ³) | | | | | | | |
| 78-04-13 | 4,0 | 4,0 | 5,6 | 3,5 | 3,6 | 8,0 | |
| 78-05-08 | 2,4 | 3,4 | 4,0 | 2,8 | 3,6 | 1,8 | |
| 78-05-22 | 2,31 | 2,69 | 1,8 | 2,89 | 2,7 | 1,8 | |
| 78-06-12 | 3,8 | 2,7 | 3,3 | 3,6 | 2,3 | 3,0 | |
| 78-07-03 | 2,0 | 2,4 | 3,6 | 1,4 | 2,4 | 2,0 | |
| E. <u>Anorganisch ammonium</u> (g N/m ³) | | | | | | | |
| 78-04-13 | 230 | 342 | 387 | 305 | 370 | 335 | |
| 78-05-08 | 660 | 1090 | 960 | 940 | 490 | 500 | |
| 78-05-22 | 450 | 890 | 560 | 600 | 520 | 510 | 35,8 |
| 78-06-12 | 700 | 770 | 660 | 670 | 625 | 870 | |
| 78-07-03 | 870 | 870 | 850 | 800 | 790 | 920 | |
| F. <u>pH</u> | | | | | | | |
| 78-04-13 | 7,0 | 7,0 | 7,1 | 7,4 | 7,3 | 7,0 | |
| 78-05-08 | 7,8 | 7,5 | 7,6 | 7,6 | 7,7 | 7,1 | |
| 78-05-22 | 7,9 | 8,0 | 7,8 | 7,8 | 7,9 | 7,1 | 6,6 |
| 78-06-12 | 8,1 | 7,6 | 7,6 | 7,8 | 7,7 | 7,2 | |
| 78-07-03 | 7,8 | 7,8 | 7,4 | 7,6 | 7,8 | 7,3 | |
| G. <u>Temperatuur</u> (° C) | | | | | | | |
| 78-04-03 | 38 | 70 | 72 | 45 | 42 | 24 | |
| 78-04-06 | 35 | 72 | 71 | 54 | 48 | 28 | |
| 78-04-10 | 33 | 71 | 71 | 50 | 48 | 31 | |
| 78-04-13 | 32 | 72 | 72 | 56 | 56 | 27 | |
| 78-04-24 | 43 | 71 | 71 | 50 | 53 | 28 | |
| 78-04-27 | 43 | 72 | | 42 | | | |
| 78-05-08 | 48,5 | 71 | 71,5 | 49 | 52 | 35,1 | |
| 78-05-16 | 46 | 71 | 71 | 50 | 48 | 36 | |
| 78-05-22 | 47 | 70 | 71 | 46 | 47 | 730 | |
| 78-06-29 | 42 | 71 | 71 | 44 | | 34 | |
| 78-06-12 | 47 | 71 | 71,5 | 56 | 56,5 | 40 | |
| 78-07-03 | 44 | 70 | 71,5 | 51 | 50 | 38 | |

Tabel 41. Resultaten fysisch chemisch onderzoek van de praktijkproeven (hoofdstuk 5)

