

**Die karakterisering, benutting en vervaardiging van
produkte herwin vanuit *Lippia scaberrima* Sond.**

deur

Francois Cornelius Terblanché

Voorgelê ter vervulling van 'n deel van die vereistes vir die graad

Philosophiae Doctor (Chemiese Ingenieurswese)

in die Fakulteit Ingenieurswese

Universiteit van Pretoria

Pretoria

Desember 2000

**The characterisation, utilization and manufacture of products
recovered from *Lippia scaberrima* Sond.**

by

Francois Cornelius Terblanché

Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of

Philosophiae Doctor (Chemical Engineering)

in the

Faculty of Engineering

University of Pretoria

Pretoria

December 2000

..

The characterisation, utilization and manufacture of products
recovered from *Lippia scaberrima* Sond.

by

Francois Cornelius Terblanché

Supervisor: Gerrit Kornelius

Department: Chemical Engineering

Degree title: Ph.D (Eng) (Chemical)

ABSTRACT

The genus *Lippia* Houst. (family *Verbenaceae* Juss.) has been used medicinally for centuries in various cultures. Numerous traditional medicinal applications of the South African Lippias are known, and among these is *Lippia scaberrima* Sond., the "Beukesbossie". Products recovered from *L. scaberrima* include essential oils by means of batch microwave distillation and a herbal tea manufactured by various methods.

Microwave heating occurs through direct absorption of input energy. The whole sample is heated simultaneously with a heating rate much faster than for water distillation. Microwave distillation times can be expected to be less than corresponding water distillation times.

A large number of parameters influence essential oil composition and yield. Various geographical, climatic, botanical, production and other parameters were identified and listed.

The natural distribution of airdried leaves and flower heads and water as solvent was used in a domestic type microwave oven. Microwave distillation production parameters were studied and optima determined with respect to maximum oil yield. The batch microwave distillation production parameters studied (irradiation time, ratio of water used to plant material used, plant material moisture content, solvent recycling, physical size of plant material, addition of a surface tension modifier, soaking as pretreatment, load size, distillation kinetics and alternative solution medium namely ethanol) lead to a better understanding of microwave essential oil production. It enabled design of prototype continuous microwave distillation apparatus.

Mobile, continuous microwave distillation equipment enables extraction of essential oils in a rural environment. It allows rapid investigation of a large variety of plants, and retrieval of essential oils in an economical and uncomplicated manner.

Water distillation represents a classical technique for essential oil retrieval whereas microwave distillation is probably the most modern method. Physical and chemical properties of microwave and water distilled oils were determined. This enabled comparison of the microwave technique to a standard, industrially accepted production method.

Tea was manufactured from *L. scaberrima* by means of the green tea, Rooibos tea and black tea methods as a first iteration in the production of a commercial tea. Drying curves was developed as well as appropriate regions of production variables like withering- and fermentation temperatures and times.

KEY WORDS: *Lippia scaberrima*, *Verbenaceae*, Beukesbossie, essential oil, batch microwave distillation, continuous microwave distillation, water distillation, physical properties, chemical properties, herbal tea

**Die karakterisering, benutting en vervaardiging van produkte herwin vanuit
Lippia scaberrima Sond.**

deur

Francois Cornelius Terblanché

Promotor: Gerrit Kornelius
Departement: Chemiese Ingenieurswese
Graadbenaming: Ph.D (Ing) (Chemies)

OPSOMMING

Plante van die genus *Lippia* Hout. (familie *Verbenaceae* Juss.) word hoofsaaklik gevind in Suid- en Sentraal-Amerika en Tropiese Afrika en word alreeds eeue lank in verskeie kulture medisinaal aangewend. So is daar verskeie tradisionele medisinale gebruike van die Suid-Afrikaanse *Lippia scaberrima* Sond., die Beukesbossie, bekend. Essensiële olies is verkry vanuit *L. scaberrima* m.b.v. enkelladingsmikrogolfdestillasie. Produkte herwin vanuit *L. scaberrima* sluit essensiële olies verkry deur enkelladingsmikrogolfdestillasie en 'n kruietee vervaardig volgens verskeie metodes in.

Mikrogolwe word gekenmerk deur kort golflengtes en hoë frekwensies. Hierdie kombinasie verleen aan mikrogolwe die vermoë om sekere materiale meer effektief te verhit as konvensionele verhittingsmetodes. Mikrogolfverhitting geskied deur direkte absorpsie van inset energie. Die hele monster word gelyktydig verhit met 'n verhittingstempo wat aansienlik vinniger is as dié van waterdestillasie. Daar kan verwag word dat mikrogolfdestillasietye korter sal wees as ooreenstemmende waterdestillasietye.

'n Groot aantal veranderlikes beïnvloed essensiële oliekwiteit (samestelling) en hoeveelheid (obrengs). Geografiese, klimatologiese, botaniese en produksieveranderlikes beïnvloed die olie verkry. Belangrike veranderlikes is geïdentifiseer en gelys.

Verskeie produksieveranderlikes is bestudeer en optima verkry m.b.t. maksimum olie-opbrengs.

Die natuurlike verdeling blare en blomhofies van lugdroë plantmateriaal en water as oplosmiddel is gebruik in 'n huishoudelike tipe mikrogolfoond. Die bestudeerde enkelladings-mikrogolfdestillasie produksieveranderlikes (irradiasietyd, verhouding water tot plantmateriaal gebruik, plantmateriaal voginhoud, oplosmiddel hersirkulering, plantmateriaal verdelingsgraad, byvoeging van 'n oppervlakspanningsmodifiseerder, voorafbehandeling nl. weking, ladingsgrootte, destillasiekinetika en alternatiewe oplosmiddel nl. etanol) het gelei tot verhoogde insig rakende mikrogolf essensiële olieproduksie. Bv., die invloed en optima van die enkelladingsveranderlikes betrokke het ontwerp van prototipe kontinue mikrogolfdestillasieapparaat moontlik gemaak.

Mobiele, kontinue mikrogolfdestillasietoerusting laat ekstraksie van essensiële olies in 'n landelike omgewing toe. Sodoende kan 'n groot verskeidenheid plante vinning ondersoek word en die essensiële olies herwin word op 'n ekonomiese en eenvoudige wyse. Plantmateriaal hoef nie meer vervoer te word nie en kan in die gebied van oorsprong gelaat word as bv. kompos ten bate van die plaaslike bevolking. Slegs die essensiële olies sal weggeneem word. Dit beteken dat Suidelike Afrika se aansienlike planteryk as 'n hernubare hulpbron benut kan word.

Waterdestillasie verteenwoordig die klassieke en mees algemeen gebruikte tegniek vir essensiële olieherwinning terwyl mikrogolfdestillasie waarskynlik die mees moderne metode is. 'n Aantal fisiese (vriespunt, kookpuntgebied, soortlike gewig, refraksie-indekse, viskositeit en optiese rotasie) en chemiese (pH, mengbaarheid met etanol, fenol-inhoud, karbonielgetal, suurgetal, estergetal, inhoud van vry en totale alkohole en residu na verdamping) eienskappe van mikrogolf- en watergedistilleerde *L. scaberrima* olie is bepaal. Dit het vergelyking van die mikrogolftegniek met 'n standaard, industrieel aanvaarde produksiemetode moontlik gemaak.

Tee is vervaardig vanuit *L. scaberrima* volgens die groen tee, Rooibostee en swart tee metodes as eerste iterasie in die daarstelling van 'n kommersiële tee. Drogingskurwes is bepaal sowel as toepaslike gebiede vir produksieveranderlikes soos verleppings- en fermentasietemperature en tye. Die fondasie is gelê waarvolgens *L. scaberrima* kan dien as kommersiële bron van 'n unieke inheemse Suid-Afrikaanse tee.

SLEUTELWOORDE: *Lippia scaberrima*, *Verbenaceae*, Beukesbossie, essensiële olie,

enkelladingsmikrogolfdestillasie, kontinue mikrogolfdestillasie,
waterdestillasie, fisiese eienskappe, chemiese eienskappe,
kruieete

Bedankings

Aan die Almagtige Drie-enige God van Liefde van die Bybel kom die eer toe vir alle goeie dinge; en ek betuig my dankbaarheid aan my persoonlike Saligmaker en Verlosser, die Here Jesus Christus, vir die Genade aan my bewys om hierdie werk tot voltooiing te bring.

Deuteronomium 31:6 Wees sterk en vol moed; wees nie bevrees en word nie verskrik vir hulle nie; want dit is die Here jou God wat saam met jou trek; Hy sal jou nie begewe of verlaat nie.

- Mnr. Gerrit Kornelius, ek het lank gewonder wat om hier te skryf en weet nog steeds nie. Dit was 'n voorreg om saam met u te kon werk aan my skripsie, meestersgraad en nou ook die doktoraal. Dankie vir alles wat u die afgelope aantal jare vir my gedoen het.
- Prof. Johan Joubert van die Departement Elektroniese Ingenieurswese van die Universiteit van Pretoria vir hulp verleen met die wiskundige aspekte van afsnygolfgeleiding.
- Prof. Robert Vlegaar van die Departement Chemie van die Universiteit van Pretoria vir hulp verleen met die bepaling van die optiese rotasiewaardes van die essensiële olies.
- Mnr. Hennie Gerber van die Departement Rekenaardienste van die Universiteit van Suid-Afrika vir die statistiese verwerkings en ontledings gedoen by die teevervaardiging se sensoriese evalueringsafdeling.
- Mnr. Vimlan Govender van SA Silicones (verskaffer van Dow Corning se produkte) vir raad oor skuimweermiddels en die verskaffing van gratis monsters om uit te toets.
- Dank aan my skripsiestudente betrokke by my navorsingsprojekte terwyl ek verbonde was as dosent aan die Departement Chemiese Ingenieurswese van die Universiteit van Pretoria. Individue wat sommige dele van die eksperimentele werk uitgevoer het was Paul Male, Johan van Rooyen, Ivan Strydom, Egmont Ottermann en Hermann Penzhorn.

- Opregte waardering en dank teenoor my ouers - Dankie dat pa en ma van altyd af daar is vir my.
- Dankie vir al die vriende en familielede wat my ondersteun en aangemoedig het.
- Spesiale dank aan my Marietjie, veral vir die tye wanneer niks wou werk nie en niemand anders wou luister nie...

Vir

Tycho (1989/09/16 — 2000/02/26),

ek is baie jammer oor al die kere wat ek moes werk en
nie met jou kon speel nie...

Nomenklatuur

Simbool	Verklaring	Eenhede
α	Modus verswakingskonstante	[neper/m]
α_D	Optiese rotasie	[°]
β	Modus voortplantingskonstante	[rad/m]
δ	$\tan^{-1}(\epsilon''/\epsilon')$ met ϵ''/ϵ' die verliesraaklyn	[rad]
δ	Dui op verandering as dit saam met 'n veranderlike gebruik word, bv. δT	[]
ϵ	Materiaal diëlektriese konstante	[]
ϵ'	Reële deel van materiaal diëlektriese konstante. (Soms bloot diëlektriese konstante genoem.)	[]
ϵ''	Imaginêre deel van materiaal diëlektriese konstante. (Verliesfaktor genoem.)	[]
ϵ_0	Permittiwiteit van die vrye ruimte, nl. 8.854×10^{-12}	[farad/m]
ϵ_r	Materiaal relatiewe permittiwiteit	[]
ϵ_x	Materiaal permittiwiteit	[farad/m]
μ_0	Permeabiliteit van die vrye ruimte, nl. $4 \pi \times 10^{-7}$	[henry/m]
μ_x	Materiaal permeabiliteit	[henry/m]
a	Radius van 'n buisvormige golfgeleier	[m]
c	Konsentrasie van opgeloste stof in oplossing	[mg/ml]
C_p	Materiaal warmtekapasiteit	[kJ/kg K]
E	Energie	[J]
f	Frekwensie	[Hz]
f_c	Afsnyfrekwensie vir 'n bepaalde elektromagnetiese golfmodus	[Hz]
h	Planck se konstante, nl. 6.62608×10^{-34}	[J s]
j	Gebruik om komplekse getal aan te dui	
k_c	Afsnygolfgetal	[neper/m]
l	Padlengte van die optiese sel	[dm]

L	Lengte van 'n buisvormige golfgeleier	[m]
m	Massa	[kg]
N _A	Avogadro se getal, nl. 6.02214×10^{23}	[1/mol]
n _D	Refraksie-indeks	[]
P	Drywing	[J/s]
T	Temperatuur	[K]

Voetskrifte

1	Toestand 1
2	Toestand 2
A	Avogadro
Begin	Begintoestand
c	Afsny
Einde	Eindtoestand
Maks	Maksimum
o	Vrye ruimte
P	By konstante druk
r	Relatief
T1	Temperatuur 1
T2	Temperatuur 2
x	Spesifieke materiaaltoestand

INHOUDSOPGAWE

	<i>Bladsy</i>
Summary	iii
Opsomming	v
Bedankings	vii
Opedra aan	ix
Nomenklatuur	x
Inhoudsopgawe	xii
1. Doel van die ondersoek	1
1.1. Inleiding	1
1.2. Probleemstelling	2
1.2.1 Essensiële olie	2
1.2.1.1 Karakterisering van die essensiële olies	2
1.2.1.2 Enkelladingsmikrogolfdestillasie	3
1.2.1.3 Kontinue mikrogolfdestillasie	6
1.2.1.4 Benutting van die olie	7
1.2.2 Kruietee	8
1.2.3 Ander benuttingsmoontlikhede	9
2. Literatuuroorsig	11
2.1. Inleiding	11
2.2 Essensiële olie	11
2.2.1 Identifisering van veranderlikes betrokke by olieherwinning	11
2.2.1.1 Geografiese veranderlike	13
2.2.1.2 Klimatologiese veranderlikes	13
2.2.1.3 Botaniese veranderlikes	15
2.2.1.4 Produksie bedryfsveranderlikes	18
2.2.1.5 Produksie toerustingveranderlikes	19
2.2.1.6 Bergingsveranderlikes	20
2.2.1.7 Diverse veranderlikes	21
2.2.2 Karakterisering van die essensiële olies	21
2.2.3 Mikrogolfproduksie van essensiële olies	25

Inhoudsopgawe (vervolg...)	Bladsy
2.2.3.1 Inleiding	26
2.2.3.2 Wiskundige aspekte van mikrogolfsisteme	28
2.2.3.3 Termodinamiese aspekte van mikrogolfsisteme	29
2.2.3.4 Diëlektriese eienskappe van materiale	30
a) Frekwensie van mikrogolfstraling	32
b) Temperatuur	33
c) Materiaaldigtheid	33
d) Materiaalvoginhoud	33
e) Ioniese verbindings	33
2.2.3.5 Elektromagnetiese velde	34
2.2.3.6 Indringingsdiepte van mikrogolfstraling	35
a) Frekwensie van mikrogolfstraling	36
b) Temperatuur	36
c) Materiaaldigtheid	36
d) Materiaalvoginhoud	36
e) Materiaal diëlektriese eienskappe	37
f) Fisiese materiaal grootte	37
g) Ioniese verbindings	37
2.2.3.7 Verhitting met mikrogolfstraling	37
2.2.3.7.1 Verhittingstempo	38
a) Frekwensie van mikrogolfstraling	38
b) Temperatuur	38
c) Materiaaldigtheid	38
d) Materiaalvoginhoud	39
e) Materiaal diëlektriese eienskappe	39
f) Spesifieke warmtekapasiteit van materiaal	39
g) Materiaaloppervlaktetoestand	39
h) Fisiese materiaal grootte	40
i) Materiaal massa	40

Inhoudsopgawe (vervolg)***Bladsy***

j)	Materiaalvorm	41
k)	Ioniese verbindings	41
l)	Elektriese veldsterkte	41
m)	Veranderlikes wat betrekking het op die oond	41
2.2.3.7.2	Temperatuurprofile	42
a)	Aksiale temperatuurprofiel	42
b)	Radiale temperatuurprofiel	43
2.2.3.7.3	Heersende omgewingstoestande in die oond	43
2.2.3.8	Geometriese oorwegings vir distillasieapparaat	43
2.2.3.9	Mikrogolfverhitting van mengsels	44
2.2.3.10	Meganisme van oplosmiddelaksie op oliekliere tydens mikro- golfekstraksie van essensiële olies	46
2.2.4.	Kontinue mikrogolfdistillasieapparaat	47
2.2.4.1	Inleiding	47
2.2.4.2	Gedeeltelike empiriese benadering tot ontwerp	47
2.2.4.3	Belangrike ontwerp oorwegings	48
2.2.4.3.1	Ontwerpvereistes	48
2.2.4.3.2	Ontwerpbeperkings	50
2.2.4.3.3	Materiaalkeuses	51
2.2.4.3.4	Materiaalvloei	52
2.2.5	Benutting van <i>L. scaberrima</i> essensiële olie	54
2.2.5.1	Inleiding	54
2.2.5.2	Suid-Afrikaanse essensiële olies	55
2.2.5.3	Antimikrobiese aktiwiteit	56
2.2.5.3.1	Antimikrobiese aktiwiteit van <i>Lippia</i> spesies essensiële olies	56
2.2.5.3.2	Antimikrobiese aktiwiteit van <i>L. scaberrima</i> essensiële olie	57
2.2.5.4	Ander potensiële gebruike van <i>L. scaberrima</i> essensiële olie	59

Inhoudsopgawe (vervolg...)**Bladsy**

2.3	Teevervaardiging	61
2.3.1	Inleiding	61
2.3.2	Historiese oorsig	62
2.3.3	antioksidante	63
2.3.3.1	Inleiding	63
2.3.3.2	Auto-oksidasie	64
2.3.3.3	Meganisme van werking van antioksidante	64
2.3.3.4	Antioksidante in voedsel	65
2.3.3.5	Antioksidante van belang by teevervaardiging	65
2.3.4	Swart tee	66
2.3.4.1	Inleiding	66
2.3.4.2	Vervaardiging van swart tee	67
2.3.4.3	Bemaking	68
2.3.4.4	Sensoriese evaluering	69
2.3.4.5	Gesondheidsaspekte van swart tee	69
2.3.5	Rooibostee	70
2.3.5.1	Inleiding	70
2.3.5.2	Vervaardiging van Rooibostee	70
2.3.5.3	Bemaking	71
2.3.5.4	Sensoriese evaluering	72
2.3.5.5	Gesondheidsaspekte van Rooibostee	72
2.3.6	Heuningbostee	73
2.3.6.1	Inleiding	73
2.3.6.2	Vervaardiging van heuningbostee	73
2.3.6.3	Bemaking	75
2.3.6.4	Sensoriese evaluering	75
2.3.6.5	Gesondheidsaspekte van heuningbostee	76
2.3.7	Kruietee	77
2.3.7.1	Inleiding	77

Inhoudsopgawe (vervolg...)**Bladsy**

2.3.7.2	Vervaardiging van kruietee	77
2.3.7.3	Bemarking	77
2.3.7.4	Sensoriese evaluering	79
2.3.7.5	Gesondheidsaspekte van kruietee	79
2.3.8	Aspekte van belang rondom <i>Lippia scaberrima</i> tee	80
2.3.8.1	Samestelling van <i>Lippia</i> tee	80
2.3.8.2	Gesondheidsaspekte van <i>Lippia</i> tee	80
2.3.8.2.1	Toksisiteit van tee afkomstig van <i>Lippia</i> spesies	80
2.3.8.2.2	Gesondheidsvoordele van <i>L. scaberrima</i> tee	82
2.4	Ander benuttingsmoontlikhede van <i>L. scaberrima</i>	83
2.4.1	Medisinale gebruike van <i>Lippia</i> spesies	83
2.4.2	Ander gebruike van <i>L. scaberrima</i>	85
3.	Karakterisering van die essensiële olies	87
3.1	Inleiding	87
3.2	Fisiese eienskappe	87
3.2.1	Vriespunt	87
3.2.2	Kookpuntgebied	88
3.2.3	Soortlike gewig	91
3.2.4	Refraksie-indekse	91
3.2.5	Viskositeit	92
3.2.6	Optiese rotasie	93
3.3	Chemiese eienskappe	94
3.3.1	pH	94
3.3.2	Mengbaarheid met etanol	94
3.3.3	Fenol-inhoud	95
3.3.4	Karbonielgetal	95
3.3.5	Suurgetal	96
3.3.6	Estergetal	97
3.3.7	Inhoud van vry en totale alkohole	98

Inhoudsopgawe (vervolg...)

Bladsy

3.3.8	Residu na verdamping	99
3.4	Vergelyking van olies verkry met verskillende produksiemetodes	100
4.	Enkelladingsmikrogolfdestillasie	103
4.1	Eksperimenteel	103
4.1.1	Insameling van plantmateriaal	103
4.1.2	Samestelling van plantmateriaal	103
4.1.3	Opskaling van waterdestillasieapparaat	105
4.1.4	Invloed van verhouding water tot plantmateriaal gebruik by waterdestillasie	107
4.1.5	Standaard bedryfsprosedure	108
4.1.6	Veranderlikes ondersoek	112
4.1.6.1	Irradiasietydsduur	112
4.1.6.2	Verhouding water tot plantmateriaal gebruik	112
4.1.6.3	Voginhoud van plantmateriaal	113
4.1.6.4	Hersirkulering van water	113
4.1.6.5	Verdelingsgraad van plantmateriaal	114
4.1.6.6	Byvoeging van oppervlakspanningsmodifiseerder	114
4.1.6.7	Voorafbehandeling nl. Weking	114
4.1.6.8	Ladingsgrootte	115
4.1.6.9	Distillasiekinetika	115
4.1.6.10	Alternatiewe oplosmiddel	115
4.2	Resultate	118
4.2.1	Irradiasietydsduur	118
4.2.2	Verhouding water tot plantmateriaal gebruik	118
4.2.3	Voginhoud van plantmateriaal	120
4.2.4	Hersirkulering van water	121
4.2.5	Verdelingsgraad van plantmateriaal	122
4.2.6	Byvoeging van oppervlakspanningsmodifiseerder	123
4.2.7	Voorafbehandeling nl. weking	124

Inhoudsopgawe (vervolg...)	Bladsy	
4.2.8	Ladingsgrootte	125
4.2.9	Distillasiekinetika	126
4.2.10	Alternatiewe oplosmiddel	127
4.3	Bespreking	128
4.3.1	Plantmateriaal	129
4.3.2	Irradiasietydsduur	129
4.3.3	Verhouding water tot plantmateriaal gebruik	130
4.3.4	Voginhoud van plantmateriaal	132
4.3.5	Hersirkulering van water	135
4.3.6	Verdelingsgraad van plantmateriaal	137
4.3.7	Byvoeging van oppervlakspanningsmodifiseerder	138
4.3.8	Voorafbehandeling nl. weking	139
4.3.9	Ladingsgrootte	141
4.3.10	Distillasiekinetika	143
4.3.11	Alternatiewe oplosmiddel	145
4.3.12	Relatiewe invloed van veranderlikes ondersoek	146
5.	Kontinue mikrogolfdestillasie	151
5.1	Inleiding	151
5.2	Kontinue mikrogolfdestillasietoerusting ontwerp algoritme	151
5.2.1	Termiese effektiwiteit van die mikrogolfoond	151
5.2.2	Ontwerp van 'n geskikte afsnygolfgeleier	153
5.2.3	Distillasieapparaat ontwerp	158
5.2.3.1	Ladingsgrootte	159
5.2.3.2	Mengseldigtheid	160
5.2.3.3	Indringingsdiepte	161
5.2.3.4	Oplosmiddelkeuse	161
5.2.3.5	Geometriese oorwegings	161
5.2.4	Voorgestelde apparaatopstelling	163

Inhoudsopgawe (vervolg...)	Bladsy	
5.2.4.1	Voerstroom tot die mikrogolfoond	163
5.2.4.2	Binne-in die mikrogolfoond	164
5.2.4.3	Strome uit mikrogolfoond uit	166
5.2.5	Plantmateriaalvoorbereiding	166
5.2.6	Skuimweermiddels	168
5.2.7	Berekening van maksimum oondlading	169
5.3	Aanbevelings en opmerkings rondom kontinue mikrogolfdestillasiesisteme	170
5.3.1	Veiligheid	170
5.3.2	Opskaling van apparaat	171
5.3.3	Belangrike ontwerp oorwegings	171
5.3.3.1	Mikrogolfveranderlikes	171
5.3.3.2	Oplosmiddel	172
5.3.3.3	Plantmateriaal	173
5.3.3.4	Distillasieapparaat	173
5.3.4	Aspekte van belang rakende bedryfsprosedures van kontinue sisteme	174
5.3.5	Alternatiewe toerustingkonfigurasies	175
6.	Teevervaardiging vanuit <i>L. scaberrima</i>	178
6.1	Inleiding	178
6.2	Plantmateriaaloorprong	178
6.3	Teevervaardiging	178
6.3.1	Inleiding	178
6.3.2	Drogingskurwes	179
6.3.3	Teevervaardiging prosesstappe	181
6.3.4	Eksperimentele tee's	182
6.3.4.1	Inleiding	182
6.3.4.2	Groen tee metode	183
6.3.4.3	Aangepaste Rooibostee metode	183
6.3.4.4	Swart tee metode	184
6.3.4.5	β -Karoteen byvoeging	185
6.4	Sensoriese beoordeling en statistiese analise	186

Inhoudsopgawe (vervolg...)	Bladsy	
6.4.1	Inleiding	186
6.4.2	Groen tee metode	186
6.4.3	Aangepaste Rooibostee metode	187
6.4.4	Swart tee metode	188
6.4.5	β -Karoteen byvoeging	190
6.5	Medisinale eienskappe van <i>L. scaberrima</i> tee	190
6.5.1	Inleiding	190
6.5.2	Sitotoksiese aktiwiteit	191
6.5.3	Antifungale aktiwiteit	191
6.6	Chemiese karakterisering	192
6.7	Gevolgtrekkings en aanbevelings	193
7.	Gevolgtrekkings en aanbevelings	195
7.1	Inleiding	195
7.2	<i>L. scaberrima</i> as gevallestudie	195
7.3	Karakterisering van die olies	195
7.4	Enkelladingsmikrogolfdestillasie veranderlikes ondersoek	196
7.4.1	Irradiasietydsduur	196
7.4.2	Verhouding water tot plantmateriaal gebruik	197
7.4.3	Voginhoud van plantmateriaal	197
7.4.4	Hersirkulering van distillaatwater	197
7.4.5	Plantmateriaal verdelingsgraad	198
7.4.6	Oppervlakspanningsmodifisering	199
7.4.7	Voorafbehandeling nl. weking	199
7.4.8	Ladingsgrootte	199
7.4.9	Distillasiekinetika	199
7.4.10	Alternatiewe oplosmiddel	199
7.5	Kontinue mikrogolfsisteme	200
7.5.1	Veiligheid	200
7.5.2	Oplosmiddel	200

Inhoudsopgawe (vervolg...)

Bladsy

7.5.3	Distillasieapparaat	201
7.5.4	Stroomvloeiempo's	201
7.5.5	Opskaling van apparaat	202
7.5.6	Bedryfsprosedures en –veranderlikes	202
7.5.7	Alternatiewe toerustingkonfigurasies	203
7.6	Teevervaardiging	203
7.7	Slotrede	204
8.	Verwysings	
9.	Bylaes	
A	Berekening van ekwivalente kwantumenergie van elektromagnetiese straling	A1
B	Ondersoek na die kamfer inhoud van <i>L. scaberrima</i>	B1
C	Voorbeelde van plante wat kommersieel belangrike geneesmiddels lewer	C1
D	Verwerking van literatuur olie opbrengste verkry by verskillende voginhoudswaardes	D1

Lys van figure:

Figuur 2.2.4.3.4.1	Kontinue mikrogolfdestillasiemateriaalvloeiskema	(p. 53)
Figuur 3.2.2.1	Bepaling van kookpuntkrommes	(p. 89)
Figuur 4.1.5.1	Enkelladingsmikrogolfdestillasiemateriaalvloeiskema	(p. 108)
Figuur 5.2.3.1	Bo- en sykant-aansig van die kontinue distillasiemateriaalvloeiskema	(p. 159)
Figuur 5.2.3.2	Voerpunt-aansig van die kontinue distillasiemateriaalvloeiskema	(p. 160)
Figuur 5.2.4.1.1	Voerstroom tot die mikrogolfoond	(p. 164)
Figuur 5.2.4.2.1	Bo-aansig van opstelling binne-in mikrogolfoond	(p. 165)
Figuur 5.2.4.2.2	Sykant-aansig van opstelling binne-in mikrogolfoond	(p. 165)
Figuur 5.2.4.3.1	Vloeiuitgang uit die mikrogolfoond	(p. 166)
Figuur 5.3.5.1	'n Dubbelluik deurgang metode	(p. 176)
Figuur 5.3.5.2	Voorgestelde industriële proseskonfigurasie	(p. 177)

Lys van grafieke:

Grafiek 3.2.2.1	Kookpункtkrommes	(p. 90)
Grafiek 3.3.8.1	Residuele massas olie tydens verdamping 100)	(p.
Grafiek 4.2.1.1	Invloed van irradiasietydsduur op opbrengs 118)	(p.
Grafiek 4.2.2.1	Invloed van verhouding water tot plantmateriaal gebruik op opbrengs 119)	(p.
Grafiek 4.2.3.1	Invloed van voginhoud op opbrengs 120)	(p.
Grafiek 4.2.4.1	Invloed van hersirkulasiewater op opbrengs 121)	(p.
Grafiek 4.2.5.1	Invloed van verdelingsgraad op opbrengs 122)	(p.
Grafiek 4.2.6.1	Invloed van oppervlakspanningsmodifiseerder op opbrengs 123)	(p.
Grafiek 4.2.7.1	Invloed van voorafbehandeling nl. weking op opbrengs 124)	(p.
Grafiek 4.2.8.1	Invloed van plantmateriaal ladingsgrootte op opbrengs 125)	(p.
Grafiek 4.2.9.1	Distillasiekinetika van die olie opbrengs 126)	(p.
Grafiek 4.2.9.2	Distillasiekinetika van die distillaatwater herwin 127)	(p.
Grafiek 6.3.2.1	Drogingskurwes van <i>L. scaberrima</i> plantmateriaal by verskillende temperature 179)	(p.
Grafiek 6.3.2.2	Drogingskurwe van <i>L. scaberrima</i> plantmateriaal by Omgewingstemperatuur 180)	(p.

Lys van tabelle:

Tabel 2.2.2.1	Geselekteerde fisiese en chemiese eienskappe	(p. 23)
Tabel 2.2.2.2.	Fisiese en chemiese eienskappe van <i>Lippia</i> essensiële olies	(p. 24)
Tabel 2.2.3.1.1	Energiewaardes van geselekteerde chemiese bindings en Elektromagnetiese straling	(p. 27)
Tabel 2.2.3.4.1	Diëlektriese eienskappe van geselekteerde materiale	(p. 32)
Tabel 2.2.3.6.1	Indringingsdiepte van geselekteerde materiale	(p. 36)
Tabel 2.2.5.2.1	Suid-Afrikaanse essensiële olies gelever aan die wêreldmark gedurende 1984	(p. 55)
Tabel 2.3.2.1	<i>Lippia</i> Houst. spesies as tee gebruik	(p. 62)
Tabel 3.2.1.1	Vriespunte	(p. 88)
Tabel 3.2.3.1	Soortlike gewigte	(p. 91)
Tabel 3.2.4.1	Refraksie-indekse	(p. 91)
Tabel 3.2.6.1	Optiese rotasies	(p. 94)
Tabel 3.3.2.1	Mengbaarheid met etanol	(p. 95)
Tabel 3.3.4.1.	Karbonielgetalle	(p. 96)
Tabel 3.3.5.1	Suurgetalle	(p. 96)
Tabel 3.3.6.1	Estergetalle voor asetilering	(p. 97)
Tabel 3.3.6.2	Estergetalle na asetilering	(p. 98)
Tabel 3.3.7.1	Vry en totale alkohol inhoud	(p. 98)
Tabel 4.1.2.1	Samestelling en voginhoud van ingesamelde plantmateriaal gedurende progressiewe droging	(p. 104)
Tabel 4.1.4.1	Invloed van verhouding water tot plantmateriaal gebruik (Waterdistillasie)	(p. 107)
Tabel 4.2.10.1	Resultate van etanol distillasielopies	(p. 128)
Tabel 4.3.4.1	Invloed van plantmateriaalvoginhoud op opbrengs	(p. 133)
Tabel 4.3.12.1	Maksimum olie opbrengste (Enkelladingsdistillasie)	(p. 147)

Tabel 4.3.12.2	Standaard opbrengste (Enkelladingsdistillasie) 149)	(p.
Tabel 4.3.12.3	Statistiese analyses van die standaardopbrengste 150)	(p.
Tabel 5.2.1.1	Mikrogolfoond termiese effektiwiteit bepaling 152)	(p.
Tabel 5.2.2.1	Afsnygolfgeleier ontwerp voorbeelde 158)	(p.
Tabel 5.2.5.1	Invloed van plantmateriaalvoorbereiding op olie-opbrengs (Waterdistillasie) 167)	(p.
Tabel 5.2.5.2	Hoopdighede van <i>L. scaberrima</i> lugdroë materiaal 168)	(p.
Tabel 6.3.4.2.1	<i>L. scaberrima</i> groen tee vervaardiging eksperimente 183)	(p.
Tabel 6.3.4.4.1	<i>L. scaberrima</i> swart tee vervaardiging eksperimente 185)	(p.
Tabel B.1	Hoeveelhede kamfer in <i>L. scaberrima</i> essensiële olies (Molpersentasies)	(p. B1)
Tabel B.2	Essensiële olie opbrengste vir olies genoem in Tabel B.1 (Massapersentasies)	(p. B2)
Tabel B.3	Hoeveelhede <i>L. scaberrima</i> essensiële olies wat 50 mg kamfer bevat	(p. B2)
Tabel B.4	Hoeveelhede <i>L. scaberrima</i> plantmateriaal wat 50 mg kamfer bevat	(p. B3)
Tabel C.1	Plante wat kommersieel belangrike geneesmiddels lewer	(p. C1)
Tabel D.1	Hoeveelhede plantmateriaal ondersoek D1)	(p.
Tabel D.2	Ooreenstemmende hoeveelhede droë plantmateriaal D1)	(p.
Tabel D.3	Hoeveelhede olie herwin D2)	(p.
Tabel D.4	Vergelykbare olie opbrengswaardes D2)	(p.

