



národní  
úložiště  
šedé  
literatury

## **Optimalizace a matematický popis hydrodestilace eukalyptu a lipie**

Topiař, Martin  
2013

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-161347>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 18.07.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://www.nusl.cz) .

# Optimalizace a matematický popis hydrodestilace eukalyptu a lipie

M. Topiař, M. Sajfrtová, H. Sovová, J. Karban

Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i, Oddělení separačních procesů, Rozvojová 135, 165 02 Praha 6, Tel: +420 220 390 241, Email: [topiar@icpf.cas.cz](mailto:topiar@icpf.cas.cz)

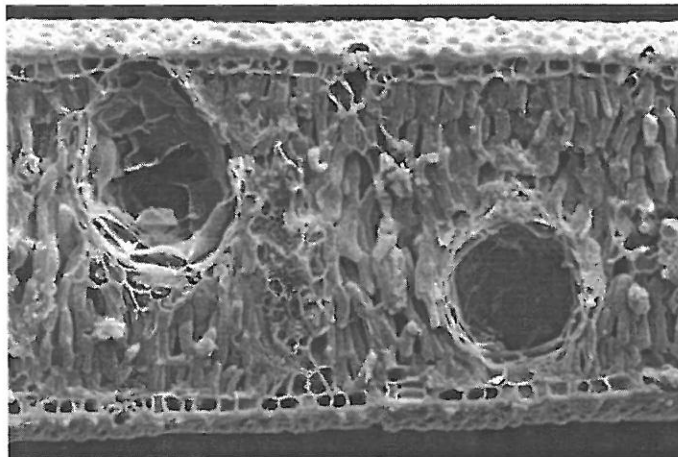
K získání silice z rostlin *Eucalyptus grandis* a *Lippia javanica* sloužila hydrodestilace s použitím Clevengerova nástavce. Proměnnými parametry procesu byla doba varu, velikost částic a hydromodul (poměr navážky a objemu vody). K vyhodnocení kinetických konstant hydrodestilace obou rostlin byl použit vhodný matematický model<sup>1</sup>, který počítá s rozdělením destilátu na dva podíly, kdy jeden je extrahován rychleji a druhý pomaleji, přičemž každému podílu přísluší vlastní kinetická konstanta. Mezi hlavní analyzované složky silice z eukalyptu patřil 1,8 cineol (38,5 hm. %),  $\alpha$ -pinen (8,2 hm. %), aromadenrden (5,2 hm. %) a spathulenol (4,4 hm. %). Majoritní složky získané z výtažku lipie byly perillaldehyd (39,6 hm. %), limonen (12,2 hm. %) a germacren D (1,6 hm. %). Bylo zjištěno, že optimálními parametry z hlediska maximalizace výtěžku jsou doba varu 5 h s poměrem navážka k objemu vody 1:5. Velikost částic nemá u zkoumaných rostlin zásadní vliv na velikost výtěžku. Maximální výtěžek eukalyptové silice dosahoval 26,7 mg/g, zatímco u lipie byl maximální výtěžek poloviční, a to 12,8 mg/g.

## Úvod

### 1.1. Hydrodestilace

Hydrodestilace patří mezi nejjednodušší a nejdéle používané metody, které slouží k získání těkavých rostlinných výtažků. Ty mohou být zdrojem důležitých skupin látek s rozsáhlou škálou účinků, jež jsou využívány v kosmetickém, farmaceutickém nebo agrárním průmyslu. Jedná se také o standardizovanou metodu využívanou k destilaci silic za účelem kontroly kvality průmyslově vyráběných produktů. Získání těkavých sloučenin z rostlin hydrodestilací lze provést dvěma základními postupy: destilací vodní parou nebo hydrodestilací podle Clevengera. Odlišnost mezi těmito metodami spočívá v rozdílné interakci rostlinného materiálu s vodou. Zatímco u destilace vodní parou je lože usušené rostliny umístěno v proudu páry, u Clevengerova přístroje je rostlinný materiál umístěn přímo ve vařící vodě. Obě metody ovšem využívají hydrofobní povahy destilovaných sloučenin, které se od sebe oddělí díky rozdílné hustotě. Délétrvající teplotní stres při teplotě varu vody může vést k degradaci teplotně labilních látek, kdy dochází k hydrolyze esterů nebo polymerizaci aldehydů. Řešením tohoto problému je většinou použití jiné separační metody, která je provozována za šetnějších podmínek vůči žádaným sloučeninám. Příkladem těchto sofistikovanějších metod může být vakuová destilace, ultrazvuková destilace nebo superkritická extrakce.

Silice je sekundárním metabolitem nadzemních částí všech aromatických rostlin, přičemž může být v rostlině uložena několika způsoby: v sekrečních buňkách, kanálcích, kavitách nebo glandulárních trichomech. Výzkum ohledně struktur, v nichž rostliny uchovávají těkavé látky, provedli Svoboda a kol<sup>2</sup>. Bylo zjištěno, že například v listech eukalyptu je silice uložena v kanálcích, jak je vidět na obrázku ze skenovacího elektronového mikroskopu (obr 1). Silice jsou složeny převážně ze dvou až tří majoritních složek, které udávají její chemické a senzorické vlastnosti. Její složení u rostlin stejného druhu závisí také na půdních a podnebných podmínkách při pěstování.



Obrázek 1. Průřez listu eukalyptu s kanálky, v nichž je uložena silice<sup>2</sup>

### MODELOVÁNÍ HYDRODESTILACE

Jako i u ostatních separačních procesů je vhodné určit základní charakteristiky hydrodestilace, které lze získat pomocí vhodného matematického modelu. S jejich znalostí může dojít k racionalizaci celého procesu, což vede především ke snížení jeho finančních nároků. V minulosti bylo publikováno několik modelů pro popis hydrodestilace<sup>3</sup> a destilace vodní parou<sup>4</sup>. Většina autorů počítá s následujícími předpoklady: i) silice má konstantní vlastnosti v průběhu celého procesu, ii) rostlinný materiál je složen z částic o stejné velikosti, tvaru a počátečním obsahem silice, iii) reakční směs v zahříváné baňce je dokonale promíchávána, iv) rovnováha mezi fázemi je ustavena okamžitě díky zanedbatelnému odporu proti přenosu hmoty. Pro vyhodnocení základních parametrů naměřených dat z rostlin *Eucalyptus grandis* a *Lippia javanica* byl použit model publikovaný Benyoussefem a Saibi<sup>1</sup>, jehož konečný matematický zápis udává rovnice (1), kde  $Y(t)$  je výtěžek silice v daném čase,  $Y_{\infty}$  odpovídá asymptotickému výtěžku,  $k_1$  a  $k_2$  jsou kinetické konstanty a  $f$  vyjadřuje podíl destilovaných látek.

$$Y(t) = Y_{\infty} [1 - fe^{-k_1 t} - (1 - f)e^{-k_2 t}] \quad (1)$$

Výhodou tohoto modelu je použití parametrů, které lze experimentálně ověřit, zatímco většina publikovaných dat vychází pouze z matematické predikce parametrů. Tento model bere do úvahy existenci dvou souběžných difuzních procesů v částici,  $f$  a  $(1-f)$ , které vznikají díky rozdílné dostupnosti extrahovatelných látek. Každému z těchto procesů pak náleží vlastní kinetická konstanta. Shodný matematický zápis, ovšem s odlišným vysvětlením jednotlivých členů rovnice publikovali již dříve Sovová a Aleksovski<sup>5</sup>. Zde byl první kinetický člen dán do souvislosti s rychlostí toku parní fáze, která může mít vliv především na počáteční fázi destilace, kdy dochází k vymývání dobře dostupných látek z porušených žláznatých struktur. Druhý kinetický člen pak popisuje difuzi destilovaných sloučenin z uzavřených buněk v rostlině do vodní fáze, která se nachází v baňce. Během mechanické přípravy rostlinného materiálu dochází k narušení původního uspořádání látek v rostlině, což má vedle samotného varu také za následek destrukci útvarů, ve kterých je uložen esenciální olej. Z toho plyne, že při sestavování nového matematického popisu hydrodestilace je potřeba pamatovat také na morfologické uspořádání studovaného rostlinného druhu.

## 1.2. Rostlinný materiál

### 1.2.1. *Eucalyptus grandis*

*Eucalyptus* (*Eucalyptus grandis* L.) je dřevina náležící do čeledi myrtovitých (*Myrtaceae*), rostlin řadu myrtotvarých (*Myrtales*). Jedná se o strom s hladkou kůrou původem z Austrálie dorůstající do výšky okolo 50 m. Kůra a listy eukalyptu (obr. 2) jsou již po dlouhá staletí užívány v lidovém léčitelství na léčbu nachlazení, horečky nebo bolesti zubů<sup>6</sup>. Listy eukalyptu jsou zdrojem mnoha bioaktivních sloučenin, jako jsou například flavanoidy, taniny nebo terpeny<sup>7</sup>. Studie provedeny na několika druzích rostlin rodu eukalyptus prokazují také repelentní<sup>8</sup> a insekticidní<sup>9</sup> aktivitu získaných výtažků. Účinnost hydrodestilátů z pěti druhů eukalyptu proti vším byla zkoumána Tolozou a kol<sup>10</sup>. Hydrodestilace čerstvých eukalyptových listů probíhala po dobu 70 min v Clevengerově aparatuře. Vlhkost byla z destilátu odstraněna vysušeným síranem sodným. Pomocí plynové chromatografie bylo stanoveno složení jednotlivých silic, přičemž hlavními složkami hydrodestilátu z rostliny *E. grandis* byly  $\alpha$ -pinen (52,7 hm. %), 1,8-cineol (18,4 hm. %) a *p*-cymen (9,7 hm. %) s výtěžkem 0,36 hm. %. Mezi jednotlivými druhy eukalyptu byla pozorována změna v zastoupení majoritních složek silice, která vedla k rozdílné repelentní aktivitě vůči vším. Repelentní účinek výtažků se pohyboval v rozmezí 47,8 – 80,7 %, přičemž byla pozorována korelace mezi touto veličinou a koncentrací 1,8-cineolu v silici.



Obrázek 2. *Eucalyptus grandis* – listy, květ

Chemické složení pěti druhů eukalyptů z pobřeží Côte d'Ivoire porovnal Coffi a kol<sup>11</sup>. K získání hydrodestilátu sloužila Clevengerova aparatura s 200 g usušeného rostlinného materiálu, přičemž var byl ukončen po třech hodinách. Nejvyšší výtěžek, 0,7 hm. % byl získán z druhů *E. camaldulensis* a *E. deglupta*, zatímco z *E. grandis* bylo vydestilováno 0,52 hm. % silice. Mezi hlavní analyzované složky silice z *E. grandis* patřily  $\alpha$ -pinen (37,8 hm. %),  $\beta$ -pinen (15,53 hm. %), limonene (5,2 hm. %), *p*-cymen (5,9 hm. %). Na rozdíl od prací ostatních autorů koncentrace 1,8-cineolu v silici dosahovala pouze 0,6 hm. %.

### 1.2.2. *Lippia javanica*

*Lippia javanica* (Obr. 3), známá jako divoký čaj, je rostlina patřící do čeledi sporýšovité (*Verbenaceae*) rostlin řadu hluchavkotvaré (*Lamiales*). Vyskytuje se převážně v Jižní Africe, kde může dorůstat až do velikosti dvoumetrového keře s bílými květy na koncích stonků. Mezi domorodým obyvatelstvem se usušené listy lipie často používají jako náhražka čaje bez kofeinu<sup>12</sup>. Tento výluh slouží také jako prostředek pro zmírnění následků kousnutí hmyzu nebo léčbě

opruzenin<sup>13</sup>. Z medicínského hlediska byly u *L. javanicy* zjištěny účinky analgetické, antipyretické, antiseptické nebo antihistaminické<sup>14</sup>. V posledních letech bylo provedeno několik výzkumů se zaměřením na repelentní<sup>15</sup> a insekticidní<sup>16</sup> působení výtažků z lipie. Při výzkumu zaměřeném na repelentní účinky silice ze šesti druhů rostlin pěstovaných v Keni bylo analyzováno také složení výtažku z rostliny *L. javanica*. Hydrodestiláty ze všech studovaných rostlin byly získány pomocí Clevengerovy aparatury na jímání silic, přičemž mezi hlavní identifikované složky *L. javanicy* byly limonenoxid (39,0 hm. %), *cis*-verbenol (11,3 hm. %) a verbenon (6,1 hm. %). Co se týče repelentního působení silice esenciálních olejů proti komáru rodu *Anopheles gambiae* dosahovala silice z rostliny *L. javanica* třetí nejvyšší účinnosti, kdy na odpuzení 50 % komárů bylo zapotřebí 26 mg výtažku na cm<sup>2</sup>. Nejúčinnější hydrodestiláty byly získány z rostlin *Conyza newii* a *Plectranthus marrubioides*, u kterých stačilo k odpuzení 50 % komárů 8 mg silice na cm<sup>2</sup>.

Také Magano a kol.<sup>17</sup> zkoumal repelentní účinky silice z rostliny *L. javanica*, tentokrát ovšem na dospělci klíštěte z rodu *Hyalomma marginatum*. Silice byla získána hydrodestilací 200 g usušené nadzemní části lipie vypěstované v Pretorii společně se 400 ml vody po dobu 2 h. Výtěžek silice při použití těchto podmínek odpovídal 0,04 hm. %, přičemž majoritními složkami byly bicyklo(3,1,1)heptan-2-on (20,8 hm. %), myrcen (13,4 hm. %), 2-butanon (13,3 hm. %) a ipsenon (9,6 hm. %). Bylo zjištěno, že repelentní aktivita silice rostla s její zvyšující se koncentrací v postřiku, přičemž maximálních hodnot dosahovala při koncentraci 10,7 hm. %.



Obrázek 3. *Lippia javanica* – nadzemní část

Značné rozdíly ve složení silice z lipie, které je pozorováno u výsledků různých autorů, bývají vysvětlovány výskytem pěti rozdílných fenotypů<sup>18</sup>. Jedná se o druhy, v jejichž hydrodestilátech převládá jedna charakteristická majoritní složka, konkrétně myrcenon, karvon, piperitenon, ipsenon a linalool. V rámci tohoto výzkumu bylo stanoveno složení hydrodestilátů z pěti fenotypově rozdílných druhů lipie za účelem zjištění jejich antimikrobní aktivity vůči několika druhům bakterií, jež jsou původci respiračních onemocnění. Bylo zjištěno, že výtažky z lipie napomáhají redukovat bakteriální populaci, přičemž nejsilnější bakteriostatický efekt byl pozorován vůči bakterii *Klebsiella pneumoniae*.

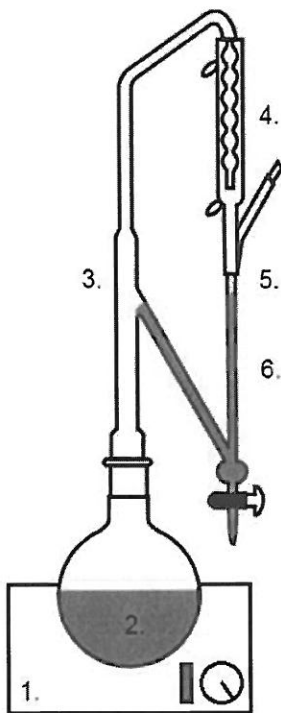
## 2. Experimentální část

### 2.1. Příprava suroviny

Rostlinný materiál pocházející z Jihoafrické republiky byl dodán firmou Matoušek CZ a.s. Usušené listy eukalyptu a usušená nadzemní část rostliny *L. javanica* byly před použitím skladovány v utěsněných nádobách umístěných v mrazicím boxu. Před pokusem bylo pomocí laboratorního mlýnku namleto potřebné množství rostliny, to bylo dále přesítováno na sítu s velikostí ok 1 mm. Za účelem zjištění vlivu velikosti částic na výtěžek hydrodestilace byly některé pokusy provedeny s frakcí o velikosti částic větších než 1 mm.

### 2.2. Podmínky hydrodestilace

Hydrodestilace probíhala v přístroji na stanovení silic v rostlinných drogách podle Clevengera, viz obr. 4. Usušený, namletý rostlinný materiál byl společně s destilovanou vodou a varnými kamínky vložen do kulaté baňky, která byla umístěna do topného hnízda. Na baňku byl nasazen nástavec na jímání silic obsahující chladič a kalibrovanou kapilárou pro měření objemu esenciálního oleje. Po přivedení obsahu baňky k varu stoupala pára společně s těkavými látkami do chladiče, kde kondenzovaly a skapávaly do kapiláry. Přebytková voda byla odváděna postranním ramenem zpět do baňky, zatímco se silice držela v horní části kapiláry na hladině vody. U pokusů proměřujících průběh hydrodestilace bylo odebráno několik frakcí v průběhu experimentu za účelem zjištění nárůstu výtěžku. U ostatních měření byl odebrán pouze jeden vzorek po uplynutí stanovené doby varu, která byla počítána od začátku kondenzace vody v chladiči. Silice byla po odměření objemu v kapiláře do odeslání na analýzu uchována v mrazicím boxu ve vialce utěsněné Parafilmem<sup>®</sup>. Podmínky hydrodestilace obou druhů rostlin jsou uvedeny v tabulce 1.



Obrázek 4. Clevengerova aparatura na jímání silic. 1. topné hnízdo, 2. směs vody a namleté rostliny, 3. Clevengerův nástavec, 4. chladič, 5. silice, 6. zkondenzovaná voda

Tabulka 1. Experimentální podmínky hydrodestilace

| Proměnný parametr |                                  | Konstantní parametry   |
|-------------------|----------------------------------|--|
| Čas [h]           | 1, 3, 5, 7, 10                   | <i>E. grandis</i> – 30 g, 90 ml<br><i>L. javanica</i> – 30 g, 120 ml           |
| Velikost částic   | $x \geq 1$ mm<br>$x \leq 1$ mm   | <i>E. grandis</i> – 30 g, 300 ml, 5 h<br><i>L. javanica</i> – 30 g, 120 ml, 5h |
| Navážka [g]       | 60, 120, 200, 240, 270, 300, 400 | <i>E. grandis</i> - 1200 ml, 5h  |

### 2.3. Analýza extraktů

Složení těkavých látek v hydrodestilátech bylo stanoveno pomocí plynové chromatografie (GC-MS a GC-FID). Identifikace sloučenin byla provedena porovnáním změřených hmotnostních spekter a aritmetických retenčních indexů s daty publikovanými v literatuře<sup>19</sup>.

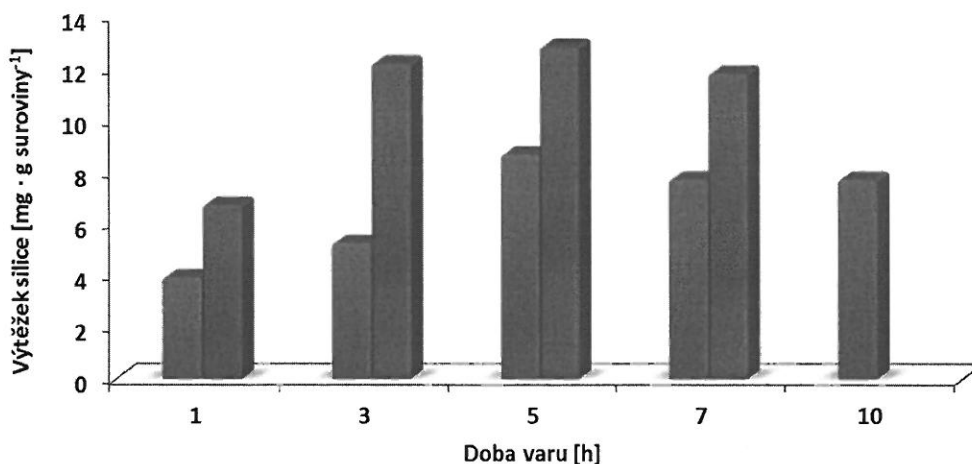
GC-MS: plynový chromatograf Agilent 6890 vybavený hmotnostním spektrometrem Agilent 5973 s elektronovou ionizací, energie elektronů 70 eV, sken mod: m/z 35-400. Kolona DB-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25  $\mu$ m), nosný plyn He, průtok 1 ml/min, teplota od 60 do 290 °C s gradientem 3 °C/min.

GC-FID: plynový chromatograf Hewlett Packard 5890, kolona DB-5 (30 m x 0,25 mm x 1  $\mu$ m), nosný plyn N<sub>2</sub> s tlakem 74 kPa (průtok 0,75 ml/min při teplotě 40 °C), průtok detektorem 48 a 350 ml/min pro H<sub>2</sub> a vzduch, resp., a 75 ml/min pro N<sub>2</sub> jako makeup gas. Teplota byla programována od 40 do 280 °C s gradientem 2 °C/min.

## 3. Výsledky a diskuze

### VLIV DESTILAČNÍ DOBY NA VÝTĚŽEK

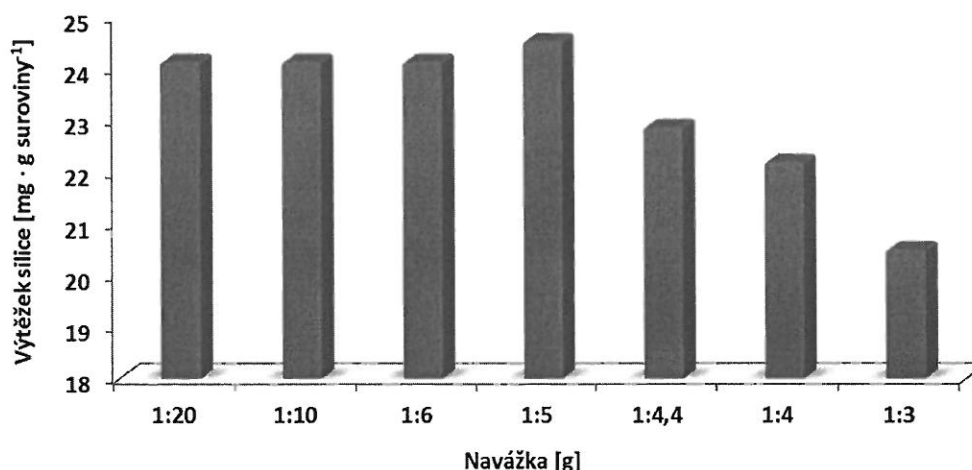
Mezi základní, snadno měnitelné parametry hydrodestilace patří doba varu reakční směsi. Ta má především vliv na konečnou cenu produktu kvůli vysoké spotřebě energie, která je potřeba na ohřev celého systému. Z tohoto hlediska je vhodné dobu varu optimalizovat tak, aby bylo co nejrychleji vydestilováno co nejvyšší množství silice. Závislost výtěžku silice obou studovaných rostlin na destilační době znázorňuje obr. 5. V případě eukalyptu i lipie byl shodně pozorován nárůst výtěžku se vzrůstající dobou varu, přičemž jeho maximálních hodnot bylo dosaženo u pětihodinových experimentů. Další nárůst doby varu již neměl pozitivní vliv na jeho hodnotu. Nízké doby varu nebyly dostačující k vydestilování veškerého dostupného esenciálního oleje, naopak u vysokých destilačních časů docházelo pravděpodobně k úniku nejtěkavější části silice do okolí. Z tohoto důvodu byla pro následující experimenty zvolena jako nejvýhodnější doba varu 5 h. Nižší hodnoty výtěžků u eukalyptu oproti ostatním experimentům jsou v této sadě pokusů zapříčiněny použitím staršího rostlinného zdroje.



Obrázek 5. Vliv doby varu na velikost výtěžku, ■ *E. grandis*, ■ *L. javanica*

#### VLIV HYDROMODULU NA VÝTĚŽEK

Dalším parametrem, který ovlivňuje finanční nákladnost hydrodestilace je takzvaný hydromodul neboli poměr navážky rostlinného materiálu k objemu použité vody. Jeho vliv na výtěžek silice z eukalyptu lze pozorovat na obr. 6. Cílem bylo použití co nejvyšší navážky rostliny při konstantním objemu destilované vody (1200 ml) společně se zachováním vysokých hodnot výtěžků. U hodnot hydromodulu se v rozmezí 1:20 až 1:5 výtěžek pohyboval těsně nad 24 mg/g, přičemž s jeho dalším nárůstem již docházelo k jeho výraznějšímu poklesu z důvodu vysokého obsahu rostliny k danému množství vody. To mělo za následek špatné promíchávání reakční směsi, v důsledku čehož došlo ke zvýšení odporu proti přenosu hmoty mezi pevnou a kapalnou fází.



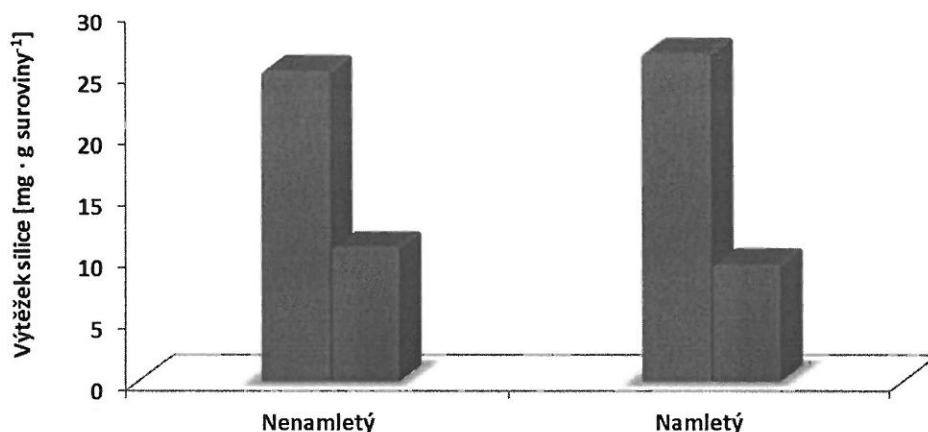
Obrázek 6. Vliv hydromodulu (navážka ku objemu vody) na výtěžek destilátu z eukalyptu

#### VLIV VELIKOSTI ČÁSTIC NA VÝTĚŽEK

Posledním sledovaným parametrem ovlivňujícím výtěžek hydrodestilace byla velikost částic rostlinného materiálu (obr. 7). Předpokladem bylo, že se zmenšující se velikostí částic a tudíž se zvětšující se mezifázovou plochou dojde také k nárůstu výtěžku esenciálního oleje. Tento předpoklad se sice v případě silice z eukalyptu potvrdil, nicméně rozdíl ve výtěžcích byl minimální. Důvodem je zejména způsob uložení esenciálního oleje v eukalyptových listech, který je dán morfologií každé rostliny. V případě eukalyptu jsou těkavé látky skladovány v kanálcích, takže



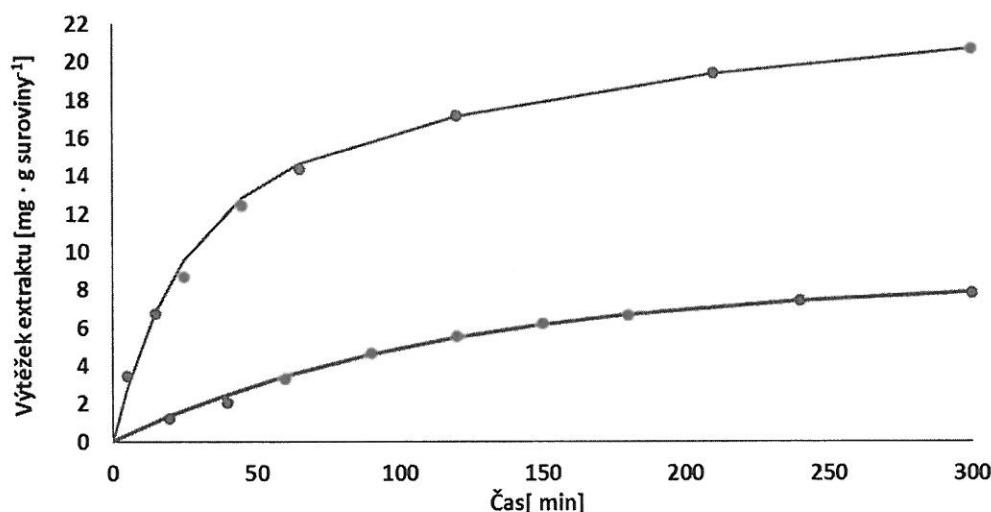
stačí narušení v jednom místě a jejich obsah se stane snadno dostupným pro extrakci. Proto zmenšování velikosti částic u tohoto druhu rostlin nepřináší znatelné zvýšení výtěžků. U silice z *L. javanic* došlo u namletého materiálu k mírnému poklesu výtěžku, který mohl být způsoben ztrátami nejtěkavějších látek při mechanické přípravě vzorku.



Obrázek 7. Závislost výtěžku silice na velikosti částic, ■ *E. grandis*, ■ *L. javanica*

#### PRŮBĚH HYDRODESTILACE

Byly proměřeny také destilační křivky esenciálního oleje z obou studovaných rostlin (obr. 8). Při hydrodestilaci eukalyptové silice bylo pozorováno rozdělení procesu na dvě části. V rychlé počáteční fázi se vydestilovaly dobře dostupné látky z porušených buněk, které vznikly díky mechanické přípravě vrozku. V části druhé se začal již plně projevovat vliv vnitřního odporu přenosu hmoty v tuhé fázi. Následkem toho byl nárůst výtěžku se stoupající dobou varu reakční směsi již minimální. V případě lipie se projevil pomalý nárůst výtěžku při vyšších destilačních časech, avšak na počátku procesu nebyl pozorován tak rychlý nárůst výtěžku jako u silice eukalyptu. To může být zapříčiněno horší fyzickou dostupností extrahovatelných látek, které jsou pravděpodobně i po namletí rostlinného materiálu umístěny v uzavřených rostlinných buňkách.



Obrázek 8. Destilační křivky silice z rostlin ■ *E. grandis* a ■ *L. javanica*, experimentální body jsou proloženy matematickým modelem

Mezi majoritní složky silice z eukalyptu patřil 1,8 cineol (38,5 hm. %),  $\alpha$ -pinen (8,2 hm. %), aromadendren (5,2 hm. %) a spathulenol (4,4 hm. %). Hlavní sloučeniny získané z výtěžku lipie byly perillaldehyd (39,6 hm. %), limonen (12,2 hm. %) a germacren D (1,6 hm. %). Prostřednictvím diskutovaného matematického modelu<sup>1</sup> byly pomocí experimentálních dat (obr. 8) nafitovány jednotlivé parametry, jejichž hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2. U obou rostlin bylo možné přesné proložení experimentálních bodů modelem, ovšem v případě lipie se ukázalo, že rozdělení destilátu na dva podíly není nutné, jelikož se silice chová jako jediná složka s kinetickou konstantou  $k = 0,008$  1/min. V případě eukalyptu ovšem toto členění význam má, jelikož podíl dobře přístupných látek dosahoval 71,6 %, přičemž tato část měla kinetickou konstantu téměř 4,5 krát větší než děj pomalejší.

Tabulka 2. Vyhodnocené parametry modelu pro pokusy znázorněné na obr. 8

| <i>Eucalyptus grandis</i> |        | <i>Lippia javanica</i> |       |
|---------------------------|--------|------------------------|-------|
| $Y_{\infty}$ [mg/g]       | 20,823 | $Y_{\infty}$ [mg/g]    | 8,646 |
| $f$                       | 0,716  | $f$                    | 1     |
| $k_1$ [1/min]             | 0,089  | $k$ [1/min]            | 0,008 |
| $k_2$ [1/min]             | 0,012  | -                      | -     |

#### 4. Závěr

Byla provedena hydrodestilace rostlin *Eucalyptus grandis* a *Lippia javanica* se zaměřením na sledování změny ve výtěžku v závislosti na době varu, velikosti částic a poměru navážky rostlinného materiálu k objemu použité vody. Průběh extrakce byl sledován pomocí měření destilačních křivek při hydromodulu 1 ku 5 (navážka/voda) a době varu reakční směsi rovné 5 h. Získaná data byla proložena matematickým modelem, přičemž bylo vyhodnoceno několik parametrů hydrodestilace. U eukalyptu bylo dobře dostupných 71,6 % silice s kinetickou konstantou  $k_1 = 0,012$  1/min. Většina destilovaných látek tedy byla již v počáteční fázi hydrodestilace dobře přístupná a rychlost procesu nebyla brzděna difuzí látek skrz buněčnou stěnu do rozpouštědla. Naopak esenciální olej z rostliny *L. javanica* se destiluje jako jediná složka, které odpovídá kinetická konstanta  $k = 0,008$  1/min. Chemické složení silice bylo stanoveno pomocí plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC-MS) v kombinaci s plynovou chromatografií s plamenově ionizačním detektorem (GS-FID). Pozitivní vliv na výtěžek mělo prodloužení doby destilace, přičemž optimální doba varu byla u obou rostlin stanovena na 5 hodin. Vliv velikosti částic na množství destilátu se po této době neprojevil. Vhodný poměr navážky k množství vody byl 1:5, při nižším objemu vody byl pozorován úbytek ve výtěžku silice. Maximální hodnota výtěžku ze silice eukalyptu byla 26,7 mg/g, v případě lipie maximální výtěžek dosahoval 12,8 mg/g.

## 5. Literatura

1. Benyoussef, E.-H.; Saibi, S., Influence of essential oil composition on water distillation kinetics. *Flavour and Fragrance Journal* **2013**, n/a-n/a.
2. Svoboda, K. P.; Svoboda, T. G.; Syred, P. M., *Secretory structures of aromatic and medicinal plants: a review and atlas of micrographs*. Microscopix: 2000.
3. (a) Stanislavljevic, I. T.; Lazic, M. L.; Veljkovic, V. B.; Stojicevic, S. S.; Velickovic, D. T.; Ristic, M. S., Kinetics of hydrodistillation and chemical composition of essential oil from cherry laurel (*Prunus laurocerasus* L. var. *serbica* Pancic) leaves. *J. Essent. Oil Res.* **2010**, *22* (6), 564-567; (b) Babu, G. D. K.; Singh, B., Simulation of Eucalyptus cinerea oil distillation: A study on optimization of 1,8-cineole production. *Biochem. Eng. J.* **2009**, *44* (2-3), 226-231.
4. Cerpa, M. G.; Mato, R. B.; Cocero, M. J., Modeling steam distillation of essential oils: application to lavandin super oil. *AIChE J.* **2008**, *54* (4), 909-917.
5. Sovova, H.; Aleksovski, S. A., Mathematical model for hydrodistillation of essential oils. *Flavour Fragrance J.* **2006**, *21*, 881-889.
6. Lassak, E. V.; McCarthy, T., *Australian Medicinal Plants: A Complete Guide to Identification and Usage*. New Holland Publishers Pty, Limited: 2011.
7. (a) Elliot, W. R.; Jones, D. L., *Encyclopaedia of Australian plants suitable for cultivation*. Lothian: 1983; (b) Kulkarni, A.; Suzuki, S.; Etoh, H., Antioxidant compounds from Eucalyptus grandis biomass by subcritical liquid water extraction. *J. Wood Sci.* **2008**, *54*, 153-157.
8. Sfara, V.; Zerba, E. N.; Alzogaray, R. A., Fumigant insecticidal activity and repellent effect of five essential oils and seven monoterpenes on first-instar nymphs of *Rhodnius prolixus*. *J. Med. Entomol.* **2009**, *46*, 511-515.
9. Kambu, K.; Di, P. N.; Coune, C.; Wauters, J. N.; Angenot, L., Study of the insecticidal and chemical properties of Eucalyptus saligna from Zaire. *Plant. Med. Phytother.* **1982**, *16*, 34-8.
10. Toloza, A. C.; Lucia, A.; Zerba, E.; Masuh, H.; Picollo, M. I., Interspecific hybridization of Eucalyptus as a potential tool to improve the bioactivity of essential oils against permethrin-resistant head lice from Argentina. *Bioresour. Technol.* **2008**, *99*, 7341-7347.
11. Coffi, K.; Soleymane, K.; Harisolo, R.; Balo, T. B.; Claude, C. J.; Pierre, C.; Gilles, F.; Antoine, A.-C., Monoterpene hydrocarbons, major components of the dried leaves essential oils of five species of the genus Eucalyptus from Cote d'Ivoire. *Nat. Sci. (Irvine, CA, U. S.)* **2012**, *4*, 106-111.
12. Hernandez, N. E.; Tereschuk, M. L.; Abdala, L. R., Antimicrobial activity of flavonoids in medicinal plants from Tafi del Valle (Tucuman, Argentina). *J. Ethnopharmacol.* **2000**, *73* (1,2), 317-322.
13. Palgrave, K. C.; Drummond, R. B.; Moll, E. J.; Palgrave, M. C., *Trees of Southern Africa*. 3rd ed.; Struik Publishers: 2002.
14. Van Wyk, B. E.; Wink, M., *Medicinal Plants of the World: An Illustrated Scientific Guide to Important Medicinal Plants and Their Uses*. Timber Press: 2004.
15. De Wolff, R. Essential oil compositions for killing or repelling ectoparasites and pests. WO2008101131A1, 2008.
16. Nzira, L.; Per, M.; Peter, F.; Claus, B., Lippia javanica (Burm F) Spreng: its general constituents and bioactivity on mosquitoes. *Trop Biomed* **2009**, *26* (1), 85-91.
17. Magano, S. R.; Nchu, F.; Eloff, J. N., In vitro investigation of the repellent effects of the essential oil of Lippia javanica on adults of *Hyalomma marginatum rufipes*. *Afr. J. Biotechnol.* **2011**, *10* (44), 8970-8975.
18. Viljoen, A. M.; Subramoney, S.; van, V. S. F.; Baser, K. H. C.; Demirci, B., The composition, geographical variation and antimicrobial activity of Lippia javanica (Verbenaceae) leaf essential oils. *J. Ethnopharmacol.* **2005**, *96* (1-2), 271-277.
19. Adams, R. P., *Identification of Essential Oil Components By Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. 4th ed.; Allured Publishing Corporation: 2007.