

Titel
DIËLEKTRISCHE TOEPASSINGEN IN DE
MILIEUTECHNOLOGIE

Ref.nr. : 91-079
Dossiernr. : 112326-04270/007
Publ.nr. : CB/079
Datum : april 1991
Embargo tot : 1 mei 1991

Publikatie

Auteur(s):
Ing. H. Boot
Ir. W.J.L. Jansen, KEMA
Dr.ir. E. Mot
Drs.ing. H.J. Munter

Trefwoord(en):
- diëlektrisch verwarmen
- microgolf verhitting
- radiofrequent verhitting
- alternatieve reinigingstechnieken
- lucht
- water
- bodem
- afval
- procesgeïntegreerde milieutechnologie

Bestemd voor:
Externe publikatie

DIËLEKTRISCHE TOEPASSINGEN IN DE MILIEUTECHNOLOGIE

H. Boot, W.J.L. Jansen, E. Mot, H.J. Munter¹⁾

Milieutechnologie is een nog jonge tak van toegepaste wetenschap. Het ligt daarom in de lijn der verwachting, dat van allerlei meer en minder bekende technieken wordt nagegaan, in hoeverre zij voor de milieutechnologie zinvol kunnen worden ingezet.

Eén van die technieken is de diëlektrische verwarming. Dit is een reeds lang toegepaste techniek voor het verwarmen en drogen van materialen. Behandeling van afvalstoffen met deze techniek heeft tot nu toe echter nauwelijks aandacht gekregen.

Om na te gaan wat de betekenis van diëlektrische technieken in de milieutechnologie zou kunnen zijn is door TNO en KEMA, in samenwerking met Siemens Nederland N.V. en B.V. Kon. Mij. 'De Schelde' een onderzoek uitgevoerd.

Daarbij is de TNO-inbreng mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage uit de Stimuleringsregeling Milieutechnologie van het ministerie van VROM, beheerd door NOVEM B.V., en van Siemens Nederland N.V.

Wat zijn diëlektrische technieken?

Bij conventionele verwarmingsprocessen wordt de warmte van buitenaf via convectie, geleiding of straling aan het oppervlak van het te verwarmen materiaal toegevoerd. Vanaf het oppervlak dringt de warmte door geleiding verder het materiaal in. Bij verwarmen met diëlektrische technieken wordt de warmte direct in het materiaal zelf opgewekt; een warmteoverdrachtsmedium is niet noodzakelijk.

Een afvalstof kan alleen diëlektrisch worden verwarmd, als zijn verliesfactor voldoende groot is. Dit betekent, dat de stof in een snel wisselend elektrisch veld energie opneemt en deze dus in warmte omzet (dissipeert).

¹⁾ De heer Jansen is werkzaam bij de KEMA; de overige auteurs bij het Instituut voor Milieu en Energietechnologie TNO te Apeldoorn

Een materiaal dat voor diëlektrisch verwarmen geschikt is, bevat vrije ladingdragers en/of elektrische dipolen. Onder invloed van het wisselende elektrische veld trachten de ladingen de richting van het veld te volgen. De vrije ladingdragers komen daarbij in trilling; de dipolen roteren.

De extra, door het elektrische veld in het materiaal geïnduceerde bewegingsenergie van de trillende ladingdragers en roterende dipolen wordt door een wisselwerking overgedragen aan naburige moleculen. Dit veroorzaakt de warmteontwikkeling in het diëlektrikum, en leidt dus tot temperatuurverhoging van het materiaal.

Als de diëlektrische verliesfactor laag is, is de warmteontwikkeling in het medium gering. Door het verhogen van de elektrische veldsterkte zou deze warmteontwikkeling vergroot kunnen worden. Aan deze veldsterkte is echter een grens, omdat ieder materiaal maar een bepaalde veldsterkte kan weerstaan. Daarboven treedt doorslag op in het materiaal.

Voor lucht bijvoorbeeld ligt bij normale atmosferische omstandigheden, deze doorslagveldsterkte op ongeveer 30 kV/cm. Bij de systeemkeuze, en bij het ontwerp van installaties, moet rekening gehouden worden met de elektrische veldsterkte om doorslag te voorkómen.

Het verhogen van de frequentie is een andere mogelijkheid om de warmteontwikkeling in een materiaal te vergroten. De hogere vermogenswikkeling is een gevolg van het sneller trillen van de ladingen in het materiaal. Echter, ook de frequentie kan niet onbeperkt worden opgevoerd. Bij hogere frequenties neemt de indringdiepte van het elektrisch veld in het materiaal namelijk af, waardoor in het inwendige van het materiaal de vermogensontwikkeling klein is. Het produkt wordt dan voornamelijk aan de buitenkant, dus inhomogeen, verwarmd. In het algemeen zullen radiofrequenties (RF, tientallen MHz) worden toegepast voor grote objecten met kleine vermogensdichtheden. Kleine objecten en hoge gewenste vermogensdichtheden leiden tot microgolftoepassingen (MG, duizenden MHz).

Diëlektrische technieken worden, om storingen in telecommunicatie te vermijden, beperkt tot enkele discrete frequenties. In het kader van deze studie zijn door de KEMA proeven uitgevoerd, en wel in een radiofrequente installatie (27 MHz) en in een microgolfinstallatie (2450 MHz).

Diëlektrische technieken bezitten een aantal karakteristieke voor- en nadelen ten opzichte van hun alternatieven.

Als voordeel geldt, dat de warmteontwikkeling in het materiaal zelf plaatsvindt, en materiaalselectief is (met name water heeft een hoge verliesfactor). De energiedichtheid kan hoog zijn, zodat een stof snel opwarmt. De installatie is relatief klein; het proces is goed beheersbaar, en er treedt geen vermenging op van emissies met verbrandingsgassen.

Een nadeel is, dat diëlektrische technieken relatief duur zijn. Het vermogen is beperkt, tot circa 0,2 MW voor microgolf, en tot circa 2 MW voor radiofrequente toepassingen.

Tabel 1 en 2 geven een overzicht van de belangrijkste voor- en nadelen.

Tabel 1 Voordelen van
diëlektrische technieken

Tabel 2 Nadelen van
diëlektrische technieken

Lokale warmteontwikkeling, nl. in het materiaal zelf, met hoge energiedichtheden	Dure installatie; high tech oplossing voor laagwaardige stoffen
Hoge snelheid warmteontwikkeling	Materiaalselectief; niet elk materiaal is geschikt
Relatief kleine installaties	Onbekend proces in milieutechnologie
Bedrijfs- en onderhoudskosten zijn relatief laag	Door verontreiniging in materiaal vonkoverslag of inbranding mogelijk
Selectieve warmte bv. alleen op water gericht	Beperkte capaciteit ovens/drogers (MG:0,2 MW; RF:2 MW)
Geen vermenging met verbrandingsgassen	Onvoorspelbare verontreinigingen geven onvoorspelbaar opwarmgedrag
Procescontrole goed te realiseren	
Vaak zeer hoog energierendement mogelijk	
Soms zeer specifieke voordelen haalbaar ²⁾	

²⁾ Bijvoorbeeld overgang van batch- naar continu processing, of minder materials handling, etc.

Principiële functies

Aan de diëlektrische technieken kunnen een aantal principiële functies worden toegekend. Deze functies zijn:

a. Drogen

Dit betreft het uitdampen of -koken van water. De hoge verliesfactor van water maakt het mogelijk water te verwarmen, terwijl de omringende stof relatief koud blijft. Hiermee kan in principe energie worden bespaard.

b. Uitdampen

Hierbij gaat het om de verwijdering van bestanddelen, zoals halogeen-koolwaterstoffen uit een vloeistof of matrix.

c. Ontleden

Dit betreft stoffen die boven een bepaalde temperatuur worden afgebroken.

d. Katalytische werking (p.m.)

Rechtstreekse beïnvloeding van (bijvoorbeeld) de afbraak van een stof door de elektromagnetische straling.

Over dit effect is nog weinig bekend.

e. Breken

Bij breken wordt het kristalwater van een stof in stoom omgezet, waardoor breuk optreedt (bijvoorbeeld in beton).

f. Scheiden

Door voornoemde differentiële verhitting kan men bijvoorbeeld 'gefractioneerd smelten', en aldus stoffen van elkaar scheiden.

g. Infrarood detectie

Door de differentiële verhitting tengevolge van diëlektrische verwarming met IR-detectie te meten, kan men verschillende stoffen van elkaar onderscheiden.

Bij de keuze van de te onderzoeken stoffen is gestreefd naar een goede verscheidenheid in benutting van voornoemde functies.

Onderzoek

Op basis van de voorgaande overwegingen zijn door TNO een aantal (afval)stoffen geselecteerd, ten behoeve van het onderzoek bij KEMA, namelijk:

- *Actief kool*, voor filtering van water en van lucht.
- *Beton*

- *Kunststofafvallen*, en wel LDPE, HDPE, nylon, PVC. Steeds zowel folie als plaatmateriaal.
- *Kabel*, vernet polyetheen (XLPE) met PVC mantel.
- *Verontreinigde grond* (PAK-houdende grond³⁾)
- *Extractieslib*, de fijne (meest vervuilde) fractie van slib van een aantal waterbodems.
- *Autobanden*, van personenauto's en van bedrijfswagens.

In dit vroege ontwikkelingsstadium is van deze stoffen alleen nagegaan, in welke mate zij gevoelig waren voor radiofrequente en microgolf-behandeling, door meting van de temperatuur als functie van de tijd.

Resultaten en gevolgtrekkingen uit het onderzoek

Uit de proeven is gebleken, dat droog actief kool, beton, verontreinigde grond, slib en rubber met diëlektrische technieken goed te verwarmen zijn. Op basis daarvan wordt het (met inachtname van de problematiek van de betreffende afvallen) zinvol geacht, onderzoek te starten naar:

- *Diëlektrische pyrolyse van rubberafvallen*

Dit leidt tot de produken als gas, roet, benzeen en metalen, die weer als grondstof kunnen worden verkocht.

- *Diëlektrische behandeling van extractieslib*

Dit slib, het meest verontreinigde deel van vervuilde grond of waterbodems, kan eerst mechanisch worden gedroogd. Daarna wordt het diëlektrisch verder gedroogd, de koolwaterstoffen etc. worden uitgedampt, en tenslotte zou het in korrels kunnen worden gesinterd, om de zware metalen te immobiliseren. Aldus kan een nieuw produkt uit dit afval worden vervaardigd.

- *Diëlektrische in situ reiniging van de bodem, door uitdampen van vluchtige verontreinigingen*

Dit is één van de weinige methoden om de bodem te reinigen, zonder dat hij behoeft te worden uitgegraven.

Een oriënterende vergelijking met enkele andere reinigingsmethoden wijst uit, dat diëlektrische in situ bodemreiniging financieel aantrekkelijk kan zijn.

3) PAK: Polycyclinisch Aromatische Koolwaterstoffen

Vergelijking wordt overigens bemoeilijkt, doordat de reinigingskosten sterk afhankelijk zijn van grondsoort en bodemgesteldheid.

Overige toepassingsmogelijkheden

Om na te gaan wat voor andere mogelijkheden er in principe bestaan, om diëlektrische verwarming in de milieutechnologie toe te passen, is aan een vrij groot aantal TNO-medewerkers gevraagd, met suggesties hierover te komen. Dit leidde tot een lijst van tientallen, soms nogal speculatieve, mogelijkheden.

Enkele van de meest veelbelovende daarvan zijn ook in financieel opzicht nader bezien. Een kleine selectie volgt hierna.

- Recycling afgewerkte smeerolie

Het is denkbaar, dat langs diëlektrische weg water en organochloorverbindingen uit afgewerkte smeerolie kunnen worden verwijderd (selectieve verwarming!). Daarnaast kunnen, langs andere weg, grove deeltjes en metalen worden afgescheiden. Het aldus verkregen produkt heeft minstens dezelfde kwaliteit als de zogenaamde "base oil", die voor de bereiding van smeerolie wordt gebruikt (om tot smeerolie te komen moeten dan nog de zogenaamde "blends" worden toegevoegd).

- Vitrificatie (verglazing) van afvalstoffen die zware metalen bevatten

De overheid streeft ernaar, de mobiliteit (uitloogbaarheid) van ongewenste stoffen in afval als één van de classificatie-criteria te gebruiken. Het kan daarom belangrijk zijn, stoffen te vitrificeren. Aldus kunnen hoge stortkosten worden vermeden en kunnen herbruikbare, grind-achtige produkten ontstaan. Men kan in dit verband onder andere denken aan diverse stof-, as- en slaksoorten als uitgangsmateriaal.

- Ontsluiten van anorganische en organische afvalstoffen

Hierbij gaat het om chemische omzetting van schadelijke afvalstoffen in minder schadelijke, respectievelijk om het losmaken van milieugevaarlijke of waardevolle bestanddelen uit een afvalstof. Daarnaast kan het geschikt maken van (bijvoorbeeld) afval uit de voedings- en genotsmiddelenindustrie voor dierlijke consumptie worden overwogen.

- Hergebruik van asfalt

Asfalt bezit een slechte warmtegeleidbaarheid. Dit beperkt thans het percentage hergebruik dat ter plaatse mogelijk is. Omdat met diëlektrische verwarming de warmtegeleiding geen rol speelt, kan aldus mogelijk een groter hergebruikpercentage worden bewerkstelligd. Deze techniek wordt al op enkele plaatsen toegepast; binnenkort ook in Nederland.

Conclusie

Uit het voorgaande blijkt, dat zich allerlei reële mogelijkheden voordoen, om diëlektrische technieken zinvol in de milieutechnologie toe te passen. Desondanks is het nauwelijks mogelijk, om daarvoor algemeen geldende criteria te formuleren.

De toepassingen bezitten een ad hoc karakter; het zijn marktniches. Die marktniches zijn wel steeds gebaseerd op het benutten van de specifieke voordelen van diëlektrische technieken ten opzichte van alternatieven.

Bijvoorbeeld de warmteontwikkeling in het materiaal zelf, betere procesbeheersing, ontbreken van verbrandingsgassen, kleine afmetingen van de de installatie, in bepaalde gevallen mogelijk de selectieve verwarming, etc.

Het voorgaande impliceert, dat de in deze studie verzamelde toepassingsvoorbeelden nooit 'compleet' kunnen zijn. In de verdere ontwikkelingsgang van de milieutechnologie zullen zich zeker nog andere opties voor diëlektrische technieken voordoen. Daarom is het goed, om deze technieken steeds mede te bezien, wanneer een milieutechnisch probleem door verwarming moet worden opgelost.

Het rapport 'Diëlektrische toepassingen in de milieutechnologie' kan worden besteld door overmaking van een bedrag van f 90,-, exclusief BTW op postgiro 416269 ten name van TNO-ME, Apeldoorn, onder vermelding van referentie nummer 90-250.

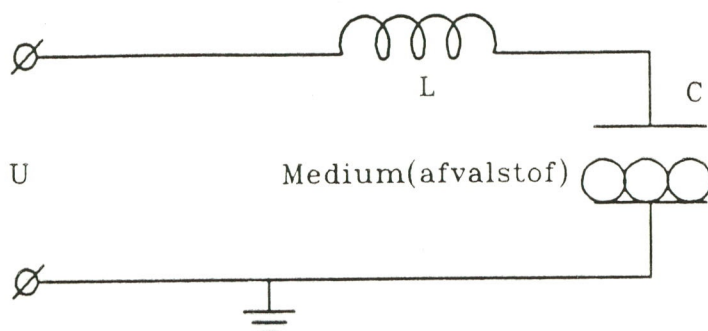
VERANTWOORDING

Met dank aan Ir. M. Hinseveld (TNO) en Ing. G.J. meijer (KEMA) voor hun bijdrage aan de totstandkoming van deze studie.

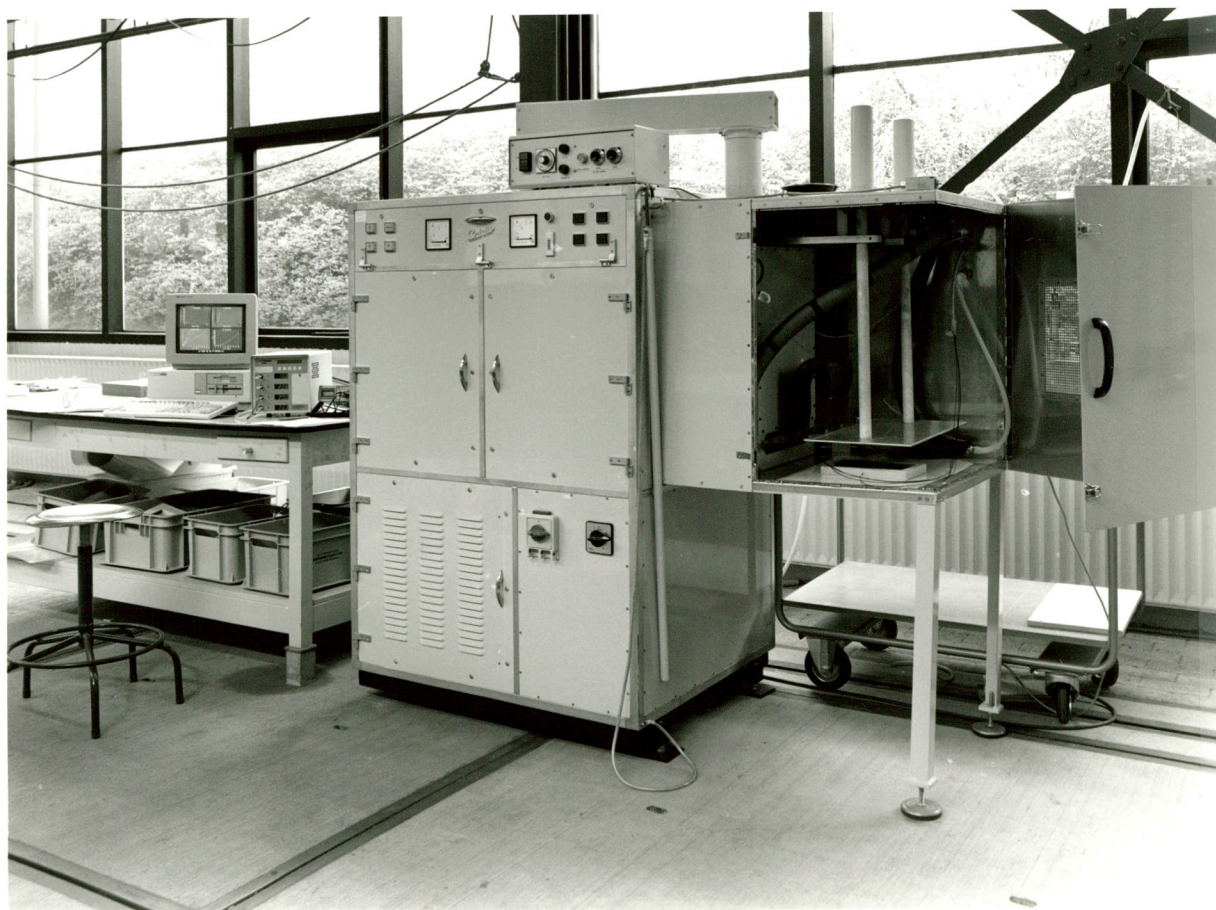
KADER: DE DIËLEKTRISCHE APPARATUUR BIJ KEMA

De radiofrequente installatie (27 MHz)

De radiofrequente generator levert een hoge spanning met een frequentie van 27 MHz, welke aan de belasting wordt aangeboden. Een vereenvoudigd schema van generator en belasting is afgebeeld in figuur 1. De opstelling zelf wordt in figuur 2 getoond.



Figuur 1 Schema van de 27 MHz installatie met belasting



Figuur 2 De radiofrequente installatie

De afvalstof bevindt zich tussen de platen van de condensator C in een wisselend elektrisch veld. Tengevolge van de veldsterkte in de afvalstof zal er vermogensontwikkeling in de afvalstof optreden. Afhankelijk van de grootte van de capacitieve belasting C wordt een spoel L voorgeschakeld die voor resonantie moet zorgen (LC-kring) zodat er een optimale vermogensontwikkeling in de afvalstof plaatsvindt.

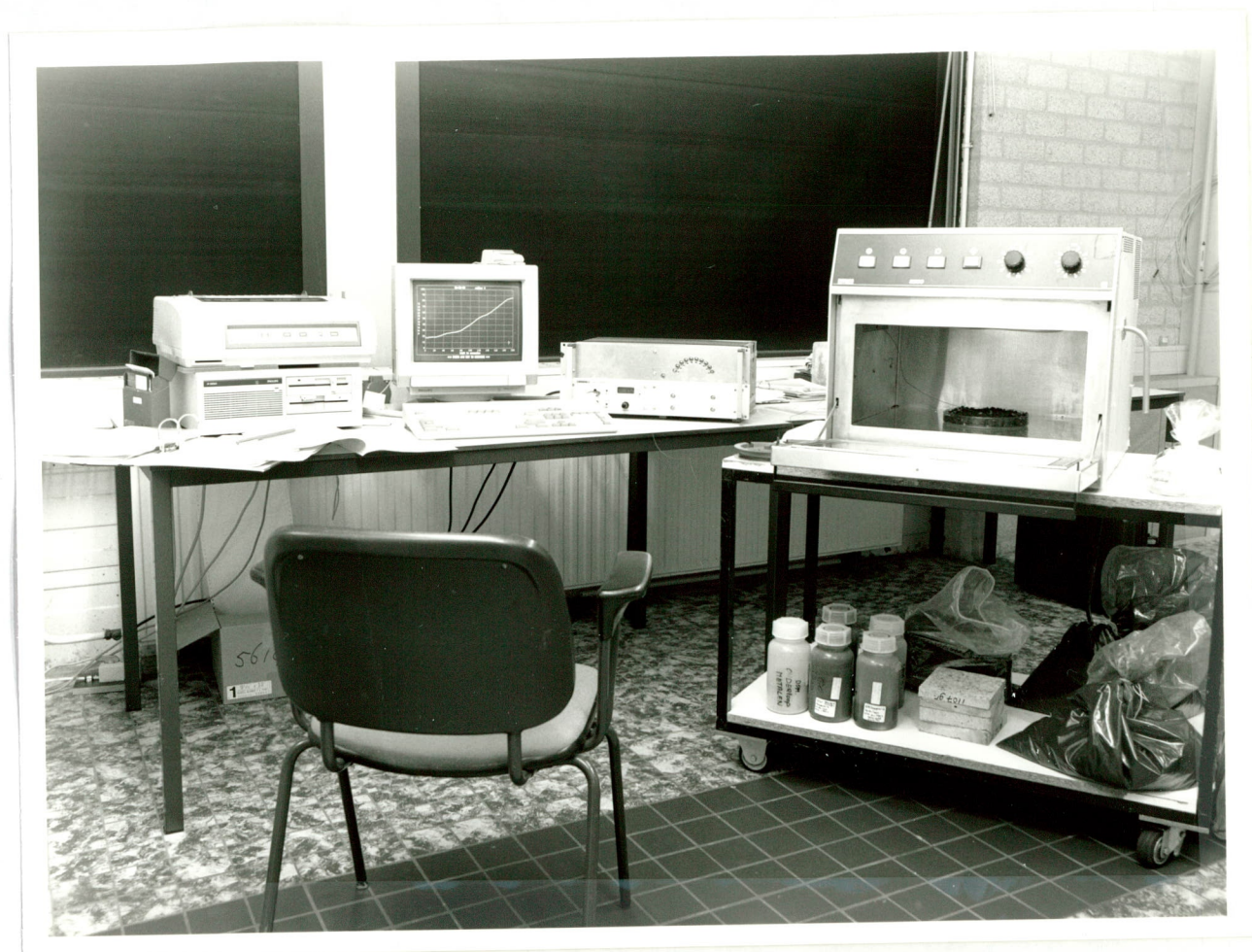
De waarde van C wordt bepaald door de diëlektrische eigenschappen van de verschillende afvalstoffen en de opstelling tussen de platen.

Aangezien de belasting zeer variabel is, moet proefondervindelijk een afgestemde LC-kring worden bepaald voor optimale verwarming. Tijdens de uitgevoerde experimenten is echter slechts gebruik gemaakt van één en dezelfde inductiviteit L.

Met behulp van een optische temperatuurmeter (LUXTRON; 4-kanaals) is de temperatuur gemeten; deze is met behulp van een schrijver vastgelegd. Hieruit is de temperatuurstijging per tijdseenheid bepaald. Tevens zijn spanningsmetingen over de elektroden uitgevoerd, om inzicht te verkrijgen in de veldsterkte tussen de elektroden.

De microgolfoven (2450 MHz)

De microgolfoven is een semi-professionele installatie, waarvan het vermogen op verschillende manieren te regelen is. Met behulp van een optische temperatuurmeter (ASEA; 1-kanaals) is de temperatuur in de afvalstof gemeten; deze is met een op de sensor aangesloten computer verwerkt. Ook nu is de temperatuurstijging per tijdseenheid bepaald. Figuur 3 toont een foto van de microgolf installatie en het temperatuur-meetsysteem.



Figuur 3 De microgolfoven en het temperatuurmeetsysteem

