

Esenciální oleje borovic na českém trhu

Tereza Šnajdrová

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Tereza Šnajdrová
Osobní číslo: T22113
Studijní program: B0711A130009 Materiály a technologie
Specializace: Biomateriály a kosmetika
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Esenciální oleje borovic na českém trhu

Zásady pro vypracování

Práce bude obsahovat části, které budou popisovat rozdělení jehličnanů jako rostlinných druhů, které se využívají k produkci komerčních silic.

Zvláštní pozornost bude upřena na borovice *Pinus*.

Text má porovnat chemické složení olejů, popsat jejich základní chemické složky, jsou-li známy také vliv geografie na složení, antioxidační a antimikrobní aktivitu.

Praktická část se má věnovat analýzám na českém trhu dostupným borovicovým esenciálním olejům a to jejich chromatografické separaci.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] BAŞER K. H. C. a BUCHBAUER G. *Handbook of Essential Oils*. 2020. 3. vydání. ISBN 9781351246460.
- [2] TISSERAND R. a YOUNG R. *Essential oil safety: a guide for health care professionals*. 2013. 2. vydání. ISBN 978-0-4430-6241-4.
- [3] MALIK S. (editor), SILORI G. K., KUSHWAHA N. a KUMAR V. Kapitola 10 *Essential Oils from Pines: Chemistry and Applications*. *Essential Oil Research Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production*. 2019. 275–297. DOI 10.1007/978-3-030-16546-8_10.
- [4] KUBECZKA K.-H. a SCHULTZE W. *Biology and Chemistry of Conifer Oils*. *Flavour and Fragrance Journal*. 1987. 2, 137–148.
- [5] ORAV A., KAILAS T. a LIIV M. *Analysis of Terpenoid Composition of Conifer Needle Oils by Steam Distillation/Extraction, Gas Chromatography and Gas Chromatography-Mass Spectrometry*. *Chromatographia*. 1996. 43, 3/4, 215–219.
- [6] JUDZENTIENE A. a KUPCINSKIENE E. *Chemical Composition on Essential Oils from Needles of Pinus sylvestris L. Grown in Northern Lithuania*. *Journal of Essential Oil Research*. 2008. 20, 26–29. DOI: 10.1080/10412905.2008.9699413.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Rudolf, Ph.D.**
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání bakalářské práce: **17. února 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Lucie Urbánková, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou složení esenciálních olejů borovic dostupných na českém trhu. V teoretické části jsou shrnuty poznatky o esenciálních olejích, rodu *Pinus* a chemickém složení borovicových olejů. Praktická část je zaměřena na optimalizaci metod plynové chromatografie, stanovení retenčních časů vybraných čistých látek a následnou analýzu 12 vzorků borovice lesní a borovice přímořské. U nich byla metodou vnitřní normalizace určena relativní množství identifikovaných látek. Díky složení esenciálních olejů obou borovic byly vzorky identifikovány jakožto α -pinen chemotyp v 10 ze 12 případů. Nejvíce zastoupenými složkami u tohoto chemotypu byl α -pinen s obsahem 35,8–78,2 %, β -pinen a D-limonen. Dva zbývající vzorky patřily δ -karen chemotypu s jeho relativním obsahem 31,6–40,7 %. Práce poukazuje na širokou variabilitu kvalitativních a kvantitativních složení esenciálních olejů napříč druhy a jejich výskytem.

Klíčová slova: borovice, extrakce, esenciální olej, jehličí, jehličnan, plynová chromatografie, retenční čas, α -pinen, δ -3-karen

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on the analysis of the composition of pine essential oils available on the Czech market. The theoretical part summarizes the knowledge concerning essential oils, the genus *Pinus* and the chemical composition of pine oils. The practical part is focused on optimization of gas chromatography methods, determination of retention times of selected pure substances and subsequent analysis of 12 samples of Scots pine and maritime pine. The relative amounts of the identified substances were determined by the peak area normalization method. Because of the composition of the essential oils of both pines, the samples were identified as α -pinene chemotype in 10 out of 12 cases. The most common constituents in this chemotype were α -pinene with 35,8–78,2 %, β -pinene and D-limonene. The two remaining samples belonged to the δ -carene chemotype with its relative content of 31,6–40,7 %. This work highlights the wide variation in the qualitative and quantitative compositions of essential oils across species and their geographical origins.

Keywords: pine, extraction, essential oil, needles, conifer, gas chromatography, retention time, α -pinene, δ -3-carene

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ESENCIÁLNÍ OLEJE	13
1.1 TVORBA A ZÍSKÁVÁNÍ ESENCIÁLNÍCH OLEJŮ Z ROSTLIN	13
1.2 ÚČINKY A APLIKACE	19
2 JEHLIČNANY.....	23
2.1 CHARAKTERISTIKA A VÝSKYT	23
2.2 VÝZNAM	24
3 BOROVICE	25
3.1 VYBRANÍ ZÁSTUPCI RODU <i>PINUS</i>	25
Borovice lesní <i>Pinus sylvestris</i> L.	25
Borovice přímořská <i>Pinus pinaster</i> Ait.....	25
Borovice vejmutovka <i>Pinus strobus</i> L.	26
Borovice smolná <i>Pinus resinosa</i> soland. Apod. Ait.....	26
Borovice kleč <i>Pinus mugo</i> Turra.....	26
Borovice sibiřská <i>Pinus sibirica</i> Du Tour	27
4 CHEMICKÉ SLOŽENÍ EO BOROVIC.....	28
4.1 HLAVNÍ SLOŽKY BOROVICOVÝCH EO	28
α -Pinen a β -pinen	29
D-Limonen	30
Bornyl-acetát	30
Kamfen	31
δ -3-Karen.....	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
5 CÍLE PRÁCE	34
6 METODIKA PRÁCE.....	35
6.1 POUŽITÉ PŘÍSTROJE, POMŮCKY A VYBAVENÍ	35
6.2 POUŽITÉ METODY PŘI ANALÝZE	36
6.3 ČISTÉ LÁTKY	39
6.4 VZORKY EO	39
7 VÝSLEDKY A DISKUZE	42
ZÁVĚR	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
SEZNAM OBRÁZKŮ	70
SEZNAM TABULEK.....	71
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	73

SEZNAM PŘÍLOH.....75

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zaměřuje na esenciální oleje získávaných z několika druhů borovic dostupných na českém trhu. V poslední době stoupá zájem o přírodní produkty v podobě esenciálních olejů, přípravků s jejich obsahem a pro aplikace s nimi spojené. Zejména je patrný zájem u spotřebitelů o přírodní kosmetiku, aromaterapii a případně alternativní medicínu. Ve sféře výzkumu je tento trend rovněž zřejmý díky účinkům a vlastnostem, kterými esenciální oleje disponují, což přispívá k jejich atraktivitě ve vědecké sféře. Je tedy potřebné jim věnovat pozornost, a to kupříkladu jejich chemickému složení, jejich typizaci a následným možnostem aplikace. Doposud však není mnoho publikací zaměřujících se na analýzu složení esenciálních olejů přístupných na trhu pro spotřebitele, případně posouzení jejich kvality a původu napříč dostupnými zdroji. Z tohoto důvodu se tato práce soustředí na chemickou analýzu těchto olejů pomocí plynové chromatografie, určení majoritních složek nacházejících se v esenciálních olejích a jejich chemotypizaci vzhledem k druhu borovice a jejich původu. Je možné předpokládat, že mezi jednotlivými produkty budou významné rozdíly ve složení díky mnoha faktorům ovlivňujícím výsledná relativní množství a následná pořadí jednotlivých složek. Avšak by stále mělo být možné rozlišit chemotypy daných borovic, které jsou popsány v dostupné literatuře.

Motivace k výběru tématu vychází z mého zájmu o přírodní kosmetiku a přírodní léčiva, zejména v kontextu jejich složení, účinků a případné bezpečnosti složek v nich obsažených. V osobním životě jsem se mnohokrát setkávala s pojetím esenciálních olejů jakožto zcela bezpečných a přírodních surovin, přestože jsou složené z chemických sloučenin s velmi často iritačními a někdy negativními účinky. Toto téma mě tedy zaujalo z důvodu, že se v dnešní době o něm hovoří v rovině marketingu bez základních znalostí vědy a vlastností samotných esenciálních olejů. Zároveň bych prostřednictvím této práce chtěla nabýt zkušenostmi s plynovou chromatografií a obsluhováním přístrojů s ní spojenými. Jde tedy o možnost propojit osobní zájem, kritický pohled na problematiku a rozvoj analytických dovedností. Výsledky této práce mohou být prospěšné nejen pro odbornou ale i pro laickou veřejnost vzhledem k teoretickým a praktickým poznatkům k produktům volně dostupným na českém trhu a obecnému popisu esenciálních olejů a borovic jako takových.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ESENCIÁLNÍ OLEJE

Tato kapitola pojednává prvotně o seznámení se s esenciálními oleji, jejich tvorbou a získáváním. Na závěr jsou rozebrány účinky esenciálních olejů a rovněž jejich možné aplikace.

1.1 Tvorba a získávání esenciálních olejů z rostlin

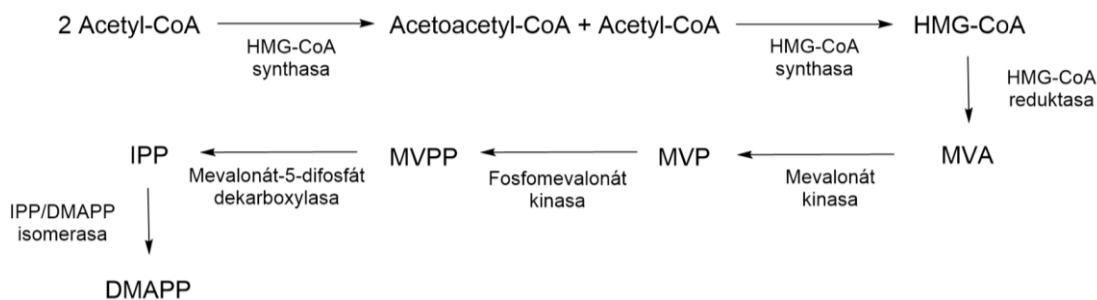
Esenciální oleje (EO) jsou složitými směsmi chemických látek a jsou většinou kapalinami, které se vyznačují především vlastnostmi jako je těkavost a aromatický charakter. Slovo esenciální pochází z latinského sousloví *quinta essentia*, což v překladu znamená pátý živel. V době Aristotela byl ke čtyřem základním živlům jako kupříkladu oheň a voda, řazen pátý element, kterému byl přiřazován charakter duše. Věřilo se, že cokoliv, co voní, má duši a tudíž lze z dané věci získat a izolovat ji a tím ji života a duše zbavit [1, s. 275; 2].

V rostlinách mohou být EO produkovány jakožto sekundární metabolity. Sekundárními metabolity jsou myšleny látky, které rostlina tvoří, ale nejsou pro ni životně ani růstově důležité. Avšak tyto metabolity mohou být důležité k nalákání hmyzu a zvířat, aby mohli šířit pyl nebo semena. Sekundární metabolity rostlin mohou také mít funkci přírodních pesticidů a antibiotik proti mikroorganismům. Jsou tedy klíčové pro obranné mechanismy rostlin. Rostlina je většinou vytváří za účelem zamezení konzumace a okusu býložravcem. Rostliny se tak stávají například nestravitelnými, hořkými nebo jedovatými [3, s. 403; 4, s. 3]. Mezi sekundární metabolity řadíme sloučeniny obsahující dusík, sloučeniny fenolového charakteru a terpeny [5, s. 3]. Ideálním příkladem sekundárních metabolitů jsou isoprenoidy, mezi které řadíme zmíněné terpeny. Ty se tvoří nejen v cytosolu buněk, ale existuje i možnost, kdy se mohou vytvářet v plastidech. Pro tvorbu isoprenoidů existují dvě možné metabolické dráhy. První dráhou je mevalonátová dráha (MVE), jinak známá jako klasická acetátová dráha. V cytosolu dráha začíná kondenzací dvou molekul acetyl-CoA, což vede k vytvoření acetoacetyl-CoA. Po další kondenzaci s další molekulou acetyl-CoA se vytvoří 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA (HMG-CoA). HMG-CoA je následně redukována za vytvoření mevalonové kyseliny. Tento krok je nejzásadnější pro regulaci dráhy. Mevalonová kyselina podléhá fosforylaci a poté dekarboxylaci. Díky těmto krokům vznikne isopentenylpyrofosfát (IPP). IPP se pomocí izomerace může přeměnit na dimethylallylpyrofosfát (DMADPP). DMADPP a IPP slouží k již skutečné syntéze daných isoprenoidů, jelikož jsou prekurzorem izoprenové jednotky. Při pokračování bio-syntézních drah může dojít k vytvoření isoprenoidů. Konkrétněji může jít o seskviterpeny anebo

triterpeny. Další dráhou je methylethritol fosfátová dráha (MEP). Lze ji označit jako nemevalonátovou dráhu. Probíhá v plastidech a začíná kondenzací D-glyceraldehyd-3-fosfátu a pyruvátu za vzniku 1-deoxy-D-xylulóza-5-fosfátu (DXP). DXP je následně izomerizován na methylethritolfosfát. Ten reaguje s cytidin-5'-trifosfátem za vzniku 4-difosfocytidyl-2-C-methyl-D-erythritolu (CDP-ME). CDP-ME je fosforylován na CDP-MEP. Ten je následně cyklizován za vzniku 2-C-methyl-D-erythritol-2,4-cyklodifosfátu (MEcPP), který je dále transformován na 4-hydroxy-3-methylbutenyl-1-difosfát (HMBPP). Ten je při dalších krocích přeměněn na IPP a DMAPP. MVA a MEP dráhy přispívají k syntéze terpenů, které jsou považovány za jedny z nejzákladnějších složek esenciálních olejů [3. s. 413–418; 6, s. 332–335].

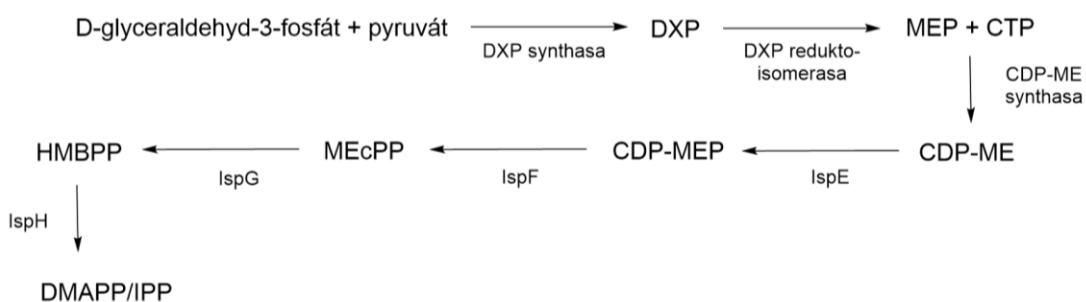
Terpeny dělíme podle počtu izoprenových jednotek, které jsou jejich základními stavebními částmi. Například rozlišujeme monoterpeny, diterpeny, triterpeny a seskviterpeny. Příkladem monoterenů jsou sloučeniny jako je α -pinen, β -pinen, D-limonen a kafr, které je možné hojně nalézt v různých EO [4, s. 18].

Obě dráhy se vzájemně doplňují a obě mají stejnou důležitost, ale v závislosti na konkrétním syntetizovaném terpenoidu a podmínkách může být jedna dráha dominantnější oproti druhé a naopak.



Obrázek 1 Zjednodušené schéma MVA dráhy

(zdroj: vlastní)



Obrázek 2 Zjednodušené schéma MEP dráhy

(zdroj: vlastní)

EO lze získat téměř z jakékoliv části rostliny, ať už jde o kořen, list nebo například květ. Rostliny mohou celkově obsahovat až 1 % EO ve své mokré hmotnosti rostlinného materiálu [1, s. 275; 7, s. 86]. Jedinými kritérii pro získávání EO z rostlinného materiálu jsou náročnost získání EO z dané části a skutečnost, jestli je pro danou část rostliny obsah EO typický nebo až zanedbatelný. Pro získání EO z rostlin je mnoho dostupných metod. Tyto metody pro získávání EO dělíme na metody tradiční a pokročilé [8, s. 21].

Mezi metody tradiční je možné řadit metody jako je macerace, lisování za studena, hydrodestilace a extrakce rozpouštědlem. Macerace je proces pro získávání EO, který je založený na ponoření rostlinného materiálu do rozpouštědla či oleje a jeho ponechání v uzavřené nádobě nejméně tři dny. Poté je možné směs filtrovat a kapalnou část dekantovat [9, s. 22]. Výsledný olej lze spíše považovat za vyluhovaný olej než-li za EO [4, s. 7].

Lisování za studena je metoda mechanického charakteru, kdy dochází k lisování za nízkých teplot, což napomáhá zachování kvalitního a celistvého složení EO, jelikož nedochází k narušení složení vlivem zvýšené teploty. Tato metoda je typická pro citrusy [5, s. 6]. Nejčastěji je lisována kůra citrusů, které byly nejdříve odděleny od plodu a následně nasekány či rozmělněny. Po lisování je potřeba vzniklou směs odseparovat na vodnou a olejovou složku. EO obdržené prostřednictvím této metody mají poměrně krátkou trvanlivost [4, s. 7].



Obrázek 3 Lis vhodný pro lisování kůry citrusů za studena

(zdroj: vlastní)

Hydrodestilace je považována za nejčastěji užívanou metodu pro extrakci EO [8, s. 22]. Používá se především pro rostlinný materiál práškové povahy a pro tvrdé materiály jako jsou ořechy, dřevo a kořeny [4, s. 8]. Existují tři typy hydrodestilace. Jde o destilaci vodní parou, destilaci vodou a vodní parou a destilaci vodou. Obecný princip hydrodestilace je poměrně jednoduchý. Rostlinný materiál a dostatečné množství vody je vpraveno do destilační baňky připojené do aparatury pro destilaci. Obsah v destilační baňce je přiveden k varu a vlivem vyšší teploty je z rostlinného materiálu uvolňován olej, jelikož rostlinné buňky bobtnají a následně praskají a jejich obsah včetně složek EO je uvolňován. Vodní pára dále unáší uvolněné složky. Směs par je kondenzována v chladiči a dále proudí do florentské nádoby, kde se EO oddělí od vodné fáze [9, s. 37–42].



Obrázek 4 Aparatura na destilaci
vodní parou z kůry citrusů

(zdroj: vlastní)

Poslední zmíněnou tradiční metodou je extrakce rozpouštědlem, což je proces, při kterém rostlinný materiál přichází do kontaktu s rozpouštědlem o požadované polaritě a specifických vlastnostech. Při tomto procesu se aktivní látky přesunou z rostliny do rozpouštědla. Jako rozpouštědlo je nejčastěji užíván nepolární n-hexan. Tento děj probíhá na základě koncentračního gradientu. Rychlost přenosu se snižuje s koncentrací extrahované látky v rozpouštědle. Proces se ukončí po dosažení rovnováhy koncentrací ve fázích, ale přidáním čerstvého rostlinného materiálu ho lze opět obnovit. Tato možnost obnovení je omezená, jelikož miscela může obsahovat pouze omezené procentuální množství EO, a proto je optimálnější přidat čerstvé rozpouštědlo do extrakční aparatury [9, s. 31]. Další komplikací této metody je nemožnost odstranit veškeré rozpouštědlo z EO, což může narušit kvalitu oleje a omezit jeho aplikace kvůli případným iritačním účinkům reziduí rozpouštědla [4, s. 7–8].

Mezi pokročilé metody lze řadit superkritickou fluidní extrakci, extrakci pomocí mikrovlnných vln a extrakci pomocí pulsního elektrického pole a mnoho dalších nových inovativních metod. Tyto metody jsou oproti tradičním metodám mnohem méně časově náročné, ale mohou být velmi drahé a náročné na provedení vzhledem k potřebným extrémním podmínkám.

Poměrně známou metodou je superkritická fluidní extrakce (SFE). Při této metodě je rostlinný materiál extrahován pomocí plynu (většinou CO_2) při superkritických podmínkách. Podmínky pro SFE pomocí CO_2 jsou stanoveny přibližně na teplotu $31\text{ }^\circ\text{C}$ a tlak $7,4\text{ MPa}$, při kterých se CO_2 chová jako ideální extrakční rozpouštědlo. Výhodou této metody je dostupnost rozpouštědla, jeho možnost obnovy a znovupoužití a především skutečnost, že rozpouštědlo lze od extraktu zcela odseparovat při snížení teploty a tlaku na normální podmínky. Užití SFE je vhodné pro EO, které obsahují látky senzitivní na vyšší teploty a také sloučeniny jako jsou estery nebo aldehydy, které mohou podléhat hydrolýze nebo vedlejšími reakcím [8, s. 32; 5, s. 8]. Další možností je extrakce pomocí mikrovlnných vln (MAE). Mikrovlnné záření je nezávadný zdroj dielektrického ohřevu, kdy se molekuly vlivem dipólové polarizovatelnosti otáčejí a tím se vytváří teplo, kterým se směs zahřívá. Tento ohřev je homogenní, bezpečný a velmi časově efektivní. Rostlinný materiál se vpraví do mikrovlnného reaktoru a je exponován záření v přítomnosti organického rozpouštědla, vody nebo bez čehokoliv. Složky EO jsou podobně jako při destilaci kondenzovány v chladiči a dále odseparovány od nečistot či rozpouštědla [8, s. 40; 5, s. 6–7; 1, s. 285]. Extrakce pomocí pulsního elektrického pole (PEF) je méně známou a neobvyklou metodou, která nevyužívá ohřevu podobně jako SFE. Pulzní elektrické pole slouží k tzv. elektropermeabilizaci, což je proces, při kterém dochází k rozrušení buněčných membrán a tím se zvýší jejich propustnost. K rozrušení membrán dojde při silných a krátkých elektrických impulzech. Vlivem těchto pulzů mohou intracelulární složky být vnášeny do extracelulárního prostoru. Užití pulzního elektrického pole slouží ke zvýšení výtěžnosti EO [8, s. 38–40].



Obrázek 5 Rozmarýnový olej extrahovaný pomocí SFE viditelné v pozadí

(zdroj: vlastní)

1.2 Účinky a aplikace

V EO je velká variabilita složek, které ovlivňují jejich biologické účinky. Díky těmto různým složkám a jejich účinkům lze EO využívat v mnoha odvětvích a pro všemožné aplikace.

EO disponují především antioxidačními, antibakteriálními, antifungálními, antivirálními a protizánětlivými účinky. Antibakteriální účinek je velmi typický pro EO. Ty jsou totiž hydrofobní a rozpustné v tucích, což je rovněž charakteristické pro bakteriální membrány. Membrány bakterií se vlivem EO permeabilizují a intracelulární matrix se může dostat ven z bakterie. Při dostatečném narušení membrán dochází k smrti mikroorganismu. Antibakteriální účinek se může vyznačovat i koagulací obsahu intracelulární tekutiny nebo porušením aktivního transportu v buněčné membráně a celkové komunikace bakterie s okolím, což rovněž může vést k buněčné smrti. Sloučeninám na bázi fenolu je nejčastěji připisován antibakteriální účinek. Jde například o eugenol, tymol a karvakrol. Tyto složky lze najít v EO z tymiánu a hřebíčku [4, s. 10]. Loyal Fahed et al. [10] stanovovali minimální inhibiční koncentraci (MIC) vybraných jehličnanů rostoucích v Libanonu získaných hydrodestilací. Testy byly prováděny na osmi druzích bakterií. *Staphylococcus aureus* reagoval na tři jehličnany ze šesti a MIC byla stanovena na 64 µg/ml. Pro přehlednost,

nejvyšší krajní hodnota MIC pro posouzení, že sloučenina má daný účinek, je 128 µg/ml. Bylo zjištěno, že antibakteriální účinek mají především minoritní látky v EO. Přesněji se tento účinek připisoval především terpinen-4-olu, složce, která je typická pro tea tree oil.

Složky EO, které disponují antioxidačními účinky, zabraňují radikálové oxidaci a celkově chrání před oxidativním stresem. Volné radikály, které jsou velmi reaktivní a agresivní, mohou vznikat různými způsoby. Jejich vznik může nastat autooxidací sloučenin (např. hydrochinonu, flavinu či hemoglobinu) či vlivem různých forem záření jako je UV záření. Vzniklé volné radikály mohou narušovat chod buňky, spustit rakovinotvorné procesy nebo atakovat RNA a DNA a podobné životně důležité sloučeniny. Antioxidanty však mohou organismy bránit a předcházet šíření těchto vlivů. Jsou rozlišovány tři druhy antioxidantů. Jde o antioxidanty enzymatické, neenzymatické a opravné. V EO mají sloučeniny na bázi fenolu největší antioxidační potenciál, protože terminují volné radikály a rozkládají reaktivní peroxidy [11, s. 256–257]. Antifungální účinek EO vychází ze schopnosti rozložit hyfy hub a plísní a tím inhibovat jejich účinek, šíření a tvorbu mykotoxinů, které jsou nebezpečné pro člověka. Antifungálním účinkem disponují především složky na bázi monoterpenů a seskviterpenů jako je například tymol a karvakrol z tymiánového oleje [12, 13, s. 79].

Účinky EO mohou být i negativního rázu. Toxické účinky EO mohou být lokální nebo systémové, chronické či akutní. Toxicita EO spočívá nejen v přítomnosti jejich jednotlivých toxických složek, ale v také tom, že EO jsou velmi složité a komplexní směsi kapalin, jejich toxicita může být založená na interakci jednotlivých složek mezi sebou. Také produkty degradace (např. autooxidace) složek EO mohou představovat nemalé riziko. Za nejčastěji ohlašovanou formou toxicity u lidí je nechtěné předávkování se EO, a také nežádoucí kožní reakce jako je fotosenzitivita a kontaktní dermatitida. Mnoho citrusových olejů, které byly získány lisováním za studena, disponuje fotosenzitivními účinky vlivem přítomnosti furokumarinů. Typickým EO, který má tento účinek, je bergamotový olej, a to především díky obsahu látky zvané bergapten, která interaguje s melaninem v kůži. EO mohou představovat riziko pro děti, na které mohou mít EO neurotoxické účinky [14, s. 23–27]. Pierra R. Burkhard et al. [14, s. 136; 15, s. 668] popsal případ 12měsíční dívky, která se po opakovaných koupelích s přídavkem eukalyptového, borovicového a tymiánového EO začala potýkat s epileptickými záchvaty. V následujících dnech se dítě potýkalo až s 133 epileptickými záchvaty denně a ty neustupovaly ani po požití běžných antiepileptik. Ve fatálních případech může dojít k otravě a následné smrti. Velmi často dochází k otravám

nesprávnou aplikací kafrového a libavkového oleje. Libavkový olej obsahuje z převážné části methyl-salicylát, látku patřící mezi salicyláty podobně jako aspirin, která je vysoce toxická a její letální dávkou je přibližně jedna čajová lžička. Přesněji pro představu, LD₅₀ pro krysy při perorálním podání činí 887 mg/kg tělesné hmotnosti [16, s. 598–601; 17].

Tím, že EO mají širokosáhlé účinky, lze předpokládat, že mají i velmi bohaté možnosti využití. Trh s EO je celosvětově poměrně významný. V roce 2007 bylo vyrobeno nejvíce EO ze sladkého pomeranče, a to 51 000 tun. Celkově bylo vyprodukováno přes 105 000 tun deseti nejvíce produkovaných olejů. Šlo například o pepermintový olej, levandulový olej nebo limetkový olej [18, s. 9]. Jedna z nejvýznamnějších možných aplikací je v oblasti aromaterapie, kde se využívají k udržení či navrácení fyzické a psychické pohody. Aromaterapie využívá EO ke zmírnění příznaků různých onemocnění, například stresu, úzkosti či poruch spánku. V gastronomii lze EO využít k dochucování a tzv. ovonění různých pokrmů. K tomu je možné použít například EO z česneku či tymiánu. Významnější a v posledních letech poměrně bádanou aplikací v gastronomickém odvětví je schopnost EO udržovat jídlo a suroviny čerstvé díky svým antioxidačním účinkům. V kosmetickém průmyslu je běžné zakomponovat EO do nejrůznějších formulací. Zde mohou mít antioxidační účinek či schopnost výrobek parfemovat či dochutit nebo případně konzervovat. EO lze nalézt v parfémech, zubních pastách, šampónech, mýdlech, krémech či v různých čistících a pracích prostředcích [19, s. 170–171]. Obsah některých složek EO v kosmetických přípravcích podléhá legislativě. Je nutné dané složky deklarovat v INCI složení, pokud překračují určitou procentuální hranici zastoupení v kosmetickém přípravku. Například D-limonen, což je složka, kterou lze nalézt v mnoha esenciálních olejích citrusů, je nutné vyznačit v seznamu přísad, pokud přesahuje hranici 0,001 % v neoplachových přípravcích a 0,01 % v přípravcích, které se oplachují. Toto opatření je z důvodu alergenního potenciálu složky. Podobně je to s látkami jako je eugenol, citronellol, geraniol, farnesol či hexylcinnamaldehyd. Použití některých EO může být zakázané. Jde například o alkaloidy z EO ze zmijovice hadové a EO z merlíku vonného či jalovce chvojky [20]. Farmacie využívá EO k výrobě galenických přípravků a k přípravě nejrůznějších infuzí [19, s. 170–171]. Vzhledem k trendu udržení ekologického stylu života se EO započaly používat jakožto pesticidy, protože mohou být šetrnější k přírodě na rozdíl od jejich běžnějších, toxických a akumulativních alternativ [5, s. 18]. Kohli et al. [21] využil EO z blahovičnicku kulatoplodého a korymbie citroníkové jako herbicid na likvidaci sambaby obecné, která je považována za plevel. Tento plevel po patnáctidenní expozici zcela uvadl a odumřel vlivem

mnoha faktorů jako narušení permeability listu, transpirace rostliny a příjmu vody. Především EO z korymbie citroníkové byl efektivní. Tato práce potvrdila možné využití EO korymbie jakožto herbicidu.

2 JEHLIČNANY

Trh s EO je velmi bohatý. Na trhu je možné získat EO z nejrůznějších bylin, citrusů, ale především jsou významné EO extrahované z jehličnanů. Obsah látek typických pro EO je větší v jehličnanech oproti ostatním dřevinám. Jehličnany lze definovat jako dřeviny, které byly schopné dosáhnout jen určité úrovně gymnospermie – tedy nahosemennosti. Radíme je tedy mezi nahosemenné rostliny. Většina zástupců *Gymnospermophytae* má stálezelené listy jehlicového charakteru. Jde většinou o neopadavé stromy. Jako výjimku lze považovat například stromy oddělení *Ginkgoophyta*, kde řadíme jinan dvoulaločný, což je opadavý strom s plochými listy vějířovité struktury. Další výjimkou mohou být modřiny vzhledem k jejich opadavosti. [25, s. 27].

2.1 Charakteristika a výskyt

U nahosemenných rostlin lze rozlišovat šest oddělení. Jde o oddělení *Cycadophyta*, *Gnetophyta*, *Welwitschiophyta*, již zmiňované oddělení *Ginkgoophyta*, *Ephedrophyta* a nakonec *Pinophyta* [25, s. 28]. Pro tuto práci je nejzásadnější oddělení *Pinophyta*, neboli jehličnany. Ty jsou řazeny do 6 nejvýznamnějších řádů a Aljos Farjon [26, s. 18] udává dělení na přibližně 614 druhů.

Jehličnaté rostliny lze také nazývat konifery, angl. conifers. Toto jméno napovídá charakteru jejich pohlavního ústrojí, které je pro ně tak typické – samičí šištice, angl. cones. Ty by mnoho lidí mohlo nazývat plody nebo například květy, ale tyto pojmy náleží čistě krytosemenným rostlinám. Jejich kmen obsahuje mnoho vodivých pletiv, kde nalezneme pouze dvůrkaté cévice, nikoliv tracheje, které lze nalézt u rostlin vyvinutějších. Zrod prvních druhů jehličnanů lze datovat do dob mladších prvohor. Mají velmi malé a početné listy, obecně známé jako jehličí [25, s. 33].

Pro jehličnany jsou typické téměř veškeré typy vegetačních pásem po celém světě. Geograficky jsou rozděleny na dvě části, a to na jehličnany severní a jižní polokoule. Nejčastěji jejich výskyt přiřazujeme severní polokouli. Především Kanadě, Skandinávii a Rusku. Není tedy překvapivý poznatek, že v Africe roste nejméně jehličnanů na světě. Je pravdou, že na severní polokouli se vyskytuje více druhů a více jehličnanů obecně. Pokud se však pozornost překlene na jednotlivé druhové rodiny, např. na rodinu *Pinus*, je zajímavé to, že země jako Mexiko disponuje 43 druhy této druhové rodiny a v Kanadě, která je pro jehličnany typická, lze najít druhů pouze 9. Z tohoto vyplývá, že je důležité definovat taxonomii a geografický výskyt rostlin, jelikož ne vždy výše uvedené obecné pravidlo může

platit. Co se týče největšího zastoupení druhů na jednom území, tak za nejrozmanitější zemi lze považovat Čínu, kde opravdu roste nejvíce druhů jehličnanů [25, s. 33; 26, 15–24].

Ze šesti již zmíněných řádů jehličnanů je pro tuto práci zásadní řád *Pinales* (borovicotvaré). Ještě konkrétněji je nejdůležitější čeleď *Pinaceae* (borovicovité). Do této čeledi zahrnujeme nejznámější rody jehličnanů jako jsou smrky, jedle a borovice.

2.2 Význam

Jehličnany hrají významnou roli v mnoha odvětvích. Jejich význam lze kategorizovat do tří oblastí přínosu, a to v ekologii, ekonomice a lidském zdraví. V ekologii jsou jehličnany klíčové pro nastolení rovnováhy v přírodě. Jsou typické pro suchozemské ekosystémy, kde mohou navazovat symbiotické vztahy s různými houbami, například i s lanýži [27]. Jsou velmi významné díky schopnosti snižovat obsah znečišťujících látek ve vzduchu. Proto se také mohou těšit využití ve městech a podél silnic, kde mohou přispívat ke zlepšení čistoty ovzduší [28]. Co se týče ekonomického významu, jehličnany jsou neodmyslitelné pro dřevařský a papírenský průmysl. Až 60 % dřeva užívaného na celosvětovém trhu pro průmysl jsou jehličnany [26, s. 27]. Smrk ztepilý je rozsáhle využíván pro výrobu nábytku, papíru a ve stavebnictví [25, s. 60]. Hojné využití není vyhrazeno pouze pro dřevo, ale také pro ostatní suroviny, které lze získat z jehličnanů, jako jsou pryskyřice, EO či vosky [19, s. 170–171; 29]. Velmi oblíbenou surovinou se staly i semena jehličnanů, jelikož jsou bohatá na mastné kyseliny prospěšné pro zdraví [30]. Mohou být také přínosné svými cytotoxickými a antimikrobiálními účinky. [31]. Jehličnany jsou tedy pro člověka nepostradatelné. Poskytují ekologické výhody, které zvyšují biologickou rozmanitost a kvalitu ovzduší. Přináší suroviny, které nejen podporují dřevařský a papírenský průmysl ale i pomáhají například s udržením zdraví. Jejich mnohostrannost podtrhuje důležitost ochrany jehličnatých lesů a jejich užívání v mnoha odvětvích.

Jehličnany mohou mít i negativní vliv na své okolí. Invazivní jehličnany sice mohou přerušit půdní erozi, ale jsou schopné zároveň narušit biodiverzitu a obecně kvalitu krajiny. Přispívají také ke snížené vydatnosti vody v půdě a případně ve vodních tocích a plochách [32].

3 BOROVICE

Název rodu *Pinus* neboli borovic pochází z latinského názvu *pinus*, který lze přeložit jako „pryskyřici poskytující“. Borovice jsou stálezelené stromy a keře, které mají obvykle jehlicovité listy seskupené do svazků. Počet jehlic ve svazku se liší dle druhu. Samčí šištice se tvoří v dolní koruně a samičí šištice mohou být ve vyšších částech stromu. Podmínkou je, aby část stromu, kde se samičí šišky vyskytují, byla náležitě osvětlena. Samičí šišky dorůstají do finálního stádia 15–16 měsíců po opylení samčími šišticemi. Po dozrání se většinou otevírají vlivem vzdušné vlhkosti a zůstávají otevřeny po mnoho týdnů až let. Z nich vypadávají semena s křídélky. Je také možné, že k otevření šišek nikdy nedojde [25, s. 82–84].

3.1 Vybraní zástupci rodu *Pinus*

Tento rod je považován za nejpočetnější rod nahosemenných rostlin. Systematicky rod *Pinus* dělíme na dva podrody *Pinus* a *Strobus*. Podrod *Pinus* zahrnuje 2/3 druhů z celého rodu. Celkově je rozlišováno průměrně 100–120 druhů borovic, které lze nalézt téměř výhradně na severní polokouli [25, s. 82–84]. Předmětem zájmu této práce a její praktické části je bližší teoretický popis šesti zástupců borovic.

Borovice lesní *Pinus sylvestris* L.

Borovice lesní je velmi odolná dřevina, která se nejčastěji vyskytuje v severní Asii. Dorůstá výšky až 40 metrů a dosahuje věku přes 300 let. Většinou je vysoká se štíhlým kmenem a její koruna má deštníkovitý tvar, který se u borovic považuje za dědičný znak. Dřevo je velmi měkké. Využívá se v sadovnictví, rekultivaci půdy, nebo se vysazuje podél komunikací. Zvláštním využitím je smolaření, kdy se pryskyřice z borovice lesní využívá k získávání terpentýnu, kalafuny a dalších látek. Borovice lesní je v USA velmi oblíbená při výsadbě vánočních stromů [25, s. 85–94].

Borovice přímořská *Pinus pinaster* Ait.

Borovice přímořská je typickou dřevinou pro pobřeží západního Středomoří, a to především pro Portugalsko, kde se považuje za jeden z nejhojnějších druhů stromu. V pobřežních oblastech se využívá k stabilizaci písčinych dun. Jehlice borovice přímořské jsou 10–20 cm dlouhé [25, s. 83]. Od 16. století je v Evropě pokládána za největší zdroj terpentýnu. Díky

vysokému zastoupení kůry k objemu materiálu stromu se tento jehličnan využívá k výrobě tzv. mulče, především pro zahrádkářské účely [26, s. 757].

Borovice vejmutovka *Pinus strobus* L.

Borovice vejmutovka je nejrychleji rostoucí dřevina na severovýchodním území Severní Ameriky. Patří mezi velmi často vysazované americké jehličnany [25, s. 122]. V poslední době se však ustupuje od jejího pěstování kvůli nechvalně známé tzv. rzi vejmutovkové, která tyto borovice napadá. Pravděpodobnost, že rez vejmutovková postihne borovici, narůstá, pokud se vyskytuje v prostředí společně s černým rybízem [33, s. 114]. Tento druh borovice je také známý srůstáním kořenů vedle rostoucích vejmutovek. Jejich kořeny především rostou do stran a částečně směrem dolů. Jejich hlavní kořen je často zakrnělý. Díky tomuto kořenovému systému mohou tyto stromy fungovat jako jeden celek a nemohou si vzájemně konkurovat. Upotřebení borovice vejmutovky je významné především ve stavebnictví, při zalesňování a pro krajinářské účely. Z této borovice lze získat dehet, který se využívá jako antiseptikum [25, s. 123–127].

Borovice smolná *Pinus resinosa* soland. Apod. Ait.

Borovice smolná, rovněž známá jako americká červená borovice, pochází z východu Severní Ameriky, kde může dorůstát výšky 20–30 metrů. Má vysoký a štíhlý kmen a korunu, která je široká s kulovitým tvarem [34, s. 172]. U mladých stromů je borka oranžově hnědá, zatímco u starších stromů tmavne do červenohnědé barvy [26, s. 775]. Dřevo má nažloutlou až načervenalou barvu. Červená barva dřeva se projeví především odvětráním na vzduchu vlivem pravděpodobné oxidace nebo polymerace látek ze dřeva [34, s. 172]. Jehlice vyrůstají ve svazečcích po dvou. Nejvíce se těmto dřevinám daří v písčitých půdách s obsahem vápníku. Přirozená reprodukce této borovice je závislá na požárech [26, s. 775]. Požáry totiž umožní prostup slunečnímu záření na lesní půdu. Díky vyšší teplotě půdy, menší konkurenci ostatních rostlin a dostatku světla, mohou semena borovice smolné vyklíčit [35].

Borovice kleč *Pinus mugo* Turra

Borovice kleč, jinak známá jako kosodřevina, je považována za souhrnný druh menších druhů a jejich kříženců. Pro kosodřeviny je typický malý keřovitý vzrůst. Mohou dorůst až do výšky cca 2,5 metru a výjimečně jejich výška může vystoupat na 4 metry. Dřevo je velmi tvrdé a pryskyřičné. Tento druh není jednoznačný ve vlastnostech, jako je délka jehlic a tvar šišek. Jde tedy o velice variabilní druh. Kosodřeviny se přirozeně vyskytují v ČR,

přesněji pouze v Čechách. Jsou typické pro hory střední a jihovýchodní Evropy a rostou i v Alpách [25, s. 96–99]. Aby byly schopné prospívat v drsných vysokohorských podmínkách, kosodřeviny vytváří symbiotické vztahy s mykorrhizními houbami, které zvyšují příjem živin a přispívají k jejich přizpůsobení se v náročných prostředích [36].

Borovice sibiřská *Pinus sibirica* Du Tour

Borovice sibiřská je pětijehličnatý strom s jedlými semeny, kterým se přezdívá kedrové oříšky. Ty jsou důležité pro přizívování různých zvířat. Semeny se živí až 30 druhů zvířat jako je medvěd hnědý nebo veverka zemní. Je velmi významnou dřevinou v oblasti těžby, jelikož je velmi rozšířeným, a tím pádem často těženým stromem. Nejvíce je typická pro oblast severní Asie a střední Evropy. Borovice sibiřská se rovněž užívá pro krajinářské úpravy, protože velmi pomalu dorůstá do výšky [25, s. 135–136; 34, s.148–149]. Dřevo borovice sibiřské je považováno za méně kvalitní oproti dřevu borovice lesní. I přesto je toto dřevo využíváno jako tesařské a stavební řezivo nebo pro výrobu některých druhů nábytku [26, s. 783].

4 CHEMICKÉ SLOŽENÍ EO BOROVIC

Různé druhy borovic se liší nejen svými morfologickými vlastnostmi a využitím, ale i složením jejich EO. Toto je možné pozorovat nejen napříč druhy, ale i u jejich geografického původu či rozdílných podmínek růstu. Avšak je možné předpokládat sloučeniny, které mohou být pro daný druh borovice typické.

4.1 Hlavní složky borovicových EO

Pro EO je typická jejich heterogenita. Obsahují totiž mnoho chemických látek odlišného charakteru. Většinou obsahují 20–60 složek, a přibližně 2–3 složky z toho, lze považovat za složky hlavní, jelikož zastupují procentuální většinu v celém oleji. V EO lze nalézt sloučeniny od strukturně podobných fenolům až po systémy s laktonovým kruhem. Obecně jde převážně o uhlovodíky, ketony, terpeny, alkoholy, aldehydy a estery [1, s. 276; 4, s. 6–7].

V EO borovic se distribuce hlavních složek mění v závislosti na druhu, výskytu a stavu dřeviny a způsobu extrakce podobně jako u ostatních rostlin [1, s. 275]. Anton C. de Groot a Erich Schmidt [18, s. 677–684] stanovili, že pro borovici lesní, což je jeden z nejčastějších druhů borovic využívaných pro výrobu EO, je nejtýpějších devět sloučenin, které se většinou vyskytují ve vysokých koncentracích. Jde o α -pinen, β -pinen, δ -3-karen, myrcen, δ -kadinen, bornyl-acetát, D-limonen, kamfen a γ -kadinen. Tento výrok vychází ze třech studií (A, B, C), jejichž výsledky jsou zaznamenány v tabulce 1. Studie A byla provedena na 112 vzorcích EO z Číny, Ruska, Rakouska, USA, Kanady a Maďarska analyzovaných v letech 1998–2013. Tyto vzorky byly především EO borovice lesní, avšak byly zde i vzorky z borovice přímořské a borovice yunnan. Studie B byla provedena na 16 vzorcích EO borovice lesní z Turecka obdržených během čtyř ročních období. Tyto vzorky byly získány pomocí destilace vodní parou. Studie C se zabývala 15 vzorky EO borovice lesní z Litvy obdržených pomocí destilace vodní parou. Z těchto studií je patrné, že pro borovici lesní nejtýpější a nejvíce zastoupenou sloučeninou je α -pinen. V případě studie A je další sloučeninou bornyl-acetát, studie B poukazuje na β -pinen a poslední studie C vyhodnotila δ -3-karen za druhou nejzastoupenější složku. Z tabulky 1 je možné vyčíst i skutečnost, že obsah sloučenin v EO je velice variabilní a proměnlivý. Toto je patrné díky širokým intervalovým možnostem obsahu látek. I přes viditelnou variabilitu jsou však tyto látky stále považovány za majoritní. Pro bližší charakterizaci látek bylo vybráno šest sloučenin, o kterých je pojednáváno pod tabulkou 1 níže.

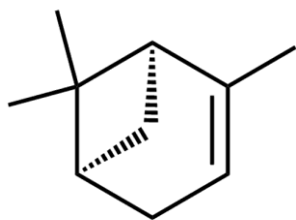
Tabulka 1 Hlavní složky EO (majoritně) borovice lesní

Sloučenina	A [%]	B [%]	C [%]
α -Pinen	13,3–20,4	19,4–56,9	18,5–33,0
δ -3-Karen	1,4–13,0	0–1,4	9,1–24,6
Myrcen	0,4–13,5	0,7–3,4	0,8–2,3
δ -Kadinen	0–3,8	0,6–7,3	4,7–11,6
β -Pinen	0,9–7,1	2,9–17,1	0,6–2,1
Bornyl-acetát	8,4–29,9	0,08–3,9	0,5–3,0
D-Limonen	3,1–30,1	0,4–2,3	0,6–1,2
Kamfen	4,2–27,4	0,4–16,8	1,5–5,3
γ -Kadinen	0–5,3	-	3,0–5,5

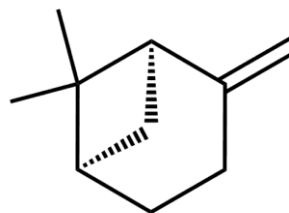
(zdroj: [18, s. 683])

 α -Pinen a β -pinen

α -Pinen a β -pinen jsou řazeny mezi alkeny a monoterpeny, které jsou tvořeny dvěma izoprenovými jednotkami. Obsahují 10 uhlíků [5, s. 4]. Tyto chemické sloučeniny jsou běžné nejen v EO z borovic, ale i v mnoha dalších olejích jako například z rozmarýnu, jalovce, jedle, myrty či bergamotu [14, s. 618–620]. Stejně tak jako mnoho ostatních sekundárních metabolitů mají pineny defenzivní účel. V jehličnanech jsou syntetizovány pomocí limonen syntázy z geranylpyrofosfátu, kdy z 94 % vzniká limonen a ze zbylých 6 % vzniká rovnocenně α -pinen, β -pinen a myrcen. Tyto monoterpeny jsou typické pro pryskyřici jehličnanů [3, s. 442]. Mnoho borovic je většinou bohatých na pineny, které jsou jednou z hlavních složek. Díky enantiomerům pinenů lze zjistit autentičnost EO a možnost pančování daného oleje. EO borovic přirozeně obsahují převládající enantiomery a to (+)- α -pinen a (+)- β -pinen a synteticky vytvořené EO obsahují (–)- α -pinen a (–)- β -pinen. Pomocí chirální plynové chromatografie lze zjistit poměry těchto enantiomerů a tím potvrdit nebo vyvrátit pravost EO [22]. Zajímavostí je, že obsah (–)- α -pinenu a (+)- α -pinenu se může lišit pro různé lokality. Kupříkladu, pro EO z borovice, která roste v Severní Americe je typický především (+)- α -pinen, kdežto EO z borovic z Evropy obsahuje více (–)- α -pinenu [14, s. 618].



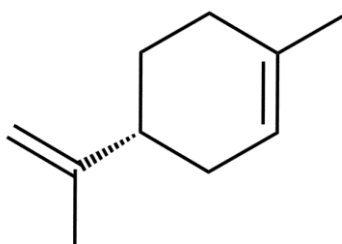
Obrázek 6 Molekula (+)- α -pinenu
(zdroj: vlastní)



Obrázek 7 Molekula (+)- β -pinenu
(zdroj: vlastní)

D-Limonen

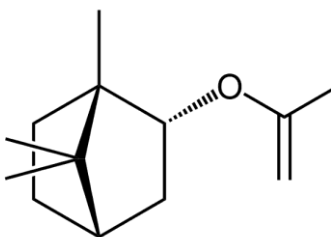
D-Limonen, neboli (*R*)-(+)-limonen, je považován za monoterpen. Tato látka je typická pro citrusové EO. Vyskytuje se například nejen v listech a kůře citrónů a pomerančů ale i v jehličnanech, a to v některých případech ve velmi hojném zastoupení napříč druhy [3, s. 422–423]. (*R*)-(+)-Limonen je hlavní a nejběžnější enantiomer limonenu pro borovice, avšak (*S*)-(–)-limonen se v malém množství může také nacházet v borovicích a mátách [14, s. 584]. D-Limonen je pravidelně využíván v kosmetickém a potravinářském průmyslu, kde má za úkol parfemovat a aromatizovat výrobky. Má velmi nevšední biologické účinky. Disponuje širokým záběrem účinků, jako jsou antioxidační, protizánětlivé, protirakovinné či gastroprotektivní účinky. Vykazuje nízkou toxicitu, a proto je možné od něj očekávat velký potenciál při různých klinických studiích a využitích [23]. Čistý D-limonen je možné získat z citrusů pomocí destilace vodní parou a následnou centrifugační separací. Ten se v průmyslu především využívá pro výrobu syntetického karvonu [1, s. 289].



Obrázek 8 Molekula D-limonenu
(zdroj: vlastní)

Bornyl-acetát

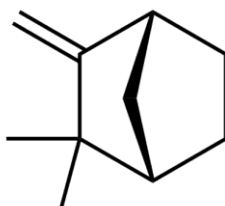
(1*S*,2*R*)-Bornyl-acetát je ester, který se využívá jako aditivum do různých pokrmů díky svým dochucovacím schopnostem. Jeho typické použití je v parfumerii, jelikož sám o sobě výborně napodobuje vůni jehličnanů jakožto jedna z nejčastěji a nejvíce zastoupených složek v EO borovic. Netradičně je možné využít bornyl-acetát jako analgetikum [1, s. 292].



Obrázek 9 Molekula (1*S*,2*R*)-bornyl-acetátu
(zdroj: vlastní)

Kamfen

(-)-Kamfen je monoterpen a je především uměle syntetizován z α -pinenu pomocí katalytické izomerace. Přirozeně je možné jej najít v EO z jehličí jedle sibiřské a smrku ztepilého, z rozmarýnu, ale nejvíce kamfenu obsahují listy a květy tymiánu obecného. Vykazuje antimikrobiálními účinky a po inhalaci usnadňuje odkašlávání. Proto je velmi prospěšný při léčbě nachlazení a dalších respiračních onemocnění. Hojně se také využívá jako aditivum dodávající aroma v potravinářském průmyslu [1, s. 289; 14, s. 512; 24, s. 210].

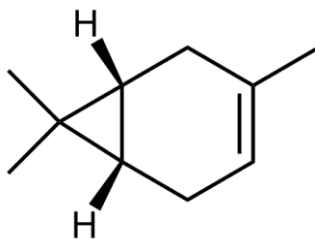


Obrázek 10 Molekula (-)-kamfenu
(zdroj: vlastní)

δ -3-Karen

(+)- δ -3-Karen lze považovat za bicyklický monoterpenoid. Kupříkladu v EO z cypřiše, černého rybízu, borovice smolné, borovice kleče nebo černého pepře je možné najít více než 5 % δ -3-karenu vzhledem k celkovému množství EO. [14, s. 516] Proto je pravděpodobné tuto složku považovat za jednu z významnějších. Avšak Robert Tisserand a Rodney Young[14, s. 516–517] u některých borovic uvádí, že jeho obsah může být v rozmezí 0–32 %. Tento interval je velmi široký, a tedy záleží na specifikách EO borovice. Při inhalaci této látky však může docházet k případné senzorické iritaci dýchacích cest, a proto nemusí být doporučováno využívat EO obsahující nadměrné množství δ -3-karenu v aromaterapii ve velkých koncentracích a po dlouhou dobu. Podobně jako u mnoha dalších složek EO je

možná senzibilizace pokožky peroxidy δ -3-karenu, které vznikají autooxidací při stárnutí EO vlivem světla a tepla.



Obrázek 11 Molekula δ -3-karenu

(zdroj: vlastní)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRÁCE

Cílem praktické části práce bylo analyzovat vybraných 17 vzorků EO borovic dostupných na českém trhu pomocí plynové chromatografické separace s plamenově ionizační detekcí. Vzorky měly být analyzovány třemi různými metodami lišícími se teplotním gradientem. Následně bylo úkolem kvalitativně a kvantitativně vyhodnotit jednotlivé chromatogramy. Pro kvalitativní analýzu bylo klíčové stanovit retenční časy čistých složek EO při zmíněných metodách, aby bylo možné identifikovat co nejvíce signálů z chromatogramů vzorků. Výsledky analýzy budou porovnány s literaturou. U stanovených hodnot a hodnot v literatuře budou diskutovány jejich společné znaky a typické složky.

6 METODIKA PRÁCE

V této části je popsána analýza EO borovic zakoupených na českém trhu pomocí plynové chromatografie. Pro analýzu byly použity chromatografické metody a postupy přípravy, jejichž konkrétní specifikace a využití pomůcky jsou detailně popsány v následujících podkapitolách.

6.1 Použité přístroje, pomůcky a vybavení

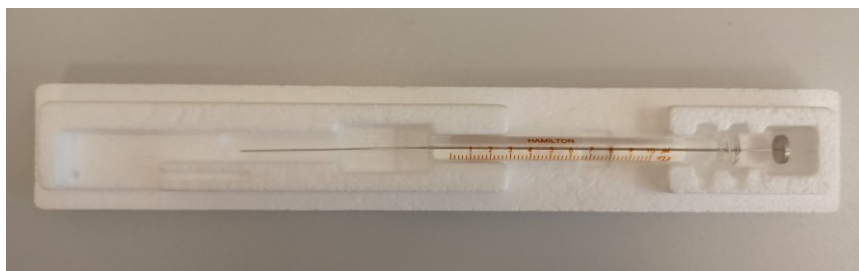
Při své analýze jsem využila plynovou chromatografii s plamenově ionizačním detektorem (GC-FID). Byl použit přístroj DANI Master GC Fast Gas Chromatograph. Ten byl vybaven nepolární kapilární kolonou Zebron™ ZB-5MS s rozměry 30 m × 0,25 mm × 0,5 μm.



Obrázek 12 DANI Master GC Fast Gas Chromatograph

(zdroj: vlastní)

Pro přípravu vzorků a jejich samotnou injektáž do chromatografu byla používána mikrostříkačka Hamilton Microliter™ 701N o objemu 10 μl.



Obrázek 13 Mikrostříkačka

(zdroj: vlastní)

Vzorky byly připravovány a uchovávány ve šroubovacích vialkách Agilent N9 o objemu 2 ml s uzávěry a vhodnými septy.



Obrázek 14 Vialka

(zdroj: vlastní)

Pro dávkování methanolu do vialek byla využívána automatická pipeta Plastomed F1000 a vhodné plastové špičky.



Obrázek 15 Pipeta

(zdroj: vlastní)

Chromatografická analýza byla vyhodnocována pomocí chromatografické stanice Clarity DataApex Praha, verze 4.0.03.876.

6.2 Použité metody při analýze

Pro analýzu EO byly v chromatografu k dispozici předpřipravené metody s označením Silice 4, Silice 7 a Silice 8 Adams. Pojmenování těchto metod bylo zcela náhodné a předem dané.

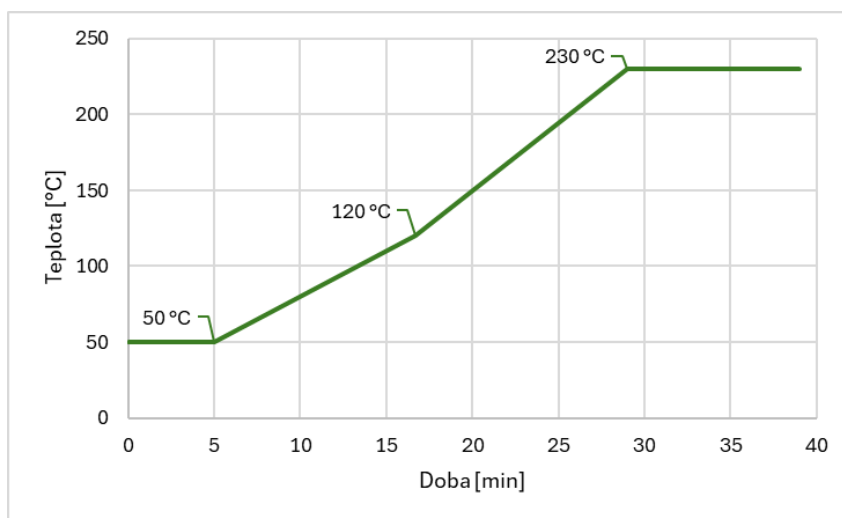
Metoda **Silice 4** byla zvolena jako základní a výchozí metoda. Její parametry byly následující: teplota injektoru 200 °C; nástřik vzorku o objemu 1 µl; průtok nosného plynu N₂ 1 ml/min; dělič toku v poměru 1 : 25. Teplotní profil pece byl následující: ohřev začínal při 50 °C a poté se teplota zvyšovala na 120 °C rychlostí 6 °C/min a následně na 230 °C rychlostí 15 °C/min a po dosažení 230 °C byla teplota udržována po dobu 15 minut. Při této analýze teplota detektoru činila 270 °C. Průtoky plynů přes plameno-ionizační detektor byly

následující: dusík 25 ml/min, vodík 40 ml/min a vzduch 280 ml/min. Celkový čas analýzy byl 33,99 min.

Tato metoda byla následně modifikována z důvodu nedostatečného dělení a splývání některých signálů pro složky EO borovic.

Upravením základní metody Silice 4 vznikly metody s názvem Silice 4_1, Silice 4_2 a Silice 4_3. Ke změnám došlo pouze u teplotního profilu soustavy. Ostatní parametry chromatografického systému zůstaly beze změn.

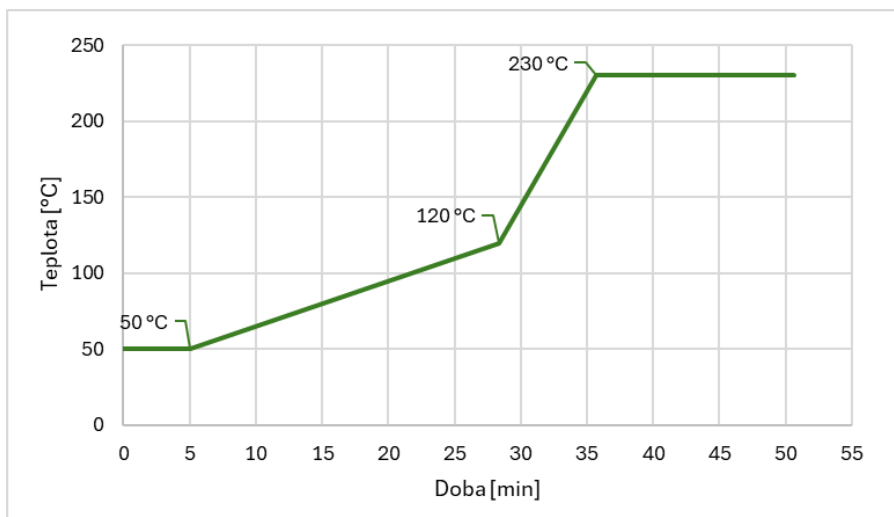
Při metodě **Silice 4_1** byl ohřev z počátečních 50 °C opožděn o 5 minut a následně byla rychlostí 6 °C/min dosažena teplota 120 °C a poté ohřívání rychlostí 15 °C/min bylo ukončeno při teplotě 230 °C a 15 minut byla tato teplota udržována. Celková doba činila 39 min. Grafické znázornění teplotního profilu je vidět na obrázku 16 níže. Souhrnná tabulka všech teplotních profilů je uvedena v tabulce 2.



Obrázek 16 Graf teplotního gradientu metody Silice 4_1

(zdroj: vlastní)

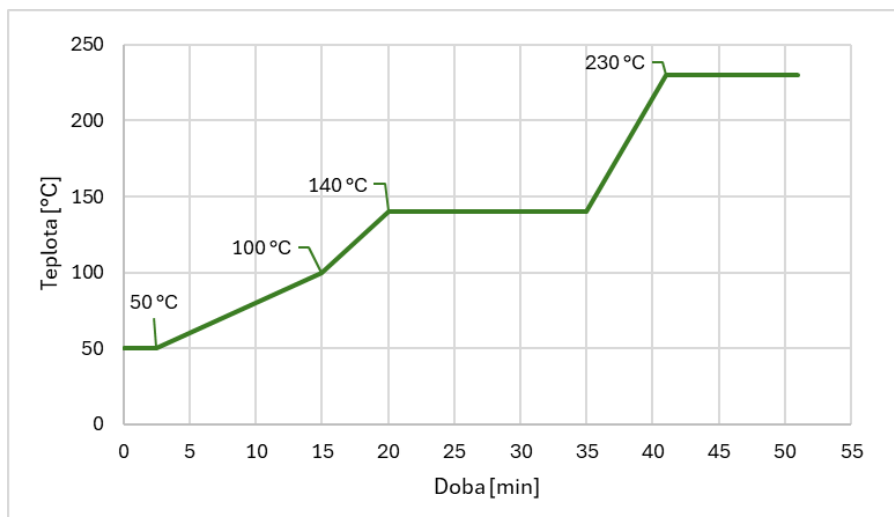
Analýza metodou **Silice 4_2** započala jako u metody předešlé při konstantní teplotě 50 °C po dobu 5 minut. Následně pokračovala pozvolnějším ohřevem soustavy o 3 °C/min do teploty 120 °C. Pak byl ohřev zrychlen na rychlost 15 °C/min a po dosažení teploty 230 °C byl ohřev zastaven a tato teplota byla konstantní po dobu 15 minut. Tato metoda trvala 50,67 min. Grafické znázornění teplotního profilu je vidět na obrázku 17 níže.



Obrázek 17 Graf teplotního gradientu metody Silice 4_2

(zdroj: vlastní)

Analýza metodou **Silice 4_3** byla zahájena při konstantní teplotě 50 °C po dobu 2,5 minuty a poté pokračovala ohřevem rychlostí 4 °C/min. Po dosažení teploty 100 °C byla rychlost ohřevu zvýšena na 8 °C/min po teplotu 140 °C, při které byla teplota udržována po dobu 15 min. Po opětovném navýšení rychlosti ohřevu na 15 °C/min bylo zahřívání ukončeno při teplotě 230 °C a tato teplota byla udržována po dobu 15 minut. Doba trvání této metody byla 51 min. Grafické znázornění teplotního profilu je vidět na obrázku 18 níže.



Obrázek 18 Graf teplotního gradientu metody Silice 4_3

(zdroj: vlastní)

Tabulka 2 Přehled teplotních gradientů použitých metod

Metoda					
Silice 4_1		Silice 4_2		Silice 4_3	
Teplota [°C]	Rychlost ohřevu [°C/min]	Teplota [°C]	Rychlost ohřevu [°C/min]	Teplota [°C]	Rychlost ohřevu [°C/min]
50	konst. (5 min)	50	konst. (5 min)	50	konst. (2,5 min)
50–120	6	50–120	3	50–100	4
120–230	15	120–230	15	100–140	8
				140–230	(konst. 15 min), pak 15
230	konst. (15 min)	230	konst. (15 min)	230	konst. (10 min)
Celkový čas analýzy					
Silice 4_1		Silice 4_2		Silice 4_3	
39 min		50,67 min		51 min	

(zdroj: vlastní)

6.3 Čisté látky

Pro identifikaci píků v jednotlivých retenčních časech bylo nutné zanalyzovat dostupné standardy čistých látek nacházejících se v EO. Roztoky vhodné pro nástrik byly připravovány odpipetováním 1 ml methanolu do šroubovací vialky. Toto rozpouštědlo bylo zvoleno předem vzhledem k nepolárnímu charakteru kolony chromatografu a bylo využíváno po celou dobu experimentu. Po uzavření byl do vialky vpraven 1 µl čisté látky pomocí mikrostříkačky Hamilton. Roztoky tedy byly připravovány zředěním vzorků methanolem v poměru 1:1000. Některé látky byly analyzovány společně. Výběr společně analyzovaných látek byl podmíněn dostatečnou časovou vzdáleností předpokládaných retenčních časů látek u základní metody Silice 4 a navíc známých retenčních indexů z literárního zdroje [37], tak aby nedocházelo k splnutí píků.

Takto obdržené retenční časy byly zaznamenány v tabulce 16 v Příloze P I.

6.4 Vzorky EO

K provedení praktické části této bakalářské práce bylo nasbíráno sedmnáct vzorků EO borovic volně dostupných na českém trhu. Vzorky byly zakoupeny od dvanácti firem. Bylo analyzováno šest druhů borovic. Šlo o borovici lesní (devět vzorků EO), borovici přímořskou (tři vzorky EO), borovici kleč (dva vzorky EO), borovici smolnou (jeden vzorek

EO), borovici vejmutovku (jeden vzorek EO) a borovici sibiřskou (jeden vzorek EO). Klíčová specifika vzorků jsou shrnuta v tabulce 3. Každý vzorek byl zanalyzován třikrát pomocí plynové chromatografie, a to především metodami Silice 4_1, Silice 4_2 a Silice 4_3. Ve všech případech byly vždy jednotlivé naředěné roztoky EO pro nástřik připraveny rozpuštěním 1 µl EO v 1 ml methanolu, tedy v poměru 1:1000. Z tohoto roztoku ve vialce byl následně pomocí mikrostříkačky odebrán 1 µl pro nástřik do chromatografu.

Tabulka 3 Informace o analyzovaných vzorcích borovic

Dodavatel/Výrobce	Číslo šarže	Původ	Druh borovice
BEWIT Natural Medicine s.r.o.	12075	Kanada	<i>Pinus strobus</i>
BEWIT Natural Medicine s.r.o.	12086	Kanada	<i>Pinus resinosa</i>
BEWIT Natural Medicine s.r.o.	3229	Rusko	<i>Pinus siberica/cembra</i>
Ekokoza s.r.o.	4486904	Velká Británie	<i>Pinus sylvestris</i>
Florihana Distillerie	FLE070-C031220PT/2	Portugalsko, Francie	<i>Pinus pinaster</i>
Service AKH s.r.o.	24021/010	neznámý	<i>Pinus sylvestris</i>
Service AKH s.r.o.	24119/010	neznámý	<i>Pinus pumilio (mugo)</i>
Manipura	4204031	Indie	<i>Pinus sylvestris</i>
MANUFAKTURA s.r.o.	445043	neznámý	<i>Pinus sylvestris</i>
Nobilis Tilia s.r.o.	E0030	Rakousko, Rumunsko	<i>Pinus sylvestris</i>
Phytos Natur CZ s.r.o.	11/2025	Rakousko	<i>Pinus mugo</i>
Phytos Natur CZ s.r.o.	12/2027	Rusko	<i>Pinus sylvestris</i>
Phytos Natur CZ s.r.o.	12/2027	Jižní Evropa	<i>Pinus pinaster</i>
PRIMAVERA LIFE GmbH	neuvedeno	Francie	<i>Pinus sylvestris</i>
M+H, Saloos naturcosmetic s.r.o.	03/2026	Východní Evropa	<i>Pinus sylvestris</i>
Bugala Slow – Natur s.r.o.	12/2027	neznámý	<i>Pinus sylvestris</i>
TIERRA VERDE s.r.o.	10/2025	Portugalsko	<i>Pinus pinaster</i>

(zdroj: vlastní)



Obrázek 19 Lahvičky analyzovaných vzorků
(zdroj: vlastní)

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

Kvantitativně byly vzorky analyzovány pomocí metody vnitřní normalizace, kdy součet ploch veškerých píků v chromatogramu se považuje za 100 %. Kvalitativní analýza probíhala na základě porovnávání retenčních časů proměřených standardů dostupných čistých látek (tabulka v Příloze I) a případně odhadem pomocí literatury [37; 42] (především v případě β -falandrenu). Z důvodu výpovědní hodnoty jsou v praktické části uváděny pouze výsledky obdržené pomocí metody Silice 4_2, jelikož vykazuje nejpriznivější citlivost vůči látkám a její dostatečná délka průběhu a teplotní profil napomáhá oddělení píků v oblastech kritických pro tento fenomén. Rovněž byly vybrány pouze výsledky dvanácti vzorků, a to devět vzorků borovice lesní *Pinus sylvestris* a tři vzorky borovice přímořské *Pinus pinaster*. Ostatní výsledky jsou k nahlédnutí v Příloze P II bez bližšího komentáře.

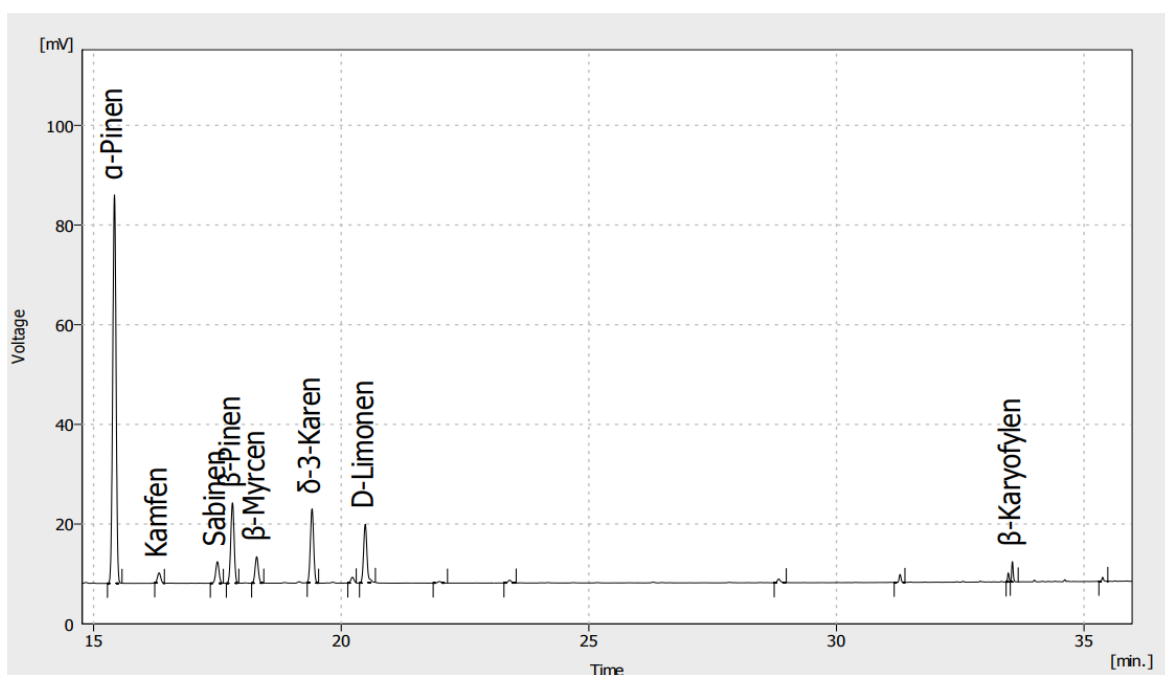
Borovice lesní byla nejvíce zastoupeným druhem EO borovic analyzovaných v rámci této bakalářské práce. Výsledky devíti vzorků této borovice bylo zpracováno do tabulek 4–15 a chromatogramů v podobě obrázků 20–31.

Pro vzorek EO borovice lesní dodavatele Ekokoza je z tabulky 4 patrné, že stěžejní látkou tohoto vzorku je α -pinen v R_t 15,42 min s relativním zastoupením 56,3 %. Dalšími významnými látkami je β -pinen (R_t 17,80 min) a δ -3-karen (R_t 19,41 min) v zastoupení 10,4 % a 11,7 %. V čase R_t 20,49 min bylo možné identifikovat D-limonen s relativním množstvím 8,6 %. Navíc bylo možné určit 3,7 % β -myrcenu (R_t 18,29 min), 3,1 % sabinenu (R_t 17,50 min), 1,5 % kamfenu (R_t 16,32 min) a 1,4 % β -karyofylenu (R_t 33,55 min).

Tabulka 4 Výsledky pro Borovice lesní, Ekokoza, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,42	367	78	56,3	54,3	α -Pinen
16,32	9	2	1,5	1,4	Kamfen
17,50	20	4	3,1	3,0	Sabinen
17,80	76	16	11,7	11,2	β -Pinen
18,29	24	5	3,7	3,7	β -Myrcen
19,41	68	15	10,4	10,3	δ -3-Karen
20,49	56	12	8,6	8,2	D-Limonen
33,55	9	4	1,4	2,8	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



Obrázek 20 Chromatogram Borovice lesní, Ekokoza, Metoda Silice 4_2

(zdroj: vlastní)

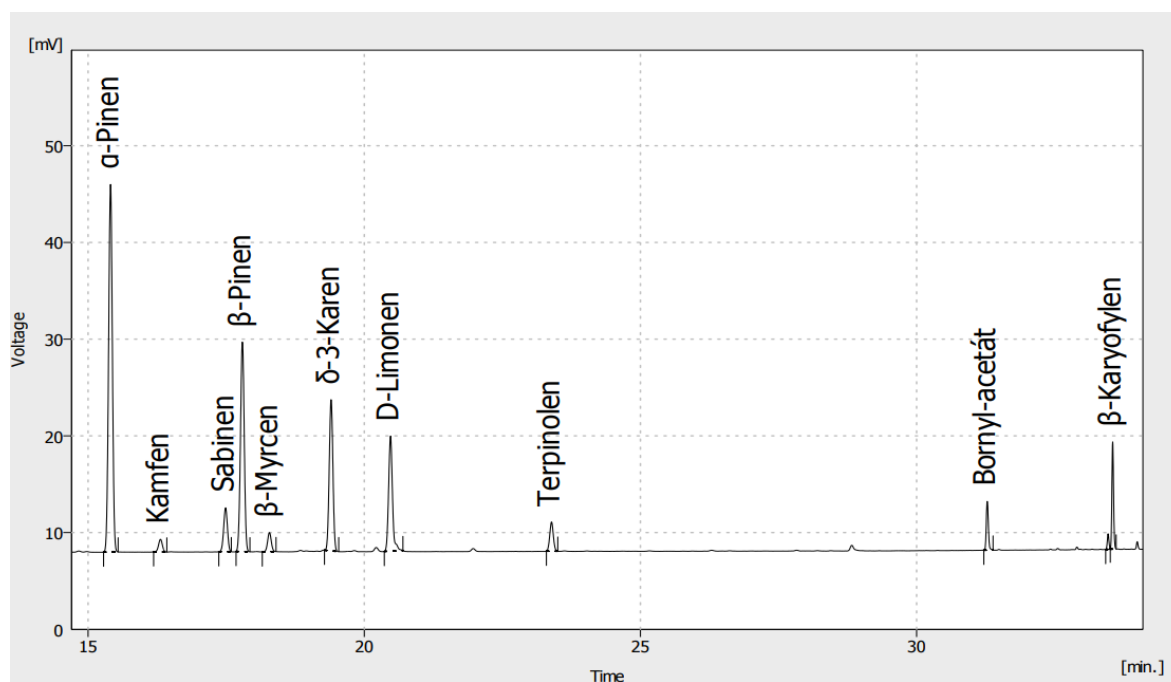
Porovnáním hodnot vzorku firmy Service AKH v tabulce 5 lze zjistit, že vzorek zahrnuje hlavní chemickou sloučeninou, a to α -pinenem (R_t 15,41 min) s relativním množstvím 35,8 %. Další obsahově významné látky se nachází v R_t 17,79, 19,40 a 20,48 min. Jde o β -pinen s relativním množstvím 20,4 %, δ -3-karen (14,5 %) a D-limonen s procentuálním obsahem 11,4 %. β -Karyofylen a sabinen, nacházející se v R_t 33,55 a 17,49 min disponují relativním množstvím 4,6 % a 4,2 %. Nejméně zastoupenými identifikovatelnými

sloučeninami je terpinolen (R_t 23,39 min), bornyl-acetát (R_t 31,28 min), β -myrcen (R_t 18,28 min) a kamfen (R_t 16,31 min) o relativních množstvích 2,7 %, 2,6 %, 1,8 % a 1,2 %.

Tabulka 5 Výsledky pro Borovice lesní, Service AKH, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,41	181	38	35,8	32,8	α -Pinen
16,31	6	1	1,2	1,1	Kamfen
17,49	21	5	4,2	3,9	Sabinen
17,79	103	22	20,4	18,7	β -Pinen
18,28	9	2	1,8	1,7	β -Myrcen
19,40	74	16	14,5	13,5	δ -3-Karen
20,48	58	12	11,4	10,3	D-Limonen
23,39	14	3	2,7	2,6	Terpinolen
31,28	13	5	2,6	4,4	Bornyl-acetát
33,55	23	11	4,6	9,6	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



Obrázek 21 Chromatogram Borovice lesní, Service AKH, Metoda Silice 4_2

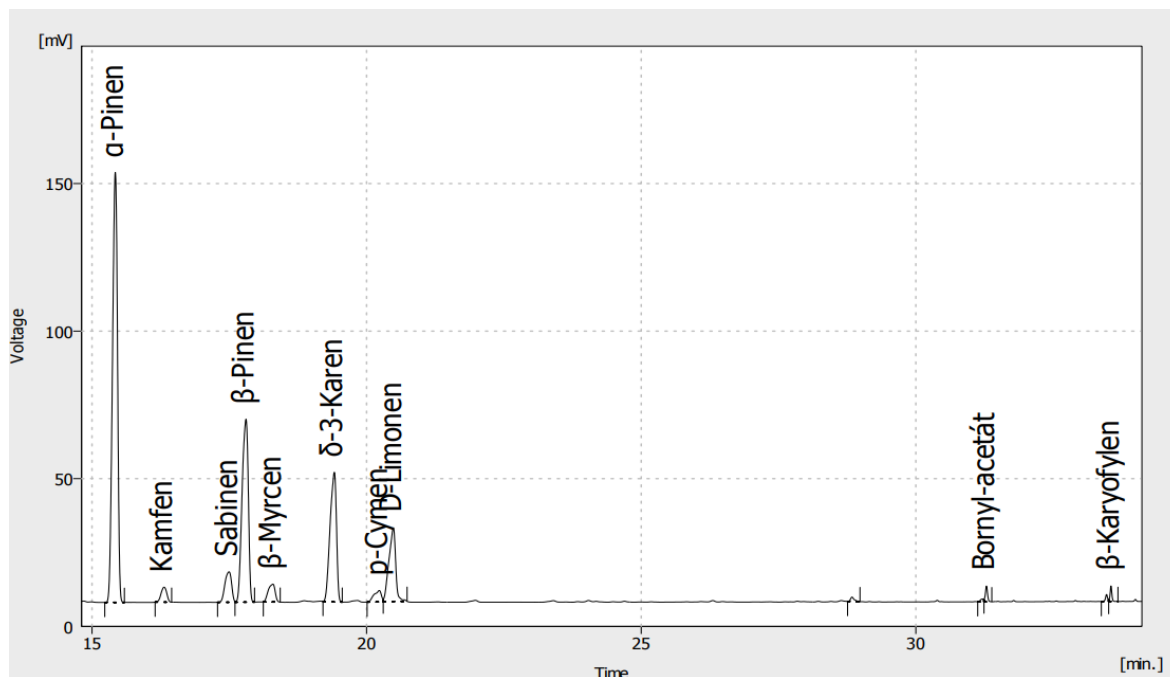
(zdroj: vlastní)

Údaje uvedené v tabulce 6 naznačují, že majoritní sloučeninou obsaženou ve vzorku borovice lesní od firmy MANUFAKTURA je α -pinen v R_t 15,423 min s relativním množstvím o 41,1 %. β -Pinen (R_t 17,80 min) a δ -3-karen (R_t 19,41 min) jsou rovněž více zastoupenými chemickými látkami ve vzorku o množství 21,8 % a 15,8 %. Další je v R_t 20,49 min D-limonen o relativním množství 9,5 % a v R_t 17,50 min bylo možné zaznamenat sabinen o relativním množství 3,9 %. Ve stopových množstvích ve vzorku je β -myrcen (R_t 18,29 min), kamfen (R_t 16,31 min), *p*-cymen (R_t 20,23 min), bornyl-acetát (R_t 31,28 min) a β -karyofylen (R_t 33,55 min) v množstvích 2,3 %, 1,6 %, 1,6 %, 0,7 % a 0,5 %.

Tabulka 6 Výsledky pro Borovice lesní, MANUFAKTURA, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,42	927	146	41,1	45,5	α -Pinen
16,31	37	5	1,6	1,6	Kamfen
17,50	87	10	3,9	3,2	Sabinen
17,80	492	62	21,8	19,4	β -Pinen
18,29	53	6	2,3	1,9	β -Myrcen
19,41	355	44	15,8	13,7	δ -3-Karen
20,23	36	4	1,6	1,2	<i>p</i> -Cymen
20,49	213	25	9,5	7,8	D-Limonen
31,28	15	5	0,7	1,7	Bornyl-acetát
33,55	12	5	0,5	1,6	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



Obrázek 22 Chromatogram Borovice lesní, MANUFAKTURA, Metoda Silice 4_2

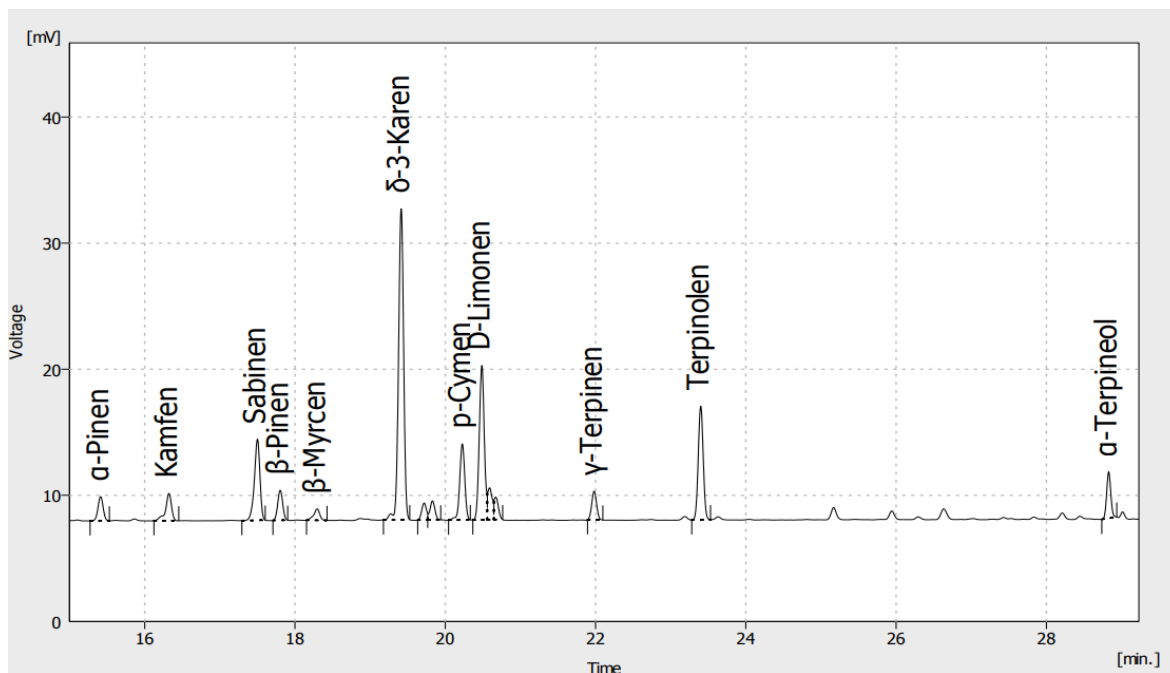
(zdroj: vlastní)

Na základě dat uvedených v tabulce 7, lze konstatovat, že tento vzorek EO borovice lesní z Indie dodavatele Manipura disponuje hlavní chemickou sloučeninou, a to δ -3-karenem (R_t 19,41 min) s relativním množstvím 31,6 % ve vzorku. Dalšími poměrně význačnými složkami je D-limonen, terpinolen a sabinen s relativními množstvími 15,5 %, 11,3 % a 9,0 %. Jejich signály mají R_t v 20,49, 23,40 a 17,50 min. Další sloučeninou je méně typický *p*-cymen (R_t 20,227) s relativním množstvím 7,7 %. S relativními množstvími 3,8 %, 3,2 %, 3,0 %, 2,8 % a 2,5 % se ve vzorku nachází α -terpineol (R_t 28,83 min), kamfen (R_t 16,32 min), β -pinen (R_t 17,80 min), γ -terpinen (R_t 21,98 min) a α -pinen (R_t 15,41 min).

Tabulka 7 Výsledky pro Borovice lesní, Manipura, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,41	9	2	2,5	2,4	α -Pinen
16,32	12	2	3,2	2,7	Kamfen
17,50	33	6	9,0	8,2	Sabinen
17,80	11	2	3,0	3,0	β -Pinen
19,41	117	25	31,6	31,3	δ -3-Karen
20,23	28	6	7,7	7,7	<i>p</i> -Cymen
20,49	57	12	15,5	15,5	D-Limonen
21,98	10	2	2,8	2,9	γ -Terpinen
23,40	42	9	11,3	11,4	Terpinolen
28,83	14	4	3,8	4,7	α -Terpineol

(zdroj: vlastní)



Obrázek 23 Chromatogram Borovice lesní, Manipura, Metoda Silice 4_2

(zdroj: vlastní)

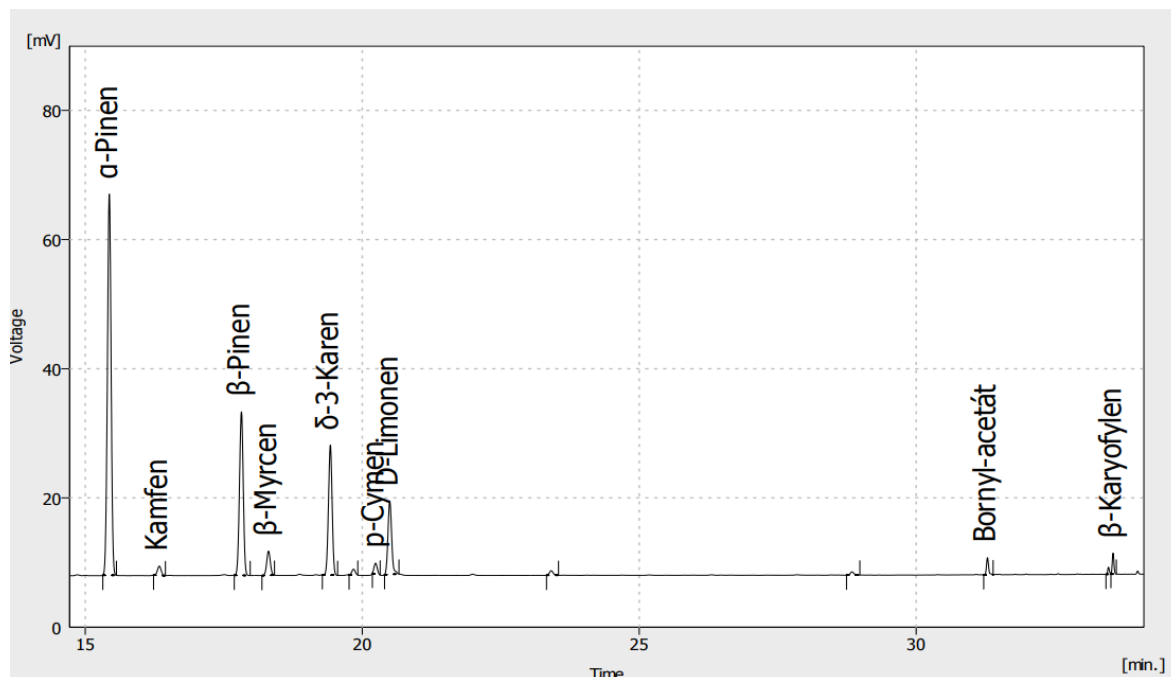
Z tabulky 8 je patrné, že bylo možné v tomto vzorku (Nobilis Tilia) detekovat a identifikovat 9 složek. Plochou největší pík v čase 15,43 min náleží α -pinenu. Relativní množství této sloučeniny činí 46,0 %. Dalšími význačnými látkami jsou β -pinen (R_t 17,82 min), δ -3-karen (R_t 19,42 min) a D-limonen (R_t 20,50 min) s relativními množstvími, která činí 20,2 %, γ -terpinen (R_t 21,98 min) a terpinolen (R_t 23,40 min) s relativními množstvími, která činí 11,4 %, α -terpineol (R_t 28,83 min) s relativním množstvím, které činí 3,8 %.

15,6 % a 8,9 %. V retenčním čase 18,31 min se nachází β -myrcen o relativním množství 2,9 %. V relativně stopových množstvích 1,1–1,2 % bylo možné identifikovat bornyl-acetát (R_t 31,29 min), β -karyofylen (R_t 31,56 min), kamfen (R_t 16,34 min) a p -cymen (R_t 20,24 min).

Tabulka 8 Výsledky pro Borovice lesní, Nobilis Tilia, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,43	275	59	46,0	44,8	α -Pinen
16,34	7	1	1,1	1,1	Kamfen
17,82	121	25	20,2	19,2	β -Pinen
18,31	17	4	2,9	2,8	β -Myrcen
19,42	93	20	15,6	15,3	δ -3-Karen
20,24	7	2	1,1	1,3	p -Cymen
20,50	53	11	8,9	8,6	D-Limonen
31,29	7	3	1,2	2,0	Bornyl-acetát
33,56	7	3	1,2	2,5	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



Obrázek 24 Chromatogram Borovice lesní, Nobilis Tilia, Metoda Silice 4_2

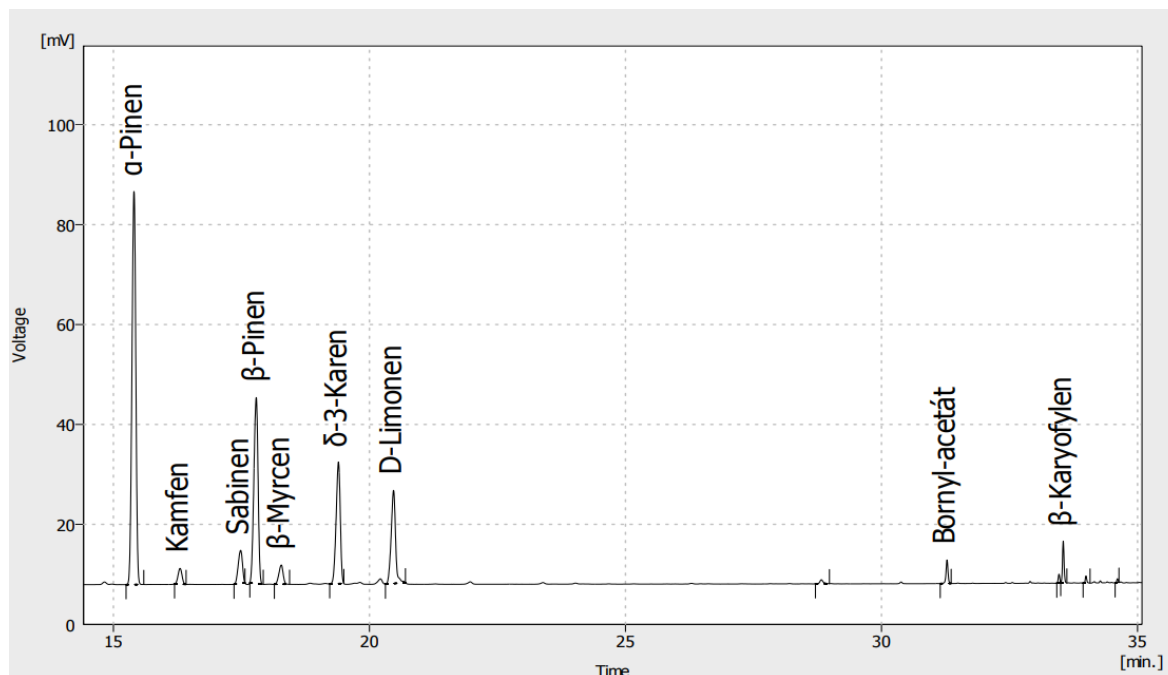
(zdroj: vlastní)

Z hodnot uvedených v tabulce 9 lze vyvodit, že hlavní chemickou látkou tohoto vzorku výrobce Phytos Natur CZ je α -pinen (R_t 15,40 min) s relativním množstvím 40,6 %. Dalšími více zastoupenými látkami jsou β -pinen (R_t 17,79 min), δ -3-karen (R_t 19,40 min) a D-limonen (R_t 20,47 min) v zastoupení 21,2 %, 13,5 % a 11,0 %. V retenčním čase 17,48 min byl zaznamenán sabinen s relativním množstvím 3,8 %. Bylo možné rovněž určit 2,2 % β -myrcenu (R_t 18,28 min), 1,7 % kamfenu (R_t 16,30 min), 1,2 % bornyl-acetátu (R_t 31,28 min) a v R_t 33,55 min byl zaznamenán β -karyofylen s relativním množstvím 1,8 %.

Tabulka 9 Výsledky pro Borovice lesní, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,40	413	79	40,6	40,2	α -Pinen
16,30	17	3	1,7	1,6	Kamfen
17,48	38	7	3,8	3,4	Sabinen
17,79	215	37	21,2	19,1	β -Pinen
18,28	22	4	2,2	2,0	β -Myrcen
19,40	138	24	13,5	12,4	δ -3-Karen
20,47	112	19	11,0	9,5	D-Limonen
31,28	13	5	1,2	2,4	Bornyl-acetát
33,55	18	8	1,8	4,3	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



Obrázek 25 Chromatogram Borovice lesní, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2

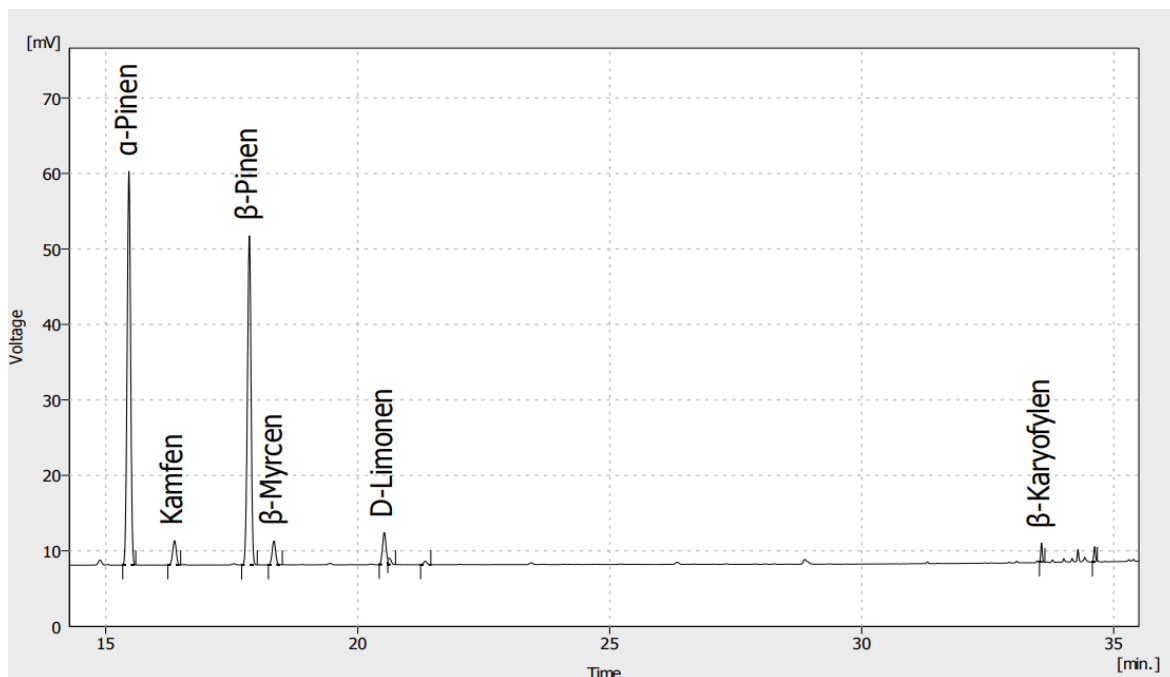
(zdroj: vlastní)

Z uvedené tabulky 10 je možné vidět, že hlavní chemické látky tohoto vzorku (PRIMAVERA LIFE GmbH) jsou dvě. Jejich signály jsou zaznamenány v čase R_t 15,46 min a 17,85 min. Tyto časy odpovídají α -pinenu s relativním množstvím 45,9 % a β -pinenu s relativním množstvím 40,1 %. Zbýlé čtyři látky mají oproti dvěma hlavním téměř stopové množství. Jde o D-limonen (R_t 20,53 min), kamfen (R_t 16,37 min), β -myrcen (R_t 18,34 min) a β -karyofylen (R_t 33,57 min). Jejich plocha pík odpovídá relativním množstvím 3,7 %, 2,9 %, 2,9 % a 1,0 %.

Tabulka 10 Výsledky pro Borovice lesní, PRIMAVERA LIFE GmbH, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,46	248	52	45,9	45,6	α -Pinen
16,37	16	3	2,9	2,8	Kamfen
17,85	217	44	40,1	38,1	β -Pinen
18,34	15	3	2,9	2,8	β -Myrcen
20,53	20	4	3,7	3,7	D-Limonen
33,57	5	2	1,0	2,2	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



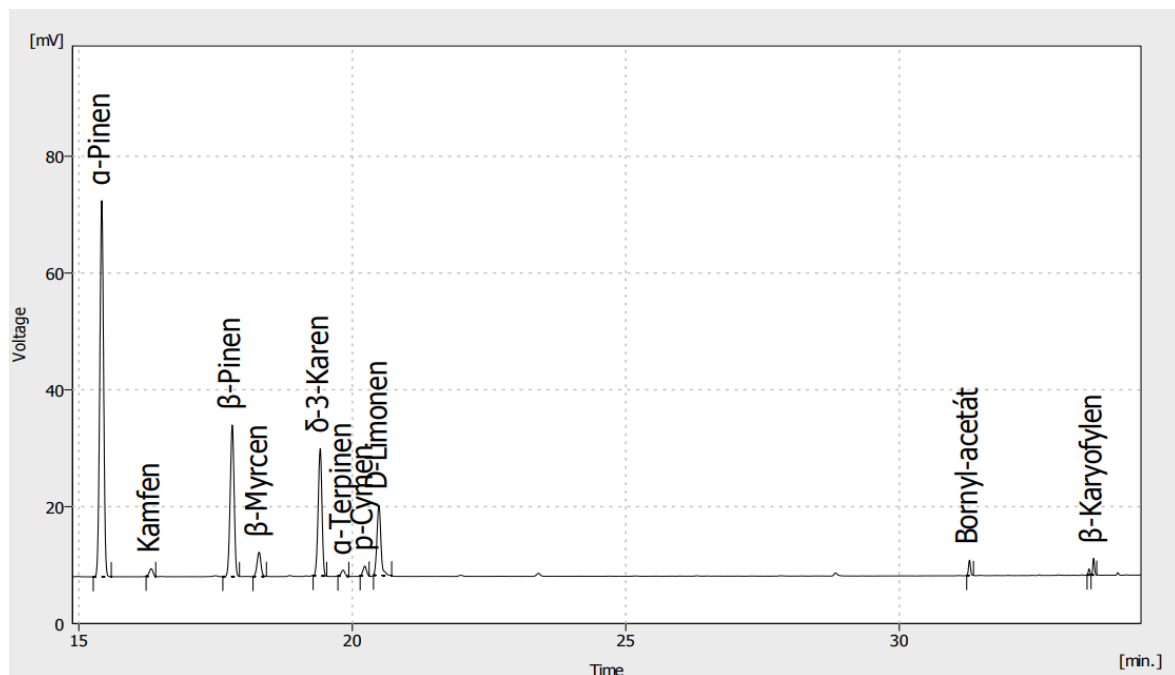
Obrázek 26 Chromatogram Borovice lesní, PRIMAVERA LIFE GmbH, Metoda Silice 4_2
(zdroj: vlastní)

Předposledním analyzovaným vzorkem borovice lesní je vzorek firmy M+H Saloos naturcosmetic. Srovnáním jednotlivých složek uvedených v tabulce 11 je možné vidět, že stěžejní látkou v tomto případě je α -pinen v R_t 15,42 min o relativním množství 47,0 %. Dalšími poměrně zastoupenými látkami jsou β -pinen (R_t 17,80 min) a δ -3-karen (R_t 19,41 min) a jejich relativní množství činí 19,6 % a 16,1 %. D-Limonenu odpovídá pík o ploše s relativním množstvím 9,2 % v R_t 20,49 min. V R_t 18,30 min byl identifikován β -myrcen s relativním množstvím 3,1 %. Píky o ploše odpovídající intervalu relativních množství 0,7–1,1 % náleží *p*-cymenu, kamfenu, bornyl-acetátu, β -karyofylenu a α -terpinenu.

Tabulka 11 Výsledky pro Borovice lesní, M+H Saloos naturcosmetic, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,42	309	64	47,0	46,4	α -Pinen
16,32	6	1	1,0	0,9	Kamfen
17,80	129	26	19,6	18,7	β -Pinen
18,30	20	4	3,1	3,0	β -Myrcen
19,41	106	22	16,1	15,7	δ -3-Karen
19,83	5	1	0,7	0,8	α -Terpinen
20,23	7	2	1,1	1,2	<i>p</i> -Cymen
20,49	61	12	9,2	8,6	D-Limonen
31,28	7	3	1,0	1,9	Bornyl-acetát
33,55	6	3	0,9	2,1	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



Obrázek 27 Chromatogram Borovice lesní, M+H Saloos naturcosmetic, Metoda Silice 4_2

(zdroj: vlastní)

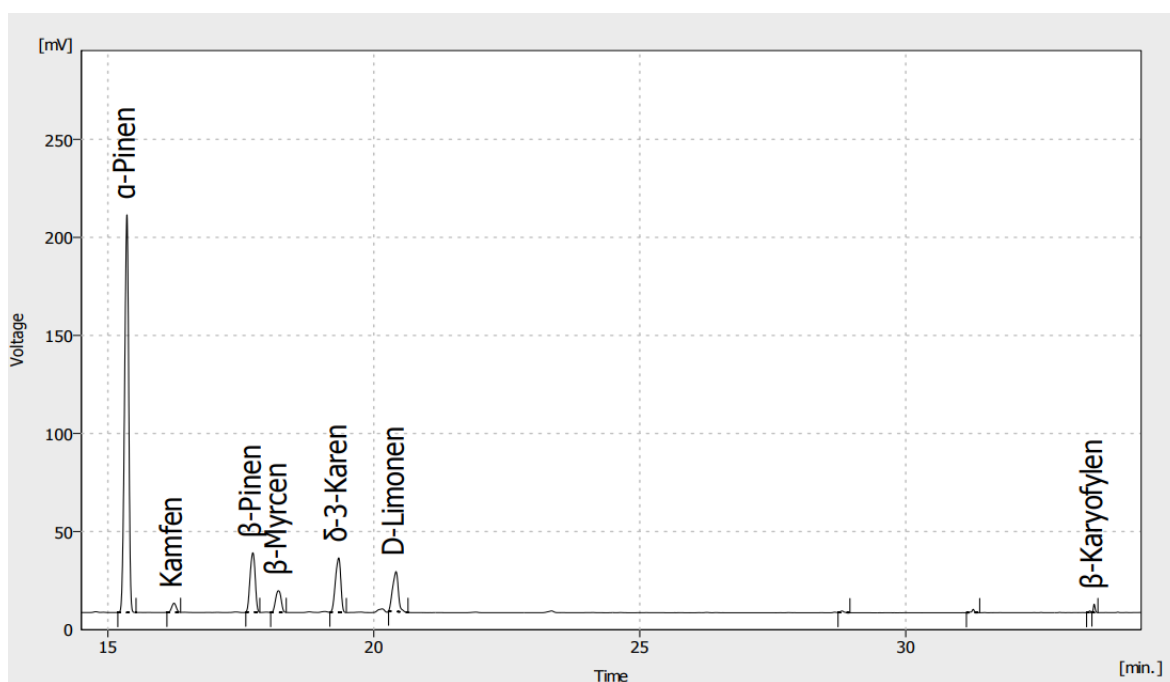
Díky datům z tabulky 12 lze konstatovat, že majoritní a zcela dominantní sloučeninou ve vzorku firmy Bugala Slow – Natur je α -pinen (R_t 15,36 min). Jeho relativní množství činí 61,7 %. V R_t 17,73 min a 19,34 min bylo možné určit β -pinen a δ -3-karen. Jejich relativní množství jsou 11,4 % a 11,0 %. Dalšími sloučeninami jsou D-limonen (R_t 20,42 min)

a β -myrcen (R_t 18,21 min) s relativními množstvími 8,5 % a 4,6 %. Nejméně zastoupenými složkami je kamfen (R_t 16,24 min), 1,5 % a β -karyofylen (R_t 33,54 min), 0,6 %.

Tabulka 12 Výsledky pro Borovice lesní, Bugala Slow – Natur, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,36	1093	203	61,7	66,5	α -Pinen
16,24	27	5	1,5	1,5	Kamfen
17,73	202	30	11,4	10,0	β -Pinen
18,21	81	11	4,6	3,6	β -Myrcen
19,34	195	28	11,0	9,1	δ -3-Karen
20,42	151	20	8,5	6,7	D-Limonen
33,54	10	4	0,6	1,4	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



Obrázek 28 Chromatogram Borovice lesní, Bugala Slow – Natur, Metoda Silice 4_2

(zdroj: vlastní)

U analyzovaných vzorků borovice lesní je možné pozorovat dva chemotypy tohoto druhu. Prvním je tzv. α -pinen chemotyp, u kterého je majoritní sloučeninou zmíněný α -pinen. Toto je pozorovatelné u osmi vzorků z devíti. Relativní složení této složky se pohybuje v intervalu 35,8–61,7 %. Největší množství bylo stanoveno u vzorku dodavatele Bugala Slow – Natur (původ neznámý) a nejméně u vzorku EO od firmy Service AKH (původ neznámý). Všechny

tyto vzorky mají jako druhou majoritní složku β -pinen, a to v množství 11,4–40,1 %. Největším množstvím disponuje vzorek od PRIMAVERA LIFE GmbH (původ Francie). Dalšími více zastoupenými sloučeninami jsou D-limonen (3,7–11,4 %) nebo δ -3-karen (10,4–16,1 %). U všech vzorků byly také identifikovány sloučeniny jako β -karyofylen (0,5–4,6 %) a kamfen (1–2,9 %). Méně častými sloučeninami byly *p*-cymen (1,1–1,6 %), terpinolen (2,7 % u vzorku Service AKH) a překvapivě bornyl-acetát (0,7 a 2,6 %), který byl identifikován pouze u dvou vzorků.

Jedinou výjimkou je EO od dodavatele Manipura, který spadá k tzv. δ -3-karen chemotypu. Tento vzorek obsahuje relativní množství ve výši 31,6 %. Dalšími více zastoupenými sloučeninami jsou D-limonen a méně typický terpinolen se sabinenem. Obsah terpinolenu 11,3 % je velmi neočekávaný, jelikož v literárních zdrojích se udává v množstvích menších než 5 %.

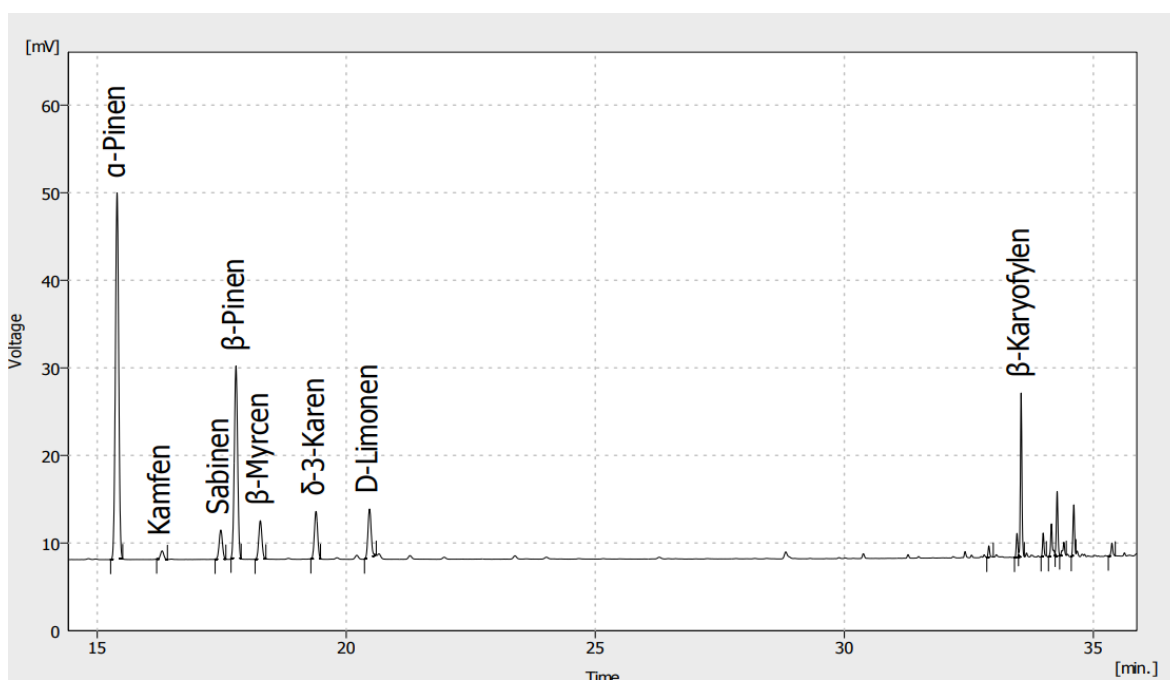
Druhým nejvíce analyzovaným druhem v této práci je borovice přímořská. Byly zanalyzovány celkem tři vzorky. Vzorek firmy TIERRA VERDE se lišil od ostatních tím, že byl extrahován z pryskyřice namísto jehličí nebo větviček.

Z tabulky 13 vyplývá, že hlavní sloučeninou ve vzorku firmy Florihana Distillerie je α -pinen (R_t 15,40 min) s relativním množstvím 39,9 %. Další více zastoupenou složkou je β -pinen (R_t 17,79 min) a jeho relativní množství je 21,1 %. V čase R_t 33,55 min se nachází β -karyofylen s relativním množstvím 8,2 %. Signály v časech R_t 20,47 min, 19,39 min, 18,28 min a 17,48 min náleží D-limonenu, δ -3-karenu, β -myrcenu a sabinenu. Jejich relativní množství činí 5,2 %, 5,0 %, 4,1 % a 3,2 %. Kamfen (R_t 16,30 min) má relativní množství 0,9 %.

Tabulka 13 Výsledky pro Borovice přímořská, Florihana Distillerie, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,40	193	42	39,9	32,5	α -Pinen
16,30	4	1	0,9	0,7	Kamfen
17,48	15	3	3,2	2,6	Sabinen
17,79	102	22	21,1	17,1	β -Pinen
18,28	20	4	4,1	3,4	β -Myrcen
19,39	24	5	5,0	4,2	δ -3-Karen
20,47	25	6	5,2	4,3	D-Limonen
33,55	40	19	8,2	14,5	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



Obrázek 29 Chromatogram Borovice přímořská, Florihana Distillerie, Metoda Silice 4_2

(zdroj: vlastní)

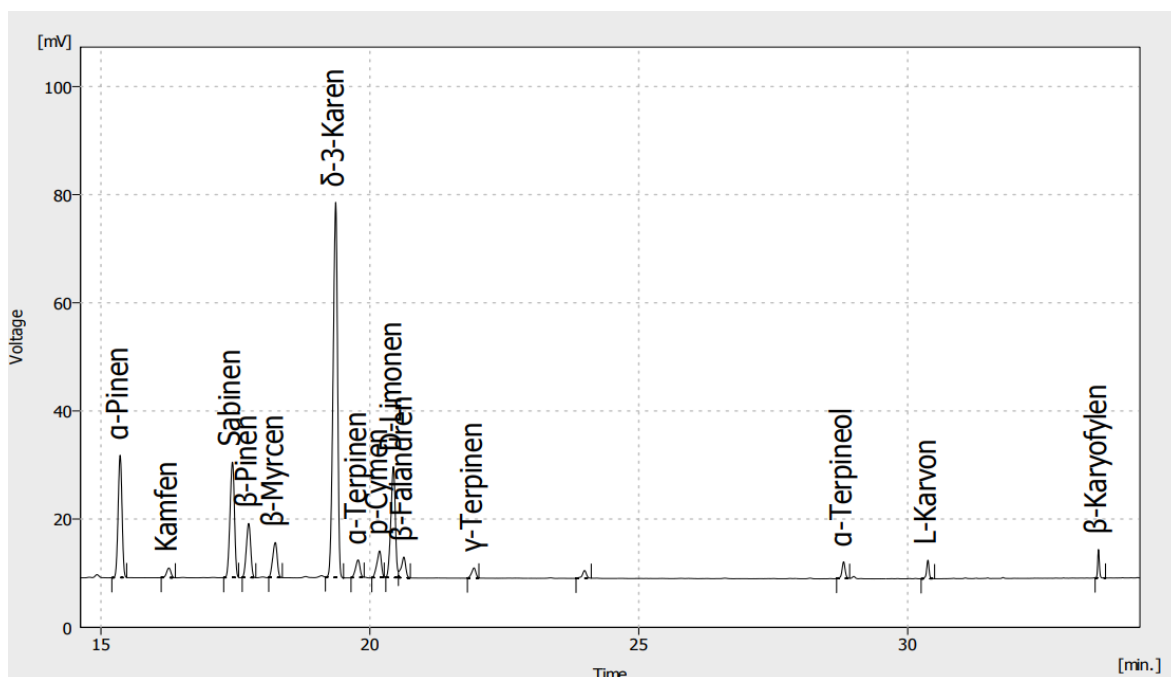
Na základě dat v tabulce 14 lze konstatovat, že hlavní chemickou složkou v tomto vzorku borovice přímořské (Phytos Natur CZ) je δ -3-karen (R_t 19,36 min). Relativní množství δ -3-karenu je 40,7 %. Sabinen (R_t 17,44 min), D-limonen (R_t 20,44 min) a α -pinen (R_t 15,36 min) jsou další sloučeniny v EO, které mají relativní množství 12,5 %, 12,0 % a 11,7 %. V R_t 17,75 min, 18,24 min, 20,18 min a 20,63 min je 5,8 % β -pinenu, 3,9 % β -myrcenu, 2,9 % p -cymenu a 2,3 % β -falandrenu. V intervalu 1,0–1,9 % bylo možné

identifikovat stopová množství α -terpinenu, α -terpineolu, β -karyofylenu, L-karvonu, kamfenu a γ -terpinenu.

Tabulka 14 Výsledky pro Borovice přímořská, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,36	115	23	11,7	12,7	α -Pinen
16,26	10	2	1,0	1,0	Kamfen
17,44	123	21	12,5	11,9	Sabinen
17,75	56	10	5,8	5,6	β -Pinen
18,24	38	6	3,9	3,6	β -Myrcen
19,36	398	69	40,7	38,7	δ -3-Karen
19,78	18	3	1,9	1,8	α -Terpinen
20,18	28	5	2,9	2,7	<i>p</i> -Cymen
20,44	117	21	12,0	11,5	D-Limonen
20,63	23	4	2,3	2,1	β -Falandren
21,94	10	2	1,0	1,0	γ -Terpinen
28,81	12	3	1,3	1,7	α -Terpineol
30,38	11	3	1,1	1,9	L-Karvon
33,55	11	5	1,2	2,9	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



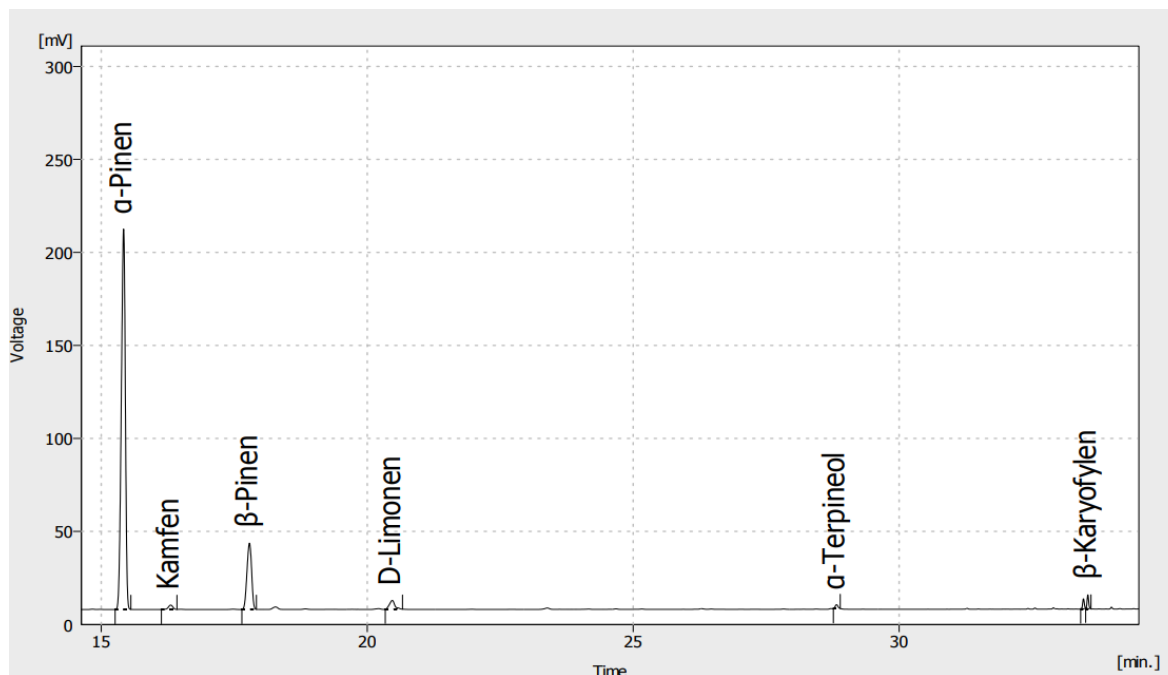
Obrázek 30 Chromatogram Borovice přímořská, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2
(zdroj: vlastní)

Pro tento vzorek je z tabulky 15 patrné, že zcela dominantní sloučeninou je α -pinen (R_t 15,42 min) o relativním obsahu 78,2 %. S relativním množstvím 15,7 % se v R_t 15,42 min nachází β -pinen. V časech R_t 16,30 min, 20,47 min a 33,55 min se nachází kamfen, D-limonen a β -karyofylen. Jejich relativní množství jsou 1,0 %, 2,4 % a 1,2 %.

Tabulka 15 Výsledky pro Borovice přímořská, TIERRA VERDE, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,42	1079	205	78,2	77,9	α -Pinen
16,30	14	2	1,0	0,9	Kamfen
17,79	217	36	15,7	13,6	β -Pinen
20,47	33	5	2,4	1,8	D-Limonen
33,55	17	8	1,2	2,9	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)



Obrázek 31 Chromatogram Borovice přímořská, TIERRA VERDE, Metoda Silice 4_2
(zdroj: vlastní)

U vzorků borovice přímořské byly analyzovány pouze tři vzorky a z tohoto důvodu není možné vyvozovat robustní závěry. U této borovice je možné rozlišit dva chemotypy stejně jako u vzorků borovice lesní. Prvním je rovněž α -pinen chemotyp, který byl vypořizován u vzorků firmy Florihana Distillerie a TIERRA VERDE. U těchto vzorků je relativní množství α -pinenu 39,9 % a 78,2 %. U vzorku firmy TIERRA VERDE je obsah α -pinenu mimořádně vysoký. U obou vzorků je druhou nejvíce zastoupenou chemickou látkou β -pinen (21,1 %, 15,7 %). Dalšími společnými znaky byl vyšší obsah D-limonenu a β -karyofylenu. Vzorek firmy Phytos Natur CZ se jeví jako zástupce δ -3-karen chemotypu, kdy množství δ -3-karenu činí 40,7 %. Dalšími význačnými sloučeninami byly rovněž D-limonen a β -karyofylen. Zajímavým úkazem je velmi vysoké množství sabinenu, a to 12,5 %. Běžně se takto vysoká množství u tohoto druhu borovice nevyskytují.

Literatura pro oba druhy borovic poskytuje velmi rozličné údaje. Analýza vzorků borovice lesní poskytla poměrně neměnné výsledky v rámci pořadí nejvíce zastoupených analytů, konstituentů EO. Téměř ve všech případech největší relativní množství ve vzorcích patřila α -pinenu, β -pinenu, δ -3-karenu a D-limonenu (v sestupném pořadí). Vzorek firmy Manipura disponoval největším relativním množstvím δ -3-karenu, D-limonenu a terpinolenu. Výskyt α -pinen a δ -3-karen chemotypu u tohoto druhu borovice je poměrně častý. Tyto chemotypy se však obecně rozlišují pouze podle obsahu δ -3-karenu, kdy u EO s jeho nižším obsahem se předpokládá α -pinen jakožto majoritní složka. α -Pinen je velmi

typickou hlavní složkou EO borovice lesní. Většinou je relativní množství této chemické složky mezi 25–60 %. V tomto případě se pak složení δ -3-karenu pohybuje od stopového množství až po cca 25 % [18, s. 677–683]. Při analýze vzorků pomocí GC bylo opravdu ve většině případech (u 7 vzorků z 8 chemotypu α -pinen) potvrzeno, že stanovené množství α -pinenu a δ -3-karenu souhlasí s literaturou [18, s. 677–683; 14, s. 398–399], protože vzorky tohoto chemotypu obsahovaly 36–62 % α -pinenu a 10–16 % δ -3-karenu. Zjištěná množství α -pinenu je možné považovat za vysoká. Například A. Judzientiene [38] a A. Orav [39] ve svých pracích s ostatními neudávají množství hlavní složky vyšší než 35 %. Jejich vzorky měly původ v Litvě a Estonsku. Avšak u publikací od O. Ustuna [40], Ž. Marjanović-Balabana [41], K.-H. Kubeczky [42] a jejich spoluautorů bylo možné najít obdobná složení α -pinenu (nad 35 %). Tyto práce se zaměřovaly na EO získané z borovic z Turecka, Srbska či z botanické zahrady v Německu. Jde o lokality blízké původu analyzovaných vzorků, kdy většina byla opravdu získána na území střední a východní Evropy. Avšak Ana M. Rodrigues a další ve své práci [43] vyzvedli obtížnost stanovení místa výskytu patřící jednomu chemotypu a je tedy nemožné určit oblasti přirozené a vyhrazené pro jeden chemotyp a vyloučit jeho výskyt na místech jiných. Vzorek firmy Manipura jako jediný odpovídá EO borovice lesní, který spadá pod kategorii chemotypu s vysokým obsahem δ -3-karenu, kdy jeho relativní obsah ve vzorku činí 31,6 %. V literatuře je udáváno, že vzorky tohoto chemotypu obsahují 41–77 % δ -3-karenu. Analyzovaný vzorek tedy obsahuje menší množství této látky, než je udáváno [18, s. 683]. Toto může být odůvodněno původem, formou izolace nebo čerstvostí jehlic. Je známo, že během sušení a stárnutí jehlic se především odpařují monoterpeny jako jsou α -pinen a δ -3-karen [38].

Pro borovici přímořskou je v literatuře většinou udáván α -pinen jakožto hlavní sloučenina EO. Jde o relativní množství v rozmezí 44,1–78,0 % [14, s. 460; 42]. Analyzované vzorky α -pinen chemotypu jsou tedy téměř hraničními případy, kdy vzorek firmy TIERRA VERDE obsahuje maximální udávané množství (78,2 %) a vzorek firmy Florihana Distillerie obsahuje pouze 39,9 %, což je hodnota pod hranicí udávaného intervalu. Robert Tisserand [14, s. 461] poukazuje na skutečnost, že čím více α -pinenu EO obsahuje, tím více je údajně kvalitnější. Toto platí především pro EO, které jsou získávány jakožto terpentýnový olej z pryskyřice borovice přímořské. Portugalsko je zemí původu zmiňovaného vzorku a výše zmíněná literatura udává, že tato lokalita je velmi příznivou oblastí pro EO bohaté na α -pinen. Tato skutečnost tedy může být potvrzena i experimentálně. Další nejčastější sloučeninou udávanou v literatuře je β -pinen, a to v relativních množstvích

přibližně 17,0–29,5 % [14, s. 160; 42]. Tomuto opět odpovídá vzorek firmy TIERRA VERDE a Florihana Distillerie, kdy však intervalu odpovídá pouze množství obsažené ve vzorku druhém. Doposud zde nezmíněný vzorek firmy Phytos Natur CZ neodpovídá dohledané literatuře, a to z důvodu vysokých množství δ -3-karenu, sabinenu a D-limonenu. δ -3-Karen jako hlavní sloučenina vzorku je velmi netypická a tento chemotyp nebylo možné s jistotou dohledat s takto vysokým obsahem této látky. Je pravdou, že tento chemotyp se vyskytovat určitě může, ale není to pravděpodobně příliš časté. Možnými dohledanými chemotypy jsou pouze ty s největším relativním množstvím α -pinenu nebo β -pinenu [44]. V některých případech může být hlavní sloučeninou β -karyofylen. Toto je možné pozorovat například u EO borovice přímořské z Alžíru [45]. U vzorku firmy Phytos Natur CZ je tedy možné předpokládat atypický původ oleje. Avšak původ tohoto vzorku je v jižní Evropě a tato informace je bez bližší specifikace. Tuto lokalitu nelze zcela považovat za atypickou, především z důvodu hojnosti výskytu této borovice na pobřeží Středozemního moře. Dokonce země jako Portugalsko, Francie či Řecko jsou velmi typické oblasti pro sběr částí těchto borovic vhodných pro extrakci [14, s. 161].

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce si kladla za cíl analyzovat a popsat chemické složení esenciálních olejů borovic dostupných na českém trhu. V rámci teoretické části byly shrnuty a popsány poznatky o esenciálních olejích, botanické a dendrologické charakteristice jehličnanů, a to zejména dřevin rodu *Pinus*. Nakonec byly představeny hlavní složky borovicových esenciálních olejů, mezi které patřily sloučeniny jako α -pinen, β -pinen, δ -karen či D-limonen. Práce se také zaměřuje na účinky esenciálních olejů a na popis možných rizik spojených s nedostatečnou informovaností spotřebitelů o možných negativních účincích těchto látek. Nedílnou součástí práce je také popis využití a aplikací nejen esenciálních olejů, ale i samotných borovic a jehličnanů.

Celkem bylo analyzováno 17 vzorků esenciálních olejů zakoupených na českém trhu. K analýze vzorků byla využita plynová chromatografie, která napomohla identifikaci a kvantifikaci přítomných sloučenin. Byly vytvořeny tři metody analýzy s rozličnými teplotními gradienty za účelem dostatečné separace látek. To se nejvíce podařilo u metody Silice 4_2. Pro detailní vyhodnocení bylo vybráno 12 vzorků, konkrétně olejů borovice lesní a borovice přímořské, které byly analyzovány výše zmíněnou metodou. Bylo identifikováno dohromady přibližně 16 sloučenin, a to pomocí zjištění retenčních časů čistých látek jakožto standardů. Metodou vnitřní normalizace byla určena relativní zastoupení sloučenin v každém ze vzorků.

Výsledky ukázaly, že nejvíce zastoupenou složkou byl téměř ve všech případech α -pinen s obsahem 35,8–78,2 %. Většinou v tomto případě byl následován látkami jako β -pinen a D-limonen. EO obou borovic s tímto složením byly identifikovány jakožto α -pinen chemotyp. Jejich celkový počet byl 10 ze 12 vzorků. Dalším, méně pozorovaným (dva vzorky) chemotypem byl ten s majoritním obsahem δ -karenu. Relativní množství pro tuto sloučeninu byla 31,6–40,7 %. Mezi jednotlivými vzorky byly zaznamenány výrazné rozdíly vzhledem k jejich širokým intervalům relativních zastoupení jednotlivých složek. Tyto rozdíly mohou být ovlivněny druhem rostliny, geografickým původem, způsobem extrakce nebo stářím EO.

Porovnáním výsledků s literaturou bylo zjištěno, že obdržené hodnoty ve většině případů souhlasí s publikovanými hodnotami a intervaly. Pro vzorky borovice lesní také souhlasí stanovené typy chemotypů. Pro jeden vzorek borovice přímořské však byl identifikován pro tento druh netypický δ -karen chemotyp, jehož běžný výskyt nebyl

potvrzen v literatuře. Avšak tyto rozdíly nejsou vylučitelné a u EO jsou vcelku běžné vzhledem k jejich variabilitě.

Přínosem této práce bylo nejen vytvoření chromatografické metody s teplotním gradientem vhodným pro analýzu EO borovic, ale také rozšíření poznatků o variabilitě těchto EO dostupných na českém trhu. Pro další výzkum by bylo vhodné rozšířit možnosti analýzy o poznatky z plynové chromatografie spojené s hmotnostní spektrometrií. Rovněž by výzkum mohl pokračovat směrem k identifikaci pančovaných olejů a testování jejich autenticity pomocí pokročilejších analytických metod.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SILORI, Gaurav Kumar; KUSHWAHA, Naveen a KUMAR, Vimal. Essential Oils from Pines: Chemistry and Applications: Chemistry and Applications. Online. In: MALIK, Sonia (ed.). *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production*. Cham: Springer International Publishing, 2019, s. 275–297. ISBN 978-3-030-16546-8 Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_10. [cit. 2024-10-10].
- [2] SADGROVE, Nicholas J.; PADILLA-GONZÁLEZ, Guillermo F. a PHUMTHUM, Methee. Fundamental chemistry of essential oils and volatile organic compounds, methods of analysis and authentication. Online. *Plants*, 2022, roč. 11, č. 6, čl. 789. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/plants11060789>. [cit. 2024-10-10].
- [3] HELDT, Hans-Walter a HELDT, Fiona. *Plant biochemistry*. 3rd ed. Online. USA: Elsevier Academic Press, 2005. ISBN 0-12-088391-033. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/natl-ebooks/detail.action?docID=288730>. [cit. 2024-10-10].
- [4] HANIF, Muhammand Asif; NISAR, Shafaq; KHAN, Ghufrana Samin; MUSHTAQ, Zahid a ZUBAIR, Muhammad. Essential Oils. Online. In: MALIK, Sonia (ed.). *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production*. Cham: Springer International Publishing, 2019, s. 3–18. ISBN 978-3-030-16546-8 Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_10. [cit. 2024-10-15].
- [5] MAHAWER, Sonu Kumar; HIMANI; ARYA, Sushila, KUMAR; Ravendra a PRAKASH, Om. Extractions Methods and Biological Applications of Essential Oils. Online. In: DE OLIVEIRA, Mozaniel Santana (ed.) a DE AGUIAR ANDRADE, Eloisa Helena (ed.). *Essential Oils: Advances in Extractions and Biological Applications: Advances in Extractions and Biological Applications*. London: IntechOpen, 2022, s. 3–28. ISBN 978-1-80355-755-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.98130>. [cit. 2024-10-15].
- [6] NARNOLIYA, Lokesh Kumar; JADAUN, Jyoti Singh a SINGH, Sudhir P. The Phytochemical Composition, Biological Effects and Biotechnological Approaches to the Production of High-Value Essential Oil from Geranium. Online. In: MALIK, Sonia (ed.). *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial*

Applications and Biotechnological Production. Cham: Springer International Publishing, 2019, s. 327–352. ISBN 978-3-030-16546-8 Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_10. [cit. 2024-10-10].

- [7] PENGELLY, Andrew. *The constituents of medicinal plants: an introduction to the chemistry and therapeutics of herbal medicine*. Online. 2nd ed. London: Routledge, 2020. ISBN 978-1-0031-1796-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.4324/9781003117964>. [cit. 2024-10-30].
- [8] ROOHINEJAD, Shahin; KOUBAA, Mohamed; BARBA, Francisco J.; LEONG, Sze Ying; KHELFA, Anissa et al. Extraction Methods of Essential Oils from Herbs and Spices. Online. In: HASHEMI, Seyed Mohammad Bagher; KHANEGHAH, Amin Mousavi a SANT'ANA, Anderson de Souza (ed.). *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications*. Chichester: John Wiley, 2017, s. 21–55. ISBN 978-1-1191-4939-2 Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781119149392.ch2>. [cit. 2024-11-12].
- [9] HANDA, Sukhdev Swami. An Overview of Extraction Techniques for Medicinal and Aromatic Plants. Online. In: UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants*. Trieste: International Centre for Science and High Technology. 2008, s. 21–54. Dostupné z: <https://www.unido.org/medicinal-and-aromatic-plants>. [cit. 2024-11-13].
- [10] FAHED, Layal; KHOURY, Madona; STIEN, Didier; OUAINI, Naïm; EPARVIER, Véronique et al. Essential Oils Composition and Antimicrobial Activity of Six Conifers Harvested in Lebanon. Online. *Chemistry & biodiversity*. 2017, roč. 14, č. 2, s. 1–7. ISSN 1612-1872. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/cbdv.201600235>. [cit. 2024-11-25].
- [11] BUCHBAUER, Gerhard. Biological activities of Essential Oils. Online. In: BAŞER, K. Husnu Can a BUCHBAUER, Gerhard (ed.). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*. 1st ed. Boca Raton: CRC Press. 2009, s. 235–280. ISBN 978-0-4291-4106-5 Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781420063165>. [cit. 2024-12-04].
- [12] ABD RASHED, Aswir; RATHI, Devi-Nair Gunasegavan; AHMAD NASIR, Nor Atikah Husna a ABD RAHMAN, Ahmad Zuhairi. Antifungal Properties of Essential Oils and Their Compounds for Application in Skin Fungal Infections: Conventional

- and Nonconventional Approaches. Online. *Molecules*. 2021, roč. 26, č. 4, čl. 1093. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules26041093>. [cit. 2024-12-01].
- [13] SERAG, Mamdouh S.; ELFAYOUMY, Reham A. a MOHESIEN, Marwa T. Essential Oils as Antimicrobial and Food Preservatives. Online. In: DE OLIVEIRA, Mozaniel Santana (ed.) a DE AGUIAR ANDRADE, Eloisa Helena (ed.). *Essential Oils: Advances in Extractions and Biological Applications: Advances in Extractions and Biological Applications*. London: IntechOpen, 2022, s. 75–87. ISBN 978-1-80355-755-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.98130>. [cit. 2025-02-04].
- [14] TISSERAND, Robert a YOUNG, Rodney. *Essential oil safety: a guide for health care professionals: a guide for health care professionals*. 2nd ed. Online. USA: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-443-06241-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-52351-3>. [cit. 2025-01-31].
- [15] BURKHARD, Pierre R.; BURKHARDT, Karim; HAENGGEI, Charles-Antoine; LANDIS, Theodor. Plant-induced seizures: reappearance of an old problem. Online. *Journal of Neurology*. 1999, roč. 246, s. 667–670. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s004150050429>. [cit. 2024-12-01].
- [16] JACOBZINER, Harold. Causes, Control, and Prevention of Accidental Poisonings. Online. *Public health reports*. 1966, roč. 81, č. 1, s. 31-41. ISSN 0094-6214. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/4592644>. [cit. 2024-12-01].
- [17] Methyl salicylate. CAS: 119-36-8. W274518. 8.0. Online. Sigma-Aldrich: Praha, 2024-06-05. Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en/sds/aldrich/w274518?userType=undefined>. [cit. 2024-12-01].
- [18] DE GROOT, Anton C. a SCHMIDT, Erich. *Essential Oils: Contact Allergy and Chemical Composition: Contact Allergy and Chemical Composition*. Online. New York: Routledge, 2016. ISBN 978-1-0032-0435-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781003204350>. [cit. 2024-12-01].
- [19] SELMI, Slimen; RTIBI, Kais; HOSNI, Karim a SEBAI, Hichem. Essential Oil, Chemical Compositions, and Therapeutic Potential. Online. In: DE OLIVEIRA, Mozaniel Santana (ed.) a DE AGUIAR ANDRADE, Eloisa Helena (ed.). *Essential Oils: Advances in Extractions and Biological Applications: Advances in Extractions and Biological Applications*. London: IntechOpen, 2022, s. 163–175. ISBN 978-1-

- 80355-755-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.98130>. [cit. 2025-01-31].
- [20] EVROPSKÁ UNIE. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009 ze dne 30. listopadu 2009 o kosmetických přípravcích. Online. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2009. Dostupné z: <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1223/oj>. [cit. 2025-01-31].
- [21] KOHLI, R. K.; BATISH, Daizy R. a SINGH, H. P. Eucalypt oils for the control of *Parthenium* (*Parthenium hysterophorus* L.). Online. *Crop Protection*. 1998, roč. 17, č. 2, s. 119–122. ISSN 0261-2194. Dostupné z: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(97\)00095-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00095-1). [cit. 2024-12-01].
- [22] ALLENSPACH, Martina; VALDER, Claudia; FLAMM, Daniela a STEUER, Christian. Authenticity control of pine sylvestris essential oil by chiral gas chromatographic analysis of α -pinene. Online. *Scientific reports*. 2021, roč. 11, č. 16923, s. 1–6. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96356-x>. [cit. 2025-02-04].
- [23] ANANDAKUMAR, Pandi; KAMARAJ, Sattu a VANITHA, Manickam Kalappan. D-limonene: A multifunctional compound with potent therapeutic effects: A multifunctional compound with potent therapeutic effects. Online. *Journal of food biochemistry*. 2021, roč. 45, č. e13566, s. 1–10. eISSN 1745-4514. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jfbc.13566>. [cit. 2025-02-04].
- [24] JÄGER, Walter. Metabolism of terpenoids in Animal Models and Humans. Online. In: BAŞER, K. Husnu Can a BUCHBAUER, Gerhard (ed.). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*. 1st ed. Boca Raton: CRC Press. 2009, s. 209–234. ISBN 978-0-4291-4106-5. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781420063165>. [cit. 2025-02-04].
- [25] MUSIL, Ivan a HAMERNÍK, Jan. *Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin*. Praha: Academia, 2007. ISBN 978-80-200-1567-9. [cit. 2024-10-30].
- [26] FARJON, Aljos. *A handbook of the world's conifers*. Online. Volume I, II. 2nd ed. Leiden: Brill, 2017. ISBN 978-90-04-32451-0. Dostupné z: <https://brill.com/display/title/17009> [cit. 2024-10-30].

- [27] STOBBE, Ulrich; STOBBE, Annika; SPROLL, Ludger; TEGEL, Willy; PETER, Martina et al. New evidence for the symbiosis between *Tuber aestivum* and *Picea abies*. Online. *Mycorrhiza*. 2013, roč. 23, č. 8, s. 669–673. ISSN 0940-6360. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0508-9>. [cit. 2024-10-30].
- [28] HASHAD, Khaled; YANG, Bo; GALLAGHER, John; BALDAUF, Richard; DESHMUKH, Parikshit et al. Impact of roadside conifers vegetation growth on air pollution mitigation. Online. *Landscape and Urban Planning*. 2023, roč. 229, čl. 104594. ISSN 0169-2046. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104594>. [cit. 2024-10-30].
- [29] FLEETWOOD, Sara K.; BELL, Sydney; JETTER, Reinhard a FOSTER, E. Johan. Water-Repellent Spray for Textiles Using Plant Waste from Conifer Trees. Online. *ACS Applied Engineering Materials*. 2024, roč. 2, č. 5, s. 1288–1297. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acsaenm.4c00116>. [cit. 2024-11-15].
- [30] BARBOSA, Julierme Zimmer; DOS SANTOS DOMINGUES, Caio Ricardo; POGGERE, Giovana Clarice; MOTTA, Antonio Carlos Vargas; DOS REIS, André Rodrigues et al. Elemental composition and nutritional value of *Araucaria angustifolia* seeds from subtropical Brazil. Online. *Journal of food science and technology*. 2019, roč. 56, s. 1073–1077. ISSN 0022-1155. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03555-y>. [cit. 2024-11-15].
- [31] WAJS-BONIKOWSKA, Anna; MACIEJCZYK, Ewa; SZOKA, Łukasz; KWIATKOWSKI, Paweł; MEENA, Surya Nandan et al. Biological Potential of *Tsuga canadensis*: A Study on Seed, Cone Essential Oils, and Seed Lipophilic Extract: A Study on Seed, Cone Essential Oils, and Seed Lipophilic Extract. Online. *Applied sciences*. 2025, roč. 15, č. 4, čl. 1713. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app15041713>. [cit. 2024-11-15].
- [32] MASON, Norman W. H.; PALMER, David J.; VETROVA, Varvara; BRABYN, Lars; PAUL, Thomas et al. Accentuating the positive while eliminating the negative of alien tree invasions: a multiple ecosystem services approach to prioritising control efforts: a multiple ecosystem services approach to prioritising control efforts. Online. *Biological Invasions*. 2017, roč. 19, č. 4, s. 1181–1195. ISSN 1573-1464. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1307-y>. [cit. 2024-11-15].

- [33] UHLÍŘOVÁ, Hana a KAPITOLA, Petr. *Poškození lesních dřevin*. Kostelec nad Černými Lesy: Lesnická práce, 2004. ISBN 80-86386-56-2. [cit. 2024-11-15].
- [34] HEIKE, Karel. *Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů*. 3. vyd. Brno: CPress, 2022. ISBN 978-80-264-4123-6. [cit. 2024-11-15].
- [35] STAMBAUGH, Michael C.; MARSCHALL, Joseph M.; ABADIR, Erin R.; JONES, Benjamin C.; BROSE, Patrick H. et al. Wave of fire: an anthropogenic signal in historical fire regimes across central Pennsylvania, USA. Online. *Ecosphere*. 2018, roč. 9, č. 5, čl. e02222. ISSN 2150-8925. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2222>. [cit. 2024-12-01].
- [36] WIEMKEN, V. a BOLLER, T. Delayed succession from alpine grassland to savannah with upright pine: Limitation by ectomycorrhiza formation?. Online. *Forest Ecology and Management*. 2006, roč. 237, č. 1, s. 492–502. ISSN 0378-1127. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.084>. [cit. 2024-12-01].
- [37] ADAMS, Robert P. *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry*. 4th ed. Carol Stream: Allured Publishing, 2007. ISBN 978-1-932633-21-4. [cit. 2025-02-21].
- [38] JUDZENTIENE, Asta a KUPCINSKIENE, Eugenija. Chemical composition on essential oils from needles of *Pinus sylvestris* L. grown in Northern Lithuania. Online. *The Journal of essential oil research*. 2008, roč. 20, č. 1, s. 26–29. ISSN 1041-2905. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10412905.2008.9699413>. [cit. 2025-03-26].
- [39] ORAV, A.; KAILAS, T. a LIIV, M. Analysis of terpenoid composition of conifer needle oils by steam distillation/extraction, gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. Online. *Chromatographia*. 1996, roč. 43, s. 215–219. ISSN 0009-5893. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/bf02292955>. [cit. 2025-03-26].
- [40] USTUN, Osman; SEZIK, Ekrem; KURKCUOGLU, M. a HUSNU CAN BASER, K. Study of the essential oil composition of *Pinus sylvestris* from Turkey. Online. *Chemistry of Natural Compounds*. 2006, roč. 42, č. 1, s. 26–31. ISSN 1573-8388. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10600-006-0029-2>. [cit. 2025-03-26].
- [41] MARJANOVIĆ-BALABAN, Željka; GOJKOVIĆ CVJETKOVIĆ, Vesna; KAPOVIĆ-SOLOMUN, Marijana; STANOJEVIĆ, Ljiljana; STANOJEVIĆ, Jelena et

- al. Quality testing of industrially produced essential oil of white pine (*Pinus sylvestris* L.) from the Republic of Srpska. Online. *Journal of Engineering & Processing Management*. 2020, roč. 12, č. 2, s. 36–43. ISSN 1840-4774. Dostupné z: <https://doi.org/10.7251/jepm2002036b>. [cit. 2025-03-26].
- [42] KUBECZKA, K. -H a SCHULTZE, W. Biology and chemistry of conifer oils. Online. *Flavour and fragrance journal*. 1987, roč. 2, s. 137–148. ISSN 0882-5734. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ffj.2730020402>. [cit. 2025-03-29].
- [43] RODRIGUES, Ana M.; MENDES, Marta D.; LIMA, Ana S.; BARBOSA, Pedro M.; ASCENSÃO, Lia et al. *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* and *Pinus sylvestris* Essential Oils Chemotypes and Monoterpene Hydrocarbon Enantiomers, before and after Inoculation with the Pinewood Nematode *Bursaphelenchus xylophilus*. Online. *Chemistry & Biodiversity*. 2017, roč. 14, č. 1, čl. e1600153. ISSN 1612-1872. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cbdv.201600153>. [cit. 2025-03-29].
- [44] GONÇALVES, Elsa; FIGUEIREDO, A. Cristina; BARROSO, José G.; HENRIQUES, Joana; SOUSA, Edmundo et al. Effect of *Monochamus galloprovincialis* feeding on *Pinus pinaster* and *Pinus pinea*, oleoresin and insect volatiles. Online. *Phytochemistry*. 2020, roč. 169, čl. 112159. ISSN 0031-9422. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.112159>. [cit. 2025-03-29].
- [45] DOB, T.; BERRAMDANE, T. a CHELGHOUM, C. Analysis of Essential Oil from the Needles of *Pinus pinaster* Growing in Algeria. Online. *Chemistry of Natural Compounds*. 2005, roč. 41, č. 5, s. 545–548. ISSN 1573-8388. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10600-005-0202-z>. [cit. 2025-03-29].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Zjednodušené schéma MVA dráhy	14
Obrázek 2 Zjednodušené schéma MEP dráhy	15
Obrázek 3 Lis vhodný pro lisování kůry citrusů za studena	16
Obrázek 4 Aparatura na destilaci vodní parou z kůry citrusů	17
Obrázek 5 Rozmarýnový olej extrahovaný pomocí SFE viditelné v pozadí	19
Obrázek 6 Molekula (+)- α -pinenu	30
Obrázek 7 Molekula (+)- β -pinenu	30
Obrázek 8 Molekula D-limonenu	30
Obrázek 9 Molekula (1 <i>S</i> ,2 <i>R</i>)-bornyl-acetátu	31
Obrázek 10 Molekula (–)-kamfenu	31
Obrázek 11 Molekula δ -3-karenu	32
Obrázek 12 DANI Master GC Fast Gas Chromatograph	35
Obrázek 13 Mikrostříkačka	35
Obrázek 14 Vialka	36
Obrázek 15 Pipeta	36
Obrázek 16 Graf teplotního gradientu metody Silice 4_1	37
Obrázek 17 Graf teplotního gradientu metody Silice 4_2	38
Obrázek 18 Graf teplotního gradientu metody Silice 4_3	38
Obrázek 19 Lahvičky analyzovaných vzorků	41
Obrázek 20 Chromatogram Borovice lesní, Ekokoza, Metoda Silice 4_2	43
Obrázek 21 Chromatogram Borovice lesní, Service AKH, Metoda Silice 4_2	44
Obrázek 22 Chromatogram Borovice lesní, MANUFAKTURA, Metoda Silice 4_2	46
Obrázek 23 Chromatogram Borovice lesní, Manipura, Metoda Silice 4_2	47
Obrázek 24 Chromatogram Borovice lesní, Nobilis Tilia, Metoda Silice 4_2	48
Obrázek 25 Chromatogram Borovice lesní, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2	50
Obrázek 26 Chromatogram Borovice lesní, PRIMAVERA LIFE GmbH, Metoda Silice 4_2	51
Obrázek 27 Chromatogram Borovice lesní, M+H Saloos naturcosmetic, Metoda Silice 4_2	52
Obrázek 28 Chromatogram Borovice lesní, Bugala Slow – Natur, Metoda Silice 4_2	53
Obrázek 29 Chromatogram Borovice přímořská, Florihana Distillerie, Metoda Silice 4_2	55
Obrázek 30 Chromatogram Borovice přímořská, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2	57
Obrázek 31 Chromatogram Borovice přímořská, TIERRA VERDE, Metoda Silice 4_2	58

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Hlavní složky EO (majoritně) borovice lesní	29
Tabulka 2 Přehled teplotních gradientů použitých metod	39
Tabulka 3 Informace o analyzovaných vzorcích borovic	40
Tabulka 4 Výsledky pro Borovice lesní, Ekokoza, Metoda Silice 4_2	43
Tabulka 5 Výsledky pro Borovice lesní, Service AKH, Metoda Silice 4_2	44
Tabulka 6 Výsledky pro Borovice lesní, MANUFAKTURA, Metoda Silice 4_2	45
Tabulka 7 Výsledky pro Borovice lesní, Manipura, Metoda Silice 4_2	47
Tabulka 8 Výsledky pro Borovice lesní, Nobilis Tilia, Metoda Silice 4_2	48
Tabulka 9 Výsledky pro Borovice lesní, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2	49
Tabulka 10 Výsledky pro Borovice lesní, PRIMAVERA LIFE GmbH, Metoda Silice 4_2	50
Tabulka 11 Výsledky pro Borovice lesní, M+H Saloos naturcosmetic, Metoda Silice 4_2	52
Tabulka 12 Výsledky pro Borovice lesní, Bugala Slow – Natur, Metoda Silice 4_2	53
Tabulka 13 Výsledky pro Borovice přímořská, Florihana Distillerie, Metoda Silice 4_2	55
Tabulka 14 Výsledky pro Borovice přímořská, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2	56
Tabulka 15 Výsledky pro Borovice přímořská, TIERRA VERDE, Metoda Silice 4_2	57
Tabulka 16 Retenční časy čistých látek	76
Tabulka 17 Výsledky pro Borovice smolná, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_1	79
Tabulka 20 Výsledky pro Borovice smolná, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_2	79
Tabulka 21 Výsledky pro Borovice smolná, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_3	80
Tabulka 22 Výsledky pro Borovice sibiřská, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_1	80
Tabulka 23 Výsledky pro Borovice sibiřská, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_2	81
Tabulka 24 Výsledky pro Borovice sibiřská, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_3	82
Tabulka 25 Výsledky pro Borovice vejmutovka, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_1	83
Tabulka 26 Výsledky pro Borovice vejmutovka, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_2	84
Tabulka 27 Výsledky pro Borovice vejmutovka, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_3	84
Tabulka 28 Výsledky pro Borovice lesní, Ekokoza, Metoda Silice 4_1	85
Tabulka 29 Výsledky pro Borovice lesní, Ekokoza, Metoda Silice 4_3	86

Tabulka 30 Výsledky pro Borovice přímořská, Florihana Distillerie, Metoda Silice 4_1 ..	87
Tabulka 31 Výsledky pro Borovice přímořská, Florihana Distillerie, Metoda Silice 4_3 ..	87
Tabulka 32 Výsledky pro Borovice lesní, Service AKH, Metoda Silice 4_1	88
Tabulka 33 Výsledky pro Borovice lesní, Service AKH, Metoda Silice 4_3	88
Tabulka 34 Výsledky pro Borovice kleč, Service AKH, Metoda Silice 4_1	89
Tabulka 35 Výsledky pro Borovice kleč, Service AKH, Metoda Silice 4_2	89
Tabulka 36 Výsledky pro Borovice kleč, Service AKH, Metoda Silice 4_3	90
Tabulka 37 Výsledky pro Borovice lesní, Manipura, Metoda Silice 4_1	91
Tabulka 38 Výsledky pro Borovice lesní, Manipura, Metoda Silice 4_3	92
Tabulka 39 Výsledky pro Borovice lesní, MANUFAKTURA, Metoda Silice 4_1	92
Tabulka 40 Výsledky pro Borovice lesní, MANUFAKTURA, Metoda Silice 4_3	93
Tabulka 41 Výsledky pro Borovice lesní, Nobilis Tilia, Metoda Silice 4_1	93
Tabulka 42 Výsledky pro Borovice lesní, Nobilis Tilia, Metoda Silice 4_3	94
Tabulka 43 Výsledky pro Borovice kleč, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_1	94
Tabulka 44 Výsledky pro Borovice kleč, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2	95
Tabulka 45 Výsledky pro Borovice kleč, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_3	95
Tabulka 46 Výsledky pro Borovice lesní, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_1	96
Tabulka 47 Výsledky pro Borovice přímořská, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_1	97
Tabulka 48 Výsledky pro Borovice přímořská, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_3	98
Tabulka 49 Výsledky pro Borovice lesní, PRIMAVERA LIFE GmbH, Metoda Silice 4_1	98
Tabulka 50 Výsledky pro Borovice lesní, PRIMAVERA LIFE GmbH, Metoda Silice 4_3	99
Tabulka 51 Výsledky pro Borovice lesní, M+H, Saloos naturcosmetic, Metoda Silice 4_1	99
Tabulka 52 Výsledky pro Borovice lesní, M+H, Saloos naturcosmetic, Metoda Silice 4_3	100
Tabulka 53 Výsledky pro Borovice lesní, Bugala Slow – Natur, Metoda Silice 4_1	100
Tabulka 54 Výsledky pro Borovice lesní, Bugala Slow – Natur, Metoda Silice 4_3	101
Tabulka 55 Výsledky pro Borovice přímořská, TIERRA VERDE, Metoda Silice 4_1	101
Tabulka 56 Výsledky pro Borovice přímořská, TIERRA VERDE, Metoda Silice 4_3	102

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EO esenciální olej

MVA mevalonát/ová

CoA koenzym A

HMG-CoA 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA

IPP isopentenylpyrofosfát

DMADPP dimethylallylpyrofosfát

MEP methylethritolfosfát/ová

DXP 1-deoxy-D-xylulóza-5-fosfát

CTP cytidin-5'-trifosfát

CDP-ME 4-difosfocytidyl-2-C-methyl-D-erythritol

CDP-MEP 4-difosfocytidyl-2-C-methyl-D-erythritolfosfát

MEcPP 2-C-methyl-D-erythritol-2,4-cyklodifosfát

HMBPP 4-hydroxy-3-methylbutenyl-1-difosfát

IspE 4-difosfocytidyl-2-C-methyl-D-erythritol kináza

IspF 2-C-methyl-D-erythritol-2,4-cyklodifosfát syntáza

IspG 4-hydroxy-3-methylbutenyl-1-difosfát syntáza

IspH 4-hydroxy-3-methylbut-2-enyldifosfát reduktáza

SFE superkritická fluidní extrakce

MAE extrakce pomocí mikrovlnných vln

PEF extrakce pomocí pulsního elektrického pole

MIC minimální inhibiční koncentrace

RNA kyselina ribonukleová

DNA kyselina deoxyribonukleová

LD₅₀ střední letální dávka

INCI Mezinárodní nomenklatura kosmetických přísad

ČR Česká republika

USA Spojené státy americké

R_t retenční čas

GC plynová chromatografie

GC-FID plynová chromatografie s plynově-ionizačním detektorem

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Tabulka retenčních časů standardů

Příloha P II: Tabulky pro další vzorky a metody

PŘÍLOHA P I: TABULKA RETENČNÍCH ČASŮ STANDARDŮ

Tabulka 16 Retenční časy čistých látek

Analyt	Retenční čas R_t [min]			
	Silice 4	Silice 4_1	Silice 4_2	Silice 4_3
α -Pinen	8,75	12,74	15,43	12,42
(-)-Kamfen	9,19	13,29	16,3	13,05
Sabinen	9,71	13,96	17,49	13,9
β -Pinen	9,90	14,16	17,83	14,15
β -Myrcen	10,00	14,35	18,29	14,42
α -Falandren	10,55	14,97	19,28	15,21
δ -3-Karen	10,66	15,04	19,41	15,32
α -Terpinen	10,81	15,26	19,82	15,57
<i>p</i> -Cymen	11,00	15,46	20,23	15,87
D-Limonen	11,13	15,63	20,49	16,04
Benzyl alkohol	11,14	15,69	20,61	16,09
1,8-Cineol	11,26	15,77	20,68	16,18
γ -Terpinen	11,84	16,44	21,98	16,97
Terpinolen	12,48	17,19	23,38	17,81
Methyl-benzoát	12,63	17,38	23,69	18,06
Linalool	12,67	17,43	24,04	18,13
Fenethyl alkohol	12,98	17,82	24,76	18,59
Citronellal	13,64	18,49	26,64	19,51
Kafr	13,77	18,61	26,62	19,61
Benzyl-acetát	13,85	18,73	27,15	19,79
Menthon (<i>trans</i>)	13,84 +	18,69	26,97	19,65
Menthon (<i>cis</i>)	14,00	18,86	27,41	19,96
Isoborneol	14,02	18,9	27,44	20,01
Borneol	14,14	19,03	27,82	20,19
Menthol	14,18	19,06	28,02	20,25
Terpinen-4-ol	14,27	19,13	28,16	20,34

Pokračování tabulky 16

Analyt	Retenční čas Rt [min]			
	Silice 4	Silice 4_1	Silice 4_2	Silice 4_3
α -Terpineol	14,45	19,36	28,87	20,73
Methyl-salicylát	14,45	19,36	28,75	20,65
Estragol	14,46	19,39	28,91	20,74
Citronellol	14,79	19,7	29,77	21,36
Neral	15,00	19,95	30,13	21,8
Linalyl-acetát	15,06	20,02	30,36	21,99
Geraniol	15,08	20,05	30,4	22,05
L-Karvon	15,17	20,08	30,33	22,09
Geranial	15,38	20,34	30,84	22,68
(E)-Cinnamaldehyd	15,56	20,51	31,04	23,03
Bornyl-acetát	15,67	20,63	31,28	23,37
Thymol	15,64	20,62	31,33	23,37
<i>trans</i> -Anethol	15,72	20,68	31,29	23,48
Karvakrol	15,78	20,74	31,48	23,68
(E)-Cinnamyl alkohol	15,94	20,91	31,7	24,15
Methyl-antranilát	16,48	21,38	32,32	25,6
α -Terpinyl-acetát	16,36	21,35	32,35	25,68
Eugenol	16,44	21,43	32,46	25,96
Geranyl-acetát	16,58	21,58	32,73	26,86
Methyleugenol	16,87	21,87	33,1	28,14
β -Karyofylen	17,36	22,33	33,55	29,93
(E)-Cinnamyl acetát	17,40	22,39	33,71	31,03
(Z)-Isoeugenol	17,48	22	33,2	28,51
(E)-Isoeugenol		22,46	33,77	31,29
Kumarin	17,51	22,49	33,76	30,83
Eugenol-acetát	18,02	23,03	34,49	36,14
(-)- α -Bisabolol	19,60	24,6	36,17	40,29

Pokračování tabulky 16

Analyt	Retenční čas Rt [min]			
	Silice 4	Silice 4_1	Silice 4_2	Silice 4_3
α -Hexyl cinnamaldehyd	20,15	25,15	36,74	41,09
Benzyl-benzoát	20,50	25,47	37,07	41,43
Benzyl- salicylát	21,70	26,69	38,31	42,89
(<i>E</i>)-Benzyl- cinnamát	25,52	30,46	42,1	47,01

(zdroj: vlastní)

PŘÍLOHA P II: TABULKY PRO DALŠÍ VZORKY A METODY

Tabulka 17 Výsledky pro Borovice smolná, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,76	359	112	43,9	49,2	α -Pinen
13,31	10	3	1,3	1,3	Kamfen
14,17	161	51	19,7	22,1	β -Pinen
14,36	15	5	1,8	2,3	β -Myrcen
15,06	20	7	2,5	3,0	δ -3-Karen
15,64	8	3	0,9	1,1	D-Limonen
15,72	5	2	0,6	0,7	β -Falandren
19,36	5	2	0,6	0,9	α -Terpineol
22,32	3	1	0,4	0,6	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 18 Výsledky pro Borovice smolná, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,43	361	75	40,4	41,3	α -Pinen
16,33	14	3	1,5	1,5	Kamfen
17,51	45	9	5,1	5,1	Sabinen
17,81	172	34	19,2	18,9	β -Pinen
18,30	17	4	1,9	2,0	β -Myrcen
19,42	22	4	2,4	2,5	δ -3-Karen
20,49	25	5	2,8	2,6	D-Limonen
28,84	6	1	0,6	0,7	α -Terpineol
33,55	4	1	0,4	0,8	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 19 Výsledky pro Borovice smolná, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,41	207	58	35,0	37,2	α -Pinen
13,09	11	3	1,8	1,9	Kamfen
13,92	55	16	9,3	10,0	Sabinen
14,17	106	29	18,0	18,9	β -Pinen
14,43	11	3	1,9	2,0	β -Myrcen
15,32	13	4	2,2	2,5	δ -3-Karen
16,04	29	8	5,0	5,1	D-Limonen
20,71	4	1	0,7	0,7	α -Terpineol

(zdroj: vlastní)

Tabulka 20 Výsledky pro Borovice sibiřská, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,76	73	23	14,7	12,5	α -Pinen
13,31	128	41	25,8	22,0	Kamfen
13,97	18	6	3,5	3,2	Sabinen
14,17	14	5	2,7	2,5	β -Pinen
15,06	61	21	12,3	11,3	δ -3-Karen
15,64	27	10	5,5	5,6	D-Limonen
15,72	18	5	3,7	2,9	β -Falandren
17,19	5	2	0,9	1,0	Terpinolen
19,04	6	3	1,1	1,4	Borneol
20,64	111	56	22,3	30,5	Bornyl-acetát
22,32	5	2	1,0	1,3	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 21 Výsledky pro Borovice sibiřská, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,43	68	14	13,3	10,9	α -Pinen
16,34	121	25	23,6	19,3	Kamfen
17,52	28	6	5,4	4,5	Sabinen
17,82	15	3	3,0	2,5	β -Pinen
18,31	3	1	0,6	0,5	β -Myrcen
19,42	58	13	11,3	9,5	δ -3-Karen
20,50	33	7	6,4	5,3	D-Limonen
20,60	14	3	2,7	2,4	β -Falandren
23,41	4	1	0,8	0,7	Terpinolen
27,84	6	1	1,1	1,0	Borneol
31,29	114	45	22,3	33,9	Bornyl-acetát
33,56	5	2	1,1	1,7	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 22 Výsledky pro Borovice sibiřská, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,41	117	30	14,9	15,3	α -Pinen
13,09	169	42	21,7	21,2	Kamfen
13,92	79	20	10,2	10,0	Sabinen
14,17	41	10	5,2	5,1	β -Pinen
15,32	87	23	11,2	11,4	δ -3-Karen
16,04	62	17	8,0	8,8	D-Limonen
16,13	22	6	2,8	2,8	β -Falandren
16,98	5	1	0,6	0,8	δ -Terpinen
17,82	5	2	0,7	0,9	Terpinolen
20,20	7	2	0,9	1,2	Borneol
23,39	126	30	16,1	15,3	Bornyl-acetát
29,94	6	1	0,8	0,4	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 23 Výsledky pro Borovice vejmutovka, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,75	503	137	38,2	40,1	α -Pinen
13,30	71	18	5,4	5,3	Kamfen
13,95	10	2	0,7	0,7	Sabinen
14,16	372	92	28,3	26,8	β -Pinen
14,35	100	24	7,6	6,9	β -Myrcen
15,05	87	20	6,6	6,0	δ -3-Karen
15,64	72	17	5,5	4,9	D-Limonen
15,71	55	15	4,1	4,4	β -Falandren
17,19	12	4	0,9	1,0	Terpinolen
19,36	5	2	0,4	0,4	α -Terpineol
20,64	14	6	1,1	1,7	Bornyl-acetát
22,32	5	2	0,4	0,7	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 24 Výsledky pro Borovice vejmutovka, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,43	192	41	35,0	33,7	α -Pinen
16,34	25	5	4,5	4,3	Kamfen
17,51	20	4	3,7	3,7	Sabinen
17,82	154	33	28,1	27,2	β -Pinen
18,30	41	9	7,5	7,5	β -Myrcen
19,42	36	8	6,5	6,5	δ -3-Karen
20,49	35	8	6,5	6,4	D-Limonen
20,60	27	6	4,9	4,7	β -Falandren
23,41	5	1	0,9	0,9	Terpinolen
31,29	5	2	1,0	1,8	Bornyl-acetát
33,55	5	3	1,0	2,2	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 25 Výsledky pro Borovice vejmutovka, BEWIT Natural Medicine, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,40	209	60	32,7	32,9	α -Pinen
13,07	27	8	4,2	4,2	Kamfen
14,16	169	46	26,4	25,0	β -Pinen
14,42	47	13	7,3	7,2	β -Myrcen
15,30	29	9	4,5	4,7	δ -3-Karen
15,58	42	12	6,6	6,7	α -Terpinen
16,02	26	8	4,0	4,4	D-Limonen
16,11	33	9	5,1	5,0	β -Falandren
17,81	5	2	0,8	1,0	Terpinolen
23,37	15	3	2,3	1,7	Bornyl-acetát

(zdroj: vlastní)

Tabulka 26 Výsledky pro Borovice lesní, Ekokoza, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,73	1361	344	59,0	62,9	α -Pinen
13,27	35	8	1,5	1,4	Kamfen
13,93	37	7	1,6	1,4	Sabinen
14,13	267	56	11,6	10,2	β -Pinen
14,32	95	19	4,1	3,4	β -Myrcen
15,02	245	52	10,6	9,5	δ -3-Karen
15,47	17	3	0,7	0,6	<i>p</i> -Cymen
15,62	193	38	8,4	7,0	D-Limonen
16,42	4	1	0,2	0,1	δ -Terpinen
17,17	9	2	0,4	0,4	Terpinolen
19,35	5	2	0,2	0,4	α -Terpineol
20,64	9	3	0,4	0,6	Bornyl-acetát
22,31	12	6	0,5	1,0	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 27 Výsledky pro Borovice lesní, Ekokoza, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,41	1029	236	51,2	54,3	α -Pinen
13,08	34	7	1,7	1,7	Kamfen
13,91	120	23	6,0	5,3	Sabinen
14,16	261	54	13,0	12,3	β -Pinen
14,43	77	15	3,8	3,4	β -Myrcen
15,31	221	45	11,0	10,4	δ -3-Karen
15,86	21	4	1,0	0,9	<i>p</i> -Cymen
16,04	204	41	10,2	9,4	D-Limonen
16,97	8	2	0,4	0,4	Δ -Terpinen
17,82	6	2	0,3	0,4	Terpinolen
20,71	8	2	0,4	0,5	α -Terpineol
23,38	8	2	0,4	0,4	Bornyl-acetát
29,93	14	2	0,7	0,4	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 28 Výsledky pro Borovice přímořská, Florihana Distillerie, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,76	519	153	47,4	42,9	α -Pinen
13,31	8	2	0,7	0,6	Kamfen
14,17	254	73	23,2	20,4	β -Pinen
14,35	54	16	4,9	4,4	β -Myrcen
15,05	26	8	2,4	2,2	δ -3-Karen
15,64	42	12	3,8	3,4	D-Limonen
17,19	4	1	0,4	0,4	Terpinolen
19,36	6	2	0,5	0,6	α -Terpineol
22,32	65	32	5,9	9,0	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 29 Výsledky pro Borovice přímořská, Florihana Distillerie, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,44	209	58	47,6	51,5	α -Pinen
14,20	99	27	22,5	23,8	β -Pinen
14,46	19	5	4,3	4,6	β -Myrcen
15,34	9	3	2,2	2,4	δ -3-Karen
16,07	16	4	3,7	4,0	d-Limonen
30,03	27	4	6,2	3,1	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 30 Výsledky pro Borovice lesní, Service AKH, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,76	212	66	40,5	39,4	α -Pinen
13,31	6	2	1,1	1,0	Kamfen
14,17	113	35	21,6	20,7	β -Pinen
14,36	10	3	1,9	1,9	β -Myrcen
15,06	81	26	15,6	15,2	δ -3-Karen
15,65	54	16	10,3	9,6	D-Limonen
17,19	14	5	2,7	3,0	Terpinolen
20,64	12	6	2,2	3,4	Bornyl-acetát
22,32	21	10	4,1	5,7	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 31 Výsledky pro Borovice lesní, Service AKH, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,39	440	115	40,8	43,7	α -Pinen
13,06	10	3	1,0	1,0	Kamfen
14,14	238	55	22,1	20,9	β -Pinen
14,41	21	5	2,0	1,9	β -Myrcen
15,29	173	40	16,1	15,4	δ -3-Karen
16,02	114	27	10,6	10,1	D-Limonen
17,80	29	8	2,7	3,2	Terpinolen
23,36	21	5	2,0	1,9	Bornyl-acetát
29,89	26	3	2,4	1,3	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 32 Výsledky pro Borovice kleč, Service AKH, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,73	93	31	32,5	31,1	α -Pinen
13,29	3	1	1,0	0,8	Kamfen
13,92	2	1	0,9	0,7	Sabinen
14,15	44	15	15,4	15,0	β -Pinen
14,34	20	7	7,1	7	β -Myrcen
15,04	53	18	18,5	17,9	δ -3-Karen
15,48	7	2	2,4	2,4	<i>p</i> -Cymen
15,63	25	9	8,8	9,0	D-Limonen
20,64	8	4	3,0	4,2	Bornyl-acetát
22,32	7	3	2,4	3,4	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 33 Výsledky pro Borovice kleč, Service AKH, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,42	65	15	30,0	28,4	α -Pinen
16,33	2	1	1,1	1,0	Kamfen
17,50	10	2	4,7	3,9	Sabinen
17,81	32	7	14,8	13,9	β -Pinen
18,30	15	3	6,8	6,5	β -Myrcen
19,41	38	9	17,6	16,5	δ -3-Karen
20,23	5	1	2,5	2,4	<i>p</i> -Cymen
20,49	23	5	10,4	9,5	D-Limonen
31,28	6	2	2,6	4,5	Bornyl-acetát
33,55	5	2	2,1	4,1	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 34 Výsledky pro Borovice kleč, Service AKH, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,33	222	59	36,0	37,8	α -Pinen
13,00	5	1	0,9	0,9	Kamfen
13,80	5	1	0,8	0,7	Sabinen
14,08	100	24	16,2	15,1	β -Pinen
14,35	42	10	6,7	6,4	β -Myrcen
15,24	114	28	18,5	18,0	δ -3-Karen
15,79	14	4	2,3	2,3	<i>p</i> -Cymen
15,97	54	14	8,8	8,9	D-Limonen
16,05	27	8	4,4	4,9	β -Falandren
23,33	14	3	2,3	2,2	Bornyl-acetát
29,85	9	1	1,5	0,9	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 35 Výsledky pro Borovice lesní, Manipura, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,75	19	6	4,0	3,4	α -Pinen
13,31	14	4	2,9	2,4	Kamfen
13,97	31	9	6,6	5,4	Sabinen
14,17	16	5	3,4	3,1	β -Pinen
14,36	7	2	1,4	1,3	β -Myrcen
15,06	135	44	28,4	26,9	δ -3-Karen
15,28	7	3	1,6	1,6	α -Terpinen
15,49	31	11	6,4	6,6	<i>p</i> -Cymen
15,64	63	22	13,3	13,2	D-Limonen
16,45	11	4	2,4	2,5	δ -Terpinen
17,19	48	19	10,1	11,3	Terpinolen
19,36	20	9	4,2	5,6	α -Terpineol
20,64	5	2	1,0	1,2	Bornyl-acetát

(zdroj: vlastní)

Tabulka 36 Výsledky pro Borovice lesní, Manipura, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,38	11	2	2,4	1,9	α -Pinen
13,06	13	3	2,9	2,3	Kamfen
13,83	7	2	1,6	1,4	Sabinen
14,14	9	2	2,0	1,9	β -Pinen
14,41	6	2	1,4	1,3	β -Myrcen
15,29	159	43	36,3	34,2	δ -3-Karen
15,57	9	2	2,0	2,0	α -Terpinen
15,84	35	10	7,9	8,0	<i>p</i> -Cymen
16,02	62	18	14,2	14,2	D-Limonen
16,95	12	4	2,7	3,0	δ -Terpinen
17,80	54	18	12,3	14,1	Terpinolen
20,69	17	6	3,9	4,6	α -Terpineol

(zdroj: vlastní)

Tabulka 37 Výsledky pro Borovice lesní, MANUFAKTURA, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,75	581	158	45,9	48,7	α -Pinen
13,30	26	6	2,1	2,0	Kamfen
14,16	278	66	21,9	20,5	β -Pinen
14,35	27	6	2,1	1,8	β -Myrcen
15,05	197	46	15,5	14,3	δ -3-Karen
15,49	20	4	1,5	1,3	<i>p</i> -Cymen
15,64	104	22	8,2	6,9	D-Limonen
20,64	21	8	1,6	2,6	Bornyl-acetát

(zdroj: vlastní)

Tabulka 38 Výsledky pro Borovice lesní, MANUFAKTURA, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,42	290	77	38,6	39,0	α -Pinen
13,10	14	4	1,8	1,8	Kamfen
13,92	63	16	8,3	8,1	Sabinen
14,18	154	39	20,5	19,9	β -Pinen
14,44	15	4	2,0	2,0	β -Myrcen
15,32	107	28	14,2	14,5	δ -3-Karen
15,87	14	4	1,8	2,0	<i>p</i> -Cymen
16,04	86	23	11,4	11,6	D-Limonen
23,38	10	2	1,3	1,2	Bornyl-acetát

(zdroj: vlastní)

Tabulka 39 Výsledky pro Borovice lesní, Nobilis Tilia, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,76	294	89	46,2	43,8	α -Pinen
13,31	7	2	1,1	1,1	Kamfen
14,17	128	41	20,2	20,0	β -Pinen
14,36	18	6	2,8	2,9	β -Myrcen
15,06	99	33	15,6	16,0	δ -3-Karen
15,28	4	1	0,6	0,7	α -Terpinen
15,49	9	3	1,4	1,5	<i>p</i> -Cymen
15,64	57	18	8,9	8,9	D-Limonen
19,36	2	1	0,3	0,5	α -Terpineol
20,64	7	4	1,1	1,8	Bornyl-acetát
22,32	8	4	1,3	2,1	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 40 Výsledky pro Borovice lesní, Nobilis Tilia, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,41	496	122	45,8	49,1	α -Pinen
13,08	12	3	1,1	1,2	Kamfen
14,16	220	47	20,3	18,9	β -Pinen
14,42	32	7	3,0	2,7	β -Myrcen
15,31	165	36	15,2	14,5	δ -3-Karen
15,59	8	2	0,7	0,7	α -Terpinen
15,86	16	3	1,5	1,4	<i>p</i> -Cymen
16,03	103	22	9,5	9,0	D-Limonen
16,97	2	1	0,2	0,2	δ -Terpinen
17,82	6	1	0,5	0,6	Terpinolen
20,71	3	1	0,3	0,3	α -Terpineol
23,38	10	2	0,9	0,8	Bornyl-acetát
29,92	8	1	0,7	0,4	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 41 Výsledky pro Borovice kleč, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,77	2	1	0,8	0,5	α -Pinen
13,33	6	2	2,1	1,6	Kamfen
14,38	2	1	0,6	0,4	β -Myrcen
15,08	105	35	36,5	29,0	δ -3-Karen
15,66	9	3	3,3	2,5	D-Limonen
17,21	12	5	4,2	3,8	Terpinolen
19,37	7	3	2,6	2,8	α -Terpineol

(zdroj: vlastní)

Tabulka 42 Výsledky pro Borovice kleč, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_2

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
15,41	3	1	0,6	0,5	α -Pinen
16,32	9	2	2,1	1,3	Kamfen
18,29	2	1	0,6	0,4	β -Myrcen
19,41	142	31	35,4	25,4	δ -3-karen
20,22	5	1	1,4	1,0	<i>p</i> -Cymen
20,48	13	3	3,2	2,4	D-Limonen
23,39	18	4	4,4	3,2	Terpinolen
28,82	9	2	2,3	2,0	α -Terpineol

(zdroj: vlastní)

Tabulka 43 Výsledky pro Borovice kleč, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,39	7	2	0,9	0,9	α -Pinen
13,07	20	4	2,7	2,3	Kamfen
14,42	6	1	0,8	0,7	β -Myrcen
15,30	300	65	39,6	38,6	δ -3-Karen
15,85	12	3	1,5	1,6	<i>p</i> -Cymen
16,03	38	7	5,0	4,4	D-Limonen
16,96	5	1	0,6	0,7	δ -Terpinen
17,81	34	10	4,4	5,6	Terpinolen
20,70	14	5	1,9	2,9	α -Terpineol
22,13	14	3	1,8	2,0	L-karvon

(zdroj: vlastní)

Tabulka 44 Výsledky pro Borovice lesní, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,76	171	55	43,8	42,1	α -Pinen
13,32	6	2	1,5	1,5	Kamfen
14,18	85	28	21,8	21,3	β -Pinen
14,36	8	3	2,0	2,0	β -Myrcen
15,06	54	18	13,9	14,1	δ -3-Karen
15,65	43	14	10,9	10,7	D-Limonen
20,64	7	4	1,8	2,8	Bornyl-acetát
22,32	12	5	3,1	4,0	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Výsledky pro Borovice lesní, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,35	324	84	46,4	49,8	α -Pinen
13,03	10	3	1,4	1,5	Kamfen
14,11	158	35	22,6	20,8	β -Pinen
14,37	14	3	2,1	1,9	β -Myrcen
15,26	98	23	14,1	13,4	δ -3-Karen
15,99	73	18	10,4	10,4	D-Limonen
23,34	10	2	1,4	1,3	Bornyl-acetát
29,87	11	1	1,6	0,9	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 45 Výsledky pro Borovice přímořská, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,72	81	25	12,2	12,0	α -Pinen
13,28	4	1	0,6	0,5	Kamfen
13,93	51	15	7,6	7,3	Sabinen
14,14	31	9	4,6	4,6	β -Pinen
14,33	27	8	4,1	3,9	β -Myrcen
15,03	304	91	45,8	44,3	δ -3-Karen
15,25	14	4	2,2	2,1	α -Terpinen
15,47	19	6	2,8	2,9	<i>p</i> -Cymen
15,61	73	22	11,0	10,8	D-Limonen
15,74	15	4	2,2	2,2	β -Falandren
16,42	6	2	0,9	0,9	δ -Terpinen
19,35	12	5	1,8	2,4	α -Terpineol
20,02	8	4	1,3	2,0	L-Karvon
22,31	11	5	1,6	2,7	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 46 Výsledky pro Borovice přímořská, Phytos Natur CZ, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,39	53	15	13,0	13,0	α -Pinen
13,90	16	4	3,9	3,7	Sabinen
14,15	18	5	4,5	4,3	β -Pinen
14,42	17	4	4,1	3,9	β -Myrcen
15,30	208	57	50,8	50,0	δ -3-Karen
15,58	9	3	2,2	2,2	α -Terpinen
15,85	13	4	3,1	3,2	<i>p</i> -Cymen
16,02	42	13	10,4	11,0	D-Limonen
16,16	10	3	2,4	2,3	β -Falandren
16,96	3	1	0,8	0,9	δ -Terpinen
20,70	9	3	2,1	2,6	α -Terpineol
21,99	7	2	1,7	1,7	L-Karvon

(zdroj: vlastní)

Tabulka 47 Výsledky pro Borovice lesní, PRIMAVERA LIFE GmbH, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,76	204	65	44,9	43,2	α -Pinen
13,31	14	4	3,0	2,8	Kamfen
14,17	182	60	40,0	39,7	β -Pinen
14,36	13	5	2,9	3,0	β -Myrcen
15,65	18	6	3,9	4,0	D-Limonen
15,72	3	1	0,7	0,8	β -Falandren
19,36	4	1	0,8	0,8	α -Terpineol
22,32	5	3	1,1	2,0	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 48 Výsledky pro Borovice lesní, PRIMAVERA LIFE GmbH, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,45	287	77	46,4	48,4	α -Pinen
13,12	18	5	3,0	3,0	Kamfen
14,21	248	60	40,1	38,2	β -Pinen
14,47	18	4	2,9	2,8	β -Myrcen
16,07	24	7	3,9	4,1	D-Limonen
20,74	4	1	0,7	0,5	α -Terpineol

(zdroj: vlastní)

Tabulka 49 Výsledky pro Borovice lesní, M+H, Saloos naturcosmetic, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,72	966	247	46,7	52,3	α -Pinen
13,27	22	5	1,1	1,1	Kamfen
14,13	404	82	19,5	17,4	β -Pinen
14,32	68	13	3,3	2,7	β -Myrcen
15,02	336	67	16,2	14,3	δ -3-Karen
15,24	16	3	0,8	0,7	α -Terpinen
15,46	24	5	1,2	1,0	<i>p</i> -Cymen
15,61	195	36	9,4	7,6	D-Limonen
17,17	8	2	0,4	0,4	Terpinolen
19,35	3	1	0,1	0,3	α -Terpineol
20,63	13	5	0,6	1,0	Bornyl-acetát
22,31	9	4	0,5	1,0	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 50 Výsledky pro Borovice lesní, M+H, Saloos naturcosmetic, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,41	279	76	45,7	45,2	α -Pinen
13,09	6	2	1,0	1,0	Kamfen
14,17	115	31	18,9	18,7	β -Pinen
14,44	19	5	3,1	3,2	β -Myrcen
15,32	98	28	16,1	16,6	δ -3-Karen
15,60	4	1	0,7	0,8	α -Terpinen
15,86	9	3	1,4	1,5	<i>p</i> -Cymen
16,04	64	18	10,5	10,9	D-Limonen
17,82	3	1	0,4	0,5	Terpinolen
23,38	7	2	1,1	1,0	Bornyl-acetát
29,93	7	1	1,1	0,5	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 51 Výsledky pro Borovice lesní, Bugala Slow – Natur, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,76	850	245	60,4	62,0	α -Pinen
13,31	21	6	1,5	1,5	Kamfen
14,17	158	42	11,2	10,7	β -Pinen
14,35	63	16	4,4	4,0	β -Myrcen
15,05	155	41	11,0	10,4	δ -3-Karen
15,49	12	3	0,8	0,7	<i>p</i> -Cymen
15,64	125	31	8,9	7,8	D-Limonen
19,36	6	2	0,4	0,5	α -Terpineol
20,64	6	3	0,4	0,6	Bornyl-acetát
22,32	11	5	0,8	1,4	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 52 Výsledky pro Borovice lesní, Bugala Slow – Natur, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,41	658	172	60,0	62,4	α -Pinen
13,08	17	4	1,5	1,5	Kamfen
14,16	125	30	11,4	10,7	β -Pinen
14,42	46	10	4,2	3,8	β -Myrcen
15,30	120	29	10,9	10,4	δ -3-Karen
15,85	9	2	0,8	0,8	<i>p</i> -Cymen
16,03	93	22	8,5	8,1	D-Limonen
17,81	5	1	0,5	0,5	Terpinolen
23,37	5	1	0,4	0,4	Bornyl-acetát
29,92	10	1	0,9	0,5	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 53 Výsledky pro Borovice přímořská, TIERRA VERDE, Metoda Silice 4_1

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,76	1666	409	79,3	80,8	α -Pinen
13,30	22	5	1,1	0,9	Kamfen
14,16	329	66	15,7	13,0	β -Pinen
15,64	41	7	1,9	1,4	D-Limonen
19,36	10	4	0,5	0,8	α -Terpineol
22,32	14	8	0,7	1,5	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)

Tabulka 54 Výsledky pro Borovice přímořská, TIERRA VERDE, Metoda Silice 4_3

Retenční čas [min]	Plocha [mV·s]	Výška [mV]	Relativní		Název sloučeniny
			plocha [%]	výška [%]	
12,35	1522	328	78,7	82,1	α -Pinen
13,02	18	4	0,9	0,9	Kamfen
14,10	308	53	15,9	13,2	β -Pinen
15,99	46	8	2,4	1,9	D-Limonen
20,68	10	3	0,5	0,7	α -Terpineol
29,87	14	2	0,7	0,5	β -Karyofylen

(zdroj: vlastní)