

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Analýza vybraných složek chmele s využitím opakované
headspace extrakce

Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Iryna Shaparenko**
Osobní číslo: **C20509**
Studijní program: **N0531A130030 Hodnocení a analýza potravin**
Téma práce: **Analýza vybraných složek chmele s využitím opakované headspace extrakce**
Zadávající katedra: **Katedra analytické chemie**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši se zaměřením na analýzu profilu těkavých látek v potravinách i surovinách pro jejich výrobu. Popište možnosti využití mikroextrakce tuhou fází (SPME) v kombinaci s metodou plynové chromatografie ve spojení s hmotnostním spektrometrem (GC-MS) pro daný účel a prověřte i princip založený na opakované headspace extrakci (Multiple Headspace Extraction – MHE). Zaměřte se především na využití uvedených metod pro analýzu významných složek podílejících se na profilu těkavých látek chmele.

2. V experimentální části prověřte možnosti vzorkování metodou MHE-SPME s následnou separací metodou GC-MS pro analýzu linaloolu a dalších složek chmele jako ukazatelů kvality, případně stárnutí chmele. Pro tento účel nalezněte vhodné experimentální podmínky a tyto aplikujte na reálné vzorky chmelů. Výsledky korelujte s hodnotami získanými při měření barevnosti chmele.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:
Podle pokynů vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Adam, Ph.D.**
Katedra analytické chemie

Datum zadání diplomové práce: **7. února 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **6. května 2022**

L.S.

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

prof. Ing. Karel Ventura, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 21. února 2022

Práci s názvem „Analýza vybraných složek chmele s využitím opakované headspace extrakce” jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20.08.2022

.....
Bc. Iryna Shaparenko

Chtěla bych vyjádřit svou nesmírnou vděčnost vedoucímu práce doc. Ing. Martinu Adamovi, Ph.D. za jeho trpělivost, cenné rady a podporu v tomto nelehkém období. Také chci poděkovat doc. Ing. Janu Fischerovi, CSc. za vstřícnost ve všech jeho projevech. Velké poděkování také patří mé rodině a příteli. S vámi jsem celým srdcem a duší.

ANOTACE

Tato diplomová práce je zaměřená na analýzu vybraných složek chmele vícenásobnou headspace mikroextrakcí tuhou fází, ve spojení s plynovou chromatografií a hmotnostní detekcí. V teoretické části jsou popsány chmel a některé jeho odrůdy, chmelové složky, vliv těchto sloučenin na lidské zdraví a jejich využití. Jsou zde popsány metoda MHS-SPME a kolorimetrické měření barevnosti potravin. V praktické části byla nejprve provedena optimalizace metody pomocí volby vhodného objemu vzorku a teploty extrakce. Dále je popsána kvalitativní analýza odrůd chmele pomocí GC-MS. Výsledkem byly chromatogramy s aroma profily chmelových odrůd. Dále jsou prezentovány výsledky kvantitativní analýzy linaloolu, β -karyofylenu a karyofylen oxidu ve vybraných odrůdách chmele. Na konci je popsáno měření barevnosti a porovnání výsledků drcených chmelových granulí pomocí spektrofotometrické kolorimetrie.

KLÍČOVÁ SLOVA

Chmel, MHS-SPME, GC-MS, měření barevnosti, linalool, β -karyofylen, karyofylen oxid

TITLE

Analysis of selected hop components using multiple headspace extraction

ANNOTATION

This thesis is focused on the analysis of selected components of hops by multiple headspace solid phase microextraction, in connection with gas chromatography and mass detection. The theoretical part describes hops and some of their varieties, hop components, the effect of these compounds on human health and their use. The MHS-SPME method and colorimetric measurement of food color are described here. In the practical part, the optimization of the method was first carried out by choosing the suitable sample volume and extraction temperature. The qualitative analysis of hop varieties using GC-MS is also described. The result was chromatograms with aroma profiles of hop varieties. The results of the quantitative analysis of linalool, β -caryophyllene and caryophyllene oxide in selected hop varieties are also presented. At the end, the measurement of color and comparison of the results of crushed hop granules using spectrophotometric colorimetry is described.

KEYWORDS

Hops, MHS-SPME, GC-MS, color measurement, linalool, β -caryophyllene, caryophyllene oxide

OBSAH

ÚVOD	13
1 TEORETICKÁ ČÁST	14
1.1 CHARAKTERISTIKA <i>HUMULUS LUPULUS</i>	14
1.2 GEOGRAFIE CHMELNIC	14
1.3 ODRUDY CHMELE OTÁČIVÉHO A JEJICH PŮVOD	18
1.3.1 Ariana	20
1.3.2 Challenger	21
1.3.3 Fuggles	22
1.3.4 Harmonie	23
1.3.5 Mandarina Bavaria	24
1.3.6 Premiant	25
1.3.7 Sládek	26
1.3.8 Vital	26
1.3.9 Warrior	27
1.3.10 Willamette	28
1.4 CHEMICKÝ POPIS CHMELE OTÁČIVÉHO	29
1.4.1 Chmelové pryskyřice	29
1.4.2 Chmelové silice	31
1.4.3 Chmelové polyfenoly	33
1.4.4 Doprovodné látky a prvky	34
1.4.5 Kvalitativní a kvantitativní ukazatele stárnutí chmele	35
1.5 ŠKŮDCI CHMELE	36
1.6 VYUŽITÍ CHMELE A JEHO VLIV NA LÍDSKÉ ZDRAVÍ	37
1.7 MIKROEXTRAKCE TUHOU FÁZÍ GC-MS V ANALÝZE POTRAVIN	38
1.8 MĚŘENÍ BAREVNOSTI POTRAVIN	40
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
2.1 VZORKY	42
2.2 CHEMIKÁLIE	44
2.3 INSTRUMENTACE	44
2.4 PRACOVNÍ POSTUPY	44
2.4.1 Příprava kalibračních řad pro kvantifikaci	44
2.4.2 Optimalizace podmínek extrakce na plynovém chromatografu s hmotnostním detektorem	45
2.4.3 Kvalitativní analýza chmelového aroma profilu	46
2.4.4 Kvantitativní analýza vybraných sloučenin	46
3 VÝSLEDKY A DISKUZE	48
3.1 KALIBRAČNÍ ZÁVISLOSTI	48
3.2 OPTIMALIZACE EXTRAKČNÍCH PODMÍNEK	49

3.3 KVANTITATIVNÍ ANALÝZA VYBRANÝCH SLOŽEK V CHMELU	52
3.4 IDENTIFIKACE LÁTEK CHMELE	55
3.3.1 Identifikace chmelových látek odrůdy Ariana.....	55
3.3.2 Identifikace chmelových látek odrůdy Challenger	55
3.3.3 Identifikace chmelových látek odrůdy Fuggles	56
3.3.4 Identifikace chmelových látek odrůdy Harmonie.....	56
3.3.5 Identifikace chmelových látek odrůdy Mandarina Bavaria	57
3.3.6 Identifikace chmelových látek odrůdy Premiant (nový)	58
3.3.7 Identifikace chmelových látek odrůdy Premiant (starý).....	58
3.3.8 Identifikace chmelových látek odrůdy Sládek (nový)	59
3.3.9 Identifikace chmelových látek odrůdy Sládek (starý)	60
3.3.10 Identifikace chmelových látek směsi odrůd	60
3.3.11 Identifikace chmelových látek odrůdy Vital.....	61
3.3.12 Identifikace chmelových látek odrůdy Warrior	62
3.3.13 Identifikace chmelových látek odrůdy Willamette.....	62
3.5 BAREVNOST VYBRANÝCH CHMELOVÝCH ODRŮD.....	64
4 ZÁVĚR	66
5 LITERATURA	67
6 PŘÍLOHY.....	76

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 - Mapa celosvětových producentů chmele za rok 2020	16
Obrázek 2 - Rozdělení jednotlivých odrůd chmele na skupiny na základě genetických markerů	19
Obrázek 3 - Vzhled hlávky Ariany a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	20
Obrázek 4 - Vzhled hlávky Challenger a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	21
Obrázek 5 - Vzhled hlávky Fuggles a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	22
Obrázek 6 - Vzhled hlávky Harmonie a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	23
Obrázek 7 - Vzhled hlávky Mandarininy a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	24
Obrázek 8 - Vzhled hlávky Premianta a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	25
Obrázek 9 - Vzhled hlávky Sládka a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	26
Obrázek 10 - Vzhled hlávky Vitalu a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	27
Obrázek 11 - Vzhled hlávky Warrior a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	28
Obrázek 12 - Vzhled hlávky Willamette a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele	29
Obrázek 13 - Mechanismus izomerace alfa-hořkých kyselin za vzniku iso-alfa-hořkých kyselin	30
Obrázek 14 - Vzhled použitých vzorků	43
Obrázek 15 - Závislost celkových ploch píků linaloolu na hmotnosti ($n = 3$)	48
Obrázek 16 - Závislost celkových ploch píků karyofylen oxidu na hmotnosti ($n = 3$)	48
Obrázek 17 - Závislost celkových ploch píků β -karyofylenu na hmotnosti ($n = 3$)	49
Obrázek 18 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro linalool při 90 °C	50
Obrázek 19 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ při konstantní koncentraci a pipetovaném objemu 2000 μl ($n = 3$)	51
Obrázek 20 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ při konstantní koncentraci a pipetovaném objemu 100 μl ($n = 3$)	51
Obrázek 21 - Porovnání množství linaloolu, β -karyofylenu a karyofylen oxidu ve zkoumaných odrůdách	53
Obrázek 22 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro β -karyofylen odrůdy Ariana	54
Obrázek 23 - Chromatogram odrůdy Ariana	55
Obrázek 24 - Chromatogram odrůdy Challenger	56
Obrázek 25 - Chromatogram odrůdy Fuggles	56
Obrázek 26 - Chromatogram odrůdy Harmonie	57
Obrázek 27 - Chromatogram odrůdy Mandarinina Bavaria	58
Obrázek 28 - Chromatogram odrůdy Premiant (nový)	58
Obrázek 29 - Chromatogram odrůdy Premiant (starý)	59
Obrázek 30 - Chromatogram odrůdy Sládek (nový)	60
Obrázek 31 - Chromatogram odrůdy Sládek (starý)	60
Obrázek 32 - Chromatogram směsi odrůd	61
Obrázek 33 - Chromatogram odrůdy Vital	62
Obrázek 34 - Chromatogram odrůdy Warrior	62
Obrázek 35 - Chromatogram odrůdy Willamette	63
Obrázek 36 - Vizuální porovnání rozdrcených vzorků	64
Obrázek 37 - Vizuální porovnání čerstvého a starého chmele	64

Tabulka 1 - Celková produkce chmelu jednotlivých států s výnosem nad 500 tun za rok 2020 ...	15
Tabulka 2 - Výnos chmele a odpovídající plocha chmelnic v 2017-2021 letech	16
Tabulka 3 - Sklizňové plochy dle oblasti a odrůd v roce 2021	17
Tabulka 4 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Ariana	21
Tabulka 5 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Challenger.....	22
Tabulka 6 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Fuggles	23
Tabulka 7 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Harmonie	24
Tabulka 8 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Mandarin.....	24
Tabulka 9 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Premiantu.....	25
Tabulka 10 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Sládek	26
Tabulka 11 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Vital	27
Tabulka 12 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Warrior	28
Tabulka 13 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Willamette	29
Tabulka 14 - Hodnoty meze detekce a meze stanovitelnosti pro zvolenou analýzu	49
Tabulka 15 - Naměřené hodnoty celkových ploch chmelových látek a jejich přepočty na mg/kg	52
Tabulka 16 - Hodnoty nezbytné pro výpočet celkové plochy	54
Tabulka 17 - Hodnoty vypočtené z naměřených dat	54
Tabulka 18 - Znárodnění průměrných hodnot barevnosti pro vybrané odrůdy chmele	65

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

6-GN	6-geranylarningenin
6-PN	6-prenylarningenin
8-PN	8-prenylarningenin
ApMV	(<i>Apple mosaic virus</i>) virová mozaika jabloně
CCD	(<i>Charge-coupled device</i>) detektor obrazu v kamerách
CMOS	(<i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i>) druh snímacího čipu v digitálních fotoaparátech
CVS	(<i>Computer vision system</i>) systém počítačového vidění
D35	Teplota chromatičnosti
d/8°	Difuzní osvětlení, úhel odrazu světla 8°
DI-SPME	(<i>Direct immersing solid phase microextraction</i>) přímá mikroextrakce tuhou fází
DMX	Desmethylxanthohumol
DVB/CAR/PDMS	Divinylbenzen/karboxen/polydimethylsiloxan
DW	(<i>Dry weigh</i>) sušina, suchá hmota
EO	Esenciální oleje
FID	(<i>Flame ionization detector</i>) plamenový ionizační detektor
FFNSC 2	Flavour & Fragrance Natural & Synthetic Compounds GC/MC library
GC	(<i>Gas chromatography</i>) Plynová chromatografie
HLVd	(<i>Hop latent viroid</i>) latentní chmelový viroid
HpMV	(<i>Hop mosaic virus</i>) virus mozaiky chmele
HSI	(<i>Hop storage index</i>) Index skladovatelnosti chmele
HSVd	(<i>Hop stunt viroid</i>) virus zakrslosti chmele
KH	Konduktometrická hodnota chmele
KLDR	Korejská lidově demokratická republika

LC-MS	<i>(Liquid chromatography – mass spectrometry)</i> kapalinová chromatografie s hmotnostní detekcí
LOD	<i>(Limit of detection)</i> mez detekce
LOQ	<i>(Limit of quantification)</i> mez stanovitelnosti
MHS-SPME	<i>(Multiple headspace-solid phase microextraction)</i> vícenásobná headspace mikroextrakce tuhou fází
MS	<i>(Mass spectrometry)</i> hmotnostní spektrometrie
NIST WEBBOOK	Národní institut pro standardy a technologii
NMR	<i>(Nuclear magnetic resonance)</i> nukleární magnetická rezonance
OIS	Oxidační index silic
PA	Pensylvánie (Spojené státy americké)
poměr α : β	poměr α -hořkých kyselin a β -hořkých kyselin
SFE	<i>(Supercritical Fluid Extraction)</i> extrakce superkritickou tekutinou
SPE	<i>(Solid Phase Extraction)</i> extrakce tuhou fází
SPME	<i>(Solid Phase Mikroextraction)</i> mikroextrakce tuhou fází
RGB	<i>(Red-Green-Blue)</i> barevný model pro počítačový software
RI	Retenční index
UK	<i>(United Kingdom)</i> Velká Británie
USA	<i>(United States of America)</i> Spojené státy americké
UV/VIS	<i>(Ultraviolet/visible)</i> ultrafialová a viditelná oblast
UVB-zářen	<i>(Ultraviolet-B light)</i> ultrafialové záření typ B
<i>V. nonalfalae</i>	<i>Verticillium nonalfalae</i>
XYZ	<i>(XYZ color space)</i> barevný model pro počítače

ÚVOD

V posledních letech se vědecký svět začal zajímat nejen o zvyšování výnosů zemědělských produktů, ale také o zlepšování jejich kvality. Studium chemických složek finálních produktů a surovin pomáhá sledovat chemické změny, ke kterým dochází během pěstování, sklizně a zpracování plodiny. Na základě nových vědeckých poznatků a přehodnocení předchozí práce lze pracovat na genotypu rostliny pro zlepšení plodnosti a odolnosti proti škůdcům, zvolit správné hnojivo, vytvořit potřebné podmínky pro dané klima a typ půdy nebo nahradit nebezpečné pesticidy méně škodlivými.

Jednou z plodin, která poslední dobou získala obrovský zájem vědců, je chmel. Pivovarský průmysl se v dnešní době dostal do svého rozkvětu. Analytické průzkumy velmi rozšířily znalosti o chmelu a jeho složení a otevřely pivovarům cestu k pestré rozmanitosti nových produktů v chmelařském a pivovarském průmyslu.

Nedávno byla také objevena možnost používat elementární profil chmele jako způsob identifikace jeho geografického původu. Bioakumulace prvků z půdy do rostlin závisí na mnoha faktorech, ale i přesto lze získat obecné informace o průmyslovém znečištění půdy, použitých pesticidech a dalších antropogenních faktorech.

Pomocí nových šlechtitelských programů lze sledovat nejenom genetickou cestu vývoje jednotlivých kultivarů, ale i vylepšit již existující nebo vytvořit zcela nové chmelové odrůdy, odolnější vůči nemocím nebo obsahující větší množství požadovaných látek.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 CHARAKTERISTIKA *HUMULUS LUPULUS*

Chmel otáčivý, nebo odborně *Humulus lupulus* L., je vytrvalou plazivou liánou, spadající do čeledi *Cannabaceae* řádu *Urticales*. Kromě rodu *Humulus* do této čeledi patří také rod *Cannabis*, jehož nejznámějším představitelem je konopí indické (*Cannabis indica* Lam.) známé také pod názvem „marihuana” nebo „hašiš” [1]. Chmel je dvoudomá rostlina, tzn. samčí a samičí hlávky rostou na různých rostlinách. *Humulus lupulus* je cenný kvůli svým samičím hlávkám, které po dozrání tvoří žlutou moučku lupulin, bohatou širokou paletou chmelových látek. Sklizeň probíhá na konci léta nebo na začátku podzimu, v době, kdy lupulin má nejlepší kvalitu [2,3].

Chmel je dlouholetou rostlinou, která vyžaduje hodně prostoru. Jednotlivé rostliny mají být vysazené minimálně půlmetru od sebe a vyžadují vysoké opory, jelikož jsou schopné vyrůst do výšky 6–8 m [4]. Při správné péči věk chmele otáčivého může dosáhnout 25 let. Ve své práci P. Donner, J. Pokorný a kol. (2020, str. 41-46) uvádí, že po dlouholetém průzkumu se ukázalo, že nejlepší výnosy z chmelnic byly zaznamenány v raném věku rostlin (1.–3. rok), pak se zvětšujícím se věkem docházelo k logaritmickému poklesu, dokud po 15–20 letech nebyla potřeba zasadit nové rostliny. Při volbě odrůdy chmele pro pěstování je potřeba brát ohled na typ půdy, klimatické podmínky a potřebu v zavlažování [5].

Chmel je vlhkomilnou rostlinou, a proto nemůže růst v suchu bez dostatečného zalévání a rosení. Velké klimatické změny mají vliv na množství některých důležitých složek v hlávkách, jako např. hořké kyseliny. Jelikož hromadění alfa a beta kyselin v hlávkách začíná již ve fázi květů, nedostatek vody nebo vysoké teploty mohou nejenom snížit výnosy chmelové produkce, ale i zmenšit obsah hořkých kyselin v chmelu. Stejná odrůda na stejné chmelnici díky počasí může obsahovat jiné množství chmelových látek než v předchozích letech. Nedostatek vody nebo větší suchost během roku taky způsobují snížení celkového výnosu suchých chmelových hlávek [6-8].

1.2 GEOGRAFIE CHMELNIC

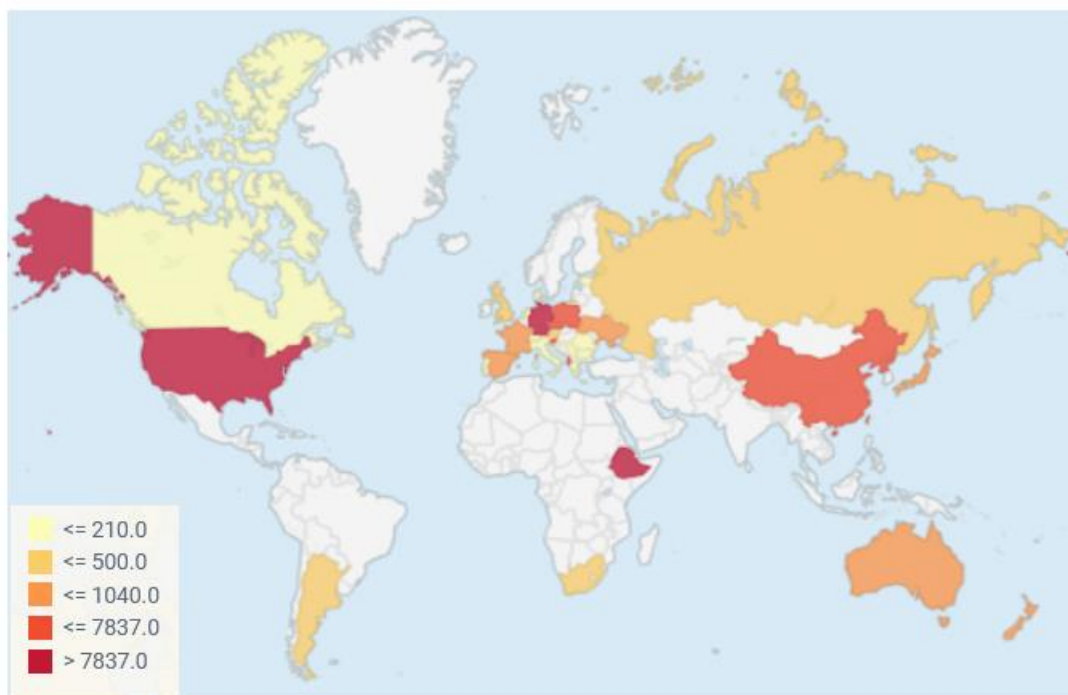
Chmel je na pěstování velmi finančně náročnou rostlinou, ale při správné péči se výtěžek rychle vrátí. Pro zajištění optimálních podmínek pěstování musí pěstitel zajistit potřebné množství dělníků a agrární a zemědělské techniky pro zpracování půdy a později chmelnic, infrastrukturu pro sklizeň, insekticidy a pesticidy, hnojiva, rosení a zavlažování a také vybavení pro zpracování po sklizni. Tak například, v Jižní Africe, aby se vyřešil problém krátkých slunečných dnů, musí se chmelnice dodatečně osvětlovat lampami [9].

Vedoucí role v celosvětové produkci chmele na rok 2020 zaujímali Etiopie (27,54 % celkové produkce) a Spojené státy americké (27,4 %). V centrální Evropě největšími producenty chmele a produktů chmelařského průmyslu jsou Německo (27,29 % celkové produkce), Česká republika (3,45 %) a Polsko (1,99 %). V Tabulce 1 jsou uvedeny státy s největší produkcí chmele za rok 2020. Státy s produkcí menší než 500 tun byly označeny jako „Ostatní státy“ [10,11].

Tabulka 1 - Celková produkce chmelu jednotlivých států s výnosem nad 500 tun za rok 2020 [10]

Pořadí	Název státu	Produkce chmele [t]	Produkce chmele [%]
1	Etiopie	47 323	27,54
2	Spojené státy americké	47 090	27,40
3	Německo	46 900	27,29
4	Čína	7 837	4,56
5	Česko	5 930	3,45
6	Polsko	3 420	1,99
7	Slovinsko	2 720	1,58
8	KLDR	2 025	1,18
9	Albánie	1 746	1,02
10	Španělsko	1 040	0,61
11	Nový Zéland	898	0,52
12	Francie	700	0,41
13	Japonsko	693	0,40
14	Austrálie	606	0,35
15	Ukrajina	510	0,30
16	Ostatní státy	2 403	1,40
Celková produkce		179 678	100

Na Obrázku 1 jsou znázorněny statistické údaje z Tabulky 1 dle jednotlivých států. Červeně jsou znázorněny zóny s ročním výnosem nad 7900 t (Etiopie, Spojené státy americké a Německo), sytě oranžová značí státy s výnosem v rozmezí 1040–7837 t (Čína, Česká republika, Polsko, Slovinsko a další), oranžová značí produkci v rozsahu 500–1040 t (Nový Zéland, Japonsko, Ukrajina, Rakousko atd.), světlá oranžová jsou státy s 210–500 t (Jižní Afrika, Velká Británie atd.), žlutá ukazuje zóny s výnosem pod 210 t (Itálie, Švýcarsko, Srbsko a dal.) [10,11].



Obrázek 1 - Mapa celosvětových producentů chmele za rok 2020 [10]

Za poslední roky se české chmelnice o moc nezměnily: v roce 2021 (4 971 ha) se sklizňová plocha zvětšila o 4,9 ha oproti předchozímu roku (4 966 ha). Ačkoliv plocha zůstávala skoro stejná, pro Českou republiku v roce 2021 byl zaznamenán rekordní výnos chmele. V Tabulce 2 jsou uvedeny celková plocha chmelnic, výnos chmele na jednotku plochy a celková produkce chmele za rok. Údaje pro srovnání jsou uvedeny za léta 2017–2021. Vysoká produkce chmelových hlávek za poslední rok může být spojena s velkým množstvím srážek a optimálními teplotními podmínkami během roku [12].

Tabulka 2 - Výnos chmele a odpovídající plocha chmelnic v 2017-2021 letech [12]

Rok	Plocha [ha]	Výnos na jednotku plochy [t/ha]	Celkový výnos v ČR [t]
2017	4 945	1,37	6 797
2018	5 020	1,02	5 126
2019	5 003	1,43	7 145
2020	4 966	1,19	5 925
2021	4 971	1,67	8 306

Veškeré chmelnice České republiky se nacházejí ve třech oblastech. Oblast Žatecko je nejstarší a největší, jelikož zahrnuje takové okresy aktivního chmelařství, jako Chomutov, Kladno, Louny a Rakovník. Plzeň-sever a Rokycany také spadají pod Žatecko, ale už jsou zařazeny jako neaktivní chmelařské okresy. Chmel se zde pěstuje na permských červenkách a lehčích opukových půdách. V roce 2021 Žatecko zabíralo 77,12 % celkové chmelařské plochy

Česka. Ke dni 20. 8. 2021 bylo v této oblasti pěstováno největší množství odrůd chmele z celé republiky [11,13–17].

Oblast Ústěcko je druhá největší a její součásti jsou okresy Česká Lípa, Kutná Hora, Litoměřice a Mělník. Půda zde je hnědozemního a černozemního typu. V roce 2021 Ústěcké chmelnice tvořily 10,4 % všech sklizňových ploch Česka [11,13,14].

Chmelařská oblast Tršicko je nejmenší, nejmladší a obsahuje pouze dva okresy – Olomouc a Přerov. Půdy pro chmelnice jsou velmi rozmanité: hnědozemě a mírně podzolové, čtvrtohorního i třetihorního původu, jílovitohlinité černozemní a hlinité středně těžké. Tršicko představovalo 12,48 % všech chmelnic ČR v roce 2021 [11,13,14].

V roce 2021 byly na českých chmelnicích nově přidány odrůdy Hallertauer Magnum, Perle, Saaz Brilliant, Saaz Comfort a Saaz Shine. Nejpopulárnějšími kultivary jsou Žatecký poloraný červeňák, Sládek a Premiant. V Tabulce 3 jsou uvedeny české chmelařské oblasti pro rok 2021, jejich plochy a procentuální poměr vůči celkové chmelařské ploše Česka, a taky jednotlivé odrůdy chmele v nich pěstované [14].

Tabulka 3 - Sklízňové plochy dle oblasti a odrůd v roce 2021 [14]

	Žatecko	Ústěcko	Tršicko
Plocha [ha]	3833,7	516,9	620,6
Procenta celkové plochy v ČR [%]	77,12	10,40	12,48
Pěstované odrůdy chmele	Žatecký poloraný červeňák, Agnus, Blues, Bohemie, Boomerang, Country, Gaia, Hallertauer Magnum, Harmonie, Kazbek, Perle, Premiant, Saaz Brilliant, Saaz Comfort, Saaz Late, Saaz Shine, Saaz Special, Sládek, Rubin, Vital, Ostatní	Žatecký poloraný červeňák, Agnus, Kazbek, Premiant, Sládek, Vital	Žatecký poloraný červeňák, Agnus, Bohemie, Saaz Late, Sládek

1.3 ODRUDY CHMELE OTÁČIVÉHO A JEJICH PŮVOD

Obecně za země původu rodu *Humulus* je považována Čína, ale v současné době distribuce divokých a kultivovaných chmelů je roztažena po celé severní polokouli. Dnes jsou genotypy chmele rozdělené na tři skupiny: asijský, evropský a severoamerický. První programy šlechtění obsahovaly jenom klonální výběry z vybraných divokých chmelů. Na začátku 20. století však došlo ke změně ve směru šlechtění a pro hybridizaci byly využité severoamerické samčí divoké chmely pro dosažení většího množství hořkých kyselin a lepší rezistenci vůči chorobám. Ve dnešní době se pracuje na rozšíření omezené genetické variace pomocí hybridizace s evropským divokým chmelem [17]. Kromě kultivace nových odrůd našel divoký chmel využití jako okrasná rostlina nebo krmivo pro zvířata [6].

Na základě vegetační doby dozrávání chmelových hlávek je chmel rozdělován na odrůdy rané, polorané a pozdní [18].

Krajové odrůdy chmele byly lidově vyšlechtěné na určitém území po dlouhých letech pěstování v této oblasti. Šlechtěné odrůdy byly vyvinuté pohlavním křížením pod vědeckou kontrolou [18–19].

Za hořkost chmele zodpovídají hořké kyseliny a jejich izomery, zatímco na aroma chmele přispívají hlavně esenciální oleje. Chmel, bohatý na chmelové silice a chudý na α - a β -hořké kyseliny, je označován jako aromatický. V hořkém chmelu naopak převládají hořké kyseliny a obsah esenciálních olejů je velmi nízký. V současné době je na trhu široká nabídka pelet, olejů a extraktů, určených pro přidání požadovaných vlastností pivu během různých fází pivovarského procesu [20].

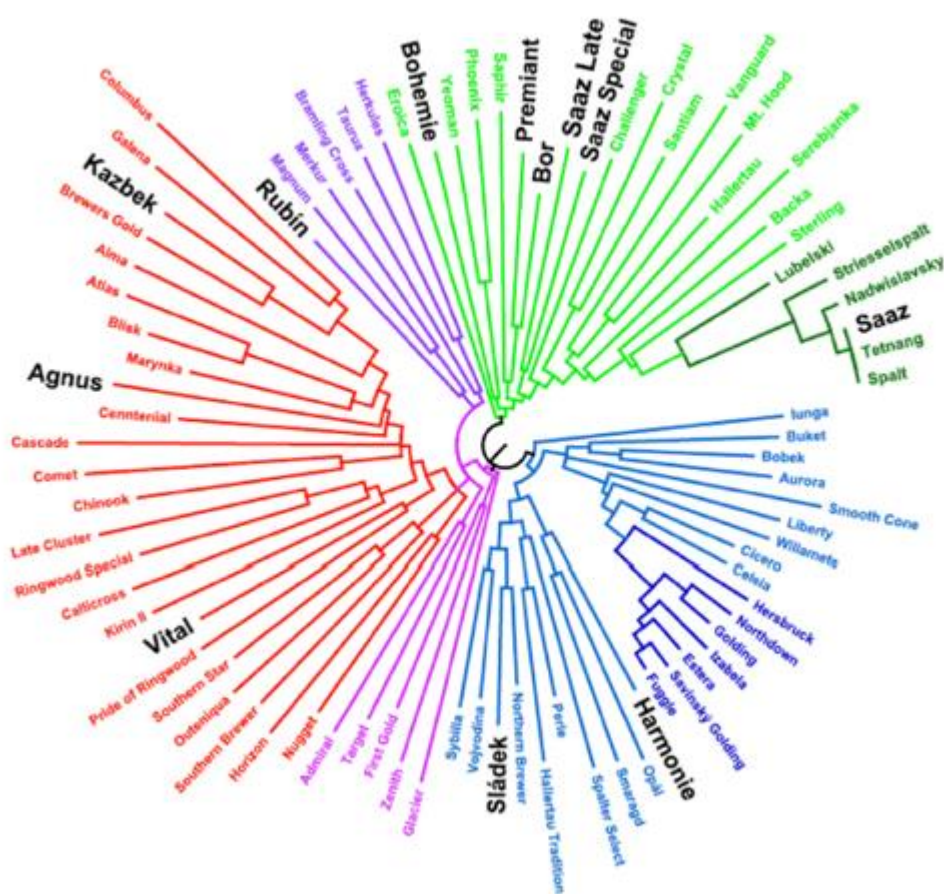
Na základě obsahu specifických složek chmelového aroma v chmelových hlávkách jsou odrůdy chmele rozděleny do 4 velkých skupin [19,21].

První skupinou jsou jemné aromatické odrůdy (angl. Fine aroma), ke kterým patří např. český Žatecký poloraný červeňák, polský Lublin a německé Spalt a Tettang. Tato skupina je charakteristická podílem α -hořkých kyselin v rozmezí 2,5–4 % hm. suché hmoty, obsahy kohumulonu a farnesenu jsou 25–30 % a 10–18 % hm.. Pivo z těchto odrůd má jemnou chuť a příjemné chmelové aroma [19,21].

Druhou skupinou jsou aromatické odrůdy (angl. Aroma). Nejznámější představitelé jsou český Sládek, americký Cascade, německý Hallertauer a bavorská Perle. Pivo od nich získává jemnou chuť a větší hořkost oproti jemným aromatickým odrůdám. Obsah α -hořkých kyselin se pohybuje v rozmezí 4–7 % hm. suché hmoty, kohumulon je v rozmezí 20–40 % hm., podíl farnesenu je pouze do 5 % hm.

Do třetí skupiny patří chmelové odrůdy, které se vyznačují větším podílem α -kyselin (7–10 % hm. sušiny), obsahem kohumulonu okolo 30 % hm. a farnesenu okolo 2 % hm. Tato skupina má název hořké odrůdy (angl. Bitter & dualpurpose), protože pivo z tohoto chmele má výjimečně silnou hořkost. Za hořké odrůdy jsou považovány německé Spalt Record a Orion, americké Bullion a Cluster, čínské China Cluster a další [19,21].

Čtvrtou a poslední skupinou jsou vysokoobsažné chmely (angl. High Alpha). Jsou výjimečně vysokým obsahem α -hořkých kyselin (až do 17 %). Pivo z těchto odrůd má extra silnou hořkost, proto jsou více používané pro výrobu extraktu než přímo pivních výrobků. Mezi tyto odrůdy patří americké Columbus a Chinook a německé Magnum a Taurus [19,21].



Obrázek 2 - Rozdělení jednotlivých odrůd chmele na skupiny na základě genetických markerů [22]

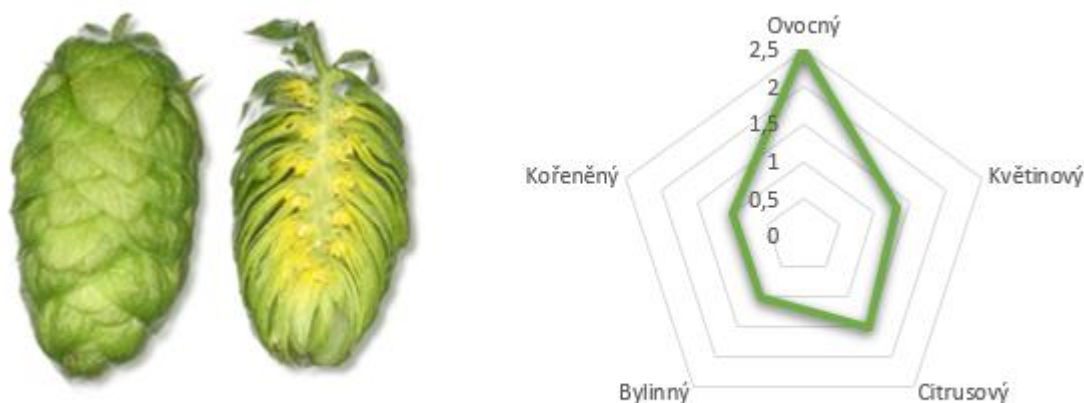
Velmi důležitou roli ve šlechtění chmele hraje genetika. Křížením starých odrůd s novými nebo s divokým chmelem lze dosáhnout unikátního chmelového aroma profilu pomocí úpravy obsahu žádoucích a nežádoucích složek chmele. Pomocí genetických markerů lze identifikovat 4 velké chmelové skupiny na základě jejich geografického a genetického původu. Tyto skupiny jsou zobrazeny na Obrázku 2. 85 nejvíce populárních odrůd v pivovarství jsou rozdělené na třídy na základě 238 polymorfních molekulárních markerů. Zelenou barvou je značen chmel evropského původu žateckého typu, světle a tmavě fialovou barvou jsou zvýrazněny chmele smíšeného

původu, červená barva ukazuje na chmel amerického původu, modrou je zbarven chmel evropského původu skupiny Fuggle [22].

Chmele žateckého původu jsou odlišné od jiných druhů nízkým obsahem myrcenu. Zároveň mají větší množství seskviterpenů jako humulen, posthumulen a karyofylen, a proto piva z žateckého chmele mají unikátní ušlechtilé aroma [23].

1.3.1 Ariana

Ariana je velmi mladou německou šlechtitelskou linií, u které se ještě donedávna pochybovalo, zda vůbec má být zařazena do kultivarů. Spolu s kultivarem Callista byly stvořené ve Výzkumném centru pro chmel v německém městě Hüll (Hop Research Centre Hüll). Po řadě zkoušek oba kultivary byly oficiálně zaregistrovány v roce 2016. Na Obrázku 3 je znázorněná chmelová hlávka Ariany a jsou uvedeny parametry senzoričké zkoušky čerstvého chmele [24,25,27].



Obrázek 3 - Vzhled hlávky Ariany a senzoričké hodnocení aroma čerstvého chmele [25,26]

Ariana byla vyšlechtěna z odrůdy Herkules a samčího divokého chmele. Od prvního Ariana převzala vysoký obsah α -hořkých kyselin, poměr α : β a vysoký obsah kohumulonu. Jedná se o kultivar velmi odolný vůči chorobám chmele. Ariana je rezistentní verticiliovému vadnutí (houbové patogeny *Verticillium*) a práškové plísni (převážně houby *Golovinomyces cichoracearum*). Je tolerantní vůči plísni révy vinné (*Plasmopara viticola*) a mšicím [24, 25, 27].

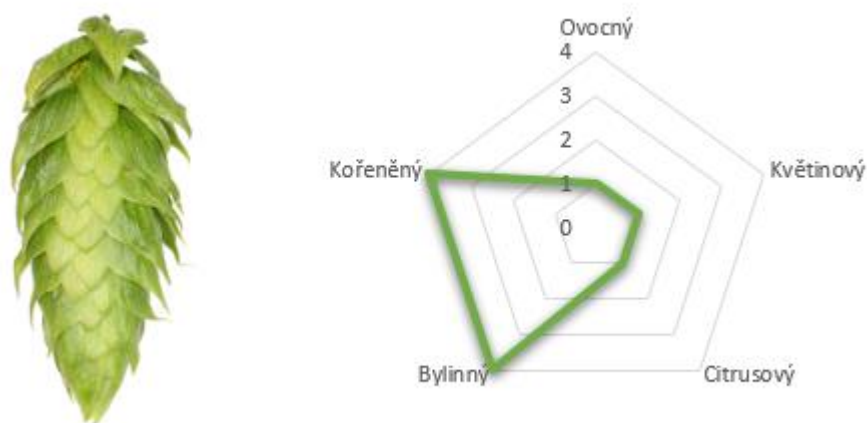
Obsah nejdůležitějších chmelových pryskyřic, hořkých kyselin a silic této odrůdy je uveden v Tabulce 4. Ve vysušeném stavu má Ariana aroma černého rybízu, broskve, hrušek a tropického ovoce, během pivovarských procesů předává pivu tóny grapefruitu, angreštu, citrusů a vanilky [24–27].

Tabulka 4 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Ariana [24]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	10–13
β -hořké kyseliny	% w/w	4,0–6,0
Kohumulon	% w/w	40–42 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	4,1–4,5
Xanthohumol	% w/w	0,41–0,45
Veškeré silice	ml/100 g	0,9–1,2

1.3.2 Challenger

Challenger byl vyšlechtěn v rámci německého programu šlechtění chmele s využitím odrůdy Northern Brewer a německého samčího chmele Zattler pomocí otevřeného opylování. Již v roce 1972 byl prezentován světu a od 90. let získává popularitu v pivovarství [28]. Challenger se také používal jako šlechtitelská linie a od něj pochází některé anglické odrůdy, například Omega Wye [29]. Na Obrázku 4 je znázorněná chmelová hlávka Challengeru a aroma čerstvého chmele.



Obrázek 4 - Vzhled hlávky Challenger a senzoričké hodnocení aroma čerstvého chmele [24–27,30]

V současné době Challenger je převážně pěstován v Anglii a Spojených Státech. Jelikož složení chmele je hodně závislé nejenom na klimatických podmínkách, ale i na geografických, je zde nepatrný rozdíl v množství některých chmelových složek amerického a anglického Challengeru. Například obsah β -hořkých kyselin anglické odrůdy činí 4,0–4,5 % hm., což je o cca 1 % hm. více než u americké odrůdy. Obsah α -hořkých kyselin u obou variací je stejný, obsah kohumulonu je jenom o 0,2 % větší u Challengeru (UK). Challenger patří mezi jemné hořké odrůdy a jeho aroma obsahuje silné kořeněné tóny, trochu citrusové, a taky náznaky cedru, zeleného čaje a sladkého ovoce [25–27]. V Tabulce 5 je znázorněn přehled nejdůležitějších složek této chmelové odrůdy.

Tabulka 5 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Challenger [31]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	6,3–9,0
β -hořké kyseliny	% w/w	3,2–4,5
Kohumulon	% w/w	20–25 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	0,9–1,1
Xanthohumol	% w/w	0,2–0,3
Veškeré silice	ml/100 g	1,0–1,7

1.3.3 Fuggles

Jedná se o jednu z nejstarších chmelových odrůd, ze které v průběhu let bylo vyšlechtěno obrovské množství jiných chmelových linií [22]. Byl objeven kolem roku 1861 v Kentu (UK) a od té doby je široce využíván jako šlechtitelská linie. Fuggle, občas označován termínem Fuggles, je pěstován v Anglii, kde je náchylný k verticiliovému vadnutí a virovým onemocněním, a Oregonu (USA), kde se používá ve šlechtitelských programech navyšování odolnosti chmele vůči plísni révové [28]. Od Fuggles pochází takové v moderním pivovarství populární odrůdy, jako Cascade, Centennial, a Willamette [27]. Svým názvem se odrůda odvděčuje svému objeviteli Richardu Fuggle z Benchley. Tento chmel má specifické, ale příjemné, travovito-zemité aroma s lehkými dřevitými tóny [24-27]. Chmelové aroma a vzhled hlávky jsou ukázané na Obrázku 5, obsah základních charakteristických složek chmele je uveden v Tabulce 6.



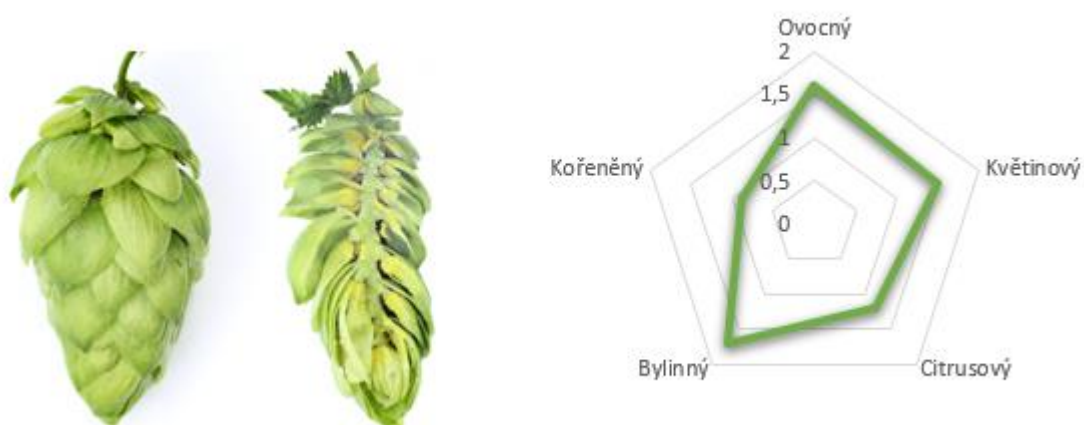
Obrázek 5 - Vzhled hlávky Fuggles a senzorické hodnocení aroma čerstvého chmele [25,30]

Tabulka 6 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Fuggles [25,26,30]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	2,4–7,0
β -hořké kyseliny	% w/w	2,0–4,0
Kohumulon	% w/w	25–33 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	2,6
Xanthohumol	% w/w	0,1–0,3
Veškeré silice	ml/100 g	0,5–1,5

1.3.4 Harmonie

Tato odrůda byla zaregistrována v roce 2004 a byla vyšlechtěná na základě několikanásobné hybridizace různých odrůd. Na její vznik geneticky přispěly Premiant, Northern Brewer a z největší části Žatecký poloraný červeňák (okolo 60 %). Patří mezi polopozdní odrůdy a zároveň je aromatickým chmelem. Na Obrázku 6 je znázorněná hlávka tohoto chmele a jsou uvedeny parametry senzoričského hodnocení aroma profilu [32,33].



Obrázek 6 - Vzhled hlávky Harmonie a senzoričské hodnocení aroma čerstvého chmele [30,32,33]

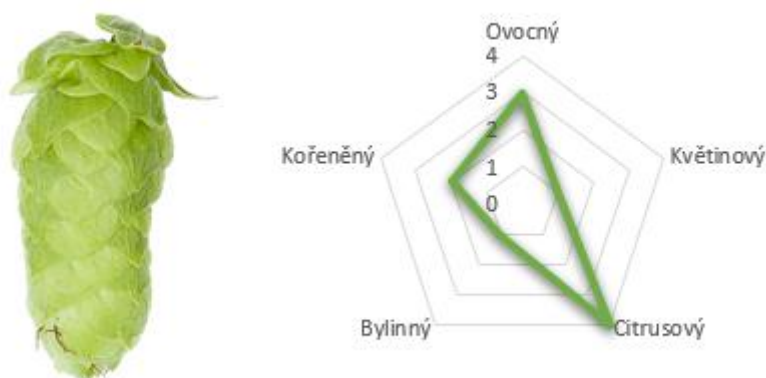
Pro tuto odrůdu je charakteristický poměrně malý obsah kohumulonu, což se určitou mírou odráží na chmelovém aroma profilu odrůdy. Harmonie má specificky jemné kořenité a chmelové aroma s příjemnými tóny bylinek a ovoce, které ji dělají oblíbenou mezi pivovary, obzvláště při výrobě plzeňských ležáků [32,33]. Obsah nejdůležitějších chmelových pryskyřic, hořkých kyselin a silic této odrůdy je uveden v Tabulce 7.

Tabulka 7 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Harmonie [32,33]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	5,0–8,0
β -hořké kyseliny	% w/w	5,0–8,0
Kohumulon	% w/w	17–21 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	3,5–4,5
Xanthohumol	% w/w	0,4–0,7
Veškeré silice	ml/100 g	1,0–2,0

1.3.5 Mandarina Bavaria

Mandarina je hybrid odrůdy Cascade a samčího Hüllového šlechtitelského kmene. Je to poměrně mladá odrůda, zaregistrována v roce 2012 Výzkumným centrem chmele Hüll [34]. Na Obrázku 7 je ukázaná chmelová hlávka Mandariny a parametry aroma čerstvého chmele.



Obrázek 7 - Vzhled hlávky Mandariny a senzoričké hodnocení aroma čerstvého chmele [30,32,33,34]

Obsah chmelové pryskyřic, hořkých kyselin a silic této odrůdy je uveden v Tabulce 8.

Tabulka 8 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Mandariny [27,34,35]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	7–10
β -hořké kyseliny	% w/w	5,0–6,5
Kohumulon	% w/w	31–35 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	2,3–2,7
Xanthohumol	% w/w	0,59
Veškeré silice	ml/100 g	1,5–2,1

Výjimečnost této odrůdy spočívá v její unikátním aroma s vzácným svěžím tónem mandarinky a grapefruitu, který Mandarina předává pivu spolu s jemným chmelovým aroma. Kvůli svému

mládí je Mandarina zatím ještě méně prozkoumaná a skýtá široké možnosti pro výzkum [27,34,35].

1.3.6 Premiant

Premiant je hodně známou českou odrůdou. Patří mezi „dual-purpose“ chmele, tzv. jemné hořké, protože obsahuje větší množství α -hořkých kyselin a má větší výnosový potenciál. Byl zaregistrován v roce 1996 v České republice a je produktem šlechtitelských programů Žateckého poloraného červeňáku. Obrázek 8 ukazuje chmelovou hlávkou dané odrůdy a její aroma profil v grafické podobě.



Obrázek 8 - Vzhled hlávky Premianta a senzoričné hodnocení aroma čerstvého chmele [30,32,33,34]

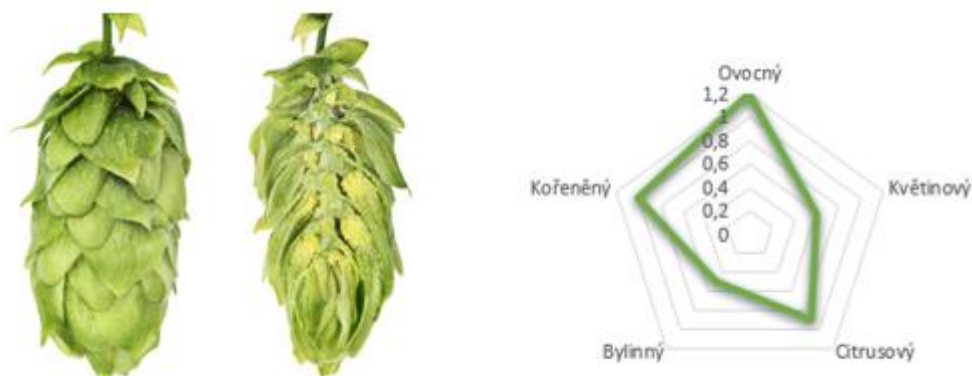
Tabulka 9 ukazuje nejdůležitější chmelové složky Premiantu. Tato odrůda je charakteristická nízkým podílem kohumulonu a vysokým obsahem hořkých kyselin. Zajímavým je fakt, že při tak velkých podílech α -hořkých kyselin předává Premiant pivu jemnou a příjemnou hořkost. Aroma Premiantu je příjemně chmelové [25,30,32].

Tabulka 9 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Premiantu [25,30,32]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	7–10
β -hořké kyseliny	% w/w	3,5–5,5
Kohumulon	% w/w	18–23 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	3,0–5,0
Xanthohumol	% w/w	0,3–0,5
Veškeré silice	ml/100 g	1,0–2,0

1.3.7 Sládek

Tato odrůda patří mezi aromatické odrůdy žateckého typu a byla poprvé zaregistrována v roce 1994 v České republice. Je pozdní odrůdou s vysokými výnosy. Geneticky pochází z odrůd Northern Brewer, Oswald's close No. 126 a z Žateckého poloraného červeňáku [30,32]. Chmelová hlávka Sládku je ukázaná na Obrázku 9, vedle ní je graficky znázorněno aroma profil čerstvého chmele této odrůdy.



Obrázek 9 - Vzhled hlávky Sládku a senzoričné hodnocení aroma čerstvého chmele [25,30,32,33]

V Tabulce 10 je přehled nejdůležitějších složek chmelových hlávek Sládku. Tato odrůda je odlišná od ostatních vysokým obsahem β -hořkých kyselin a kohumulonu. V pivovarství se to odráží předáním pivu jemného aroma bez nadměrné hořkosti, která by se mohla očekávat při vysokém obsahu hořkých kyselin [25,27,30,32].

Tabulka 10 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Sládek [25,27,30,32]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	4,5–8,0
β -hořké kyseliny	% w/w	4,0–7,0
Kohumulon	% w/w	23–40 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	3,0–4,0
Xanthohumol	% w/w	0,50–0,75
Veškeré silice	ml/100 g	0,6–1,2

1.3.8 Vital

Pro vyšlechtění této odrůdy bylo použito potomstvo F1 generace matečné odrůdy Agnus. Cílem bylo vytvořit chmel obohacený xanthohumolem a desmethylxanthohumolem, který by měl pozitivní účinky na lidský organismus a tím pádem by mohl být využit v medicíně. Na Obrázku 10

je chmelová hlávka Vitalu se žlutým lupulinem a grafická podoba aroma chmele. Patří do jemně hořkých chmelů [25,32,33].

Vital patří mezi české odrůdy a byl poprvé zaregistrován v roce 2008. Aroma Vitalu je výrazné díky tónům švestky, levandule, koření a lékořice. Jak je vidět v Tabulce 11, obsah xanthohumolu, oproti jiným zmíněným odrůdám, je opravdu větší [25,32,33].



Obrázek 10 - Vzhled hlávky Vitalu a senzoričné hodnocení aroma čerstvého chmele [25,32,33]

Tabulka 11 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Vital [25,32,33]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	12–16
β -hořké kyseliny	% w/w	6–10
Kohumulon	% w/w	21–26 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	3,5-4,5
Xanthohumol	% w/w	0,7-1,0
Veškeré silice	ml/100 g	1,5-2,5

1.3.9 Warrior

Za vyšlechtění odrůdy Warrior svět vděčí společnosti Select Botanicals Group a Yakima Chief Ranches z údolí Yakima. Jejich cílem bylo vytvořit odrůdu s velkým obsahem α -hořkých kyselin a nízkým obsahem kohumulonu. Výsledkem se stal chmel s velkou odolností vůči chmelovým chorobám a procesům stárnutí během skladování. Warrior má mírné až silné aroma s tóny citrusů, zimolezu, sladkých bylin a zeleného dřeva. Oproti jiným odrůdám obsahuje podstatně větší množství α -hořkých kyselin. Chmelová hlávka a grafické zobrazení aromaprofilu je uvedeno na Obrázku 11, procentuální obsah vybraných složek je uveden v Tabulce 12 [25,26,27,36].



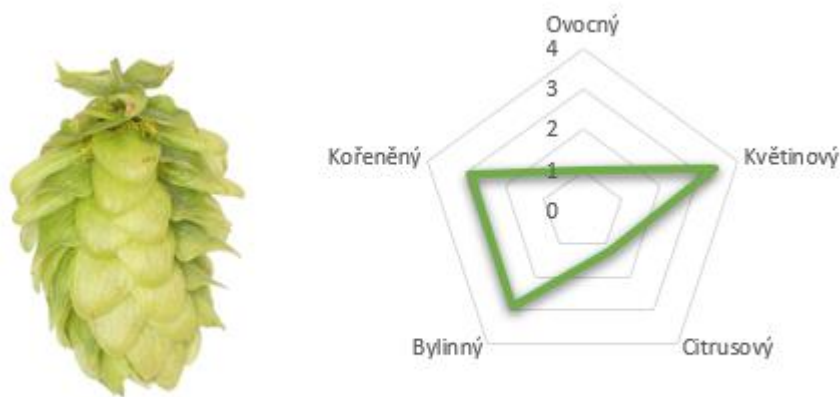
Obrázek 11 - Vzhled hlávky Warrior a senzoričné hodnocení aroma čerstvého chmele [25,26,27,36]

Tabulka 12 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Warrior [25,26,27,36]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	15,0–18,0
β -hořké kyseliny	% w/w	4,3–5,3
Kohumulon	% w/w	22–26 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	1,3–1,7
Xanthohumol	% w/w	neuveďeno
Veškeré silice	ml/100 g	1,3–3,2

1.3.10 Willamette

Willamette je typickým představitelem amerických odrůd. Spolu s odrůdou Columbia byly zaregistrovány v roce 1976 v USA. Je vyšlechtěn z odrůdy Fuggles a získal natolik velkou popularitu v Americe, že byl historicky jedním z nejrozšířenějších chmelů v USA. Má jemné, mírné a lehce pikantní aroma s tóny květin, citrusu a bezinky. Na Obrázku 12 je znázorněna chmelová hlávka Willamette a jsou uvedeny parametry senzoričné zkoušky čerstvého chmele. Obsah nejdůležitějších chmelových pryskyřic, hořkých kyselin a silic této odrůdy je uveden v Tabulce 13 [26,27,30,37].



Obrázek 12 - Vzhled hlávky Willamette a senzoričné hodnocení aroma čerstvého chmele [26,27,30,37]

Tabulka 13 - Přehled vybraných aromatických složek a jejich zastoupení v chmelu Willamette [26,27,30,37]

Název sloučeniny	Jednotka	Stanovená hodnota
α -hořké kyseliny	% w/w	4,0–7,0
β -hořké kyseliny	% w/w	3,0–4,5
Kohumulon	% w/w	30–35 % alfa-hořkých kyselin
Veškeré polyfenoly	% w/w	0,4
Xanthohumol	% w/w	0,2–0,4
Veškeré silice	ml/100 g	0,6–1,6

1.4 CHEMICKÝ POPIS CHMELE OTÁČIVÉHO

Samičí hlávky chmele jsou velmi bohaté sekundárními metabolity. Obsah charakteristických chmelových látek ve vysušených chmelových granulích, je hodně závislý na odrůdě chmele, období sklizně a na oblasti pěstování chmele. Nejdůležitější složky chmele, nejenom z pivovarského hlediska, jsou chmelové pryskyřice, silice a polyfenolické látky.

1.4.1 Chmelové pryskyřice

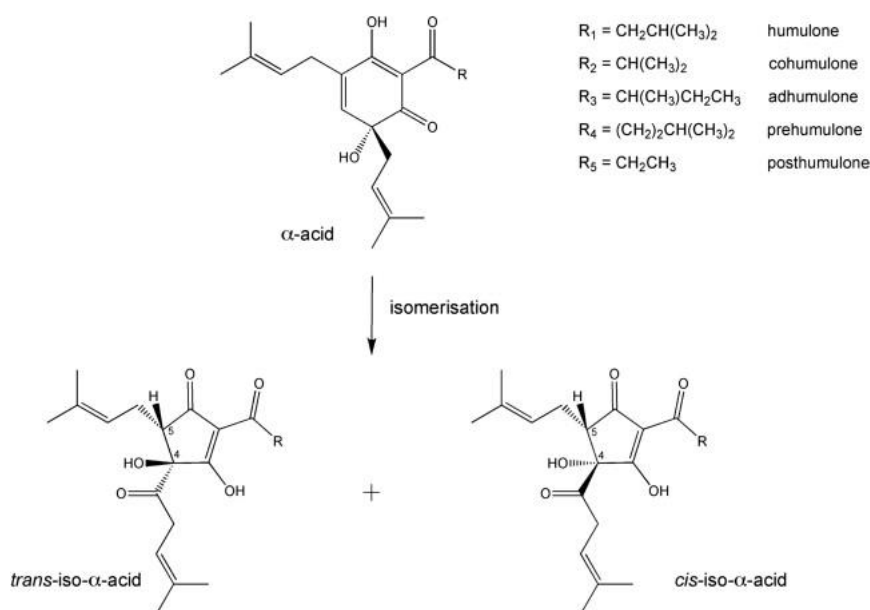
Jedná se o skupinu chmelových látek, která je rozpustná ve methanolu a diethyletheru [38]. Celkový obsah chmelových pryskyřic v suchém chmelu tvoří 10 až 30 % suché hmoty (DW) [39]. Všechny pryskyřice v chmelu lze rozdělit do dvou kategorií na základě jejich rozpustnosti v *n*-hexanu: měkké (α -, β -hořké kyseliny) a tvrdé (γ -hořké kyseliny). Nejběžnějšími složkami měkkých pryskyřic jsou dvě skupiny chmelových kyselin: α -hořké kyseliny (humulony a jejich deriváty) a β -hořké kyseliny (lupulony a jejich deriváty). Tvrdé pryskyřice, na rozdíl od měkkých, jsou nerozpustné v *n*-hexanu [40,41].

Beta-hořké kyseliny, oproti alfa-hořkým kyselinám, mají ve své struktuře další isopentenylový postranní řetězec na šestém uhlíku aromatického jádra [42].

Alfa-hořké kyseliny jsou nejčennější třídou sloučenin pro pivovarský průmysl a kvalita chmele je tím vyšší, čím je větší jejich obsah. Mezi cenné vlastnosti α -kyselin patří potlačování tvorby biogenních aminů. Zbytek biogenních aminů (histidin, spermidin, spermin atd), které se nachází v dusíkatých látkách chmele, je eliminován během chmelovaru [43].

Během procesu varu mladiny v pivovarství dochází k tepelné izomeraci mírně hořkých α -hořkých kyselin na extrémně hořké iso- α -hořké kyseliny. Hořkost piva a chmelových hlávek záleží především na obsahu α -kyselin a rozsahu izomeraci. Beta-kyseliny méně přispívají na kvalitu piva, jelikož jsou mírně hořké. Některé pivovary se snaží vybírat odrůdy chmele s nízkým obsahem β -kyselin kvůli jejich citlivosti k oxidaci během skladování. Produkty oxidačních reakcí mají nežádoucí organoleptické vlastnosti, jako např. nepříjemná hořkost [8,44,45].

Tři nejdůležitější α -hořké kyseliny chmele jsou humulon, adhumulon a kohumulon. Od nich je odvozeno šest hlavních iso- α -hořkých kyselin v *cis*- a *trans*- formách: *cis*-isohumulon a *trans*-isohumulon, *cis*-isokohumulon a *trans*-isokohumulon, *cis*-isoadhumulon a *trans*-isoadhumulon [44]. Izomerace α -hořkých kyselin za vzniku příslušných isomerů je znázorněna na Obrázku 13.



Obrázek 13 - Mechanismus izomerace alfa-hořkých kyselin za vzniku iso-alfa-hořkých kyselin [46]

Obsah humulonu se pohybuje v rozmezí 35–70 % celkového množství α -hořkých kyselin, 20–65 % připadá na kohumulon a 10–15 % tvoří adhumulon [47].

Směs *cis*- a *trans*-isohumulonů má podstatně větší hořkost, než samotné *trans*-isohumulony. Zároveň *cis*- forma iso- α -hořkých kyselin je více hořká, než odpovídající *trans*- izomer, a obecně platí, že hořkost isohumulonů je větší než isokohumulonů [46].

Beta-hořké kyseliny, stěně jako α -hořké kyseliny, podléhají izomeraci po přidání chmele do vroucí mladiny. Nejdůležitější β -hořké kyseliny jsou lupulon, adlupulon a kolupulon, odpovídající jim isomery jsou *cis*- a *trans*- isolupulon, isoadlupulon a isokolupulon [48]. Obsah β -hořkých kyselin v suchém chmelu činí 3–10 % [49].

1.4.2 Chmelové silice

Často lze v literatuře nalézt chmelové silice pod názvem esenciální oleje nebo zkratkou EO. Jedná se o sekundární metabolity lupulinových žláz chmelových hlávek, které udělují pivu příjemné chmelové aroma a chuť. V současné době je popsáno přes 400 různých EO chmele, přitom silice tvoří jen 0,5–3,0 % sušeného chmele. Množství jednotlivých sloučenin je hodně závislé na klimatických podmínkách pěstování, genetice rostlin, zpracování a uchování chmelových hlávek [1,2].

Chmelové silice tvoří velmi rozsáhlou skupinu látek, ale pro zjednodušení jsou rozděleny do několika hlavních skupin [18]:

- 1) uhlovodíková frakce,
- 2) kyslíkatá frakce,
- 3) frakce sirných sloučenin.

Uhlovodíková frakce je největší a zastupuje 70–80 % chmelových silic [2]. Je tvořena třemi skupinami látek zvanými alifatické uhlovodíky, monoterpeny a seskviterpeny. Charakteristickými vlastnostmi jsou snadná oxidace a polymerace, a také velká těkavost, díky které uhlovodíky během pivovarství vyprcháávají a skoro nezůstávají v pivě [1,18].

Monoterpeny obsahují 2 isoprenové jednotky a 10 uhlíků a řadí se sem myrcen, α -pinen, β -pinen, limonen atd. Seskviterpeny, jako β -karyofylen, γ -muurolen a β -farnesen, mají 3 isoprenové jednotky a 15 uhlíků [18,50].

Kyslíkatá frakce vzniká při kontaktu chmele se vzduchem a tvoří do 30 % chmelových silic. Složení této frakce, jako i ostatních, je hodně závislé na odrůdě chmele, ale také na podmínkách zpracování a uchování chmelových produktů. Do této frakce patří velmi široké rozmezí sloučenin od epoxidů do alifatických alkoholů, ketonů a aldehydů. Nejvíce se vyskytující představitelé kyslíkaté frakce chmelových silic jsou linalool nebo geraniol [1,18, 23].

Sirná frakce silic má v chmelu velmi malý podíl (do 1 %). Spadají sem sulfidy, polysulfidy, thioestery, diethylsulfidy, ethanthioly a řada dalších. Obecně je považován výskyt sirných sloučenin v chmelových hlávkách za negativní jev, protože přidávají pivu nežádoucí aroma a chuť. Například pivo s dimethyltrisulfidem má cibulovou příchut' [2,18].

Mezi nejznámější terpenoidy chmele patří β -karyofylen, D-linalool, D-limonen, β -myrcen, karyofylen oxid, α -pinen a některé další [51]. Hlavní monoterpenové alkoholy chmele jsou linalool a geraniol, vedle kterých se často vyskytují β -citronellol a izomery α -terpineol a nerol. Tyto látky udělují pivu květinové, muškátové, svěží a citrusové tóny [52].

Myrcen může tvořit ve chmelu až 52 % podílu. Kromě chmele se také vyskytuje v konopí, citronové trávě, bobkových listech, petržele, kardamomu, bazalce atd [53].

Pro β -myrcen je charakteristická velká těkavost i nízký bod varu, čímž dochází k jeho odpařování během pivovarských procesů nebo jeho snadné oxidaci při vysokých teplotách. Beta-myrcen je hlavní složkou čerstvého chmele, ale skoro není možné najít ho v pivu, pokud se nepoužilo studené chmelení. Jeho systematický název je 7-methyl-3-methylideneokta-1,6-dien [1,54].

Řada studií odmítla představu o mutagenních vlastnostech myrcenu a naopak prokázala jeho antimutagenní aktivitu inhibicí izoenzymů, způsobujících aktivaci premutagenů a prekarcinogenů [55].

Myrcen také chrání kůži před fotostárnutím vlivem UVB-záření a mozek, srdce a kožní tkáň před oxidačním stresem a záněty [53,56].

Beta-karyofylen spadá do skupiny seskviterpenů. Vyskytuje se ve chmelu, konopí, černém pepři, oreganu nebo skořici [53]. Spolu s α -humulenem a β -myrcenem mohou tvořit až 90 % chmelových esenciálních olejů [2]. Pro β -karyofylen je charakteristické velké množství farmakologických aktivit, jako jsou kardioprotektivní, hepatoprotektivní, gastroprotektivní, neuroprotektivní, nefroprotektivní, antioxidační, protizánětlivé a antimikrobiální. Zároveň se v posledních letech věnuje velká pozornost využití β -karyofylenu při léčbě neuropatické bolesti, neurodegenerativních a metabolických onemocnění [57].

Stejně jako α -humulen, má kořenitou a dřevitou vůni. Oxidační produkty β -karyofylenu jsou β -karyofylenoxid, 14-hydroxy- β -karyofylen a karyolan-1-ol [52].

Nejvýznamnější monoterpenové alkoholy chmele jsou **linalool** a α -terpineol [52]. Systematický název linaloolu je 3,7-dimethyl-1,6-oktadien-3-ol [58]. Jeho vůně je v literatuře popisována jako květinová, citrónová, svěží a sladká. Díky své příjemné vůni je široce využíván v kosmetickém průmyslu, přípravcích pro péči o nábytek, čisticích prostředcích pro domácnost a při průmyslové syntéze různých vitamínů a vonných chemikálií. Komerčně využívaný linalool je vyráběn redox transformacemi z levného α -pinenu, hlavní součásti terpentýnových olejů jehličnatých stromů [58–60].

Linalool byl nalezen ve více jak 200 druzích rostlin různých druhů a čeledí [60]. V chmelu se tento monoterpenový alkohol vyskytuje ve dvou formách, a to vázané a volné, přičemž vázaná forma tvoří 21–36 % celkové sumy dvou forem [52,58].

Zároveň linalool má dva enantiomery díky chirálním vlastnostem 3. uhlíku. (*R*)-(-)-linalool je zastoupen ve větším množství, jeho obsah v chmelu může být až 94 % celkového obsahu linaloolu v závislosti na odrůdě. (*S*)-(+)-linaloolu je podstatně méně, ale se stárnutím chmele jeho množství stoupá. V kyselém prostředí ztrácí stabilitu a přeměňuje se na geraniol, nerol nebo α -terpineol v závislosti na pH a teplotě [2,58].

1.4.3 Chmelové polyfenoly

Chmelové polyfenoly jsou souborem mnoha sloučenin, ale lze je rozdělit na 4 skupiny: flavanoly, flavonoly, fenolové kyseliny a další fenolové sloučeniny. K poslední skupině patří prenylflavonoidy, nejdůležitějšími představiteli kterých jsou xanthohumol a desmethylxanthohumol. Prenylflavanony se podílí na antioxidační, protizánětlivé a antiproliferativní aktivitě v organismu [9,39]. Polyfenoly tvoří 4-14 % suchých chmelových hlávek [61].

Polyfenolové látky svými redukčními vlastnostmi chrání chmelové pryskyřice před oxidací. Zároveň mohou mít antioxidační a prooxidační vlastnosti a tím mají jak pozitivní, tak i negativní vliv na kvalitu piva. Polyfenoly prospívají stabilitě piva snižováním oxidační degradace a mají pozitivní vliv na charakter hořkosti piva. Větší množství polyfenolových látek lze sledovat u odrůd jemného aromatického chmele oproti ostatním odrůdám [18].

Polyfenoly mají také určitý vliv na barvu piva. Flavanoly tvoří protein-polyfenol komplex, který se v pivu projeví jako zákal, žádoucí v pivovarství. Zároveň mají antioxidační vlastnosti a příznivý vliv na zdraví díky inhibici některých mutagenů a karcinogenů.

Nejvýraznějším představitelem chmelových prenylovaných flavonoidů je *xanthohumol* a je znám díky protizánětlivým a antioxidačním vlastnostem zajišťujícím prevenci rakoviny [62].

Poprvé xanthohumol byl pojmenován v roce 1957 [63]. V chmelových hlávkách jeho obsah tvoří 0,1–1,0 % suché hmoty. Xanthohumol je hlavním prenylflavonoidem chmele a je doprovázen minimálně 13 příbuznými chalkony, například isoxanthohumolem (IXN), desmethylxanthohumolem (DMX), 6-prenylnaringeninem (6-PN), 8-prenylnaringeninem (8-PN) a 6-geranylnaringeninem (6- GN). Avšak jejich obsah je menší v řádu jednotek [64].

Xanthohumol má unikátní antimikrobiální aktivitu a je účinnější než hořké kyseliny vůči *Bacteroides fragilis* nebo *Clostridium perfringens*, a proto může být využit i při léčbě infekcí

vyvolaných *Clostridium difficile*. Xanthohumol ve směsi s methanolem má významné účinky proti arteriální a žilní trombóze, snižuje hyperreaktivitu krevních destiček, inhibuje růst nádorů *in vitro* a *in vivo* a inhibuje v potravinách takové karcinogeny a mutageny, jako například aflatoxin B1 [65].

1.4.4 Doprovodné látky a prvky

Další složky chmele otáčivého jsou sacharidy, dusíkaté složky, lipidy, minerální látky a pigmenty chlorofyl a stopové množství karotenoidů. Obsah **minerálních látek** v suchém chmelu hodně záleží na podmínkách pěstování, použitých insekticidech, pesticidech, hnojivech a nesmí přesáhnout 10 % suché hmoty chmele. V chmelových hlávkách se vyskytují takové anorganické látky, jako K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, fosforečnany, sírany, křemičitany, dusičnany a další [18].

Oblast pěstování a odrůda chmele mají značný vliv na výslednou koncentrace některých **prvků**, čímž je přímo ovlivněna kvalita pivovarských výrobků. Pozitivní vliv mají prvky Ca a Mg, které katalyzují izomeraci α -hořkých kyselin na iso- α -hořké kyseliny a prospívají regulaci pH piva. V pivovarství většina minerálních látek pochází ze sladu, ale chmel taky může přispívat určitým množstvím Fe, Ca, Zn, Mn, Cu, a K. Tyto prvky jsou součástí důležitých živin pro kvasinky, bez nich dochází ke zpomalení kvašení [43].

Zároveň vysoká koncentrace Cu a Fe není žádoucí kvůli výrazné kovové chuti. Měď a železo jsou prooxidanty a aktivně se podílí na reakcích stárnutí piva a na snížení jeho stability. Těžké kovy Pb, Cd, As a Hg se mohou dostat do chmele z insekticidů nebo hnojiv a jsou nebezpečné pro lidské zdraví, proto jsou jejich koncentrace přísně hlídány [66,67].

Dusíkatá frakce je tvořena rozsáhlou skupinou látek, zahrnujících jak nízkomolekulární, tak i vysokomolekulární sloučeniny, včetně aminů. Poslední většinou unikají během chmelovaru. Obsah dusíkatých látek v čerstvém chmelu se pohybuje od 12 do 22 %, po usušení chmelových hlávek tvoří cca 12-18 % DW [18]. Dusičnany se dostávají do čerstvého chmele z pesticidů, insekticidů a hnojiv, kterými jsou zpracovány chmelnice. V menším množství neohrožují lidské zdraví, ale pouze pokud jsou v neredukujícím prostředí. Jsou velmi nežádoucí v chmelu, jelikož během pivovarských procesů dochází k přeměně dusičnanů na dusitany a následně na karcinogenní *N*-nitrosoaminy. Povolené množství dusičnanů v chmelových hlávkách je do 10 000 mg/kg. Avšak podmínky pěstování a použité chemické prostředky na zpracování půdy a chmelnic vedou k tomu, že v některých chmelových hlávkách lze nalézt 5-15 000 mg/kg dusičnanů, tzn. 0,5-1,5 % hm. [42].

Obsah **sacharidů** v suchém chmelu se pohybuje kolem 2-4 % DW. Vedle toho chmel obsahuje velmi malé množství di-, tri- a oligosacharidů a taky 1-2 % DW pektinových sloučenin [18].

Čerstvé chmelové hlávky jsou bohaté na katechiny a flavonové glykosidy, např. rutin, kaempferol, quercetin, quercitrin a astragalin [45].

Kvantitativní a kvalitativní analýza *pesticidů* v chmelu má řadu problémů, spojených s velmi náročnou matricí a velkým množstvím sloučenin, které ruší stanovení. Je nezbytné vytvořit individuální postup pro extrakci, separaci nežádoucích složek a instrumentální analýzu každého vzorku. Jako instrumentální metody jsou používané plynová a kapalinová chromatografie. Vhodným detektorem je hmotnostní detektor, resp. selektivní detektor, citlivý na charakteristické heteroatomy (N, S, P, X...) konkrétních pesticidů [42].

Množství *vody* v čerstvém neupraveném chmelu v závislosti na odrůdě, klimatických a pěstitelských podmínkách může dosáhnout až 82 % [68]. Během sušení dochází k velkým ztrátám vlhkosti a výsledné množství vody v upravených chmelových hlávkách činí 8-11 % hm. Při velké vlhkosti (nad 15 % hm.) hrozí zapaření již vysušeného chmele a znehodnocení sklizně. Malá vlhkost (pod 6-7 % hm.) způsobuje křehkost chmelové hlávky a její následný rozpad při mechanických manipulacích, což vede k velkým ztrátám lupulinu [42,69].

1.4.5 Kvalitativní a kvantitativní ukazatele stárnutí chmele

Chmel začíná stárnout v podstatě hned po sklizni a úroveň ztráty jednotlivých složek chmelového aroma je hodně závislá na okolních podmínkách zpracování a uchování chmele. Významnou roli hrají doba skladování, teplota, vlhkost a přístup vzduchu a světla [70].

Vlhkost chmele lze stanovit v sušárně gravimetricky z rozdílu hmotnosti nevysušených a vysušených chmelových hlávek. Je to jeden z parametrů, na základě kterého lze usoudit o kvalitě vybraného chmele a o podmínkách jeho skladování a zpracování. Jak již bylo zmíněno, suché chmelové hlávky mají obsahovat vodu v rozmezí 8-10 %, jinak je kvalita chmele snížena velkou křehkostí nebo naopak zvýšenou vlhkostí, která může předávat pivu nepříjemná aroma [42,69,70].

Teplota, při které se skladuje výsledný produkt (pivo, chmelové pelety nebo granulovaný chmel), má významný vliv na chemické změny a tvorbu degradačních produktů. Například, nižší teploty neovlivňují obsah *trans*- a *cis*-iso- α -hořkých kyselin v pivu, ale při vyšších dochází k jejich autooxidaci. Při 0 °C izomery netvoří žádné degradační produkty, při 25 °C *cis*-izomery zůstávají beze změn a *trans*-izomery začínají mírně degradovat, při 40 °C degradace *cis*-iso- α -hořkých kyselin je mírná a *trans*-iso- α -kyselin je velmi rychlá. Takové rychlé snížení obsahu *trans*-izomerů se vysvětluje stereochemickým uspořádáním isohexenoylových a prenylových postranních řetězců na C4 a C5 [46].

Jinak řečeno, vyšší teplota skladování vede k rychlému úbytku hořkých kyselin a jejich izomerů a tím se negativně odráží na hořčící schopnosti chmele [70]. Ztráta α -hořkých kyselin je velkým

ekonomickým problémem, jelikož s sebou nese nezbytnou potřebu zakoupení většího množství chmelových granulí pro dosažení definovaných hodnot hořkosti piva a udržení jeho kvality. Finanční náklady při ztrátě jen 0,1 % chmelových α -hořkých kyselin mohou dosáhnout částky v desetitisících korun [71].

Za přítomnosti vzduchu dochází k oxidační přeměně silic. Například, linalool a limonen se přeměňují na primární oxidační produkty hydroperoxydy, které jsou známé kontaktní (kožní) alergeny, a sekundární oxidační produkty [72].

Autooxidací mono- a seskviterpenů při skladování vznikají alkoholy, oxidy a epoxidy terpenových sloučenin. Například, z humulenu vznikají humulol, humulenol a humulenepoxydy I a II, z β -karyofylenu β -karyofylenoxid. Vůně jednotlivých produktů oxidace α -humulenu je popisována jako senová, plesnivá, cedrová a pelyňková [23,52,58].

Jedním z dalších kritérií hodnocení kvality chmele a jeho odolnosti vůči chmelickým přeměnám během skladování je index skladování chmele. Označuje se zkratkou HSI, která pochází od anglického „Hop Storage Index“. Index skladování je bezrozměrným parametrem, vypočítaným z absorpance toluenového extraktu chmele na UV/VIS spektrofotometru při 275 a 325 nm za definovaných podmínek. U čerstvého chmele ještě před sušením je HSI kolem 0,25, ale u starých chmelových granulí, skladovaných za nevhodných podmínek, je index skladování od 1,00 až do 2,00 [42,69,70].

Dalším možným parametrem pro určení míry stárnutí chmele je oxidační index silic (OIS). K. Krofta a F. Kroupa jej definují jako „*poměr součtu obsahů oxidačních produktů β -karyofylenu a α -humulenu k zastoupení obou seskviterpenů.*“ Srovnání se provádí na základě naměřených ploch chromatografických píků reálných chmelových silic a jejich oxidačních produktů v chmelu. Čerstvý chmel je výrazný hodnotami OIS kolem 1,00-2,00 nebo o něco nižšími. Oxidační index silic je obdobný epoxidovému indexu silic, který je vypočítán z karyofylenepoxidu a humulenepoxidů I a II. Rozdíl je v tom, že OIS zahrnuje do výpočtu i humulenepoxid III a humulenol II [71].

1.5 ŠKŮDCI CHMELE

Výnos chmelového průmyslu je ovlivněn nejenom klimatickými a geografickými podmínkami, ale také zdravím a genetikou pěstovaných rostlin. Například, od roku 2017 se v českých chmelnicích objevuje problém s patogenní půdní houbou *Verticillium nonalfalfae*. Infekce hostitele probíhá přes epidermální buňky kořene nové rostliny z půdy, na které byly předtím pěstovány kontaminované sazenice chmele. Patogen produkuje hydrolytické enzymy, které se podílí na degradaci buněčné stěny rostliny a způsobují její vadnutí. Choroba může být mírné

formy, při které listy žloutnou a opadávají, na výhonech a cévních svazcích se objevují hnědnutí a nekrózy. Druhou variantou je letální forma. Při ní usychají nejenom listy, ale i celá rostlina, a tím dochází k rychlému zničení celých chmelnic.

Jako odpověď na útok patogenů rostlina produkuje větší množství fenolů i fenolických polymerů pro inhibice fermentů *V. nonalfalae*. Větší produkce takových látek, jako jsou lignin, kyselina ferulová, kyselina *p*-kumarová a kyselina sinapová, aktivně prospívají obranným reakcím chmelových rostlin.

Kvůli neúčinným fungicidům, které nemohou inhibovat kolonie *V. nonalfalae*, zůstává i nadále jediným řešením šlechtění geneticky odolných chmelových odrůd, které se zároveň budou schopné přizpůsobit místnímu klimatu a půdě [73,74].

Mezi živočišné škůdce *Humulus lupulus* patří peronospora chmelová (*Pseudoperonospora humuli*), padlí chmelové (*Sphaerotheca humuli*), dřepčík chmelový (*Psylloides attenuata*), šedavka luční (*Hydroecia micacea*), sviluška chmelová (*Tetranychus urticae*), mšice chmelová (*Phorodon humuli*), slimáci, plzáci a řada dalších [19,74].

Problémy při pěstování chmele také činí virová onemocnění chmelnic. Mezi běžně se vyskytující lze zařadit virus mozaiky chmele (HpMV), virová mozaika jabloně (ApMV), latentní chmelový viroid (HLVd) nebo virus zakrslosti chmele (HSVd). Aroma profil infikovaných chmelových hlávek obsahuje vyšší procenta monoterpenových uhlovodíků s myrcenem jako hlavní složkou a taky menší obsah α -hořkých kyselin oproti zdravým rostlinám. U zdravých rostlin je naopak sledováno vyšší procento humulenu, karyofylenu a farnesenu a snížení množství myrcenu oproti nemocným rostlinám. Vliv virů a viroidů hodně záleží na jednotlivých odrůdách chmele. Napadení viroidy prokazatelně snižuje kvalitu chmelových hlávek pro pivovarské účely a zmenšuje výnosy chmelnic [18,39].

1.6 VYUŽITÍ CHMELE A JEHO VLIV NA LÍDSKÉ ZDRAVÍ

Zajímavou je práce Caroliny Blanco, Raúla Bodas a kol. (2018, str. 42-47), kde byl sledován vliv přídavku chmelových granulí ke stravě mladých jehňat a účinek tohoto zdroje antioxidantů na růst zvířat a následně na kvalitu masa. V důsledku konzumace dietní suplementace s chmelem se rychlost růstu mláďat snížila oproti kontrolní skupině, která konzumovala stravu bez suplementace chmelových granulí. Zároveň byly zaznamenány změny v bacherových fermentačních procesech a snížení produkce kyseliny propionové. Jako výsledek byla předložena teorie o vlivu inkluze chmele na mikrostrukturální modifikace ve svalech zvířata změny některých charakteristik masa jako jsou barva, tvrdost a textura. Zároveň oxidace lipidů masa nebyla zpomalena kvůli

nedostatečnému množství antioxidantních sloučenin z chmele, a proto nelze spojit změny ve struktuře a barvě masa s oxidací lipidů [75].

Řada studií prokázala význam chmelových sloučenin při léčbě rakoviny žaludku, jater, prostaty nebo žlučníku. Chmelové extrakty mají sedativní účinek a snižují krevní tlak, zvyšují sekreci žaludečních šťáv a slinění, čímž zvyšují chuť k jídlu. Polyfenolové látky chmele mají silnou antioxidantní aktivitu, dokonce mnohem silnější, než u vitamínu C. Některé hořké sloučeniny mají silný antimikrobiální účinek na mikroorganismy, které jsou rezistentní na antibiotika. Kombinace extraktu chmelu a valerjánu je dlouhodobě používána jako silné sedativum [45].

Chmel, bohatý xanthohumolem, ukazuje prospěšný antioxidantní vliv proti škodlivému účinku peroxynitritu na lipidy a bílkoviny plazmy krve [76].

Alfa- a beta-hořké kyseliny mají antimikrobiální účinek a úspěšně inhibují růst mnoha gram pozitivních bakterií, hlavně *Lactobacillus* a *Pediococcus*. Gramnegativní bakterie podléhají účinku hořkých kyselin méně. Účinek hořkých složek chmele je ovlivněn druhem mikroorganismů, jejich stářím, pH prostředí a řadě dalších faktorů. Antimikrobiální vlastnosti α - a β -hořkých kyselin se projevují také při inhibici zárodků patogenních mikroorganismů, například tuberkulózní mykobakterie. Taková bakteriostatická aktivita je důsledkem působení prenylskupiny v postranním řetězci chmelových kyselin na cytoplazmatickou membránu mikroorganismů [18,44,75].

Chmelařský průmysl produkuje každoročně nesmírné množství chmelového odpadu. V rámci ekologicky šetrného průmyslu a zelené syntézy nanočástic v biomedicině se hledají nové cesty pro využití odpadního materiálu pivovarství. Chmelové zbytky obsahují velké množství polyfenolových látek, které mohou být zelenou syntézou použity pro výrobu negenotoxických, nehemolytických organokovových stříbrných nanočástic s potenciální aplikací ve zdravotnickém průmyslu [77].

1.7 MIKROEXTRAKCE TUHOU FÁZÍ GC-MS V ANALÝZE POTRAVIN

V současné době klasifikace hlavních sloučenin rostlinných vzorků a odhalení rozdílů jejich sekundárních metabolitů nepředstavuje problém, jelikož kombinace moderní instrumentální analýzy a chemometrických metod poskytují výjimečnou přesnost a velmi vysoké rozlišení [78]. Nejrozšířenější separační technikou ve světě metabolomiky je plynová chromatografie s hmotnostní detekcí (GC-MS). Oproti kapalinové chromatografii s hmotnostní detekcí (LC-MS) nebo nukleární magnetické rezonanci (NMR), které také mají významné uplatnění v metabolické analýze, GC-MS vyžaduje relativně nízké náklady na provoz a údržbu, poskytuje vysokou reprodukovatelnost retenčního času a hmotnostních spekter a umožňuje identifikace

hmotnostního spektra díky standardizované metodě elektronové ionizace při 70 eV pomocí knihoven. Hlavní uplatnění našla plynová chromatografie v analýze těkavých složek, ale v poslední době byla vyvinuta řada metod umožňujících aplikovat GC-MS na nízkomolekulární netěkavé sloučeniny při správně zvolené derivatizaci vzorku. V analýze potravin se plynová chromatografie stala jednou z vůdčích technik. Mezi úkoly, které řeší GC-MS v potravinářství, patří optimalizace posklizňového zpracování, monitorování potravinářských procesů a růstu, hodnocení kvality, trvanlivosti a skladování atd [79]. Například při GC analýze chmele je možné rozseparovat přes 170–200 sloučenin a určit jejich kvalitu a kvantitu [78].

Pro stanovení těkavých složek v potravinách a nápojích, například ve víně nebo pivu, je k dispozici několik extrakčních technik, které pomohou oddělit stanovované složky od nežádoucích ještě před zahájením samotného instrumentálního měření. Mezi tyto techniky patří extrakce kapalina-kapalina, extrakce tuhou fází (SPE), extrakce nadkritickou tekutinou (SFE), sorpční extrakce míchací tyčinkou a mikroextrakce tuhou fází (SPME) [80].

Mikroextrakce tuhou fází je založena na principu sorpce a desorpce, kde nejprve probíhá izolace látek z matrice vzorku, resp. z prostoru nad vzorkem, jejich zakoncentrování na SPME vláknu, přenos a následná desorpce analytu, například do plynového chromatografu pomocí tepelné desorpce v nástřikovém prostoru GC. Podmínkou pro úspěšnou extrakci je ustavení rovnováhy mezi matricí vzorku a vláknem [81].

V závislosti na typu vzorku lze použít buď DI-SPME (direct immersing) nebo HS-SPME (headspace). První varianta je vhodná pro případ plyných nebo kapalných vzorků, do kterých během extrakce je ponořeno vlákno. Metoda headspace SPME je vhodná pro tuhé a kapalné matrice a vlákno se nachází nad vzorkem v určité vzdálenosti [21]. V obou případech je podstata odběru vzorku stejná – vlákno z taveného oxidu křemičitého potažené polymerním sorbentem je vysunuto z ocelové jehly, která ho chrání před vnějšími faktory a poté před únikem analytu. Vlákno je ponořeno do vzorku nebo se nachází v prostoru nad vzorkem po dobu potřebnou pro ustavení sorpční rovnováhy. Po uplynutí této doby je vlákno vráceno do jehly a analyt je přenesen do plynového chromatografu, kde jsou složky vzorku uvolněny tepelnou desorpcí do proudu nosného plynu [82].

Omezujícím faktorem při přenosu hmoty z tuhého vzorku do headspace a následně vlákna je pomalé odpařování těkavých látek s vysokou molekulovou hmotností. Tím je prodloužena doba extrakce. Zvýšení teploty extrakce může zrychlit odpařování těkavých sloučenin a tím se zkrátí extrakční čas [83].

SPME má řadu výhod, díky kterým tato extrakce získala velkou oblibu mezi výzkumníky. Jde o levnou a efektivní metodu, která nevyžaduje rozpouštědlo a tím splňuje požadavek tzv. „zelené chemie“. Odběr a příprava vzorku probíhají během jednoho kroku a často nevyžadují žádnou manuální manipulaci se vzorkem, protože mnoho přístrojů je vybaveno autosamplermem umožňujícím i SPME vzorkování [82].

Jedná z možností klasifikace SPME vláken je na základě použitého typu polymeru. Do první kategorie patří vlákna pro nepolární a méně polární sloučeniny (např. polydimethylsiloxan, PDMS) a druhá je pro semipolární nebo polární sloučeniny (např. divinylbenzen, karboxen, nebo obojí). Největší poptávka je po PDMS vláknech nebo po smíšených vláknech na bázi PDMS [84]. Stacionární fáze na základě karboxenu nebo divinylbenzenu jsou vhodné pro zachycení menších molekul, naopak pro sloučeniny s vyšší molekulovou hmotností je lepší použít vlákno na základě polydimethylsiloxanu [85].

Při využití SPME jako extrakční metody pro kvantitativní analýzu je důležité brát ohledy hned na několik faktorů, které významně ovlivňují stanovení. Jsou to typ a objem extrakční fáze, úprava vzorku, doba a teplota extrakce. Při headspace analýze se k těmto faktorům přidávají i vliv tlaku par těkavých látek, iontové síly matrice, vzdálenost vzorku od vlákna a povaha a tloušťka stacionární fáze vlákna [80].

1.8 MĚŘENÍ BAREVNOSTI POTRAVIN

Barva je důležitým sensorickým parametrem hodnocení kvality potravinářských výrobků a surovin. Na základě vzhledu produktu a jeho barevnosti lze usuzovat o čerstvosti, jakosti a složení potraviny. V současné době je analýza barvy v potravinářství založená na řadě spektrofotometrických a kolorimetrických principů, mezi kterými největší oblibu získaly systém počítačového vidění (CVS) a metoda spektrokolorimetrie.

Systém počítačového vidění je poměrně mladá metoda, která se stále vyvíjí. Je založená na snímání celého povrchu analyzovaného vzorku. Velkou výhodou oproti klasickému kolorimetru je možnost digitalizace obrazu potraviny a další analýza viditelných komponent vzorku. Například při analýze masa je možné digitálně oddělit svalovinu od tuku, a dále pracovat s barvou pouze jedné složky. Tato možnost výrazně zvětšuje přesnost stanovení barevnosti vícesložkových a vícebarevných potravin oproti klasickému kolorimetru nebo sensorickému hodnocení vzorku [86]. Zároveň se metoda CVS ukázala jako velmi rychlá a efektivní, nedestruktivní, nevyžadující dlouhé přípravy vzorků a umožňující analýzu takových parametrů, jako jsou velikost a tvar a analýza textury povrchu hned vedle měření barevnosti [87].

CVS přístroj se skládá z třech složek – osvětlovací komory, do které je umístěn vzorek, barevné digitální kamery s vysokým rozlišením (obvykle 2048×1536 pixelů) a výstupem ve formátu RGB a softwaru pro zpracování dat do obrázků. Osvětlovací komora je složená ze skříní, osvětlovací soustavy a vzorové nosné desky [86]. Počítačové vidění poskytuje nástroje pro charakterizaci povrchu na úrovni pixelů a hodnoty barev RGB uložené ve formě trojrozměrné matice. V digitálním obrázku má každý pixel odpovídající konkrétní hodnoty barev RGB [87]. Kritickým bodem měření je závislost přesnosti měření na kvalitě zachyceného obrazu, která je ovlivněna podmínkami osvětlení, kompresí obrazu a kvalitou zvolené kamery. Celá plocha snímání je izolována od okolí, aby zdroj světla zajistil rovnoměrné rozložení světla na cílový objekt [88].

Spetkrokolorimetrie je založená na principech klasických optických metod s využitím spektrofotometru. Při měření barevnosti poskytuje pouze průměrné barevné hodnoty malých oblastí, které postrádají schopnost zachytit barevnou informaci každé části vzorku. Tato metoda je vhodná pro analýzu homogenních a jednobarevných vzorků, ale u složitých matric jsou výsledky nereprezentativní a nepřesné. Mínusem je také vysoká cena samotného přístroje a jeho oprava v případě poruchy [89]. Nehledě na tyto mínusy je spektrokolorimetrie rozšířená technika, která se zabývá kvantováním barev a je široce používána při analýze chemikálií, potravinářských produktů, enviromentálních materiálů a také v biomedicině. Kromě RGB formátu zpracování barev jsou ještě dvě možnosti – XYZ a Lab. Poslední je hodně využívána v spektrokolorimetrii. Tento barevný prostor je tvořen třemi souřadnicemi. Tyto souřadnice představují jas (L^*), změnu barvy z červené na zelenou (a^*) a ze žluté na modrou (b^*). Hodnoty L^* se pohybují od 0 do 100. $L^* = 0$ odpovídá černé barvě, zatímco $L^* = 100$ označuje dokonalou bílou barvu. Číselné hodnoty dalších dvou chromatických složek a^* a b^* se pro potravinářské aplikace pohybují v širokém rozsahu od -120 do $+120$. Po digitalizaci obrazu získané hodnoty obvykle zpracovává software Adobe Photoshop, Image J, Photometrix a Image color Picker [87,90,91].

Kromě dvou výše zmíněných nejpoužívanějších metod existuje celá řada možností provedení měření barevnosti v praxi. Například v analytické chemii je používán optický skener pro digitalizaci TLC desek, polyakrylamidových elektroforézních gelů, optických snímacích membrán nebo sensorových polí. Zároveň v poslední době získávají větší a větší popularitu optické systémy pro snímání obrazu s využitím CCD (Charge-coupled devide – detektor obrazů) webových kamer, videokamer nebo digitálních fotoaparátů. Navíc CCD kamery také mohou být využité pro měření luminiscence, což z nich dělá užitečná multifunkční zařízení. Používání mobilních telefonů s CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor – druh snímacího čipu v zařízeních s kamerou) jako analytických zařízení je současným trendem kvůli rychlé odezvě, jednoduchosti analýzy, přímému spojení s počítačem a velkému uložení dat [92].

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 VZORKY

Pro analýzu aromaprofilu chmele a jeho jednotlivých složek byly použity chmelové granule typ 90 (Brelex, Praha, ČR). Bylo zakoupeno 10 balení různých odrůd chmele a také byly použity 3 odrůdy ze zásob Katedry analytické chemie. Každé balení obsahovalo 100 g vzorku a bylo vakuově zabaleno. Vzhled granulí je uveden na Obrázku 14. Jako Premiant (nový) a Sládek (nový) jsou označeny granule chmele z roku 2020, které byly v roce 2022 zakoupeny od výrobce. Jako Premiant (starý) a Sládek (starý) jsou označeny granule chmele z roku 2020, které byly zakoupeny v témže roce a skladovány do roku 2022 při pokojových podmínkách. Jako Směs je označován vzorek vzniklý smícháním starých vzorků odrůd Premiant a Sládek sklizně 2019 roku. Směs byla také skladována při pokojových podmínkách od roku 2019 do roku 2022. Seznam použitých vzorků:

- **Ariana** – 2020 rok, země původu: Německo, konduktometrická hodnota chmele (dále KH) 9,9 %.
- **Challenger** – 2020 rok, země původu: Anglie, KH 6,97 %.
- **Fuggles** – 2020 rok, země původu: Anglie, KH 5,6 %.
- **Harmonie** – 2021 rok, země původu: Česká republika, KH 9,72 %.
- **Mandarina Bavaria** – 2020 rok, země původu: Německo, KH 8,2 %.
- **Premiant (nový)** – 2020 rok, země původu: Česká republika, KH 6,25 %.
- **Premiant (starý)** – 2020 rok, země původu: Česká republika, KH neznámo.
- **Sládek (nový)** – 2020 rok, země původu: Česká republika, KH 8,22 %.
- **Sládek (starý)** – 2020 rok, země původu: Česká republika, KH neznámo.
- **Směs** – 2019 rok, země původu: Česká republika, KH neznámo.
- **Vital** – 2020 rok, země původu: Česká republika, KH 13,38 %.
- **Warrior** – 2020 rok, země původu: USA, KH 15,3%.
- **Willamette** – 2018 rok, země původu: USA, KH 4,2%.

Pro výpočet retenčních indexů byla použita homologická řada *n*-alkanů C6-C40 (Sigma Aldrich, Praha, ČR).

**Vzhled
granulí**



Odrůda

Ariana

Challenger

Fuggles

**Vzhled
granulí**



Odrůda

Harmonie

Mandarina Bavaria

Premiant (nový)

**Vzhled
granulí**



Odrůda

Premiant (starý)

Sládek (nový)

Sládek (starý)

**Vzhled
granulí**



Odrůda

Směs

Vital

Warrior

**Vzhled
granulí**



Odrůda

Willamette

Obrázek 14 - Vzhled použitých vzorků

2.2 CHEMIKÁLIE

- Methanol (99,9 %, Sigma-Aldrich, Steinheim, Německo);
- (-)-Karyofylen oxid (95 %, Sigma-Aldrich, Steinheim, Německo);
- β -Karyofylen (≥ 80 %, Sigma-Aldrich, Steinheim, Německo);
- (-)-Linalool (97 %, Sigma-Aldrich, Steinheim, Německo);
- Destilovaná voda (centrální rozvod Univerzity Pardubice, ČR).

2.3 INSTRUMENTACE A NÁDOBÍ

- Odměrné baňky se zátkami (5, 10, 100, 200 a 250 ml) – Fischer Scientific, Pardubice, ČR,
- Kádinky (50, 100 a 1000 ml) – Fischer Scientific, Pardubice, ČR,
- Keramická třecí miska s tloučkem,
- Horkovzdušná sušárna – Memmert UM 300, Swabach, Německo,
- Vzorovací nádobky o objemu 20 ml a víčka se silikonovým septem – Supelco Bellefonte, PA, USA,
- Analytické váhy Kern ABT 220-4M – Kern&Sohn GmbH, Balingen, Německo,
- Ultrazvuková lázeň Sonorex TK 52 – Bandelin electronic, Berlín, Německo,
- Plynový chromatograf GC-2030 s MS-QP2020 NX detekcí a možností FID – Shimadzu, Kyoto, Japonsko.
- Nepolární kapilární kolona SLB-5MS (30 m \times 0,25 mm, tloušťka filmu 0,25 μ m) – Supelco Bellefonte, PA, USA,
- SPME vlákno 50/30 μ m DVB/CAR/PDMS – Supelco Bellefonte, PA, USA,
- Nosný plyn Helium (čistota 5,0) – Linde Gas, Praha, ČR,
- Sběr dat GC Solution a GCMS Solution 4.20 – Shimadzu, Kyoto, Japonsko,
- Autosampler AOC-6000 – Shimadzu, Kyoto, Japonsko,
- Spektrofotometr UltraScan VIS 2277 se spektrálním rozsahem 360-780 nm – HunterLab, USA,
- Spektrofotometrická kyveta pro UV/VIS záření (1 cm) – LP Italiana SPA, Itálie,
- PC sestava DELL OptiFlex 7070 – Austin, Texas, USA.

2.4 PRACOVNÍ POSTUPY

2.4.1 Příprava kalibračních řad pro kvantifikaci

Pro přípravu kalibračních řad byly použity standardy (-)-karyofylen oxidu, β -karyofylen a linaloolu, které byly uchovány v ledničce a před použitím byly vytemperovány na pokojovou teplotu. Na analytických váhách bylo naváženo 0,0340 g linaloolu do 200ml odměrné baňky a okamžitě doplněno po rysku 99,9% methanolem. Stejným způsobem bylo naváženo a doplněno

0,0213 g β -karyofylenu do 100ml odměrné baňky a 0,0346 g karyofylen oxidu do 200ml odměrných baněk. Koncentrace těchto základních roztoků byla pro karyofylen oxid 0,173 g/l, pro β -karyofylen 0,213 g/l a pro linalool 0,170 g/l. Jednotlivé kalibrační roztoky pro každou sloučeninu v koncentračním rozsahu 1,66 mg/l až 164 mg/l byly připraveny odměřením vypočteného množství zásobních roztoků a doplněním 99,9% methanolem. Po odměření určitého množství kalibračních roztoků, které bylo zvolené po optimalizaci metody, byla aplikována metoda vícenásobné SPME s využitím GC-MS. Každá nádobka podléhala extrakci 4 \times , vždy za stejných podmínek. Byl nastaven SIM mód pro odstranění rušivých jevů v podobě nežádoucích fragmentů. Teplota extrakce byla 90 °C, doba extrakce byla 60 min, inkubace činila 0 minut. Na standardy β -karyofylenu a karyofylen oxidu byl aplikován celý 45minutový teplotní program. V případě standardu linaloolu byl program zkrácen na 20 minut, jelikož retenční čas linaloolu je kolem 12,5 minuty. Každý kalibrační roztok byl změřen minimálně 3 \times .

2.4.2 Optimalizace podmínek extrakce na plynovém chromatografu s hmotnostním detektorem

Pro sledování optimalizace podmínek extrakce na základě úpravy teplotního programu a objemu vzorku byl zvolen základní roztok linaloolu o koncentraci 0,0136 g/l. Po převedení vypočítaného množství vzorků a standardů do skleněných nádobek byly tyto umístěny do držáku autosampleru AOC-6000 Plus. Podmínky separace byly podobné jako v diplomové práci M. Houžvičkové [93]. Splitovací poměr byl vybrán 1:10. GC-MS převodník byl nastaven na 200 °C. Jako nosný plyn bylo používáno helium s konstantní lineární rychlostí 30 cm/s.

Nádobka se vzorkem byla umístěna autosamplermem do termostatu nastaveného na zadanou extrakční teplotu. V rámci optimalizace metody byly zkoumané extrakční teploty 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C a 100 °C. Po umístění nádobky do vyhřívaného termostatu bylo septum nádobky propíchnuto jehlou SPME vlákna 50/30 μ m DVB/CAR/PDMS tak, aby hloubka vysunutí jehly do nádobky činila cca 1 cm. Extrakce probíhala v headspace prostoru během 60 minut. Po uplynutí této doby bylo vlákno vráceno do jehly a přeneseno do nástřikového portu GC-MS, kde došlo k desorpci zachycených látek vzorku při teplotě 250 °C během 1 minuty. Pro separaci byla zvolena nepolární kapilární kolona SLB-5MS(30 m \times 0,25 mm \times 0,25 μ m). Teplotní gradient činil 55 °C až 250 °C s lineárním nárůstem teploty rychlostí 6 °C/min. Minimální teplota 55 °C byla udržována 3 minuty, než začala narůstat do maximální teploty, která byla udržována 10 minut. Po ukončení každé analýzy bylo SPME vlákno zahřáto na 200 °C po dobu 2 minuty s cílem jeho vyčištění.

V rámci vylepšení extrakce SPME byla zkoušena změna extrakční teploty. Do 20 ml extrakčních nádobek bylo odměřeno 250 μ l roztoku linaloolu o koncentraci 0,0136 g/l. Pro porovnání byly

vybrány teploty 60, 70, 80, 90 a 100 °C. Extrakce probíhala po dobu 60 min. MHS-SPME byla aplikována na jednu extrakční nádobku 4× za sebou.

Zároveň byl proveden pokus se změnou objemu roztoku linaloolu. Byla použita stejná koncentrace, jako i při úpravě extrakční teploty. Do extrakčních nádobek bylo odměřováno 50, 100, 250, 500, 1000, 2500 a 5000 µl. Každý objem byl analyzován minimálně 3× a každá nádobka podlehla extrakci 4× za sebou. Mikroextrakce tuhou fází probíhala při teplotě 90 °C po dobu 60 min.

2.4.3 Kvalitativní analýza chmelového aroma profilu

Pro kvalitativní analýzu látek chmelových odrůd byl použit SCAN mód, tzn. že byly zaznamenány všechny látky ve spektru. Teplotní program byl nastaven na 45 minut, doba extrakce byla 60 min a inkubace 0 min. Teplota extrakce byla zvolená na základě výsledků optimalizace podmínek extrakce a činila 90 °C. Ostatní parametry zůstaly stejné jako při optimalizaci.

Chmelové granule byly důkladně rozdrcené do stavu homogenity. Na analytických vahách bylo naváženo 1 g chmele do extrakčních nádobek a každý vzorek byl navážen minimálně 3×. Následně byla provedena analýza pomocí GC-MS v SCAN módu s 1 extrakcí, a z výsledků byl vytvořen aroma profil jednotlivých odrůd chmele.

2.4.4 Kvantitativní analýza vybraných sloučenin

Pro kvantitativní analýzu linaloolu, β-karyofylenu a karyofylen oxidu byl zvolen SIM mód programu. To znamená, že nejsou sledovány všechny fragmenty ve spektru, ale pouze vybrané charakteristické fragmenty pro určitou sloučeninu. Pro linalool v MS spektru byly vybrány m/z ionty 55, 71 a 93, pro β-karyofylen 69, 93 a 133 a pro karyofylen oxid byly zvoleny 43, 79 a 93. Aplikace SIM módu v tomto případě umožňuje eliminaci šumu jiných látek, přítomných ve vzorcích. Celý teplotní program byl nastaven na 45 min a byl aplikován na všechny vzorky chmele. Parametry zůstaly stejné jako při kvalitativní analýze.

Na analytických vahách bylo naváženo 50 mg homogenního vzorku do extrakčních nádobek. Každý vzorek byl navážen minimálně 3×. Byla provedena analýza pomocí GC-MS v SIM módu, kde byla extrakce stejného vzorku opakována 4×. Na základě kalibračních řad bylo vypočítáno množství linaloolu, karyofylen oxidu a β-karyofylenu ve zkoumaných odrůdách chmele.

2.4.5 Měření barevnosti drcených chmelových granulí

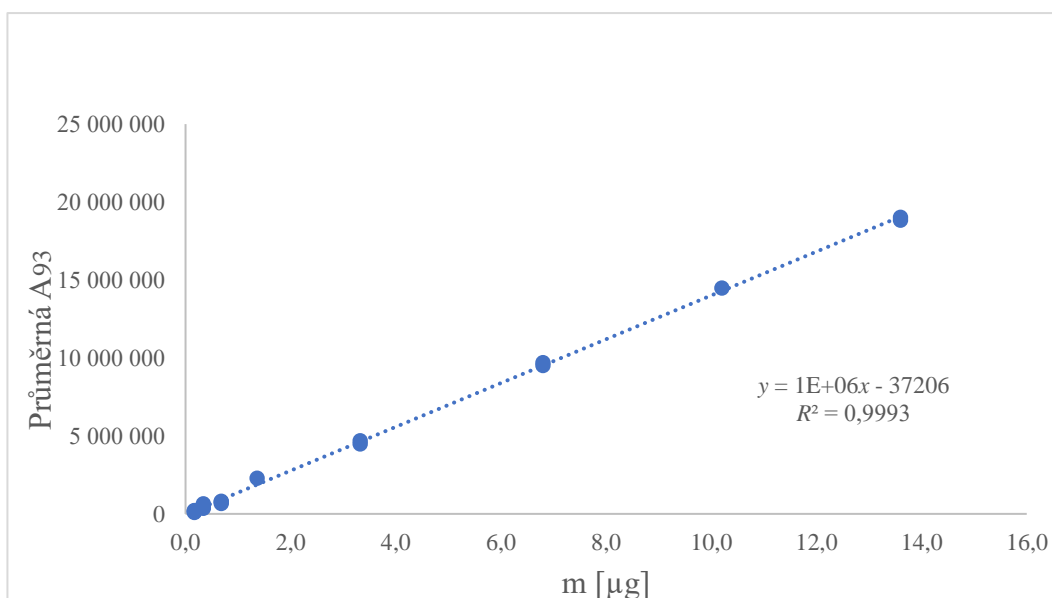
Rozdrcený homogenní vzorek chmele byl převeden do měrné kyvety s optickou dráhou 1 cm tak, aby tato byla naplněna zhruba do 3/4. Pro analýzu byl použit spektrofotometr UltraScan VIS 2277. Zdroj světla spektrofotometru byl nastaven na D35 (teplota chromatičnosti) a geometrie měření byla zadána d/8° (úhel dopadu světla). Kyveta byla zafixována ve spektrofotometru

u štěrbině a byla provedena 3 měření barevnosti v různých částech květy, ze kterých byl později vypočítán průměr. Hodnoty byly uloženy do databáze pro následný výpočet barevnosti. Před každým novým vzorkem byla květa důkladně vyčištěna a profouknuta vzduchem.

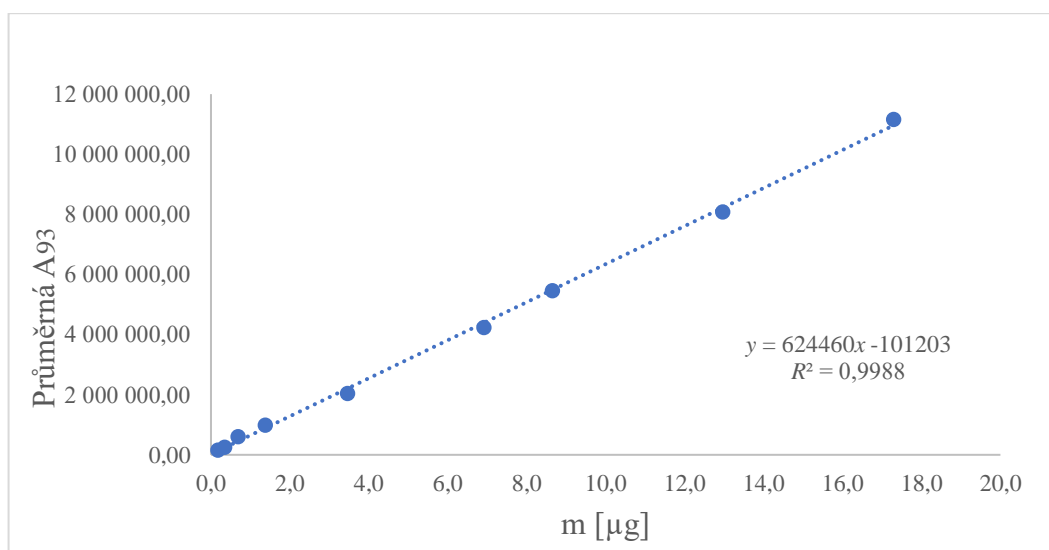
3 VÝSLEDKY A DISKUZE

3.1 KALIBRAČNÍ ZÁVISLOSTI

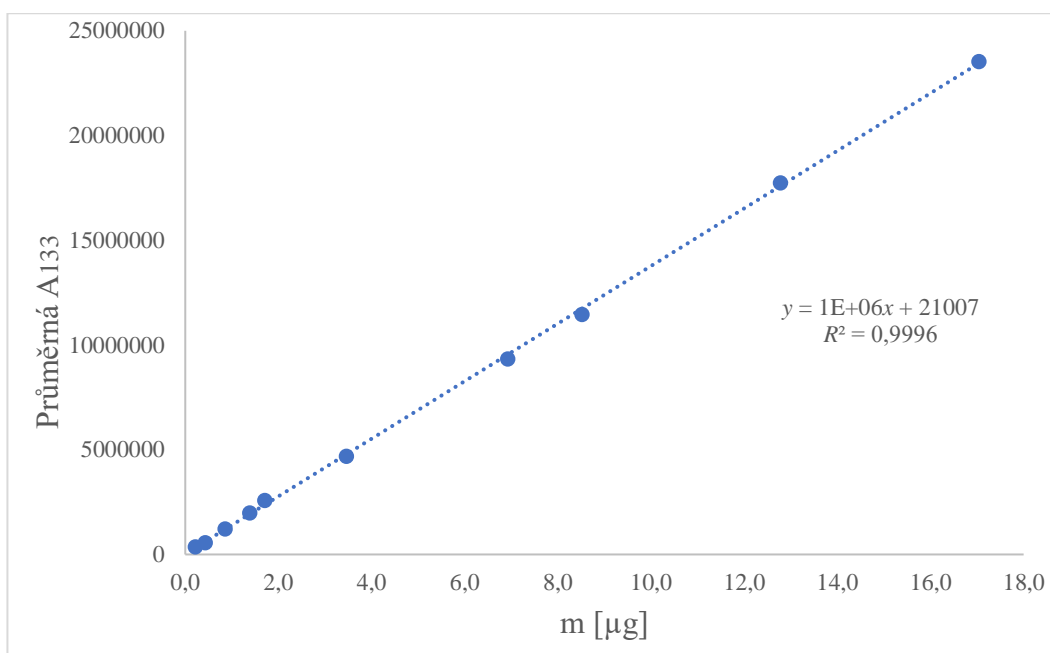
Kalibrační grafy byly sestaveny na základě závislosti průměrných ploch vybraných m/z iontů na hmotnosti sloučeniny (v μg), jelikož vzorky měly tuhou matici. Teplota a doba extrakce byly zvolené 90 °C a 60 min. Každý kalibrační bod linaloolu, β -karyofylenu a karyofylen oxidu na Obrázcích 15–17 je průměrnou hodnotou třech měření ($n = 3$) při 4× opakované HS-SPME. Grafy znázorňují závislost průměrné celkové plochy píku (A_x , kde x představuje fragment dané m/z) na množství sloučeniny v jedné nádobce (přepočítáno z pipetovaného objemu a koncentrací). Při kvantifikaci chmelových složek tyto údaje v kombinaci s naměřenými plochami byly použity pro výpočet množství (mg) linaloolu, β -karyofylenu a karyofylen oxidu v 1 kg vzorku.



Obrázek 15 - Závislost celkových ploch píků linaloolu na hmotnosti ($n = 3$)



Obrázek 16 - Závislost celkových ploch píků karyofylen oxidu na hmotnosti ($n = 3$)



Obrázek 17 - Závislost celkových ploch píků β -karyofyleny na hmotnosti ($n = 3$)

Taky byly vypočítány limit detekce LOD a limit kvantifikace LOQ pro každou ze třech sloučenin. Limit kvantifikace uvádí nejmenší množství látky, které ještě lze stanovit, tedy jak limit detekce určuje nejmenší množství látky, při kterém tuto látku lze ještě prokázat. Mez detekce je vypočítána z trojnásobku směrodatné odchylky úseku příslušné kalibrační závislosti, vydělené směrnici kalibrační závislosti, mez stanovitelnosti z desetinásobku směrodatné odchylky, taky vydělené hodnotou směrnici. Hodnoty pro výš uvedené kalibrační závislosti jsou uvedeny v Tabulce 14.

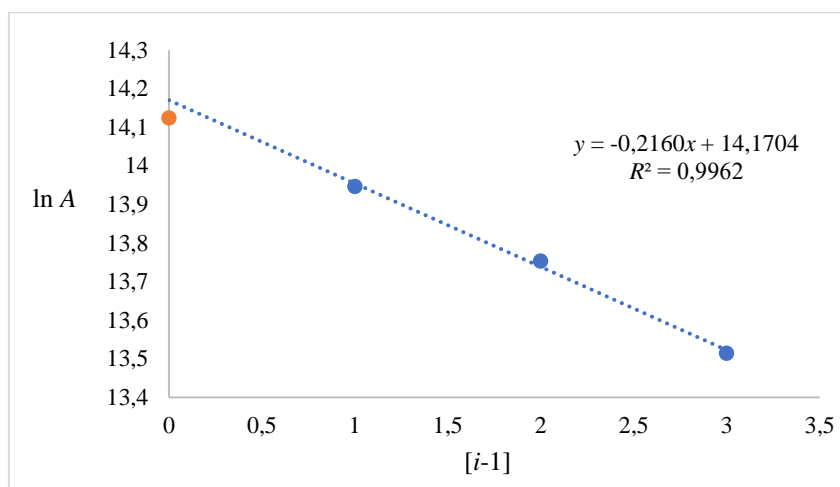
Tabulka 14 - Hodnoty meze detekce a meze stanovitelnosti pro zvolenou analýzu

	linalool	β-karyofylen	karyofylen oxid
směrodatná odchylka	6789	3648	7915
LOD [μg]	0,0204	0,0109	0,0237
LOQ [μg]	0,0679	0,0365	0,0791

3.2 OPTIMALIZACE EXTRAKČNÍCH PODMÍNEK

První parametr, který podléhal optimalizaci, byla extrakční teplota. Extrakce probíhala 60 minut. Byly sledovány rozdíly ve výsledcích separace roztoku linaloolu o koncentraci 0,0136 g/l při použitém objemu 250 μl . Zkoumané teploty byly 60, 70, 80, 90 a 100 $^{\circ}\text{C}$. Z naměřených hodnot byly sestaveny grafy závislosti $\ln A$ na hodnotě $i-1$, kde A je plocha chromatografického píku, i je počet kroků extrakce. Nejlepší výsledky z hlediska reprodukovatelnosti a odezvy byly získané při teplotě 90 $^{\circ}\text{C}$. Obrázek 18 ilustruje závislost zprůměrovaných hodnot $\ln A$

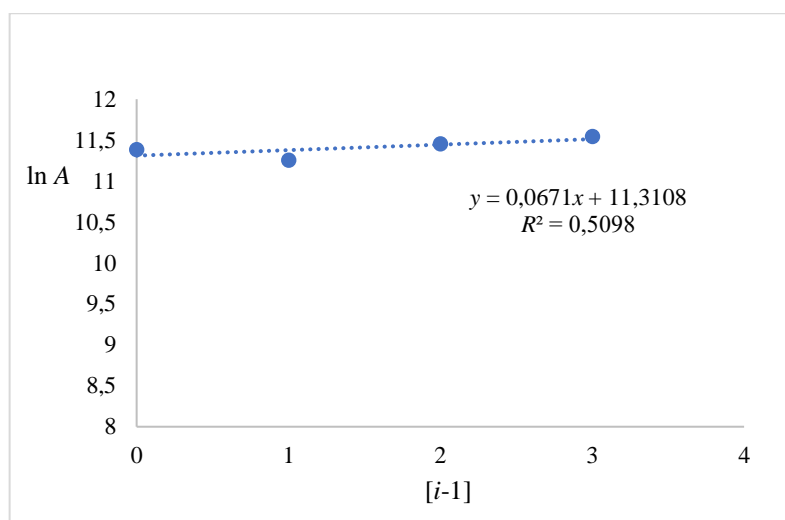
na $i-1$ pro iont m/z 93, hlavního kvantifikátoru linaloolu, při teplotě 90 °C. Do grafu jsou vyneseny průměrné hodnoty třech měření při 4 opakovaných extrakcích.



Obrázek 18 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro linalool při 90 °C

V příloze I Obrázky I/1–4 jsou uvedeny jako příklady grafy závislosti $\ln A$ na $i-1$ pro teploty 60, 70, 80 a 100 °C. Při jiné teplotě, než při 90 °C, docházelo k nelineární extrakci linaloolu, píky při opakovaných extrakcích neklesaly rovnoměrně v závislosti na koncentraci, ale narůstaly. Hodnoty celkových ploch po přepočtu z $\ln A$ pak vycházely jako záporné hodnoty. Měření bylo opakováno 3× pro každou teplotu, během kterých se potvrdila skutečnost nespolehlivého měření při teplotách 60, 70, 80 a 100 °C. Na základě těchto údajů a taky vypočítaného RSD byla zvolena jako nejlepší extrakční teplota 90 °C a RSD 4,8 %.

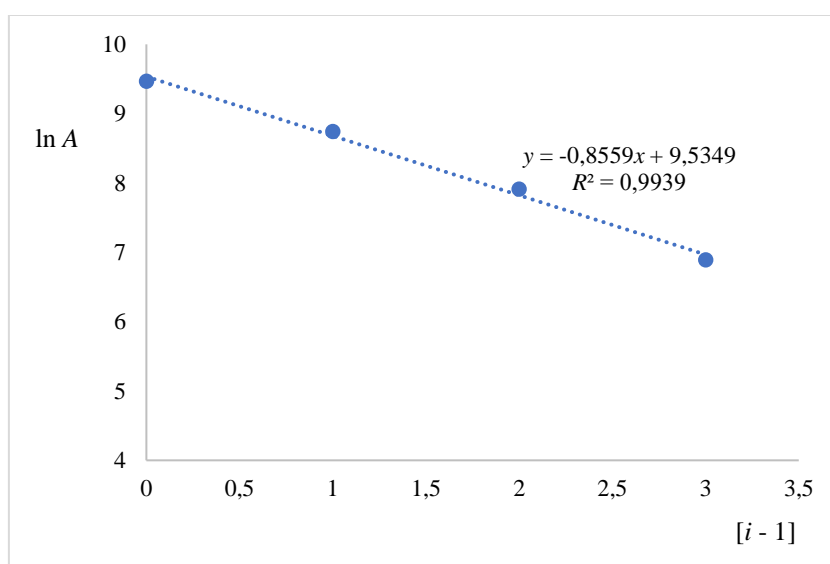
Druhým parametrem, na který byla zaměřená optimalizace, byl odměřovaný objem roztoku standardů pro vytvoření kalibračních řad. Opět byl použit linalool o koncentraci 0,0136 g/l. Tentokrát byla vyzkoušena změna objemu kalibračního roztoku při konstantní koncentraci. Bylo odměřováno 50, 100, 250, 500, 1000, 2000 a 5000 μ l do extrakčních nádobek. Teplota a doba extrakce byly 90 °C a 60 min. Každý vzorek byl připraven 3× a podléhal 4× opakované HS-SPME. Výsledkem měření byly celkové plochy chromatografických píků, které v ideálním případě měly po každé extrakci výrazně klesat oproti předchozímu. Vyhodnocení výsledků měření velkých objemů (500, 1000, 2000 a 5000 μ l) ukázalo, že při tak velkém množství kalibračního roztoku nedocházelo k výraznému poklesu celkových ploch. Toto svědčí o příliš velkém množství analytu v kalibračním roztoku do takové míry, že SPME-vlákno není schopné zachytit jeho celkové množství. Pro odstranění tohoto jevu by se buď měla zcela upravit metoda, včetně doby a teploty extrakce, nebo by se kalibrační roztok měl více naředit, aby bylo možné použít tak velké objemy kapaliny. Jako příklad je uveden graf na Obrázku 19. Grafy pro jiné objemy jsou uvedeny v Příloze I na Obrázcích I/5–10.



Obrázek 19 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ při konstantní koncentraci a pipetovaném objemu 2000 μl ($n = 3$)

Objemy 50 μl a 250 μl , jejichž grafy také jsou uvedeny v příloze, poskytovaly o hodně lepší výsledky než velké objemy, ale ne tak dobré, jako 100 μl . Při objemu 50 μl byl problém s přesností a reprodukovatelností, v tomto případě šlo o příliš malé množství vzorku. Pro správné odměrování daného objemu je potřeba dávkovat stříkačkou s jehlou do uzavřené nádoby s nepropíchnutým septem. Při využití běžné pipety nebo dávkování s otevřenou nádobkou dochází ke ztrátám analytu, které jsou při tak malém objemu velmi významné.

Objem 250 μl byl nadějný, ale při nastavených podmínkách extrakce neposkytoval tak dobré výsledky, jak se očekávalo. V této práci se při zvolených podmínkách nejlépe projevila závislost $\ln A$ na $i - 1$ u objemu 100 μl , která je uvedena na Obrázku 20.



Obrázek 20 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ při konstantní koncentraci a pipetovaném objemu 100 μl ($n = 3$)

3.3 KVANTITATIVNÍ ANALÝZA VYBRANÝCH SLOŽEK V CHMELU

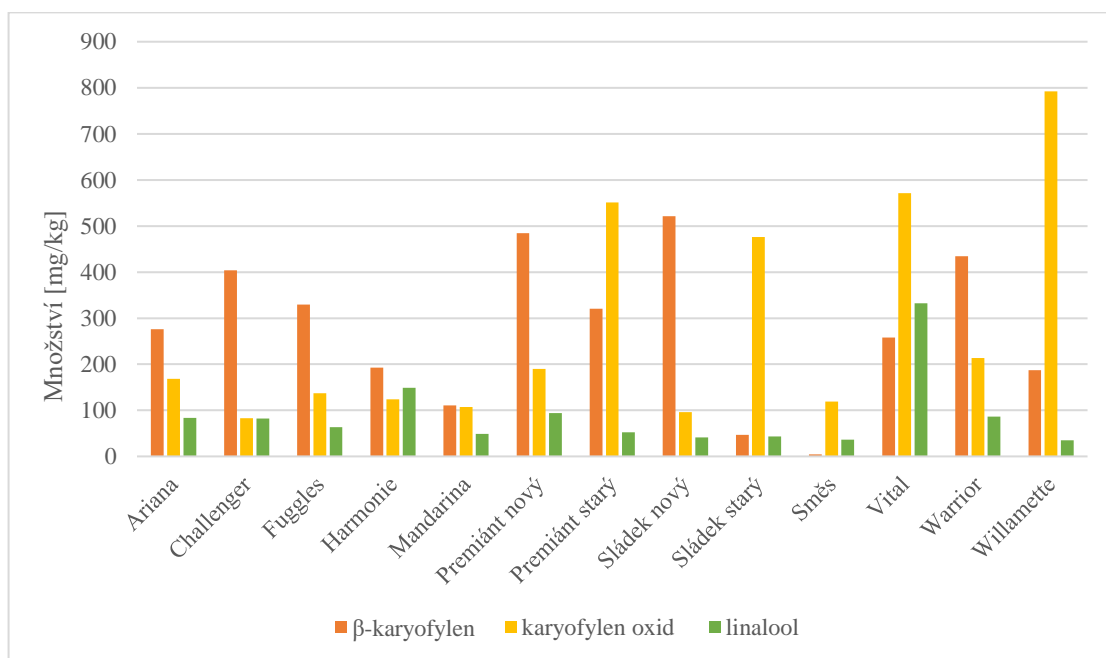
Pro analýzu bylo vybráno 13 různých vzorků chmele různého stáří a z různých podmínek skladování. Po navážení vypočítaného množství drceného chmele a nastavení přístroje na optimalizované podmínky, byly vzorky podrobeny čtyřem opakovaným MHS-SPME. Teplota extrakce pro kvantitativní analýzu byla zvolena 90 °C, doba extrakce činila 60 min. Každý vzorek byl navážen 3×. Z těchto naměřených hodnot byla spočítána celková plocha. U linaloolu byl pro výpočet použit m/z iont 93 jako hlavní kvantifikátor, u karyofylen oxidu také 93 a u β-karyofyleny byl vybrán m/z iont 133. V Tabulce 15 jsou uvedeny naměřené celkové plochy pro sledované látky. Jelikož navážka vzorků byla 50 mg, byla potřeba přepočítat výsledky do přehlednějších jednotek, například na mg látky v 1 kg chmelových granulí. Ve směsném vzorku byl obsah β-karyofyleny příliš malý, aby se mohl hodnotit pomocí kalibrační závislosti. Podobná situace je se vzorky Willamette, Vital, Premiánt starý a Sládek starý, kde množství karyofylen oxidu bylo příliš velkým, aby se mohly vyhodnotit pomocí vybraných kalibračních řad. Analýzy pro tyto vzorky byly zopakovány s poloviční navážkou, tj. s 25 mg. V Tabulce 15 hodnoty pro nižší navážky jsou uvedené v závorkách.

Tabulka 15 - Naměřené hodnoty celkových ploch chmelových látek a jejich přepočet na mg/kg

	β-karyofylen		karyofylen oxid		linalool	
	plocha A133	mg/kg	plocha A93	mg/kg	plocha A93	mg/kg
Ariana	13 835 507	276,29	5 420 672	168,56	4 125 197	83,25
Challenger	20 202 687	403,63	2 709 835	83,12	4 063 959	82,02
Fuggles	16 505 613	329,69	4 431 082	137,37	3 151 447	63,77
Harmonie	9 654 966	192,68	4 008 041	124,04	7 408 014	148,90
Mandarina	5 565 220	110,88	3 468 573	107,04	2 418 740	49,12
Premiánt nový	24 250 650	484,59	6 095 779	189,84	4 660 178	93,95
Premiánt starý	16 044 747	320,47	(8 775 864)	550,92	2 576 445	52,27
Sládek nový	26 071 419	521,01	3 126 402	96,25	2 008 555	40,92
Sládek starý	2 343 617	46,45	15 176 146	476,04	2 127 144	43,29
Směs	226 595	<LOQ	3 845 235	118,91	1 776 888	36,28
Vital	12 935 704	258,29	(9 101 168)	571,43	16 586 858	332,48
Warrior	21 759 932	434,78	6 855 709	213,79	4 281 463	86,37
Willamette	9 374 284	187,07	(12 599 805)	791,97	1 717 463	35,09

Množství chmelových silic, jak již bylo popsáno v teoretické části, hodně záleží na podmínkách skladovatelnosti chmele a stáří chmelových granulí. Nejstarší vzorky byly Willamette z roku 2018

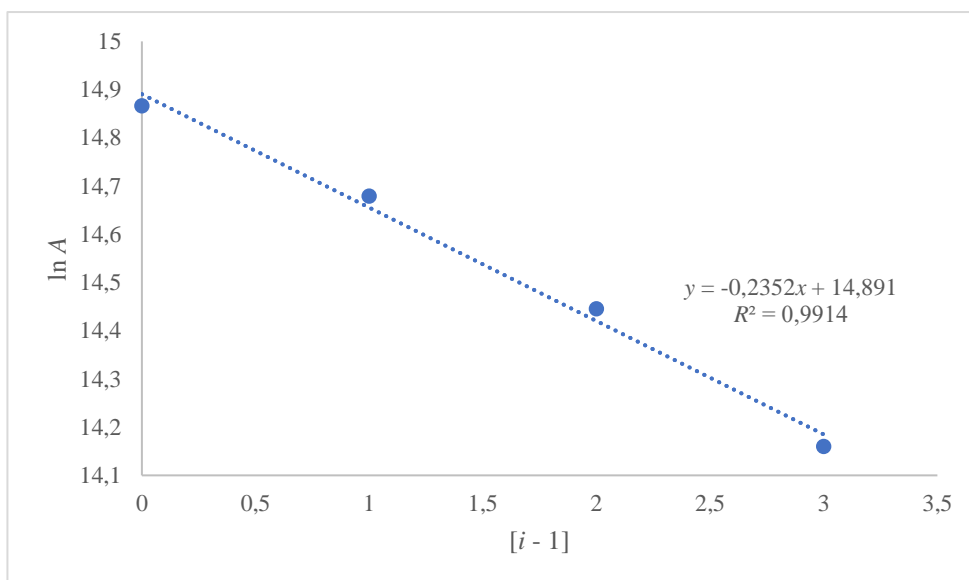
a směsný vzorek z roku 2019. U těchto vzorků a vzorků starých Sládku a Premiantu bylo očekáváno snížené množství terpenů v důsledku jejich přeměny na oxidy a epoxidy nebo vyprchání při skladování. Zároveň u nejčerstvějších vzorků jako Harmonie z roku 2021 bylo očekáváno významné množství těkavých složek, které se ještě nestihly odpařit nebo přeměnit. Obrázek 21 ilustruje grafické zpracování dat z Tabulky 15. Jak bylo očekáváno, vzorky Willamette, Premiant (starý) a Sládek (starý) měly velký obsah karyofylen oxidu a významně nižší obsah β -karyofylen. Je zřejmé, že při dlouhodobém vystavení světlu a vzduchu ve starém chmelu skoro nezůstaly žádné těkavé složky. Harmonie navzdory předpokladům neměla žádné významné vyšší koncentrace chmelových sloučenin, dokonce spíš podprůměrné. Tato skutečnost může být dána vlastnosti odrůdy, klimatickými podmínkami při pěstování chmele, podmínkami zpracování a skladování chmelových granulí. Premiant (nový), Sládek (nový) a Challenger vykazovaly největší obsah β -karyofylen a zároveň nejnižší obsah karyofylen oxidu. Takový poměr je ukázkou čerstvosti chmele a kvalitních podmínek skladování. Překvapením byl Vital, který byl z roku 2020, ale obsahoval výrazné množství karyofylen oxidu. Zároveň barva jeho granulí nebyla tak jasně zelená jako u nových Premiantu a Sládku, a byla blíže k žluto-zelené barvě starších odrůd (Obrázek 14). Jelikož vzorek byl čerstvě zakoupený, nemohlo dojít k jeho oxidačním přeměnám v laboratoři. V tomto případě je možné mluvit o nedodržení některých podmínek výroby nebo skladování na straně výrobce.



Obrázek 21 - Porovnání množství linaloolu, β -karyofylenu a karyofylen oxidu ve zkoumaných odrůdách

Níže je uveden jeden z příkladů grafů a naměřených dat, nezbytných pro výpočet celkové plochy vzorků chmele. Na Obrázku 22 je znázorněn graf závislosti $\ln A$ na $i - 1$ pro β -karyofylen vzorku

Ariana. V Tabulkách 16-17 pod obrázkem jsou uvedena jako příklad data potřebná k výpočtům a vypočtené hodnoty.



Obrázek 22 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro β -karyofylen odrůdy Ariana

Tabulka 16 - Hodnoty nezbytné pro výpočet celkové plochy

Počet měření i	$[i - 1]$	A	$\ln A$
1	0	2 859 811	14,867
2	1	2 371 600	14,680
3	2	1 877 303	14,445
4	3	1 411 607	14,160

Tabulka 17 - Hodnoty vypočtené z naměřených dat

Parametr pro výpočet	Hodnota
směrnice	-0,2352
úsek	14,8905
A_1	2 929 971
e^{-q}	0,7904
$1 - e^{-q}$	0,2096
$A_T = A_1 / (1 - e^{-q})$	13 980 729

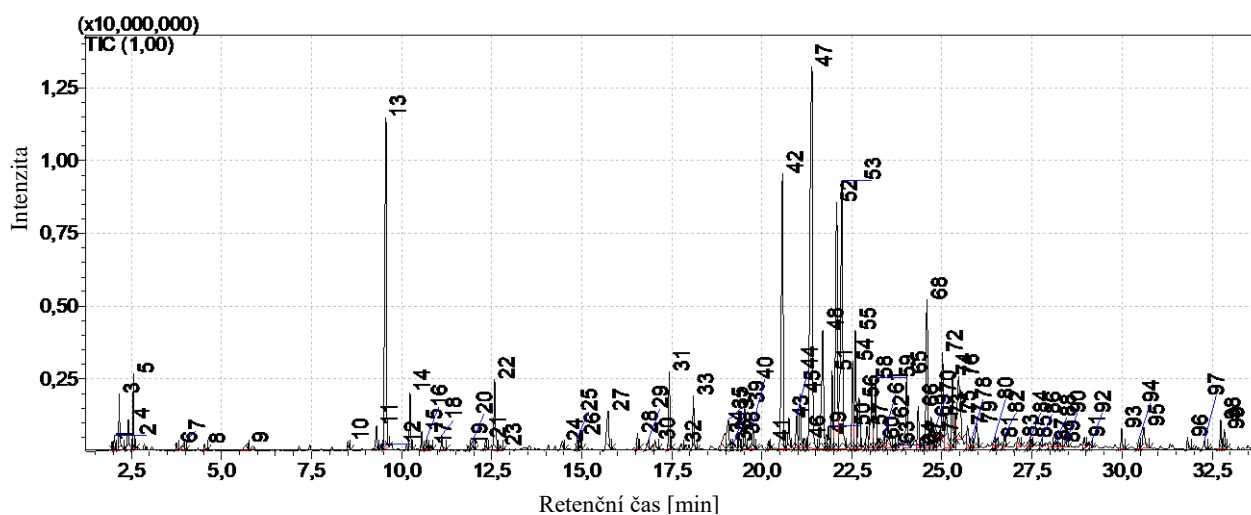
q ... směrnice; A_1 ... dopočítaná plocha prvního píku;

A_T ... celková plocha píku

3.4 IDENTIFIKACE LÁTEK CHMELE

3.3.1 Identifikace chmelových látek odrůdy Ariana

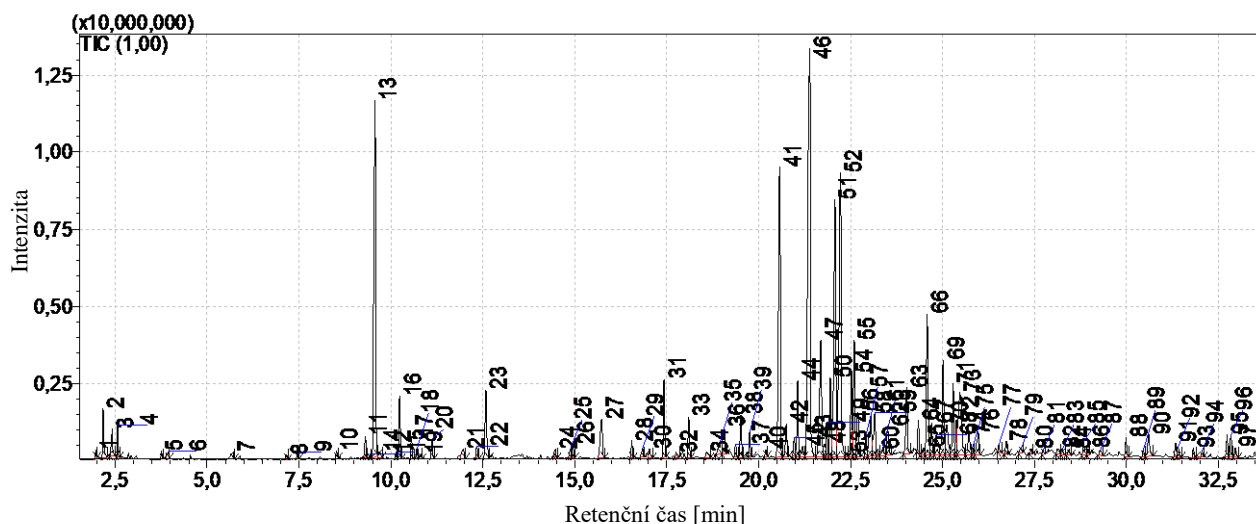
Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Ariana, uvedený na Obrázku 23. Bylo detekováno 99 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovnami spekter a databázemi NIST WEBBOOK (Národní institut pro standardy a technologie), FFNSC 2 (Flavour & Fragrance Natural & Synthetic Compounds GC/MC library) a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 65 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Ariana největší podíl připadá na α -humulen (13,31 %), myrcen (8,00 %), α -selinen (7,83 %) a (E)- β -karyofylen (6,91 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Ariana je uveden v příloze II Tabulka II/1.



Obrázek 23 - Chromatogram odrůdy Ariana

3.3.2 Identifikace chmelových látek odrůdy Challenger

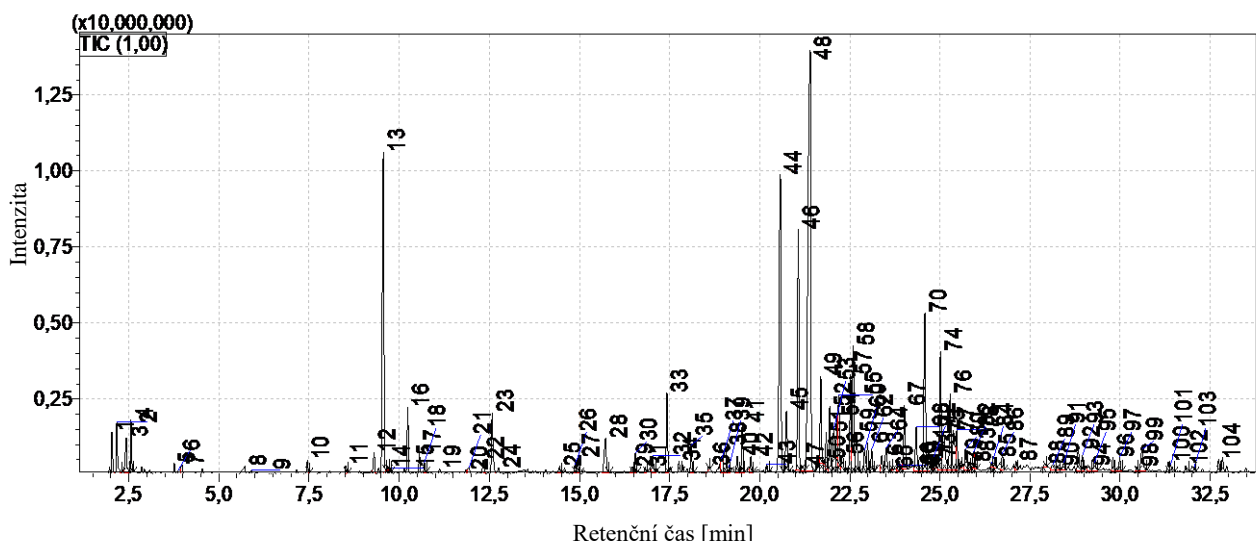
Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Challenger, uvedený na Obrázku 24. Bylo detekováno 97 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovnami spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem byly identifikovány 63 sloučeniny při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Challenger připadá největší podíl na α -humulen (14,27 %), myrcen (8,72 %), α -selinen (8,47 %) a (E)- β -karyofylen (7,29 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Challenger je uveden v příloze II Tabulka II/2.



Obrázek 24 - Chromatogram odrůdy Challenger

3.3.3 Identifikace chmelových látek odrůdy Fuggles

Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Fuggles, uvedený na Obrázku 25. Bylo detekováno 104 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovnými spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 73 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Fuggles připadá největší podíl na α -humulen (17,87 %), (E)- β -karyofylen (8,55 %), myrcen (8,42 %) a (E)- β -farnesen (5,48 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Fuggles je uveden v příloze II Tabulka II/3.

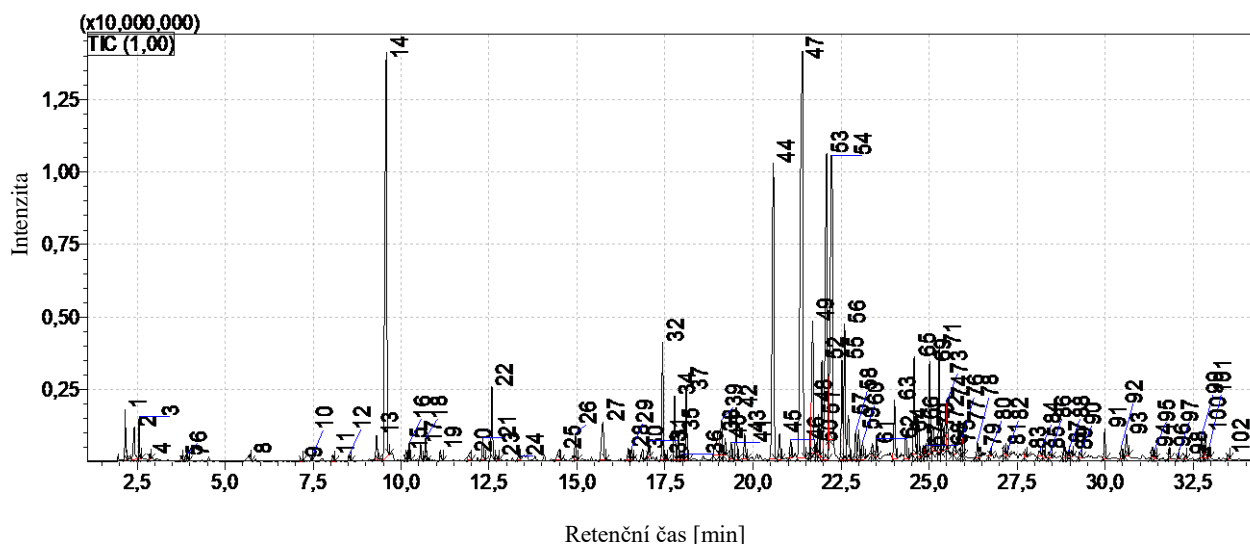


Obrázek 25 - Chromatogram odrůdy Fuggles

3.3.4 Identifikace chmelových látek odrůdy Harmonie

Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Harmonie, uvedený na Obrázku 26. Bylo detekováno 102 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání

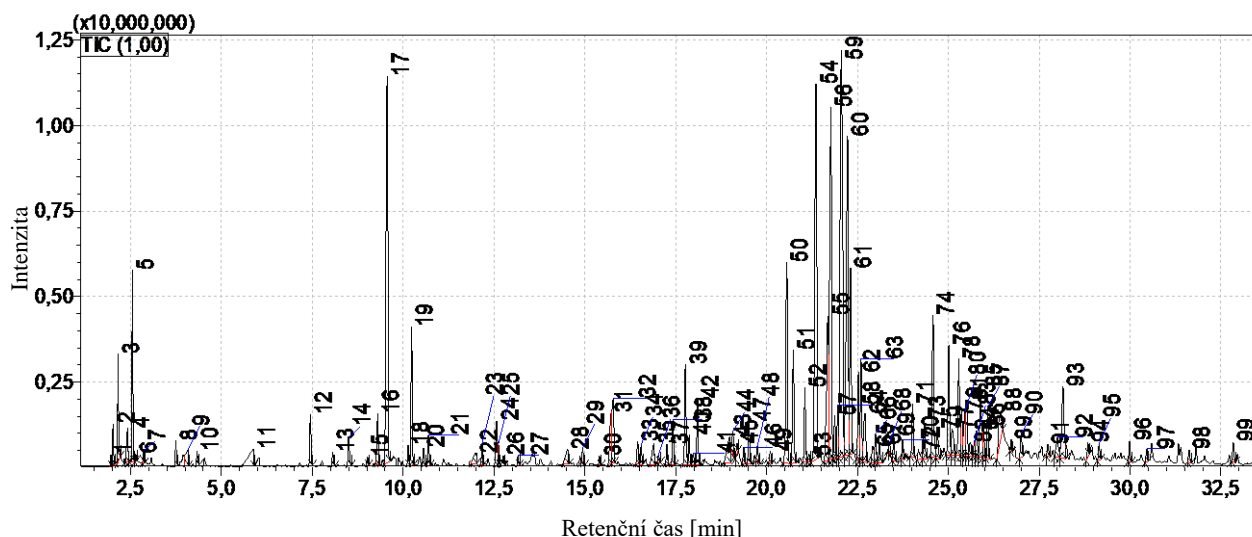
hmotnostních spekter s knihovnami spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 71 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Harmonie největší podíl připadá na β -selinen (10,42 %), α -humulen (7,65 %), myrcen (7,09 %) a α -selinen (6,88 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Harmonie je uveden v příloze II Tabulka II/4.



Obrázek 26 - Chromatogram odrůdy Harmonie

3.3.5 Identifikace chmelových látek odrůdy Mandarina Bavaria

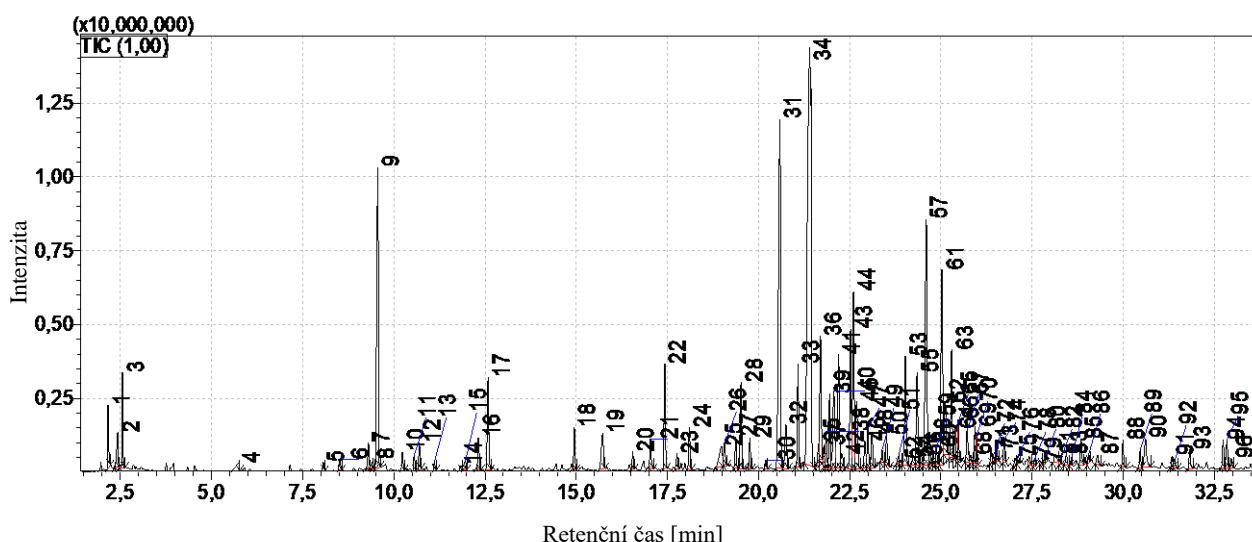
Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Mandarina Bavaria, uvedený na Obrázku 27. Bylo detekováno 99 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovnami spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 72 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Mandarina Bavaria největší podíl připadá na β -selinen (10,42 %), α -humulen (7,65 %), myrcen (7,09 %) a α -selinen (6,88 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Mandarina Bavaria je uveden v příloze II Tabulka II/5.



Obrázek 27 - Chromatogram odrůdy Mandarin Bavaria

3.3.6 Identifikace chmelových látek odrůdy Premiant (nový)

Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Premiant (nový), uvedený na Obrázku 28. Bylo detekováno 96 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovnami spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 61 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Premiant (nový) největší podíl připadá na α -humulen (18,89 %), (E)- β -karyofylen (8,8 %), myrcen (6,15 %) a humulen epoxid II (5,62 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Premiant (nový) je uveden v příloze II Tabulka II/6.

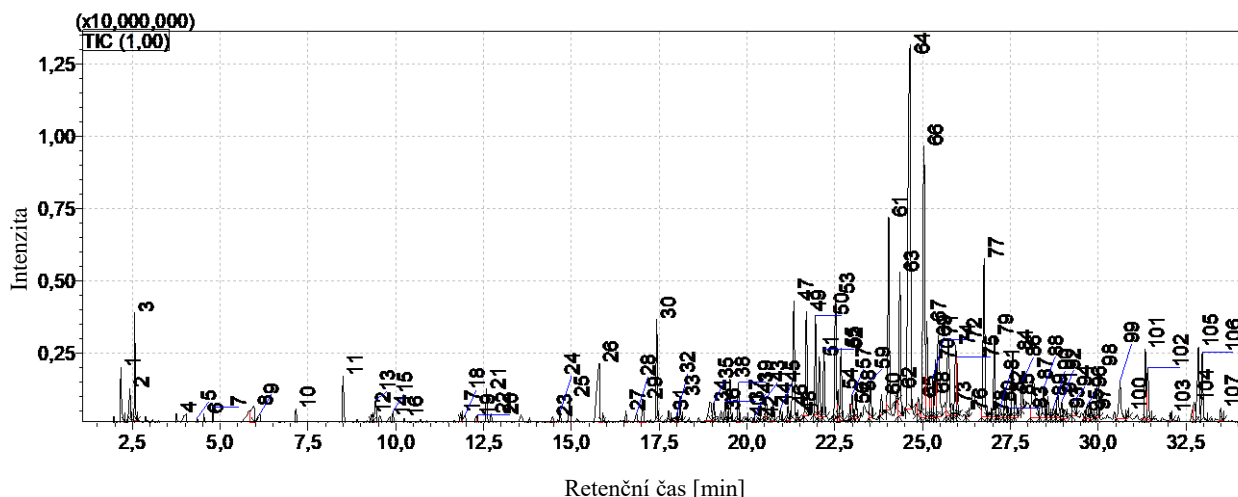


Obrázek 28 - Chromatogram odrůdy Premiant (nový)

3.3.7 Identifikace chmelových látek odrůdy Premiant (starý)

Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Premiant (starý), uvedený na Obrázku 28. Bylo detekováno 107 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání

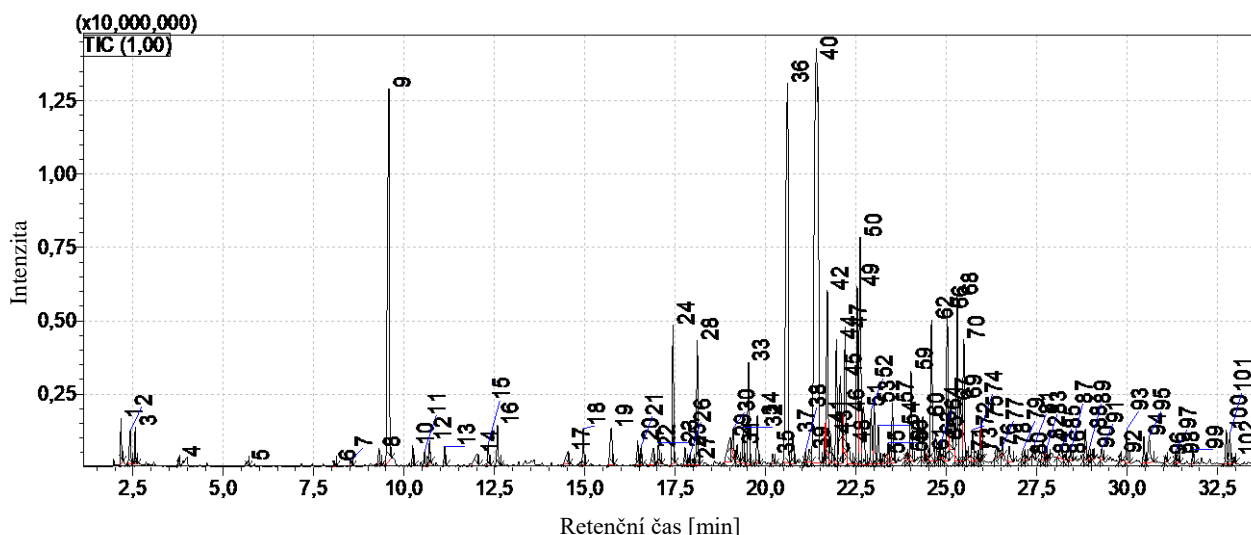
hmotnostních spekter s knihovnami spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 62 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Premiant (starý) největší podíl připadá na humulen epoxid II (12,62 %), α -muurolol (7,33 %) a karyofylen oxid (4,21 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Premiant (starý) je uveden v příloze II Tabulka II/7.



Obrázek 29 - Chromatogram odrůdy Premiant (starý)

3.3.8 Identifikace chmelových látek odrůdy Sládek (nový)

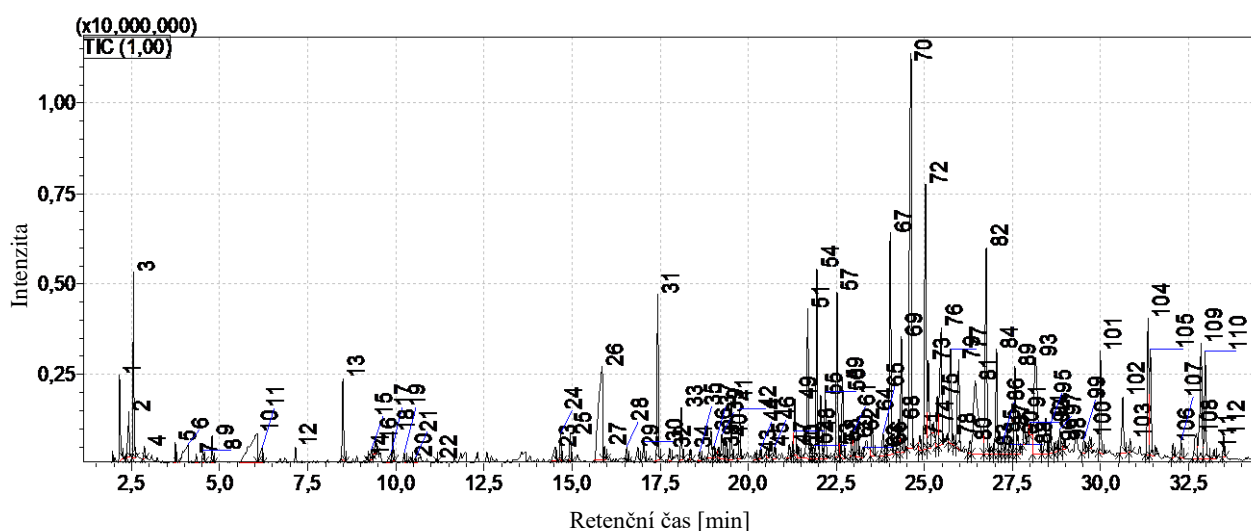
Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Sládek (nový), uvedený na Obrázku 30. Bylo detekováno 102 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovnami spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 69 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Sládek (nový) největší podíl připadá na α -humulen (17,97 %), (E)- β -karyofylen (10,05 %), myrcen (7,97 %) a δ -kadinen (4,01 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Sládek (nový) je uveden v příloze II Tabulka II/8.



Obrázek 30 - Chromatogram odrůdy Sládek (nový)

3.3.9 Identifikace chmelových látek odrůdy Sládek (starý)

Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Sládek (starý), uvedený na Obrázku 31. Bylo detekováno 112 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovnami spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 59 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Sládek (starý) největší podíl připadá na humulen epoxid II (9,00 %), epikubenol (4,93 %) a 2-dekanon (3,85 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Sládek (starý) je uveden v příloze II Tabulka II/9.

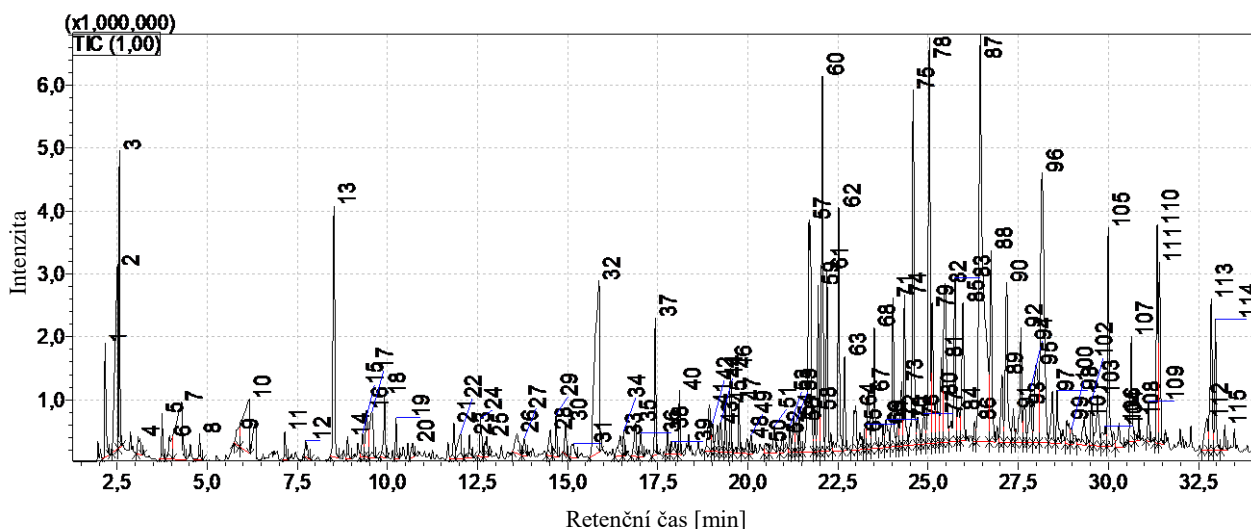


Obrázek 31 - Chromatogram odrůdy Sládek (starý)

3.3.10 Identifikace chmelových látek směsi odrůd

Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro směs odrůd, uvedený na Obrázku 32. Bylo detekováno 115 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních

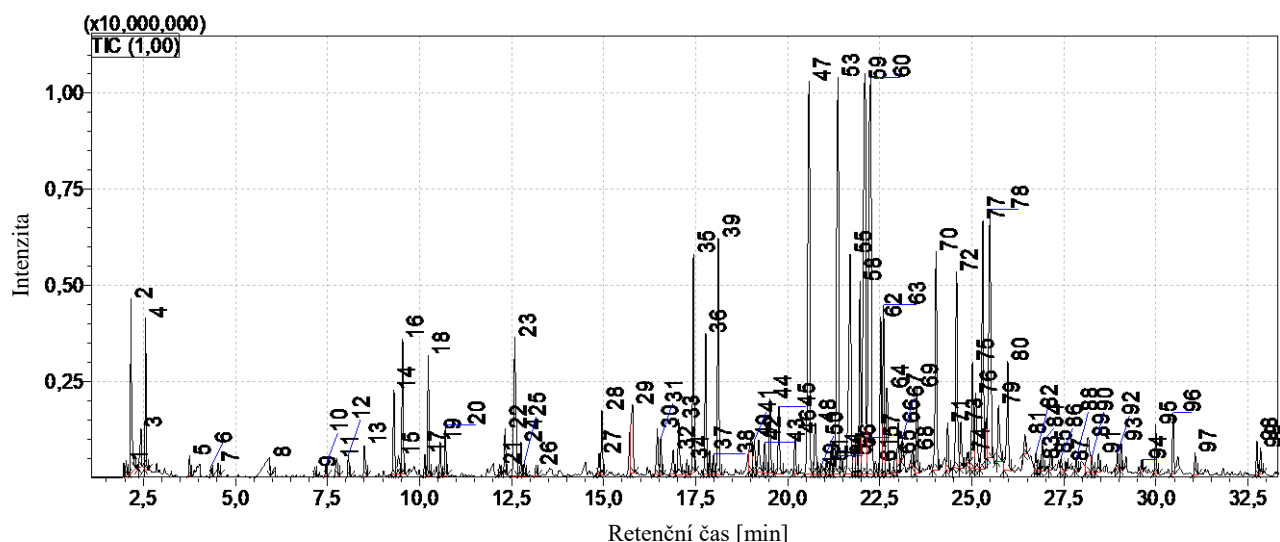
spekter s knihovny spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 69 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že ve směsi největší podíl připadá na α -muurolol (3,77 %), γ -muurolen (3,54 %) a humulen epoxid II (3,26 %). Seznam veškerých identifikovaných látek ve směsi několika starých odrůd je uveden v příloze II Tabulka II/10.



Obrázek 32 - Chromatogram směsi odrůd

3.3.11 Identifikace chmelových látek odrůdy Vital

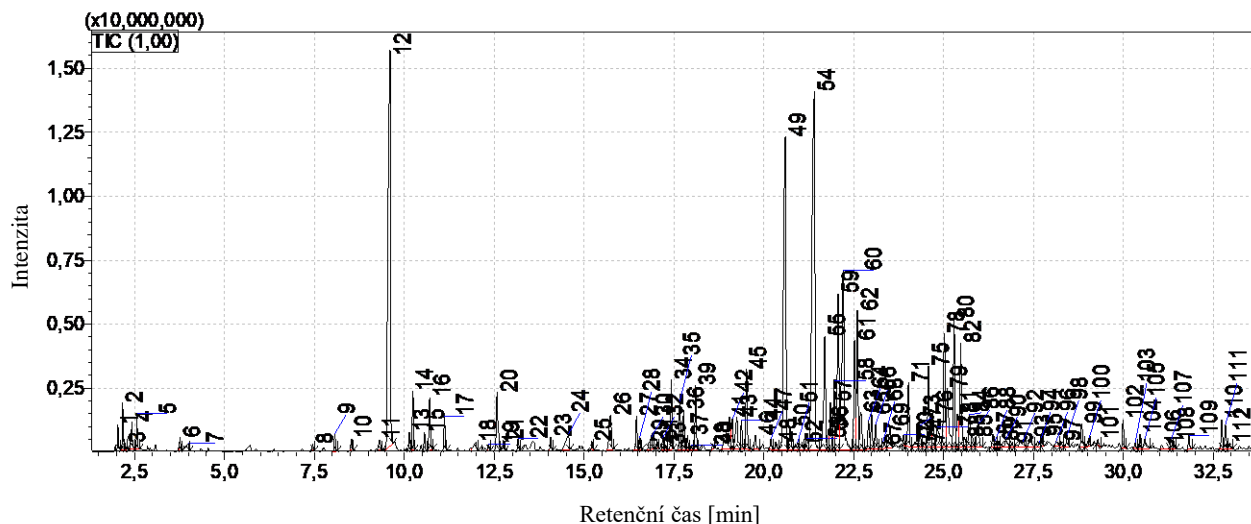
Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Vital, uvedený na Obrázku 33. Bylo detekováno 99 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovny spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 67 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Vital největší podíl připadá na β -selinen (10,42 %), α -humulen (7,65 %), myrcen (7,09 %) a α -selinen (6,88 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Vital je uveden v příloze II Tabulka II/11.



Obrázek 33 - Chromatogram odrůdy Vital

3.3.12 Identifikace chmelových látek odrůdy Warrior

Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Warrior, uvedený na Obrázku 34. Bylo detekováno 112 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovnými spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2 a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 72 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Warrior největší podíl připadá na α -humulen (12,63 %), myrcen (11,74 %) a (E)- β -karyofylen (9,17 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Warrior je uveden v příloze II Tabulka II/12.

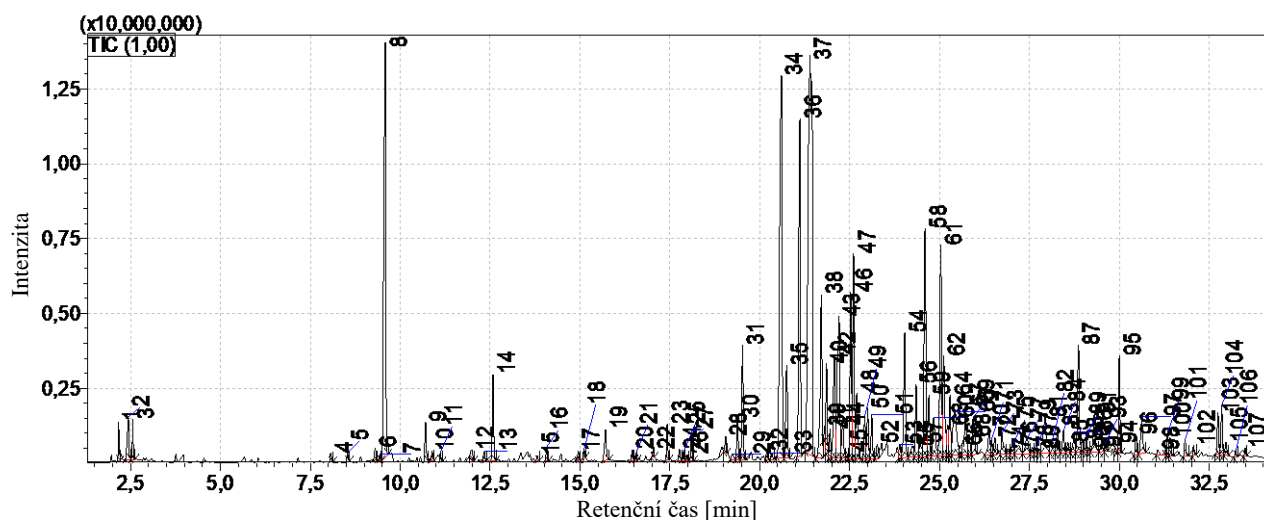


Obrázek 34 - Chromatogram odrůdy Warrior

3.3.13 Identifikace chmelových látek odrůdy Willamette

Využitím metody GC-MS byl získán chromatogram pro odrůdu Willamette, uvedený na Obrázku 35. Bylo detekováno 107 píků. Identifikace látek byla provedena na základě porovnání hmotnostních spekter s knihovnými spekter a databázemi NIST WEBBOOK, FFNSC 2

a porovnáním Van den Doolových retenčních indexů pro nepolární kolonu. Celkem bylo identifikováno 60 sloučenin při podmínce shody 85 % a více. Bylo zjištěno, že v odrůdě Willamette největší podíl připadá na α -humulen (15,00 %), (E)- β -karyofylen (8,56 %), myrcen (7,99 %) a (E)- β -farnesen (5,19 %). Seznam veškerých identifikovaných látek odrůdy Willamette je uveden v příloze II Tabulka II/13.



Obrázek 35 - Chromatogram odrůdy Willamette

3.5 BAREVNOST VYBRANÝCH CHMELOVÝCH ODRŮD

Pro analýzu barevnosti chmelových granulí bylo použito 13 různých vzorků chmelových odrůd. Všechny vzorky byly důkladně rozdrceny do homogenního práškovitého stavu. Pro analýzu byl použit spektrofotometr UltraScan VIS 2277. Jednotlivé vzorky se mezi sebou vizuálně hodně lišily. Čím starší byly granule, tím více byly do žluta, čím čerstvější byly, tím sytější měly zelenou barvu. Vzhled granulí jednotlivých odrůd je uveden na Obrázku 14 v experimentální části. Na Obrázcích 36 a 37 jsou zobrazeny zhomogenizované vzorky pro vizuální porovnání. Na Obrázku 37 úplně vlevo je Premiant (nový), pak Premiant (starý), pak Sládek (starý) a vzorek Směs. Poslední je jeden z nejstarších vzorků a byl nejdéle skladován při pokojových podmínkách. Jeho barva byla žluto-hnědá, byla způsobena oxidačními procesy stárnutí během skladování vzorku. Ostatní vzorky chmele měly vizuálně více zelené barvy, nejzelenější byly vzorky Premiant (nový) a Harmonie. Tento jev může být spojený se stářím chmele (oba vzorky byly čerstvě zakoupené od výrobce) a s dobrými podmínkami skladování s minimálním přístupem světla a vzduchu.



Obrázek 36 - Vizuální porovnání rozdrcených vzorků







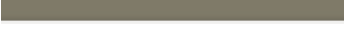
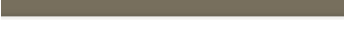
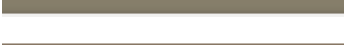






Obrázek 37 - Vizuální porovnání čerstvého a starého chmele

Výsledkem měření barevnosti na spektrofotometru jsou hodnoty L^* , a^* a b^* . Parametr L^* je parametrem měrné světlosti, parametr a^* ukazuje polohu zkoumané barvy na ose mezi zelenou a červenou barvou, parametr b^* ukazuje polohu na ose od modré po žlutou. Pro každý vzorek byla provedena 3 měření na třech různých místech kyvety co nejdále od předchozího místa měření. Zjištěné hodnoty L^* , a^* a b^* byly zprůměrovány a jsou vyneseny do Tabulky 18 podle zkoumaných odrůd. Tyto zprůměrované hodnoty byly následně zadány do grafického redaktoru pro určení kódu barvy, které jsou uvedeny v též tabulce spolu s grafickou ukázkou barev.

Zjistilo se, že kolorimetricky zjištěné hodnoty si byly vizuálně velmi podobné, a jim příslušné barvy je skoro nemožné rozlišit pouhým okem. Hodnoty naměřené spektrofotometrem jsou odstíny hnědé barvy. Na základě tohoto měření nejde usoudit o rozdílech v barevnosti vybraných odrůd, a vyhodnotit vliv stáří a podmínek skladování na barevné změny chmelových granulí. Pro toto hodnocení je lepší vizuální zkouška granulí. Je možné že kolorimetrická analýza nedrcených granulí chmele nebo větší počet měření na různých místech kyvety by mohly poskytnout lepší výsledky, které by víc odpovídaly reálnému vzhledu vzorků.

Tabulka 18 - Znárodnění průměrných hodnot barevnosti pro vybrané odrůdy chmele

Název odrůdy	L^*	a^*	b^*	Kód barvy	Grafické zobrazení
Ariana	48,04	0,80	12,48	7c715d	
Challenger	50,90	0,61	13,70	837862	
Fuggles	51,74	-0,61	13,71	847b64	
Harmonie	47,17	-0,27	11,53	776f5d	
Mandarina Bavaria	48,64	0,34	13,59	7d735d	
Premiánt (nový)	50,87	-2,43	12,83	7e7a63	
Premiánt (starý)	51,29	-1,58	10,49	7f7a68	
Sládek (nový)	51,77	-1,84	13,71	827c64	
Sládek (starý)	52,96	-0,69	12,22	867e6a	
Směs	51,13	3,05	13,04	887764	
Vital	46,06	-0,39	11,22	716a58	
Warrior	49,89	0,35	14,68	81765e	
Willamette	52,11	0,11	15,31	877b62	

4 ZÁVĚR

V teoretické části této práce byl popsán chmel jako rostlina, oblasti jeho pěstování, vliv chmelových látek na lidské zdraví a jejich využití, také škůdce chmele, charakteristika některých chmelových odrůd a vliv okolních podmínek na přítomnost určitých složek. Vedle toho byly popsány principy kolorimetrických měření barevnosti a headspace mikroextrakce tuhou fází ve spojení s plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí

V experimentální části před začátkem analýzy vzorků byly optimalizovány podmínky extrakce. Byly vybrány dva parametry, a to objem analyzovaného kalibračního roztoku a teplota extrakce, a HS-SPME-GC-MS analýzou bylo určeno, že optimální jsou 90 °C a 100 µl odměřeného vzorku. Byla provedena kalibrace pro standardy linaloolu, β-karyofylenu a karyofylen oxidu.

Dále byly provedené kvantitativní a kvalitativní analýzy vzorků 10 nově zakoupených chmelových odrůd a 3 starých vzorků. Identifikace látek pro vytvoření aromaprofilu chmelových odrůd ukázala, že čerstvé chmelové granule obsahují více rozmanitých těkavých složek. Ve starších vzorcích jsou některé z nich buď vlivem kyslíku a UV záření přeměněny na oxidy, epoxidy, methylestery atd, nebo vyprchávají s časem. Kvantitativní analýzou byly stanoveny obsahy linaloolu, β-karyofylenu a karyofylen oxidu ve vybraných 13 vzorcích a tento výsledek byl přepočítán na mg složky v 1 kg chmelových granulí. Bylo provedeno porovnání množství těchto složek mezi vzorky a bylo zjištěno, že nejvíce linaloolu a β-karyofylenu obsahovaly čerstvé chmele. Významné množství karyofylen oxidu je dobrou ukázkou stárnutí a může být použité pro usuzování o kvalitě podmínek zpracování a skladování chmele. Plynová chromatografie ve spojení s MS umožnila identifikaci více jak 100 sloučenin v jednom vzorku a metoda SPME spolehlivě a jednoduše stanovila předem vybrané složky.

Na závěr bylo provedeno kolorimetrické měření barevnosti chmelových vzorků pomocí spektrofotometru. Získané výsledky nebyly tak přesné, jak se očekávalo. Barva, vyhodnocená sensoricky jako zelená nebo žlutá, ve výsledku byla přístrojem vyhodnocená jako odstín hnědé. Jednotlivé barvy vzorků, získané spektrofotometrem, byly skoro nerozlišitelné pouhým okem. Problém nejspíš nastal v nehomogenitě vzorku a složité matici pro tuto metodu. Pro další analýzu bylo by vhodné buď ještě více zhomogenizovat vzorek a zároveň provést více měření na více místech, nebo využít metodu CVS.

5 LITERATURA

- [1] ALMAGUER, C., C. SCHÖNBERGER, M. GASTL, E. K. ARENDT, T. BECKER: *Humulus lupulus* – a story that begs to be told. A review, *Journal of the Institute of Brewing* 2014, 120 (4): 289–314.
- [2] ASTRAY, G., P. GULLÓN, B. GULLÓN, P. E. S. MUNEKATA, J. M. LORENZO: *Humulus lupulus* L. as a Natural Source of Functional Biomolecules, *Applied Science* 2020, 10(15): 5074.
- [3] RYBÁČEK, V.: *Hop production*, Amsterdam, New York: Elsevier, 1991, ISBN 0444598456.
- [4] MARCEDDU, R., A. CARRUBBA, M. SARNO: Cultivation trials of hop (*Humulus lupulus* L.) in semi-arid environments, *Heliyon* 2020, 6(10): e05114.
- [5] DONNER, P., J. POKORNÝ, J. JEŽEK, K. KROFTA, J. PATZAK, J. PULKRÁBEK: Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars, *Plant, Soil and Environment* 2020, 66: 41-46.
- [6] PATZAK, J., V. NESVADBA, A. HENYCHOVÁ, K. KROFTA: Assessment of the genetic diversity of wild hops (*Humulus lupulus* L.) in Europe using chemical and molecular analyses, *Biochemical Systematics and Ecology* 2010, 38 (2): 136-145.
- [7] FORSTER, A., F. SCHÜLL, A. GAHR: A comparison of the hop varieties Callista and Ariana 2015/2016, Germany, *Brauwelt International* 2019, 37 (6): 412-415.
- [8] NAKAWUKA, P.R., T. R. PETERS, S.T. KENNY, D. WALSH: Effect of deficit irrigation on yield quantity and quality, water productivity and economic returns of four cultivars of hops in the Yakima Valley, Washington State, *Industrial Crops and Products* 2017, 98: 82-92.
- [9] GUIMARÃES, B. P., P. G. B. D. NASCIMENTO, G. F. GHESTI: Intellectual property and plant variety protection: Prospective study on Hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars, *World Patent Information* 2021, 65: 102041.
- [10] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, [cit. 2022-08-02], *Dostupné z: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>*.
- [11] ŠRÉDL, K., M. PRÁŠILOVÁ, R. SVOBODA, L. SEVEROVÁ: Hop production in the Czech Republic and its international aspects, *Heliyon* 2020, 6(7): e04371.
- [12] CZECH STATISTICAL OFFICE, [cit. 2022-08-01], *Dostupné z: <https://www.czso.cz>*.

- [13] CHMELAŘSKÉ MUZEUM ŽATEC, [cit. 2022-08-01], *Dostupné z:* <http://www.chmelarskemuzeum.cz/cz/oblasti-pestovani-chmele-v-cr.htm>.
- [14] Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: *Aktuální plochy chmelnic v České republice*, 2021, [cit. 2022-07-29], *Dostupné z:* https://eagri.cz/public/web/ukzuz/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2021_aktualni-plochy-chmelnic-v-ceske.html.
- [15] Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: *Aktuální plochy chmelnic v České republice*, 2020, [cit. 2022-07-29], *Dostupné z:* https://eagri.cz/public/web/ukzuz/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2020_aktualni-plochy-chmelnic-v-cr.html.
- [16] Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: *Nižší plocha chmelnic ke sklizni 2019*, 2019, [cit. 2022-07-29], *Dostupné z:* https://eagri.cz/public/web/ukzuz/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2020_aktualni-plochy-chmelnic-v-cr.html.
- [17] RICCIONI, C., B. BELFIORI, V. SILEONI, O. MARCONI, G. PERRETTI, M.BELLUCCI, A. RUBINI: High genetic and chemical diversity of wild hop populations from Central Italy with signals of a genetic structure influenced by both sexual and asexual reproduction, *Plant Science* 2020, 304: 110794.
- [18] BASAŘOVÁ, G., a kol.: *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*, Praha, Havlíček Brain Team 2021, ISBN 978-80-87109-71-7.
- [19] HEJDUKOVÁ, S.: *Ekologie a pěstování chmele otáčivého (Humulus lupulus)*, Plzeň 2021, Bakalářská práce, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická, Centrum biologie, geověd a envigogiky. Vedoucí práce: RNDr. Iva Traxmandlová, Ph.D.
- [20] RAMÍREZ, A., J. M. VIVEROS: Brewing with *Cannabis sativa* vs. *Humulus lupulus*: a review. *Journal of the Institute of Brewing* 2021, 127: 201–209.
- [21] ŠTEFANOVÁ, H.: *Využití mikroextrakce tuhou fází pro analýzu profilu těkavých látek chmele*, Pardubice 2019, Diplomová práce, Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Adam, Ph.D.
- [22] OLŠOVSKÁ, J., V. BOŠTÍKOVÁ, M. DUŠEK, V. JANDOVSKÁ a kol.: *Humulus lupulus* L. (hops) – a valuable source of compounds with bioactive effects for future therapies, *Military Medical Science Letters* 2016, 85(1): 19-30.
- [23] MOŠTEK, J., J. ČEPIČKA: Chemie éterických olejů (silic) chmele a jejich pivovarský význam, *Kvasný Průmysl* 1969, 15(12): 259-265.

- [24] GAHR, A., A. FORSTER, F. SCHUELL: A Comparison of the Hop Varieties Callista and Ariana in Years of Different Climate Conditions 2015 and 2016 (DE & EN), *Hopfen-Rundschau International* 2018, 48-55.
- [25] BEER MAVERICK, [cit. 2022-08-08], *Dostupné z:* <https://beermaverick.com>.
- [26] BSG CRAFTBREWING, [cit. 2022-08-08], *Dostupné z:* <https://bsgcraftbrewing.com>.
- [27] YAKIMA VALLEY HOPS, [cit. 2022-08-08], *Dostupné z:* <https://yakimavalleyhops.com>.
- [28] HAUNOLD, A.: Hop Production, Breeding, and Variety Development in Various Countries, *Journal of the American Society of Brewing Chemists - The Science of Beer* 1981, 39 (1): 27-34.
- [29] BAMFORTH, C.W.: *Brewing. New technologies*, USA, CRC Press 2006, 1. vydání, ISBN-13: 978-0849391590.
- [30] HOPSTEINER, [cit. 2022-08-08], *Dostupné z:* <https://www.hopsteiner.com/variety-data-sheets/Challenger>.
- [31] LERMUSIEAU, G., C. LIÉGEOIS, S. COLLIN: Reducing power of hop cultivars and beer ageing, *Food Chemistry* 2001, 72 (4): 413-418. DOI: 10.1016/S0308-8146(00)00247-8.
- [32] NESVADBA, V., Z. POLONČÍKOVÁ, A. HENYCHOVÁ, K. KROFTA, J. PATZAK: *Atlas českých odrůd chmele*, Žatec, Chmelařský institut s.r.o. 2012, ISBN: 978-80-87357-11-8.
- [33] BOHEMIA HOP CZECH REPUBLIC, [cit. 2022-08-08], *Dostupné z:* <http://www.bohemiahop.cz/cz/odrudy-chmele>.
- [34] LUTZ, A., J. KNEIDL, S. SEEFELDER, K. KAMMHUBER, E. SEIGNER: *Mandarina Bavaria*, [cit. 2022-08-08], *Dostupné z:* https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_hopfenbauversammlungen-special_flavor-hopfen_2013__min.pdf
- [35] Green products GmbH, [cit. 2022-08-08], *Dostupné z:* <https://www.green-products-hops.de>
- [36] YAKIMA CHIEF: *Hop varietal guide – high quality hops from the Pacific Northwest*, Yakima Chief, Sunnyside 2013, [cit. 2022-08-08], *Dostupné z:* www.yakimachief.com.
- [37] ČANADANOVIĆ-BRUNET, J., J. VULI, T. ĆEBOVIĆ, G. ĆETKOVIĆ, V. ČANADANOVIĆ, S. DJILAS, V. T. ŠAPONJAC: Phenolic Profile, Antiradical and Antitumour Evaluation of Raspberries Pomace Extract from Serbia, *Iranian journal of pharmaceutical research*, 2017, 16(16): 142-152.

- [38] COMMITTEE, NOMENCLATURE SUB-COMMITTEE: HOPS LIASION COMMITTEE (N. S.-C. H. L): Recommendations concerning nomenclature of hop resin components, *Journal of the Institute of Brewing* 1969, 75: 340-342.
- [39] PISTELLI, L., B. FERRI, P.L.CIONI, M. KOZIARA, M. AGACKA, U. SKOMRAB: Aroma profile and bitter acid characterization of hop cones (*Humulus lupulus* L.) of five healthy and infected Polish cultivars, *Industrial Crops and Products* 2018, 15: 653-662.
- [40] PAGUET, A. S., A. SIAH, G. LEFÈVRE, S. SAHPAZ, C. RIVIÈRE: Agronomic, genetic and chemical tools for hop cultivation and breeding, *Phytochemistry Reviews* 2022, 21: 667–708.
- [41] STEENACKERS, B., L. DE COOMAN, D. DE VOS: Chemical transformations of characteristic hop secondary metabolites in relation to beer properties and the brewing process: A review, *Food Chemistry* 2015, 172: 742-756.
- [42] KROFTA, K.: *Hodnocení kvality chmele. Metodika pro praxi*, Žatec, Chmelařský institut s.r.o. 2008, ISBN: 978-80-86836-84-3.
- [43] ZAPLETALOVÁ K.: *Faktory ovlivňující dekarboxylázovou aktivitu bakterií mléčného kvašení v procesu výroby piva*, Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlině, Fakulta Technologická, Ústav technologie potravin, 2017. Vedoucí práce Ing Eva Lorencová, Ph.D.
- [44] DE KEUKELEIRE, D.: Fundamentals of beer and hop chemistry, Belgium, *Química Nova* 2000, 23 (1): 108-112.
- [45] KOWALSKA, GR., S. BOUCHENTOUF, R. KOWALSKI, J. WYROSTEK, U. PANKIEWICZ, A. MAZUREK, M. SUJKA, M. WŁODARCZYK-STASIAK: The hop cones (*Humulus lupulus* L.): Chemical composition, antioxidant properties and molecular docking simulations, *Journal of Herbal Medicine* 2022, 33:100566.
- [46] CABALLERO, I., C. A. BLANCO, M. PORRAS: Iso- α -acids, bitterness and loss of beer quality during storage, *Trends in Food Science & Technology* 2012, 26(1): 21-30.
- [47] CHADWICK, L.R., PAULI, G.F., FARNSWORTH, N.R.: The pharmacognosy of *Humulus lupulus* L. (hops) with an emphasis on estrogenic properties, *Phytomedicine* 2006, 13(1-2):119-131.
- [48] RAMÍREZ, A., J. M. VIVEROS: Brewing with *Cannabis sativa* vs. *Humulus lupulus*: a review. *Journal of the Institute of Brewing* 2021, 127: 201–209.

- [49] SCHULZ, C., C. CHIHEB, M. PISCHETSRIEDER: Quantification of co-, n-, and ad-lupulone in hop-based dietary supplements and phytopharmaceuticals and modulation of their contents by the extraction method, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 2019, 168: 124-132.
- [50] SOUSA, V. I., J. F. PARENTE, J. F. MARQUES A KOL.: Microencapsulation of Essential Oils: A Review, *Polymers* 2022, 14(9): 1730.
- [51] BONINI, S.A., M. PREMOLI, S. TAMBARO, A. KUMAR A KOL.: Cannabis sativa: A comprehensive ethnopharmacological review of a medicinal plant with a long history, *Journal of Ethnopharmacology* 2018, 277: 300-315.
- [52] RETTBERG, N., M. BIENDL, L.-A. GARBE: Hop Aroma and Hoppy Beer Flavor: Chemical Backgrounds and Analytical Tools—A Review, *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 2018, 76(1): 1-20.
- [53] NUUTINEN, T.: Medicinal properties of terpenes found in Cannabis sativa and Humulus lupulus, *European Journal of Medicinal Chemistry* 2018, 157: 198-288.
- [54] SALAMON, R.Z., A. DABIJA, Á. FERENCZ: The Effect of Dry Hopping Efficiency on β -Myrcene Dissolution into Beer, *Plants (Basel)* 2022, 11(8): 1043.
- [55] KAUDERER, B., H. ZAMITH, F.J. PAUMGARTTEN, G. SPEIT, H. HOLDEN: Evaluation of the mutagenicity of β -myrcene in mammalian cells in vitro, *Environmental and Molecular Mutagenesis* 1991, 18: 28-34.
- [56] HWANG, E., H.T. NGO, B. PARK, S. SEO, J. YANG, T. YI: Myrcene, an aromatic volatile compound, ameliorates human skin extrinsic aging via regulation of MMPs production, *The American Journal of Chinese Medicine* 2017, 45 (5): 1113-1124.
- [57] SHARMA, C., J.M. AL KAABI, S.M. NURULAIN, S.N. GOYAL, M. AMJAD KAMAL, S. OJHA: Polypharmacological properties and therapeutic potential of β -caryophyllene: a dietary phytocannabinoid of pharmaceutical promise, *Current Pharmaceutical Design* 2016; 22(21):3237-64.
- [58] RAGUSO, R., R. A. RAGUSO, E. PICHERSKY: New Perspectives in Pollination Biology: Floral Fragrances. A day in the life of a linalool molecule: Chemical communication in a plant-pollinator system. Part 1: Linalool biosynthesis in flowering plants, *Plant Species Biology* 1999, 14(2): 95-120.

- [59] PARREIRA, L.A., A. F. AZEVEDO A KOL.: Functionalization of the naturally occurring linalool and nerol by the palladium catalyzed oxidation of their trisubstituted olefinic bonds, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 2017, 426: 429-434.
- [60] ELSHARIF, SH., A. BANERJEE, A. BUETTNER: Structure-odor relationships of linalool, linalyl acetate and their corresponding oxygenated derivatives, *Frontiers in Chemistry* 2015, 3:57.
- [61] ARRUDA, T. R., P.F. PINHEIRO A KOL.: A new perspective of a well-recognized raw material: Phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities and α - and β -acids profile of Brazilian hop (*Humulus lupulus* L.) extracts, *LWT* 2021, 141: 110905.
- [62] HONG K, WANG L, JOHNPAUL A, LV C, MA C. Key Enzymes Involved in the Synthesis of Hops Phytochemical Compounds: From Structure, Functions to Applications. *International Journal of Molecular Sciences* 2021, 22(17): 9373.
- [63] VERZELE, M., J. STOCKX, F. FONTIJN, M. ANTEUNIS: Xanthohumol, a new natural chalcone. *Bulletin des Societes Chimiques Belges* 1957, 66: 452–475.
- [64] QI-HE CHEN, MING-LIANG FU, MIAO-MIAO CHEN, JING LIU, XIAO-JIE LIU, GUO-QING HE, SHOU-CHENG PU: Preparative isolation and purification of xanthohumol from hops (*Humulus lupulus* L.) by high-speed counter-current chromatography, *Food Chemistry* 2012, 132(1):619-623.
- [65] ABIKO, Y., D. PAUDEL, O. UEHARA: Hops components and oral health, *Journal of Functional Foods* 2022, 92: 105035.
- [66] POHL, P.: Determination and fractionation of metals in beer: A review, *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* 2008, 25(6): 693-703.
- [67] LAFONTAINE, S., D. THOMSON, CH.SCHUBERT, I. MÜLLER, M. KYLE, M. BIENDL, S. CONN, F. SCHÜLL, A. LUTZ, M. LIGARE, A. HALE, S. THÖRNER, N. RETTBERG: How deviations in the elemental profile of *Humulus lupulus* grown throughout the U.S. and Germany influence hop and beer quality, *Food Chemistry* 2022, 395:133543.
- [68] Mendelová univerzita v Brně: *Technologie výroby sladu a piva*, [cit. 2022-08-07], Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=2447&typ=html
- [69] KROFTA, K.: *Hodnocení kvalitativních parametrů chmele při sušení a stárnutí*, Žatec, Chmelařský institut s.r.o. 2017, ISBN: 978-80-86836-16-4.

- [70] KROFTA, K., A. MIKYŠKA, M. JURKOVÁ, L. MRAVCOVÁ: Determination of Bitter Compounds in Hops - Effect of Crop Year and Hops Age, *Kvasný Průmysl* 2017, 63(5): 241-247.
- [71] KROFTA, K., F. KROUPA: Kvalitativní a ekonomické aspekty stárnutí českých odrůd chmele, *Kvasný průmysl* 1995, 49 (11–12): 326–335.
- [72] OGUETA, I. A., J. B. CHRISTENSSON, E. GIMÉNEZ-ARNAU, R. BRANS, M. WILKINSON, L. STINGENI, C. FOTI, O. AERTS, C. SVEDMAN, M. GONÇALO, A. GIMÉNEZ-ARNAU: Limonene and linalool hydroperoxides review: Pros and cons for routine patch testing, *Contact Dermatitis* 2022, 87(1):1-12.
- [73] KUNEJ U., M. MIKULIČ-PETKOVŠEK, S. RADIŠEK, N.ŠTAJNER: Changes in the Phenolic Compounds of Hop (*Humulus lupulus* L.) Induced by Infection with *Verticillium nonalfalfae*, the Causal Agent of Hop *Verticillium* Wilt, *Plants* 2020, 9(7):841.
- [74] NESVADBA V., J. PATZAK, P. SVOBODA, J. CHARVÁTOVÁ, S. TRNKOVÁ: Metodika šlechtění chmele na odolnost k *Verticillium nonalfalfae* s využitím genetických zdrojů [certifikovaná metodika], Žatec: Chmelařský institut s. r. o., 2021, ISBN 978-80-86836-48-5.
- [75] BLANCO, C., R. BODAS, L. MORÁN, J. MATEO, S. ANDRÉS, F. J. GIRÁLDEZ: Effect of hop (*Humulus lupulus* L.) inclusion in the diet for fattening lambs on animal performance, ruminal characteristics and meat quality, *Food Research International* 2018, 108: 42-47.
- [76] KONTEK, B., D. JEDREJEK, W. OLESZEK, B. OLAS: Antiradical and antioxidant activity in vitro of hops-derived extracts rich in bitter acids and xanthohumol, *Industrial Crops and Products* 2021, 161: 113208.
- [77] DAS., P., T. DUTTA, S. MANNA, S. LOGANATHAN, P. BASAK: Facile green synthesis of non-genotoxic, non-hemolytic organometallic silver nanoparticles using extract of crushed, wasted, and spent *Humulus lupulus* (hops): Characterization, anti-bacterial, and anti-cancer studies, *Environmental Research* 2022, 204:111962.
- [78] LIGOR, M., M. STANKEVIČIUS, A. WENDA-PIESIK, K. OBELEVIČIUS, O. RAGAŽINSKIENĖ, Ž. STANIUS, A. MARUŠKA, B. BUSZEWSKI: Comparative Gas Chromatographic–Mass Spectrometric Evaluation of Hop (*Humulus lupulus* L.) Essential Oils and Extracts Obtained Using Different Sample Preparation Methods, *Food Analytical Methods* 2014, 7:1433–1442.

- [79] PUTRI, S. P., M. M. MALIKULIKRAM, A. SATO, H. A. DAHLAN, D. RAHMAWATI, Y. OHTO, E. FUKUSAK: Application of gas chromatography-mass spectrometry-based metabolomics in food science and technology, *Journal of Bioscience and Bioengineering* 2022, 133 (5): 425-435.
- [80] PATI, S., M. TUFARIELLO, P. CRUPI, A. COLETTA, F. GRIECO, I. LOSITO: Quantification of Volatile Compounds in Wines by HS-SPME-GC/MS: Critical Issues and Use of Multivariate Statistics in Method Optimization, *Processes* 2021, 9(4): 662.
- [81] HANIF, M. , B. XIE, S. WEI, J. LI, C. GAO, R. WANG, S. ALI, X. XIAO, J. YU, A. AL-HASHIMI, M. BRESTIC: Characterization of the volatile profile from six different varieties of Chinese chives by HS-SPME/GC–MS coupled with E. NOSE, *Journal of King Saud University - Science* 2022, 34(4): 101971.
- [82] CHEN, Y., J. PAWLISZYN: Solid-Phase Microextraction Field Sampler, *Analytical chemistry* 2004, 76(22): 6823–6828.
- [83] KOVAČEVIČ, M., M. KAČ: Solid-phase microextraction of hop volatiles: Potential use for determination and verification of hop varieties, *Journal of Chromatography A* 2001, 918(1): 159-167.
- [84] ZHANG, C., M. QI, Q. SHAO, S. ZHOU, R. FU: Analysis of the volatile compounds in *Ligusticum chuanxiong* Hort. using HS-SPME–GC-MS, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 2007, 44(2): 464-470.
- [85] BRYANT, R.J., A. M. MCCLUNG: Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC–MS, *Food Chemistry* 2011, 124(2): 501-513.
- [86] CHEN, K., X. SUN, CH. QIN, X. TANG: Color grading of beef fat by using computer vision and support vector machine, *Computers and Electronics in Agriculture* 2010, 70(1): 27-32.
- [87] MINZ, P. S., C.S. SAINI: Comparison of computer vision system and colour spectrophotometer for colour measurement of mozzarella cheese, *Applied Food Research* 2021, 1(2):100020.
- [88] NGUYEN, C.-N., V.-T. VO, N. C. HA: Developing a computer vision system for real-time color measurement – A case study with color characterization of roasted rice, *Journal of Food Engineering* 2022, 316: 110821.
- [89] HENG, C., H. SHEN, F. WANG, Y. CHEN: Calibrated color measurement of cashmere using a novel computer vision system, *Measurement* 2021, 185: 109991.

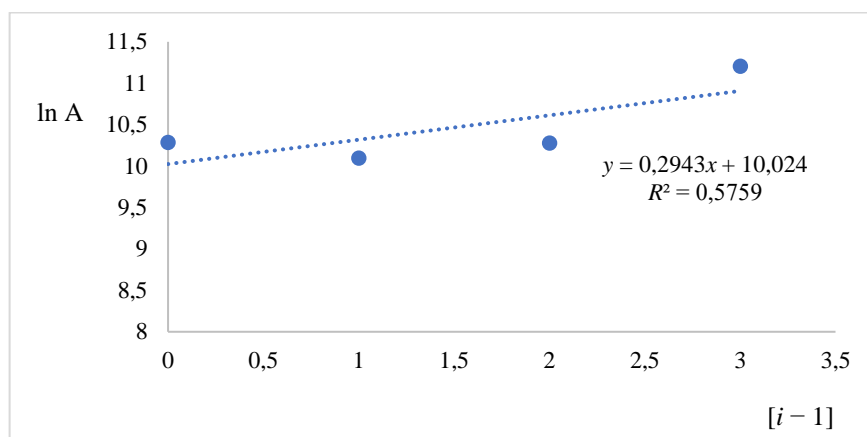
- [90] SINGH, V., V. SRIVASTAVA, D. S. MEHTA: Machine learning-based screening of red blood cells using quantitative phase imaging with micro-spectrocolorimetry, *Optics & Laser Technology* 2020, 124: 105980.
- [91] FERNANDES, G.M., W. R. SILVA, D. N. BARRETO, R. S. LAMARCA, P. C.F. L. GOMES, J. FLÁVIO DA S. PETRUCI, A. D. BATISTA: Novel approaches for colorimetric measurements in analytical chemistry – A review, *Analytica Chimica Acta* 2020, 1135: 187-203.
- [92] CAPITÁN-VALLVEY, L.F., N. LÓPEZ-RUIZ, A. MARTÍNEZ-OLMOS, M. M. ERENAS, A. J. PALMA: Recent developments in computer vision-based analytical chemistry: A tutorial review, *Analytica Chimica Acta* 2015, 899: 23-56.
- [93] HOUŽVIČKOVÁ, M.: *Analýza linaloolu v pivu s využitím opakované headspace extrakce*, Pardubice 2021, Diplomová práce, Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Adam, Ph.D.

6 PŘÍLOHY

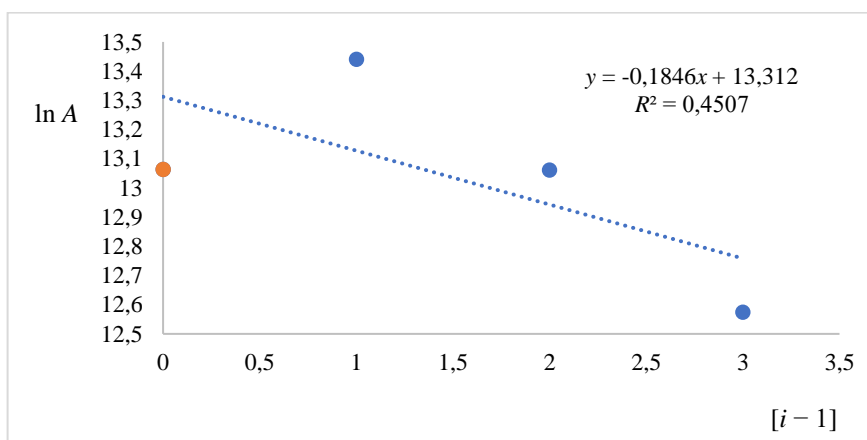
Příloha I – Grafy zkoušených optimačních parametrů

Příloha II – Detekované sloučeniny aroma profilu chmelových odrůd metodou GC-MS

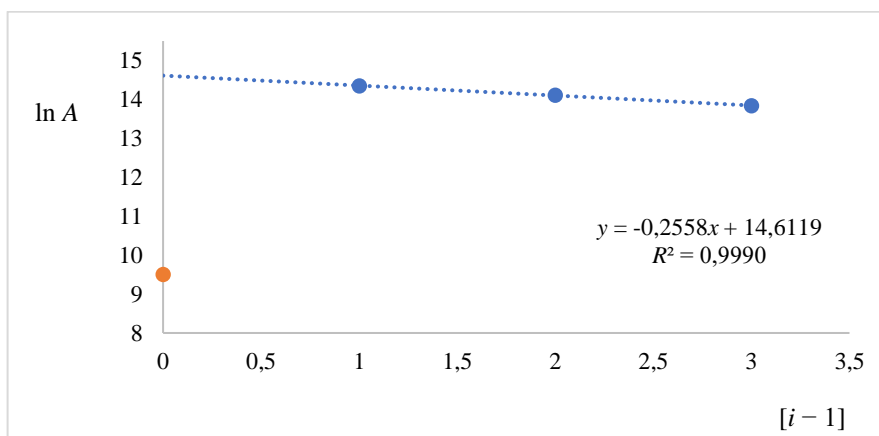
Příloha I – Grafy zkoušených optimačních parametrů



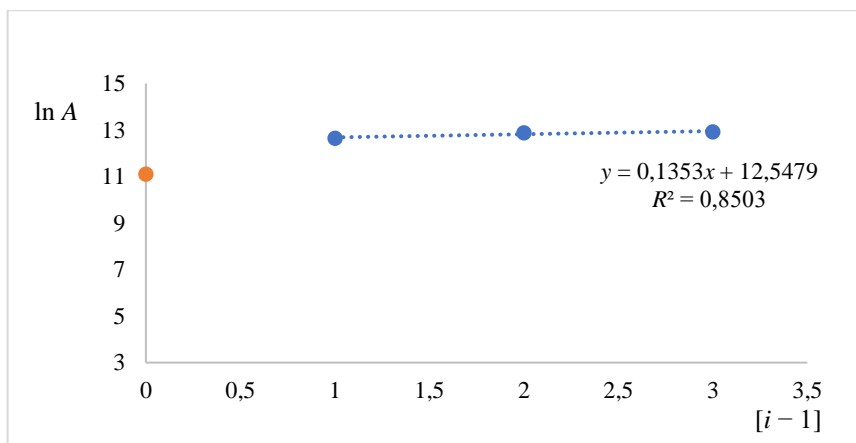
Obrázek I/1 - Závislost $\ln A$ na $i-1$ pro linalool při 60 °C



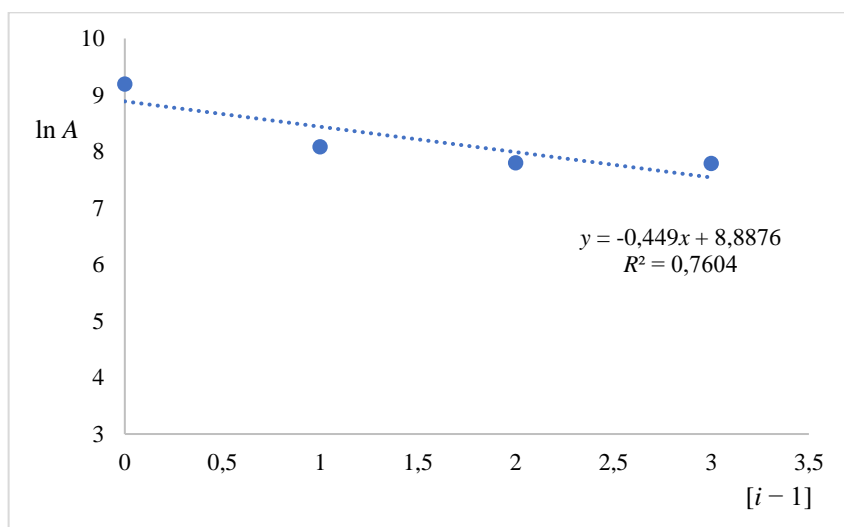
Obrázek I/2 - Závislost $\ln A$ na $i-1$ pro linalool při 70 °C



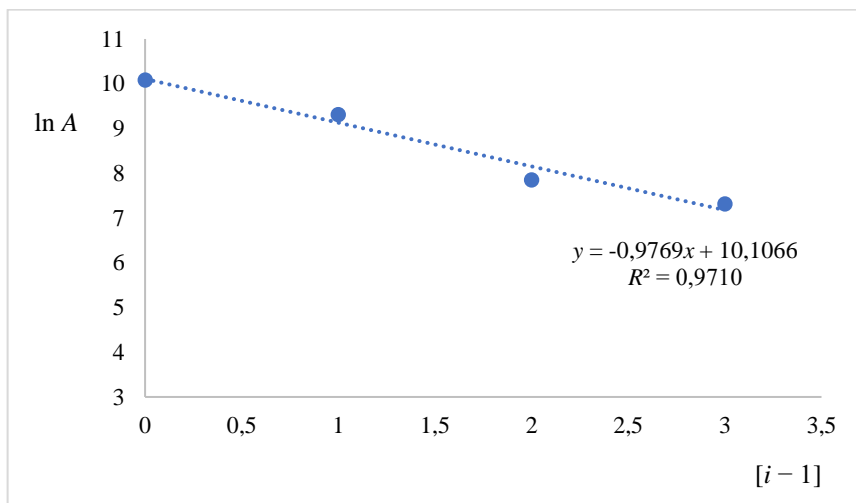
Obrázek I/3 - Závislost $\ln A$ na $i-1$ pro linalool při 80 °C



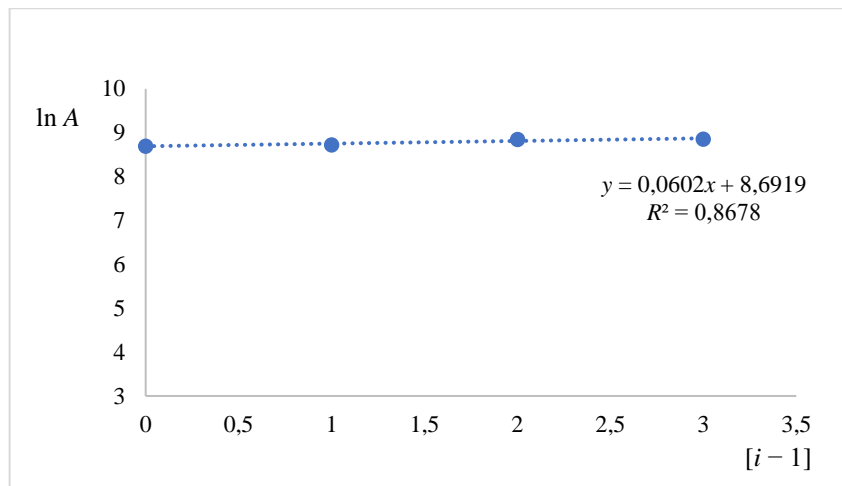
Obrázek I/4 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro linalool při 100 °C



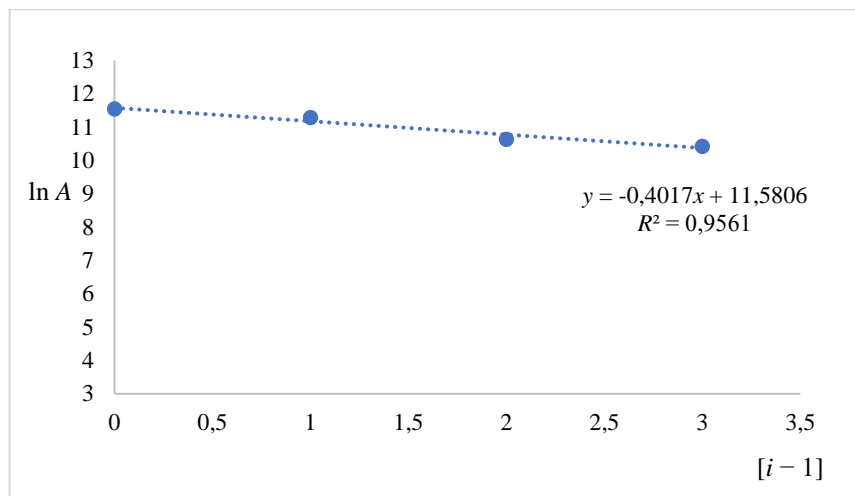
Obrázek I/5 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro linalool při pipetovaným objemu 50 μl



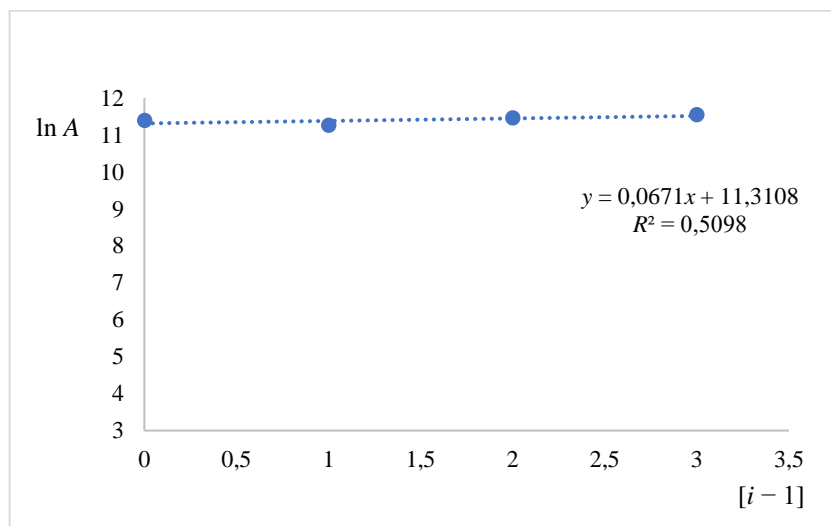
Obrázek I/6 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro linalool při pipetovaným objemu 250 μl



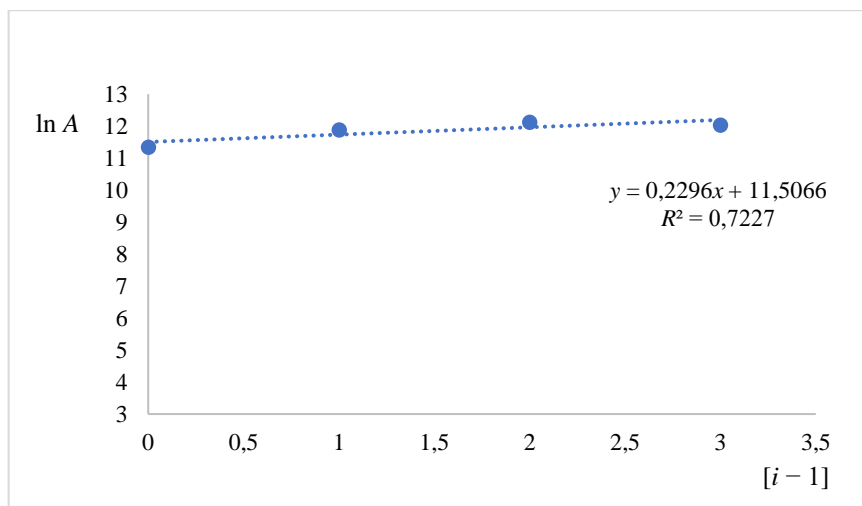
Obrázek I/7 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro linalool při pipetovaném objemu $500 \mu\text{l}$



Obrázek I/8 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro linalool při pipetovaném objemu $1000 \mu\text{l}$



Obrázek I/9 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro linalool při pipetovaném objemu $2000 \mu\text{l}$



Obrázek I/10 - Závislost $\ln A$ na $i - 1$ pro linalool při pipetovaném objemu $5000 \mu\text{l}$

Příloha II – Detekované sloučeniny aroma profilu chmelových odrůd metodou GC-MS

Tabulka II/1 - Identifikace chmelových látek odrůdy Ariana

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	71773-95-0	(S)-Alanin ethylamid	90	1097	421!	0,11
2	7803-49-8	Hydroxylamin	97	0	441!	0,22
3	67-64-1	Aceton	98	455	484!	0,91
4	64-19-7	Kyselina octová	98	576	569	0,67
5	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	97	600	605	0,82
6	922-28-1	3,4-dimethyl-heptan	89	788	734	0,13
7	79-31-2	Kyselina 2-methylpropanová	96	711	748	0,23
8	107-86-8	3-methyl-2-butenal	90	780	786	0,11
9	503-74-2	Kyselina isovalerová	93	842	842	0,34
10	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	97	942	952	0,18
11	127-91-3	β -pinen	90	978	981	0,42
12	110-93-0	6-Methyl-5-hepten-2-on	92	986	985	0,10
13	123-35-3	Myrcen	95	991	990	8,00
14	106-27-4	Isoamylbutyrát	95	1019	1015	0,94
15		NI			1027	0,31
16	138-86-3	Limonen	98	1030	1032	0,23
17		NI			1036	0,10
18	3779-61-1	(E)- β -ocimen	95	1046	1047	0,27
19	5989-33-3	(Z)-Linalool oxid	93	1074	1073	0,13
20	111-14-8	Kyselina heptanová	87	1073	1078	0,29
21		NI			1082	0,22
22	78-70-6	Linalool	94	1101	1101	1,53
23	2445-77-4	2-methylbutylisovalerát	92	1109	1107	0,11
24	124-07-2	Kyselina kaprylová	93	1173	1173	0,26
25	141-27-5	α -Citral	87	1174	1189	0,19
26	693-54-9	2-Dekanon	96	1196	1192	0,22
27		NI			1223	1,18
28	19009-56-4	2-methyl-dekanal	88	1258	1251	0,26
29	112-05-0	Kyselina nonanová	95	1272	1269	0,20
30	NI	(Z)-Undek-6-en-2-on	92	1259	1277	0,18
31	112-12-9	2-undekanon	96	1294	1293	1,32
32		NI			1307	0,15
33	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	95	1322	1320	0,95
34	14436-32-9	Kyselina kaprolejová	88	1362	1360	0,72
35		NI			1364	0,92
36	334-48-5	Kyselina dekanová	93	1372	1368	0,14
37		NI			1370	0,18
38	14912-44-8	α -Ylangen	92	1371	1378	0,28
39	3856-25-5	α -Kopaen	93	1375	1384	0,86
40	6175-49-1	2-dodekanon	96	1393	1394	0,46
41		NI			1414	0,15
42	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	92	1424	1432	6,91
43	18252-44-3	β -Kopaen	96	1433	1440	0,65

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
44		NI			1450	0,66
45	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	95	1452	1454	1,11
46	351222-66-7	Valerena-4,7(11)-dien	90	1455	1460	0,24
47	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1469	13,31
48	30021-74-0	γ -Muurolen	92	1478	1484	3,31
49	10208-80-7	α -Muurolen	94	1497	1491	0,36
50	502-61-4	α -Farnesen	88	1458	1491	0,40
51	593-08-8	2-Tridekanon	95	1496	1495	1,43
52	17066-67-0	β -Selinen	94	1492	1502	6,70
53	473-13-2	α -Selinen	93	1501	1509	7,83
54	39029-41-9	γ -Kadinen	93	1512	1523	1,68
55	483-76-1	δ -Kadinen	93	1518	1527	2,31
56	73209-42-4	(E)-Kalamenen	95	1527	1532	1,35
57	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	94	1536	1543	0,51
58	515-17-3	γ -Selinen	94	1540	1550	1,89
59	6813-21-4	Selina-3,7(11)-dien	95	1546	1555	1,63
60		NI			1559	0,20
61		NI			1566	0,09
62	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	93	1557	1572	0,76
63		NI			1589	0,11
64		NI			1592	0,11
65	1139-30-6	Karyofylen oxid	96	1587	1597	1,80
66	19888-33-6	Humulen epoxid I	98	1592	1613	0,86
67	24405-58-1	Humulol	88	1604	1619	0,19
68	19888-34-7	Humulen epoxid II	92	1613	1626	3,45
69	5945-72-2	Neointermedeol	91	1613	1632	0,72
70		NI			1634	0,51
71		NI			1642	0,11
72		NI			1648	1,70
73	19435-97-3	α -Muurolol	87	1641	1654	1,24
74		NI			1662	1,49
75		NI			1667	0,41
76		NI			1674	2,55
77		NI			1684	0,62
78		NI			1687	0,21
79	2345-28-0	2-Pentadekanon	91	1697	1698	0,78
80		NI			1723	0,21
81		NI			1728	0,22
82		NI			1739	0,25
83	544-63-8	Kyselina myristová	91	1769	1760	0,33
84		NI			1775	0,13
85		NI			1789	0,16
86		NI			1794	0,08
87		NI			1799	0,20
88		NI			1818	0,27
89		NI			1833	0,11

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
90		NI			1861	0,14
91	84-69-5	Kyselina ftalová	96	1908	1864	0,19
92		NI			1874	0,09
93	112-39-0	Methylpalmitát	94	1925	1924	0,34
94	20016-73-3	m-Kamforen	92	1946	1952	0,14
95	57-10-3	Kyselina palmitová	94	1968	1961	0,61
96		NI			1987	0,22
97		NI			2004	0,18
98	112-63-0	Methylinolat	93	2093	2093	0,51
99	301-00-8	Methylinolenát	90	2098	2100	0,39

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/2 - Identifikace chmelových látek odrůdy Challenger

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	124-38-9	Oxid uhličitý	91	0	425!	0,10
2	67-64-1	Aceton	98	455	488!	0,72
3	64-19-7	Kyselina octová	98	576	569	0,51
4	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	97	600	607	0,34
5	922-28-1	3,4-dimethyl-heptan	87	788	734	0,12
6	79-31-2	Kyselina 2-methylpropanová	96	711	748	0,16
7	503-74-2	Kyselina isovalerová	93	841	842	0,28
8	24070-70-0	Cyclopentanol	94	988	902	0,08
9	97-85-8	Isobutylisobutyřát	95	913	913	0,10
10	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	97	942	952	0,13
11	127-91-3	β -Pinen	89	978	981	0,38
12	110-93-0	6-Methyl-5-hepten-2-on	91	986	985	0,08
13	123-35-3	Myrcen	91	991	990	8,72
14		NI			995	0,14
15	106-27-4	Isoamylbutyřát	96	1019	1011	0,11
16	51115-64-1	2-Methylbutylbutanoát	94	1019	1015	1,04
17		NI			1027	0,35
18	138-86-3	Limonen	93	1030	1032	0,18
19	100-51-6	Benzylalcohol	96	1040	1036	0,14
20	3779-61-1	(E)- β -ocimen	94	1046	1047	0,34
21	111-14-8	Kyselina heptanová	86	1073	1078	0,33
22		NI			1092	0,24
23	78-70-6	Linalool	94	1101	1101	1,49
24	124-07-2	Kyselina kaprylová	94	1173	1173	0,17
25	55050-40-3	7-Methyl-3-methyleneokt-6-enal	88	1156	1189	0,14
26	693-54-9	2-Dekanon	96	1196	1192	0,23
27		NI			1223	1,15
28	19009-56-4	2-methyl-dekanal	92	1258	1251	0,27
29	112-05-0	Kyselina nonanová	94	1272	1269	0,20
30	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	92	1259	1277	0,17
31	112-12-9	2-undekanon	96	1294	1293	1,33
32	536-59-4	Perilla alkohol	86	1299	1306	0,10
33	1189-09-9	Methyl-(E)-geraniát	95	1320	1322	0,71
34		NI			1343	0,23
35		NI			1349	0,54
36		NI			1367	0,75
37	14912-44-8	α -Ylangen	92	1371	1378	0,24
38	3856-25-5	α -Kopaen	93	1375	1384	0,80
39	6175-49-1	2-dodekanon	96	1393	1394	0,41
40		NI			1414	0,13
41	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	92	1424	1432	7,29
42	18252-44-3	β -Kopaen	96	1433	1440	0,71
43		NI			1450	0,40
44	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	95	1452	1454	1,41
45		NI			1466	0,34

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
46	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1470	14,27
47	30021-74-0	γ -Muurolen	91	1478	1484	3,38
48	10208-80-7	α -Muurolen	87	1497	1487	0,31
49	502-61-4	α -Farnesen	90	1458	1491	0,64
50	593-08-8	2-Tridekanon	97	1495	1496	1,45
51	17066-67-0	β -Selinen	92	1492	1502	6,85
52	473-13-2	α -Selinen	91	1501	1509	8,47
53		NI			1513	0,09
54	39029-41-9	γ -Kadinen	93	1512	1524	1,73
55	483-76-1	δ -Kadinen	94	1518	1527	2,25
56	41929-05-9	Zonarene	85	1526	1532	1,25
57	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	95	1536	1543	0,49
58	515-17-3	γ -Selinen	95	1540	1550	1,29
59	6813-21-4	Selina-3,7(11)-dien	95	1546	1555	1,15
60		NI			1559	0,18
61		NI			1566	0,30
62	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	91	1557	1572	0,71
63	1139-30-6	Karyofylen oxid	92	1587	1597	1,45
64	19888-33-6	Humulen epoxid I	98	1592	1614	0,6
65		NI			1619	0,19
66	19888-34-7	Humulen epoxid II	92	1613	1626	3,19
67	5945-72-2	Neointermedeol	90	1613	1632	0,67
68	–	Muurola-4,10(14)-dien-1-beta-ol	82	1632	1639	0,74
69		NI			1648	2,25
70	19435-97-3	α -Muurolol	90	1641	1653	0,98
71	53880-51-6	Dodeca-(8E,10E)-dienyl acetate	81	1665	1663	1,54
72		NI			1667	0,72
73	–	(Z)-Pentadek-6-en-2-on	87	1656	1672	2,92
74		NI			1677	0,65
75		NI			1681	0,18
76	2345-28-0	2-Pentadekanon	88	1697	1698	0,67
77		NI			1701	0,11
78		NI			1740	0,29
79		NI			1762	0,15
80		NI			1786	0,12
81		NI			1794	0,08
82		NI			1818	0,21
83		NI			1824	0,13
84		NI			1837	0,14
85		NI			1857	0,29
86	84-69-5	Kyselina ftalová	96	1908	1864	0,11
87		NI			1883	0,15
88	112-39-0	Methylpalmitát	94	1925	1924	0,32
89	20016-73-3	m-Kamforen	90	1946	1953	0,13
90	57-10-3	Kyselina palmitová	89	1968	1961	0,62
91		NI			1987	0,28

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
92		NI			2002	0,23
93		NI			2013	0,16
94		NI			2045	0,12
95	112-63-0	Methyl linolát	95	2093	2094	0,40
96		NI			2099	0,46
97		NI			2103	0,19

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/3 - Identifikace chmelových látek odrůdy Fuggles

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	7803-49-8	Hydroxylamin	97	0	444	0,74
2	67-64-1	Aceton	98	455	487	1,02
3	64-19-7	Kyselina octová	98	576	572	0,86
4	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	97	600	606	0,75
5	137-32-6	sec-Butyl karbinol	90	731	734	0,19
6	624-92-0	Dimethyl disulfid	98	722	742	0,14
7	79-31-2	Kyselina 2-methylpropanová	97	711	749	0,23
8	503-74-2	Kyselina isovalerová	93	842	842	0,35
9	116-53-0	Kyselina 2-methylmáselná	97	811	850	0,09
10	97-85-8	Isobutyl isobutyřát	95	913	913	0,24
11	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	96	942	952	0,16
12	127-91-3	β -Pinen	87	978	981	0,41
13	123-35-3	Myrcene	91	991	990	8,42
14		NI			995	0,04
15	1577-18-0	Kyselina trans-3-methyl-2-hexenová	88	982	997	0,04
16	106-27-4	Isoamylbutyřát	95	1019	1015	1,24
17		NI			1027	0,37
18	138-86-3	Limonen	93	1030	1032	0,20
19	3779-61-1	(E)- β -ocimen	94	1046	1047	0,10
20	5989-33-3	cis-Linalool oxid	91	1074	1069	0,11
21	111-14-8	Kyselina heptanová	97	1073	1077	0,19
22	821-55-6	2-Nonanone	91	1052	1092	0,28
23	78-70-6	Linalool	94	1101	1101	1,45
24	2445-77-4	2-methylbutyl isovalerát	93	1109	1108	0,17
25	124-07-2	Kyselina kaprylová	91	1173	1173	0,17
26	141-27-5	α -Citral	86	1174	1189	0,15
27	693-54-9	2-Dekanon	97	1196	1192	0,30
28		NI			1223	1,10
29	106-24-1	Geraniol	94	1255	1253	0,14
30	19009-56-4	2-methyl-dekanal	94	1258	1251	0,39
31	112-05-0	Kyselina nonanová	94	1272	1268	0,13
32	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	93	1259	1277	0,41
33	112-12-9	2-undekanon	96	1294	1293	1,55
34	1191-02-2	Methyl dek-4-enoát	88	1290	1307	0,25
35	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	95	1320	1322	0,53
36	109-15-9	Octyl isobutyřát	89	1346	1343	0,08
37	14436-32-9	Kyselina kaprolejová	87	1362	1359	0,46
38		NI			1364	0,87
39	334-48-5	Kyselina dekanová	89	1372	1367	0,19
40	14912-44-8	α -Ylangen	92	1371	1378	0,36
41	3856-25-5	α -Kopaen	93	1375	1384	1,06
42	6175-49-1	2-dodekanon	95	1393	1394	0,35
43	118-65-0	(Z)- β -Karyofylen	89	1494	1414	0,16
44	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	95	1494	1432	8,55

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
45	18252-46-5	(Z)- α -Bergamoten	91	1430	1440	1,56
46	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	93	1452	1455	5,48
47		NI			1459	0,15
48	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1470	17,87
49	30021-74-0	γ -Muurolen	96	1478	1484	1,83
50	10208-80-7	α -Muurolen	89	1497	1489	0,09
51	502-61-4	α -Farnesen	90	1458	1491	0,64
52	593-08-8	2-Tridekanon	95	1495	1495	1,31
53	17066-67-0	β -Selinen	92	1491	1501	1,31
54		NI			1505	0,68
55	473-13-2	α -Selinen	94	1501	1507	1,44
56	495-61-4	β -Bisabolen	89	1508	1512	0,53
57	39029-41-9	γ -Kadinen	93	1512	1523	2,16
58	483-76-1	δ -Kadinen	93	1518	1527	2,83
59	73209-42-4	(E)-Kalamenen	96	1527	1532	1,13
60	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	97	1536	1543	0,58
61	24406-05-1	α -Kadinen	96	1538	1547	0,67
62	21391-99-1	α -Kalakoren	97	1544	1552	0,52
63	72922-19-1	E,Z-5,7-Dodekadien-1-ol acetát	85	1596	1566	0,39
64	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	92	1557	1572	0,71
65		NI			1581	0,03
66		NI			1588	0,17
67	1139-30-6	Karyofylen oxid	90	1587	1597	1,52
68	19888-33-6	Humulen epoxid I	97	1592	1613	1,07
69	24405-58-1	Humulol	89	1604	1619	0,21
70	19888-34-7	Humulen epoxid II	92	1613	1626	4,07
71	5945-72-2	Neointermedeol	89	1613	1632	0,56
72		NI			1635	0,25
73	25018-44-4	Epikubenol	89	1631	1640	0,20
74		NI			1648	2,94
75	19435-97-3	α -Muurolol	91	1641	1653	1,36
76		NI			1662	1,77
77		NI			1667	1,32
78	–	(Z)-Pentadek-6-en-2-on	96	1656	1672	0,93
79		NI			1675	0,12
80		NI			1679	0,60
81		NI			1688	0,18
82		NI			1694	0,32
83	2345-28-0	2-Pentadekanon	92	1697	1698	0,27
84	124-10-7	Methyltetradekanoát	82	1727	1723	0,07
85		NI			1727	0,20
86		NI			1739	0,39
87	544-63-8	Kyselina myristová	93	1769	1760	0,22
88		NI			1789	0,09
89		NI			1817	0,29
90		NI			1825	0,16

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
91		NI			1844	0,22
92		NI			1862	0,54
93		NI			1864	0,34
94		NI			1874	0,15
95		NI			1883	0,29
96		NI			1913	0,32
97	112-39-0	Methylpalmitát	93	1925	1924	0,33
98	20016-73-3	m-Kamforen	90	1946	1952	0,10
99	57-10-3	Kyselina palmitová	92	1968	1961	0,68
100		NI			1964	0,23
101		NI			1976	0,18
102		NI			1989	0,14
103		NI			2000	0,08
104	112-63-0	Methyl linolát	95	2093	2093	0,26

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/4 - Identifikace chmelových látek odrůdy Harmonie

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1		NI	0	0	451!	0,71
2	67-64-1	Aceton	99	455	487!	0,67
3	64-19-7	Kyselina octová	98	576	571	0,46
4	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	97	600	606	0,06
5	590-86-3	Isovaleraldehyd	96	643	647	0,08
6	108-10-1	4-Methylpentan-2-on	98	732	734	0,08
7	624-92-0	Dimethyl disulfid	98	722	742	0,08
8	79-31-2	Kyselina 2-methylpropanová	96	711	746	0,27
9	503-74-2	Kyselina isovalerová	92	842	841	0,05
10	24070-70-0	Cyclopentanol	94	988	912	0,02
11	97-85-8	Isobutyl isobutyřát	95	913	913	0,11
12	80-56-8	α -Pinen	95	933	936	0,12
13	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	83	942	952	0,52
14	123-35-3	Myrcene	91	991	981	11,00
15	18172-67-3	β -Pinene-(1S)-(-)	98	943	991	0,16
16	18172-67-4	Isopentyl isobutyřát	96	1014	1011	0,28
17	106-27-4	Isoamylbutyřát	95	1019	1015	0,26
18		NI			1027	0,40
19	138-86-3	Limonen	96	1030	1032	0,19
20	3779-61-1	(E)- β -ocimen	95	1043	1047	0,27
21	111-14-8	Kyselina heptanová	97	1073	1078	0,39
22	821-55-6	2-Nonanone	95	1090	1091	0,07
23	78-70-6	Linalool	96	1101	1101	1,42
24	2445-77-4	2-methylbutyl isovalerát	95	1109	1107	0,10
25		NI			1129	0,33
26	124-07-2	Kyselina kaprylová	96	1173	1175	0,43
27	693-54-9	2-Dekanon	97	1196	1192	1,11
28		NI			1223	0,24
29	106-24-1	Geraniol	96	1255	1253	0,21
30	19009-56-4	2-methyl-dekanal	91	1258	1257	0,28
31	112-05-0	Kyselina nonanová	95	1272	1270	0,25
32	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	96	1259	1277	2,04
33	112-12-9	2-undekanon	95	1294	1293	0,10
34		NI			1297	1,16
35	1191-02-2	Methyl dek-4-enoát	94	1290	1307	0,47
36		NI			1309	0,11
37		NI			1317	1,22
38	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	94	1320	1322	1,07
39	14436-32-9	Kyselina kaprolejová	90	1362	1362	0,85
40		NI			1366	0,29
41	334-48-5	Kyselina dekanová	96	1372	1370	0,3
42	14912-44-8	α -Ylangen	94	1371	1378	0,93
43	3856-25-5	α -Kopaen	95	1375	1384	0,5
44	6175-49-1	2-dodekanon	95	1393	1394	7,35
45	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	95	1424	1432	0,55

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
46	18252-44-3	β -Kopaen	96	1433	1440	0,30
47	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	95	1452	1455	15,2
48		NI			1465	0,60
49	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1470	2,95
50	4630-07-3	Valencen	91	1474	1484	0,14
51	30021-74-0	γ -Muurolen	94	1497	1488	0,63
52	502-61-4	α -Farnesen	88	1458	1491	1,74
53	593-08-8	2-Tridekanon	95	1495	1496	8,55
54	17066-67-0	β -Selinen	90	1492	1502	7,95
55	473-13-2	α -Selinen	92	1502	1509	1,91
56	39029-41-9	γ -Kadinen	94	1512	1524	2,59
57	483-76-1	δ -Kadinen	93	1518	1527	1,14
58	41929-05-9	Zonaren	85	1526	1533	0,59
59	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	97	1536	1543	0,58
60	24406-05-1	α -Kadinen	97	1538	1547	0,38
61	21391-99-1	α -Kalakoren	98	1544	1552	0,19
62	72922-19-1	E,Z-5,7-Dodekadien-1-ol acetát	85	1596	1566	0,29
63	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	96	1557	1571	1,17
64	1139-30-6	Karyofylen oxid	1587	1587	1592	0,54
65	19888-33-6	Humulen epoxid I	97	1592	1613	1,96
66	19888-34-7	Humulen epoxid II	98	1613	1626	0,71
67	5945-72-2	Neointermedeol	89	1613	1632	0,15
68		NI			1638	0,12
69	25018-44-4	Epikubenol	85	1631	1641	1,87
70		NI			1648	0,63
71	19435-97-3	α -Muurolol	90	1641	1653	1,84
72		NI			1662	0,64
73		NI			1667	0,47
74	–	(Z)-Pentadek-6-en-2-on	89	1656	1672	0,69
75	6168-59-8	Intermedeol	87	1668	1674	0,25
76		NI			1684	0,21
77		NI			1691	0,53
78	2345-28-0	2-Pentadekanon	96	1697	1698	0,28
79	106-28-5	(E)-Farnesol	94	1710	1720	0,20
80	124-10-7	Methyltetradekanoát	92	1727	1723	0,11
81		NI			1739	0,18
82	544-63-8	Kyselina myristová	90	1769	1761	0,06
83		NI			1765	0,13
84		NI			1794	0,18
85		NI			1818	0,17
86		NI			1822	0,11
87		NI			1849	0,27
88		NI			1857	0,08
89	84-69-5	Kyselina ftalová	95	1908	1864	0,10
90		NI			1869	0,12
91		NI			1883	0,49

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
92	112-39-0	Methylpalmitát	94	1925	1924	0,25
93	20016-73-3	m-Kamforen	91	1946	1953	0,47
94	57-10-3	Kyselina palmitová	91	1968	1961	0,16
95		NI			1969	0,16
96		NI			1984	0,18
97		NI			1989	0,06
98		NI			1992	0,06
99		NI			2001	0,36
100	112-63-0	Methyl linolát	95	2093	2093	0,47
101		NI			2097	0,16
102		NI			2101	0,07

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/5 - Identifikace chmelových látek odrůdy Mandarina Bavaria

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	124-38-9	Oxid uhličitý	91	0	421!	0,09
2	7803-49-8	Hydroxylamin	97	0	441!	0,38
3	67-64-1	Aceton	98	455	484!	1,08
4	64-19-7	Kyselina octová	98	576	571	0,48
5	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	96	600	606	1,79
6	78-83-1	2-methylpropanol	95	597	618	0,06
7	107-87-9	2-pentanon	95	654	648	0,12
8	142-82-5	<i>n</i> -Heptan	90	717	733	0,30
9	79-31-2	Kyselina isomáselná	93	774	757	0,49
10	556-82-1	Prenol	92	772	773	0,18
11	503-74-2	Kyselina isovalerová	93	842	848	0,86
12	97-85-8	Isobutylisobutyrat	95	913	913	0,6
13	80-56-8	α -pinen	95	933	936	0,20
14	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	97	942	951	0,43
15	624-54-4	Amylpropionát	93	984	971	0,09
16	127-91-3	β -pinen	94	978	981	0,69
17	123-35-3	Myrcen	91	991	990	7,09
18		NI			1011	0,24
19	106-27-4	Isoamylbutyrát	95	1019	1015	1,83
20		NI			1019	0,23
21	138-86-3	Limonen	92	1030	1032	0,41
22	111-14-8	Kyselina heptanová	96	1073	1080	0,31
23		NI			1086	0,26
24	78-70-6	Linalool	91	1101	1100	0,73
25	2445-78-5	2-methylbutyl-2-methylbutyrát	87	1104	1102	0,23
26	2445-77-4	2-methylbutylisovalerát	94	1109	1107	0,15
27	111-11-5	Methyloctanoát	95	1125	1123	0,13
28	124-07-2	Kyselina kaprylová	96	1173	1176	0,40
29		NI			1200	0,20
30	20731-19-5	Methyl non-4-enoát	90	1191	1210	0,11
31	1731-84-6	Methylnonanoát	89	1183	1223	0,96
32		NI			1226	1,16
33	106-24-1	Geraniol	96	1255	1253	0,31
34	19009-56-4	2-methyl-dekanal	90	1258	1257	0,25
35	112-05-0	Kyselina nonanová	93	1272	1271	0,49
36	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	93	1259	1277	0,10
37	110-42-9	Methyldekanoát	92	1282	1286	0,25
38	112-12-9	2-undekanon	96	1294	1293	0,56
39	1191-02-2	Methyl dek-4-enoát	94	1290	1307	1,46
40		NI			1309	0,36
41		NI			1317	0,15
42	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	92	1320	1322	0,92
43	14436-32-9	Kyselina kaprolejová	89	1362	1361	0,87
44		NI			1364	0,31
45	334-48-5	Kyselina dekanová	94	1372	1369	0,13

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
46	14912-44-8	α -Ylangen	90	1371	1378	0,21
47	3856-25-5	α -Kopaen	92	1375	1384	0,59
48	6175-49-1	2-dodekanon	93	1393	1394	0,24
49		NI			1410	0,17
50	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	93	1424	1431	3,36
51	18252-46-5	(Z)- α -Bergamoten	97	1430	1439	1,76
52	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	95	1452	1454	1,02
53		NI			1460	0,11
54	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1468	7,65
55	30021-74-0	γ -Muurolen	95	1478	1483	2,92
56	644-30-4	α -Kurkumen	93	1524	1487	6,87
57	55123-21-2	(E)- β -Bergamoten	90	1483	1492	0,63
58	593-08-8	2-Tridekanon	95	1495	1496	0,64
59	17066-67-0	β -Selinen	89	1501	1501	10,42
60	473-13-2	α -Selinen	91	1502	1509	6,88
61	495-61-4	β -Bisabolen	93	1508	1513	2,81
62	39029-41-9	γ -Kadinen	92	1512	1524	1,25
63	483-76-1	δ -Kadinen	93	1518	1527	1,48
64	73209-42-4	(E)-Kalamenen	89	1527	1533	1,14
65	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	91	1536	1543	0,35
66	24406-05-1	α -Kadinen	94	1538	1547	0,43
67	21391-99-1	α -Kalakoren	96	1544	1552	0,31
68		NI			1559	0,11
69	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	93	1557	1571	0,33
70	38142-57-3	ar-Turmerol	95	1578	1583	0,25
71	1139-30-6	Karyofylen oxid	97	1587	1597	0,76
72		NI			1605	0,29
73	19888-33-6	Humulen epoxid I	97	1592	1613	0,66
74	19888-34-7	Humulen epoxid II	92	1613	1626	2,36
75	5945-72-2	Neointermedeol	92	1613	1632	0,50
76		NI			1648	1,77
77		NI			1653	0,61
78		NI			1663	1,55
79		NI			1667	0,81
80		NI			1672	0,85
81	6168-59-8	Intermedeol	87	1668	1674	0,80
82	15352-77-9	β -Bisabolol	85	1677	1679	0,28
83		NI			1684	0,26
84	19435-77-9	Allohimachalol	86	1689	1688	0,41
85	78148-59-1	(-)-epi- α -Bisabolol	91	1679	1694	1,36
86		NI			1699	0,46
87		NI			1704	0,69
88		NI			1723	0,93
89		NI			1739	0,14
90	30199-26-9	Xanthorrhizol	88	1750	1754	0,37
91		NI			1794	0,19

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
92		NI			1802	0,48
93		NI			1844	1,77
94		NI			1857	0,18
95		NI			1899	0,23
96	112-39-0	Methylpalmitát	94	1925	1924	0,26
97	20016-73-3	m-Kamforen	91	1946	1953	0,17
98	1113-21-9	(E,E)-Geranyllinalool	85	2046	2023	0,19
99	301-00-8	Methylinolenát	91	2098	2100	0,29

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/6 - Identifikace chmelových látek odrůdy Premiant (nový)

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	67-64-1	Aceton	98	455	487!	0,76
2	64-19-7	Kyselina octová	98	576	573	0,61
3	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	97	600	606	0,98
4	503-74-2	Kyselina isovalerová	98	811	843	0,33
5	80-56-8	α -Pinen	96	933	936	0,13
6	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	96	942	952	0,20
7	127-91-3	β -Pinen	89	978	981	0,43
8	110-93-0	6-Methyl-5-hepten-2-on	91	986	985	0,18
9	123-35-3	Myrcene	92	991	990	6,15
10	106-27-4	Isoamylbutyrát	95	1019	1015	0,27
11		NI			1021	0,23
12	138-86-3	Limonen	93	1030	1032	0,41
13	3779-61-1	(E)- β -ocimen	92	1046	1047	0,13
14	5989-33-3	cis-Linalool oxid	91	1069	1074	0,13
15	111-14-8	Kyselina heptanová	87	1073	1078	0,23
16	821-55-6	2-Nonanone	94	1090	1091	0,50
17	78-70-6	Linalool	97	1101	1101	1,62
18	693-54-9	2-Dekanon	97	1196	1192	0,60
19		NI			1223	0,88
20	19009-56-4	2-methyl-dekanal	93	1258	1257	0,25
21	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	94	1259	1277	0,48
22	112-12-9	2-undekanon	95	1294	1293	1,63
23	1191-02-2	Methyl dek-4-enoát	86	1290	1307	0,27
24	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	94	1320	1322	0,65
25	14436-32-9	Kyselina kaprolejová	86	1362	1361	0,83
26		NI			1364	0,47
27	14912-44-8	α -Ylangen	93	1371	1378	0,51
28	3856-25-5	α -Kopaen	93	1375	1384	1,49
29	6175-49-1	2-dodekanon	96	1393	1394	0,46
30	118-65-0	(Z)- β -Karyofylen	90	1494	1414	0,14
31	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	95	1424	1432	8,80
32	18252-44-3	β -Kopaen	96	1433	1440	0,95
33	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	95	1452	1455	1,63
34	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1470	18,89
35		NI			1480	0,33
36	30021-74-0	γ -Muurolen	95	1478	1484	2,16
37	10208-80-7	α -Muurolen	92	1497	1488	0,41
38	502-61-4	α -Farnesen	88	1458	1491	0,58
39	593-08-8	2-Tridekanon	95	1495	1496	1,20
40	17066-67-0	β -Selinen	92	1492	1501	1,81
41	473-13-2	α -Selinen	89	1502	1508	2,88
42		NI			1512	0,36
43	39029-41-9	γ -Kadinen	91	1512	1524	2,71
44	483-76-1	δ -Kadinen	92	1518	1527	3,21
45	73209-42-4	(E)-Kalamenen	95	1527	1532	1,50

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
46	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	96	1536	1543	0,58
47	24406-05-1	α -Kadinen	96	1538	1547	0,74
48	21391-99-1	α -Kalakoren	97	1544	1552	0,67
49		NI			1566	0,19
50	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	93	1557	1572	0,53
51		NI			1588	0,09
52		NI			1591	0,07
53	1139-30-6	Karyofylen oxid	92	1587	1597	2,17
54		NI			1601	0,26
55	19888-33-6	Humulen epoxid I	97	1592	1614	1,68
56	24405-58-1	Humulol	93	1604	1620	0,24
57	19888-34-7	Humulen epoxid II	90	1613	1627	5,62
58	1139-17-9	Isolongifolol	83	1635	1632	0,42
59		NI			1639	0,22
60	25018-44-4	Epikubenol	91	1631	1641	0,30
61		NI			1649	4,09
62		NI			1653	1,16
63	19435-97-3	α -Muurolol	90	1641	1663	1,70
64		NI			1668	0,46
65		NI			1671	0,58
66	–	(Z)-Pentadek-6-en-2-on	93	1656	1672	0,71
67		NI			1686	0,65
68		NI			1691	0,15
69		NI			1696	0,65
70	2345-28-0	2-Pentadekanon	93	1697	1698	0,31
71	106-28-5	(E)-Farnesol	93	1710	1720	0,22
72		NI			1723	0,08
73		NI			1724	0,19
74		NI			1740	0,36
75		NI			1756	0,14
76	544-63-8	Kyselina myristová	94	1769	1761	0,15
77		NI			1771	0,17
78		NI			1785	0,12
79		NI			1794	0,04
80	18787-63-8	2-Hexadekanon	88	1748	1800	0,07
81		NI			1817	0,24
82		NI			1822	0,10
83		NI			1834	0,22
84		NI			1841	0,09
85		NI			1857	0,53
86		NI			1869	0,14
87		NI			1883	0,23
88	112-39-0	Methylpalmitát	93	1925	1924	0,38
89	20016-73-3	m-Kamforen	91	1982	1953	0,28
90	57-10-3	Kyselina palmitová	86	1968	1962	0,82
91		NI			1988	0,19

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
92		NI			1992	0,16
93		NI			2089	0,33
94	112-63-0	Methyl linolát	93	2093	2094	0,44
95	301-00-8	Methyl linolenát	86	2100	2098	0,54
96		NI			2101	0,17

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/7 - Identifikace chmelových látek odrůdy Premiant (starý)

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	67-64-1	Aceton	98	455	488!	0,93
2	64-19-7	Kyselina octová	98	576	573	0,63
3	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	97	600	607	1,23
4	108-10-1	4-Methylpentan-2-on	97	732	734	0,16
5	556-82-1	Prenol	96	772	773	0,10
6	107-86-8	3-Methyl-2-butenal	91	780	786	0,16
7	66-25-1	Hexanal	97	806	802	0,25
8	503-74-2	Kyselina isovalerová	92	842	852	0,77
9	116-53-0	Kyselina 2-methylmáselná	98	811	859	0,35
10	24070-70-0	Cyclopentanol	94	988	902	0,27
11	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	98	942	951	0,89
12		NI			981	0,16
13	110-93-0	6-Methyl-5-hepten-2-on	81	938	985	0,60
14	16957-70-3	(E)-2-methyl-2-pentenová kyselina	91	959	1000	0,26
15		NI			1024	0,2
16		NI			1058	0,12
17	5989-33-3	(Z)-Linalool oxid	94	1069	1074	0,16
18	111-14-8	Kyselina heptanová	85	1073	1078	0,27
19	39028-58-5	(E)-Linalool oxid	86	1086	1089	0,13
20	821-55-6	2-Nonanone	92	1090	1091	0,13
21	78-70-6	Linalool	97	1101	1101	0,63
22	1604-28-0	6-Methyl-3,5-heptadien-2-on	91	1102	1106	0,22
23	124-07-2	Kyselina kaprylová	92	1173	1173	0,12
24		NI			1181	0,19
25	693-54-9	2-Dekanon	95	1196	1192	0,42
26		NI			1204	2,41
27	19009-56-4	2-methyl-dekanal	90	1258	1251	0,17
28	112-05-0	Kyselina nonanová	92	1272	1269	0,24
29	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	94	1259	1277	0,47
30	112-12-9	2-undekanon	95	1294	1293	1,74
31	1191-02-2	Methyl dek-4-enoát	87	1290	1307	0,23
32		NI			1317	0,10
33	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	93	1320	1322	0,44
34	53678-20-9	Kyselina E-3-decenová	83	1380	1356	0,78
35		NI			1359	0,42
36	123-08-0	4-Hydroxybenzaldehyd	92	1363	1373	0,24
37	14912-44-8	α -Ylangen	87	1371	1378	0,35
38	3856-25-5	α -Kopaen	94	1375	1384	0,78
39	6175-49-1	2-dodekanon	98	1393	1394	0,68
40	121-33-5	Vanillin	90	1392	1404	0,14
41		NI			1414	0,08
42		NI			1419	0,07
43	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	97	1424	1430	0,33
44	18252-44-3	β -Kopaen	96	1433	1440	0,39

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
45	3796-70-1	(E)-Geranylaceton	94	1420	1449	0,24
46		NI			1452	0,27
47	6753-98-6	α -Humulenen	95	1454	1457	2,92
48		NI			1479	0,09
49	30021-74-0	γ -Muurolen	96	1475	1484	2,03
50	593-08-8	2-Tridekanon	96	1449	1495	1,72
51	17066-67-0	β -Selinen	94	1492	1501	1,24
52	473-13-2	α -Selinen	90	1482	1507	1,28
53	39029-41-9	γ -Kadinen	92	1512	1523	2,47
54	483-76-1	δ -Kadinen	95	1518	1527	0,38
55	483-77-2	(Z)-Kalamenen	95	1537	1531	1,44
56		NI			1537	0,25
57	24406-05-1	α -Kadinen	95	1538	1546	0,37
58	50277-34-4	β -Kalakoren	97	1544	1552	0,50
59	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	92	1557	1572	0,74
60		NI			1588	0,38
61	1139-30-6	Karyofylen oxid	88	1587	1598	4,21
62		NI			1603	0,17
63	19888-33-6	Humulen epoxid I	95	1592	1614	3,05
64	19888-34-7	Humulen epoxid II	88	1613	1629	12,62
65	25018-44-4	Epikubenol	89	1631	1641	0,32
66	19435-97-3	α -Muurolol	94	1641	1650	7,33
67		NI			1654	2,29
68		NI			1658	0,50
69		NI			1662	0,74
70		NI			1664	0,90
71		NI			1667	0,81
72	–	(Z)-Pentadek-6-en-2-on	87	1656	1670	2,21
73		NI			1681	0,33
74	76738-75-5	(+)-epi- α -bisabolol	93	1679	1695	1,54
75	2345-28-0	2-Pentadekanon	90	1648	1698	0,63
76	18367-70-9	iso-Longifololacetát	82	1759	1715	0,14
77		NI			1741	3,61
78		NI			1748	0,14
79		NI			1756	1,77
80	544-63-8	Kyselina myristová	93	1769	1761	0,34
81		NI			1770	0,30
82		NI			1774	0,53
83		NI			1781	0,18
84		NI			1785	1,41
85		NI			1792	0,50
86		NI			1799	0,47
87		NI			1800	1,96
88		NI			1815	0,70
89	68607-88-5	Perhydrofarnesylaceton	85	1841	1842	0,44
90		NI			1851	0,30

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
91		NI			1857	0,65
92		NI			1864	0,34
93		NI			1869	0,30
94		NI			1883	0,44
95	2922-51-2	2-Heptadekanon	94	1847	1901	0,16
96		NI			1906	0,37
97		NI			1913	0,19
98	112-39-0	Methylpalmitát	92	1925	1924	0,85
99	57-10-3	Kyselina palmitová	92	1968	1962	1,15
100		NI			1971	0,12
101		NI			1989	1,42
102		NI			1994	1,15
103		NI			2005	0,14
104	112-63-0	Methyl linolát	91	2093	2093	0,53
105		NI			2096	2,06
106		NI			2098	1,42
107		NI			2100	0,21

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/8 - Identifikace chmelových látek odrůdy Sládek (nový)

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	67-64-1	Aceton	99	455	488!	0,48
2	64-19-7	Kyselina octová	98	576	574	0,52
3	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	97	600	604	0,34
4	137-32-6	sec-Butyl karbinol	90	731	740	0,10
5	503-74-2	Kyselina isovalerová	98	811	836	0,13
6	80-56-8	α -Pinen	95	933	934	0,08
7	-	NI			955	0,08
8	127-91-3	β -pinen	90	978	979	0,26
9	123-35-3	Myrcen	95	991	990	7,97
10	106-27-4	Isoamylbutyrát	95	1019	1015	0,26
11		NI			1022	0,19
12	138-86-3	Limonen	98	1030	1031	0,31
13	3779-61-1	(E)- β -ocimen	96	1046	1048	0,26
14	111-14-8	Kyselina heptanová	96	1073	1076	0,45
15	821-55-6	2-Nonanone	94	1052	1081	0,32
16	78-70-6	Linalool	97	1101	1101	0,65
17	124-07-2	Kyselina kaprylová	92	1173	1175	0,35
18	693-54-9	2-Dekanon	93	1196	1198	0,48
19	19550-03-9	2,3-Dimethyl-2-hexanol	90	1239	1240	0,81
20	106-24-1	Geraniol	96	1255	1256	0,35
21	19009-56-4	2-methyl-dekanal	98	1258	1257	0,24
22	112-05-0	Kyselina nonanová	92	1272	1273	0,44
23	-	(Z)-Undek-6-en-2-on	90	1259	1275	0,30
24	112-12-9	2-undekanon	97	1294	1295	2,01
25	1191-02-2	Methyl dek-4-enoát	89	1290	1301	0,28
26		NI			1317	0,10
27		NI			1325	0,09
28	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	94	1320	1321	1,84
29	14436-32-9	Kyselina kaprolejová	89	1362	1365	0,94
30		NI			1366	0,38
31	334-48-5	Kyselina dekanová	97	1372	1372	0,32
32	14912-44-8	α -Ylangen	96	1371	1374	0,57
33	3856-25-5	α -Kopaen	97	1375	1380	1,58
34	6175-49-1	2-dodekanon	95	1393	1395	0,68
35	118-65-0	(Z)- β -Karyofylen	94	1494	1432	0,17
36	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	97	1424	1433	10,05
37	18252-44-3	β -Kopaen	96	1433	1447	0,67
38	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	95	1452	1454	0,10
39		NI			1457	0,38
40	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1461	17,97
41	16729-00-3	Kadina-1(6),4-dien	95	1463	1463	0,43
42	30021-74-0	γ -Muurolen	93	1478	1482	2,63
43	20085-19-2	α -Amorphene	94	1495	1492	0,46
44	593-08-8	2-Tridekanon	98	1495	1496	1,83
45	17066-67-0	β -Selinen	92	1492	1502	1,92

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
46	41702-63-0	Epizonarene	97	1498	1501	0,25
47	473-13-2	α -Selinen	96	1501	1505	2,06
48	523-47-7	β -Kadinen	89	1508	1508	0,45
49	39029-41-9	γ -Kadinen	92	1512	1515	3,04
50	483-76-1	δ -Kadinen	93	1518	1519	4,01
51	483-77-2	(Z)-Kalamenen	95	1537	1534	1,31
52	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	97	1536	1542	0,96
53	24406-05-1	α -Kadinen	98	1538	1546	0,93
54	21391-99-1	α -Kalakoren	95	1544	1550	0,64
55		NI			1562	0,19
56	72922-19-1	E,Z-5,7-Dodekadien-1-ol acetát	87	1596	1569	0,32
57	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	92	1557	1572	0,99
58	–	Karyofylenyl alkohol	94	1590	1574	0,10
59	1139-30-6	Karyofylen oxid	89	1587	1587	1,49
60	19888-33-6	Humulen epoxid I	98	1592	1613	0,66
61		NI			1618	0,07
62	19888-34-7	Humulen epoxid II	95	1613	1623	2,70
63	21653-33-8	Acorenone B	94	1624	1632	0,46
64	–	Muurola-4,10(14)-dien-1- β -ol	91	1632	1636	0,15
65	25018-44-4	Epikubenol	91	1631	1639	0,28
66		NI			1644	2,82
67		NI			1647	0,98
68	19435-97-3	α -Muurolol	89	1641	1653	2,70
69		NI			1657	1,36
70	–	(Z)-Pentadek-6-en-2-on	87	1656	1659	2,03
71		NI			1664	0,08
72		NI			1671	0,61
73		NI			1678	0,23
74		NI			1685	0,37
75	2345-28-0	2-Pentadekanon	90	1648	1691	0,52
76		NI			1706	0,17
77		NI			1740	0,10
78		NI			1745	0,29
79	544-63-8	Kyselina myristová	94	1769	1764	0,17
80		NI			1771	0,09
81		NI			1776	0,22
82		NI			1787	0,39
83		NI			1789	0,08
84	18787-63-8	2-Hexadekanon	88	1748	1791	0,08
85		NI			1799	0,27
86		NI			1807	0,12
87		NI			1813	0,18
88	489-41-8	(-)-Globulol	89	1802	1825	0,48
89		NI			1846	0,17
90		NI			1849	0,13
91		NI			1900	0,22

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
92		NI			1917	0,12
93	112-39-0	Methylpalmitát	94	1925	1928	0,46
94	20016-73-3	m-Kamforen	91	1946	1952	0,40
95	57-10-3	Kyselina palmitová	94	1968	1963	0,64
96	20016-72-2	p-Kamforen	93	1982	1987	0,09
97		NI			1989	0,14
98		NI			1991	0,16
99		NI			1996	0,22
100	112-63-0	Methyl linolát	97	2093	2093	0,48
101	301-00-8	Methyl linolenát	92	2098	2101	0,52
102		NI			2105	0,10

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/9 - Identifikace chmelových látek odrůdy Sládek (starý)

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	124-38-9	Oxid uhličitý	92	0	425!	1,05
2	67-64-1	Aceton	97	455	484!	0,65
3	64-19-7	Kyselina octová	98	576	572	1,65
4	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	97	600	605	0,12
5	107-87-9	2-Pentanon	94	654	647	0,22
6	108-10-1	4-Methylpentan-2-on	96	732	733	0,88
7	79-31-2	Kyselina 2-methylpropanová	98	711	757	0,12
8	556-82-1	Prenol	91	772	772	0,15
9	107-86-8	3-Methyl-2-butenal	91	780	785	0,29
10	66-25-1	Hexanal	97	806	802	2,33
11	503-74-2	Kyselina isovalerová	98	811	856	0,41
12	116-53-0	Kyselina 2-methylmáselná	98	811	863	0,21
13	24070-70-0	Cyclopentanol	94	988	902	1,14
14	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	98	942	951	0,07
15		NI			958	0,16
16		NI			974	0,24
17	110-93-0	6-Methyl-5-hepten-2-on	85	938	985	0,2
18	16957-70-3	(E)-2-methyl-2-pentenová kyselina	92	959	1001	0,35
19		NI			1008	0,14
20	106-27-4	Isoamylbutyrát	90	1019	1015	0,07
21		NI			1019	0,07
22		NI			1057	0,05
23		NI			1087	0,30
24	124-07-2	Kyselina kaprylová	95	1173	1176	0,32
25		NI			1179	0,32
26	693-54-9	2-Dekanon	93	1151	1192	3,85
27		NI			1228	0,17
28		NI			1244	0,14
29	19009-56-4	2-methyl-dekanal	90	1258	1257	0,29
30	112-05-0	Kyselina nonanová	94	1272	1270	0,32
31	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	92	1259	1277	2,23
32	112-12-9	2-undekanon	95	1294	1293	0,17
33	1191-02-2	Methyl dek-4-enoát	91	1290	1307	0,67
34	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	93	1320	1322	0,12
35	72636-53-4	2,5-Dibutylfuran	88	1328	1333	0,14
36		NI			1342	0,62
37	53678-20-9	Kyselina E-3-decenová	83	1380	1359	0,19
38		NI			1363	0,14
39	334-48-5	Kyselina dekanová	92	1372	1368	0,46
40	100-83-4	3-Hydroxybenzaldehyd	93	1303	1372	0,30
41	14912-44-8	α -Ylangen	89	1371	1378	0,79
42	3856-25-5	α -Kopaen	90	1375	1384	0,65
43	6175-49-1	2-dodekanon	93	1393	1394	0,11
44		NI			1414	0,13

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
45		NI			1424	0,15
46	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	96	1424	1430	0,21
47	18252-44-3	β -Kopaen	86	1435	1440	0,19
48		NI			1451	0,23
49		NI			1462	0,89
50	6753-98-6	α -Humulen	94	1454	1467	0,15
51	30021-74-0	γ -Muurolen	95	1478	1472	2,47
52		NI			1484	0,20
53	10208-80-7	α -Muurolen	89	1497	1488	0,22
54	112-53-8	1-Dodekanol	90	1457	1491	2,71
55	593-08-8	2-Tridekanon	94	1495	1496	1,14
56	17066-67-0	β -Selinen	94	1492	1501	1,04
57	473-13-2	α -Selinen	94	1497	1507	2,55
58	39029-41-9	γ -Kadinen	93	1512	1523	0,10
59	483-76-1	δ -Kadinen	94	1518	1527	1,17
60	483-77-2	(Z)-Kalamenen	94	1537	1531	0,26
61		NI			1537	0,26
62	24406-05-1	α -Kadinen	92	1538	1546	0,42
63	21391-99-1	α -Kalakoren	96	1544	1552	0,16
64	1803-39-0	Valeranon	82	1550	1559	0,67
65	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	94	1557	1572	0,46
66		NI			1587	0,17
67		NI			1592	3,86
68	1139-30-6	Karyofylen oxid	90	1587	1597	0,67
69		NI			1601	1,76
70	19888-33-6	Humulen epoxid I	90	1592	1614	9,00
71	19888-34-7	Humulen epoxid II	88	1613	1627	0,22
72	25018-44-4	Epikubenol	91	1631	1641	4,93
73		NI			1652	1,56
74		NI			1653	0,12
75		NI			1664	0,70
76		NI			1669	2,61
77		NI			1671	1,81
78		NI			1675	0,16
79		NI			1686	1,93
80		NI			1689	0,25
81		NI			1700	4,07
82		NI			1706	3,65
83		NI			1710	0,15
84		NI			1717	1,82
85		NI			1756	0,35
86	544-63-8	Kyselina myristová	95	1769	1770	0,30
87		NI			1784	0,47
88		NI			1791	0,18
89		NI			1799	1,40
90		NI			1803	0,37

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
91		NI			1809	0,52
92		NI			1821	0,22
93		NI			1837	3,57
94		NI			1843	0,73
95		NI			1848	0,48
96		NI			1867	0,19
97		NI			1876	0,30
98		NI			1888	0,16
99	84-69-5	Kyselina ftalová	96	1908	1894	0,26
100		NI			1900	0,16
101	112-39-0	Methylpalmitát	92	1925	1921	1,35
102	20016-73-3	m-Kamforen	95	1982	1965	1,05
103	57-10-3	Kyselina palmitová	88	1968	1966	0,17
104		NI			1971	2,17
105		NI			1979	1,81
106		NI			1984	0,19
107		NI			1992	0,21
108		NI			1999	0,69
109		NI			2003	2,54
110		NI			2009	1,64
111		NI			2012	0,14
112	112-61-8	Methyl stearát	95	2077	2097	0,27

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/10 - Identifikace chmelových látek ze starší směsi odrůd

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	67-64-1	Aceton	94	455	488!	0,75
2	64-19-7	Kyselina octová	98	576	599	2,29
3	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	96	600	608	1,33
4		NI			678	0,21
5	108-10-1	4-Methylpentan-2-on	93	732	734	0,27
6	565-61-7	3-Methylpentan-2-on	93	745	748	0,39
7	79-31-2	Kyselina 2-methylpropanová	97	711	770	1,81
8	66-25-1	Hexanal	97	806	802	0,17
9	16713-37-4	Isobutyraldehyd methylhydrazon	82	868	846	0,30
10	116-53-0	Kyselina 2-methylmásečná	97	811	861	1,65
11	24070-70-0	Cyclopentanol	95	988	902	0,18
12	106-70-7	Methyl hexanoát	94	922	924	0,16
13	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	98	942	952	2,11
14	100-52-7	Benzaldehyd	96	960	966	0,17
15	3391-86-4	1-Octen-3-ol	85	978	981	0,23
16	110-93-0	6-Methyl-5-hepten-2-on	87	986	985	0,56
17	142-62-1	Kyselina kapronová	86	979	990	0,78
18		NI			998	0,49
19	106-27-4	Isoamylbutyrát	95	1019	1015	0,27
20		NI			1032	0,15
21	5989-33-3	(Z)-Linalool oxid	94	1069	1074	0,31
22	111-14-8	Kyselina heptanová	95	1073	1080	0,44
23	39028-58-5	(E)-Linalool oxid	95	1086	1089	0,22
24	78-70-6	Linalool	96	1101	1101	0,34
25	2445-77-4	2-methylbutyl isovalerát	93	1109	1108	0,22
26		NI			1144	0,37
27		NI			1168	0,19
28	124-07-2	Kyselina kaprylová	95	1173	1175	0,30
29		NI			1183	0,32
30	693-54-9	2-Dekanon	82	1196	1192	0,26
31		NI			1204	0,24
32		NI			1229	3,78
33	106-24-1	Geraniol	93	1255	1253	0,36
34	19009-56-4	2-methyl-dekanal	95	1258	1257	0,16
35	112-05-0	Kyselina nonanová	94	1289	1271	0,36
36	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	88	1259	1277	0,22
37	112-12-9	2-undekanon	94	1294	1293	0,87
38	1191-02-2	Methyl dek-4-enoát	91	1290	1307	0,17
39		NI			1310	0,23
40	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	92	1320	1322	0,42
41		NI			1358	0,58
42		NI			1361	0,26
43	334-48-5	Kyselina dekanová	94	1372	1368	0,30
44	123-08-0	4-Hydroxybenzaldehyd	92	1363	1372	0,29
45		NI			1378	0,33

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
46	3856-25-5	α -Kopaen	94	1375	1384	0,56
47	6175-49-1	2-dodekanon	96	1393	1394	0,39
48	121-33-5	Vanillin	86	1392	1404	0,20
49		NI			1409	0,16
50		NI			1428	0,18
51	357414-37-0	10,10-Dimethyl-2,6-dimethylenbicyclo[7.2.0]undekan	89	1489	1439	0,36
52	689-67-8	Geranyl aceton	89	1420	1449	0,16
53		NI			1459	0,2
54		NI			1461	0,32
55	6753-98-6	α -Humulen	90	1454	1467	0,31
56		NI			1472	0,23
57	30021-74-0	γ -Muurolen	95	1478	1484	3,54
58	112-53-8	1-Dodekanol	90	1457	1491	0,30
59	593-08-8	2-Tridekanon	97	1449	1496	1,17
60	17066-67-0	β -Selinen	98	1492	1501	3,2
61	473-13-2	α -Selinen	98	1501	1507	1,43
62	39029-41-9	γ -Kadinen	93	1512	1523	2,07
63	73209-42-4	(E)-Kalamenen	95	1537	1531	0,72
64		NI			1540	0,58
65	21391-99-1	α -Kalakoren	93	1544	1552	0,23
66		NI			1558	0,24
67		NI			1561	0,65
68	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	95	1557	1572	1,03
69	38142-57-3	ar-Turmerol	93	1578	1584	0,21
70		NI			1586	0,41
71	1139-30-6	Karyofylen oxid	91	1587	1597	1,24
72	3915-83-1	Neryl isovalerát	89	1582	1604	0,28
73		NI			1608	0,62
74	19888-33-6	Humulen epoxid I	95	1592	1613	1,17
75	19888-34-7	Humulen epoxid II	94	1613	1626	3,26
76	5945-72-2	Neointermedeol	84	1613	1632	0,32
77	25018-44-4	Epikubenol	89	1631	1642	0,38
78	19435-97-3	α -Muurolol	94	1641	1649	3,77
79	357414-37-0	10,10-dimethyl-2,6-bis(methylen)-, (1S,5S,9R)-Bicyclo[7.2.0]undekan-5-ol	89	1636	1654	1,31
80		NI			1667	0,69
81		NI			1670	0,74
82	-	(Z)-Pentadek-6-en-2-on	89	1658	1672	2,33
83	483-78-3	Kadalen	93	1677	1686	1,9
84		NI			1689	0,35
85		NI			1704	1,48
86		NI			1715	0,16
87		NI			1724	1,54
88		NI			1740	1,80
89		NI			1757	0,69

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
90	544-63-8	Kyselina myristová	92	1769	1764	1,84
91		NI			1774	0,33
92		NI			1785	1,20
93		NI			1798	0,46
94	–	11,12-Epoxytetradekan-1-ol	85	1831	1800	0,61
95		NI			1811	1,51
96		NI			1825	1,70
97		NI			1836	0,58
98	68607-88-5	Perhydrofarnesylaceton	90	1841	1842	0,51
99		NI			1854	0,36
100		NI			1865	0,16
101		NI			1874	0,40
102		NI			1892	0,41
103	2649-64-1	Klovanediol	93	1840	1906	0,70
104		NI			1914	0,34
105	112-39-0	Methylpalmitát	92	1925	1925	1,64
106	25263-97-2	Isobutylmyristát	92	1914	1943	0,29
107	57-10-3	Kyselina palmitová	96	1968	1963	0,96
108		NI			1678	0,19
109	628-97-7	Ethylpalmitát	80	1993	1992	0,29
110		NI			1999	1,66
111		NI			2087	1,53
112	112-63-0	Methyl linolát	86	2093	2093	0,50
113		NI			2098	1,56
114		NI			2101	1,02
115	112-61-8	Methyl stearát	95	2077	2126	0,18

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/11 - Identifikace chmelových látek odrůdy Vital

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	7803-49-8	Hydroxylamin	96	0	441!	0,09
2	67-64-1	Aceton	98	455	484!	0,38
3	64-19-7	Kyselina octová	98	576	569	1,08
4	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	96	600	606	0,48
5	142-82-5	<i>n</i> -Heptan	89	717	734	1,79
6	556-82-1	Prenol	87	772	773	0,06
7	107-86-8	3-Methyl-2-butenal	91	780	786	0,12
8	503-74-2	Kyselina isovalerová	93	842	851	0,30
9	13019-20-0	2-Methyl-3-heptanon	92	988	888	0,49
10	97-85-8	Isobutylisobutyrat	96	913	913	0,18
11	4984-85-4	4-Hydroxy-3-hexanon	88	916	924	0,86
12	80-56-8	α -Pinen	96	933	936	0,60
13	20019-64-1	5,5-dimethyl-2(5H)-furanon	97	942	951	0,20
14	127-91-3	β -Pinen	95	978	981	0,43
15		NI			985	0,09
16		NI			988	0,69
17	123-35-3	Myrcen	96	991	990	7,09
18		NI			1001	0,24
19	106-27-4	Isoamylbutyrát	95	1019	1015	1,83
20	138-86-3	Limonen	94	1030	1032	0,23
21		NI			1086	0,41
22	821-55-6	2-Nonanon	95	1090	1091	0,31
23	78-70-6	Linalool	94	1101	1101	0,26
24	2445-77-4	2-methylbutylisovalerát	95	1109	1108	0,73
25		NI			1111	0,23
26	111-11-5	Methyl octanoát	95	1125	1123	0,15
27	141-27-5	α -Citral	87	1174	1189	0,13
28	693-54-9	2-Dekanon	95	1196	1192	0,40
29		NI			1226	0,20
30	106-24-1	Geraniol	96	1255	1253	0,11
31	19009-56-4	2-methyl-dekanal	94	1258	1257	0,96
32		NI			1264	1,16
33	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	93	1259	1277	0,31
34	110-42-9	Methyldekanoát	91	1282	1286	0,25
35	112-12-9	2-undekanon	95	1294	1293	0,49
36	1191-02-2	Methyl-dek-4-enoát	94	1290	1308	0,10
37		NI			1310	0,25
38		NI			1317	0,56
39	1189-09-9	Methyl-(E)-geraniát	92	1320	1323	1,46
40	14436-32-9	Kyselina kaprolejová	87	1362	1362	0,36
41		NI			1365	0,15
42		NI			1371	0,92
43	14912-44-8	α -Ylangen	92	1371	1378	0,87
44	3856-25-5	α -Kopaen	93	1375	1384	0,31
45	6175-49-1	2-dodekanon	94	1393	1394	0,13

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
46		NI			1414	0,21
47	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	95	1424	1432	0,59
48		NI			1440	0,24
49		NI			1444	0,17
50		NI			1451	3,36
51	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	90	1452	1454	1,76
52		NI			1460	1,02
53		NI			1468	0,11
54	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1472	7,65
55	4630-07-3	Valencen	91	1474	1484	2,92
56	30021-74-0	γ -Muurolen	91	1478	1489	6,87
57		NI			1492	0,63
58	593-08-8	2-Tridekanon	94	1495	1496	0,64
59	17066-67-0	β -Selinen	89	1501	1502	10,42
60	473-13-2	α -Selinen	92	1502	1510	6,88
61	212394-95-1	Eudesma-1,4(15),11-triene	88	1517	1517	2,81
62	39029-41-9	γ -Kadinen	91	1512	1524	1,25
63	483-76-1	δ -Kadinen	93	1518	1527	1,48
64	73209-42-4	(E)-Kalamenen	94	1527	1532	1,14
65	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	93	1536	1543	0,35
66	24406-05-1	α -Kadinen	91	1538	1547	0,43
67	21391-99-1	α -Kalakoren	97	1544	1552	0,31
68		NI			1566	0,11
69	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	95	1557	1572	0,33
70	1139-30-6	Karyofylen oxid	93	1587	1597	0,25
71	19888-33-6	Humulen epoxid I	97	1592	1613	0,76
72	19888-34-7	Humulen epoxid II	91	1613	1626	0,29
73	5945-72-2	Neointermedeol	92	1613	1632	0,66
74	25018-44-4	Epikubenol	86	1631	1641	2,36
75		NI			1648	0,50
76	357414-37-0	10,10-dimethyl-2,6-bis(methylen)-, (1S,5S,9R)-Bicyclo[7.2.0]undekan-5-ol	89	1636	1653	1,77
77		NI			1663	0,61
78	–	(Z)-Pentadek-6-en-2-on	90	1656	1673	1,55
79		NI			1685	0,81
80	2345-28-0	2-Pentadekanon	90	1697	1698	0,85
81		NI			1723	0,80
82		NI			1740	0,28
83		NI			1746	0,26
84	10032-02-7	Geraniolhexanoát	97	1748	1749	0,41
85		NI			1762	1,36
86	28925-00-0	Acetylcyklododekan	84	1735	1777	0,46
87		NI			1786	0,69
88		NI			1800	0,93
89		NI			1818	0,14
90		NI			1820	0,37

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
91		NI			1834	0,19
92	84-69-5	Kyselina ftalová	93	1908	1864	0,48
93	50767-79-8	Tetradeka-(9Z,11E)-dienyl acetát	85	1841	1869	1,77
94		NI			1901	0,18
95	112-39-0	Methylpalmitát	93	1925	1924	0,23
96	20016-73-3	m-Kamforen	91	1946	1953	0,26
97	20016-72-2	p-Kamforen	93	1982	1989	0,17
98	112-63-0	Methyl linolát	95	2093	2094	0,19
99	301-00-8	Methyl linolenát	93	2098	2100	0,29

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/12 - Identifikace chmelových látek odrůdy Warrior

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	7803-49-8	Hydroxylamine	97	0	444!	0,31
2	64-19-7	Kyselina octová	99	455	488!	0,62
3	13292-87-0	Boran dimethylsulfid	92	0	489!	0,09
4	64-19-7	Kyselina octová	98	572	576	0,44
5	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	97	600	607	0,38
6	137-32-6	sec-Butyl karbinol	94	731	734	0,19
7	79-31-2	Kyselina 2-methylpropanová	97	711	750	0,30
8	97-85-8	Isobutylisobutyrát	95	913	913	0,08
9	80-56-8	α -Pinen	96	933	936	0,27
10	79-92-5	Kamfen	86	943	953	0,19
11		NI			981	0,21
12	123-35-3	Myrcen	97	943	992	11,74
13	106-27-4	Isoamylbutyrát	96	1019	1012	0,25
14	51115-64-1	2-Methylbutyl butanoát	94	1019	1015	0,85
15		NI			1027	0,27
16	138-86-3	Limonen	98	1030	1032	0,88
17	3779-61-1	(E)- β -ocimen	95	1046	1047	0,53
18	111-14-8	Kyselina heptanová	96	1073	1079	0,29
19		NI			1098	0,11
20	78-70-6	Linalool	93	1101	1101	1,24
21	2445-77-4	2-methylbutylisovalerát	94	1109	1107	0,21
22	111-11-5	Methyloctanoát	95	1125	1123	0,19
23		NI			1158	0,20
24	124-07-2	Kyselina kaprylová	97	1173	1177	0,61
25	1120-06-5	Dekan-2-ol	97	1211	1202	0,11
26		NI			1224	0,96
27	106-24-1	Geraniol	97	1228	1253	0,58
28	19009-56-4	2-methyl-dekanal	95	1258	1257	0,19
29		NI			1267	0,16
30	112-05-0	Kyselina nonanová	94	1272	1270	0,25
31	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	94	1259	1277	0,09
32		NI			1283	0,19
33	110-42-9	Methyldekanoát	86	1282	1286	0,09
34	112-12-9	2-undekanon	96	1294	1293	1,08
35		NI			1303	0,77
36	1191-02-2	Methyldek-4-enoát	93	1290	1307	0,70
37		NI			1309	0,23
38		NI			1317	0,08
39	1189-09-9	Methyl (E)-geraniát	90	1320	1322	1,10
40	109-15-9	Octylisobutyrát	93	1346	1343	0,08
41	14436-32-9	Kyselina kaprolejová	86	1362	1363	1,61
42		NI			1366	0,63
43	334-48-5	Kyselina dekanová	92	1372	1372	0,92
44	14912-44-8	α -Ylangen	93	1371	1378	0,50
45	3856-25-5	α -Kopaen	96	1375	1384	1,38

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
46	6175-49-1	2-dodekanon	94	1393	1394	0,25
47	118-65-0	(Z)- β -Karyofylen	92	1494	1414	0,18
48		NI			1421	0,17
49	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	95	1424	1433	9,14
50	357414-37-0	10,10-Dimethyl-2,6-dimethylenbicyclo[7.2.0]undekan	95	1489	1439	0,48
51	67121-39-5	2-Methylbutyl octanoát	94	1417	1448	0,20
52	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	90	1452	1455	0,20
53		NI			1460	0,33
54	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1470	12,63
55	30021-74-0	γ -Muurolen	95	1478	1484	2,66
56	10208-80-7	α -Muurolen	91	1497	1488	0,38
57	502-61-4	α -Farnesen	89	1458	1491	0,76
58	593-08-8	2-Tridekanon	95	1495	1496	1,14
59	17066-67-0	β -Selinen	93	1492	1501	3,47
60	473-13-2	α -Selinen	93	1501	1508	5,24
61	39029-41-9	γ -Kadinen	95	1512	1524	2,05
62	483-76-1	δ -Kadinen	92	1518	1527	2,48
63	73209-42-4	(E)-Kalamenen	86	1527	1532	0,97
64	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	96	1536	1543	0,62
65	24406-05-1	α -Kadinen	95	1538	1547	0,62
66	21391-99-1	α -Kalakoren	97	1544	1552	0,47
67		NI			1564	0,08
68	143-07-7	Kyselina laurová	89	1562	1570	0,30
69	–	(Z)-Tetradek-6-en-2-on	94	1557	1572	0,55
70	–	Karyofylenyl alkohol	93	1590	1575	0,15
71	1139-30-6	Karyofylen oxid	92	1587	1597	1,22
72		NI			1605	0,21
73	19888-33-6	Humulen epoxid I	97	1592	1613	0,41
74	24405-58-1	Humulol	90	1604	1619	0,16
75	19888-34-7	Humulen epoxid II	92	1613	1623	1,81
76	1139-17-9	Isolongifolol	84	1635	1632	0,70
77	–	Muurola-4,10(14)-dien-1- β -ol	91	1632	1639	0,67
78		NI			1649	2,44
79	19431-80-2	Karyofylla-4(12),8(13)-dien-5 β -ol	87	1677	1653	1,62
80		NI			1663	2,29
81		NI			1667	0,72
82	–	(Z)-Pentadek-6-en-2-on	94	1656	1672	2,34
83		NI			1678	0,19
84		NI			1685	0,83
85		NI			1690	0,27
86	2345-28-0	2-Pentadekanon	89	1697	1698	0,71
87	106-28-5	(E)-Farnesol	94	1710	1720	0,23
88		NI			1723	0,12
89		NI			1735	0,12
90		NI			1739	0,27

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
91		NI			1749	0,07
92		NI			1766	0,34
93		NI			1787	0,32
94		NI			1792	0,15
95		NI			1794	0,15
96		NI			1799	0,15
97		NI			1817	0,13
98		NI			1846	0,25
99		NI			1855	0,46
100		NI			1869	0,17
101		NI			1883	0,09
102		NI			1888	0,43
103	112-39-0	Methylpalmitát	93	1925	1924	0,08
104	51532-26-4	Geranyloktanoát	90	1943	1944	0,25
105	20016-73-3	m-Kamforen	91	1982	1953	0,28
106	20016-72-2	p-Kamforen	91	1982	1988	0,11
107		NI			1995	0,18
108		NI			1998	0,14
109		NI			2016	0,22
110	112-63-0	Methylinolat	95	2093	2093	0,46
111	301-00-8	Methylinolenát	88	2098	2100	0,45
112		NI			2105	0,13

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.

Tabulka II/13 - Identifikace chmelových látek odrůdy Willamette

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
1	67-64-1	Aceton	98	455	488!	0,38
2	64-19-7	Kyselina octová	98	576	577	0,61
3	115-18-4	2-methyl-3-buten-2-ol	96	600	607	0,31
4	80-56-8	α -Pinen	95	933	936	0,11
5		NI			941	0,10
6	127-91-3	β -Pinen	92	978	981	0,16
7	110-93-0	6-Methyl-5-hepten-2-on	91	986	986	0,08
8	123-35-3	Myrcen	97	991	991	7,99
9	138-86-3	Limonen	93	1030	1032	0,52
10	100-51-6	Benzylalkohol	96	1040	1039	0,15
11	3779-61-1	(E)- β -ocimen	93	1046	1047	0,10
12	18999-28-5	Kyselina hept-2-enová	83	1081	1079	0,17
13	821-55-6	2-Nonanon	85	1052	1092	0,13
14	78-70-6	Linalool	95	1101	1101	1,11
15		NI			1148	0,07
16	39900-51-1	2,6-dimethyl-1,5,7-Oktatrien-3-ol	91	1120	1158	0,15
17	693-54-9	2-Dekanon	95	1196	1192	0,10
18	119-36-8	Methylsalicylát	95	1192	1198	0,12
19		NI			1223	0,55
20	106-24-1	Geraniol	96	1255	1253	0,14
21	19009-56-4	2-methyl-dekanal	94	1258	1257	0,07
22	–	(Z)-Undek-6-en-2-on	95	1259	1277	0,08
23	112-12-9	2-undekanon	97	1294	1293	0,40
24	1191-02-2	Methyldek-4-enoát	90	1290	1307	0,16
25		NI			1309	0,10
26		NI			1317	0,08
27	1189-09-9	Methyl-(E)-geraniát	94	1320	1322	0,37
28		NI			1350	0,21
29	123-08-0	4-Hydroxybenzaldehyd	93	1363	1370	0,12
30	14912-44-8	α -Ylangen	93	1371	1371	0,53
31	3856-25-5	α -Kopaen	96	1375	1384	1,50
32		NI			1414	0,11
33		NI			1420	0,09
34	87-44-5	(E)- β -Karyofylen	95	1424	1433	8,56
35	18252-46-5	(Z)- α -Bergamoten	95	1430	1440	1,52
36	18794-84-8	(E)- β -Farnesen	93	1452	1457	5,18
37	6753-98-6	α -Humulen	93	1454	1470	15,00
38	30021-74-0	γ -Muurolen	95	1478	1484	2,70
39	10208-80-7	α -Muurolen	97	1497	1488	0,11
40	502-61-4	α -Farnesen	92	1458	1491	1,02
41	593-08-8	2-Tridekanon	97	1495	1495	0,36
42	17066-67-0	β -Selinen	95	1492	1501	1,83
43	473-13-2	α -Selinen	90	1502	1508	3,25
44		NI			1513	0,60

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
45	495-61-4	β-Bisabolen	90	1511	1518	0,07
46	39029-41-9	γ-Kadinen	95	1512	1524	2,39
47	483-76-1	δ-Kadinen	98	1518	1528	2,93
48	73209-42-4	(E)-Kalamenen	97	1527	1532	1,19
49	38758-02-0	(E)-Kadina-1,4-dien	96	1536	1543	0,62
50	24406-05-1	α-Kadinen	98	1538	1547	0,69
51	21391-99-1	α-Kalakoren	98	1544	1553	0,59
52		NI			1577	0,23
53	–	Karyofylenyl alkohol	95	1575	1591	0,19
54	1139-30-6	Karyofylen oxid	92	1587	1597	2,01
55		NI			1610	0,31
56	19888-33-6	Humulen epoxid I	97	1592	1614	1,18
57	24405-58-1	Humulol	89	1604	1619	0,29
58	19888-34-7	Humulen epoxid II	90	1613	1627	3,81
59	1139-17-9	Isolongifolol	83	1635	1632	1,02
60	–	Muurola-4,10(14)-dien-1-beta-ol	91	1632	1639	0,90
61		NI			1649	3,71
62		NI			1654	1,72
63		NI			1659	0,53
64		NI			1663	0,77
65		NI			1670	1,50
66		NI			1683	0,18
67		NI			1685	1,01
68		NI			1691	0,33
69		NI			1696	0,74
70	106-28-5	(E)-Farnesol	96	1710	1720	0,47
71		NI			1724	0,20
72		NI			1729	0,31
73		NI			1738	0,42
74		NI			1748	0,10
75		NI			1756	0,23
76	544-63-8	Kyselina myristová	93	1769	1761	0,39
77		NI			1777	0,44
78		NI			1785	0,11
79		NI			1788	0,11
80		NI			1795	0,10
81		NI			1805	1,24
82		NI			1811	0,37
83		NI			1824	0,51
84		NI			1826	0,41
85		NI			1843	0,17
86		NI			1849	0,36
87		NI			1855	1,71
88	84-69-5	Kyselina ftalová	95	1908	1864	0,16
89		NI			1865	0,23
90		NI			1876	0,08

Pořadí	CAS	Název sloučeniny	Shoda [%]	RI – teor.	RI – nam.	A [%]
91		NI			1889	0,78
92		NI			1899	0,12
93	2922-51-2	2-Heptadekanon	96	1847	1901	0,11
94		NI			1912	0,11
95	112-39-0	Methylpalmitát	93	1878	1925	1,17
96	20016-73-3	m-Kamforen	95	1982	1953	0,27
97	57-10-3	Kyselina palmitová	96	1968	1962	0,70
98	20016-72-2	p-Kamforen	91	1982	1989	0,16
99		NI			1997	0,31
100		NI			2003	0,28
101		NI			2061	0,22
102		NI			2074	0,13
103	112-63-0	Methylinolat	95	2093	2094	0,52
104	301-00-8	Methylinolenát	91	2098	2100	0,70
105		NI			2101	0,21
106	112-61-8	Methylstearát	95	2077	2113	0,07
107		NI			2117	0,09

! – Sloučeniny mimo homologickou řadu alkanů, NI – neidentifikováno, RI – teor. – Retenční indexy vypočítány dle Van den Doola pro nepolární kolonu, RI – nam. – naměřeny Retenční indexy, A – relativní plocha, CAS – registrační číslo jednotlivých sloučenin, pomlčka ve sloupci CAS je u sloučenin, které nemají uvedeno CAS číslo.