

5.Kontinue mikrogolfdestillasie

5.1.Inleiding

Die resultate van die enkelladingsdestillasie-eksperimente beskryf in die voorafgaande hoofstuk het daartoe gelei dat prototipes kontinue mikrogolfdestillasieapparaat ontwerp kon word.

Die gegewens verstrekk in paragraaf 2.2.4. en die onderafdelings daarvan word in die direkvolgende paragrawe toegelig en uitgebrei. Die iteratiewe ontwerpproses sal eenmalig deurgevolg word om as eerste iterasie te dien. Die mikrogolfoond gebruik vir die enkelladingseksperimente en water as oplosmiddel sal gebruik word om die ontwerp mee te illustreer. Geen kontinue mikrogolfdestillasieapparaat is eksperimenteel geëvalueer nie.

Van die inligting verstrekk in hierdie hoofstuk, bv. paragraaf 5.2.1., is ook van toepassing op die enkelladingsmikrogolfdestillasieapparaat, maar word eers in hierdie hoofstuk vermeld omrede dit eers van toepassing geraak het tydens ontwerp van die kontinue apparaat.

5.2.Kontinue mikrogolfdestillasietoerusting ontwerp algoritme

5.2.1.Termiese effektiwiteit van die mikrogolfoond

Die effektiwiteit waarmee die spesifieke mikrogolfoond gebruik elektriese energie in termiese energie kon omskakel is as volg bereken:

Water (1400 ml) is in 'n 2000 ml glasbeker geplaas wat aan die bokant ontbloot aan die atmosfeer gelaat is. Sodanige ladingsmassa water is genoegsaam om al die insetenergie in hierdie tipe huishoudelike mikrogolfoond te absorbeer (soos vermeld in paragraaf 2.2.3.5.). Die glasbeker is aan verskillende oondposisies onderwerp om die wisselende elektromagnetiese veldverspreidingspatroon deur die oond in ag te neem, veral aangesien die ontwerpde distillasieapparaat nodale sowel as antinodale gebiede in die oondruimte deurkruis.

Irradiasietydsduur is beperk tot 120 s soos gemeet met 'n akkurate tydskakelaar wat onafhanklik van die mikrogolfoond tydmeganisme was. 'n Voldoende temperatuurstyging is oor hierdie tydperk waargeneem en verdamping uit die glasbeker is grootliks verhoed¹.

Die eksperimentele resultate van Tabel 5.2.1.1. is bereken met vgl. (5.2.1.1.); waar die toegevoegde energie (δE) gelyk is aan die produk van die temperatuurverandering (δT), massa water ($m = 1.4$ kg) en spesifieke warmtekapasiteit van water ($C_p = 4.18$ kJ/kg K oor die gemete temperatuurgebied).

$$\delta E = m C_p \delta T \dots\dots (5.2.1.1.)$$

Omdat glas deurlaatbaar vir mikrogolfstraling is, is die glasbeker self se temperatuurstyging gedurende die eksperimente weglaatbaar klein. Die glasbeker se massa is daarom nie in berekening gebring tydens die termiese effektiwiteit bepaling nie.

Tabel 5.2.1.1. : Mikrogolfoond termiese effektiwiteit bepaling

Lopie nr.	T _{Begin} (K)	T _{Einde} (K)	Energie toegevoeg (kJ)
1	294.2	306.7	73.2
2	294.4	305.8	66.7
3	294.4	306.4	70.2
4	294.3	306.4	70.8

Die gemiddelde hoeveelheid energie toegevoeg tot die lading water is 70.2 kJ gedurende 120 s, oftewel nagenoeg 0.59 kJ/s. Die oonddrywing word deur die vervaardigers aangedui as 1400 W (Terblanché, 1995: 58), maar hierdie waarde kan, soos vermeld in paragraaf 2.2.3.5., met tot 20% wissel. Die oonddrywing is elektries gemeet as 1440 W, oftewel 1.44 kJ/s. Hierdie waardes

¹ Water se latente verdampingswarmte (2440 kJ/kg by 298 K) verskil ordegrottes van die termiese warmtekapasiteit (4.18 kJ/kg K by 298 K) daarvan en enkele molekules wat verdamp beïnvloed die resultate drasties.

toon dat termiese energie vanaf elektriese energie omgeskakel word teen 'n effektiwiteit van 0.59/1.44 = 0.41%.

Die energie inset na die magnetron alleen is elektries gemeet as ca. 917 W oftewel 0.917 kJ/s. Dit beteken die magnetron gebruik 0.917/1.44 = 63.7% van die insetenergie en die draaitafel, gloeilampie, waaier, ens. die res, nl. 36.3%. Die effektiwiteit waarmee die magnetron alleen beskou elektriese energie na termiese energie omskakel is 0.59/0.917 = 64.3%.

Energieverliese sluit terugweerkaatsing na die magnetron en afsnygolfeleiding deur die metaalroosters wat die gloeilampie en oonddeur bedek in. Die berekende magnetron effektiwiteit is in ooreenstemming met literatuurwaardes vermeld in paragraaf 2.2.3.1., nl. 60–65% (Zlotozynski, 1995).

5.2.2. Ontwerp van 'n geskikte afsnygolfeleier

Afsnygolfeleiers gemeld by die mikrogolfapparate wat ondersoek is (sien paragraaf 2.2.4.3.), is geskik as lug daardeur beweeg, maar stralingslekkasies sal voorkom as hoogs polêre oplosmiddels soos water deurgepomp word. Formules gebruik vir ontwerp van sulke afsnygolfeleiers is vereenvoudigings vir gebruik by 'n vloeier met relatiewe permittiwiteit van 1, bv. lug. Die toepassing van mikrogolfstraling vir gebruik by 'n kontinue mikrogolfdestillasie sisteem wat gebruik maak van 'n polêre oplosmiddel sal die volgende bykomende inligting t.o.v. afsnygolfeleiding benodig:

Dit is moontlik om verskeie voortplantingsmodusse van elektromagnetiese straling deur 'n golfeleier te stuur. Hierdie modusse stem ooreen met verskillende oplossings van Maxwell se vergelykings opgelos vir 'n spesifieke golfeleier (Liao, 1990: 102). In 'n sirkelvormige silindriese (buisvormige) golfeleier sal 'n elektromagnetiese vlakgolf wat daardeur beweeg resulteer in transvers elektriese (TE) sowel as transvers magnetiese (TM) modusse (Bhartia & Bahl, 1984; Seeger, 1986: 59; Liao, 1990: 119). In sodanige golfeleier word die elektriese- en magneetvelde beperk tot die binnewande van die golfeleier (Liao, 1990: 102).

'n Gegewe golfeleier beskik oor 'n definitiewe afsnyfrekwensie (f_c) vir elke modus. As die

frekwensie (f) van die sein hoër is as die afsnyfrekwensie vir 'n gegewe modus, word elektromagnetiese energie deur die golfgeleier gestuur sonder dat verswakking daarvan plaasvind. Indien elektromagnetiese straling met 'n frekwensie laer as die afsnyfrekwensie (vir die spesifieke modus) deur die golfgeleier beweeg, verminder die elektromagnetiese golfenergie tot 'n weglaatbare lae waarde binne 'n relatiewe kort afstand (Liao, 1990: 102).

Die dominante modus in enige golfgeleier is dié modus wat oor die laagste afsnyfrekwensie beskik. Daar word aanbeveel dat die afmetings van 'n (afsn)y golfgeleier sodanig gekies word as om te verseker dat, vir 'n gegewe sein, slegs die energiewaardes van die dominante modus deur die (afsn)y golfgeleier gestuur in berekening gebring word (Liao, 1990: 102).

Die dominante modus (oftewel modus van laagste afsnyfrekwensie) in 'n buisvormige golfgeleier is die modus TE_{11} m.a.w. daardie modus waarvoor die produk $k_c a$ die laagste waarde het, nl. $k_c a = 1.841$ (Bhartia & Bahl, 1984; Seeger, 1986: 64; Liao, 1990: 129; Helszajn, 1992). Hier is k_c die afsnygolfgetal, a die radius van die buisvormige golfgeleier en TE_{11} 'n spesifieke transvers elektriese modus.

Die afsnyfrekwensie vir modus TE_{11} word gegee deur (Seeger, 1986: 61; Liao, 1990: 125)

$$f_{c_{TE_{11}}} = \frac{k_{c_{TE_{11}}} a}{2 \pi a \sqrt{\mu_x \epsilon_x}} \dots\dots(5.2.2.1.)$$

waar μ_x en ϵ_x onderskeidelik die permeabiliteit en permittiwiteit is van die materiaal wat die golfgeleier vul. Vir die meeste materiale (insluitend hout (Liao, 1990: 524)) is $\mu_x = \mu_o = 4 \pi \times 10^{-7}$ H/m (Seeger, 1986: 13). Verder geld (Seeger, 1986: 12)

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_o} \dots\dots(5.2.2.2.)$$

sodat substitusie hiervan in vgl. (5.2.2.1.) lei tot

$$f_{c_{TE_{11}}} = \frac{k_{c_{TE_{11}}} a}{2 \pi a \sqrt{\mu_o \epsilon_o \epsilon_r}} \dots\dots(5.2.2.3.)$$

Die relatiewe permittiwiteit van lug is 1 (Seeger, 1986: 11). Water se relatiewe permittiwiteit is 80 en dié van droë hout 1.5–4 (Liao, 1990: 524). Nat hout (en dus plantmateriaal) se ϵ_r waarde sal derhalwe tussen 1 en 80 lê. Deur die konstantes (ϵ_o en μ_o), k_{c_a} {Modus TE_{11} } = 1.841 en f_c {Modus TE_{11} vir huishoudelike mikrogolfoond} = 2450 MHz in bg. vergelyking in te vervang resulteer die volgende:

$$(a_{maks})^2 \epsilon_r \approx 0.001285 \dots\dots(5.2.2.4.)$$

Vir lug (met $\epsilon_r = 1$) is a_{maks} = 35.9 mm d.w.s. 'n buis met 'n diameter van 71.7 mm. Vir 'n water (en konserwatief plantmateriaal sowel as water) gevulde buis (met $\epsilon_r = 80$) is a_{maks} = 4.01 mm oftewel 'n buis met diameter 8.02 mm. Geen buis afsnygolfeleier met 'n deursnit groter as of gelyk aan 8.02 mm kan gebruik word as water as oplosmiddel aangewend wil word in 'n huishoudelike mikrogolfoond nie. By sodanige maksimum buisdeursnit is $f = f_c$ en golfvoortplanting vind plaas.

Vir modus TE_{11} by a_{maks} (t.o.v. die materiaal wat die buis vul) in 'n huishoudelike mikrogolfoond (2450 MHz) is f_c vir die buis golfeleier 2450 MHz. Indien verswakking van die elektromagnetiese energie moet plaasvind moet die buisdiameter verklein word. Dit kan aangetoon word deur eenvoudig die toepaslike waardes in vgl. (5.2.2.3.) en (5.2.2.4.) te vervang.

Die modus voortplantingskonstante (m.a.w. vir $f > f_c$) is (Seeger, 1986: 63–64; Liao, 1990: 105–106, 125; Helszajn, 1992)

$$\beta = \sqrt{(2\pi f)^2 \mu_o \epsilon_o \epsilon_r - k_c^2} \dots\dots(5.2.2.5.)$$

wat 'n imaginêre getal is en daarop dui dat die golf voortplant deur die golfgeleier. Die modus verswakingskonstante (m.a.w. vir $f < f_c$) is (Liao, 1990: 106, 125)

$$\alpha = \sqrt{k_c^2 - (2\pi f)^2 \mu_o \epsilon_o \epsilon_r} \dots\dots(5.2.2.6.)$$

wat beteken dat as die bedryfsfrekwensie laer is as f_c verminder die golfenergie eksponensieel totdat géén golfvoortplanting geskied nie omrede die voortplantingskonstante 'n reële getal is (Liao, 1990: 106).

Die modus verswakingskonstante (α) gee verswakking van elektromagnetiese stralingsenergie per buislengte-eenheid van die golfgeleier. By $f < f_c$ vind golfverswakking só vinnig plaas dat die golf effektief nie voortplant nie sodat geen drywingsenergie oorgedra word nie (Seeger, 1986: 57).

Die desibel (dB) is 'n dimensielose getal wat die verhouding van twee drywings uitdruk (Seeger, 1986: 16; Liao, 1990: 529), nl.

$$dB = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \frac{P_{Uitset}}{P_{Inset}} \dots\dots(5.2.2.7.)$$

Daar is twee tipes drywingsverlies in 'n golfgeleier nl. verliese in die diëlektrikum wat die geleier vul en verliese in die wande van die geleier (Liao, 1990: 113). Vir 'n lae verlies golfgeleier verminder die tyd-gemiddelde drywingsvloei eweredig aan $e^{-2\alpha L}$ waar L 'n sekere lengte golfgeleier voorstel sodat (Liao, 1990: 113–114, 133)

$$P_{tr} = (P_{ir} + P_L) e^{-2\alpha L} \dots\dots(5.2.2.8.)$$

waarin P_{tr} die versende drywing deur die golfgeleier en P_L die drywingsverlies deur die golfgeleier is. Daaruit volg

$$P_{tr} = P_{Uitset} = P_2 \quad \dots\dots(5.2.2.9.)$$

asook

$$P_L = P_{Inset} - P_{Uitset} = P_1 - P_2 \quad \dots\dots(5.2.2.10.)$$

Indien vgl. (5.2.2.9.) en (5.2.2.10.) in vgl. (5.2.2.8.) vervang word volg

$$P_2 = (P_2 + P_1 - P_2) e^{-2\alpha L} = P_1 e^{-2\alpha L} \quad \dots\dots(5.2.2.11.)$$

Indien vgl. (5.2.2.11.) vervang word in vgl. (5.2.2.7.) resulteer

$$dB = 20 \log_{10} e^{-\alpha L} \quad \dots\dots(5.2.2.12.)$$

Vir 'n verswakking van 40 dB in vgl. (5.2.2.7.) geld

$$-40 = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \text{ oftewel } P_2 = 0.0001 P_1 \quad \dots\dots(5.2.2.13.)$$

Vanuit vgl. (5.2.2.13.) is dit duidelik dat P_2 (P_{Uitset}) \ll P_1 (P_{Inset}). Met sodanige drywingsverswakking in vgl. (5.2.2.12.) volg

$$-40 = 20 \log_{10} e^{-\alpha L} \text{ oftewel } 4.605 = \alpha L \quad \dots\dots(5.2.2.14.)$$

waaruit die golfgeleierlengte bereken kan word indien die modulus verswakkingskonstante bekend is. Indien hierdie stel berekeninge ter illustrasie toegepas word op twee afsnygolfgeleiers; een met lug gevul en een watergepul, resulteer die waardes van Tabel 5.2.2.1.

Tabel 5.2.2.1. : Afsnygolfgeleier ontwerp voorbeelde

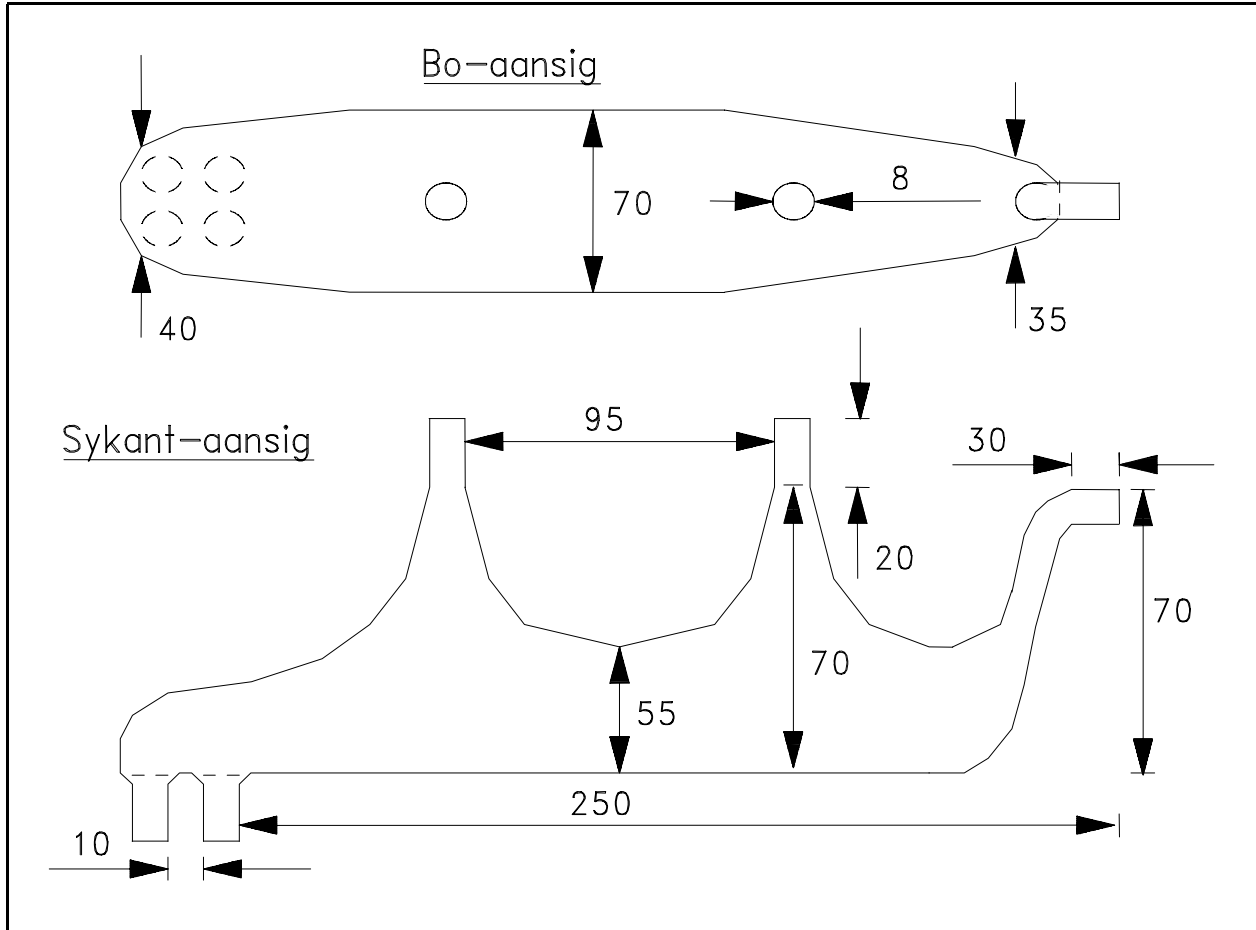
Lug afsnygolfgeleier (Diameter = 30 mm)	Water afsnygolfgeleier (Diameter = 6.5 mm)
$r = 0.015 \text{ mm}$	$r = 0.00325 \text{ mm}$
$k_c \quad 122.7 \text{ neper/m}$	$k_c \quad 566.5 \text{ neper/m}$
$\epsilon_r = 1$	$\epsilon_r = 80$
$\alpha \quad 111.5 \text{ neper/m}$	$\alpha \quad 331.6 \text{ neper/m}$
$L_{40 \text{ dB}} \quad 4.13 \text{ cm}$	$L_{40 \text{ dB}} \quad 1.39 \text{ cm}$

Koperbuis met binnediameter 6.5 mm en 'n lengte van 2.5 cm sou gevolglik geskik wees as afsnygolfgeleiers. Alle afsnygolfgeleiers moet op 'n doeltreffende wyse geaard wees, en nie bloot d.m.v. eenvoudige elektriese draadkoppeling (wat oneffektief is by hoë frekwensie elektromagnetiese stralingstoepassings) nie. Daar moet gebruik gemaak word van hoë frekwensie elektries geleidende lint en -hegtingsmateriaal wat spesiaal vir mikrogolfstralingstoepassings vervaardig is (Joubert, 1998).

5.2.3. Distillasieapparaat ontwerp

Indien 'n huishoudelike mikrogolfoond gebruik wil word, moet gebruik gemaak word van 'n distillasieapparaat. Verskillende aansigte van 'n voorbeeld van só 'n distillasieapparaat word getoon in Figure 5.2.3.1. en 5.2.3.2. Alle afmetings getoon is in mm.

Figuur 5.2.3.1. : Bo- en sykant-aansig van die kontinue distillasieapparaat



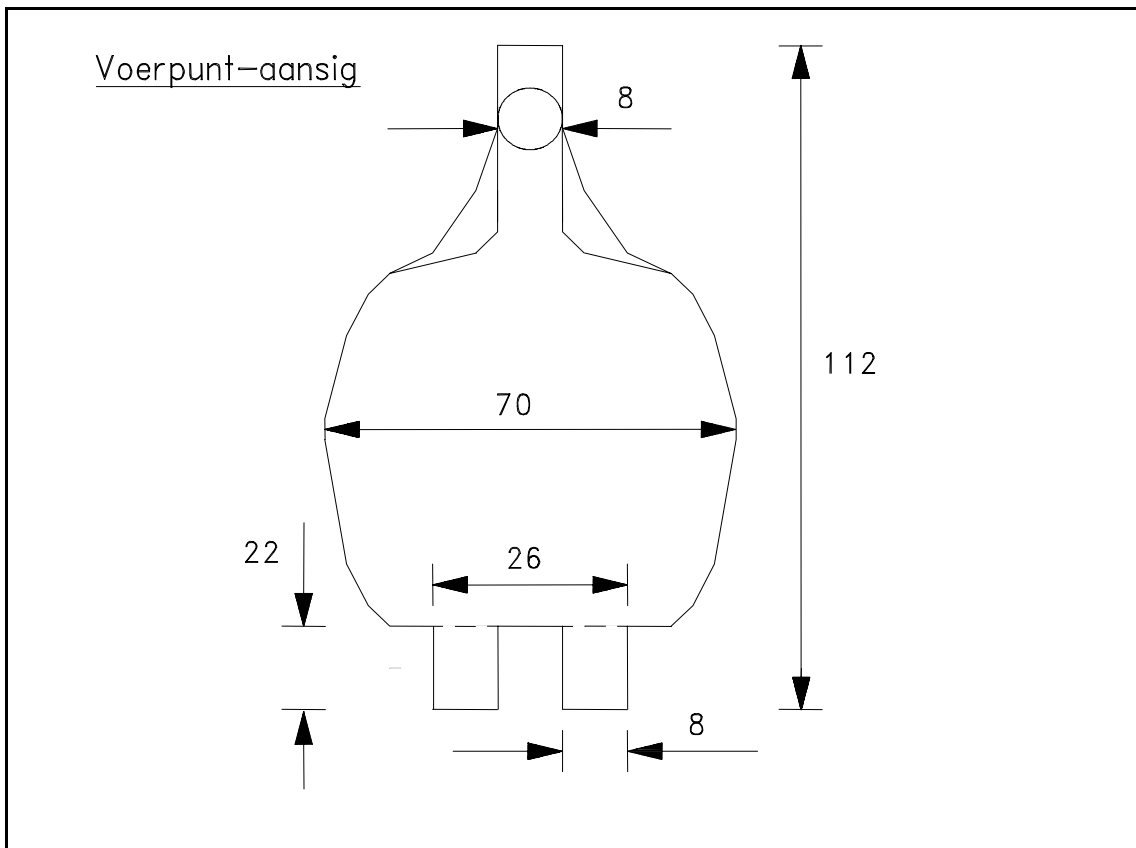
Daar bestaan komplekse wisselwerkinge tussen al die veranderlikes betrokke maar die belangrikste aspekte waaraan oorweging geskenk is gedurende die ontwerp was:

5.2.3.1.Ladingsgrootte

Daar is gepoog om 'n geskikte gebied te vind t.o.v. die grootte wat die bedryfslading kan aanneem: Groter voorwerpe absorbeer meer stralingsenergie maar neem langer om te verhit. Die oondrywing is 'n konstante en gevolglik word 'n stadium bereik tydens inkrementele ladingsvergroting waar die oond nie meer in staat is om die voer genoegsaam te verhit vir verdampingsdoeleindes nie. Daar bestaan ook 'n versadigingspunt vir die hoeveelheid mikrogolfenergie wat deur 'n gegewe massa plantmateriaal geabsorbeer kan word (paragraaf

2.2.3.7.1.). Te klein ladings lei weer tot magnetronfaling.

Figuur 5.2.3.2. : Voerpunt-aansig van die kontinue distillasieapparaat



Deur die vlak van die mengsel in die distillasieapparaat te wissel kan die ladingsgrootte gewissel en die optimumgrootte vir gevraagde bedryfstoestande bepaal word.

5.2.3.2.Mengseldigtheid

Die mengselsamestelling verander heeltyd tydens verhitting en dus verander die mengseleienskappe voortdurend gedurende 'n distillasielopie.

By die enkelladingsproses is heel blare en blomhofies gebruik. Indien water gebruik word, is die afsnygolfgeleierdiameter maksimaal 8.02 mm, soos bereken in paragraaf 5.2.2. Dit sal daartoe lei

dat fyn verdeelde plantmateriaal gebruik moet word. (Om vloeiprobleme deur die klein deursnit afsnygolfeleiers te bekamp.)

Fyn plantmateriaal is meer homogeen wat lei tot meer homogene verhitting (paragrafe 2.2.3.4. en 2.2.3.9). Hoe hoër die plantmateriaaldigtheid is hoe groter is die mikrogolfenergieabsorpsie maar hoe laer die indringingsdiepte (paragraaf 2.2.3.6.). Hoe hoër die mengseldigtheid is hoe langer neem verhitting gevolglik (paragraaf 2.2.3.4.).

5.2.3.3. Indringingsdiepte

Die indringingsdiepte van mikrogolfstraling in water is ca. 58 mm by 373 K (paragraaf 2.2.3.6.). Die waarde vir 'n water en plantmateriaalmengsel is as naastebly dieselfde aanvaar, en die prototipe-apparaat dwarsdeursnit is daarom 70 mm. 'n Groter indringingsdiepte lei tot meer uniforme verhitting en verminder oppervlakverhitting.

5.2.3.4. Oplosmiddelkeuse

'n Hoë voginhoud beteken hoë mikrogolfenergieabsorpsie en lae indringingsdiepte (paragraaf 2.2.3.6.). Hierdie feit in isolasie beskou lei tot 'n verlengde verblyftyd relatief tot die enkelladingsdistillasietyd. Termodinamiese eienskappe soos die hoër kookpunte wat vloeistowwe vertoon onder gepolariseerde toestande (paragraaf 2.2.3.3.) beïnvloed die verblyftyd verder nadelig.

Die vloeistofmengsel se oppervlaktemperatuur stabiliseer op 'n temperatuur 373 K omrede watermolekules voortdurend verdamp. Temperatuurstabilisering vermy oorverhitting en smelting van die apparaat.

Koking en die gepaardgaande turbulensie wat dit teweegbring verseker voortdurende mengselhomogeniteit in die apparaat. Die turbulensie verseker ook uitspoeling van afvalmateriaal by die gesonke uitlaatopening. Gestratifiseerde temperatuurprofiële en kanaalvorming word grootliks verhoed.

5.2.3.5. Geometriese oorwegings

Die apparaat is ontwerp vir uniforme verhitting en gebrande aromas, verliese in koue sones, oorverhitting in warm sones, ens. is sover moontlik vermy.

Radiale temperatuurprofile van geboë houers vertoon 'n verhoging in temperatuur gerig op die houermiddelpunt vir houers kleiner as ongeveer 11 cm deursnit (paragraaf 2.2.3.7.2.). Hierdie effek gaan oppervlakverhitting teen.

Die distillasiefles hang in die lug en staan nie op die oondbodem nie sodat straling dit ook van onder af kan bereik. Dit besit slegs geronde hoeke om hitte-konsentrering te bekamp (paragraaf 2.2.3.8.). Reëlmatige vorms lei tot meer egalige verhitting (paragraaf 2.2.3.7.1.) en die apparaat is simmetries om 'n vertikale lengte-as ontwerp.

Die bootvorm van die apparaat bespoedig materiaalvloeï daardeur. Gravitasiëkrag word benut by die uitlaatopeninge om afvalmateriaalverwydering te bespoedig sowel as by die inlaat waar die voerlyn hoër as die apparaatbodem geleë is. Die apparaatbodem aan die inlaatkant beskik oor 'n helling afwaarts in die vloeirigting om materiaalvloeï te verbeter.

Voorsiening is gemaak vir effektiewe hitte- en massa-oordrag. Daar is een inlaat- en vier uitlaatstrome om verstoppings te beperk. Soortgelyk is daar twee damplyne omrede meer damp gegenereer word as by die enkelladingsdistillasieapparaat. Al sewe openinge van die apparaat het 'n gestandaardiseerde deursnit van 8 mm en slegs een dikte silikonrubberbuis hoef vir hersteldoeleindes aangeskaf te word.

Elektriese veldintensiteit verskil deur die oond en is maksimum by antinodusse (paragraaf 2.2.3.5.). Die apparaat is langer as die bedryfsgolflengte van ca. 12 cm (paragraaf 2.2.3.1.) en deurkruis antinodale sowel as nodale gebiede van wisselende elektriese veldintensiteite om die invloed hiervan te minimeer.

Die interne elektromagnetiese veldprofile in die distillasieapparaat is nie-uniform (paragraaf

2.2.3.8.). Dit impliseer nie-uniforme temperatuurprofiële met nie-uniforme verhitting en afdistillering van aromas. Die voortgesette materiaalvloei verseker egter dat al die sones in die apparaat deurkruis word om sodoende nie-uniformiteit in te perk.

5.2.4.Voorgestelde apparaatopstelling

Alle verbindingslyne kan silikonrubberbuise wees wat pas oor plastiekhegstukke met toepaslike deursneë.

5.2.4.1.Voerstroam tot die mikrogolfoond

As voertenk kan 'n plastiekemmer gebruik word. Dit is geredelik beskikbaar en goedkoop. 'n Monopomp verteenwoordig waarskynlik die beste pompkeuse, omrede die skroefvoermeganisme en positiewe verplasing verstoppings daarin sal minimeer.

Verskillende konfigurasies vir die voertenk met die voerlyn daaruit bestaan, insluitend 'n lyn wat die tenk in die middelpunt van die bodem daarvan afwaarts verlaat. Dit sal egter beteken dat daar nie van 'n magnetiese roerder gebruik gemaak kan word om mengselhomogeniteit te verseker nie.

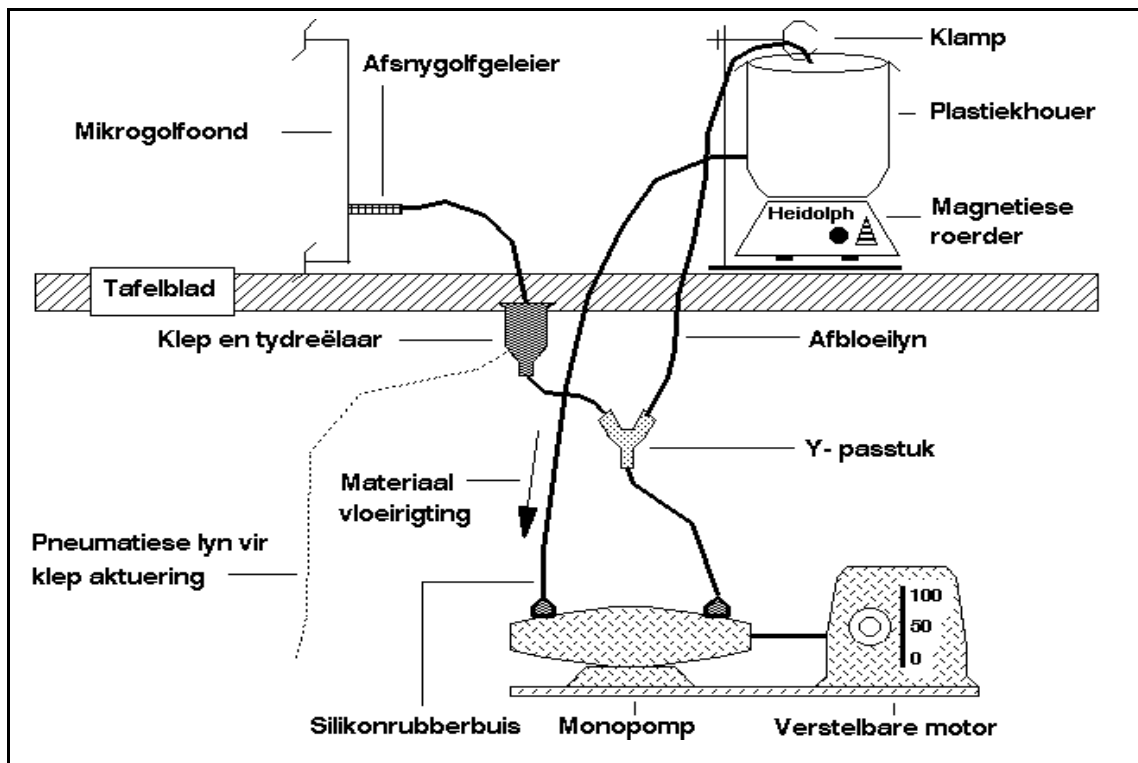
'n Geskikte konfigurasie (getoon in Figuur 5.2.4.1.1.) laat plantmateriaal sedimentering onderkant die vlak van die voerlyn toe sodra die magnetiese roerder na 'n lopies afgeskakel word. Plantdeeltjies akkumuleer daarom nie in die voerlyn nie maar by voorkeur daaronder en vervolgens word verstoppings in die eerste deel van die voerlyn beperk. Die monopomp kan ook makliker met water gespoel word na gebruik met die gekose konfigurasie.

Indien die monopomp nie onmiddellik na gebruik met water deurgewas word nie, kan plantdeeltjies alreeds daarin aanwesig afsak na die bodem daarvan. Hierdie situasie mag lei tot verstoppings aan die voerkant tot die pomp. (Sodra die pomp weer aangeskakel word akkumuleer plantmateriaal te vinnig by die voerkant van die pomp a.g.v. botsings met plantmateriaalreste alreeds daarbinne aanwesig en die voerlyn verstop dan. Dit sal fisiese verwydering van plantmateriaal uit die pomp uit noodsaak.)

'n Deel van die voerstroam kan afgebloeie word ten einde die stroomvloeiempo genoegsaam te verminder as die laagste monopompvloeiempo so hoog is dat gestadigde verdamping en

gestadigde staat nie bereik kan word nie. Die afbloeilyn kan uitmond in die voertenk. Dit kan

Figuur 5.2.4.1.1. : Voerstroom tot die mikrogolfoond

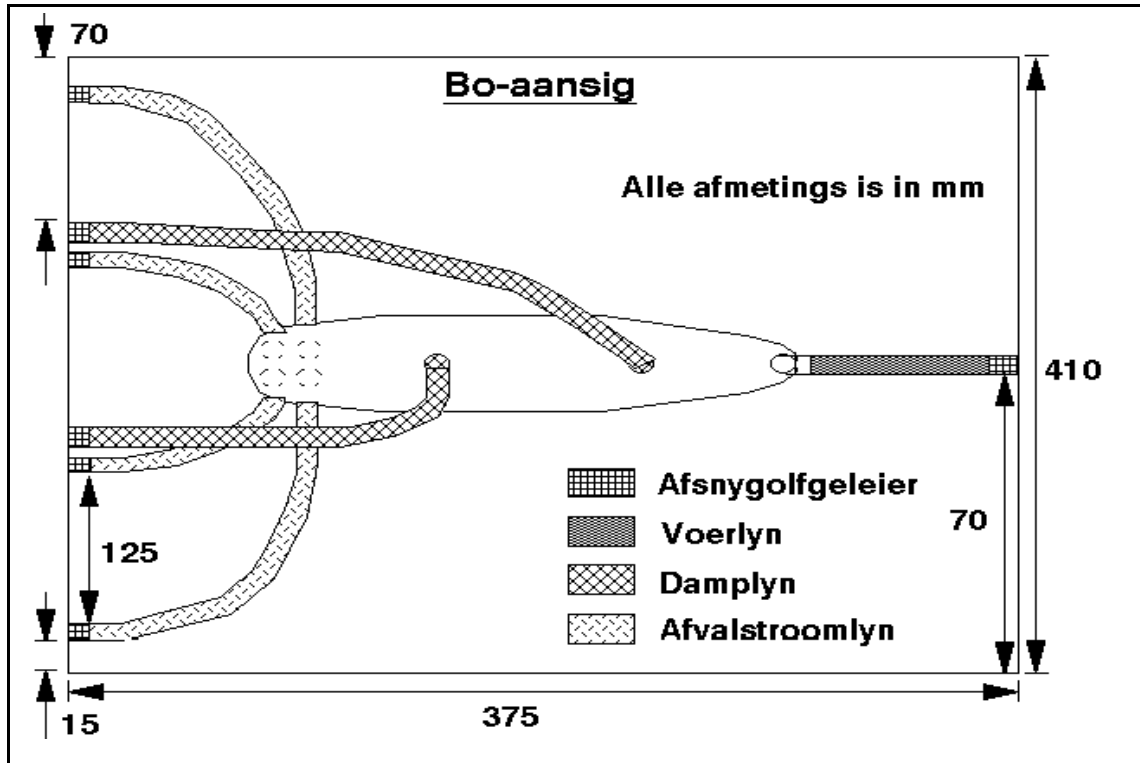


vermag word deur gebruikmaking van 'n klep en 'n tydreëlaar wat die vloeï voortdurend wissel tussen die afbloeilyn en die toevoerlyn tot die oond. ('n Kontinue toevoer tot die oond kan benader word deur die klep elke paar sekondes te open en dan na 'n paar sekondes weer te sluit.)

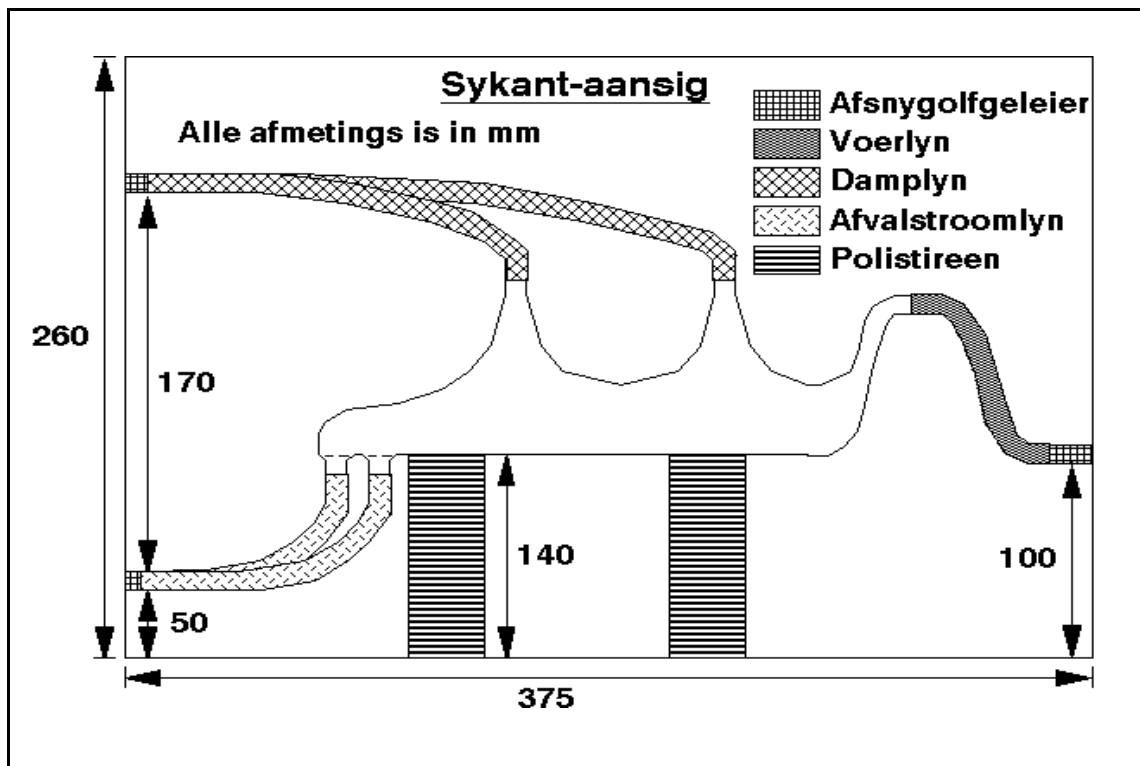
5.2.4.2. Binne-in die mikrogolfoond

'n Moontlike opstelling binne-in die oond word getoon in Figure 5.2.4.2.1. en 5.2.4.2.2. Daar kan gebruik gemaak word van polistireen voetstukke waarop die distillasieapparaat binne-in die oond geplaas word. Polistireen is mikrogolfdeurlaatbaar en smelt nie onder bedryfstoestande nie. 'n Mate van verhitting sal egter waargeneem word a.g.v. geleidingshitte-oordrag vanaf die distillasieapparaat na die polistireen.

Figuur 5.2.4.2.1. : Bo-aansig van opstelling binne-in mikrogolfoond



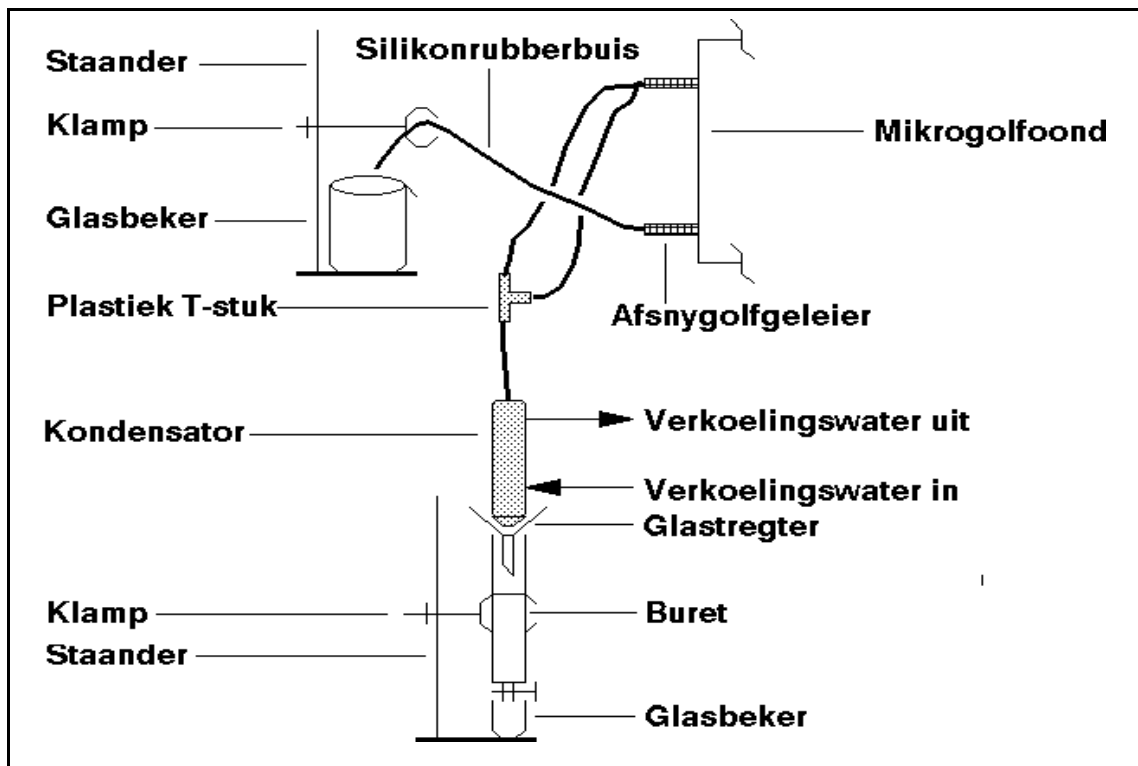
Figuur 5.2.4.2.2. : Sykant-aansig van opstelling binne-in mikrogolfoond



5.2.4.3. Strome uit mikrogolfoond uit

'n Moontlike konfigurasie vir die afval- en produkstroomlyne uit die mikrogolfoond uit word getoon in Figuur 5.2.4.3.1.

Figuur 5.2.4.3.1 : Vloeistrome uit die mikrogolfoond uit



5.2.5. Plantmateriaalvoorbereiding

'n Kontinue sisteem sal fyn verdeelde plantmateriaal benodig soos genoem in paragraaf 5.2.3.2. Om die invloed hiervan te ondersoek is die volgende gedoen:

Om die gewenste verdelingsgraad te verkry is plantmateriaal gekerf met 'n Townson & Mercer Ltd. Top Drive Macerator teen 230 V en 0.4 A vir ca. 20-30 s. Hierna is die fraksie plantdeeltjies fyner as 1 mm elektries uitgesif met 'n Fritsch Laborgerätebau wat bedryf is by 220 V, 2.3 A en 500 W teen 'n verstelbare amplitude van 2.5 wat aan gelaat is vir ca. 120 s.

Plantmateriaalbrokstukke groter as 1 mm is uit die elektriese sif verwyder en weer toegevoer tot die kerwer, tesame met lugdroë blomhofies en blare wat vir 'n eerste keer tot die kerwer bygevoeg is. Die hele proses is hierna herhaal.

Die invloed van hierdie toegepaste plantmateriaal voorbereidingsmetode op olie-opbrengs word

getoon in Tabel 5.2.5.1., waar waardes bepaal is deur waterdistillasie uit te voer soos beskryf in die vorige hoofstuk.

Tabel 5.2.5.1. : Invloed van plantmateriaalvoorbereiding op olie-opbrengs (Waterdistillasie)¹

Plantmateriaal beskrywing	Olie opbrengs (%)
Lugdroog, 370 dae tevore gekerf en gesif, 1 mm	0.76
Lugdroog, 370 dae tevore gekerf en gesif ² , > 1 mm en 2.36 mm	0.83
Lugdroog, pas gekerf en gesif, 1 mm	1.73
Lugdroog, pas gekerf en gesif, > 1 mm en 2.36 mm	0.91
Lugdroog, heel ³	1.05
Vars, heel ^{3,4}	0.61

- Notas:
- (1) Waardes is bepaal deur gebruikmaking van ca. 200 g plantmateriaal per datapunt.
 - (2) Die twee groottes siwwe wat gebruik is het openinge van 1 mm en 2.36 mm gehad.
 - (3) Waardes verkry vanaf paragraaf 4.1.3.
 - (4) Te vars plantmateriaal is versap en kon nie bevredigend gesif word nie. Hoe droër die plantmateriaal was hoe makliker is dit hanteer.

Die opbrengste getoon verteenwoordig 'n balans tussen die volgende meganismes: Hoe kleiner plantdeeltjies verdeel is hoe meer oliekliere word blootgestel vir olieherwinning, totdat die maksimum aantal kliere blootgestel is. Hoe kleiner plant brokstukke gebreek word, hoe meer olie gaan egter verlore aan die atmosfeer tydens die breekproses.

Tabel 5.2.5.2. toon die hoopdigtheid van die plantmateriaal gebruik aan. Die belang daarvan is dat 287 g plantdeeltjies kleiner as 1 mm 'n liter beslaan. Indien 'n 28.7 % (g/g) oplossing in water berei word, is die oplossing 'n 100% (cm^3/cm^3) volumetriese oplossing, wat aansienlike vloei-probleme vir 'n kontinue sisteem bied.

Tabel 5.2.5.2. : Hoopdigthede van *L. scaberrima* lugdroë materiaal

Plantmateriaal grootte	Hoopdigtheid (kg/l) ¹
plantdeeltjie 1 mm	0.287
1 < plantdeeltjie 2.36 mm	0.184
Heel, onverdeel ²	0.057

- Notas:
- (1) Waardes is bereken deur 'n gekose hoeveelheid plantmateriaal se volume te neem, bv. 1147 g deeltjies onder 1 mm het 4000 ml in beslag geneem. Die hoopdigtheid is derhalwe $1147/4000 = 0.287$ kg/l.
 - (2) Die plantmateriaal was verteenwoordigend van die natuurlike verdeling tussen blomhofies en blare.

In bg. geval is ewe veel water as plantmateriaal (per volume) aanwesig en die hoeveelheid water is nie eers in staat om die plantmateriaal effektief te benat nie. Die pomp van hoë persentasie volumetriese oplossings is na alle waarskynlikheid nie genoegsaam eksperimenteel of kommersieel haalbaar nie, a.g.v. o.a. die viskositeit daarvan en benattingsprobleme daarmee.

5.2.6. Skuimweermiddels

Fyn verdeelde *L. scaberrima* plantmateriaal in water oplossings kook heftig op tydens irradiasie. Hierdie verskynsel is te wyte daaraan dat elke plant brokstukkies dien as kokingskern.

Skuimweermiddels mag nodig wees en een suksesvolle tipe wat verkry is, was Dow Corning se RD antifoam emulsion. Dit bestaan uit 'n gemodifiseerde siloksaan polimeer, wat deur SA Silicones aangedui is as aktief in die gebied 15 – 150 d.p.m. vir die meerderheid industriële prosesse.

Die minimum konsentrasie skuimweermiddel (oppervlakspanningsmodifiseerder) wat effektief is behoort gebruik te word, omdat die byvoeging daarvan lei tot 'n vermindering in opkokingstempo. Gevolglik word minder damp met 'n laer opbrengs verwag met toenemende konsentrasies skuimweermiddel.

5.2.7. Berekening van maksimum oondlading

Oonddrywing bepaal elektriese veldsterkte en magnetrondrywing is gevolglik die hoofbydrae tot verhittingstempo. Hoe hoër die oonddrywing hoe vinniger word 'n gegewe massa verhit (paragrafe 2.2.3.5. en 2.2.3.7.1.).

Indien die magnetron energielewering laag is sal die produkvloeiempo klein wees, en omgekeerd. Om die invloed hiervan vas te stel is die volgende bereken:

Volgens paragraaf 5.2.1. absorbeer 'n massa water wat in staat is om al die insetenergie in die spesifieke oond wat gebruik is te absorbeer, ca. 0.59 kJ/s.

Om die maksimum oondlading te bepaal, word die volgende aannames gemaak:

- (1) Die inlaattemperatuur tot die oond is die omgewingstemperatuur van water (sien ook Tabel 5.2.1.1.), nagenoeg 21°C (294 K).
- (2) Die kookpunt van water onder die bedryfstoestande is 95.5°C (368.5 K). (Die heersende atmosferiese druk in Pretoria wissel normaalweg rondom 87 kPa.)
- (3) Die uiteindelijke distillasieapparaat (beskryf in paragraaf 5.2.3.) absorbeer 95% van die mikrogolfinsetenergie tot die oondruimte.
- (4) Water se termiese warmtekapasiteit oor die temperatuurgebied betrokke (294–368.5 K) is

gemiddeld 4.18 kJ/kg K.

- (5) Water se latente verdampingswarmte is 2268 kJ/kg onder bedryfstoestande (by 87 kPa).
- (6) Die samestelling van die mengsel in die oond is grotendeels water en word benader deur suiwer water.
- (7) Die magnetron is onmiddellik by sy gestadigde temperatuur en funksioneer dus heeltyd teen 100%.

Dan volg, op die basis van een sekonde:

$$\begin{aligned}(0.95) 0.59 &= y (368.5 - 294) 4.18 + y (2268) \\ 0.5605 &= 311.4 y + 2268 y \\ y &= 0.000217 \text{ kg oftewel } 0.217 \text{ g}\end{aligned}$$

Die spesifieke mikrogolfoond gebruik vir die enkelladingseksperimente is dus in staat om ca. 0.2 g water per sekonde om te skakel tot stoom, oftewel $0.2 (60) = 12 \text{ g} = 12 \text{ ml}$ water/minuut. Kondensaat (en die produkstroom) kan dus maksimaal gelewer word teen ca. 12 ml per minuut. Die voertempo tot die oond kan egter meer wees as 12 ml/min omrede die hele voerstroom nie vervlugtig hoef te word nie. Hierdie waarde verskaf 'n vertrekpunt vanwaar voertempo (vir 'n kontinue sisteem) tot die oond gereguleer kan word.

5.3.Aanbevelings en opmerkings rondom kontinue mikrogolfdestillasiesisteme

Die resultate van hierdie deel van die studie kan benut word om 'n industriële skaal kontinue mikrogolfdestillasieapparaat te ontwikkel. Beginsels en prosedures vervat hierin kan toegepas word op sodanige ontwerp om prototipe vervaardiging te vereenvoudig en te vergemaklik.

5.3.1.Veiligheid

Die veiligheid van mikrogolfsisteme moet altyd op die voorgrond wees. Gereelde inspeksies is nodig ten einde personeel wat daarmee in omgang verkeer se veiligheid te verseker. Daar moet gereeld vir stralingslekkasies gekontroleer word; veral by seëls en modifikasiepunte.

Koppelstukke/aanhegtings kan as veiligheidsmeganismes optree om drukverlaging te bewerkstellig indien dit nodig sou word. Alle koppelings moet maklik los- en vasmaak om verstoppings gereedelik te herstel sowel as die sisteem maklik op te stel.

Die aantal beweeglike dele van die sisteem moet beperk word. Sodoende word die risiko vir gevare en bedryfsprobleme verminder en kan die stelsel robuust gehou word.

5.3.2.Opskaling van apparaat

Sover moontlik moet alle uitbreidings gedoen word met standardisering in gedagte. Standardisering lei tot besparings betreffende instandhoudings- en herstelkoste. Alle hegstukke en verbindingslyne moet oor 'n uniforme binnediameter beskik. Hoe meer uniform die deursnit van die verbindingslyne en koppelstukke is, hoe minder waarskynlik sal verstoppings by sulke oorgange voorkom.

Indien die apparaat opgeskaal wil word, kan die elektriese veldsterkte verhoog word deur oonddrywing te verhoog. (Oonddrywing bepaal elektriese veldsterkte en magnetrondrywing is die hoofbydrae tot verhittingstempo. Hoe hoër die drywing hoe vinniger word 'n gegewe massa verhit.) Essensiële olieherwinning vanuit roosmaryn (*Rosmarinus officinalis*) en peperment (*Mentha piperita*) het egter getoon dat 'n limiet bestaan t.o.v. die ladingsmassa waar effektiewe verhitting gehandhaaf kan word vir enige oonddrywing. Dit verteenwoordig die versadigingspunt vir die hoeveelheid mikrogolfenergie wat deur 'n gegewe massa plantmateriaal geabsorbeer kan word (paragraaf 2.2.3.7.1.).

Deurskynende verbindingsbuis is nuttig sodat verstoppings gou opgespoor en geëlimineer kan word. Silikonrubberbuis het 'n bevredigende mikrogolflewenduur.

5.3.3.Belangrike ontwerp oorwegings

5.3.3.1.Mikrogolfveranderlikes

Die ruimtelike verspreiding van die elektriese veld in die oond is nie-uniform (paragraaf 2.2.3.5.). Die posisie van die toerusting in die oond behoort só gekies te word as om te verseker dat die maksimum aantal antinodale gebiede deurkruis word sodat maksimum verhitting kan plaasvind. Die ruimtelike posisies van antinodale gebiede in 'n gekose oond kan vooraf uitgeklaar word en die apparaat dienoreenkomstig ontwerp/geposisioneer word.

'n Geskikte oonddrywing moet vooraf uitgeklaar word. Verskeie magnetrons kan bv. in serie gerangskik word om die oonddrywing te verhoog as die bedryfsfrekwensie gepas is.

Industriële mikrogolfoonde se bedryfsfrekwensies verskil en sodanige sisteme is o.a. nie mobiel nie. Hierdie aspekte mag positief of negatief op die produksieproses inwerk. Bv., vir 'n industriële oond met 'n bedryfsfrekwensie van 915 MHz (paragraaf 2.2.4.3.2.) en met water as oplosmiddel, is die maksimum toelaatbare binnediameter van 'n afsnygolfgeleier ca. 21.4 mm (volgens berekeninge soortgelyk aan dié van paragraaf 5.2.2.). Dié waarde is heelwat gunstiger as die ca. 8.02 mm maksimum afsnygolfgeleierdeursnit wat op die enkelladingsoond van toepassing is.

Die klein maksimum toelaatbare afsnygolfgeleierdiameter vir polêre oplosmiddels in huishoudelike mikrogolfoonde (met bedryfsfrekwensie 2450 MHz) is waarskynlik die mees beperkende faktor vir toepassing van sodanige oonde as kontinue essensiële olie herwinningsisteme.

5.3.3.2. Oplosmiddel

Die aard van die oplosmiddelpolariteit kan 'n aansienlike invloed uitoefen op olie-opbrengs. Hoogs polêre oplosmiddels kan selfs die sisteem nutteloos maak a.g.v. ontoepaslike klein afsnygolfgeleierdiameters. Indien geskikte oplosmiddels met klein ϵ_r waardes gevind word kan die afsnygolfgeleierdiameter vergroot word. Sodoende sal plantmateriaal met 'n groter verdelingsgraad geïrradieer kan word.

Oplosmiddelselektiwiteit vir o.a. pigmente speel 'n rol tydens distillasie en dié rol kan gewens of ongewens wees. Oplosmiddeleienskappe waarna gelet moet word sluit veral suiwerheidsgraad, termiese stabiliteit en pH in.

Oplosmiddelmengsels mag lei tot sinergisme en 'n verhoogde opbrengs lewer, soos gemeld in paragraaf 2.2.3.10. Dit kan komplementêre aksies openbaar deurdat elke oplosmiddel verskillende samestellende oliekomponente relatief selektief verwyder om sodoende 'n gevraagde produksamestelling te verkry. Soortgelyk kan oplosmiddelmengsels (of bygevoegde chemikalieë) antagoniserende uitwerkings hê om die konsentrasie van 'n spesifieke oliekomponent in die uiteindelige produk te verminder.

Byvoeging van sout (NaCl) is genoem in paragraaf 2.2.3.6. en die belang daarvan is veral t.o.v. indringingsdiepte. (Elektromagnetiese eienskapsveranderinge gaan gepaard met byvoeging van chemikalieë in die sisteem.)

Soveel moontlik oplosmiddel behoort gehersirkuleer en herbenut te word vir omgewingsvriendelikheid en besparing.

5.3.3.3.Plantmateriaal

Die aard van die plantmateriaal wat benut wil word is van belang. Hoe meer vars plantmateriaal is hoe hoër is die voginhoud daarvan en hoe hoër sal bv. die mikrogolfenergieabsorpsie wees. Indien verskeie botaniese materiale benut gaan word moet die apparaat algemeen toepaslik ontwerp word.

Plantmateriaalverwydering vanuit afvalstrome kan vergemaklik word deur gebruikmaking van 'n gebuigde sifskerm om die plantmateriaal en afvalwater te skei sodat lg. hersirkuleer kan word. Afval plantmateriaal kan tot kunsmis verwerk word en gelaat word in die landelike omgewing waar olies met (mobiele) apparaat afgedistilleer is.

5.3.3.4.Distillasieapparaat

Materiaalkundige eienskappe word beïnvloed deur 'n materiaal se elektriese toestand bv. vloeistowwe vertoon hoër kookpunte onder gepolariseerde toestande as onder ongepolariseerde toestande en onder toestande van identiese temperatuur-, druk- en konsentrasiegradiënte kan polariserende elektriese velde lei tot hoër of laer massa-oordragstempo's as in konvensionele sisteme, soos vermeld in paragraaf 2.2.3.3.

Die apparaat behoort nie aan die oondvloer te raak nie maar in die lug te hang sodat straling dit ook van die onderkant af kan bereik. Soortgelyk vir al die ander kante van die apparaat t.o.v. die oondwande.

Meer openinge kan nader aan die einde van die distillasieapparaat vir damplyne gemaak word omrede die grootste hoeveelheid damp daar afkom. Dit sal die produk afdistilleringstempo verhoog. 'n Toepaslike grootte kondensator moet eksperimenteel gevind word.

By konvensionele distillasie is die grootte en geometrie van die distillasiefles kritiek ten einde behoorlike vloeipatrone en effektiewe stoomverspreiding te verseker. Die invloed by mikrogolfsisteme is minder a.g.v. die unieke verhittingsmetode van mikrogolfstraling, soos vermeld in paragraaf 2.2.3.5.

Verskillende distillasieapparaat geometrieë kan ondersoek word. 'n Deeglike studie van elektromagnetisme kan onderneem word waarna verfyning aan 'n ontwerpte apparaat aangebring en geëvalueer kan word.

Genoegsame turbulensie moet in die distillasiefles aanwesig wees om gestratifiseerde temperatuurprofile en lokale oorverhitting te verhoed (paragraaf 2.2.3.7.2.).

5.3.4.Aspekte van belang rakende bedryfsprosedures van kontinue sisteme

Die volgende moet in gedagte gehou word tydens bedryf van 'n kontinue mikrogolfdistillasiesisteam:

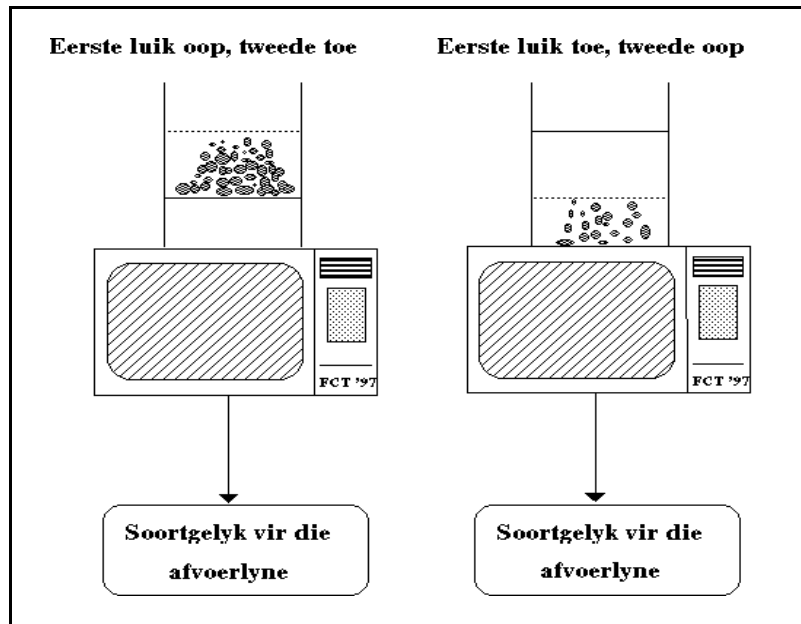
- Tydens bedryf is daar voortdurende drukverandering in die distillasieapparaat, veral vanaf die aanvang van 'n eksperimentele lopie tot by gestadigde staat.
- Die mengsamestelling verander heeltyd gedurende verhitting en dus verander mengseleienskappe heeltyd gedurende 'n distillasielopie. Veranderlikes soos voghoud, digtheid en partikelgeometrie beïnvloed mengsamestelling en dus die diëlektriese eienskappe daarvan. Bedryfsprosedure plooibaarheid is noodsaaklik vanaf begin van distillasie totdat gestadigde staat bereik is.
- By verhitting van multikomponentsisteme word drastiese onreëlmatige verhittingspatrone waargeneem (paragraaf 2.2.3.8.).
- Die magnetron neem ca. 30 s om termies te stabiliseer (paragraaf 2.2.3.1.) en gestadigde staat kan gevolglik nie voor 30 s bereik word nie.
- Al word die sisteem kontinuu bedryf, word afkoelingstyd van bv. glasapparaat steeds benodig. As duimreël is afkoelingstyd ongeveer van dieselfde lengte as bedryfstyd vir glasapparate, soos waargeneem met die enkelladingseksperimente.
- Die beheerbaarheid van die produksieproses moet goed uitgeklaar wees alvorens met kommersiële produktempo's begin word. Goed beheerbare prosesse lewer uniforme produkte vanuit opeenvolgende ladings botaniese materiaal.
- Daar moet voortdurend kontroleer word vir:
 - (1) Mikrogolfstralingslekkasies en/of swak seëls.
 - (2) Verstoppings van enige toevoer- of afvoerstroombaan, veral by bv. passtukke.
 - (3) Die vlak van die mengsel in die distillasieapparaat.
 - (4) Kontinue produkverwydering en beskerming van die produkstroombaan teen bv. deurkoking van die mengsel in die distillasieapparaat met gevolglike besmetting van die produk.
- Plantmateriaal kan in die oplosmiddel gekerf word om olieverslies te verminder. Dit bly steeds die metode van keuse vir 'n kommersiële produksieproses. 'n Ander, meer energie intensiewe metode, is om vars plantmateriaal eers met die oplosmiddel te meng en die resulterende mengsel dan te kerf.
- Al die bedryfsveranderlikes betrokke beïnvloed die uiteindelijke produksamestelling.

5.3.5. Alternatiewe toerustingkonfigurasies

Alle afval- en voerlyne sowel as die distillasieapparaat kan teen 'n hoek met die horisontale as geplaas word sodat swaartekrag materiaalvloeï aanhelp. Waar moontlik kan gravitasiekrag benut word om besparings soos 'n kleiner pomp aan die hand te werk. Voer tot die oond kan bv. vertikaal geskied met inlaatlyne bokant die oond en uitlaatlyne onder i.p.v. konvensionele horisontale materiaalvloeï.

'n Dubbelluik deurgang metode kan 'n moontlike oplossing bied vir beperkende afsnygolfgeleierdiameters by industriële prosesse. Die metode, geïllustreer in Figuur 5.3.5.1., behels die volgende: Een van twee metaalluik is om die beurt toe en dien as afskerming vir mikrogolfstraling terwyl plantmateriaal deurentyd toegevoer word. So 'n luiksisteem kan verfyn word om te dien as klepsisteem wat die materiaaltoevoertempo dan beheer.

Figuur 5.3.5.1. : 'n Dubbelluik deurgang metode

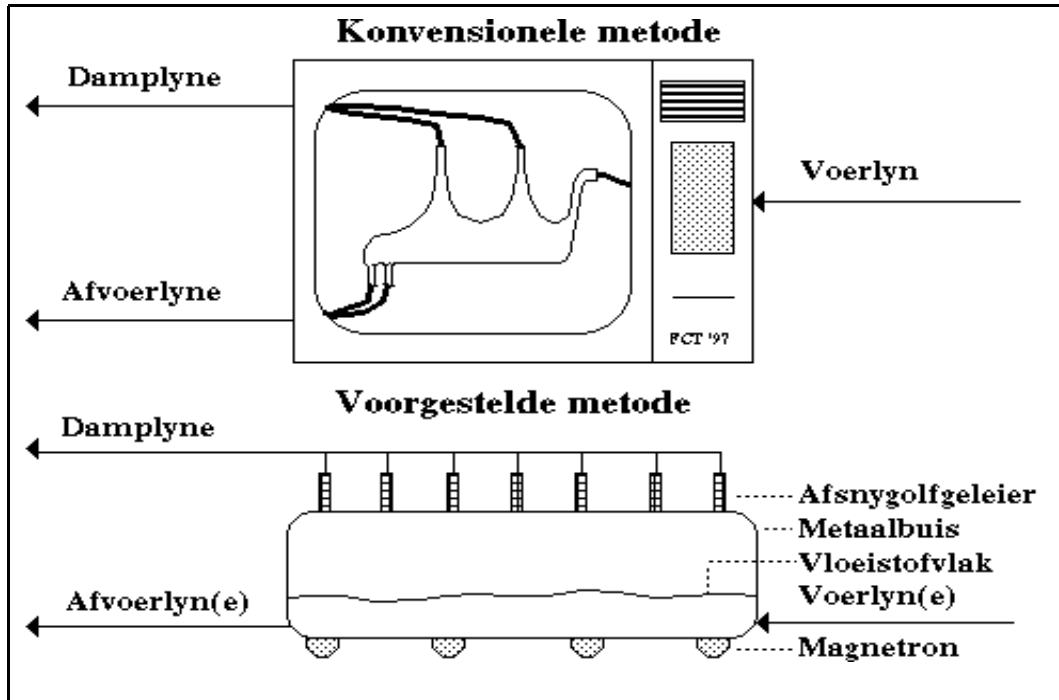


'n Waslyn kan voor die apparaat in die oond opgestel word. Dit word oopgemaak om verstoppings skoon te speel en die konsentrasie plantmateriaal in die voerstroom te verminder om vertraging a.g.v. verstoppings te beperk. Waslyne kan ook op ander posisies aangebring

word.

Alternatiewelik kan verskeie mikrogolfoond magnetrons geranskik word in 'n spesifieke konfigurasie om 'n eie unieke oondruimte daar te stel. 'n Proseskonfigurasie wat voorgestel word vir industriële prosesse, behels wegdoening van die distillasieapparaat en toevoeging van mikrogolfstraling direk tot 'n metaalbuis waardeur plantmateriaal en oplosmiddel vloei. Hierdie proses funksioneer soos 'n propvloeireaktor en word getoon in Figuur 5.3.5.2.

Figuur 5.3.5.2. : Voorgestelde industriële proseskonfigurasië



Herwinning van olie moet in een enkele of die minimum aantal meervoudige produksiestappe geskied. (Produksietyd en dus verliese word aansienlik verleng en verhoog indien meer as een produksiestap gebruik word.) Die totale produksietyd word sodoende so kort as moontlik gehou.