

Ontwikkeling van diëlektrische technieken in de industrie



Ir. W.J.L. Jansen studeerde hoogspanningstechniek aan de Universiteit van Eindhoven. Hij is nu werkzaam bij KEMA Industriële Systemen. Sinds 1988 verricht hij werk op het gebied van elektrotechnologie met als specialiteiten diëlektrisch verwarmen en drogen en energiebesparingen met elektrotechnologie.

•SUMMARY

DIELECTRIC HEATING IS USED IN DIFFERENT SECTORS OF INDUSTRY FOR A WIDE RANGE OF MATERIALS SUCH AS, FOOD, WOOD, PAPER, TEXTILES, PLASTICS, RUBBER, CERAMICS AND WASTE MATERIALS. DIELECTRIC TECHNOLOGY CAN BE APPLIED IN DIFFERENT INDUSTRIAL PROCESSES AS WELDING, GLUEING, PRE-HEATING, VULCANIZING, SINTERING AND HEATING. ESPECIALLY IN THE FOOD INDUSTRY IN A WIDE RANGE OF PROCESSES IS POSSIBLE AS TEMPERING, THAWING, MELTING, BLANCHING, COOKING, BAKING, FRYING, STEWING, PASTEURIZATION, STERILIZATION, HEATING, DRYING AND ELIMINATION OF INSECTS. IN THE PAPER A NUMBER OF WELL KNOWN APPLICATIONS ARE DESCRIBED, AMONG THEM PLASTIC WELDING, WOOD GLUEING, DRYING, VULCANIZING OF RUBBER, PASTEURIZATION OF FOOD AND DRYING OF CERAMICS. NEW AND FUTURE AREAS OF APPLICATION ARE DESCRIBED SUCH AS DRYING WITH COMBINED HEAT AND POWER, SINTERING OF CERAMICS, STERILIZATION OF FOOD, MICROWAVE CHEMISTRY AND APPLICATIONS OF DIELECTRIC HEATING FOR TREATMENT OF WASTE. IN THIS AREA DIELECTRIC HEATING CAN BE APPLIED FOR SEPARATION OF CONTAMINATED CONCRETE, FOR RECYCLING ASPHALT FROM ROADS, TREATMENT OF CONTAMINATED SOILS, CLEANING OF GASFLOWS AND DECONTAMINATION OF MEDICAL WASTE.

Inleiding

Diëlektrisch verwarmen wordt in verschillende sectoren van de industrie toegepast voor een breed scala van materialen zoals hout, papier, textiel, kunststof, rubber, keramiek en afvalstoffen; in processen als uitharden, lijmen, vulcaniseren, scheiden, verwarmen en verhitten. Vooral in de voedingsmiddelenindustrie wordt diëlektrisch verwarmen toegepast in een verscheidenheid aan processen zoals ontdooien, smelten, blancheren, koken, bakken, braden, stoven, pasteuriseren, steriliseren, verwarmen, verhitten en drogen tot en met het elimineren van insecten [Jansen, 1992].

In al deze toepassingen van diëlektrische technieken wordt gebruik gemaakt van de snelle, directe verwarming van het produkt door het hoogfrequente elektrische veld met als resultaat een verlaging van de produktiekosten, vaak als gevolg van een besparing op energie, en een verbetering van de kwaliteit van het produkt. Daarnaast worden lokaal de werkomstandigheden verbeterd en wordt de milieubelasting verlaagd als in de situatie ervoor sprake was van

verbrandingssystemen gestookt door primaire brandstoffen. Diëlektrische technieken bieden nieuw, innovatieve, proces- en produkt-mogelijkheden voor de industrie.

Diëlektrisch verwarmen kent twee frequentiegebieden, namelijk radiofrequenties (13 en 27 MHz) en microgolffrequenties (896, 915 en 2450 MHz). Radiofrequente verwarmingssystemen worden sinds 40 jaar door de industrie toegepast. Microgolfsystemen zijn recenter van toepassing en nog niet zo wijd verbreid als de radiofrequente systemen. Dit in tegenstelling tot huishoudelijke apparatuur, waar uitsluitend microgolfsystemen worden toegepast.

In dit artikel zal een aantal veel voorkomende toepassingen worden beschreven en eventuele recente ontwikkelingen op dit gebied. Daarnaast zal worden ingegaan op nieuwe trends op gebied van diëlektrisch verwarmen. Voor een beschrijving van diëlektrische technieken wordt verwezen naar [Jansen, 1989].

Huidige toepassingen

Radiofrequente toepassingen

Lassen van kunststoffen

Het lassen van kunststoffen is een wijd verbreide radiofrequente toepassing. In Nederland is een bedrijf gevestigd dat machines voor deze toepassing produceert. Vele duizenden kunststof lasapparaten zijn in gebruik in de wereld, geïnstalleerd gedurende de laatste 30 à 40 jaar. Als kunststof wordt voornamelijk polyvinylchloride (PVC) gelast, onder andere ten behoeve van kantoorbehoefte, plastic mappen, hoezen en dergelijke. Daarnaast wordt de techniek gebruikt om zakken voor medicinale doeleinden te fabriceren, bijvoorbeeld zakken voor zout- en infuusoplossingen en urine. In toenemende mate worden andere kunststoffen gebruikt die echter meestal niet zo eenvoudig en gemakkelijk te lassen zijn als PVC. Voorbeelden hiervan zijn polyamides, (nylon 6 en nylon 66), polyvinylideen chloride, cellulose acetaat, polyurethaan en andere. Sommige kunststoffen kunnen niet diëlektrisch worden verwarmd, zoals polyetheen. Echter gecombineerd met een geschikt materiaal kan ook polyetheen worden gelast.

Een andere toepassing op dit gebied is het produceren van reddingsvesten en reddingsboten van polyurethaan voorzien van een nylon laag. Deze kunststof vervangt neopreen rubber. De neopreen werd gelijmd, waarvoor een aanzienlijke uithardingstijd nodig was. Daarnaast veroorzaken de oplosmiddelen in de lijm onprettige werkomstandigheden. Met radiofrequente technieken kunnen de werkomstandigheden sterk

worden verbeterd door het ontbreken van dampen van oplosmiddelen. De produktietijden worden tot 25% gereduceerd. Er is minder vloeroppervlak nodig waardoor de produktie, in bestaande ruimten, verder kan worden opgevoerd. Ook ingewikkelde vormen kunnen in enkele seconden worden gelast. Door voor radiofrequente technieken te kiezen, kunnen het produktieproces en de werkomstandigheden sterk worden verbeterd [UIE, 1992].

Radiofrequente produktieprocessen worden tegenwoordig eveneens verbeterd door een verregaande automatisering van het proces. Door de inzet van computergestuurde logica wordt de produktiviteit van installaties sterk verhoogd.

Lijmen van hout

Het uitharden van gelijmde houtverbindingen is, evenals het lassen van PVC, een wijd verbreide toepassing. Alleen al in Nederland staan tientallen installaties in meubelfabrieken, deurfabrieken en andere houtverwerkingsbedrijven. Het grote profijt van diëlektrisch lijmen van hout ligt in de snelle uithardingstijd en de energiebesparing die met de diëlektrische techniek mogelijk is. De energiebesparing wordt bereikt, omdat bij diëlektrisch harden van de lijmverbindingen alleen de lijm wordt verwarmd en niet het hout. Bij conventionele droogmethoden wordt ook het hout verwarmd. Het proces duurt dan veel langer, omdat hout een slechte warmtegeleider is. Deze methode vraagt tevens om grote opslagruimtes voor het uitharden.

Bij diëlektrisch harden van lijmverbindingen wordt de lijm aangebracht op de te verbinden

onderdelen. De onderdelen worden vervolgens onder de elektroden van een radiofrequente generator gebracht, daar samengeperst en vervolgens onder druk diëlektrisch uitgehard. De frequentie waarbij het uitharden plaatsvindt is 27 MHz. Voor grote objecten, zoals deuren en platen, wordt 13 MHz toegepast. Ook hier is een trend aanwezig om de installatie te automatiseren, inclusief de aanvoer van de onderdelen en de afvoer van het produkt. Met radiofrequent verwarmen is de lijm in enkele minuten uitgehard. Volgende bewerkingen als zagen, frezen en schaven kunnen onmiddellijk hierna plaatsvinden. De doorstroom van het produkt wordt hiermee versneld en tussentijdse opslag wordt vermeden.

De lijm moet een hoge diëlektrische verliesfactor hebben, wil diëlektrisch lijmen goed toepasbaar zijn. Lijmen met goed diëlektrische eigenschappen zijn PVAc (polyvinyl acetaat), UF (urea formaldehyde), MF (melamine formaldehyde) en RF (resorcinol formaldehyde) [UIE, 1992].

Drogen

Drogen is een belangrijke toepassing van diëlektrisch verwarmen vooral in de laatste droogfase, daar waar het interne vochttransport achterblijft bij de verdamping aan het oppervlak van het materiaal. Onder een bepaalde vochtigheid is de buitenlaag van het produkt inmiddels droog, terwijl binnen in het produkt nog vocht aanwezig is. In conventionele processen nemen de droogtijd en het energieverbruik dan snel toe

omdat de warmte van buitenaf via de droge buitenlaag, met een over het algemeen hoge thermische weerstand, het produkt ingebracht moet worden. Naast een toenemende droogtijd en een stijgend energieverbruik, neemt ook de temperatuur aan de oppervlakte van het produkt sterk toe. Toepassing van diëlektrisch verwarmen resulteert in een efficiënt gebruik van energie, omdat de energie daar wordt opgewekt waar het nodig is, namelijk in het vocht. Door diëlektrisch verwarmen kan de droogtijd aanzienlijk worden teruggebracht. Behalve door energiebesparing worden de proceskosten verder teruggebracht door de kortere droogtijden [Jansen, 1991].

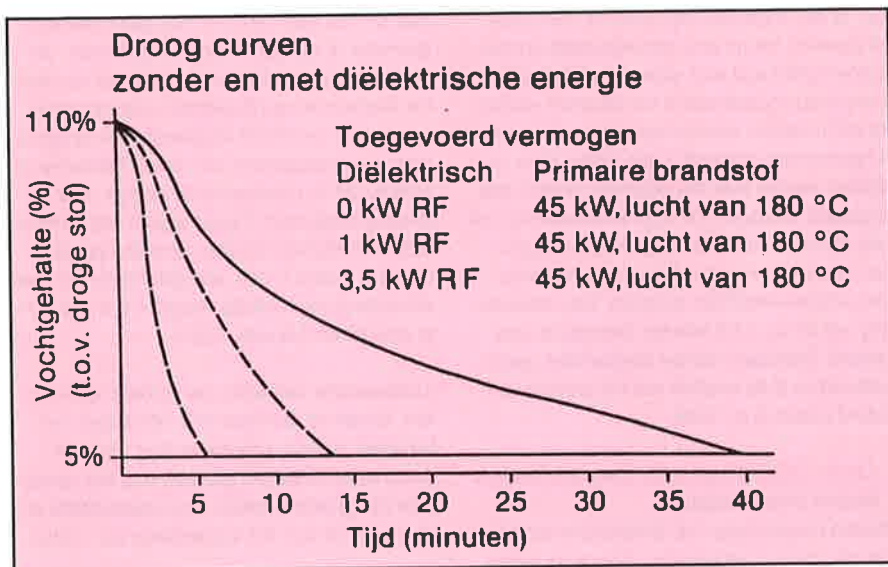
Een vrij recente ontwikkeling is het toepassen van diëlektrische technieken om het drogen in conventionele, door primaire brandstof gestookte, installaties te versnellen. Het grootste deel van de droogenergie wordt door de goedkope primaire brandstof geleverd. Door toevoegen van een relatieve geringe hoeveelheid elektrische energie kan het droogproces aanzienlijk worden versneld. Dit gecombineerde systeem van drogen met hete lucht en diëlektrische energie staat bekend onder de naam ARFA-drogen, "Air RadioFrequency Assisted" drogen [Jones & Swift, 1989]. Figuur 1 geeft een voorbeeld van de tijdswinst die geboekt kan worden bij gecombineerd drogen en de mate waarin diëlektrische energie aan de energie in de hete lucht moet worden toegevoegd om het gewenste effect te verkrijgen.

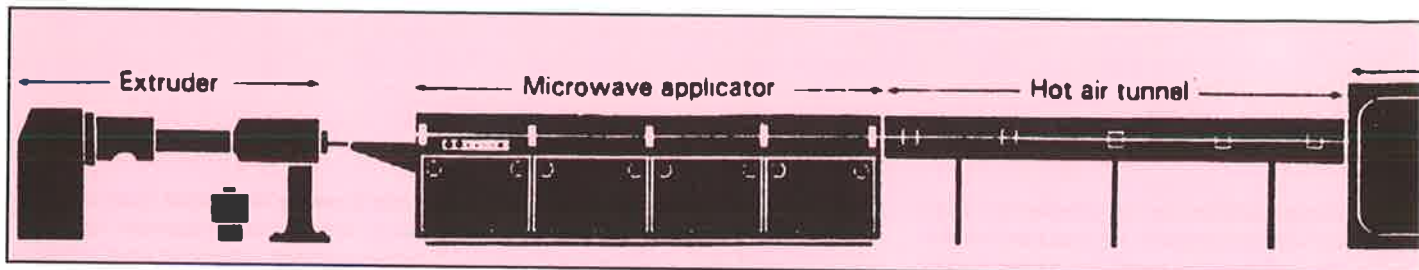
*Figuur 1
Versnelling van het conventionele droogproces door toevoeging van diëlektrisch verwarmen [Jones & Swift, 1989].*

Microgolftoepassingen

Vulcaniseren van rubber
Microgolftoepassingen worden evenals radiofrequente technieken gebruikt om kunststof granulaten voor te verwarmen voor vormgeving door contactverwarming onder druk (compression moulding). In geval van rubber worden meestal microgolftoepassingen toegepast. Daarnaast worden microgolftoepassingen in de rubber-industrie gebruikt voor het vulcaniseren van rubber profielen en voor het voorverwarmen van balen rubber. Er wordt geschat dat ongeveer de helft van de industriële microgolftoepassingen in de rubber-industrie staan opgesteld met een totaal vermogen van vele megawatt. Microgolf vulcaniseren van rubber profielen neemt hier een belangrijke plaats in [UIE, 1992].

Vulcanisatie van rubber profielen is mogelijk met conventionele methoden, bijvoorbeeld door het verstoken van gas. Dit is echter een langzaam proces, omdat de rubber de warmte slecht geleid. Daarnaast mag de temperatuur, om het





Figuur 2
Installatie voor vulcaniseren van rubber.

proces te versnellen, niet te hoog worden opgevoerd omdat bij temperaturen niet ver boven de vulcanisatietemperatuur het rubber degradeert. Dit geldt vooral voor dikke profielen. Conventionele vulcanisatielijnen zijn daarom lang, 60 meter is een normale lengte in dit geval.

Bij microgolven wordt het rubber volumetrisch verwarmd. Het rubber kan daardoor in korte tijd worden opgewarmd tot de vulcanisatietemperatuur, omdat de thermische weerstand van het rubber geen rol speelt. Na microgolf opwarmen vindt de eigenlijke vulcanisatie plaats in een hete lucht tunnel waar de temperatuur alleen maar op de vulcanisatietemperatuur wordt gehouden. Figuur 2 geeft een beeld van een dergelijke installatie. De kracht van dit proces ligt, evenals bij drogen, in het gecombineerd toepassen van gas en elektriciteit.

De algemene voordelen die met deze techniek worden geclaimd zijn:

- een produktiestijging van 30 à 50% dankzij de kortere opwarmtijden
- lagere bedrijfskosten door het geringere beslag op vloerruimte
- een verbetering van de kwaliteit door de homogener en meer gecontroleerde verwarming
- de mogelijkheid om dikkere profielen te produceren (tot 15 cm)
- lagere energiekosten omdat de microgolfinstallatie energie-efficiënter werkt dan een conventioneel verwarmingssysteem.

Een beperking is dat niet alle soorten rubber met microgolven kunnen worden verwarmd. Bij polaire rubbers als polychloropreen (CR), ethyleen-propyleen (EPR en EPDM) en styreen-butadien (SBR) is dit geen probleem. Andere rubbers zoals polybutadien zijn niet of nauwelijks te verwarmen met microgolven, tenzij deze rubbers met polaire rubbers worden gemengd of tenzij roet aan het rubber wordt toegevoegd [UIE, 1992].

Pasteuriseren van voeding

Het beschikbaar komen van verpakkingsmateriaal, dat hoge temperaturen kan weerstaan, heeft geleid tot het pasteuriseren van kant en klaar maaltijden in verpakking. In Nederland staan een aantal installaties die op deze wijze

voeding van hoge kwaliteit leveren die, ondanks het ontbreken van conserveringsmiddelen, toch lang houdbaar zijn [Jansen, 1992]. Het verkrijgen van een lange houdbaarheid door pasteuriseren in verpakking is een techniek die met conventionele middelen nauwelijks mogelijk is. De houdbaarheid wordt dan bovendien voor een groot deel verkregen door het toevoegen van conserveringsmiddelen.

Drogen van keramiek

Diëlektrisch drogen van keramiek is lange tijd niet als toepasbaar beschouwd, omdat de droogsnelheden hoger zouden liggen dan het materiaal zou kunnen verwerken. Daarnaast is een argument van de industrie dat diëlektrisch drogen moeilijk in te passen is in bestaande installaties. Vaak omdat de verlieswarmte van de bakoven wordt gebruikt voor een deel van het droogproces. Doordat bakovens steeds efficiënter worden komt minder afvalwarmte voor drogen beschikbaar. Gecombineerde installaties, die keramiek drogen met zowel diëlektrisch verwarmen als met hete lucht, worden nu toegepast. Microgolfdrogen wordt onder andere toegepast voor drogen van bijvoorbeeld sanitair in de vorm. Met microgolven wordt het drogen versneld, tegelijkertijd wordt ook de gietvorm gedroogd. Beide effecten resulteren in kortere doorlooptijden van de vorm. Daarnaast is de vorm na lossen droog, waardoor deze onmiddellijk ingezet kan worden voor een volgende droogcyclus. Het totale effect is dat drogen sneller verloopt en dat veel minder vormen nodig zijn. In een volgende stap moet, na het lossen uit de vorm, het groene (ongedroogde) produkt worden gedroogd voor glazuren en/of bakken. Temperatuurgradiënten in het keramiek moeten tot een minimum worden beperkt, omdat anders scheurvorming optreedt. Lage temperatuur gradiënten worden over het algemeen bereikt door langzaam te drogen. De interne verwarming met microgolven maakt het mogelijk het droogproces aanzienlijk te versnellen zonder dat grote temperatuurverschillen optreden. Een vermindering van 24 uur tot 8 minuten droogtijd is vastgesteld. Daarnaast worden besparingen gerapporteerd en is de kwaliteit van het produkt verbeterd [Freed et al, 1990].

Ontwikkelingen in toepassingen

Nieuwe ontwikkelingen

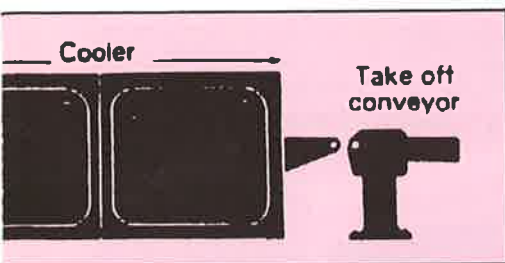
Nieuwe toepassingen van diëlektrische technieken zijn volop in ontwikkeling. Vooral op gebie-

den waarin conventionele technieken te kort schieten, worden nieuwe toepassingen gevonden. Daarnaast vindt er een integratie plaats met conventionele technieken, waarbij het diëlektrisch verwarmen het conventionele verwarmingsproces ondersteunt. Een voorbeeld hiervan is gecombineerd drogen en het vulcaniseren van rubber. Diëlektrische technieken worden ontwikkeld voor hoogwaardige toepassingen, zoals het pasteuriseren in verpakking en het sinteren en bakken van keramiek. Een belangrijke bedrijfstak is de chemische industrie. In deze bedrijfstak worden bulkproducten geproduceerd met een hoge energie-intensiteit. Diëlektrisch verwarmen biedt mogelijkheden om proces tijden te verkorten en de energie-intensiteit te verlagen. Op dit terrein is microgolven in opkomst. Het verwerken en recycleren van afval neemt sterk toe om het milieu te ontlasten en waardevolle grondstoffen terug te winnen. Diëlektrisch verwarmen is hier in opkomst. Nieuwe ontwikkelingen op bovenstaande gebieden worden hierna beschreven.

Drogen

Het gecombineerd drogen van producten door zowel stoom of hete lucht en door elektriciteit biedt voordelen. Figuur 1 geeft hiervan een illustratie met betrekking tot de droogsnelheid. De stoom of de hete lucht wordt gegenereerd door het verstoken van primaire brandstoffen, zoals bijvoorbeeld gas of olie. De elektriciteit wordt betrokken van het openbare net. Het toepassen van een warmte/kracht-installatie, gevoed door gas, ligt hier voor de hand. Met gas wordt een gasmotor of een gasturbine aangedreven, die op zijn beurt een elektrische generator aandrijft. De afvalwarmte wordt gebruikt voor het droogproces. De elektriciteit opgewekt door de generator wordt toegevoerd aan een diëlektrische installatie die de hoogfrequente energie voor de droging produceert. Figuur 3 geeft een schematische voorstelling van een dergelijk systeem. Op deze manier is een, energetisch gezien, zeer efficiënte drooginstallatie mogelijk met zeer korte droogtijden [Jansen, 1991].

(Commerciële installaties die op deze wijze werken, komen op de markt voor het drogen van keramiek, pasta's, groente en fruit, voor het droog blancheren van groente, voor het verwarmen van graanproducten, voor pasteurisatie en sterilisatie en voor het vulcaniseren van rubber.

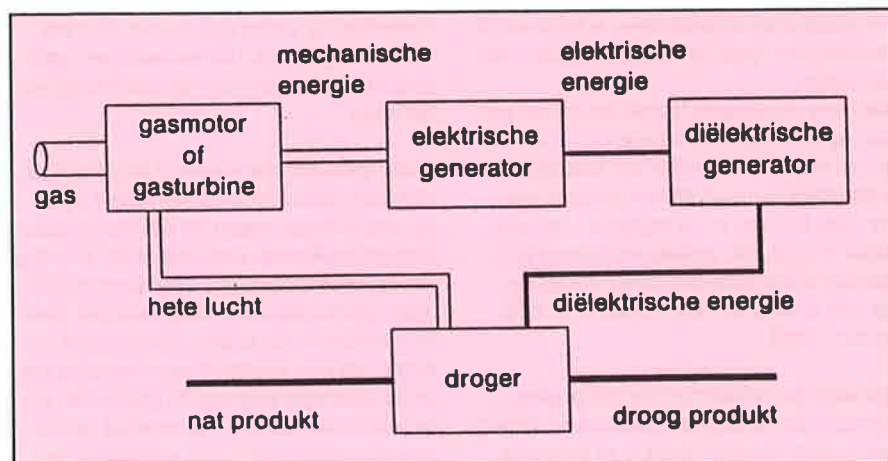


Bakken en sinteren van keramiek

Drogen van keramisch materiaal gaat zeer efficiënt met diëlektrische technieken, omdat water een hoge verliesfactor heeft, terwijl daarentegen keramiek in het algemeen een lage verliesfactor heeft. Bakken en sinteren lijken dan op het eerste gezicht geen aantrekkelijke processen voor diëlektrische technieken. Niettemin liggen ook hier toepassingsmogelijkheden die schuilen in een andere eigenschap van keramisch materiaal, namelijk het sterk toenemen van de verliesfactor als functie van de temperatuur boven een bepaalde kritische temperatuurgrens. Door dit effect kunnen met diëlektrisch verwarmen temperaturen tot 2200 °C worden bereikt.

Het bakken en sinteren van (technische) keramiek met diëlektrische techniek is in ontwikkeling. Technische keramiek komt in toenemende mate op de markt voor speciale toepassingen waar een grote hittebestendigheid wordt gevraagd of een grote slijtvastheid. Deze materialen worden gesinterd. Bij het sinteren met microgolven wordt ook gebruik gemaakt van het feit dat bij hogere temperaturen de verliesfactor van keramiek sterk toeneemt. Met microgolfverwarmen kan het proces worden versneld waardoor een, op microscopische schaal, fijne structuur keramiek ontstaat, zonder dat verwarmen onder druk noodzakelijk is. Door het gevaar van het uit de hand lopen van de temperatuur moet de warmte-opwekking zeer goed worden beheerst om oververhitting te voorkomen. De verwarming moet ook uniform zijn om scheurvorming te

Figuur 3
Drogen met een warmte/kracht-koppeling.



voorkomen, wat eveneens om een goed beheersbaar verwarmingsproces vraagt. De eerste prototypen verwarmingsinstallaties zijn gecombineerde apparaten, zowel conventionele verwarming, of weerstandsverwarming, als diëlektrische verwarming worden toegepast. De conventionele verwarming dient om bij lagere temperaturen het keramiek tot boven het kritische punt te verwarmen. De goede regelbaarheid van elektrische energie wordt gebruikt voor het eigenlijke diëlektrische bakproces. Ook deze techniek is in ontwikkeling voor toepassing op industriële schaal met als voordelen onder andere kortere processtijden, een betere kwaliteit, een lager energieverbruik en lagere procestemperaturen vergeleken met conventioneel sinteren [UIE, 1992].

Steriliseren van voeding

Voor een lange houdbaarheid van voedingsmiddelen moeten deze worden gesteriliseerd. Met dit proces worden bacteriën en andere schadelijke micro-organismen gedood bij een temperatuur van rond de 121 °C. De verblijftijd tijdens steriliseren wordt over het algemeen zo kort mogelijk gehouden en de temperatuur zo laag mogelijk voor een goede kwaliteit van het product. Bekend zijn HTST-processen (high temperature, short time), waarbij hoge temperaturen gedurende korte tijden worden aangelegd om aan de ene kant micro-organismen te doden en aan de andere kant de kwaliteit van de voeding zo min mogelijk te schaden. Microgolfverwarmen is bij uitstek geschikt voor dit type processen. Niettemin ging de introductie van microgolf steriliseren traag, alhoewel alle technische componenten, zoals goede verpakking en microgolf steriliseren in ketels onder druk, aanwezig waren. In de meeste gevallen was het verkrijgen van een homogene temperatuurverdeling in de voeding een probleem. Deze homogeniteit is noodzakelijk om overal in de voeding de juiste sterilisatietemperatuur te bereiken en daarmee alle micro-organismen te doden. Moderne microprocessor gestuurde microgolfverwarming heeft uiteindelijk de commerciële introductie van microgolfste-

rilisatie mogelijk gemaakt. In een bestaande microgolfinstallatie worden pastaproducten (spaghetti, lasagna en dergelijke) in verpakking gesteriliseerd. De installatie bestaat uit een 17 kW, 2450 MHz microgolfinstallatie, waarin de maaltijden worden voorverwarmd. Het sterilisatieproces zelf vindt plaats onder een druk van 2,2 bar bij 120 °C. De warmte wordt opgewekt door 72 kW, 2450 MHz microgolfenergie en door 75 kW weerstandsverwarming voor de productie van hete lucht. Het gehele sterilisatieproces wordt computergestuurd. Figuur 4 geeft een beeld van de installatie.

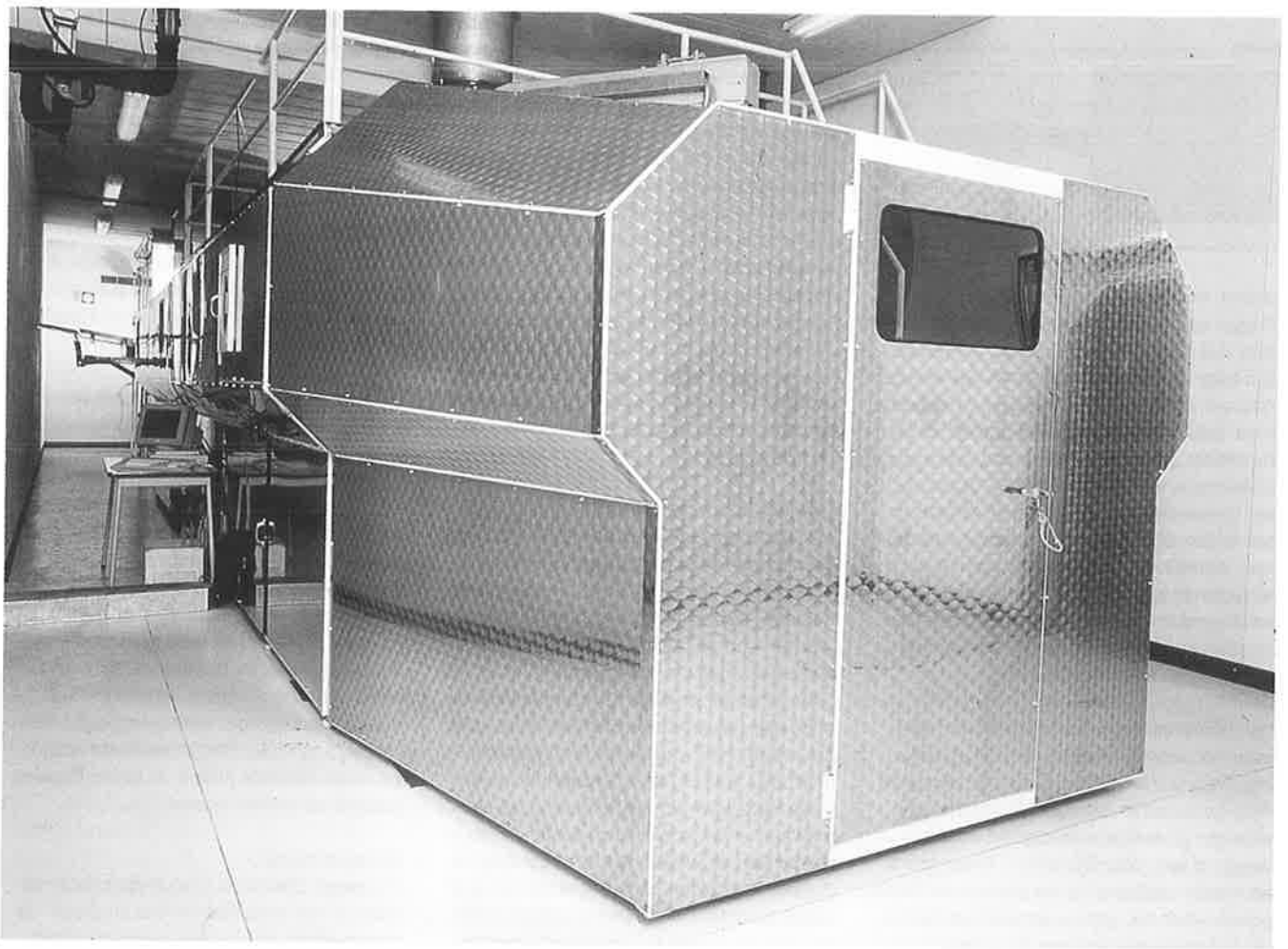
De voordelen zijn een betere kwaliteit van het product en een houdbaarheid bij omgevings-temperatuur van 9 maanden. Bij conventioneel steriliseren was de houdbaarheid in een koelkast 2 tot 3 weken. Microgolfsteriliseren geeft dus een aanzienlijke verbetering van de houdbaarheid, terwijl geen koeling noodzakelijk is. Dat betekent ook besparing op energie. Daarnaast is de productie aanzienlijk verbeterd, het proces is continu en volledig geautomatiseerd in een continue lijn, de installatie vraagt weinig ruimte, de produktiviteit is vergroot en de arbeidsomstandigheden werden verbeterd. De verwachting is dat microgolfsterilisatie-apparaat in toenemende mate in de levensmiddelen-industrie zal worden ingezet.

Microgolfchemie

De meeste chemische productieprocessen bestaan uit een reeks afzonderlijke processen die uiteindelijk tot het eigenlijke gewenste product leiden. In de afzonderlijke processen worden tussenproducten gevormd die vaak gescheiden moeten worden van allerlei ongewenste bijproducten, alvorens ze de volgende processtap te gaan. Het totale rendement van een dergelijke proces is het product van de afzonderlijke rendementen van ieder deelproces. Ondanks het feit dat ieder proces op zich zeer efficiënt kan zijn, is het totaal procesrendement toch vaak laag.

Door het gebruik van microgolven, en wellicht ook radiofrequente elektrische velden, kan het rendement van chemische reacties worden verhoogd, doordat de energie direct in produktcomponenten in warmte kan worden omgezet. Het verhitten van katalysatoren met microgolven is een van de mogelijke toepassingen van diëlektrisch verwarmen in de chemie. Andere mogelijkheden liggen op het gebied van selectieve verwarming, het snel homogeen verwarmen van stoffen en het toepassen van microgolfplasma's [onder andere Abramowitch, 1991 en Michael et al, 1991].

Microgolfchemie is een veelbelovende toepassing van diëlektrisch verwarmen. Het onderzoek bevindt zich wereldwijd nog aan het begin van



Figuur 4
Diëlektrisch steriliseren van kant en klaar maaltijden
[UIE, 1992].

zijn ontwikkeling en neemt snel in omvang toe.

Milieu

Diëlektrische technieken voor het milieu
De bezorgdheid om de kwaliteit van het milieu neemt met de jaren toe. De afvalproblematiek is daar een onderdeel van. Stortplaatsen raken vol, afval heeft een schadelijk effect op het milieu. Aan de andere kant betekent het simpelweg storten van afval dat waardevolle grondstoffen worden verkwist. Conventionele technieken voor het behandelen van milieuproblemen kunnen worden verbeterd of worden ondersteund met behulp van elektrotechnologie. De economie van een behandeling kan worden verbeterd, de schadelijkheid van reststoffen kan worden verminderd of het ontstaan van reststoffen kan worden geëlimineerd. Voorbeelden zijn het verwerken van PCB's met plasma's, bodemreiniging via elektrolyse, elektroforese of diëlektrische technieken; waterreiniging via membranen, UV of UV/ozon; rookgasreiniging via pulscorona, elektrogranulaire filters en dergelijke. KEMA voert op dit gebied projecten uit in het kader van de collectieve opdracht elektro-

technologie, het reinigen van grond via elektroreclamatie, en in opdracht van derden. Zo is of wordt er door KEMA onderzoek uitgevoerd naar het verminderen van nucleair en chemisch afval via het microgolfschillen van besmette betonconstructies; het inzetten van diëlektrische technieken voor het behandelen van afval, de mogelijkheden van elektrotechnologie voor het zuiveren van (rook)gasstromen en het diëlektrisch verwarmen van thermoplasten voor vormen. Deze studies hebben uitgewezen dat elektrotechnologie interessante mogelijkheden biedt om afvalstromen te behandelen, te beperken of te voorkomen, grond te reinigen en gasstromen te zuiveren.

Met name diëlektrische technieken kunnen worden ingezet om afval te scheiden en te verwerken tot nieuwe grondstoffen, om schadelijk afval onschadelijk te maken en voor reiniging van vervuilde bodems. In het volgende zullen een aantal in dit opzicht veelbelovende toepassingen van diëlektrische technieken worden besproken [Boot et al, 1991; Jansen et al, 1992; Jansen, 1994].

Scheiden door verwarmen met microgolven
Enerzijds door strengere regels voor de winning van grondstoffen voor de bouw en anderzijds

door de stijgende kosten voor het storten van sloopafval is in de bouwsector een sterke tendens aanwezig om bouwafval opnieuw te gebruiken. Dit leidt tot de noodzaak om gebouwen milieugericht te slopen. Het European Centre for Ecological Demolition (ECED), is een stichting die zich ten doel heeft gesteld voorlichting en stimulansen te geven op het gebied van milieugericht slopen van bouwwerken. Milieugericht betekent in dit geval het zodanig selectief slopen van het gebouw dat zoveel mogelijk bouwafval kan worden hergebruikt en de uiteindelijke hoeveelheid te storten afval tot een minimum wordt teruggebracht. Het resultaat is een verlaging van de aantasting en van de belasting van het milieu.

Vooraf gebouwen die in meer of mindere mate chemisch, radioactief of op een andere wijze zijn verontreinigd, vragen om een technologisch hooggekwalificeerde sloopaanpak om scheiding van de verontreinigde en de niet verontreinigde delen van het gebouw te bewerkstelligen. Door het verwijderen, het schillen, van de dunne verontreinigde laag van betonnen constructies kan de verontreinigde laag worden gescheiden van de rest van het gebouw. Het materiaal verkregen door schillen, bevat alle verontreinigingen.

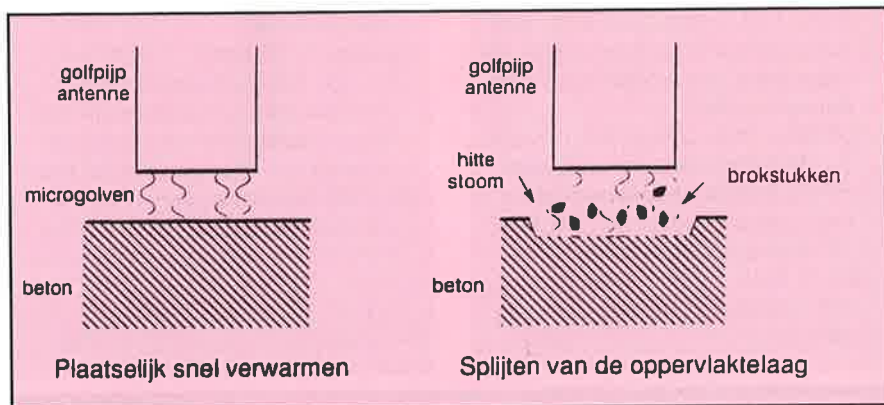
Alleen dit deel moet als afval verder worden verwerkt. Na het schillen van de verontreinigde laag blijft een schoon gebouw over, waarvan de delen na slopen kunnen worden aangeboden aan steenbrekerijen en kunnen worden hergebruikt. De schiltechniek geeft enerzijds een volumereductie van het verontreinigde afval en anderzijds meer delen van gebouwen die kunnen worden hergebruikt.

Voor het schillen komt een groot aantal technieken in aanmerking. KEMA heeft, in opdracht van CUR (Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving), op initiatief van de ECED, een vergelijking uitgevoerd. Daaruit blijkt dat de microgolfschiltechniek, vergeleken met andere technieken, een veelbelovende methode is om een verontreinigde laag van het niet-verontreinigde deel van een betonnen wand te scheiden [CUR, 1992]. De scheiding wordt bewerkstelligd door de verontreinigde oppervlaktelaag van de wand met microgolven te verwarmen, waardoor de temperatuur van de wand in een korte tijd sterk stijgt. Door stoomvorming en door thermische uitzetting breekt de oppervlaktelaag in brokstukken van de rest van de constructie. In figuur 5 is dit schematisch weergegeven.

KEMA-onderzoek, uitgevoerd in opdracht van de CUR, heeft uitgewezen dat microgolfschillen van beton goed mogelijk is. De motivering voor microgolfschillen ligt in de mogelijkheid voor gecontroleerd schillen met een instelbare schilddiepte. Er is geen hulpmateriaal (water of lucht) nodig, het schillen geschiedt met een relatief licht apparaat en contactloos waardoor het proces eenvoudig is te automatiseren of te robotiseren. Microgolfschillen produceert relatief weinig stof en de geluidsoverlast is gering [Jansen & Cornelissen, 1993].

Het principe kan op andere terreinen worden gebruikt voor toepassingen die op dit moment nog een nadelig effect hebben op het milieu. Voorbeelden zijn het schillen van betonnen

*Figuur 5
Principe van microgolfschillen van beton.*



wegdekken en het "frozen" van bitumen lagen van betonnen wegdekken voor het aanbrengen van een nieuw wegdek. Andere mogelijkheden zijn het schillen voor reparatiedoeleinden en het stil slopen in "rustige" omgevingen, zoals bijvoorbeeld ziekenhuizen.

Hergebruik van oud asfalt voor productie van nieuw asfalt

Met behulp van bestaande verwarmingstechnieken in chargemengers, paralleltrommels en drummixers kan op dit moment slechts 20 tot maximaal 50% aan oud asfalt worden gerecycled. Met deze technieken is het tot nu toe onmogelijk om hogere recyclings-percentages van asfaltgranulaat te bereiken, omdat bij het opwarmen van het oude asfalt tot de gewenste eindtemperatuur de volgende problemen optreden:

- overmatige emissies van koolwaterstoffen
- kwaliteitsverlies door verhitting van het asfalt
- stofemissie.

Door gebruik te maken van microgolft technieken voor het laatste verwarmingstraject van 135 tot 150 °C kunnen deze problemen worden voorkomen. Met microgolvenverwarming kan 100% recycling van oud asfalt worden bewerkstelligd. Toepassing van de microgolft technieken levert de volgende energetische voordelen op:

- verwarming met microgolven kost minder energie dan met conventionele verwarming
- door hergebruik van oud asfalt hoeft minder grond en zand te worden gewonnen
- frozen en verwerken van oud asfalt kost minder energie dan winning van grondstoffen voor nieuw asfalt
- emissie van rookgassen, stof en koolwaterstoffen wordt verlaagd.

In Rotterdam staat de eerste installatie in Nederland, MARS (Microwave Asphalt Recycling System) geheten, die op deze wijze oud asfalt verwerkt tot nieuw asfalt. De installatie heeft een capaciteit van 100 ton asfaltbeton per uur. Het recyclen van oud asfalt met de microgolf installatie vraagt maar de helft van de energie vergeleken met de oude methode. De microgolf installatie werkt bij een frequentie van 915 MHz en heeft

een vermogen van 400 kW. Het project levert een energiebesparing van 1 210 000 m³ aardgas per jaar op. De kosten van het project bedragen NLG 1.500.000,—. De terugverdientijd is bepaald aan de hand van de energiebesparing die optreedt ten opzichte van installaties met 50% recycling van oud asfalt en bedraagt circa 5 jaar [Keyts, 1993].

Grondreiniging

Een veel voorkomende verontreiniging in grond zijn koolwaterstoffen. Jaarlijks wordt 400 000 ton grond, verontreinigd met koolwaterstoffen behandeld; meestal in roterende trommelovens. Daarbij wordt zowel directe verhitting (verbrandingsgassen direct in oven) als indirecte verhitting (opwarming via hete wand) toegepast. In dergelijke trommelovens worden bij 300 tot 700 °C de componenten uitgedampt, waarna de gassen worden naverbrand en gereinigd. Met deze methode doen zich problemen voor bij klei-achtige grond. De grond gaat dan kleven aan de ovenwand, wat onder andere leidt tot onbalans en verstoppingen. Uit proeven uitgevoerd bij KEMA, zowel in de radiofrequente als in de microgolfoven, blijkt dat deze grond zich goed leent voor diëlektrische verhitting. Ten opzichte van de direct gestookte oven is diëlektrische verhitting een schoon proces; er behoeven geen grote hoeveelheden afgassen meer te worden gereinigd. Ten opzichte van de indirect gestookte techniek is de diëlektrische methode vooral veel sneller [Boot et al, 1991].

Diëlektrische methoden kunnen ook worden toegepast voor in situ reiniging van de grond. Zowel microgolf- als radiofrequente methoden worden ontwikkeld. In [Jansen, 1994] wordt een overzicht gegeven.

Reiniging van gasstromen

Gasstromen kunnen verontreinigd zijn met zwavelverbindingen bijvoorbeeld in de vorm van zwavelwaterstofgas (H₂S). Voorbeelden zijn koolgas en koolwaterstof gasstromen in de petrochemische industrie. In het zogenaamde Claus-procédé wordt het zwavelwaterstofgas omgezet in zwavel en water. De zwavel wordt hierbij tot 98,8% uit de gasstroom teruggewonnen, de resterende 1,2% wordt uitgestoten in de atmosfeer en draagt bij aan de verzuring. Met microgolven is het mogelijk de zwaveluitstoot drastisch te beperken en gelijktijdig de waterstof terug te winnen. Na terugwinning met microgolven kan de waterstof opnieuw worden gebruikt om zwavel te binden tot zwavelwaterstof. Bijvoorbeeld in de petrochemische industrie worden koolwaterstoffen als natuurlijk gas en afgas van olie-raffinerijen ontzwaveld met waterstof. Toepassen van microgolven voor splitsen van H₂S in waterstof en zwavel levert op deze manier twee voordelen, minder uitstoot van zwavel en hergebruik van waterstof. Dit resulteert in een lagere milieubelasting, tevens wordt op

energie bespaard [Harkness et al, 1990]. Een andere elektrotechnologie om gasstromen te reinigen is pulscorona [de Haan et al, 1994]. Een indirecte methode van gasreiniging is het regenereren van filters. Actief koolstoffilters worden toegepast om verontreinigingen in gas- en afvalwaterstromen af te vangen. Na een bepaalde gebruikstijd neemt de effectiviteit van het filter af, het moet dan worden geregenereerd. Dit geschiedt in het algemeen door een spoelgas te verwarmen en daarmee het filter schoon te spoelen. De warmte in het spoelgas gaat verloren. Regeneratie kan ook gebeuren door diëlektrisch verwarmen van het filter met een kleine hoeveelheid spoelgas om het geabsorbeerde materiaal af te voeren. Voordelen zijn minder spoelgas, waardoor minder nabehandeling van de spoelgassen nodig is. De verontreinigingen komen in geconcentreerde vorm beschikbaar voor nabehandeling. De verwachting is dat het energieverbruik wordt verminderd, omdat alleen het filter hoeft te worden verwarmd en het volume na te behandelen gas minder is [de Haan et al, 1994].

Voor het wegverkeer zijn er ideeën ontwikkeld om met microgolven uitlaatdempers van dieselmotoren te reinigen van roet [Coghlan, 1992 en Ollivon et al, 1989].

Verbranden van ziekenhuisafval

Ziekenhuisafval bestaat uit een scala van componenten zoals injectienaalden, verband, bandages, linnen van operatiekamers, operatiehandschoenen, operatiekleding. Daarnaast is er afval van menselijk weefsel afkomstig van operatiekamers. Een schatting is dat er in de Westerse landen per ziekenhuisbed 450 kg afval per jaar wordt geproduceerd. Dit is gevaarlijk afval, omdat het allerlei ziektekiemen en andere infectiehaarden kan bevatten. Behandeling, om het risico van besmetting te voorkomen, is kostbaar. Met menselijk weefsel afkomstig van operatiekamers moet daarnaast ook zorgvuldig worden omgegaan.

In gebruikelijke processen wordt dit afval verbrand bij 850 °C. De methode is duur, verkleint het afval tot 15% procent van het volume, maar sluit de kans op besmetting niet volledig uit. Als alternatief is een methode ontwikkeld die gebruik maakt van diëlektrische technieken. In het ABB Sanitec proces wordt het afval verkleind, verzadigd met stoom en daarna met microgolven verhit gedurende 30 minuten bij 100 °C. Het volume wordt daarbij gereduceerd tot 20%. Ongeveer 40 installaties zijn in bedrijf in Europa en de Verenigde Staten [UIE, 1992 en Cusack & Taitz, 1992]. Recent is een installatie ontwikkeld die op dezelfde manier werkt. Echter, na microgolververhitting onder stoom wordt het afval in een ontsmettingskamer gebracht waarin de verblijftijd zo lang is dat een goede sterilisatie wordt verkregen [Couturier et al, 1993].

Conclusies

Er kan worden geconcludeerd dat nieuwe toepassingen van diëlektrisch verwarmen volop in ontwikkeling zijn. Speerpunten op dit gebied zijn het geïntegreerd conventioneel/diëlektrisch drogen met behulp van warmte/kracht, het bakken en sinteren van keramiek, steriliseren in verpakking van maaltijden, toepassingen in de chemie en een grote verscheidenheid van toepassingen op milieugebied.



Literatuur

- ABRAMOWITZ, R.A., 1991. Applications of microwave energy in organic chemistry. *Organic Preparations and Procedures Int.*, 23(6), p. 683-711 (1991)
- BOOT, H., JANSEN, W.J.L., MOT, E., MOUTER, H.J., 1991. Diëlektrische methoden in de milieutechnologie. *Microgolven scheiden afvalstoffen door selectieve verwarming*. PT Poly-Technisch Tijdschrift Milieu. Mei 1991, nummer 5, p. 50-53
- COGHLAN, G., 1992. Microwave cook the soot out of diesel exhausts. *New Scientist*, 14 March 1992, p. 23
- COUTURIER, J.L., GERMAIN, A., BERTEAUD, A.J., 1993. Continuous decontamination of infectious hospital waste by using microwaves. *International Conference on Microwave and High Frequency*, Göteborg, Zweden, 28-30 september 1993
- CUR, 1992. Volumereductie via selectieve slooptechnieken. Fase 1: inventarisatie van schiltechnieken voor betonconstructies. *Cur-rapport 92-1*
- CUSACK, J.L., TAITZ, M.S., 1992. Desinfectie medizijnischer Abfälle mit Mikrowellen. *ABB Technik*, 10/92, p. 15-18
- ELECTROTECH 92, 12e UIE congres over elektrotechnologie, Montreal, Canada, 14-18 juni 1992, p. 987-996
- FREED, B.A.; DUSSELDORP, H.; KLIEB, J.; WOODS, B.; ODA, S.; 1990. Microwave drying automates slip casting process and enhances overall economy. *Industrial heating*, October, 1990, p32-34.
- DE HAAN, P.H.; JANSEN, W.J.L.; KOK, H.J.G.; MOT, E.; RUTGERS, W. R.; 1994. Elektriciteit haalt het afval uit uw afgas. *PT Polytechnisch tijdschrift Milieu*, april 1994, nummer 4, p36-41
- HARKNESS, J.B.L., GORSKI, A.J., DANIELS, E.J., 1990. Hydrogen sulfide waste treatment by microwave plasma dissociation. *Proc. Intersoc. Energy Covers. Eng. Conf.* 25th volume, 6, 1990, p. 197-202
- JANSEN, W.J.L., 1989. Diëlektrische techniek in de industrie. *Energietechniek*, 1989
- JANSEN, W.J.L., 1991. Diëlektrisch drogen: een nieuwe optie. *Energiespectrum*, september 1991, p. 219-227
- JANSEN, W.J.L., 1992. Diëlektrisch verwarmen en drogen. *VMT, Voedingsmiddelen-technologie*, Jaargang 25, 6 februari 1992, Nr. 3, p. 14-17
- JANSEN, W.J.L., 1992. Diëlektrisch verhitten in de praktijk van de voedings- en genotmiddelenindustrie. *VMT, Voedingsmiddelentechnologie*, Jaargang 25, 6 februari 1992, Nr. 3, p. 22-23
- JANSEN, W.J.L., BOOIJ, M. en BOOT, H., 1992. Application of dielectric technology to waste management.
- JANSEN, W.J.L. & CORNELISSEN H.A.W., 1993. Treatment of contaminated concrete by microwaves. *International Conference on Microwave and High Frequency*, Göteborg, Zweden, 28-30 september 1993
- JANSEN, W.J.L. 1994. Milieu onder stroom. Diëlektrische techniek biedt nieuwe milieuvooruitzichten. *Land + Water* 1994, augustus 1994, p46-48.
- JONES, P.L. & SWIFT, G., 1989. RF assisted process heating. *International Conference High frequency/Microwave Processing and Heating*, 26-29 September, KEMA, Arnhem, the Netherlands.
- KEIJTS, B., 1993. Microgolven maken volledig hergebruik van asfalt mogelijk. *Land + Water*, maart 1993, p. 16-22
- MICHAEL, D., MINGOS, P., BAGHURST, D.R., 1991. Applications of microwave dielectric heating effects in synthetic problems in chemistry. *Chem. Soc. Rev.*, 1991, 20, p. 1-47
- OLLIVON, M., RENEVOT, G., BERTEAUD, A., 1989. Dispositif d'élimination par micro-ondes des particules contenues dans les gaz d'échappement de moteurs thermiques. *European patent* Nr. 0 327 439.
- UIE, 1992. Dielectric heating for industrial processes. Report prepared by the "Dielectric heating" working group for the UIE