

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2025

Bc. Kristýna Hejnochová

Univerzita Pardubice
Fakulta Chemicko-technologická

Bioaktivní látky ve skořici a vliv teploty úpravy na jejich koncentraci
Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Kristýna Hejnochová**
Osobní číslo: **C23264**
Studijní program: **N0531A130030 Hodnocení a analýza potravin**
Téma práce: **Bioaktivní látky ve skořici a vliv teploty úpravy na jejich koncentraci**
Téma práce anglicky: **Bioactive compounds in cinnamon and the effect of processing temperature on their concentration**
Zadávající katedra: **Katedra analytické chemie**

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši zabývající se chemickým složením kůry skořicovníku. Zaměřte se na bioaktivní a senzory aktivní látky a na separační metody, kterými lze tyto látky stanovit.
- V experimentální části navrhnete a optimalizujete metodu na stanovení nejvýznamnějších bioaktivních a senzory aktivních látek ve skořici.
- Pomocí optimalizované metody stanovte obsah nejvýznamnějších sloučenin ve vzorcích skořice a prozkoumejte, jaký vliv bude mít tepelná úprava na obsah těchto látek.
- Dosažené výsledky kriticky zhodnoťte a porovnejte se současným stavem poznání.

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

Seznam doporučené literatury:
Podle pokynů vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Hájek, Ph.D.**
Katedra analytické chemie

Datum zadání diplomové práce: **7. února 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Petr Česla, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. února 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem „Bioaktivní látky ve skořici a vliv teploty úpravy na jejich koncentraci“ 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 9. 5. 2025

Bc. Kristýna Hejnochová v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Hájkovi, Ph.D. za cenné a užitečné rady, trpělivost, a především za čas, který mi věnoval při tvorbě této práce. Velké poděkování patří také mému příteli a celé rodině za jejich neustálou podporu a porozumění během celého mého studia.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá látkami vyskytující se ve skořici. V teoretické části práce je popsáno botanické zařazení skořice, proces jejího pěstování a zpracování, nebo její chemické složení včetně charakteristiky jejích bioaktivních látek. Experimentální část je zaměřena na sledování vlivu tepelné úpravy na koncentraci vybraných látek ve skořici. Nejprve byla provedena optimalizace a validace analytické metody, optimalizace přípravy vzorku a kvantitativní stanovení pomocí metody kalibrační křivky za využití kapalinové chromatografie. Následně byly analyzovány jak tepelně neupravené, tak upravené vzorky dvou druhů skořice při různých teplotách a časech.

KLÍČOVÁ SLOVA

skořice, bioaktivní látky, tepelná úprava, HPLC, analytická metoda, příprava vzorku

ANNOTATION

This diploma thesis focuses on the compounds found in cinnamon. The botanical classification of cinnamon, cultivation and processing, as well as chemical composition, including the characteristics of its bioactive substances are described in the theoretical part of this thesis. The experimental part is aimed at monitoring the effect of heat treatment on the concentration of selected compounds in cinnamon. First, the optimization and validation of the liquid chromatography method were performed, along with sample preparation optimization and quantitative determination using the calibration curve. Subsequently, both untreated and heat-treated samples of two types of cinnamon were analyzed at different temperatures and durations.

KEYWORDS

cinnamon, bioactive compounds, thermal treatment, HPLC, analytical method, sample preparation

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK.....	14
ÚVOD.....	16
1 TEORETICKÁ ČÁST	17
1.1 Obecné informace	17
1.1.1 Skořicovník	17
1.1.2 Skořice	18
1.1.3 Skořicový esenciální olej.....	19
1.2 Historie a význam skořice.....	20
1.3 Složení skořice	22
1.3.1 Chemické složení.....	22
1.3.2 Nutriční a minerální složení.....	27
1.4 Vliv skořice na zdraví.....	29
1.4.1 Antioxidační vlastnosti	29
1.4.2 Antidiabetické účinky	30
1.4.3 Antimikrobiální vlastnosti.....	31
1.4.4 Protizánětlivé účinky	31
1.4.5 Další účinky skořice na zdraví	32
1.5 Využití.....	32
1.6 Stanovení bioaktivních látek ve skořici.....	33
1.6.1 Izolace látek	33
1.6.2 Analýza látek ve skořice	34
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	40
3.1 Přístroje a zařízení.....	40
3.2 Chemikálie.....	40
3.3 Standardní látky.....	41
3.4 Vzorky.....	41
3.5 Postupy	42

3.5.1	Postup přípravy vzorku.....	42
3.5.2	Postup zahřívání vzorků	42
3.5.3	Postup přípravy kalibračních standardů	43
3.5.4	Postup provedení validace	44
3.6	Podmínky analýzy	46
4	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	48
4.1	Optimalizace podmínek	48
4.1.1	Optimalizace přípravy vzorku.....	48
4.1.2	Optimalizace separačních podmínek	50
4.2	Kalibrační závislosti.....	52
4.3	Validace metody.....	55
4.3.1	Mez detekce a mez stanovitelnosti	55
4.3.2	Přesnost a správnost metody	56
4.4	Analýza vzorků skořice.....	68
4.4.1	Analýza vzorků bez zahřívání	69
4.4.2	Vliv teploty na obsah látek ve skořici.....	71
4.4.3	Statistické hodnocení vlivu teploty na obsah látek ve skořici	78
	ZÁVĚR	81
	POUŽITÁ LITERATURA	83
	SEZNAM PŘÍLOH.....	92

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků:

Obrázek 1 Skořicovník cejlonský (<i>Cinnamomum verum</i>) [4].....	17
Obrázek 2 Proces sušení skořicové kůry [5].....	18
Obrázek 3 Skořice cejlonská (vlevo), skořice čínská (vpravo)	19
Obrázek 4 a) EO z listů cejlonské skořice [12], b) EO z kůry cejlonské skořice [12], c) komerčně dostupný skořicový EO [13]	20
Obrázek 5 Vzorec cinnamaldehydu	23
Obrázek 6 Cinnamaldehyd	23
Obrázek 7 Vzorec kyseliny skořicové	24
Obrázek 8 Kyselina skořicová [24]	24
Obrázek 9 Vzorec eugenolu.....	25
Obrázek 10 Eugenol.....	25
Obrázek 11 Vzorec kumarinu	26
Obrázek 12 Kumarin [31]	26
Obrázek 13 Schéma vybraných zdravotních benefitů skořice	29
Obrázek 14 a) skořicová rolka [52], b) churros [53] , c) chai latte [54], d) garam masala [55]	33
Obrázek 15 Schéma HPLC	38
Obrázek 16 Schéma UV/VIS detektoru.....	39
Obrázek 17 Vzorky po vyjmutí z ultrazvukové lázně.....	42
Obrázek 18 Vzorky na hliníkových miskách.....	43
Obrázek 19 Porovnání chromatogramů pro různá extrakční rozpouštědla.....	49
Obrázek 20 Chromatogram standardů o koncentraci 10 mg/l	51
Obrázek 21 Průměrné hodnoty výtěžností v jednom dni pro různé koncentrace standardů (n=5)	58
Obrázek 22 Průměrné hodnoty výtěžností v jednom dni pro různé koncentrace standardů (n=5)	59
Obrázek 23 Hodnoty průměrných výtěžností za 3 dny pro standardy o koncentracích 1 a 10 mg/l (n=6)	60

Obrázek 24 Hodnoty průměrných výtěžností za 3 dny pro standardy o koncentraci 100 mg/l (n=6).....	60
Obrázek 25 Intraday opakovatelnost (n=5).....	61
Obrázek 26 Interday opakovatelnost (n=6).....	62
Obrázek 27 Hodnoty průměrných výtěžností pro standardy o koncentraci 1 mg/l..	63
Obrázek 28 Hodnoty průměrných výtěžností pro standardy o koncentraci 10 mg/l	64
Obrázek 29 Hodnoty výtěžností pro vzorek č. 4 se standardním přídatkem (n=8)...	66
Obrázek 30 Interday opakovatelnost (n=8).....	67
Obrázek 31 Chromatogram pro vzorek č. 4 (1 - protokatechaldehyd, 2 - kyselina chlorogenová, 3 - kyselina kávová, 4 - kyselina p-kumarová, 5 - kumarin, 6 - cinnamylalkohol, 7 - kyselina skořicová, 8 - cinnamaldehyd, 9 - eugenol).....	68
Obrázek 32 Koncentrace cinnamaldehydu v jednotlivých vzorcích (n=2).....	69
Obrázek 33 Koncentrace kumarinu a kyseliny skořicové v jednotlivých vzorcích (n=2).....	70
Obrázek 34 Koncentrace látek v jednotlivých vzorcích (n=2).....	70
Obrázek 35 Změna koncentrace látek v čase při zahřívání na 120 °C (vzorek č. 4, n=4).....	72
Obrázek 36 Změna koncentrace látek v čase při zahřívání na 150 °C (vzorek č. 4, n=4).....	73
Obrázek 37 Vzhled skořice v čase při zahřívání na 180 °C.....	74
Obrázek 38 Změna koncentrace látek v čase při zahřívání na 180 °C (vzorek č. 4, n=4).....	74
Obrázek 39 Změna koncentrace látek při zahřívání na různé teploty po dobu 40 minut (vzorek č. 4, n=4).....	75
Obrázek 40 Změna koncentrace látek v čase při zahřívání na 180 °C (vzorek č. 6 - skořice cejlonská, n=4).....	76
Obrázek 41 Porovnání vzorků č. 4 a 6 pro dobu ohřevu 40 minut při teplotě 180 °C (n=4).....	77

Seznam tabulek:

Tabulka 1 Vědecká klasifikace skořicovníku [3]	17
Tabulka 2 Porovnání vlastností skořice čínské a skořice cejlonské [6–8].....	19
Tabulka 3 Přehled vybraných látek ve skořici a jejich vlastností [16, 17]	22
Tabulka 4 Fyzikální vlastnosti cinnamaldehydu [20].....	23
Tabulka 5 Fyzikální vlastnosti kyseliny skořicové [23].....	24
Tabulka 6 Fyzikální vlastnosti eugenolu [26].....	25
Tabulka 7 Fyzikální vlastnosti kumarinu [30].....	26
Tabulka 8 Přehled makronutrientů obsažených ve skořici.....	27
Tabulka 9 Přehled mikronutrientů obsažených ve skořici (minerály).....	28
Tabulka 10 Přibližný obsah vitamínů ve skořici (na 100 g)	28
Tabulka 11 Přehled izolačních a analytických technik využívaných pro skořici.....	36
Tabulka 12 Používané chemikálie	40
Tabulka 13 Používané standardní látky	41
Tabulka 14 Označení a popis vzorků skořice mleté	41
Tabulka 15 Ředění kalibračních roztoků	44
Tabulka 16 Přídavek standardu	46
Tabulka 17 Podmínky analýzy	46
Tabulka 18 Použitý gradient.....	47
Tabulka 19 Pořadí píků a retenční časy sledovaných látek	51
Tabulka 20 Hodnoty směrníc a úseků a jejich statistická významnost (statisticky významný – ANO, statisticky nevýznamný – NE)	53
Tabulka 21 Hodnoty směrníc a úseků po zpřesnění regresního modelu (statisticky významný – ANO)	54
Tabulka 22 Regresní parametry.....	55
Tabulka 23 Hodnoty mezí detekce a stanovitelnosti.....	56
Tabulka 24 Kritéria přijatelnosti převzatá z AOAC International pro vybrané koncentrace	57
Tabulka 25 Průměrné koncentrace látek v čase a jejich relativní rozdíl (1 mg/l)	64
Tabulka 26 Průměrné koncentrace látek v čase a jejich relativní rozdíl (10 mg/l)	65
Tabulka 27 Výsledky ANOVA a vliv jednotlivých faktorů	79

Tabulka 28 Post-hoc testy pro faktor čas (p-hodnoty).....	80
Tabulka 29 Post-hoc testy pro faktor teplota (p-hodnoty)	80

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ANOVA	Analýza rozptylu (Analysis Of Variation)
AOAC	Association of Official Analytical Collaboration
APCI	Chemická ionizace za atmosférického tlaku (Atmospheric Pressure Chemical Ionization)
BMI	Index tělesné hmotnosti (Body Mass Index)
DART	Přímá analýza v reálném čase
DM2	Diabetes Mellitus typu 2
EFSA	Evropský úřad pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority)
EO	Esenciální olej
ESI	Ionizace elektrosprejem (ElectroSpray Ionisation)
FID	Plamenově-ionizační detektor (Flame Ionization Detector)
GC	Plynová chromatografie (Gass Chromatography)
GLUT4	Glukozový transportér typu 4 (Glucose Transporter Type 4)
GSK-3	Glykogensyntáza kináza-3 (Glycogen Synthase Kinase 3)
HPLC	Vysokoúčinná kapalinová chromatografie (High Performance Liquid Chromatography)
HRMS	Vysokorozlišovací hmotnostní spektrometrie
IU	Mezinárodní jednotka (International Unit)
LOD	Mez detekce (Limit of Detection)
LOQ	Mez kvantifikace (Limit of Quantification)
MF	Mobilní fáze

MS	Hmotnostní spektrometrie
MS/MS	Tandemová hmotnostní spektrometrie
NFE	Bezdušíkaté extraktivní látky (Nitrogen Free Extract)
NP-HPLC	Vysokoučinná kapalinová chromatografie s normálními fázemi (Normal Phase High Performance Liquid Chromatography)
RP-HPLC	Vysokoučinná kapalinová chromatografie s reverzními fázemi (Reverse Phase High Performance Liquid Chromatography)
RSD	Relativní směrodatná odchylka
TDI	Tolerovaný denní příjem (Tolerable Daily Intake)
TNF- α	Tumor nekrotizující faktor
UHPLC	Ultravysokoučinná kapalinová chromatografie
UV/VIS	Ultrafialová a viditelná spektrofotometrie (Ultraviolet-Visible Spectroscopy)

ÚVOD

Skořice patří mezi nejstarší a nejvýznamnější koření používaná člověkem. Její využití sahá až do starověkých civilizací, kde byla ceněna nejen pro svou výraznou chuť a vůni, ale i pro své léčivé účinky. V současnosti je skořice běžně dostupnou a hojně využívanou součástí potravinářského průmyslu i domácí kuchyně, přičemž její atraktivita nespočívá pouze v sensorických vlastnostech, ale také v přítomnosti řady bioaktivních látek. Právě těmto látkám je v posledních desetiletích věnována stále větší pozornost, a to nejen v souvislosti s jejich zdravotním potenciálem, ale i s jejich stabilitou a chováním za různých podmínek.

Jedním z faktorů, který může významně ovlivnit složení skořice, je tepelná úprava. Vzhledem k tomu, že skořice je často součástí tepelně zpracovaných potravin, jako jsou různé dezerty nebo i některé slané pokrmy, je relevantní zkoumat, jak se její chemické složky mění při působení vyšších teplot. Tato problematika je důležitá nejen z pohledu výživového a zdravotního, ale i z hlediska kvality a bezpečnosti potravin. Přestože existuje množství studií věnujících se chemickému složení skořice, méně pozornosti je zatím věnováno tomu, jak přesně tepelné zpracování ovlivňuje jednotlivé složky a jejich vzájemné poměry.

Téma této práce tak spojuje tradiční znalosti o skořici s moderními analytickými přístupy a klade si za cíl přispět k hlubšímu pochopení procesů, které probíhají při jejím použití v kuchyni i v potravinářské výrobě.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Obecné informace

1.1.1 Skořicovník

Skořicovníky (*Cinnamomum spp.*) jsou tropické stálezelené stromy či keře z čeledi vavřínovité (*Lauraceae*), jejichž kůra se využívá k získávání skořice. Vědecká klasifikace skořicovníků je shrnuta v tabulce níže (viz **Tabulka 1**). Tento rod zahrnuje více než 250 různých druhů, avšak nejznámějšími a nejvíce používanými jsou skořicovník čínský (*Cinnamomum cassia*) a skořicovník cejlonský (*Cinnamomum verum*). Méně známé druhy dále jsou skořicovník jávský (*Cinnamomum burmannii*) či *Cinnamomum tamala*. Mezi skořicovníky patří také kastrovník lékařský (*Cinnamomum camphora*), který se využívá k získávání kafru. Tyto stromy, dorůstají výšky 6 až 18 metrů, avšak na plantážích se většinou zkracují na délku 2 až 3 metrů pro usnadnění sklizně. Vyznačují se jednoduchými, kožovitými listy a drobnými, bělavě žlutými květy uspořádanými v květenstvích (viz **Obrázek 1**). Plodem je modročerná bobule. Kůra i listy těchto stromů jsou silně aromatické [1, 2].

Tabulka 1 Vědecká klasifikace skořicovníku [3]

Taxonomická kategorie	Taxon
Říše	Rostliny (<i>Plantae</i>)
Podříše	Cévnaté rostliny (<i>Tracheobionta</i>)
Oddělení	Krytosemenné (<i>Magnoliophyta</i>)
Třída	Nižší dvouděložné (<i>Magnoliopsida</i>)
Řád	Vavřínotvaré (<i>Laurales</i>)
Čeleď	Vavřínovité (<i>Lauraceae</i>)
Rod	Skořicovník (<i>Cinnamomum</i>)



Obrázek 1 Skořicovník cejlonský (*Cinnamomum verum*) [4]

1.1.2 Skořice

Skořice je aromatické koření získávané z kůry skořicovníku (*Cinnamomum*). Proces jejího získávání spočívá v odstranění vnější vrstvy kůry, nařezání vnitřní kůry na proužky a následném sušení (viz **Obrázek 2**), při kterém se kůra stáčí do charakteristických skořicových ruliček. Tyto ruličky lze používat celé, mleté nebo je lze dále zpracovávat. Ze sušené skořice se často pomocí hydrodestilace či parní destilace získává esenciální olej (EO), přičemž alternativními technikami jeho získávání jsou extrakce rozpouštědlem nebo mikrovlnná extrakce [5, 6].



Obrázek 2 Proces sušení skořicové kůry [5]

Jak již bylo zmíněno, mezi nejčastěji používané druhy patří skořice cejlonská (*C. verum*, syn. *C. zeylanicum*), často označovaná jako pravá skořice, a skořice čínská (*C. cassia*). Tyto dva druhy se odlišují vzhledem, chutí, vůní, cenou, chemickým složením i místem původu. Skořice cejlonská se nejčastěji pěstuje na Srí Lance a v některých částech Indie a Karibiku. Vyznačuje se jemnější vůní i chutí a nižším obsahem kumarinu. Naopak skořice čínská je aromatická a výrazná. Má silnější a štiplavější chuť a také vyšší obsah kumarinu (viz **Tabulka 2**). Ve srovnání s cejlonskou skořicí je také výrazně levnější, z čehož vyplývá, že většina skořic dostupných na běžném trhu patří do tohoto druhu a běžně se používá v potravinářství. Porovnání vzhledu obou druhů je patrné na obrázku níže (viz **Obrázek 3**) [6].



Obrázek 3 Skořice cejlonská (vlevo), skořice čínská (vpravo)

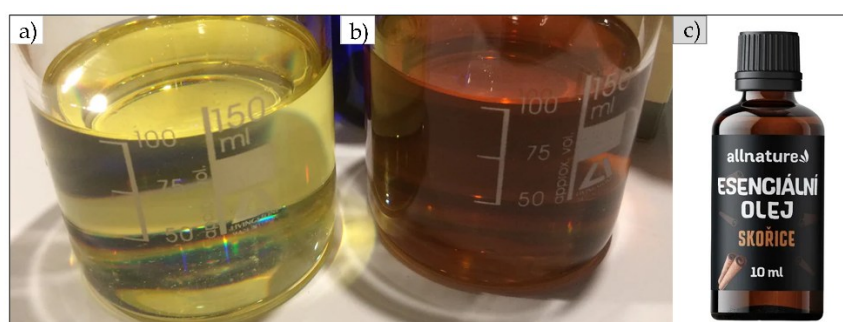
Tabulka 2 Porovnání vlastností skořice čínské a skořice cejlonské [6–8]

Vlastnost	Čínská skořice (<i>Cinnamomum cassia</i>)	Cejlonská skořice (<i>Cinnamomum verum</i>)
Pěstování	Čína, Vietnam, Indonésie	Srí Lanka (dříve Cejlon), Indie
Vzhled	Tmavší, tlustší kůra, svinutá do jedné vrstvy	Světlejší, tenčí kůra, svinutá do několika vrstev
Chuť	Silná, ostrá, aromatická	Jemná, sladká, s nádechem citrusů
Vůně	Intenzivní, kořeněná	Jemná, sladká, citrusová
Obsah kumarinu	Vyšší (až 5 %)	Nižší (až 0,004 %)
Cena	Nižší	Vyšší

1.1.3 Skořicový esenciální olej

Esenciální oleje (někdy nazývané též silice, éterické či těkavé oleje) jsou směsí těkavých organických sloučenin, které vznikají buď přirozeně v rostlinných buňkách, nebo jako vedlejší produkty destilačního procesu z chemických prekurzorů. Je důležité rozlišovat mezi sloučeninami, které jsou přirozeně produkovány rostlinou, a těmi, které vznikají tepelným zpracováním během destilace. Jak již bylo zmíněno výše, pro jejich získávání se nejčastěji využívá hydrodestilace, ale také destilace s vodní parou, extrakce rozpouštědlem či mikrovlnná extrakce. Využívají se jako potravinářská přísada, v kosmetice a parfumerství, v lékařství a také v zemědělství jako insekticidy či antimykotika [9, 10].

Skořicová kůra obsahuje přibližně 4 % esenciálního oleje. Složení skořicového oleje se liší v závislosti na použitém druhu skořice, části rostliny a použité extrakční technice. Na obrázku níže (viz **Obrázek 4**) je patrný rozdíl mezi olejem ze skořicových listů a z kůry. Hlavními složkami skořicového oleje jsou cinnamaldehyd, kafr, cinnamyl-acetát, karyofylen, trans *a*-bergamoten, oxid karyofylenu, linalool, geraniol, bornylacetát, *a*-cubeben, γ -elemen, *a*-kopaen, guaiol a eugenol. Skořicový esenciální olej vykazuje antimikrobiální a antioxidační vlastnosti [1, 11].



Obrázek 4 a) EO z listů cejlonské skořice [12], b) EO z kůry cejlonské skořice [12], c) komerčně dostupný skořicový EO [13]

1.2 Historie a význam skořice

Skořice patří mezi nejstarší známá koření a její využití v kulinářství i tradiční medicíně sahá tisíce let do minulosti. První zmínky pocházejí z Číny okolo roku 4000 př. n. l a uvádí se, že jako koření se používá již od starověku. Její botanický název *Cinnamomum* vychází z hebrejského a arabského výrazu amomon, označujícího voňavou rostlinu. Někdy se také uvádí, že název vychází z řeckého slova *kinnámōmon*, což v překladu znamená sladké dřevo. Původem pochází ze Srí Lanky a jižní Indie, odkud se rozšířila do Středomoří, kde se stala jedním z prvních vysoce ceněných koření [6, 14].

Ve starověkém Egyptě byla skořice využívána nejen jako dochucovadlo, ale také při balzamování pro své antibakteriální vlastnosti. Řeky a Římany byla rovněž ceněna, přičemž ve starověkém Římě mohla být vnímána především jako léčivo. Také v Bibli, konkrétně ve starém zákoně se objevuje několik odkazů na skořici. Ve středověku se skořice také prosadila v evropské gastronomii i léčitelství. Patřila mezi nejběžněji používaná koření a spolu s pepřem, zázvorem, šafránem a cukrem tvořila základ mnoha receptů. Její popularita výrazně vzrostla počátkem 9. století a ve 13. a 14. století byla běžnou součástí luxusních hostin. Ve francouzské kuchyni se často kombinovala se zázvorem, zatímco v Anglii se její využití objevovalo méně často. Cennost tohoto koření podtrhuje i fakt, že bylo důležitou obchodní komoditou a symbolem společenského postavení. Skořice se již dlouho používá jako přísada při vaření a je důležitou složkou v cukrářském i kosmetickém průmyslu [6, 14].

Od 17. století se kulinářské využití skořice začalo měnit. Nástup klasické francouzské kuchyně vedl k ústupu exotických koření a její použití se postupně omezilo především na sladké pokrmy. Ve Španělsku se v 16. století rozšířilo její přidávání do čokoládových nápojů, zatímco v pozdějším období se skořicová chuť stále častěji spojovala s cukrovinkami a pečivem. Historicky přítomnost skořice přitahovala cizí nájezdníky na Srí Lanku (dříve známou jako Cejlon). Arabové byli zapojeni do obchodování se skořicí po celém světě až do 10.–15. století a pečlivě udržovali původ produktu přísně střeženým tajemstvím. Získání přístupu ke skořici bylo pro Portugalce hlavní motivací k invazi na Srí Lanku na počátku 16. století. Během 16.–17. století založili Portugalci velmi úspěšný obchod s vývozem skořice do Evropy. Holanďané začali systematicky pěstovat skořici na plantážích poté, co v polovině 17. století ostrov dobyli, a to bylo vyvoláno, když srílanský král zabránil sběru skořice z lesů. Poté, co Britové v roce 1796 obsadili Srí Lanku, vývoz skořice do Evropy pokračoval, přičemž hlavním vývozcem byla britská Východoindická společnost. Kvůli vysokým vývozním clům uvaleným Holanďany došlo k výraznému snížení vývozu cejlonské skořice, která byla nahrazena levnější skořicí čínskou. Srí Lanka je stále důležitým dodavatelem cejlonské skořice zákazníkům po celém světě [6, 8].

V 19. století získala skořice nový význam díky rozvoji potravinářského průmyslu. Začala se používat při výrobě kolových nápojů, kde přispěla k jejich charakteristickému aromatu. Například Coca-Cola, poprvé vyrobená v roce 1880, napomohla globální popularizaci této chuti. V současnosti patří skořice mezi nejrozšířenější koření na světě a nachází uplatnění nejen v gastronomii, ale také v potravinářském a farmaceutickém průmyslu [8].

1.3 Složení skořice

1.3.1 Chemické složení

Skořice obsahuje širokou škálu látek, jejichž zastoupení se liší podle druhu skořice, konkrétní části rostliny a použité extrakční techniky. Mezi hlavní obsažené látky ve skořicové kůře patří cinnamaldehyd, kyselina skořicová, kumarin a eugenol. Dalšími přítomnými látkami jsou např. prokyanidiny, katechiny, karyofylen a seskviterpeny. Všechny tyto látky do různé míry přispívají k charakteristické vůni, chuti a zdravotním účinkům skořice (viz **Tabulka 3**). Podrobnosti o vybraných látkách obsažených ve skořici a jejich účincích budou popsány v následujících podkapitolách [15].

Tabulka 3 Přehled vybraných látek ve skořici a jejich vlastností [16, 17]

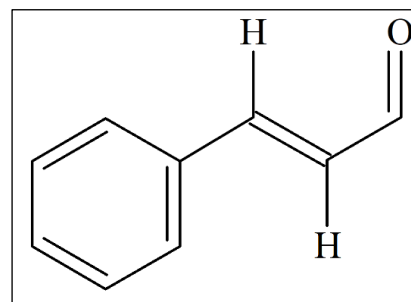
Látka	Skupina látek	Vůně
Cinnamaldehyd	Aldehydy	Sladká, kořenitá, hřejivá
Eugenol	Fenoly	Hřebíčková, kořenitá
Linalool	Terpenoidy	Květinová, levandulová, kořenitá
Kumarin	Kumariny	Sladká, vanilková, vůně sena či čerstvě posečené trávy
Kyselina skořicová	Kyseliny	Sladká, medová, květinová

1.3.1.1 Cinnamaldehyd

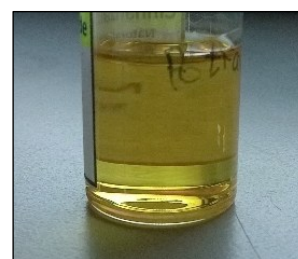
Cinnamaldehyd neboli (2E)-3-fenylprop-2-enal je (viz **Obrázek 5**) hlavní složkou zodpovědnou za chuť a vůni skořice. Dává skořici její charakteristickou sladkou chuť. Jedná se o světle žlutou viskózní kapalinu (viz **Obrázek 6**), která existuje ve dvou izomerických formách, cis- a trans-, přičemž v přírodě se přirozeně vyskytuje převážně stabilnější trans-izomer. Skořicový esenciální olej může obsahovat až kolem 90 % trans-cinnamaldehydu (dále jen cinnamaldehyd). Pro svou výraznou vůni a chuť je cinnamaldehyd běžně používán jako ochucovadlo do žvýkaček, bonbónů, nápojů a dalších sladkostí. Kromě toho se využívá i v kosmetice a v parfémeh. Studie naznačují, že cinnamaldehyd je zodpovědný za většinu zdravotních přínosů skořice a připisují se mu také insekticidní a fungicidní vlastnosti. Fyzikální vlastnosti cinnamaldehydu jsou uvedeny v tabulce níže (viz **Tabulka 4**) [15, 18, 19].

Tabulka 4 Fyzikální vlastnosti cinnamaldehydu [20]

Vlastnost	Hodnota
Skupenství	kapalné
Barva	žlutá
Molekulová hmotnost	132,16 g/mol
Teplota tání	-7,5 °C
Teplota varu	248 až 253 °C
Hustota (25 °C)	1,05 g/cm ³
Rozpustnost ve vodě	Velmi nízká



Obrázek 5 Vzorec cinnamaldehydu



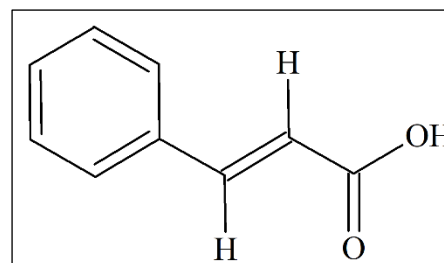
Obrázek 6 Cinnamaldehyd

1.3.1.2 Kyselina skořicová

Kyselina skořicová, známá také jako (E)-3-fenylprop-2-enová kyselina (viz **Obrázek 7**), je organická monokarboxylová kyselina běžně přítomná ve skořici. Kromě skořice se nachází také v celozrnných výrobcích, ovoci, zelenině a medu. Jedná se o bílou krystalickou látku (viz **Obrázek 8**) s medovou či květinovou vůní. Stejně jako cinnamaldehyd existuje ve dvou izomerických formách, cis- a trans-, přičemž v přírodě opět převažuje trans-forma. Kyselina trans-skořicová (dále jen kyselina skořicová) je taktéž využívána jako potravinářská přísada i jako složka kosmetických výrobků. Fyzikální vlastnosti kyseliny skořicové jsou uvedeny v tabulce níže (viz **Tabulka 5**) [21, 22].

Tabulka 5 Fyzikální vlastnosti kyseliny skořicové [23]

Vlastnost	Hodnota
Skupenství	pevné
Barva	bílá
Molekulová hmotnost	148,16 g/mol
Teplota tání	133 °C
Teplota varu	298 až 300 °C
Hustota	1,25 g/cm ³
Rozpustnost ve vodě	Velmi nízká



Obrázek 7 Vzorec kyseliny skořicové



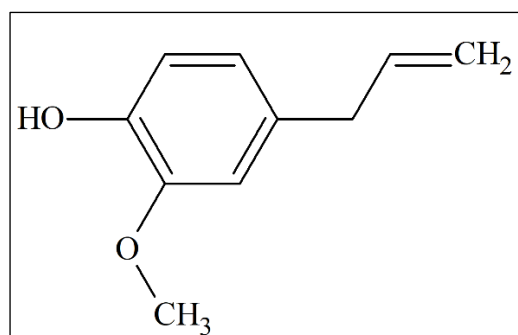
Obrázek 8 Kyselina skořicová [24]

1.3.1.3 Eugenol

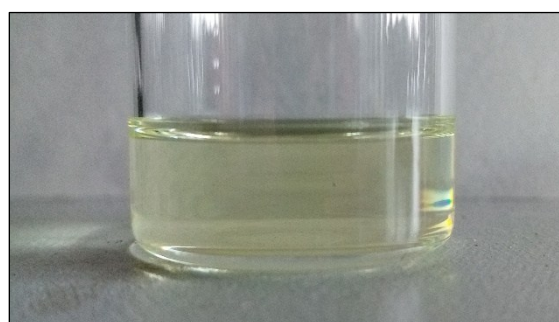
Eugenol, chemicky 2-methoxy-4-prop-2-enylfenol (viz **Obrázek 9**), je bezbarvá až světle žlutá olejovitá kapalina (viz **Obrázek 10**) s charakteristickou kořeněnou hřebíčkovou vůní. Hlavním zdrojem eugenolu je hřebíčkový esenciální olej, který ho obsahuje až 90 %. Skořicový esenciální olej z kůry obsahuje přibližně 2–8 % eugenolu, zatímco esenciální olej z listů skořice ho může obsahovat až 70–95 %. Eugenol je známý svými pozitivními účinky na zdraví, včetně antioxidačních, analgetických, antimutagenních, antiagregačních, antialergických a protizánětlivých vlastností. Má také silné antimikrobiální účinky a působí proti celé řadě lidských patogenů. Využívá se ve stomatologii pro své antimikrobiální vlastnosti a jako lokální analgetikum. V kombinaci s oxidem zinečnatým se používá také jako součást speciálních dentálních výplní. Fyzikální vlastnosti eugenolu jsou uvedeny v tabulce níže (viz **Tabulka 6**) [2, 15, 25].

Tabulka 6 Fyzikální vlastnosti eugenolu [26]

Vlastnost	Hodnota
Skupenství	kapalné
Barva	Bezbarvá až světle žlutá
Molekulová hmotnost	164,2 g/mol
Teplota tání	-12 až -10 °C
Teplota varu	252 až 253 °C
Hustota (25 °C)	1,06 až 1,07 g/cm ³
Rozpustnost ve vodě	Mírná



Obrázek 9 Vzorec eugenolu



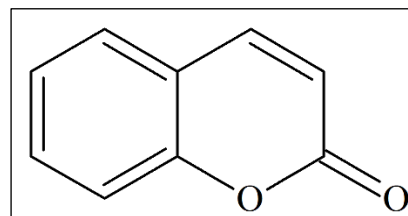
Obrázek 10 Eugenol

1.3.1.4 Kumarin

Kumarin neboli *a*-benzopyron (viz **Obrázek 11**) je bezbarvá krystalická látka (viz **Obrázek 12**). Běžně se nachází v různých rostlinách, jako je např. svízel vonný, fazole tonka a samozřejmě skořice, která je hlavním zdrojem kumarinu v potravě. Jeho vůně je často přirovnávána k vůni čerstvě posečené trávy, sena či vanilky. Kumarin, na rozdíl od některých ostatních látek běžně přítomných ve skořici, není povolen jako potravinářská přídatná látka kvůli svým potenciálním hepatotoxickým účinkům. Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) stanovil jeho tolerovaný denní příjem (TDI) na 0–0,1 mg/kg tělesné hmotnosti. Obsah kumarinu je regulován pouze v některých potravinách – smí být přidáván pouze jako součást jiné potraviny nebo přírodní aromatizující složky. Například v tradičním nebo sezónním pekařském zboží označeném jako obsahující skořici nesmí jeho množství přesáhnout 50 mg/kg. Pro samotnou skořici však žádné limity stanoveny nejsou. Kumarin se využívá v kosmetickém průmyslu, kde slouží jako vonná složka parfémů, mýdel, krémů a dalších produktů. Fyzikální vlastnosti kumarinu jsou uvedeny v tabulce níže (viz **Tabulka 7**) [27–29].

Tabulka 7 Fyzikální vlastnosti kumarinu [30]

Vlastnost	Hodnota
Skupenství	pevné
Barva	Bezbarvá až bílá
Molekulová hmotnost	146,14 g/mol
Teplota tání	68 až 70 °C
Teplota varu	297 až 301 °C
Hustota	0,94 g/cm ³
Rozpuštěnost ve vodě	nízká



Obrázek 11 Vzorec kumarinu



Obrázek 12 Kumarin [31]

1.3.2 Nutriční a minerální složení

Skořice představuje významný zdroj makronutrientů i mikronutrientů. Obsahuje vysoký podíl vlákniny a také některých minerálů jako je např. draslík a vápník. Je však nutné poznamenat, že běžný příjem skořice v potravě se většinou pohybuje v jednotkách gramů a nelze tedy získat tak vysoké množství nutrientů, jako z jiné potravy konzumované ve větším množství. V tabulkách (viz **Tabulka 8**, **Tabulka 9** a **Tabulka 10**) jsou shrnuty obsahy makronutrientů i mikronutrientů převzaté od různých autorů [32].

Tabulka 8 Přehled makronutrientů obsažených ve skořici

Složka	Obsah		
	[33] ¹	[32] ²	[34] ³
Vlhkost	5,1 %	-	7,7 %
Popel	2,4 %	3,6 %	2,9 %
Bílkoviny	3,5 %	3,99 %	4,1 %
Tuky	4 %	1,24 %	4,7 %
Vláknina	33,0 %	-	33,4 %
Sacharidy	52,0 % (NFE ⁴)	80,6 %	47,3 %
Energie	258 kcal/100 g	247 kcal/100 g	247,3 kcal/100 g

- 1 Nespecifikovaný druh skořice
- 2 Nespecifikovaný druh skořice
- 3 Skořice čínská
- 4 Bezdušičkatý extrakt (Nitrogen Free Extract)

Tabulka 9 Přehled mikronutrientů obsažených ve skořici (minerály)

Minerál	Obsah	
	[32]	[35]
Železo	0,008 %	0,006 %
Zinek	0,002 %	0,002 %
Vápník	1,002 %	0,075 %
Mangan	0,018 %	0,020 %
Hořčík	0,060 %	-
Draslík	0,4 %	0,1225 %
Sodík	-	0,0012 %
Fosfor	0,06 %	-
Měď	0,0004 %	-

Tabulka 10 Přibližný obsah vitamínů ve skořici (na 100 g)

Vitamín	Obsah		
	[32]	[36]	
Lipofilní vitamíny	β-karoten	-	112 μg
	Vitamín A	295 IU	9,33 μg
	Vitamín D	-	7,10 μg
	Vitamín E	-	2,32 mg
	Vitamín K	-	10,98 μg
Hydrofilní vitamíny	Vitamín C	3,8 mg	5,22 mg
	Vitamín B1	0,002 mg	6,05 mg
	Vitamín B2	0,04 mg	7,5 mg
	Vitamín B3	1,3 mg	1,33 mg
	Vitamín B5	0,6 mg	-
	Vitamín B6	-	0,16 mg
	Vitamín B9	-	6,0 μg

1.4 Vliv skořice na zdraví

Skořice je nejen oblíbeným kořením v kuchyni, ale i rostlinou s řadou potenciálních zdravotních přínosů. Tato kapitola se zaměří na to, jak skořice ovlivňuje lidské zdraví, a to zejména prostřednictvím svých antioxidačních, antidiabetických, protizánětlivých a antimikrobiálních účinků. Schéma níže (viz **Obrázek 13**) shrnuje některé vybrané časté zdravotní benefity skořice. Konkrétní účinky budou podrobněji popsány v následujících podkapitolách [37].



Obrázek 13 Schéma vybraných zdravotních benefitů skořice

1.4.1 Antioxidační vlastnosti

Antioxidanty jsou klíčové pro lidské zdraví, neboť chrání buňky před poškozením volnými radikály a hrají důležitou roli v prevenci chronických onemocnění. Kromě toho se využívají v potravinářském průmyslu k prodloužení trvanlivosti potravin. Skořice je jedním z významných zdrojů těchto prospěšných látek. Různé studie prokázaly, že extrakty ze skořice, ať už éterické, vodné či methanolové, vykazují silné antioxidační účinky, dokonce vyšší než u mnoha jiných druhů koření. Tyto účinky se projevují například inhibicí oxidace tuků, peroxidace lipidů a produkce oxidu dusnatého. Mezi hlavní složky skořice s antioxidačními

vlastnostmi patří cinnamaldehyd, eugenol a linalool. Skořice tak představuje cenný přírodní zdroj antioxidantů s potenciálním využitím v potravinářství, farmacii a při podpoře lidského zdraví [38].

1.4.2 Antidiabetické účinky

Diabetes mellitus 2. typu (DM2) je chronické metabolické onemocnění s progresivním průběhem, které se vyznačuje inzulinovou rezistencí a relativním nedostatkem inzulinu. Důsledkem je porucha glukózové homeostázy a hyperglykemie. Terapie DM2 vyžaduje komplexní přístup, který zahrnuje nejen kontrolu glykemie, ale i léčbu přidružených onemocnění, jako je hypertenze, dyslipidemie a obezita [39].

Ve studii [40] autoři zjistili, že suplementace skořice (500 mg dvakrát denně) zlepšuje antropometrické parametry, glykemické indexy a lipidový profil pacientů s DM2. Tyto pozitivní účinky byly výraznější u pacientů s vyšším BMI než 27.

Další studie [41] ukázala, že podávání 1 g skořicového prášku po dobu 12 týdnů snižuje hladinu glukózy nalačno a glykovaný hemoglobin u pacientů s nekompenzovaným DM2. Zároveň zvyšuje hladinu sérového glutathionu a superoxidodismutázy a snižuje hladinu malondialdehydu, což naznačuje, že skořice má pozitivní antidiabetické a antioxidantní účinky jako doplněk ke konvenční léčbě špatně kompenzovaného DM2.

Co se týče mechanismů antidiabetického působení skořice, tak dochází ke zvýšení citlivosti na inzulin prostřednictvím aktivace kinázy inzulinového receptoru a inhibice defosforylace inzulinového receptoru. Dalším možným mechanismem je inhibice enzymu glykogensyntáza kináza-3 (GSK-3) a následné zvýšení vychytávání glukózy. Na zvýšené vychytávání glukózy má také vliv zvýšené množství receptorů GLUT4, inzulinového receptoru a jeho substrátů [40].

Z výsledků několika různých studií vyplývá, že skořice má vliv na snižování hladiny glukózy v krvi, nicméně pro potvrzení jejího terapeutického potenciálu jsou potřeba další studie [42].

1.4.3 Antimikrobiální vlastnosti

S rostoucím zájmem spotřebitelů o potraviny bez chemických konzervantů se zvyšuje poptávka po alternativních variantách, jako jsou konzervanty z různých přírodních zdrojů. Esenciální oleje, tedy i skořicový olej, se jeví jako slibní kandidáti díky svým prokázaným antimikrobiálním vlastnostem. Skořice, jakožto přírodní zdroj bioaktivních látek, tak představuje potenciálně účinnou a bezpečnou alternativu pro konzervaci potravin [43].

Pro své antibakteriální vlastnosti se nyní zkoumá potenciální využití skořice jako antibiotika. V mnoha studiích se uvádí, že působí jak na grampozitivní, tak na gramnegativní bakterie. Hlavní látkou zodpovědnou za antimikrobiální působení skořice je cinnamaldehyd [44].

Mezi mechanismy antimikrobiálního působení skořice patří změny v buněčné membráně a jejím lipidovém profilu, inhibice ATPázy, inhibice buněčného dělení, inhibice membránových porinů, inhibice pohyblivosti a tvorby biofilmu a schopnost narušovat „quorum sensing“ (mezibuněčná komunikace bakterií) [44].

Ve studii [45] se autoři zaměřili na běžné potraviny kontaminující bakterie a plísně. Zjistili, že skořicový extrakt a esenciální olej vykazují silné antimikrobiální účinky proti většině testovaných bakterií, které způsobují kontaminaci potravin, přičemž olej je obecně účinnější. *Bacillus cereus* byl nejcitlivější na oba, zatímco *Pseudomonas aeruginosa* byla rezistentní na extrakt, ale citlivá na olej. Stejně tak byl skořicový olej účinný proti testovaným plísním (*Alternaria sp.*, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Rhizopus sp.*, *Rhizomucor sp.*). Skořicový olej se tedy ukázal být účinnější než skořicový extrakt a běžně používaný potravinový konzervant propionát sodný.

1.4.4 Protizánětlivé účinky

Chronické zánětlivé procesy se do značné míry podílí na vzniku některých akutních či chronických onemocnění, jako je např. DM2, obezita, kardiovaskulární a neurodegenerativní onemocnění. Klasická terapie zánětlivých procesů zahrnuje použití různých léků, např. nesteroidní protizánětlivé léky (ibuprofen) či kortikosteroidy. Tyto léky však mají celou řadu negativních vedlejších účinků. Z tohoto důvodu je užitečné hledat jiné alternativy s menším množstvím negativních účinků.

Dle autorů [46] lipofilní extrakty skořice cejlonské a čínské vykazovaly nejvyšší protizánětlivé aktivity. Sledovali schopnost jednotlivých látek ve skořici inhibovat produkci oxidu dusnatého a tumor nekrotizující faktoru (TNF- α). Látky vykazující největší protizánětlivou aktivitou byly cinnamaldehyd a *o*-methoxycinnamaldehyd.

Autoři [47] se zaměřili na zkoumání protizánětlivých vlastností esenciálního oleje z větviček *C. osmophloeum* a také došli k závěru, že má vynikající protizánětlivé účinky, konkrétně látky jako je cinnamaldehyd, oxid karyofylenu, *l*-borneol, *l*-bornyl-acetát, eugenol, β -karyofylen, *trans*-nerolidol a cinnamyl-acetát.

1.4.5 Další účinky skořice na zdraví

Skořice a její produkty se tradičně využívají k podpoře trávení, zejména při nadýmání. Často se také uvádí její možný přínos při hubnutí a zrychlení metabolismu. Díky antimikrobiálním vlastnostem nachází uplatnění v péči o zuby a ústní dutinu [37, 48].

Kromě toho se diskutuje o dalších zdravotních účincích skořice. Některé studie naznačují její analgetické vlastnosti, zatímco jiné zkoumají její potenciální přínos pro kardiovaskulární zdraví. Rovněž se spekuluje o možných protirakovinných účincích, například při melanomu nebo rakovině tlustého střeva. Další výzkumy se zaměřují na její potenciální roli v prevenci a léčbě neurodegenerativních onemocnění, jako je Alzheimerova a Parkinsonova choroba [37, 49–51].

Většina těchto účinků je však stále předmětem vědeckého zkoumání, a k jejich potvrzení či vyvrácení jsou zapotřebí další studie.

1.5 Využití

Skořice má celou řadu využití a uplatňuje se v široké škále různých odvětví. Nejčastěji se využívá v gastronomii. Nejčastěji se uplatňuje při přípravě sladkých pokrmů, jako je např. štrúdl, skořicové rolky, churros, žemlovka, rýžový nákyp, perník a mnoho dalších. Používá se však také v některých slaných pokrmech, které náleží např. do marocké či indické kuchyně. Příkladem může být koření garam masala, které je typicky používané v indické kuchyni. Skořice je taktéž nedílnou součástí mnoha nápojů, jako je např. svařené víno, chai masala či chai latte, skořicový čaj nebo se také

často přidává do kávy. Ve formě skořicové příchutě se přidává do různých potravin, jako jsou např. bonbony, žvýkačky, Coca-Cola atd. Vybraná jídla s obsahem skořice jsou uvedena na obrázku níže (viz **Obrázek 14**) [8].



Obrázek 14 a) skořicová rolka [52], b) churros [53], c) chai latte [54], d) garam masala [55]

Jak už bylo dříve zmíněno, skořicové esenciální oleje se s oblibou také používají do různých kosmetických přípravků, ať už se jedná o parfémy, mýdla, krémy a podobně [56].

Skořici, ať už v podobě prášku, extraktů, esenciálního oleje, nanoemulze či mikrokapslí je možné přidávat do různých potravin a nápojů za účelem zlepšení sensorických a nutričních vlastností, zvýšením antioxidační aktivity, prodloužením trvanlivosti a podobně [57].

Skořicový esenciální olej je také potenciálně možné využít v zemědělství jako biopesticid, což je vhodná náhrada za některé klasické syntetické pesticidy a také jako posklizňové ošetření ke snížení plísňové kontaminace [15].

1.6 Stanovení bioaktivních látek ve skořici

1.6.1 Izolace látek

Pro izolaci látek obsažených ve skořici je možné využít různé extrakční techniky. Volba vhodné extrakční techniky záleží na několika faktorech, a to

především na povaze izolovaných látek a dále také na zamýšlené analytické technice. Hlavní dělení látek obsažených ve skořici je na těkavé a netěkavé. Pro těkavé látky se nejčastěji využívá destilace s vodní parou či hydrodestilace. Tyto techniky se liší tím, že při destilaci s vodní parou není materiál v kontaktu s vodou, ale s vodní parou, zatímco hydrodestilace využívá přímé ponoření materiálů do vody a následné zahřívání. Pro hydrodestilaci se nejčastěji využívají aparatury Clevengerova typu. Obě tyto techniky slouží k získávání esenciálního oleje.

Pro látky netěkavé se často využívají jak klasické extrakční techniky, jako je extrakce organickými rozpouštědly (methanol, ethanol, chloroform) a extrakce vodou, tak i techniky modernější, jako je mikrovlnná extrakce, extrakce nadkritickou tekutinou či extrakce pomocí ultrazvuku [17].

1.6.2 Analýza látek ve skořice

Pro analýzu látek obsažených ve skořici je možné využít různé analytické techniky. Opět se volí vhodná analytická technika na základě povahy sledovaných látek. Jak již bylo zmíněno, nejčastěji sledovanými látkami ve skořici jsou cinnamaldehyd, kumarin, eugenol, linalool a další. Obecně lze látky obsažené ve skořici rozdělit na těkavé a netěkavé. Těkavé látky jsou hlavními složkami esenciálního oleje a do této kategorie patří látky jako je cinnamaldehyd, eugenol, linalool a další.

V současnosti se používají především techniky separační. Pro analýzu těkavých látek obsažených v esenciálním oleji se využívá plynová chromatografie, a to zejména ve spojení s hmotnostní spektrometrií (GC-MS), která umožňuje identifikovat jednotlivé složky. Dále se používá plynová chromatografie s plamenově ionizačním detektorem (GC-FID) nebo také pokročilejší techniky, jako je vícerozměrná plynová chromatografie (GCxGC), které jsou schopné identifikovat mnohonásobně více látek než běžná plynová chromatografie [58–60].

V plynové chromatografii se nejčastěji využívají nepolární kapilární kolony na bázi siloxanů (např. HP-5MS, DB-5 a další) [61, 62].

Mezi méně těkavé či netěkavé látky obsažené ve skořici patří fenolické látky (např. kyselina kávová, kyselina *p*-kumarová), flavonoidy (kvercetin, kaempferol) a další. Pro analýzu těchto látek se často používá vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC), která je běžně kombinována s UV/VIS detekcí pro citlivé a specifické stanovení analytů na základě jejich absorpčních vlastností. Dále se používá kapalinová chromatografie s tandemovou hmotnostní spektrometrií (LC-MS/MS) a ultravysokoúčinná kapalinová chromatografie s vysokorozlišovací hmotnostní spektrometrií (UHPLC–HRMS). Pomocí HPLC lze analyzovat i některé těkavé látky přítomné ve skořici (např. cinnamaldehyd či eugenol) [17].

Při analýze skořice pomocí HPLC se nejčastěji používá HPLC s obrácenými fázemi, kde je mobilní fáze polárnější než stacionární. K tomu jsou často voleny stacionární fáze s oktadecylem navázaným na silikagelu (C18 kolony), včetně jejich modifikovaných forem, jako jsou XDB-C18, Hypersil GOLD™ C18, Kinetex® a další. Jako mobilní fáze se obvykle používá směs deionizované vody a acetonitrilu (nebo methanolu), okyselená kyselinou octovou nebo mravenčí. Pro efektivnější separaci se běžně využívá gradientová eluce [63–66].

Pro stanovení specifických vlastností extraktu lze využít i další metody, jako je kolorimetrická metoda Folin–Ciocalteu, která se používá k měření obsahu fenolických sloučenin a ke stanovení antioxidační kapacity, nebo také přímá analýza v reálném čase pomocí hmotnostní spektrometrie (DART–MS) [17].

V tabulce (viz **Tabulka 11**) jsou uvedeny příklady postupů od různých autorů.

Tabulka 11 Přehled izolačních a analytických technik využívaných pro skořici

Izolační technika	Analytická technika	Stanovené sloučeniny	Zdroj
Parní destilace	HPLC-UV/VIS	Cinnamaldehyd	[63]
Soxhletova extrakce	HPLC-UV/VIS	Cinnamaldehyd	[63]
Nadkritická extrakce	HPLC-UV/VIS	Kumarin, k. skořicová, cinnamaldehyd, cinnamylalkohol	[64]
Extrakce ethanolem	LC-MS/MS	K. kávová, k. ferulová, pyrogallol, k. <i>p</i> -hydroxybenzoová, vanilin, k. <i>p</i> -kumarová, k. gallová, k. askorbová	[67]
Hydrodestilace	GC-FID	Linalool, eugenol, α -pinen, sabinen, α -terpinen, limonen, eukalyptol, α -terpinen, terpinolen, terpinen-4-ol, terpineol, methyleugenol, α -selinen	[68]
Sonohydrodestilace	GC-MS	Cinnamaldehyd	[69]
Extrakce vodou	GC-MS	Cinnamaldehyd, eukalyptol, α -terpinolen, borneol, γ -terpinen, benzaldehyd, karvakrol, δ -3-careen	[70]
Extrakce pulzním elektrickým polem	Folin-Ciocalteuova metoda	Fenoly	[71]

1.7.2.1 Vysokoúčinná kapalinová chromatografie

Vysokoúčinná kapalinová chromatografie neboli HPLC (z angl. High Performance Liquid Chromatography) je analytická separační metoda. Je založena na dělení složek vzorku na základě různé afinity těchto složek ke stacionární fázi, která je umístěna v chromatografické koloně. Mobilní fáze (kapalina) unáší vzorek chromatografickým systémem, kde dochází k interakci jednotlivých složek (analytů) se stacionární fázi a tomu úměrnému zadržování (retenci) těchto složek. Z toho

vyplývá, že analyt s nižší afinitou ke stacionární fázi se bude v systému zdržovat kratší dobu a naopak [72, 73].

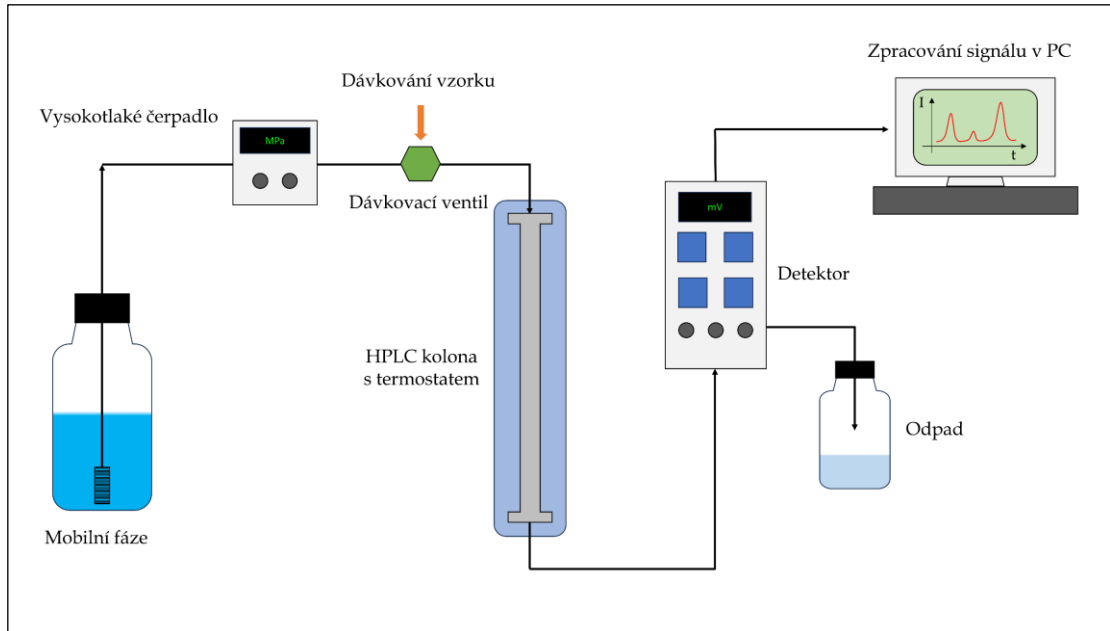
Z fyzikálně-chemického principu lze kapalinovou chromatografii rozdělit na několik druhů: adsorpční chromatografii (stacionární fázi tvoří pevné nemodifikované částice, k separaci látek dochází vlivem rozdílné síly interakce s povrchem stacionární fáze), rozdělovací chromatografii (stacionární fázi tvoří kapalina, která je nanášena na pevném nosiči, dochází k separaci látek na základě rozdílného rozdělovacího koeficientu), iontově-výměnnou chromatografii (stacionární fázi tvoří nosič, na kterém jsou navázány nabitě funkční skupiny, k separaci látek dochází díky iontové výměně), gelovou chromatografii (stacionární fázi tvoří gel s přesně definovanou velikostí pórů, dochází k separaci látek v závislosti na velikosti molekul – menší molekuly pronikají póry rychleji) a afinitní chromatografii (stacionární fázi tvoří nosič s immobilizovanými ligandy, dochází k separaci látek na základě specifických interakcí) [73].

Na základě polarity mobilní a stacionární fáze rozlišujeme u rozdělovací chromatografie dvě základní modifikace HPLC, a to HPLC s normálními fázemi (NP-HPLC neboli Normal Phase HPLC) a HPLC s obrácenými fázemi (RP-HPLC neboli Reverse Phase HPLC), přičemž využití RP-HPLC v současnosti zcela převažuje (> 90 %). Platí, že u NP-HPLC je stacionární fáze polárnější než mobilní a u RP-HPLC je to naopak. U RP-HPLC neinteragují vysoce polární látky se stacionární fází a eluují se nejdříve, zatímco méně polární látky později [72, 73].

Složení mobilní fáze v průběhu analýzy může být buď stejné po celou dobu – v tom případě se jedná o izokratickou eluci, a nebo proměnlivé, přičemž se v čase postupně zvyšuje koncentrace látky s vyšší eluční silou – v tomto případě se jedná o eluci gradientovou, která je v současné době používanější zejména pro urychlení analýzy a efektivnější separaci látek s velmi rozdílnou retencí [72, 73].

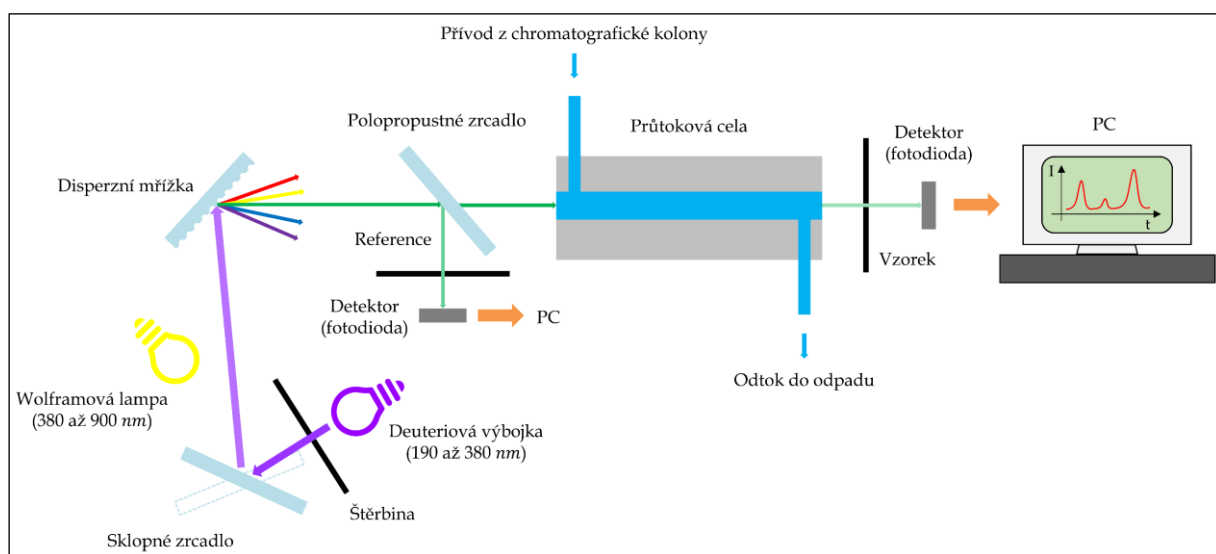
HPLC systém se skládá z několika klíčových komponent (viz **Obrázek 15**), které společně umožňují efektivní separaci látek. Rezervoár mobilní fáze obsahuje rozpouštědlo nebo směs rozpouštědel, která se čerpají do systému. Čerpadlo zajišťuje konstantní tok mobilní fáze pod vysokým tlakem (typicky 140 až 400 bar), což umožňuje efektivní separaci i u složitých směsí. Vstřikovací systém, často ve formě

autosampleru, umožňuje přesné dávkování vzorku do toku mobilní fáze. Hlavní separace probíhá v chromatografické koloně, která obsahuje stacionární fázi, nejčastěji modifikovaný silikagel (například C18 pro RP-HPLC) [73].



Obrázek 15 Schéma HPLC

Aby bylo možné rozseparované látky správně identifikovat a kvantifikovat, je nutné do chromatografického systému začlenit také vhodný detektor, který zaznamená průchod analyzovaných látek a převede je na měřitelný signál. Mezi nejpoužívanější HPLC detektory patří např. fluorescenční detektor, dále často používaný UV/VIS detektor (viz **Obrázek 16**) či detektor s diodovým polem (DAD). Všechny tyto detektory pracují na principu absorpce či emise záření [73].



Obrázek 16 Schéma UV/VIS detektoru

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Přístroje a zařízení

- Běžně používané laboratorní nádobí a pomůcky
- Analytické váhy KERN® M CE (Kern & Sohn, Německo)
- Ultrazvuková lázeň (Bandelin Sonorex TK 52, Německo)
- Mikrocentrifuga MiniStar Silverline (VWR®, USA)
- Sušárna Heratherm (Thermo Scientific, USA)
- Kapalinový chromatograf Agilent 1100 Series LC/MSD trap SL (Agilent Technologies, USA) vybavený spektrofotometrickým detektorem a hmotnostním detektorem, odplyňovačem mobilní fáze, kvartérní pumpou, termostatovaným automatickým dávkovačem a termostatem kolony
 - použitá kolona: Gemini® 3 μm C18 110 Å, 150 \times 3,0 mm (Phenomenex, USA)
- Zařízení pro přípravu ultračisté vody (MILLI-Q, Merck Millipore, Německo)

3.2 Chemikálie

Tabulka 12 Používané chemikálie

Látka	Výrobce	Čistota [%]
Acetonitril, MS grade	Honeywell, USA	$\geq 99,9$
Ultračistá voda	MILLI-Q, Merck Millipore, Německo	-
Kyselina mravenčí	Sigma-Aldrich, Co., Německo	≥ 98
Methanol	Sigma-Aldrich, Co., Německo	$\geq 99,9$

3.3 Standardní látky

Tabulka 13 Používané standardní látky

Standard	Výrobce	Čistota [%]	Molekulová hmotnost [-]
Protokatechaldehyd	Fluka™, Švýcarsko	≥ 97	154,13
Kyselina chlorogenová	Fluka™, Švýcarsko	97	354,32
Kyselina kávová	Sigma-Aldrich, Co., Německo	≥ 99	180,16
Kyselina <i>p</i> -kumarová	Fluka™, Švýcarsko	≥ 98	164,16
Kumarin	Sigma-Aldrich, Co., Německo	≥ 99	146,15
Cinnamylalkohol	Sigma-Aldrich, Co., Německo	98	134,18
Kyselina skořicová	Fluka™, Švýcarsko	≥ 99	148,16
Cinnamaldehyd	Sigma-Aldrich, Co., Německo	≥ 95	132,16
Eugenol	Sigma-Aldrich, Co., Německo	99	164,20

3.4 Vzorčky

Tabulka 14 Označení a popis vzorků skořice mleté

Vzorek	Značka	Číslo šarže	
1	Vitana	L2411222	-
2	K-Classic	L24345C	-
3	Avokádo	L1435747	-
4	Kania	L3540765	-
5	It's Natural	3542555	BIO
6	Sonnentor	DFI24042403F03	skořice cejlonská, BIO, země původu: Madagaskar

3.5 Postupy

3.5.1 Postup přípravy vzorku

Nejprve bylo naváženo asi přesně 120 mg příslušného vzorku skořice do 25ml odměrné baňky. Následně bylo přidáno rozpouštědlo methanol a voda (1:1, v/v) několik cm pod rysku odměrné baňky. Odměrná baňka byla umístěna na dobu 30 minut do ultrazvukové lázně. Po uplynutí této doby byla odměrná baňka vyjmuta z ultrazvukové lázně a po vychladnutí na laboratorní teplotu byla doplněna rozpouštědlem po rysku. Po důkladném promíchání bylo přelito cca 1,5 ml suspenze do mikrozkušavky Eppendorf a ta byla centrifugována po dobu cca 1 minuty. Následně byl pomocí automatické pipety odebrán supernatant, ten byl zfiltrován stříkačkovým filtrem o velikosti pórů 0,22 μm do vialky. Extrakt byl ihned podroben analýze nebo byl uchováván v chladničce při teplotě 5 °C pro další použití. Extrakty bez centrifugace a filtrace byly taktéž uchovávány v chladničce pro další případné použití (viz **Obrázek 17**).

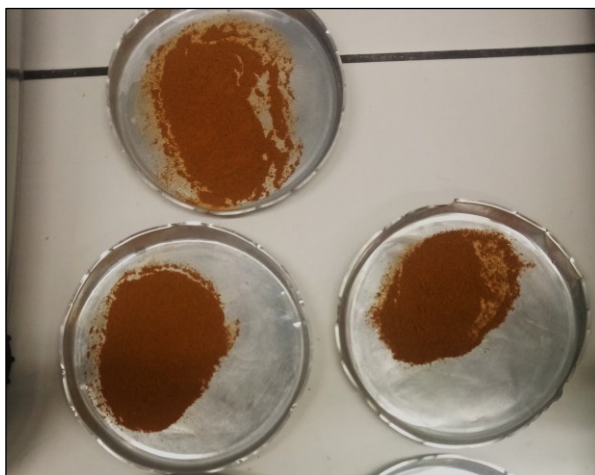


Obrázek 17 Vzorky po vyjmutí z ultrazvukové lázně

3.5.2 Postup zahřívání vzorků

Vzorky skořice byly zahřívány v laboratorní sušárně Heratherm (Thermo Scientific). Pro každý sledovaný časový interval byly připraveny dvě hliníkové misky, do nichž bylo nasypáno přibližně stejné množství skořice (cca větší lžička), viz **Obrázek 18**. Misky byly následně vloženy do předehřáté sušárny nastavené na jednu ze tří teplot: 120 °C, 150 °C nebo 180 °C. Doba zahřívání byla 10, 20, 30, 40 minut, přičemž pro každou kombinaci teploty a času byly použity vždy nové vzorky.

Po ukončení zahřívání byly vzorky ponechány vychladnout na pokojovou teplotu a následně bylo z každého vzorku naváženo asi přesně 120 mg do 25ml odměrné baňky. Další zpracování probíhalo stejným způsobem jako při přípravě nezahříváných vzorků (viz kapitola **Postup přípravy vzorku**).



Obrázek 18 Vzorky na hliníkových miskách

3.5.3 Postup přípravy kalibračních standardů

Pro kvantifikaci vybraných látek přítomných ve skořici bylo třeba připravit příslušné kalibrační standardní roztoky. Nejprve bylo připraveno 9 kalibračních zásobních roztoků o koncentraci 500 mg/l navážením asi přesně 25 mg dané látky do 50ml odměrné baňky. Dále byly připravené roztoky doplněny po rysku methanolem a vodou v poměru 1:1 (v/v) a důkladně promíchány (v případě potřeby byly umístěny na pár minut do ultrazvukové lázně). Následně byly z těchto zásobních roztoků ředěním připraveny směsné kalibrační standardní roztoky (viz **Tabulka 15**), přičemž byl ještě dodatečně připraven standardní roztok o koncentraci 200 mg/l navážením látek, a z něj byly ředěním připraveny kalibrační roztoky o koncentracích 50 a 100 mg/l. Směsné kalibrační roztoky byly taktéž doplněny methanolem a vodou v poměru 1:1 (v/v). Tyto směsné kalibrační roztoky byly připraveny v koncentračním rozmezí cca 0,01 až 200 mg/l. Nakonec byly všechny tyto roztoky přelity do vialek a analyzovány (případně byly skladovány v chladničce při 5 °C), přičemž každá vialka byla změřena dvakrát.

Tabulka 15 Ředění kalibračních roztoků

Kalibrační standard [mg/l]	Připraven ředěním ze zás. standardu [mg/l]	Odměrná baňka [ml]	Pipetovaný objem [ml]
0,01	20	50	0,025
0,025	20	50	0,0625
0,05	20	50	0,125
0,1	20	50	0,25
0,25	20	50	0,625
0,5	20	50	1,25
1	20	50	2,5
2,5	20	50	6,25
5	20	50	12,5
10	20	50	25
20	500	50	2
50	200	50	12,5
100	200	50	25
200	-	-	-

3.5.4 Postup provedení validace

Jako první byly stanoveny hodnoty LOD (mez detekce) a LOQ (mez kvantifikace), a to tak, že se pro nejnižší koncentrace jednotlivých látek odečetla průměrná výška šumu a také výška jednotlivých píků (viz **Příloha 11**). Z jejich poměru byly následně vypočteny příslušné hodnoty LOD a LOQ pomocí následujícího vztahu.

$$\text{LOD} = 3 \cdot \frac{S}{N}$$

$$\text{LOQ} = 10 \cdot \frac{S}{N}$$

Pro stanovení správnosti (výtěžnosti) byly nejprve změřeny koncentrace standardů o koncentracích 1, 10 a 100 mg/l (pětkrát pro každou koncentraci) během jednoho dne a z těchto koncentrací byly vypočteny výtěžnosti, které byly poté zprůměrovány. Tyto roztoky standardů byly taktéž změřeny v rámci tří různých dnů,

příčemž za jeden den byly změřeny dvakrát. Opět byly vypočteny koncentrace a z nich byly spočítány výtěžnosti pro každou koncentraci a poté byl vytvořen průměr ze všech tří dní. Stejným způsobem byly stanoveny také přesnosti (opakovatelnosti), jenž byly vyjádřeny pomocí RSD v %, a to jak v rámci jednoho dne (5 hodnot pro každou koncentraci - intraday), tak během tří dnů (2 hodnoty v jednom dni, takže celkem 6 hodnot - interday).

Dále byla v rámci validace posuzována stabilita roztoků standardů prostřednictvím výtěžností, kdy se porovnaly průměrné výtěžnosti standardů za 1. až 3. den s výtěžnostmi stanovenými 17. den. Byly porovnány již naměřené hodnoty standardů o koncentracích 1 a 10 mg/l během tří dnů (byly stanovené průměrné výtěžnosti ze 6 hodnot) s průměrnými výtěžnostmi pro standardy o stejných koncentracích stanovené 17. den (ze 2 hodnot). Jelikož bylo třeba porovnat průměr s 1. až 3. dne s průměrem ze 17. dne, RSD nebylo k tomuto porovnání vhodné. Proto se vypočítaly relativní rozdíly mezi průměrnou koncentrací za 1. až 3. den a za 17. den, aby bylo možné alespoň částečně posoudit opakovatelnost.

Správnost metody byla ověřena stanovením výtěžnosti pomocí přidavku známého množství standardu do reálného vzorku. Do 25ml odměrné baňky bylo přesně naváženo přibližně 120 mg vzorku č. 4, ke kterému bylo přidáno 2,3 ml směsného standardu o koncentraci 200 mg/l. Množství přidavku pro jednotlivé látky na odměrnou baňku je uvedeno v níže uvedené tabulce (viz **Tabulka 16**) Takto připravené vzorky byly dále zpracovány shodně jako běžné vzorky bez přidavku standardu (viz **2.4.1 Postup přípravy vzorku**) a následně analyzovány. Koncentrace analytů byly stanoveny na základě ploch píků pomocí příslušných kalibračních rovnic. Pro výpočet výtěžnosti byla z celkové odezvy vzorku s přidavkem standardu odečtena odezva odpovídající původnímu vzorku bez přidavku. Na základě rozdílu mezi naměřeným a skutečně přidaným množstvím analytu byla vypočtena hodnota výtěžnosti. Vzorky byly připraveny ve dvou replikách, každá měřena dvakrát, a celý postup byl zopakován ve dvou různých dnech. Celkem bylo získáno osm hodnot výtěžností, z nichž byla vypočtena průměrná hodnota. Stejným způsobem byla stanovena také interday opakovatelnost (ze dvou dní).

Tabulka 16 Přídavek standardu

Standard	Přídavek [mg]
Protokatechaldehyd	0,48
Kyselina chlorogenová	0,50
Kyselina kávová	0,48
Kyselina <i>p</i> -kumarová	0,46
Kumarin	0,47
Cinnamylalkohol	0,47
Kyselina skořicová	0,47
Cinnamaldehyd	0,55
Eugenol	0,49

3.6 Podmínky analýzy

Chromatografická separace vzorků byla provedena pomocí kapalinového chromatografu Agilent 1100 Series, s využitím UV/VIS detektoru. Analýza probíhala v systému s reverzními fázemi (nepolární stacionární a polární mobilní fáze). Separace probíhala na koloně Gemini 3 μ m C18 110 A (150 mm \times 3 mm, velikost částic 3 μ m). Jako mobilní fáze byl využit vodný roztok 0,1% kyseliny mravenčí (MF-A) a roztok acetonitrilu s 0,1% kyselinou mravenčí (MF-B). Mobilní fáze byla připravena odpipetováním 0,5 ml kyseliny mravenčí do 500ml odměrné baňky, doplněním deionizované vody/acetonitrilu po rysku a promícháním.

Samotná analýza probíhala při podmínkách uvedených v níže uvedené tabulce (viz **Tabulka 17**), přičemž použitý gradient je uveden v další tabulce (viz **Tabulka 18**).

Tabulka 17 Podmínky analýzy

Parametr	Dávkovaný objem	Průtok MF	Teplota kolony	Detekční vlnová délka
Hodnota	5 μ l	0,7 ml/min	40 °C	280 nm

Tabulka 18 Použitý gradient

Čas	MF (B) [%]	MF (A) [%]
0	5	95
1	5	95
25	40	60
35	90	10

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

Skořice je oblíbené a často používané koření nejen v kuchyni, ale také v tradiční medicíně díky svému bohatému obsahu bioaktivních látek. Nejčastěji se používá při pečení a tepelné úpravě sladkých i slaných pokrmů, kde se vystavuje vyšším teplotám. Právě z tohoto důvodu je vhodné sledovat, jak teplota ovlivňuje koncentraci jednotlivých účinných látek obsažených ve skořici, především fenolických kyselin a dalších antioxidačních či aromatických sloučenin.

V této diplomové práci byl zkoumán vliv teploty na obsah vybraných látek, které se podílejí na antioxidačních, protizánětlivých a senzorických vlastnostech skořice. Mezi sledované sloučeniny patřily protokatechaldehyd, kyselina chlorogenová, kyselina kávová, kyselina *p*-kumarová, kumarin, cinnamylalkohol, kyselina skořicová, cinnamaldehyd a eugenol.

Cílem bylo zjistit, jak se koncentrace těchto látek mění v závislosti na teplotě, a tím lépe pochopit, do jaké míry může tepelná úprava (např. při pečení) ovlivnit zdravotní i senzorickou hodnotu skořice používané v potravinářských produktech.

4.1 Optimalizace podmínek

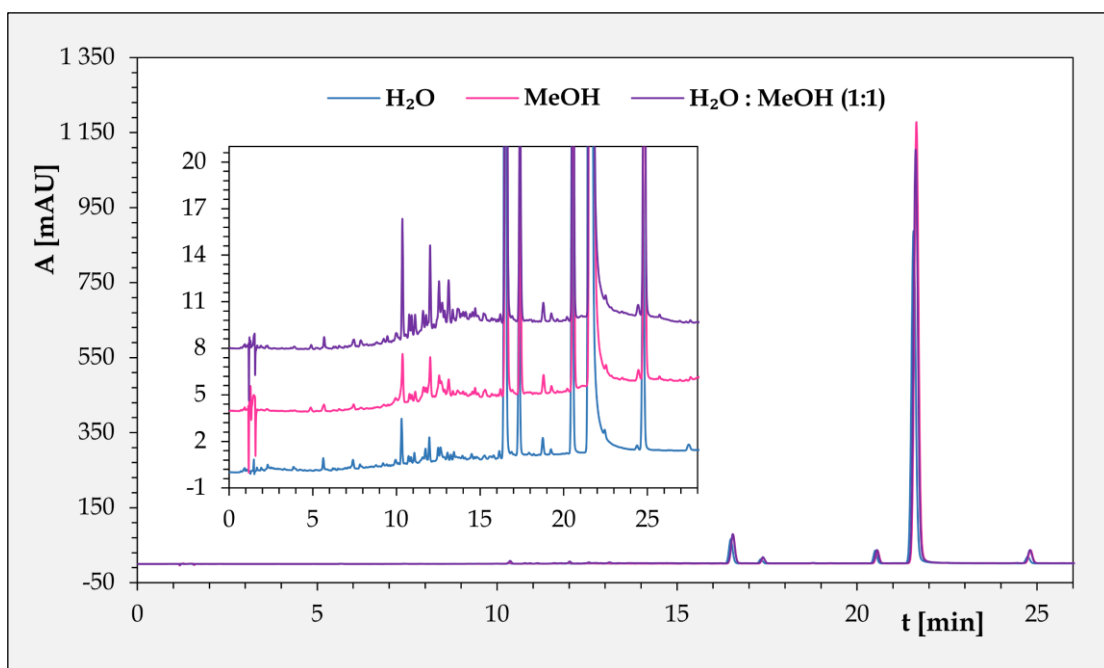
Před analýzou samotných vzorků skořice bylo nutné optimalizovat jak proces přípravy vzorku (volba vhodného extrakčního rozpouštědla, doba extrakce atd.), tak separační podmínky, jako je složení mobilní fáze, optimální průtok, dávkovaný objem vzorku a detekční podmínky. Cílem tohoto optimalizačního procesu bylo stanovení ideálních podmínek pro separaci látek ve vzorcích skořice, aby bylo dosaženo co nejvyšší účinnosti separace a rozlišení všech sledovaných analytů.

4.1.1 Optimalizace přípravy vzorku

Příprava vzorku je klíčovým krokem v analytickém procesu, který může výrazně ovlivnit kvalitu a spolehlivost výsledků analýzy. Správná příprava vzorku zajistí, že analyzované látky budou přítomny v optimální formě pro následnou separaci a detekci, čímž se minimalizuje riziko chyb a zkreslení výsledků. Důležitým aspektem je i výběr správného množství vzorku a vhodného rozpouštědla, které zajistí

efektivní extrakci analytů z matrice vzorku a jejich stabilitu během analýzy. Jako extrakční metoda byla zvolena ultrazvuková extrakce v ultrazvukové lázni.

V rámci optimalizace přípravy vzorku bylo testováno několik různých navážek vzorku, aby bylo možné najít ideální množství pro dosažení co nejlepší detekce analyzovaných látek. Dále byla testována různá rozpouštědla, mezi která patřila ultračistá voda, methanol nebo směs ultračisté vody a methanolu v poměru 1:1 (viz **Obrázek 19**). Volba vhodného rozpouštědla je zásadní, neboť ovlivňuje nejen účinnost extrakce, ale také stabilitu analytů ve vzorku. Každé rozpouštědlo bylo testováno s cílem maximalizovat extrakci a minimalizovat interferenční látky, které by mohly negativně ovlivnit výsledky analýzy.



Obrázek 19 Porovnání chromatogramů pro různá extrakční rozpouštědla

Při porovnání různých extrakčních rozpouštědel bylo zjištěno, že použití vody vedlo k extrakci látek, které eluovaly především na začátku chromatogramu. Tento jev naznačuje přítomnost vysoce polárních sloučenin, které se do vodného prostředí extrahují snadno. Tyto složky však nepředstavují cílové analyty této práce, a proto samotná voda nebyla pro účely analýzy nejvhodnější.

Při použití čistého methanolu byl pozorován vyšší signál v oblasti cílových sloučenin než v případě vody. Methanol umožnil extrakci širšího spektra méně polárních látek, což se projevilo větším počtem a intenzitou relevantních píků v chromatogramu. Přesto nebyl výsledek zcela optimální.

Nejlepší výsledky byly zaznamenány při použití směsi methanolu a vody v poměru 1:1. Tato kombinace vykazovala nejvyšší extrakční účinnost vůči cílovým sloučeninám, což bylo patrné z většího počtu dobře separovaných píků a jejich vyšší intenzity (viz **Obrázek 19**). Směs obou rozpouštědel tak poskytla vyvážené podmínky pro extrakci jak polárnějších, tak méně polárních látek a prokázala se jako nejvhodnější pro následnou analýzu.

4.1.2 Optimalizace separačních podmínek

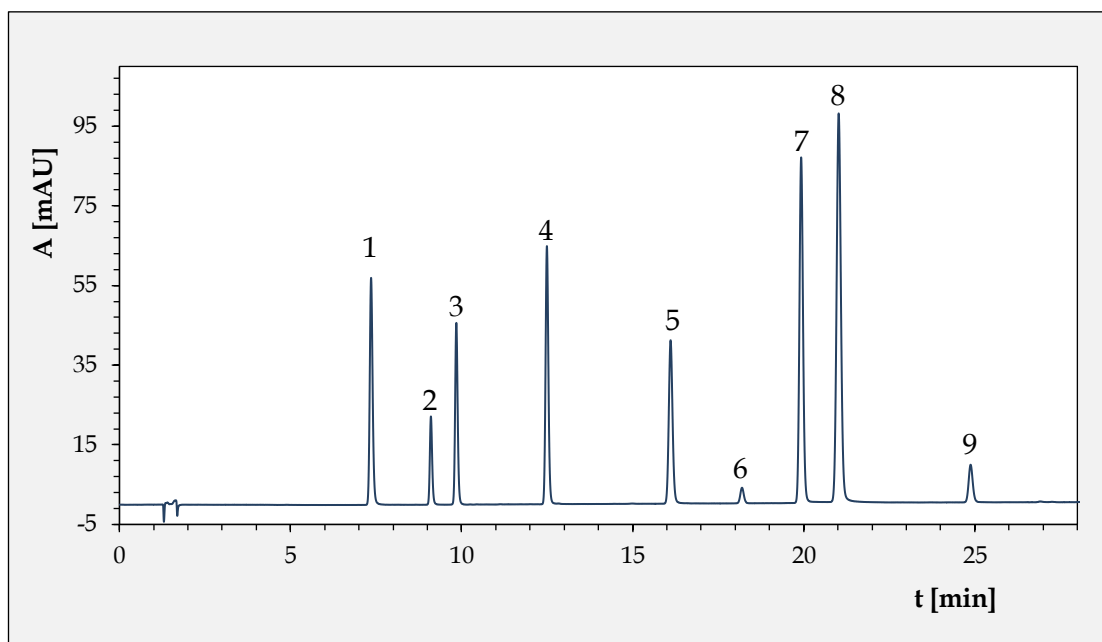
Pro nalezení vhodných separačních podmínek byly testovány různé separační podmínky s cílem rozdělit hledané analyty od dalších součástí vzorku.

Pro separaci látek byl použit HPLC systém s UV/VIS detekcí při vlnové délce 280 nm, která odpovídá absorpčnímu maximu většiny sledovaných sloučenin. Na začátku byla testována možnost identifikace látek pomocí hmotnostní spektrometrie. Byly vyzkoušeny dva běžné ionizační režimy – ionizace elektrosprejem (ESI) a chemická ionizace za atmosférického tlaku (APCI), a to v pozitivním i negativním módu. Vzhledem k tomu, že většina látek nebyla v hmotnostních spektrech pozorovatelná, bylo od dalšího využití hmotnostního spektrometru upuštěno.

Co se týče složení mobilní fáze, tak byly testovány tyto mobilní fáze 0,05% vodný roztok kyseliny mravenčí (MF-A), 0,05% roztok kyseliny mravenčí v acetonitrilu (MF-B), dále 0,1% vodný roztok kyseliny mravenčí (MF-A), 0,1% roztok kyseliny mravenčí v acetonitrilu (MF-B) a 0,1% vodný roztok kyseliny mravenčí (MF-A), roztok kyseliny mravenčí v methanolu (MF-B). Při použití 0,05% roztoků nedocházelo k úplné separaci píků a při použití methanolu jako mobilní fáze docházelo k velkému nárůstu tlaku v systému. Nakonec se tedy ukázalo jako nejlepší použití mobilní fáze 0,1% vodný roztok kyseliny mravenčí (MF-A), 0,1% kyselina mravenčí v acetonitrilu (MF-B).

Také byly testovány různé eluční gradienty, a jako nejvhodnější byl vybrán tento gradient: 0 minut – 5 % MF-B, 1 minuta – 5 % MF-B, 25 minut – 40 % MF-B, 35 minut – 90 % MF-B.

Na níže uvedeném obrázku (viz **Obrázek 20**) je ukázkový chromatogram pro standardy o koncentraci 10 mg/l, přičemž čísla jednotlivých píků a retenční časy látek jsou uvedeny v následující tabulce (viz **Tabulka 19**).



Obrázek 20 Chromatogram standardů o koncentraci 10 mg/l

Tabulka 19 Pořadí píků a retenční časy sledovaných látek

Číslo píku	Retenční čas [min]	Látka
1	7,36	Protokatechaldehyd
2	9,12	Kyselina chlorogenová
3	9,84	Kyselina kávová
4	12,50	Kyselina <i>p</i> -kumarová
5	16,10	Kumarin
6	18,24	Cinnamylalkohol
7	19,92	Kyselina skořicová
8	21,02	Cinnamaldehyd
9	24,91	Eugenol

4.2 Kalibrační závislosti

Kvantitativní analýza byla provedena pomocí metody kalibračních závislostí. Pro tuto analýzu byly připraveny kalibrační řady standardů, které byly následně proměřeny. Na základě těchto měření byly vytvořeny regresní grafy, jež zobrazují závislost odezvy UV/VIS detektoru na koncentraci jednotlivých roztoků. Získané regresní parametry byly použity k výpočtu koncentrací látek ve vzorcích. Každý kalibrační bod byl změřen dvakrát. Kalibrační grafy standardů jsou uvedeny v příloze (viz **Příloha 1** až **Příloha 9**).

Na základě získaných kalibračních dat byly stanoveny hodnoty směrnic a úseků jednotlivých regresních přímek. Bylo provedeno statistické hodnocení významnosti těchto parametrů na hladině $\alpha=0,05$ (viz **Tabulka 20**). V rámci tohoto hodnocení byly vypočteny p-hodnoty, které slouží k posouzení, zda daný parametr (např. směrnice) významně přispívá k vysvětlení závislosti mezi koncentrací a detekční odezvou. Čím je p-hodnota nižší, tím vyšší je pravděpodobnost, že daný parametr má skutečný vliv a jeho hodnota není výsledkem statistické variability a naopak.

Tabulka 20 Hodnoty směrnic a úseků a jejich statistická významnost (statisticky významný – ANO, statisticky nevýznamný – NE)

Standard	Směrnice	p-hodnota směrnice	Úsek	p-hodnota úseku
Protokatechaldehyd	30,6220 ± 0,1621 (ANO)	0,0000	1,5574 ± 11,1212 (NE)	0,8899
Kyselina chlorogenová	10,5518 ± 0,0537 (ANO)	0,0000	-0,02955 ± 4,2347 (NE)	0,9945
Kyselina kávová	23,1152 ± 0,1044 (ANO)	0,0000	5,9738 ± 7,2381 (NE)	0,4180
Kyselina p-kumarová	37,8740 ± 0,3285 (ANO)	0,0000	10,3005 ± 5,4441 (NE)	0,0731
Kumarin	29,9918 ± 0,0913 (ANO)	0,0000	10,1042 ± 6,1660 (NE)	0,1155
Cinnamylalkohol	3,3545 ± 0,0162 (ANO)	0,0000	0,1302 ± 0,1752 (NE)	0,4745
Kyselina skořicová	61,5421 ± 0,2372 (ANO)	0,0000	12,5835 ± 15,3419 (NE)	0,4202
Cinnamaldehyd	70,4100 ± 0,2867 (ANO)	0,0000	11,8962 ± 21,8913 (NE)	0,5919
Eugenol	7,2536 ± 0,0426 (ANO)	0,0000	1,4848 ± 3,2586 (NE)	0,6541

Výsledky ukázaly, že p-hodnota pro směrnice všech kalibračních závislostí byla nižší než 0,05, což svědčí o jejich statistické významnosti. Naopak p-hodnoty pro úseky byly vyšší než 0,05, což naznačuje, že tyto parametry jsou statisticky nevýznamné a měly by být z regresního modelu vypuštěny [74, 75]. Na základě tohoto zjištění byl regresní model zpřesněn, a byly opětovně spočítány směrnice pro jednotlivé látky (viz Tabulka 21).

Tabulka 21 Hodnoty směrnic a úseků po zpřesnění regresního modelu (statisticky významný – ANO)

Standard	Směrnice	p-hodnota směrnice	Úsek
Protokatechaldehyd	30,6330 ± 0,1386	0,0000 (ANO)	0
Kyselina chlorogenová	10,5516 ± 0,0446	0,0000 (ANO)	0
Kyselina kávová	23,1578 ± 0,1048	0,0000 (ANO)	0
Kyselina <i>p</i> -kumarová	38,1793 ± 0,3032	0,0000 (ANO)	0
Kumarin	30,0648 ± 0,0826	0,0000 (ANO)	0
Cinnamylalkohol	3,3628 ± 0,0115	0,0000 (ANO)	0
Kyselina skořicová	61,6338 ± 0,2079	0,0000 (ANO)	0
Cinnamaldehyd	70,4828 ± 0,2499	0,0000 (ANO)	0
Eugenol	7,2639 ± 0,0353	0,0000 (ANO)	0

Po úpravě modelu byla provedena finální regresní analýza (viz **Tabulka 22**), jejíž výsledky vykazovaly vysokou míru shody mezi měřenými hodnotami a kalibračními daty. Většina výsledných regresních modelů dosahovala koeficientu determinace $R^2=0,999$, což potvrzuje vysokou přesnost a spolehlivost zvolené kvantifikační metody. Pouze u kyseliny *p*-kumarové byl tento koeficient mírně nižší, což může být způsobeno menší odchylkou v měření nebo nižší linearitou v daném rozsahu koncentrací.

Tabulka 22 Regresní parametry

Standard	Lineární rozsah	Regresní rovnice	R	R ²
Protokatechaldehyd	0,0504 až 206,4	$y = 30,6330 \cdot x$	0,9998	0,9995
Kyselina chlorogenová	0,203 až 217,2	$y = 10,5516 \cdot x$	0,9998	0,9997
Kyselina kávová	0,588 až 208,4	$y = 23,1578 \cdot x$	0,9998	0,9997
Kyselina <i>p</i> -kumarová	0,0252 až 49,8	$y = 38,1793 \cdot x$	0,9993	0,9987
Kumarin	0,0506 až 203,2	$y = 30,0648 \cdot x$	0,9999	0,9998
Cinnamylalkohol	0,574 až 22,96	$y = 3,3628 \cdot x$	0,9999	0,9999
Kyselina skořicová	0,0265 až 202,4	$y = 61,6338 \cdot x$	0,9999	0,9997
Cinnamaldehyd	0,0287 až 239,2	$y = 70,4828 \cdot x$	0,9998	0,9997
Eugenol	0,252 až 210	$y = 7,2639 \cdot x$	0,9998	0,9996

4.3 Validace metody

Validace analytické metody je proces, jehož cílem je ověřit, zda je zvolená metoda vhodná pro zamýšlený účel. Slouží k prokázání, že metoda poskytuje spolehlivé, přesné a reprodukovatelné výsledky v rámci definovaných podmínek. Validace hodnotí klíčové parametry, jako jsou linearita, mez detekce (LOD), mez kvantifikace (LOQ), přesnost, správnost, selektivita, opakovatelnost či robustnost. Výsledky validace následně potvrzují, že je analytická metoda vhodná pro použití při stanovení sledovaných látek v daném typu vzorku [76].

4.3.1 Mez detekce a mez stanovitelnosti

Hodnoty LOD (limit detekce) a LOQ (limit kvantifikace) určují minimální koncentrace analytu, které lze spolehlivě detekovat a kvantifikovat v daném vzorku. LOD je definován jako nejnižší koncentrace, při které je signál analytu odlišný od šumu, zatímco LOQ představuje koncentraci, při které je možné analyt spolehlivě kvantifikovat s požadovanou přesností a opakovatelností. Tyto hodnoty jsou klíčové pro validaci analytické metody a pro zajištění spolehlivosti výsledků [76].

Pro stanovení těchto hodnot byla z chromatogramů odečtena průměrná výška šumu a výšky píků pro nejnižší kalibrační body jednotlivých látek (viz **Příloha 11**). Příslušné hodnoty LOD a LOQ pro jednotlivé látky jsou uvedeny v následující tabulce (viz **Tabulka 23**).

Tabulka 23 Hodnoty mezí detekce a stanovitelnosti

Standard	LOD [mg/l]	LOQ [mg/l]
Protokatechaldehyd	0,0113	0,0377
Kyselina chlorogenová	0,0255	0,0851
Kyselina kávová	0,0138	0,0460
Kyselina <i>p</i>-kumarová	0,0071	0,0237
Kumarin	0,0142	0,0472
Cinnamylalkohol	0,0970	0,3745
Kyselina skořicová	0,0064	0,0212
Cinnamaldehyd	0,0081	0,0269
Eugenol	0,0597	0,1991

4.3.2 Přesnost a správnost metody

Pro ověření spolehlivosti analytické metody byly hodnoceny validační parametry přesnosti a správnosti. Správnost vyjadřuje míru shody mezi naměřenou a skutečnou hodnotou a je obvykle posuzována pomocí výtěžnosti (recovery). Přesnost charakterizuje těsnost shody mezi opakovanými měřeními a je vyjadřována relativní směrodatnou odchylkou (RSD, %). Přesnost se dále rozlišuje na intraday opakovatelnost (opakovaná měření v rámci jednoho dne) a interday opakovatelnost (opakovaná měření v různých dnech), čímž se ověřuje stabilita metody v čase. [76, 77].

Správnost byla posuzována na základě stanovení výtěžnosti (recovery) roztoků standardů o známé koncentraci i reálných vzorků s přidavkem známého množství standardu (standardní přidavek). Výtěžnost byla stanovována pro tři koncentrační hladiny standardů (1, 10 a 100 mg/l) a také pro vzorek č. 4 obohacený o známé

množství standardu. Standardní roztoky byly analyzovány ve třech různých dnech a vzorky se standardním přídatkem byly analyzovány ve dvou dnech. Hodnoty výtěžnosti byly vyjádřeny v procentech a hodnotily správnost metody.

Přesnost byla posuzována prostřednictvím opakovatelnosti (repeatability) měření. Pro hodnocení interday opakovatelnosti byly využity výsledky opakovaných měření standardů ve třech dnech a měření vzorků se standardním přídatkem ve dvou dnech. Dále byla posuzována i intraday opakovatelnost, kdy byly standardní roztoky o koncentracích 1, 10 a 100 mg/l měřeny pětkrát během jednoho dne. Výsledky přesnosti byly vyjádřeny pomocí RSD. Podrobnější postupy jsou uvedeny v experimentální části (viz kapitola **Postup provedení validace**).

Kritéria přijatelnosti pro výtěžnost a opakovatelnost byla převzata z doporučení organizace AOAC International, která stanovuje akceptační limity pro validaci analytických metod (viz **Tabulka 24**) [78].

Tabulka 24 Kritéria přijatelnosti převzatá z AOAC International pro vybrané koncentrace

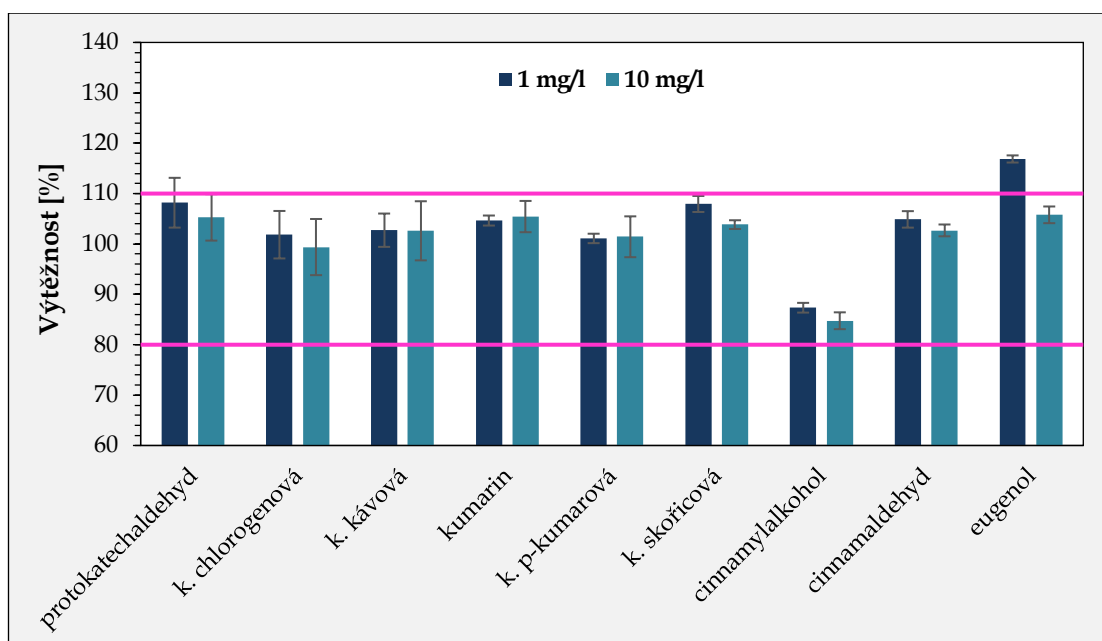
Koncentrace [mg/kg]	RSD [%]	Průměrná výtěžnost [%]
1	≤ 11,0	80 - 110
10	≤ 7,3	80 - 110
100	≤ 5,3	90 - 107

Hodnocení těchto parametrů bylo nezbytné pro ověření, zda metoda poskytuje správné výsledky a že je vhodná pro analýzu vzorků v rámci této práce.

Na základě výše popsaného postupu byly získány konkrétní výsledky výtěžnosti a opakovatelnosti, které jsou shrnuty v následujících podkapitolách. Jednotlivé obrázky ukazují, jak si metoda vedla z hlediska správnosti (výtěžnosti) a přesnosti (RSD) v různých podmínkách. Výchozí hodnoty všech výtěžností a opakovatelností jsou uvedeny v příloze (viz **Příloha 12** až **Příloha 17**).

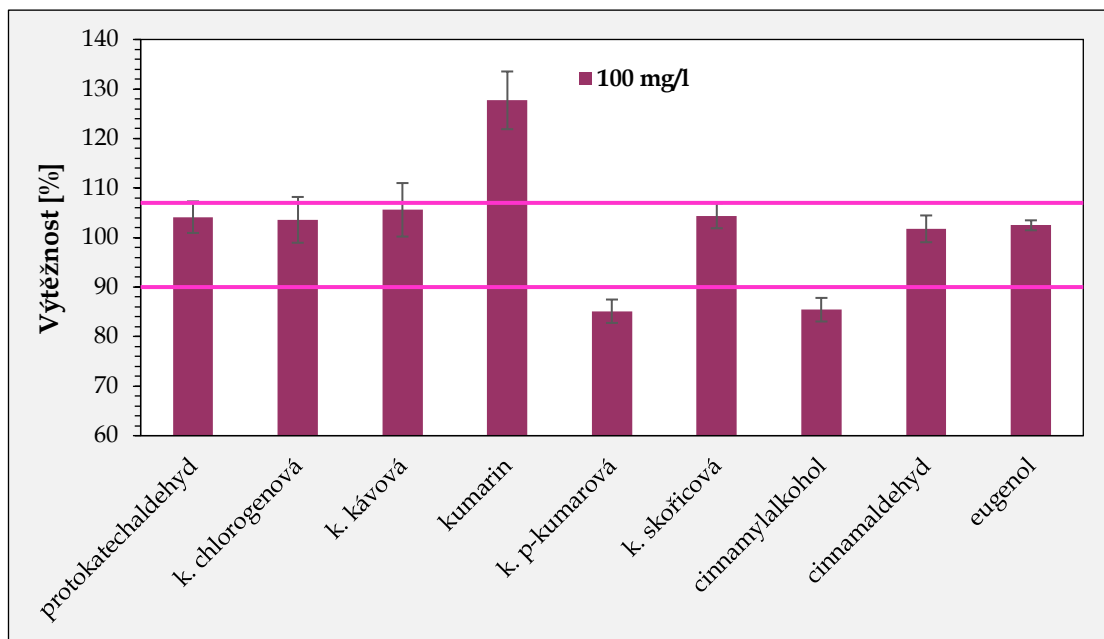
4.3.2.1 Přesnost a správnost standardů

Výtěžnosti roztoků standardů o koncentracích 1, 10 a 100 mg/l byly stanoveny jak na základě měření provedeném během jednoho dne, tak na základě měření ve třech různých dnech. V níže uvedených grafech je zobrazena průměrná výtěžnost během jednoho dne a za tři dny pro jednotlivé koncentrace doplněná o směrodatnou odchylku. Vztah použitý pro výtěžnosti je uveden v příloze (**Příloha 10**). Intervaly akceptačních kritérií dle AOAC International pro jednotlivé koncentrace jsou v grafech znázorněny růžovými vodorovnými čarami.



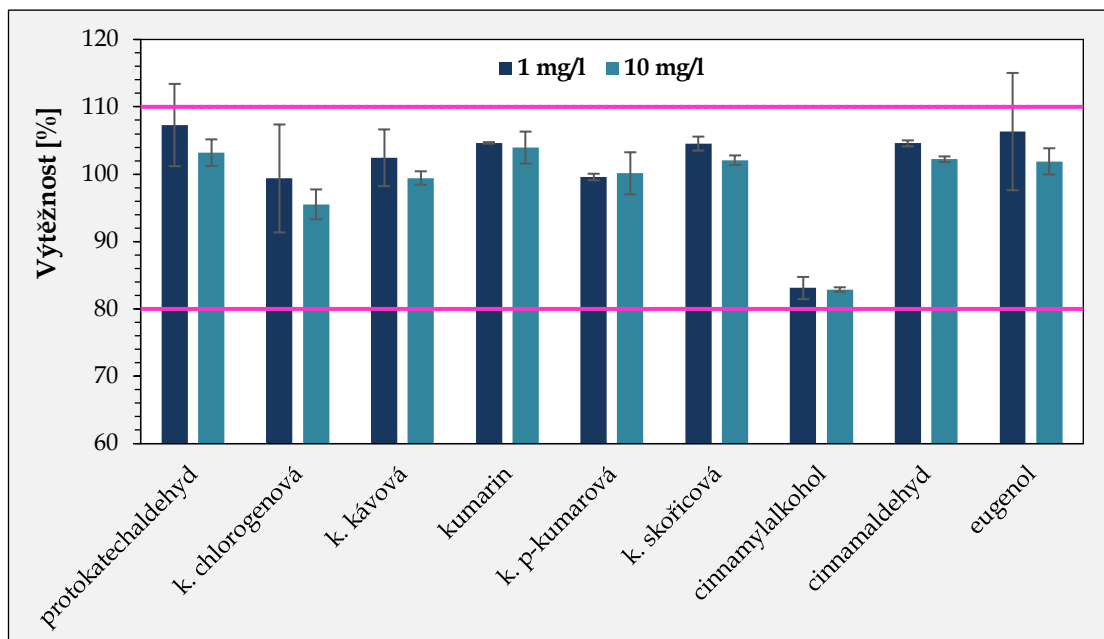
Obrázek 21 Průměrné hodnoty výtěžností v jednom dni pro různé koncentrace standardů (n=5)

Na výše uvedeném obrázku (viz **Obrázek 21**) je patrné, že téměř všechny hodnoty výtěžností pro koncentrace 1 a 10 mg/l stanovené v jednom dni spadají do stanoveného rozmezí. Výjimkou je pouze eugenol (koncentrace 1 mg/l), jehož výtěžnost lehce překročily horní hranici rozmezí.



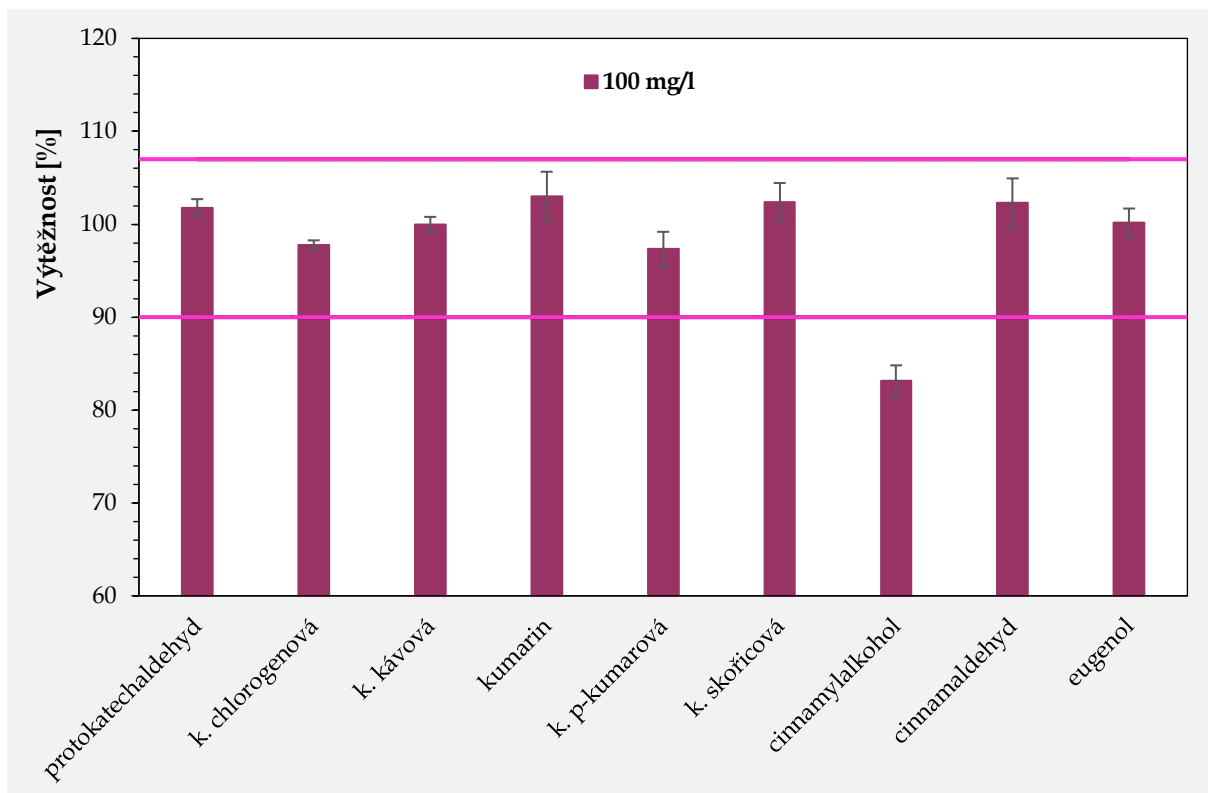
Obrázek 22 Průměrné hodnoty výtěžností v jednom dni pro různé koncentrace standardů (n=5)

Co se týče hodnot výtěžností pro standardy o koncentraci 100 mg/l stanovené v jednom dni (viz **Obrázek 22**), tak zde došlo k překročení horní hranice rozmezí u kumarinu. Dále hodnoty pro kyselinu *p*-kumarovou a cinnamylalkohol byly lehce pod hodnotou dolní hranice rozmezí. Je však důležité poznamenat, že většina látek se vyskytovala ve vzorcích v mnohem nižších koncentracích. Jediný cinnamaldehyd překročil v některých vzorcích koncentraci 100 mg/l, nicméně jeho výtěžnost splňovala akceptační kritéria dle AOAC International.



Obrázek 23 Hodnoty průměrných výtěžností za 3 dny pro standardy o koncentracích 1 a 10 mg/l (n=6)

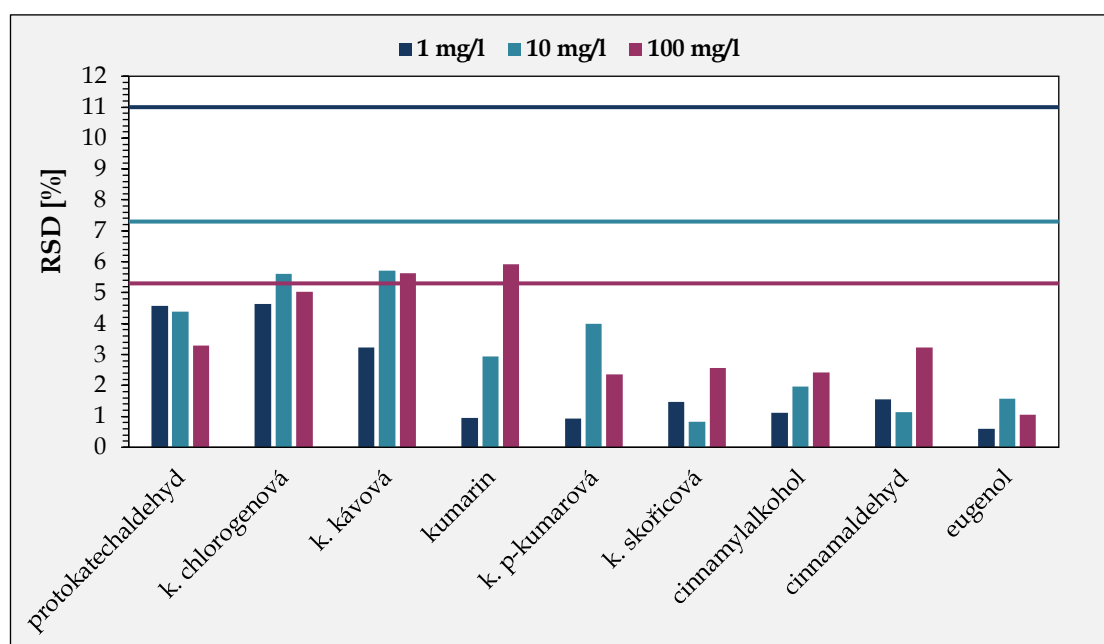
Co se týče průměrných hodnot výtěžností stanovených během 3 různých dní pro koncentrace 1 a 10 mg/l (viz **Obrázek 23**), tak jejich hodnoty pro všechny látky spadaly do stanoveného rozmezí.



Obrázek 24 Hodnoty průměrných výtěžností za 3 dny pro standardy o koncentraci 100 mg/l (n=6)

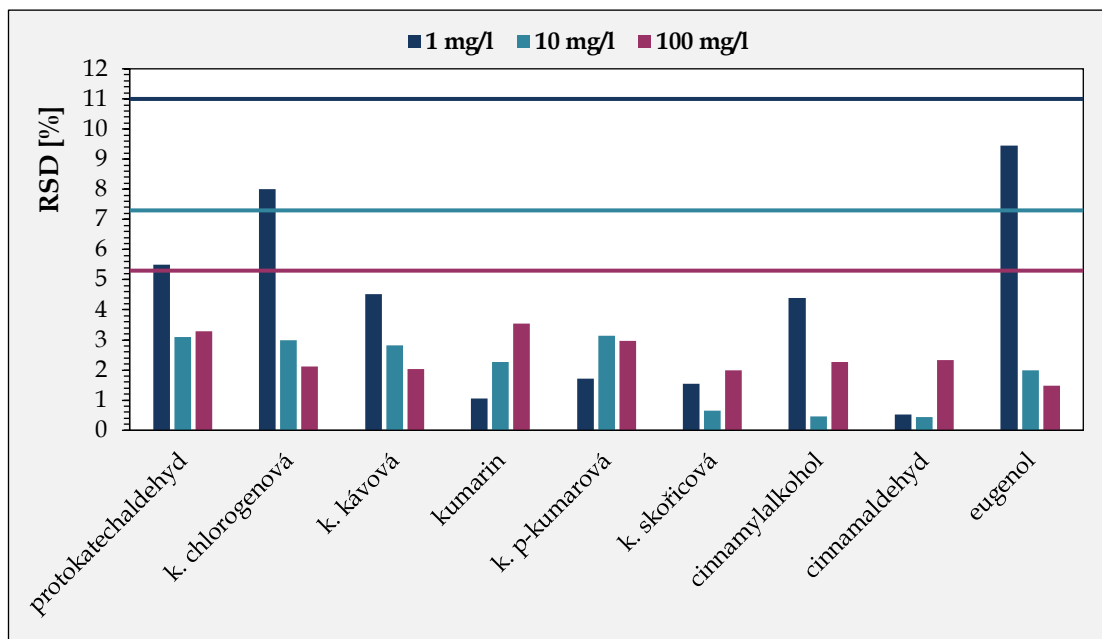
U koncentrace 100 mg/l (**Obrázek 24**) byly výsledky výtěžnosti za 3 dny lepší než u jednoho dne a jediná výtěžnost pro cinnamylalkohol byla pod dolní hranicí kritéria. Je však opět třeba vzít v úvahu, že jeho koncentrace ve vzorcích byla výrazně nižší (pod 3,5 mg/l).

Opakovatelnost byla také hodnocena pro roztoky standardů o koncentracích 1, 10 a 100 mg/l ve dvou úrovních – jako intraday opakovatelnost, tedy na základě pěti opakovaných měření provedených během jednoho dne, a dále jako interday opakovatelnost, kdy byla stejná měření provedena ve třech různých dnech. V grafech níže (**Obrázek 25** a **Obrázek 26**) jsou zobrazeny průměrné hodnoty RSD pro jednotlivé koncentrace v rámci obou typů opakovatelnosti, doplněné o směrodatnou odchylku. Maximální přípustné hodnoty RSD dle kritérií AOAC International jsou na obrázcích vyznačeny vodorovnou čarou odpovídající barvě sloupce dané koncentrace.



Obrázek 25 Intraday opakovatelnost (n=5)

Z výše uvedeného obrázku (viz **Obrázek 25**) vyplývá, že došlo k mírnému překročení horní hranice u hodnot intraday opakovatelností pouze u kyseliny kávové a kumarinu.



Obrázek 26 Interday opakovatelnost (n=6)

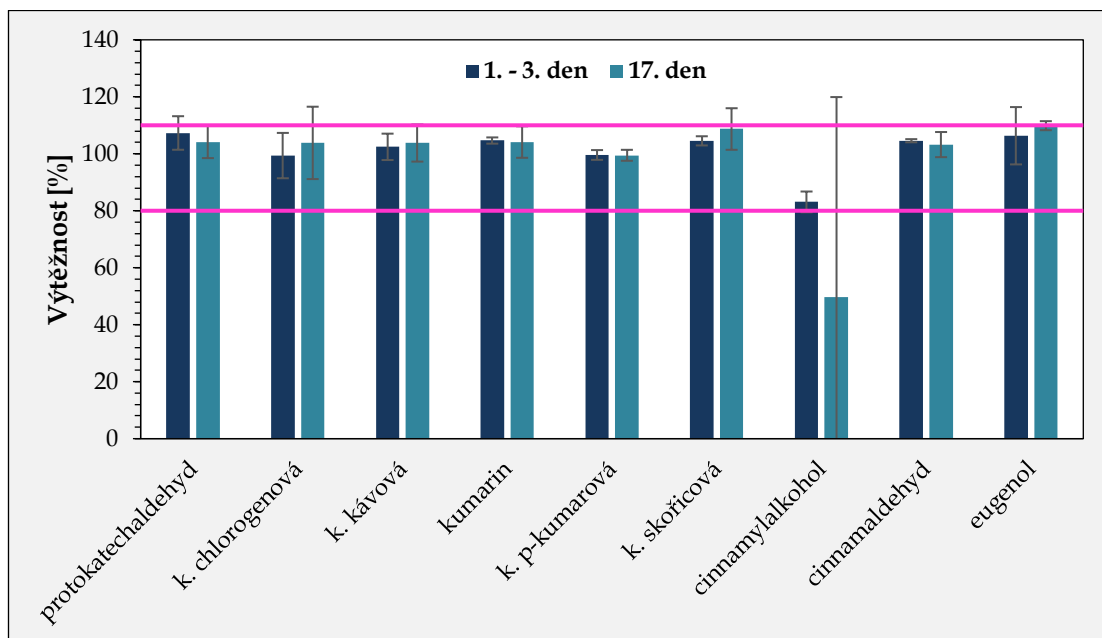
V případě interday opakovatelnosti standardů nedošlo k překročení maximální hodnoty u žádné ze sledovaných látek.

Závěrem lze říci, že výtěžnosti většiny sledovaných látek napříč všemi testovanými koncentracemi (1, 10 a 100 mg/l) splňovaly akceptační kritéria stanovená AOAC International, a to jak při jednodenním, tak třídním měření. Mírná odchylka nad horní nebo pod dolní hranici se vyskytla jen u několika látek, přičemž tyto koncentrace byly v reálných vzorcích většinou výrazně nižší. Opakovatelnost měření byla rovněž vyhodnocena jako vyhovující – zatímco u intraday měření došlo k překročení přípustné hodnoty RSD jen u dvou látek, interday opakovatelnost byla u všech analytů v přijatelném rozmezí. Výsledky tedy potvrzují spolehlivost použité analytické metody.

4.3.2.2 Posouzení stability standardů v čase

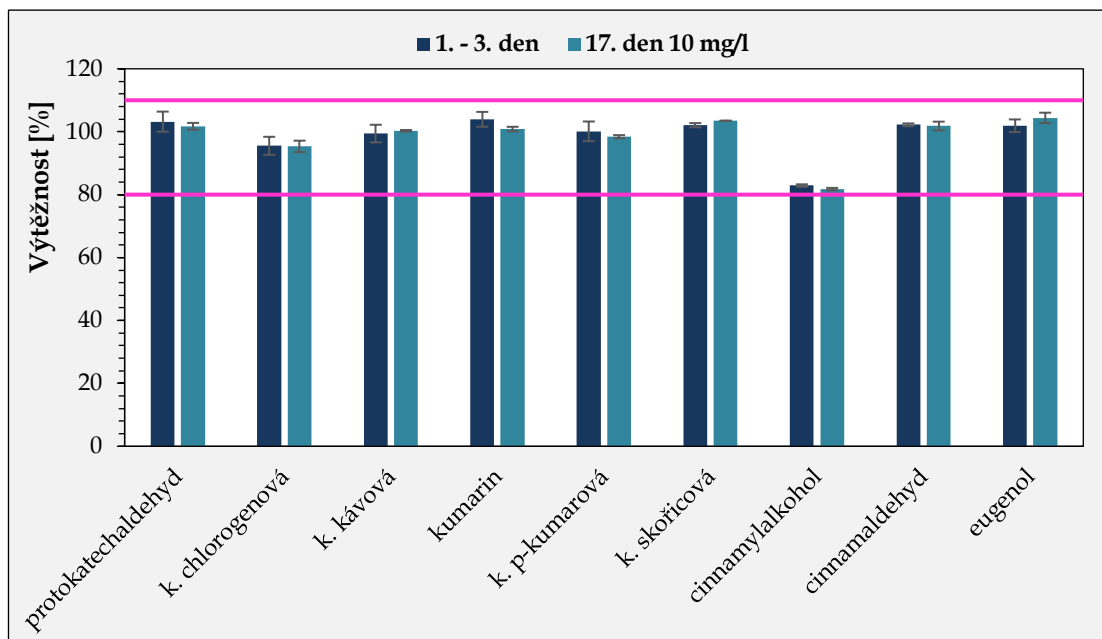
Stabilita roztoků standardů byla hodnocena s cílem ověřit, zda během skladování nedochází k významnému poklesu jejich koncentrace, což by mohlo ovlivnit přesnost a správnost analytických výsledků. Pro tento účel byly porovnány průměrné hodnoty výtěžností měřené během 1. až 3. dne s průměrnou hodnotou výtěžností získanou po 17 dnech. Hodnocení bylo provedeno pro koncentrace 1 a 10 mg/l. Výsledky jsou graficky znázorněny na níže uvedených obrázcích

(Obrázek 27 a Obrázek 28), přičemž sloupce reprezentují jednotlivé časové body. Vodorovné růžové čáry v grafech označují interval přijatelnosti výtěžností podle doporučení AOAC International pro danou koncentraci analytu.



Obrázek 27 Hodnoty průměrných výtěžností pro standardy o koncentraci 1 mg/l

Z výše uvedeného obrázku je patrné, že hodnoty průměrných výtěžností se v čase výrazně nelišily. Téměř všechny hodnoty spadají do vyznačeného rozmezí, a to jak pro 1. až 3. den, tak i pro 17. den. Pouze u cinnamylalkoholu došlo u 17. dne u jednoho měření ke koeluci a plochu tedy nebylo možné odečíst, a tudíž je tímto ovlivněna průměrná hodnota a rovněž je i směrodatná odchylka vysoká.



Obrázek 28 Hodnoty průměrných výtěžností pro standardy o koncentraci 10 mg/l

U koncentrace 10 mg/l už však všechny hodnoty výtěžností splňovaly stanovené rozmezí a jejich hodnoty v čase se také viditelně nelišily. V níže uvedených tabulkách (Tabulka 25 a Tabulka 26) jsou stanoveny relativní rozdíly průměrů koncentrací pro 1. až 3. den a také pro 17. den, které slouží k posouzení stability.

Tabulka 25 Průměrné koncentrace látek v čase a jejich relativní rozdíl (1 mg/l)

Standard	Průměrná koncentrace [mg/l]		Relativní rozdíl [%]
	1. až 3. den	17.den	
Protokatechaldehyd	1,1074	1,0751	3,00
Kyselina chlorogenová	1,0791	1,1275	4,29
Kyselina kávová	1,0674	1,0812	1,28
Kyselina <i>p</i> -kumarová	0,9918	0,9907	0,11
Kumarin	1,0633	1,0579	0,51
Cinnamylalkohol	0,8476	0,5066	67,32
Kyselina skořicová	1,0579	1,1000	3,82
Cinnamaldehyd	1,2508	1,2346	1,32
Eugenol	1,1165	1,1536	3,22

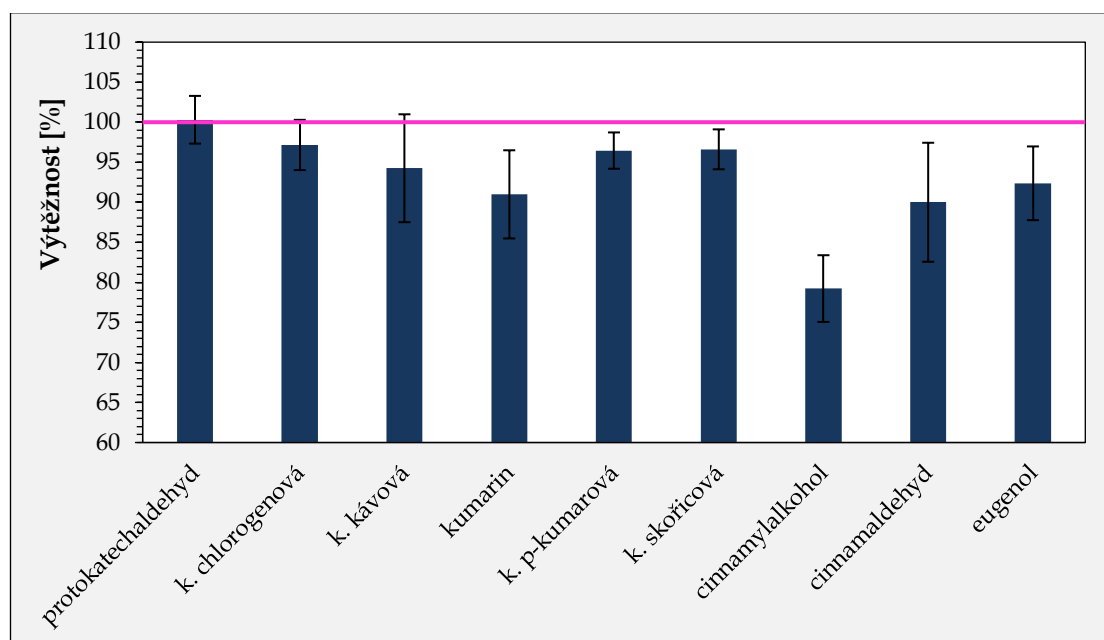
Tabulka 26 Průměrné koncentrace látek v čase a jejich relativní rozdíl (10 mg/l)

Standard	Průměrná koncentrace [mg/l]		Relativní rozdíl [%]
	1. až 3. den	17.den	
Protokatechaldehyd	10,6505	10,4988	1,44
Kyselina chlorogenová	10,3743	10,3534	0,20
Kyselina kávová	10,3602	10,4525	0,88
Kyselina <i>p</i>-kumarová	9,9730	9,8028	1,74
Kumarin	10,5611	10,2454	3,08
Cinnamylalkohol	8,4543	8,3419	1,35
Kyselina skořicová	10,3300	10,4720	1,36
Cinnamaldehyd	12,2247	12,1770	0,39
Eugenol	10,7002	10,9636	2,40

Relativní rozdíly mezi stanovenými a naměřenými koncentracemi jednotlivých látek v roztocích standardů se pohybovaly v rozmezí maximálně do 4,3 % (kromě cinnamylalkoholu kvůli jeho již zmíněné koeluci). Přičemž pro koncentraci 10 mg/l byla patrná vyšší stabilita než pro koncentraci 1 mg/l. Tyto rozdíly lze považovat za nízké a svědčí o dobré stabilitě roztoků. Z analytického hlediska jsou tyto odchylky akceptovatelné a naznačují, že během sledovaného období nedocházelo k významné degradaci nebo ztrátám analytů.

4.3.2.3 Vzorek se standardním přídatkem

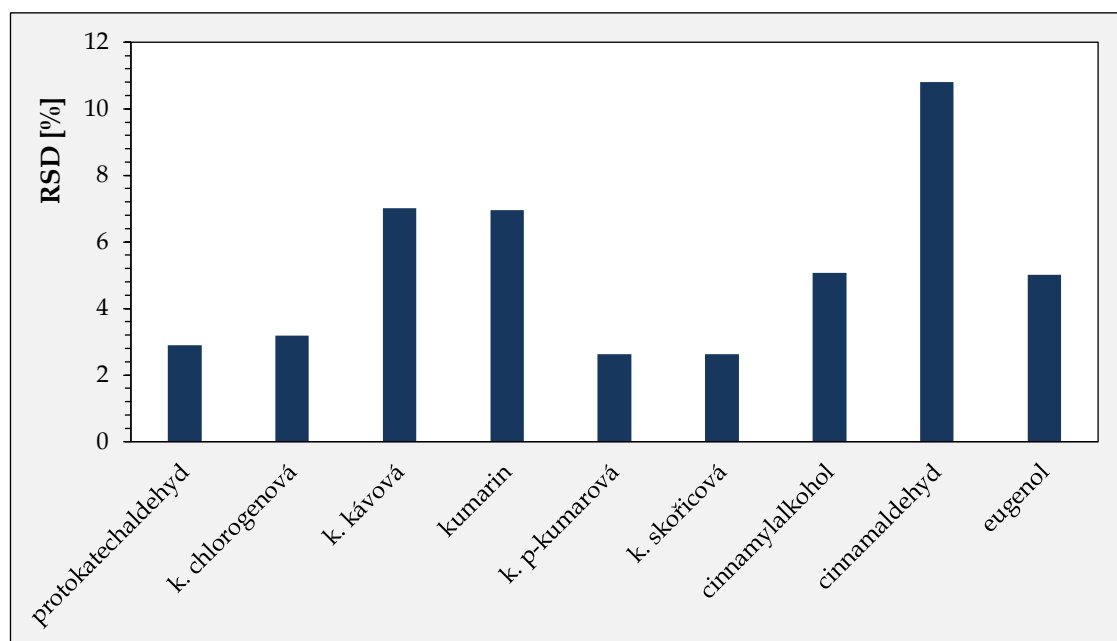
Pro ověření správnosti metody i s vlivem matrice bylo provedeno stanovení koncentrace látek ve vzorku č. 4 s využitím standardního přídatku. Výsledky byly vyjádřeny jako výtěžnosti (**Obrázek 29**), které byly spočítány porovnáním naměřených koncentrací s teoretickými hodnotami. Vzorky byly připraveny ve dvou replikách a analyzovány ve dvou různých dnech, přičemž každá replika byla měřena dvakrát. Pro jednotlivé analyty byly vypočteny průměrné výtěžnosti doplněné o směrodatnou odchylku. Růžová čára odpovídá 100% výtěžnosti a slouží tedy pouze jako orientační srovnání, nikoliv jako oficiální akceptační hranice dle AOAC.



Obrázek 29 Hodnoty výtěžností pro vzorek č. 4 se standardním přídatkem (n=8)

Z obrázku výše je patrné, že většina analytů dosahuje výtěžností v rozmezí 90 až 100 %, přičemž nejvyšších hodnot bylo dosaženo u protokatechaldehydu, kyseliny chlorogenové a kyseliny skořicové. Nižší výtěžnosti a vyšší rozptyl byly zaznamenány u cinnamylalkoholu a cinnamaldehydu.

Pro posouzení přesnosti metody s ohledem na vliv matrice byla hodnocena interday opakovatelnost měření vzorku č. 4 s přidavkem standardu. Vzorky byly připraveny ve dvou replikách a analyzovány ve dvou různých dnech, přičemž každá replika byla měřena dvakrát. Pro jednotlivé analyty byly vypočteny průměrné hodnoty RSD (**Obrázek 30**) jako ukazatel opakovatelnosti mezi dny.



Obrázek 30 Interday opakovatelnost (n=8)

Z obrázku výše je patrné, že u většiny látek se hodnoty RSD pohybovaly do 6 %. Výjimkou byla kyselina kávová a kumarin, jejichž hodnoty přesáhly hodnotu 6 %. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána u cinnamaldehydu (nad 10 %).

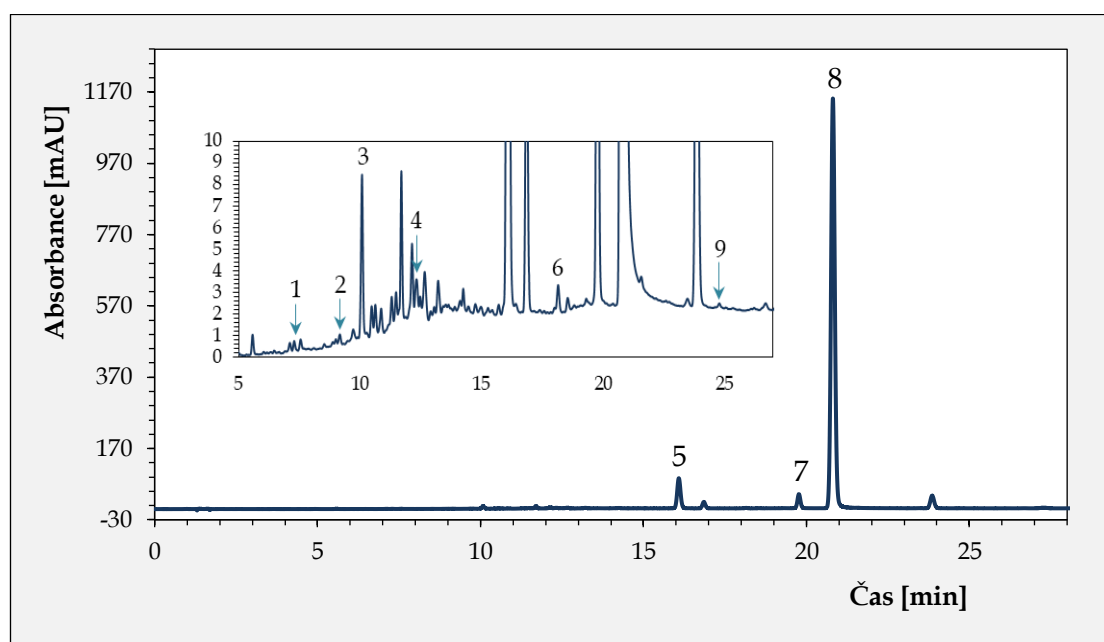
Závěrem lze říci, že ověření správnosti metody pomocí standardního přídatku ve vzorku č. 4 potvrdilo její dobrou přesnost a spolehlivost i při zohlednění vlivu matrice. Většina analyzovaných látek vykazovala výtěžnosti mezi 90–100 %, přičemž vyšší hodnoty byly zaznamenány u protokatechaldehydu, kyseliny chlorogenové a kyseliny skořicové. Mírně nižší výtěžnosti a větší rozptyl se vyskytly u

cinnamylalkoholu a cinnamaldehydu. Interday opakovatelnost byla u většiny látek vyhovující, s hodnotami RSD do 6 %, pouze u kyseliny kávové, kumarinu a cinnamaldehydu byly hodnoty mírně vyšší. Celkově výsledky potvrzují vhodnost metody pro kvantitativní analýzu sledovaných látek ve skořici.

4.4 Analýza vzorků skořice

V rámci analýzy bylo zpracováno šest vzorků mleté skořice od různých značek, zakoupených v běžně dostupných supermarketech. Všechny vzorky byly pro analýzu připraveny dle postupu (viz **Postup přípravy vzorku**). Nejprve byly analyzovány vzorky bez tepelné úpravy. Dále byl sledován vliv teploty na obsah sledovaných látek, přičemž byly zvoleny tři různé teploty (120, 150 a 180 °C) a vzorky byly zahřívány po různá časová období (10, 20, 30 a 40 minut), aby bylo možné sledovat vliv tepelného ošetření na obsah sledovaných látek. Tepelné úpravě byl vystaven vzorek č. 4 a pro porovnání také vzorek č. 6, který představoval cejlonskou skořici. Na níže uvedeném obrázku (**Obrázek 31**) je znázorněn ukázkový chromatogram pro vzorek č. 4.

Pro vzorky bez tepelné úpravy skořice byla připravena jedna replika, která byla následně změřena dvakrát. U vzorků podrobených zahřívání byly vždy připraveny dvě repliky, z nichž každá byla změřena dvakrát.

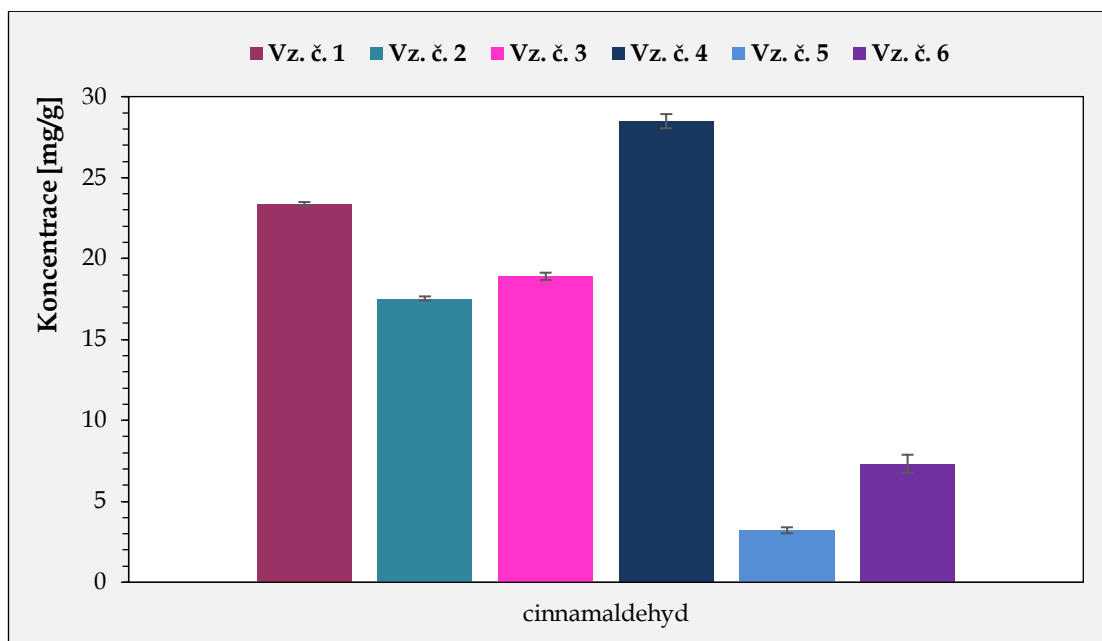


Obrázek 31 Chromatogram pro vzorek č. 4 (1 – protokatechaldehyd, 2 – kyselina chlorogenová, 3 – kyselina kávová, 4 – kyselina p-kumarová, 5 – kumarin, 6 – cinnamylalkohol, 7 – kyselina skořicová, 8 – cinnamaldehyd, 9 – eugenol)

4.4.1 Analýza vzorků bez zahřívání

Jako první byly analyzovány všechny vzorky skořice bez tepelného ošetření. Cílem bylo zjistit přirozený obsah sledovaných látek v jednotlivých vzorcích a posoudit případné rozdíly mezi produkty různých značek. Výsledky zároveň slouží jako výchozí hodnota pro porovnání s daty získanými po tepelném ošetření. Každý vzorek byl připraven, dle již zmíněného postupu (viz **Postup přípravy vzorku**) a připravený extrakt byl dvakrát změřen.

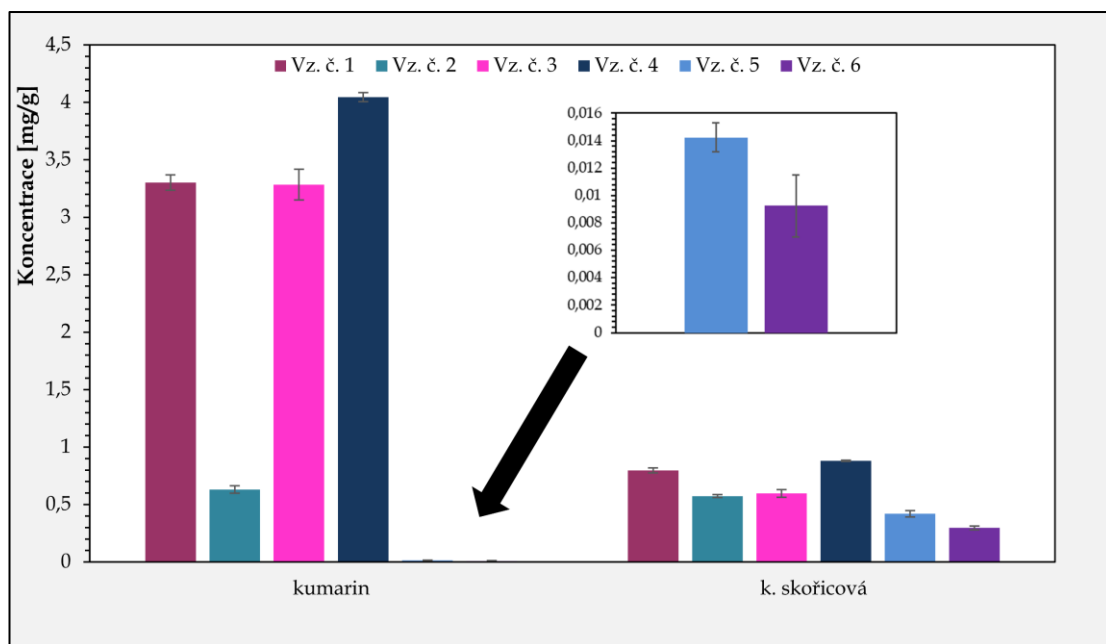
Pro snadnější orientaci byly výsledky rozděleny do 3 obrázků (**Obrázek 32**, **Obrázek 33** a **Obrázek 34**), jelikož koncentrační rozsahy sledovaných látek se mezi sebou vzájemně lišily. Koncentrace jednotlivých látek v mg/g jsou uvedeny v příloze (viz **Příloha 18**).



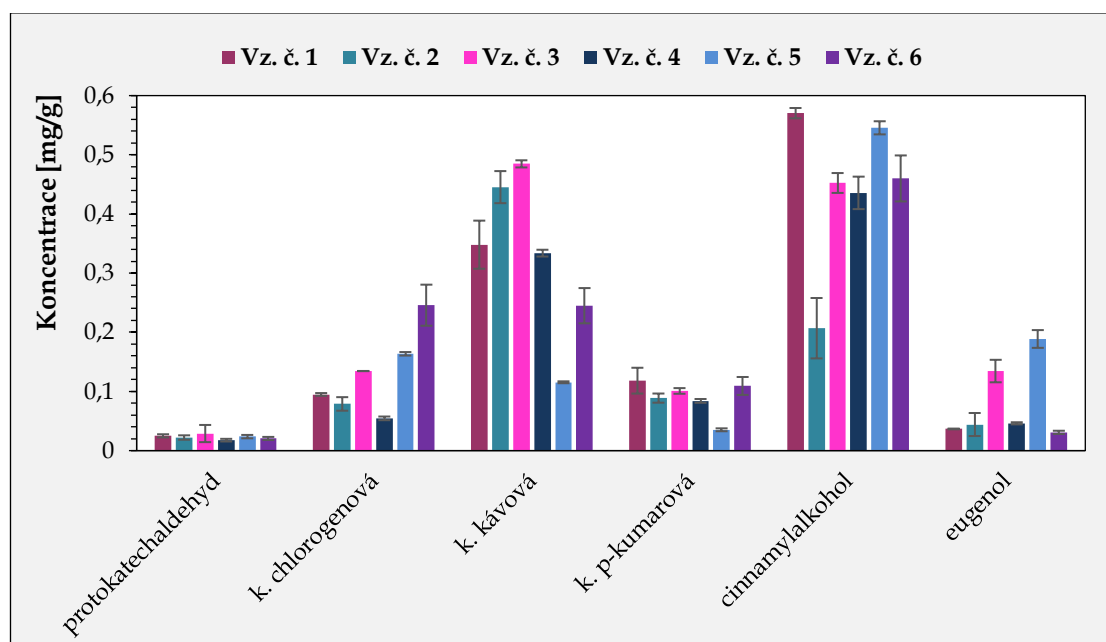
Obrázek 32 Koncentrace cinnamaldehydu v jednotlivých vzorcích (n=2)

Výsledky analýzy ukázaly, že nejvyšší koncentrace byla zaznamenána u cinnamaldehydu, jehož obsah ve vzorcích se pohyboval přibližně v rozmezí od 3 do 29 mg/g. Následoval kumarin, jehož koncentrace dosahovaly přibližně až 4 mg/g. Dalšími látkami, které se vyskytovaly v menších koncentracích, byly kyselina skořicová (přibližně 0,3 až 0,9 mg/g) a cinnamylalkohol (přibližně 0,15 až 0,6 mg/g). Kyselina kávová byla přítomná v koncentracích od 0,1 do 0,5 mg/g, zatímco kyselina chlorogenová se pohybovala v rozmezí 0,05 až 0,28 mg/g. Eugenol byl přítomen v

koncentracích od 0,04 do 0,2 mg/g a kyselina *p*-kumarová dosahovala koncentrací mezi 0,02 a 0,12 mg/g. Naopak, protokatechaldehyd byl přítomen pouze ve velmi nízkých koncentracích (kolem 0,02 mg/g.)



Obrázek 33 Koncentrace kumarinu a kyseliny skořicové v jednotlivých vzorcích (n=2)



Obrázek 34 Koncentrace látek v jednotlivých vzorcích (n=2)

Nejvyšší koncentrace cinnamaldehydu byly zaznamenány ve vzorku č. 4, kde přesahovaly 28 mg/g, následované vzorkem č. 1 s koncentrací přibližně 23 mg/g. Vzorky č. 5 a č. 6 vykazovaly výrazně nižší koncentrace cinnamaldehydu (pod 10 mg/g), což naznačuje, že by se mohlo jednat o cejlonskou skořici s nižším aromatickým profilem. Vzorek č. 6, který byl označen jako cejlonská skořice, skutečně odpovídal tomuto očekávanému profilu. Kyselina skořicová se pohybovala ve vzorcích č. 1 až č. 4 v koncentracích od 0,3 do 0,9 mg/g, zatímco ve vzorcích č. 5 a č. 6 byly její koncentrace nižší. U kumarinu vykazovaly vzorky č. 1, č. 3 a č. 4 vysoké koncentrace (přes 3 mg/g), přičemž vzorek č. 4 měl koncentraci přesahující 4 mg/g. Tento vysoký obsah kumarinu naznačuje, že vzorky č. 1 až č. 4 by mohly odpovídat skořici čínské, pro kterou je vysoký obsah kumarinu charakteristický. Naopak vzorky č. 5 a č. 6 obsahovaly kumarin v zanedbatelném množství, což je typické pro cejlonskou skořici.

V oblasti fenolických sloučenin byly nejvýznamněji zastoupeny cinnamylalkohol, kyselina kávová a chlorogenová. Cinnamylalkohol dosahoval nejvyšší koncentrace ve vzorcích č. 1 a č. 5, kde se pohyboval kolem 0,6 mg/g. Kyselina kávová a chlorogenová byly dominantní zejména ve vzorcích č. 2 až č. 4, zatímco vzorky č. 5 a č. 6 vykazovaly nižší koncentrace. Protokatechaldehyd byl ve všech vzorcích přítomen v nízkých koncentracích, přičemž jeho koncentrace se pohybovaly okolo 0,02 mg/g.

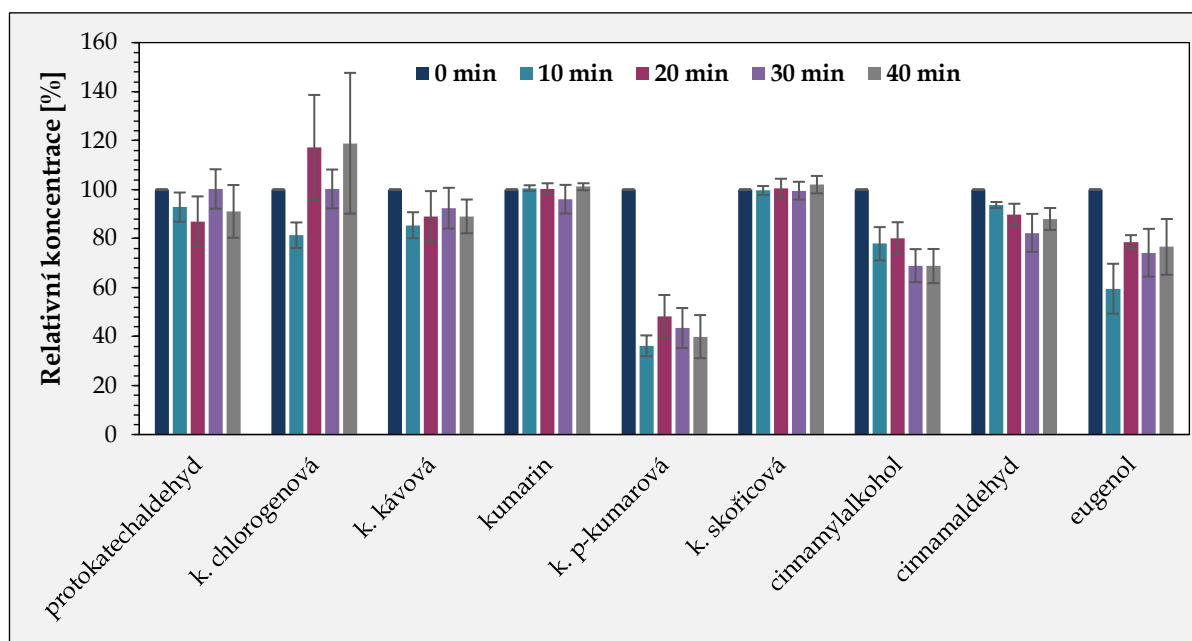
4.4.2 Vliv teploty na obsah látek ve skořici

Jelikož se skořice často využívá do receptů, které zahrnují tepelnou úpravu (vaření, pečení, smažení), je na místě sledovat, jak se mění vlastnosti a koncentrace obsažených bioaktivních látek při těchto teplotních úpravách.

Pro tepelnou úpravu byl zvolen vzorek č. 4, jelikož obsahoval vyšší koncentrace sledovaných látek ve srovnání s ostatními vzorky. Pro porovnání byl také zvolen vzorek č. 6 (cejlonská skořice), který obsahoval jiné koncentrace daných látek. Oba tyto vzorky byly podrobeny tepelnému ošetření v laboratorní sušárně při různých teplotách. Vzorek č. 4 (čínská skořice) byl zahříván při 120, 150 a 180 °C, zatímco

vzorek č. 6 (cejlonská skořice) pouze při 180 °C. Vliv teploty byl sledován po dobu 10, 20, 30 a 40 minut a pro každou dobu byly připraveny vždy dvě repliky.

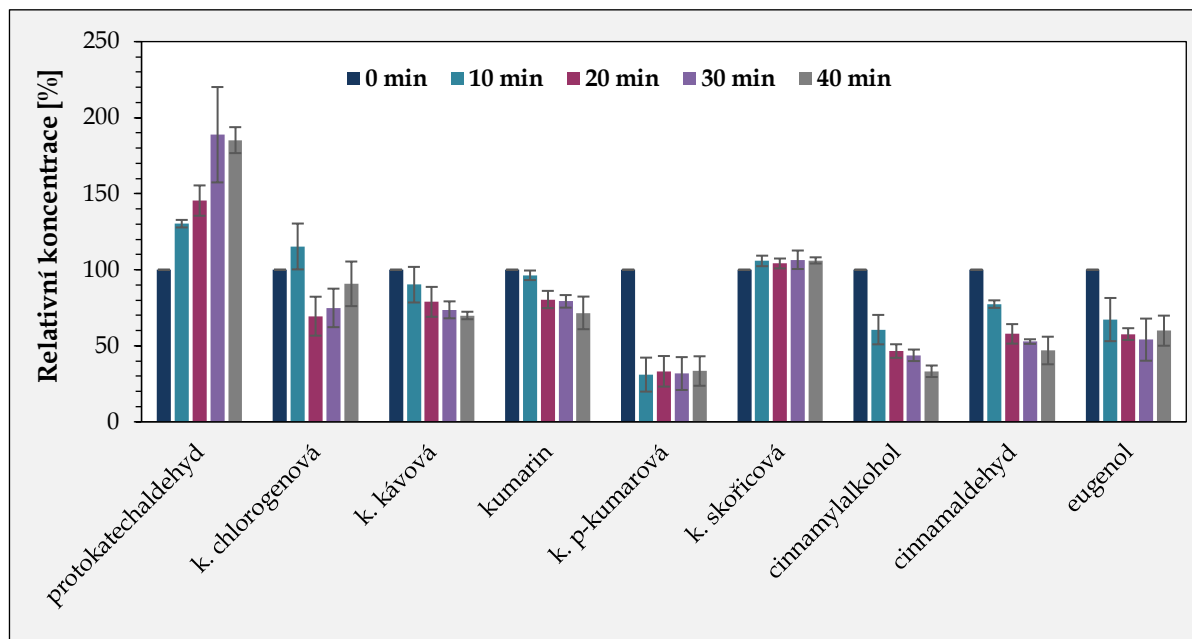
Vypočtené koncentrace analytů byly přepočítány na relativní koncentrace v procentech, přičemž koncentrace ve vzorku bez tepelného ošetření (0 minut) byla stanovena jako výchozí hodnota odpovídající 100 %. Tento přístup umožňuje snadné porovnání změn v obsahu jednotlivých látek. Absolutní koncentrace analytů v jednotkách mg/g navážky vzorku jsou uvedeny v příloze (viz **Příloha 19**, **Příloha 21**, **Příloha 25** a **Příloha 19**). Taktéž jsou v příloze uvedeny relativní koncentrace v % (viz **Příloha 20**, **Příloha 22**, **Příloha 24** a **Příloha 26**).



Obrázek 35 Změna koncentrace látek v čase při zahřívání na 120 °C (vzorek č. 4, n=4)

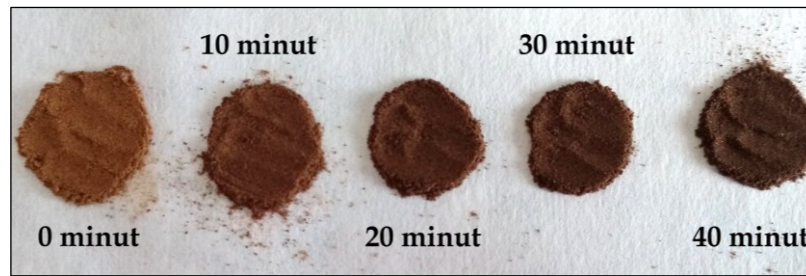
Při zahřívání vzorku skořice č. 4 na 120 °C došlo pouze k malým či žádným změnám v koncentraci většiny sledovaných látek (viz **Obrázek 35**). Nejpatrnější snížení koncentrace bylo u kyseliny *p*-kumarové, u které po 10 minutách zahřívání klesla koncentrace na přibližně 40 %, nicméně při delším zahřívání k dalšímu poklesu nedošlo. Dále pak byla patrná změna koncentrace u cinnamylalkoholu – po 10 a 20 minutách klesla na přibližně 80 %, přičemž po 30 a 40 minutách dosáhla zhruba 70 % původní koncentrace. Také v případě eugenolu došlo ke snížení koncentrace – po 10

minutách klesla na přibližně 70 %, přičemž při delším zahřívání k dalšímu poklesu nedošlo.

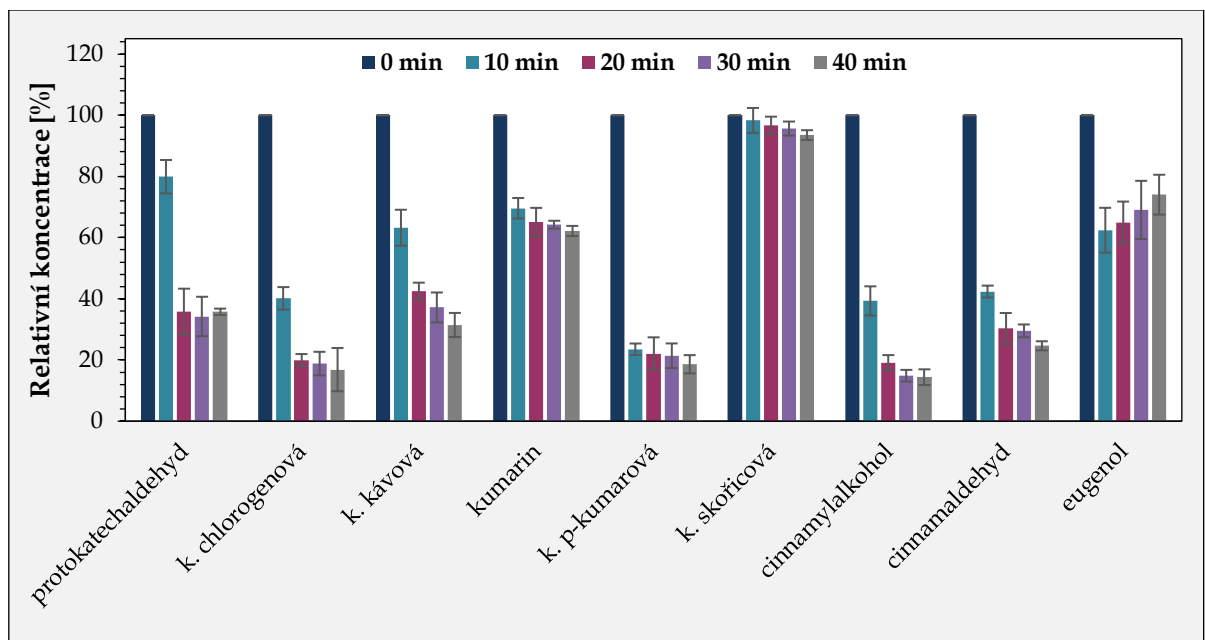


Obrázek 36 Změna koncentrace látek v čase při zahřívání na 150 °C (vzorek č. 4, n=4)

Při zahřívání na 150 °C bylo snížení koncentrace již více patrné u většiny látek (viz **Obrázek 36**), přičemž u kyseliny *p*-kumarové došlo k mírně většímu poklesu než při 120 °C. Podobně u cinnamylalkoholu došlo po 20 minutách ke snížení koncentrace na přibližně 50 % a po 40 minutách na méně než 40 %. U eugenolu bylo snížení podobné jako při teplotě 120 °C – koncentrace klesla na přibližně 70 %. Výraznější snížení bylo patrné také u cinnamaldehydu, kdy po 10 minutách klesla koncentrace na přibližně 80 % a po 20 minutách na zhruba 60 %. Při delším zahřívání už pokles nebyl tolik výrazný. V případě kumarinu a kyseliny kávové byl pokles mírný a pozvolný. Téměř žádná změna koncentrace nebyla pozorována u kyseliny skořicové, nicméně zajímavá byla situace v případě protokatechaldehydu, kde je patrné výrazné postupné zvýšení jeho koncentrace – po 40 minutách dosáhla přibližně 190 % původní hodnoty. U kyseliny chlorogenové došlo ke snížení až po 20 minutách, kdy koncentrace klesla na zhruba 80 %.



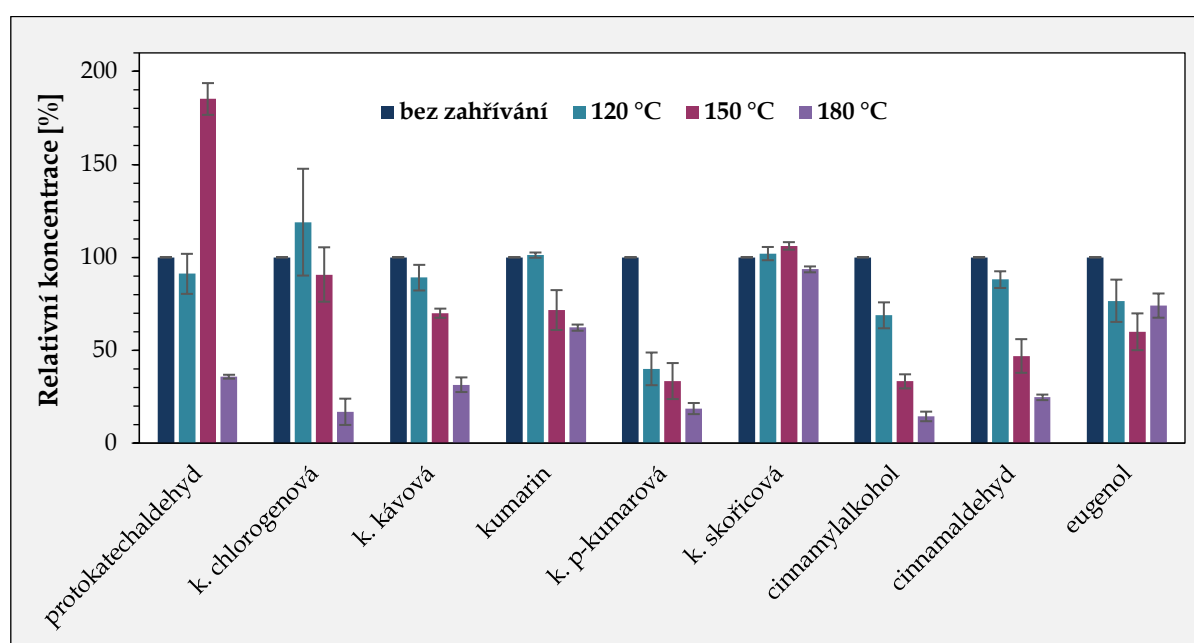
Obrázek 37 Vzhled skořice v čase při zahřívání na 180 °C



Obrázek 38 Změna koncentrace látek v čase při zahřívání na 180 °C (vzorek č. 4, n=4)

Při zahřívání na 180 °C byly změny oproti nižším teplotám patrné již na první pohled – skořice získala znatelně tmavší odstín (viz **Obrázek 37**) a došlo také k výraznější změně její vůně. Zároveň bylo při této teplotě zaznamenáno výraznější snížení koncentrace téměř všech sledovaných látek (viz **Obrázek 38**). Konkrétně u kyseliny p-kumarové došlo po 10 minutách ke snížení koncentrace na přibližně 20 %, nicméně při delším zahřívání k dalšímu poklesu již nedošlo. Podobně u kumarinu klesla koncentrace po 10 minutách na přibližně 70 %, a dále už byl pokles jen minimální. Velmi podobný průběh mělo zahřívání kyseliny chlorogenové a cinnamylalkoholu, kdy u obou látek došlo po 10 minutách ke snížení koncentrace na přibližně 40 % a po 20 minutách na zhruba 20 % – při delším zahřívání už ke snížení

téměř nedocházelo. V případě kyseliny kávové klesla koncentrace po 10 minutách na méně než 70 %, po 20 minutách na méně než 50 %, po 30 minutách na přibližně 40 % a po 40 minutách na méně než 40 %. Podobný průběh byl sledován u cinnamaldehydu, avšak zde koncentrace klesla po 10 minutách na přibližně 40 %, a mezi 20. a 40. minutou se pohybovala okolo 30 %. Na rozdíl od teploty 150 °C došlo ke snížení koncentrace i u protokatechaldehydu, a to na méně než 90 % po 10 minutách a na zhruba 40 % od 30. minuty. Výjimkou byla opět kyselina skořicová, jejíž koncentrace zůstávala téměř neměnná při všech sledovaných teplotách.

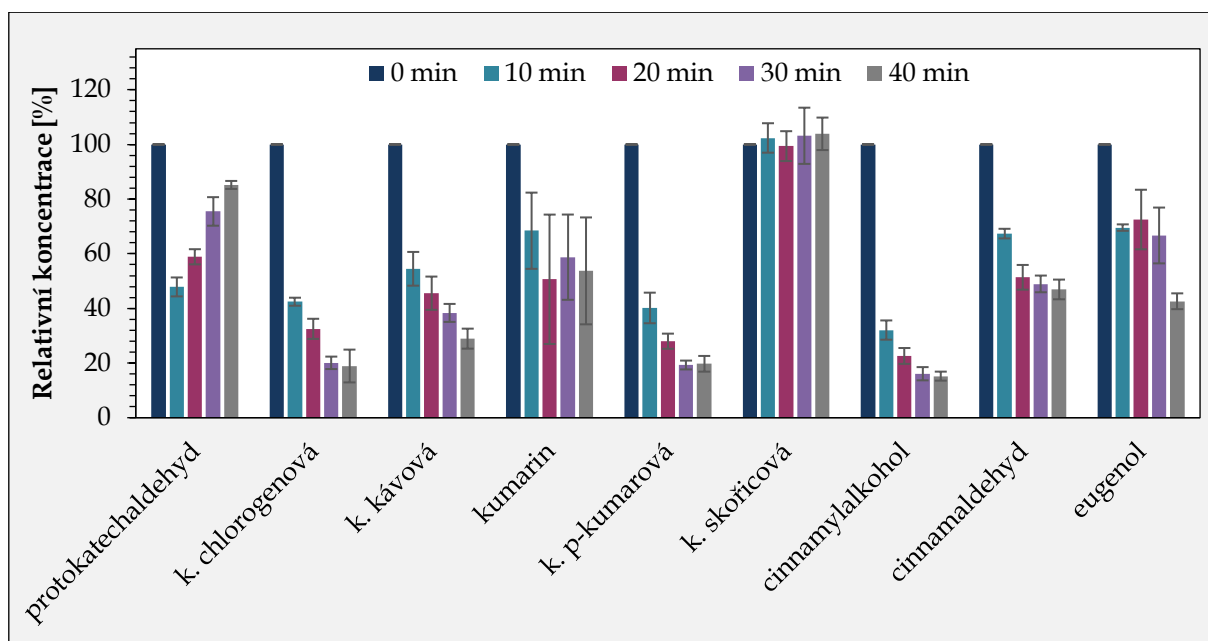


Obrázek 39 Změna koncentrace látek při zahřívání na různé teploty po dobu 40 minut (vzorek č. 4, n=4)

Pro porovnání vlivu všech použitých teplot byl vybrán čas 40 minut, při kterém byl zaznamenán největší úbytek sledovaných látek. Jako výchozí (referenční) hodnota byla zvolena koncentrace látek ve vzorku bez zahřívání, která byla pro účely srovnání normalizována na 100 %. Z obrázku (viz **Obrázek 39**) je patrné, že u většiny látek dochází s rostoucí teplotou k výraznějšímu poklesu jejich koncentrace. U kyseliny kávové, cinnamyalkoholu a cinnamaldehydu došlo se vzrůstající teplotou k postupnému snížení koncentrací. Výjimku tvoří kyselina skořicová, u níž nebyla téměř žádná

změna koncentrace pozorována. Podobně u protokatechaldehydu a kyseliny chlorogenové došlo k poklesu koncentrací až při 180 °C a rovněž tomu bylo také u kumarinu.

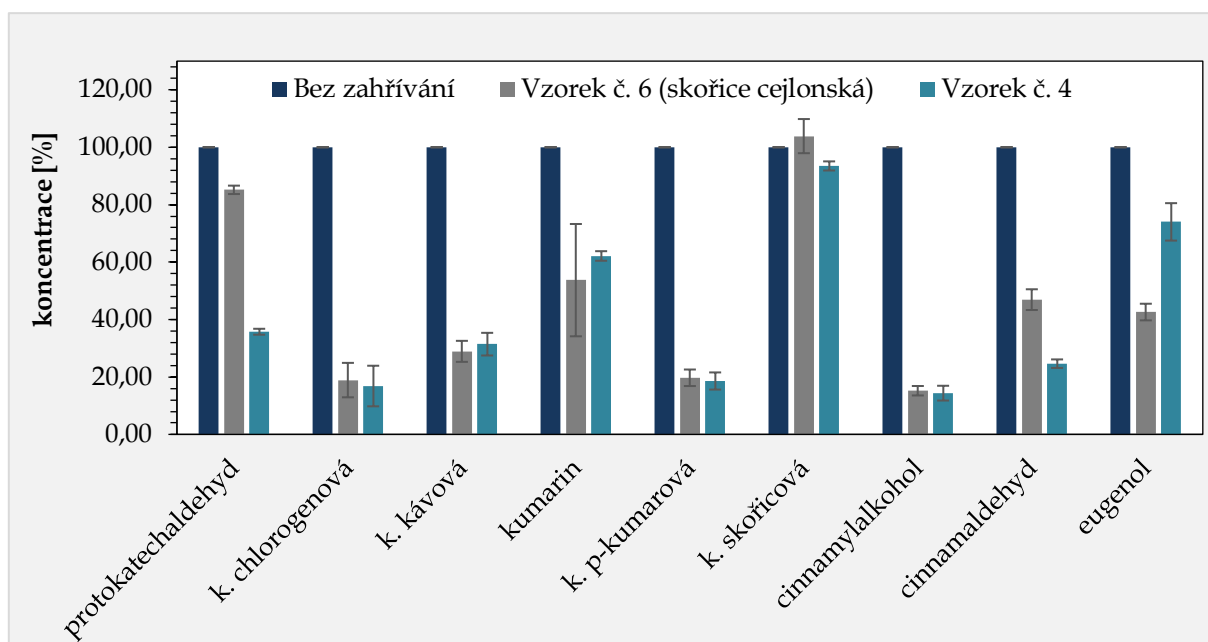
Pro porovnání se vzorkem č. 4 bylo provedeno také zahřívání vzorku č. 6 (cejlonská skořice) při 180 °C, aby bylo možné porovnat, jestli jsou změny v koncentracích látek srovnatelné (viz **Obrázek 40**).



Obrázek 40 Změna koncentrace látek v čase při zahřívání na 180 °C (vzorek č. 6 - skořice cejlonská, n=4)

Z výsledků zahřívání cejlonské skořice (vzorek č. 6) na teplotu 180 °C vyplývá, že změny koncentrací byly obdobné jako při zahřívání vzorku č. 4. Nejvýraznější rozdíl byl patrný u cinnamaldehydu, kdy po 10 minutách koncentrace klesla pouze na přibližně 70 %, zatímco u vzorku č. 4 klesla na přibližně 40 %.

Pro porovnání obou sledovaných vzorků (vzorek č. 4 a č. 6) byla porovnána snížení jejich koncentrací po 40 minutách při zahřívání na 180 °C (viz **Obrázek 41**).



Obrázek 41 Porovnání vzorků č. 4 a 6 pro dobu ohřevu 40 minut při teplotě 180 °C (n=4)

Z obrázku je patrné, že u obou vzorků došlo po 40 minutách k podobnému snížení jejich koncentrací. Nejvýraznější rozdíl byl pozorován u protokatechaldehydu – u vzorku č. 6 koncentrace klesla na přibližně 85 %, zatímco u vzorku č. 4 na méně než 40 %. Dále byl rozdíl patrný u cinnamaldehydu, kdy koncentrace u vzorku č. 6 klesla na zhruba 50 %, zatímco u vzorku č. 4 na méně než 30 %. Rozdíl byl také u eugenolu, avšak zde bylo snížení výraznější u vzorku č. 6 (koncentrace klesla na méně než 50 %), zatímco u vzorku č. 4 zůstala přibližně na 80 %.

Z dostupné literatury vyplývá, že vystavení skořice vysokým teplotám může vést jak ke zvýšení biologické aktivity, tak k degradaci některých látek. Například autoři [58] využili mikrovlnné pražení pro skořici (840 W, 120 s) a zjistili, že extrahovaný olej prokázal lepší antioxidační a protizánětlivé vlastnosti a inhibiční aktivitu ACE než olej připravený z nepražené skořice a identifikovali v něm široký rozsah sloučenin.

Jiní autoři [79] zjistili, že pražení skořicové kůry na horké plotně po dobu 20 minut při 80 °C, 20 minut při 100 °C a po dobu 10 minut při 180 °C vedlo k rozvoji organoleptických vlastností při zachování antioxidačních vlastností. Stejně tak při pražení po dobu 10 minut při 180 °C došlo ke zvýšení koncentrace cinnamaldehydu.

Další autoři [80] sledovali změny skořicového EO i jeho obsahových látek při zahřívání na různé teploty (50 – 200 °C) a zjistili, že cinnamaldehyd se již při nízkých teplotách (cca od 60 °C) rozkládá na benzaldehyd. Dále také zjistili, že přidání eugenolu nebo např. esenciální olej ze skořicových listů, který ho obsahuje, tomuto rozkladu zabraňuje i po zahřátí na 200 °C po dobu 30 minut. Tento ochranný efekt může být způsoben antioxidačním účinkem eugenolu. Stejně jako eugenol, i další složky skořicového oleje (karvon a linalool) vykazovaly stabilitu při zvýšených teplotách.

4.4.3 Statistické hodnocení vlivu teploty na obsah látek ve skořici

Pro zhodnocení vlivu teploty ohřevu a doby zahřívání na obsah sledovaných látek ve skořici byla použita dvoufaktorová analýza rozptylu s opakovanými měřeními (ANOVA). Tato metoda umožňuje posoudit, zda jednotlivé faktory (čas, teplota) a jejich vzájemná interakce statisticky významně ovlivňují koncentraci sledovaných látek. V případě, že se některý z faktorů (nebo jejich interakce) ukázal jako statisticky významný ($p < 0,05$), byly následně provedeny post-hoc testy (Bonferroniho test), tj. párové porovnání mezi jednotlivými úrovněmi faktoru, které umožnily určit, mezi kterými konkrétními skupinami (např. mezi jakými teplotami nebo časy) existují významné rozdíly. Před použitím ANOVA byly ověřeny základní předpoklady této metody. Normalita dat byla posouzena pomocí Shapiro-Wilkova testu, a protože většina skupin vyhověla tomuto předpokladu, byla ANOVA považována za vhodnou. Sféricita (rovnost kovariancí mezi úrovněmi opakovaných měření) byla ověřena pomocí Mauchlyho testu. Vzhledem k tomu, že v některých případech došlo k porušení tohoto předpokladu ($p < 0,05$), byla u všech výpočtů preventivně použita Greenhouse-Geisserova korekce. Tato korekce zajišťuje konzervativnější odhad stupňů volnosti a tím i vyšší spolehlivost výsledků statistického testování. V níže uvedených tabulkách jsou uvedeny výsledky ANOVA (**Tabulka 27**) a post-hoc testů (**Tabulka 28** a **Tabulka 29**) [81–83].

Tabulka 27 Výsledky ANOVA a vliv jednotlivých faktorů

Látka	Faktor t		Faktor T		Faktor T×t	
	F	p	F	p	F	p
Protokatechaldehyd	4,487	0,1021	4124,971	0,0000	57,208	0,0012
Kyselina chlorogenová	17,180	0,0055	731,549	0,0000	18,304	0,0022
Kyselina kávová	62,379	0,0014	380,819	0,0000	34,426	0,0000
Kumarin	59,222	0,0006	92,161	0,0022	24,345	0,0079
Kyselina <i>p</i> -kumarová	122,29	0,0000	12,425	0,0302	4,245	0,0578
Kyselina skořicová	0,292	0,7515	98,857	0,0019	8,151	0,0086
Cinnamylalkohol	208,153	0,0000	333,954	0,0000	30,596	0,0000
Cinnamaldehyd	333,566	0,0002	210,389	0,0007	50,158	0,0041
Eugenol	51,362	0,0000	4,466	0,1190	3,057	0,0894

Z výše uvedené tabulky (Tabulka 27) je patrné, že u protokatechaldehydu a kyseliny skořicové se neprokázal statisticky významný vliv doby zahřívání (t), což naznačuje, že délka ohřevu v testovaném rozmezí neměla zásadní vliv na množství těchto látek. Je tedy možné, že tyto sloučeniny jsou vůči teplotní expozici stabilní po celou dobu testu, nebo že k významnějším změnám dochází mimo sledovaný časový rozsah. U kyseliny *p*-kumarové byla statisticky nevýznamná interakce mezi teplotou a časem (T×t), což může naznačovat, že účinky obou faktorů jsou na koncentraci této kyseliny nezávislé a aditivní – tedy že každá proměnná působí samostatně, bez vzájemného zesílení nebo potlačení účinku. U eugenolu se jako statisticky nevýznamné ukázaly jak teplota (T), tak i interakce mezi teplotou a časem (T×t). Tento výsledek může svědčit o relativní stabilitě eugenolu vůči teplotnímu zatížení v rámci zvolených experimentálních podmínek, nebo o tom, že hlavním ovlivňujícím faktorem je spíše čas zahřívání než teplota samotná.

U těch faktorů, které v rámci ANOVA vyšly jako statisticky významné ($p < 0,05$), byl následně proveden Bonferroniho post-hoc test. Ten slouží k párovému porovnání jednotlivých úrovní daného faktoru a umožňuje určit, mezi kterými konkrétními skupinami existují statisticky významné rozdíly. Vzhledem k tomu, že Bonferroniho korekce upravuje hladinu významnosti podle počtu srovnání, jedná se o konzervativní přístup, který snižuje riziko falešně pozitivních výsledků.

Tabulka 28 Post-hoc testy pro faktor čas (p-hodnoty)

Čas [min]	Kyselina chlorogenová	Kyselina kávová	Kumarin	Kyselina p-kumarová	Cinnamylalkohol	Cinnamaldehyd	Eugenol
0 10	0,0046	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0 20	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0 30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0 40	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10 20	0,4158	0,0060	0,0168	1,0000	0,0023	0,0002	1,0000
10 30	0,0721	0,0008	0,0020	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
10 40	1,0000	0,0000	0,0011	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
20 30	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,1222	0,2778	1,0000
20 40	1,0000	0,0432	1,0000	1,0000	0,0070	0,1313	1,0000
30 40	0,6379	0,3884	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Tabulka 29 Post-hoc testy pro faktor teplota (p-hodnoty)

Teplota [°C]	Protoka-chaldehyd	Kys. chlorogenová	Kys. kávová	Kumarin	Kys. p-kumarová	Kys. skořicová	Cinna-mylalkohol	Cinna-maldehyd
120 150	0,0000	0,0476	0,0049	0,0002	0,0742	0,0035	0,0000	0,0000
120 180	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015	0,0058	0,0000	0,0000
150 180	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0252	0,0000	0,0000	0,0000

Z výše uvedených tabulek (**Tabulka 28** a **Tabulka 29**) s post-hoc testy je patrné, že ke statisticky významným rozdílům dochází především mezi počátečním časem (0 minut) a delšími dobami zahřívání (10, 20, 30 a 40 minut). Podobně byly významné rozdíly pozorovány i mezi časem 10 minut a delšími časy. Naopak mezi delšími časy samotnými (např. mezi 20 a 30 minutami nebo mezi 30 a 40 minutami) se již statisticky významné rozdíly nevyskytly. Tento vývoj naznačuje, že většina změn v koncentraci dané látky proběhla již v prvních 10–20 minutách, po nichž se koncentrace látky zřejmě ustálila nebo změny byly příliš malé na to, aby dosáhly statistické významnosti. U teplot dochází jsou statisticky významné rozdíly pro všechny látky, kromě kyseliny *p*-kumarové, pro kterou není významný rozdíl mezi teplotami 120 a 150 °C.

ZÁVĚR

V této diplomové práci byla navržena, optimalizována a validována HPLC-UV/VIS metoda pro stanovení devíti vybraných látek obsažených v mleté skořici (protokatechaldehyd, kyselina chlorogenová, kyselina kávová, kyselina *p*-kumarová, kumarin, cinnamylalkohol, kyselina skořicová, cinnamaldehyd a eugenol). Optimalizace byla zaměřena na výběr vhodných extrakčních podmínek a chromatografických parametrů s cílem dosáhnout co nejvyšší účinnosti separace. Validace metody potvrdila její vhodnost z hlediska linearity, přesnosti, správnosti a mezí detekce a kvantifikace.

Cílem této práce bylo sledovat změny ve složení vybraných bioaktivních látek ve skořici v závislosti na teplotě a délce zahřívání. Pomocí navržené analytické metody byl proto zkoumán vliv teploty ohřevu mleté skořice na obsah sledovaných sloučenin. Vzorky byly podrobeny teplotám 120, 150 a 180 °C po dobu 10, 20, 30 a 40 minut. Výsledky ukázaly, že tepelné zpracování má výrazný vliv na stabilitu a koncentraci některých látek, což je důležité nejen z hlediska jejich potenciálních biologických účinků, ale i pro technologické zpracování skořice.

Při zahřívání na 120 °C byly změny v koncentracích sledovaných látek minimální. Nejvýrazněji poklesla koncentrace kyseliny *p*-kumarové, zatímco u cinnamylalkoholu a eugenolu byl pokles méně výrazný. Tyto změny byly patrné především po delším zahřívání (po 30–40 minutách). Při teplotě 150 °C byly poklesy výraznější a s prodlužujícím se časem (20–40 minut) koncentrace většiny látek postupně klesaly, přičemž výjimku tvořily kyselina skořicová, která zůstala stabilní, a protokatechaldehyd, jehož koncentrace s časem rostla. Největší změny byly zaznamenány při 180 °C, kde došlo k výraznému úbytku téměř všech sledovaných látek, přičemž poklesy byly patrné již po 10 minutách zahřívání. Kyselina skořicová zůstala i při této teplotě stabilní. Při této vysoké teplotě nastaly i výrazné sensorické změny, jako je tmavší barva a změněná vůně skořice. U vzorku č. 6 (cejlonská skořice) byly výsledky velmi podobné jako u vzorku č. 4, přičemž menší rozdíly se objevily u několika látek (např. protokatechaldehydu, cinnamaldehydu a eugenolu), což

naznačuje, že oba vzorky reagují na zahřívání obdobně, s drobnými odchylkami v míře poklesu jednotlivých sloučenin.

Zjištěné výsledky potvrzují, že tepelné zpracování ovlivňuje chemické složení skořice, a tím může měnit její sensorické i biologické vlastnosti. Tyto poznatky mohou být využitelné například v potravinářství nebo farmaceutickém průmyslu, kde je zachování bioaktivních složek žádoucí.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] NAVRÁTILOVÁ, Z. Selected species of antidiabetic plants and mushrooms and their use in treatment of diabetes mellitus. *Praktické lékařství* [online]. 2020, **16**(2), 88–93. ISSN 18012434, 18035329. Dostupné z: doi:10.36290/lek.2020.014
- [2] PROCOPIO, F. R., M. C. FERRAZ, B. N. PAULINO, P. J. DO AMARAL SOBRAL a M. D. HUBINGER. Spice oleoresins as value-added ingredient for food industry: Recent advances and perspectives. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2022, **122**, 123–139. ISSN 0924-2244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2022.02.010
- [3] PATHAK, R. a H. SHARMA. A Review on Medicinal Uses of Cinnamomum verum (Cinnamon). *Journal of Drug Delivery and Therapeutics* [online]. 2021, **11**(6-S), 161–166. ISSN 2250-1177. Dostupné z: doi:10.22270/jddt.v11i6-S.5145
- [4] Neuveden. Cinnamon Spice Plant (Cinnamomum zeylanicum). *Logee's Plants for Home and Garden* [online]. c2025 [vid. 2025-03-17]. Dostupné z: <https://www.logees.com/media/catalog/product/cache/6c03d0ca4a55b77a53f63bf96ece8a1f/c/i/cinnamon-6-in.jpg>
- [5] [HTTPS://AUSTRIA-FORUM.ORG](https://AUSTRIA-FORUM.ORG), Austria-Forum |. Drying Cinnamon Bark. *Global-Geography* [online]. [vid. 2025-05-04]. Dostupné z: https://global-geography.org/af/Geography/Asia/Indonesia/Pictures/Sumatra/Drying_Cinnamon_Bark
- [6] SURIYAGODA, L., A. MOHOTTI, J. K. VIDANARACHCHI, S. P. KODITHUWAKKU, M. CHATHURIKA, P. C. G. BANDARANAYAKE, A. M. HETHERINGTON a Ch. K. BENERAGAMA. "Ceylon cinnamon": Much more than just a spice. *PLANTS, PEOPLE, PLANET* [online]. 2021, **3**(4), 319–336. ISSN 2572-2611. Dostupné z: doi:10.1002/ppp3.10192
- [7] SUN, X.-D., M. ZHANG, H. LIANG, P.-J. WANG, T. WANG a X.-L. GAO. Identification and quantification of cinnamon adulteration using non-targeted HPLC-DAD fingerprints and chemometrics. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 2025, **139**, 107076. ISSN 0889-1575. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfca.2024.107076
- [8] SPENCE, Ch. Cinnamon: The historic spice, medicinal uses, and flavour chemistry. *International Journal of Gastronomy and Food Science* [online]. 2024, **35**, 100858. ISSN 1878-450X. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijgfs.2023.100858
- [9] SADGROVE, N. J., G. F. PADILLA-GONZÁLEZ a M. PHUMTHUM. Fundamental Chemistry of Essential Oils and Volatile Organic Compounds, Methods of Analysis and Authentication. *Plants* [online]. 2022, **11**(6), 789. ISSN 2223-7747. Dostupné z: doi:10.3390/plants11060789

- [10] RASHIDINEJAD, A. a S. M. JAFARI. 8 - Nanoencapsulation of bioactive food ingredients. In: S. M. JAFARI, ed. *Handbook of Food Nanotechnology* [online]. B.m.: Academic Press, 2020 [vid. 2025-03-16], s. 279–344. ISBN 978-0-12-815866-1. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-815866-1.00008-X
- [11] CARDOSO-UGARTE, G. A., A. LÓPEZ-MALO a M. E. SOSA-MORALES. Chapter 38 - Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) Essential Oils. In: V. R. PREEDY, ed. *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* [online]. San Diego: Academic Press, 2016 [vid. 2025-03-16], s. 339–347. ISBN 978-0-12-416641-7. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-416641-7.00038-9
- [12] Neuveden. Cinnamon Bark Essential Oil. *Escentials Of Australia* [online]. c2025 [vid. 2025-03-16]. Dostupné z: <https://www.escentialsaustralia.com/products/productid374>
- [13] Neuveden. Allnature Esenciální olej Skořice 10 ml. *Dr. Max* [online]. c2025 [vid. 2025-03-16]. Dostupné z: https://www.drmax.cz/_i/-1669793715.webp?m2=%2Fmedia%2Fcatalog%2Fproduct%2F8%2F5%2F8595674653116.jpg&fit=contain&w=600&h=600&format=webp
- [14] THOMAS, J. a K. M. KURUVILLA. 10 - Cinnamon. In: K. V. PETER, ed. *Handbook of Herbs and Spices (Second Edition)* [online]. Second Edition. B.m.: Woodhead Publishing, 2012 [vid. 2025-03-18], Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, s. 182–196. ISBN 978-0-85709-039-3. Dostupné z: doi:10.1533/9780857095671.182
- [15] YURSIDA, Y., F. ANDREW, K. AGUSTINA, E. MAREZA, U. KALSUM, I. IKHWANI, S. RAHAYUNINGSIH, E. YUNIARTI a N. R. PUTRA. Harnessing the power of cinnamon oil: A review of its potential as natural biopesticide and its implications for food security. *Heliyon* [online]. 2025, **11**(2), e41827. ISSN 2405-8440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2025.e41827
- [16] RIBEIRO, P. R. E., I. F. MONTERO, S. A. M. SARAVIA, V. P. FERRAZ, R. A. SANTOS, J. A. F. MARCÍA a B. M. LINHARES. Chemical composition and antioxidant activity in the essential oil of *Cinnamomum zeylanicum* Nees with medicinal interest. *Journal of Medicinal Plants Research* [online]. 2020, **14**(7), 326–330. ISSN 1996-0875. Dostupné z: doi:10.5897/jmpr2020.6966
- [17] BŁASZCZYK, N., A. ROSIAK a J. KAŁUŻNA-CZAPLIŃSKA. The Potential Role of Cinnamon in Human Health. *Forests* [online]. 2021, **12**(5), 648. ISSN 1999-4907. Dostupné z: doi:10.3390/f12050648
- [18] SHREAZ, S., W. A. WANI, J. M. BEHBEHANI, V. RAJA, M. IRSHAD, M. KARCHED, I. ALI, W. A. SIDDIQI a L. T. HUN. Cinnamaldehyde and its derivatives, a novel class of antifungal agents. *Fitoterapia* [online]. 2016, **112**, 116–131. ISSN 0367-326X. Dostupné z: doi:10.1016/j.fitote.2016.05.016

- [19] *Cinnamaldehyd - přehled | Témata ScienceDirect* [online]. [vid. 2025-02-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/cinnamaldehyde>
- [20] Cinnamaldehyde. *PubChem* [online]. [vid. 2025-03-23]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/637511>
- [21] LETIZIA, C. S., J. COCCHIARA, A. LAPCZYNSKI, J. LALKO a A. M. API. Fragrance material review on cinnamic acid. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2005, **43**(6), 925–943. ISSN 0278-6915. Dostupné z: doi:10.1016/j.fct.2004.09.015
- [22] RUWIZHI, N. a B. A. ADERIBIGBE. Cinnamic Acid Derivatives and Their Biological Efficacy. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2020, **21**(16), 5712. ISSN 1422-0067. Dostupné z: doi:10.3390/ijms21165712
- [23] Cinnamic Acid. *PubChem* [online]. [vid. 2025-03-23]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/444539>
- [24] SOBOLEWSKI, A. Cinnamic Acid. *Wikipedia* [online]. 7. leden 2017 [vid. 2025-03-23]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cinnamic_acid.jpg
- [25] ULANOWSKA, M. a B. OLAS. Biological Properties and Prospects for the Application of Eugenol—A Review. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2021, **22**(7), 3671. ISSN 1422-0067. Dostupné z: doi:10.3390/ijms22073671
- [26] Eugenol. *PubChem* [online]. [vid. 2025-03-23]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3314>
- [27] GARRARD, A. Coumarins. In: P. WEXLER, ed. *Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)* [online]. Oxford: Academic Press, 2014 [vid. 2025-02-24], s. 1052–1054. ISBN 978-0-12-386455-0. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-386454-3.00798-3
- [28] LONČAR, M., M. JAKOVLJEVIĆ, D. ŠUBARIĆ, M. PAVLIĆ, V. BUZJAK SLUŽEK, I. CINDRIĆ a M. MOLNAR. Coumarins in Food and Methods of Their Determination. *Foods* [online]. 2020, **9**(5), 645. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods9050645
- [29] BLAHOVÁ, J. a Z. SVOBODOVÁ. Assessment of Coumarin Levels in Ground Cinnamon Available in the Czech Retail Market. *The Scientific World Journal* [online]. 2012, **2012**(1), 263851. ISSN 1537-744X. Dostupné z: doi:10.1100/2012/263851
- [30] Coumarin. *PubChem* [online]. [vid. 2025-03-23]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/323>

- [31] W., Brittany. Coumarin Definition, Structure & Uses. *Study.com* [online]. 2023 [vid. 2025-03-17]. Dostupné z: https://study.com/cimages/multimages/16/08_coumarin_powder_4501322363833264243047.jpg
- [32] GOEL, B. a S. MISHRA. Medicinal and Nutritional Perspective of Cinnamon: A Mini-review. *European Journal of Medicinal Plants* [online]. 2020, **31**(3), 10–16. ISSN 2231-0894. Dostupné z: doi:10.9734/ejmp/2020/v31i330218
- [33] SHUMAILA, G. a M. SAFDAR. Proximate Composition and Mineral Analysis of Cinnamon. *Pakistan Journal of Nutrition* [online]. 2009, **8**(9), 1456–1460. ISSN 1680-5194. Dostupné z: doi:10.3923/pjn.2009.1456.1460
- [34] AL-NUMAIR, K., AHMAD, S. AHMED a A. AL-ASSAF. Nutritive Value, Levels of Polyphenols and AntiNutritional Factors in Sri Lankan Cinnamon (*Cinnamomum Zeyalnicum*) And Chinese Cinnamon (*Cinnamomum Cassia*). *Food Sci. & Agric. Res. Center*. 2007, (154), 5–21.
- [35] SANA, S., M. ARSHAD, F. SAEED, R. AHMAD, A. IMRAN a T. TUFAIL. Nutritional characterization of cinnamon and turmeric with special reference to their antioxidant profile. *International Journal of Biosciences* [online]. 2019, **15**(4), 178–187. ISSN 2222-5234. Dostupné z: doi:10.12692/ijb/15.4.178-187
- [36] SHAHZADI, M., B. RIZWAN, T. TUFAIL, D. BASHARAT a S. SHEHZADI. Functional And Nutraceutical Characterization Of Cinnamon. *Pakistan BioMedical Journal* [online]. 2021, **4**(2). ISSN 2709-2798. Dostupné z: doi:10.54393/pbmj.v4i2.225
- [37] RAO, P. V. a S. H. GAN. Cinnamon: A Multifaceted Medicinal Plant. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine : eCAM* [online]. 2014, **2014**, 642942. ISSN 1741-427X. Dostupné z: doi:10.1155/2014/642942
- [38] SUHAJ, M. Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 2006, **19**(6), Biodiversity and nutrition: a common path, 531–537. ISSN 0889-1575. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfca.2004.11.005
- [39] FLEKAČ, M. Perorální antidiabetika v léčbě diabetes mellitus 2. typu. *Medicína pro praxi*. 2009, **6**(3), 140–143. ISSN 12148687, 18035310.
- [40] ZARE, R., A. NADJARZADEH, M. ZARSHENAS, M. SHAMS a M. HEYDARI. Efficacy of cinnamon in patients with type II diabetes mellitus: A randomized controlled clinical trial. *Clinical Nutrition* [online]. 2019, **38**(2), 549–556. ISSN 0261-5614. Dostupné z: doi:10.1016/j.clnu.2018.03.003
- [41] SAHIB, A. S. Anti-diabetic and antioxidant effect of cinnamon in poorly controlled type-2 diabetic Iraqi patients: A randomized, placebo-controlled

- clinical trial. *Journal of Intercultural Ethnopharmacology* [online]. 2016, 5(2), 108–113. ISSN 2146-8397. Dostupné z: doi:10.5455/jice.20160217044511
- [42] AL-SAMYDAI, A. a F. AL-MAMOORI. Anti-Diabetic Activity of Cinnamon: A Review. *International Research Journal of Pharmacy and Medical Sciences*. 2018, 1(5), 43–45. ISSN 2581-3277.
- [43] GOÑI, P., P. LÓPEZ, C. SÁNCHEZ, R. GÓMEZ-LUS, R. BECERRIL a C. NERÍN. Antimicrobial activity in the vapour phase of a combination of cinnamon and clove essential oils. *Food Chemistry* [online]. 2009, 116(4), 982–989. ISSN 0308-8146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2009.03.058
- [44] VASCONCELOS, N. G., J. CRODA a S. SIMIONATTO. Antibacterial mechanisms of cinnamon and its constituents: A review. *Microbial Pathogenesis* [online]. 2018, 120, 198–203. ISSN 0882-4010. Dostupné z: doi:10.1016/j.micpath.2018.04.036
- [45] GUPTA, Ch., A. P. GARG, R. C. UNIYAL a A. KUMARI. Comparative analysis of the antimicrobial activity of cinnamon oil and cinnamon extract on some food-borne microbes. *African Journal of Microbiology Research*. 2008, 2(9). ISSN 1996-0808.
- [46] GUNAWARDENA, D., N. KARUNAWEEERA, S. LEE, F. VAN DER KOOY, D. G. HARMAN, R. RAJU, L. BENNETT, E. GYENGESI, N. J. SUCHER a Gerald MÜNCH. Anti-inflammatory activity of cinnamon (*C. zeylanicum* and *C. cassia*) extracts – identification of E-cinnamaldehyde and o-methoxy cinnamaldehyde as the most potent bioactive compounds. *Food & Function* [online]. 2015, 6(3), 910–919. ISSN 2042-6496, 2042-650X. Dostupné z: doi:10.1039/C4FO00680A
- [47] TUNG, Y.-T., M.-T. CHUA, S.-Y. WANG a S.-T. CHANG. Anti-inflammation activities of essential oil and its constituents from indigenous cinnamon (*Cinnamomum osmophloeum*) twigs. *Bioresource Technology* [online]. 2008, 99(9), 3908–3913. ISSN 0960-8524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2007.07.050
- [48] YANAKIEV, S. Effects of Cinnamon (*Cinnamomum* spp.) in Dentistry: A Review. *Molecules* [online]. 2020, 25(18), 4184. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules25184184
- [49] MNAFGUI, K., A. DERBALI, S. SAYADI, N. GHARSALLAH, A. ELFEKI a N. ALLOUCHE. Anti-obesity and cardioprotective effects of cinnamic acid in high fat diet- induced obese rats. *Journal of Food Science and Technology* [online]. 2015, 52(7), 4369–4377. ISSN 0975-8402. Dostupné z: doi:10.1007/s13197-014-1488-2
- [50] KANG, Y. J., D.-G. SEO a S.-Y. PARK. Phenylpropanoids from cinnamon bark reduced β -amyloid production by the inhibition of β -secretase in Chinese hamster ovarian cells stably expressing amyloid precursor protein. *Nutrition Research* [online]. 2016, 36(11), 1277–1284. ISSN 0271-5317. Dostupné z: doi:10.1016/j.nutres.2016.10.002

- [51] NEWERLI-GUZ, J. a M. ŚMIECHOWSKA. Health Benefits and Risks of Consuming Spices on the Example of Black Pepper and Cinnamon. *Foods* [online]. 2022, **11**(18), 2746. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods11182746
- [52] Giant cinnamon bun recipe. *TESCO Real Food* [online]. c2025 [vid. 2025-02-27]. Dostupné z: <https://realfood.tesco.com/media/images/RFO-1400x919-Giant-cinnamon-bun-cffe77f4-4ede-4a86-99f9-55acdc7e4afa-0-1400x919.jpg>
- [53] Churros. *The Finer Cookie* [online]. [vid. 2025-04-17]. Dostupné z: https://www.thefinercookie.com/wp-content/uploads/2021/07/churros-with-cinnamon-and-sugar_180516015949.1526435989.jpg
- [54] Chai David Rio Tiger Spice 398g. *Pecene Cajecz* [online]. c2025 [vid. 2025-02-27]. Dostupné z: <https://cdn.myshoptet.com/usr/www.pecenecaje.cz/user/documents/upload/chai-latte-david-rio-horke.png>
- [55] Garam Masala Powder Recipe. *Spice Eats* [online]. prosinec 2019 [vid. 2025-02-27]. Dostupné z: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTE13YKrN5k94IPteHeRFKsP4wz2acaS1q8Og&as>
- [56] LEUNG, A. Y. a S. FOSTER. *Encyclopedia of Common Natural Ingredients: Used in Food, Drugs, and Cosmetics*. Second edition. New York: Wiley-Interscience, 1995. ISBN 978-0-471-50826-7.
- [57] GALÁN-MÉNDEZ, F., Y. A. SALDAÑA-CARMONA a G. MELGAR-LALANNE. Chapter 27 - Beverages fortified with cinnamon. In: M. F. RAMADAN a M. A. FARAG, ed. *Cinnamon* [online]. B.m.: Academic Press, 2025 [vid. 2025-02-27], s. 499–509. ISBN 978-0-443-21820-0. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-443-21820-0.00029-5
- [58] DEV, M., D. K. BHATTACHARYYA a M. GHOSH. A study to characterize and evaluate the chemical composition and bioactive properties of microwave-roasted cinnamon bark oil. *Food and Humanity* [online]. 2025, **4**, 100520. ISSN 2949-8244. Dostupné z: doi:10.1016/j.foohum.2025.100520
- [59] SILVA, F. L., R. V. S. SILVA, P. C. BRANCO, L. V. COSTA-LOTUFO, C. MURAKAMI, M. C. M. YOUNG, D. A. AZEVEDO a P. R. H. MORENO. Chemické složení brazilského původního *Cinnamomum stenophyllum* (Meisn.) Esenciální olej Vattimo-Gil pomocí GC-qMS a GC × GC-TOFMS a jeho cytotoxická aktivita. *Arabian Journal of Chemistry* [online]. 2020, **13**(4), 4926–4935. ISSN 1878-5352. Dostupné z: doi:10.1016/j.arabjc.2020.01.012
- [60] SILVA, M. L. T. da, M. A. S. BERNARDO, J. SINGH a M. F. de MESQUITA. Chapter 33 - Beneficial Uses of Cinnamon in Health and Diseases: An Interdisciplinary Approach. In: R. B. SINGH, R. R. WATSON a T. TAKAHASHI,

ed. *The Role of Functional Food Security in Global Health* [online]. B.m.: Academic Press, 2019 [vid. 2025-04-16], s. 565–576. ISBN 978-0-12-813148-0. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-813148-0.00033-5

- [61] GOTMARE, S. a E. TAMBE. Identification of Chemical Constituents of Cinnamon Bark Oil by GCMS and Comparative Study Garnered from Five Different Countries. *Global Journal of Science Frontier Research*. 2019, **19**(C1), 35–42. ISSN 2249-4626.
- [62] LIANG, Y., Y. LI, A. SUN a X. LIU. Chemical compound identification and antibacterial activity evaluation of cinnamon extracts obtained by subcritical n-butane and ethanol extraction. *Food Science & Nutrition* [online]. 2019, **7**(6), 2186–2193. ISSN 2048-7177. Dostupné z: doi:10.1002/fsn3.1065
- [63] WONG, Y., M. AHMAD-MUDZAQQIR a W. WAN-NURDIYANA. Extraction of Essential Oil from Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*). *Oriental Journal of Chemistry* [online]. 2014, **30**(1), 37–47. ISSN 0970020X, 22315039. Dostupné z: doi:10.13005/ojc/300105
- [64] CHA, J., Ch.-T. KIM, T.-E. KIM a Y.-J. CHO. Optimization of subcritical extraction process for cinnamon (*Cinnamomum Cassia Blume*) using response surface methodology. *Food Science and Biotechnology* [online]. 2019, **28**(6), 1703–1711. ISSN 2092-6456. Dostupné z: doi:10.1007/s10068-019-00616-6
- [65] TANG, P. L., Y. T. CHEN, J. QIN, X. HOU a J. DENG. Effect of cinnamon bark and twig extracts on the chemical, physicochemical and antioxidant properties of fermented milk. *Journal of Food Measurement and Characterization* [online]. 2020, **14**(4), 2271–2281. ISSN 2193-4134. Dostupné z: doi:10.1007/s11694-020-00474-5
- [66] PAGES-REBULL, J., G. SAGRISTÀ, C. PÉREZ-RÀFOLS, N. SERRANO a J. M. DÍAZ-CRUZ. Application of HPLC-UV combined with chemometrics for the detection and quantification of ‘true cinnamon’ adulteration. *Talanta* [online]. 2024, **271**, 125676. ISSN 0039-9140. Dostupné z: doi:10.1016/j.talanta.2024.125676
- [67] GULCIN, I., R. KAYA, A. C. GOREN, H. AKINCIOGLU, M. TOPAL, Z. BINGOL, K. CETIN ÇAKMAK, S. B. OZTURK SARIKAYA, L. DURMAZ a S. ALWASEL. Anticholinergic, antidiabetic and antioxidant activities of cinnamon (*cinnamomum verum*) bark extracts: polyphenol contents analysis by LC-MS/MS. *International Journal of Food Properties* [online]. 2019, **22**(1), 1511–1526. ISSN 1094-2912. Dostupné z: doi:10.1080/10942912.2019.1656232
- [68] ABDELWAHAB, S. I., A. A. MARIOD, M. M. TAHA, F. Q. ZAMAN, A. H. ABDELMAGEED, S. KHAMIS, Y. SIVASOTHY, K. AWANG a ABDELWAHAB. Chemical composition and antioxidant properties of the essential oil of *Cinnamomum altissimum* Kosterm. (Lauraceae). *Arabian Journal of Chemistry* [online]. 2017, **10**(1), 131–135. ISSN 1878-5352. Dostupné z: doi:10.1016/j.arabjc.2014.02.001

- [69] MODI, P. I., J. K. PARIKH a M. A. DESAI. Sonohydrodistillation: Innovative approach for isolation of essential oil from the bark of cinnamon. *Industrial Crops and Products* [online]. 2019, **142**, 111838. ISSN 0926-6690. Dostupné z: doi:10.1016/j.indcrop.2019.111838
- [70] JIN, S. a K.-H. CHO. Water extracts of cinnamon and clove exhibits potent inhibition of protein glycation and anti-atherosclerotic activity *in vitro* and *in vivo* hypolipidemic activity in zebrafish. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2011, **49**(7), 1521–1529. ISSN 0278-6915. Dostupné z: doi:10.1016/j.fct.2011.03.043
- [71] PASHAZADEH, B., A. ELHAMIRAD, H. HAJNAJARI, P. SHARAYEI a M. ARMIN. Optimization of the pulsed electric field -assisted extraction of functional compounds from cinnamon. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* [online]. 2020, **23**, 101461. ISSN 1878-8181. Dostupné z: doi:10.1016/j.bcab.2019.101461
- [72] ČÁSLAVSKÝ, J. a J. G. K. ŠEVČÍK. *Organická analýza*. 1. vydání. Český Těšín: 2 Theta, 2022. ISBN 978-80-88279-17-4.
- [73] NOVÁKOVÁ, L. a M. DOUŠA. *Moderní HPLC separace v teorii a praxi*. 1. vyd. 2013. ISBN 978-80-260-4243-3.
- [74] NEUVEDEN. *KALIBRAČNÍ KŘIVKA: POSTUP ZPRACOVÁNÍ DAT POMOCÍ LINEÁRNÍ REGRESE* [online]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/pharm/podzim2020/F1IS1_15/um/cviceni/linearni_regrese_postup.pdf
- [75] RAPOSO, F. Evaluation of analytical calibration based on least-squares linear regression for instrumental techniques: A tutorial review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* [online]. 2016, **77**, 167–185. ISSN 0165-9936. Dostupné z: doi:10.1016/j.trac.2015.12.006
- [76] SWARTZ, M. E. a I. S. KRULL. *Handbook of Analytical Validation*. 1st vyd. Abingdon: CRC Press, 2014. ISBN 978-1-4987-1507-2.
- [77] CHAN, Chung Chow, Y. C. LEE, Herman LAM a Xue-Ming ZHANG, ed. *Analytical Method Validation and Instrument Performance Verification*. 1st Edition. Hoboken: Wiley-Interscience, 2004. ISBN 978-0-471-25953-4.
- [78] LATIMER, G. W, Jr., ed. Guidelines for Standard Method Performance Requirements. In: G. W LATIMER Jr., ed. *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* [online]. 22nd Edition. New York: Oxford University Press, 2023 [vid. 2025-05-03], s. AF1–AF18. ISBN 978-0-19-761013-8. Dostupné z: doi:10.1093/9780197610145.005.006
- [79] DEV, M., M. GHOSH a D. BHATTACHARYYA. EFFECTS OF TEMPERATURE AND TIME OF ROASTING ON THE PHYSICO-CHEMICAL AND ANTIMICROBIAL CHARACTERISTICS OF CINNAMON BARK OIL.

International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research [online]. 2021, **12**(12), 6692–6702. ISSN 0975-8232. Dostupné z: doi:10.13040/IJPSR.0975-8232.12(12).6692-02

- [80] FRIEDMAN, M., N. KOZUKUE a L. A. HARDEN. Cinnamaldehyde content in foods determined by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2000, **48**(11), 5702–5709. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf000585g
- [81] Repeated Measures ANOVA. *LaerdStatistics* [online]. 2018 [vid. 2025-05-09]. Dostupné z: <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/repeated-measures-anova-statistical-guide.php>
- [82] BLANCA, M. J., J. ARNAU, F. J. GARCÍA-CASTRO, R. ALARCÓN a R. BONO. Repeated measures ANOVA and adjusted F-tests when sphericity is violated: which procedure is best? *Frontiers in Psychology* [online]. 2023, **14** [vid. 2025-05-09]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2023.1192453
- [83] Repeated Measures ANOVA. *DATAtab* [online]. 2025 [vid. 2025-05-09]. Dostupné z: <https://datatab.net/tutorial/anova-with-repeated-measures>

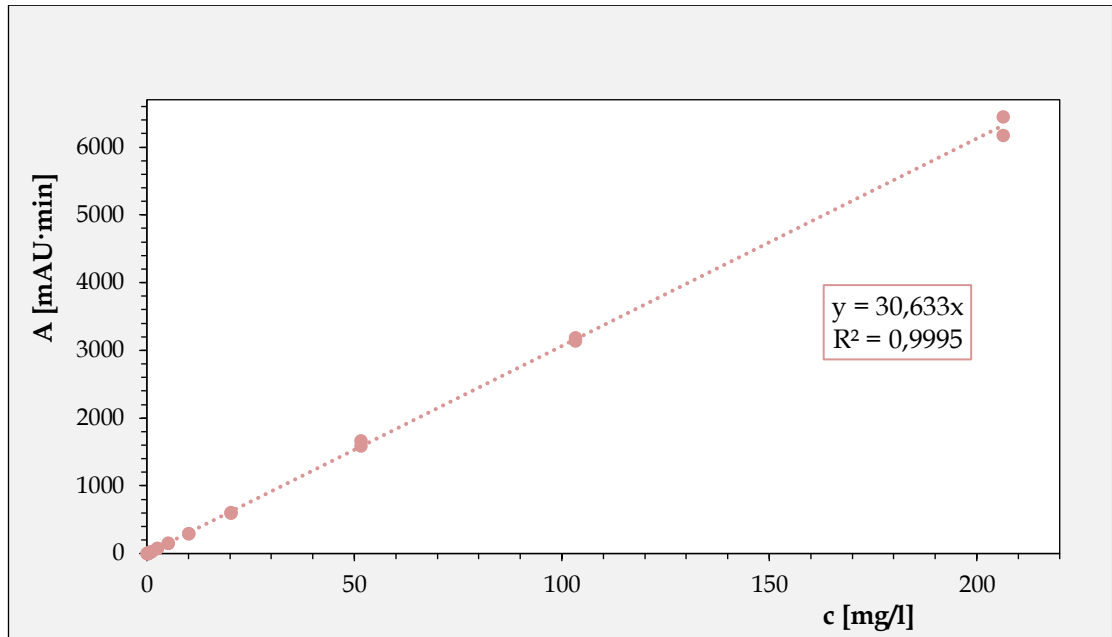
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Kalibrační závislost pro protokatechaldehyd	94
Příloha 2 Kalibrační závislost pro kyselinu chlorogenovou.....	94
Příloha 3 Kalibrační závislost pro kyselinu kávovou	95
Příloha 4 Kalibrační závislost pro kumarin	95
Příloha 5 Kalibrační závislost pro kyselinu p-kumarovou.....	96
Příloha 6 Kalibrační závislost pro kyselinu skořicovou	96
Příloha 7 Kalibrační závislost pro cinnamylalkohol	97
Příloha 8 Kalibrační závislost pro cinnamaldehyd	97
Příloha 9 Kalibrační závislost pro eugenol	98
Příloha 10 Vztahy použité k výpočtům.....	98
Příloha 11 Tabulka s hodnotami pro výpočet mezí detekce a mezí stanovitelnosti ...	99
Příloha 12 Tabulka s hodnotami výtěžností pro standardy měřené ve třech různých dnech o koncentracích 1, 10 a 100 mg/l (n=6)	99
Příloha 13 Tabulka s hodnotami výtěžností pro standardy měřené v jednom dni (n=5)	100
Příloha 14 Tabulka s hodnotami výtěžností pro vzorek se standardním přídatkem (n=8).....	100
Příloha 15 Tabulka s hodnotami výtěžností pro standardy o koncentraci 1 mg/l pro posouzení stability v čase (n=2)	101
Příloha 16 Tabulka s hodnotami výtěžností pro standardy o koncentraci 10 mg/l pro posouzení stability v čase (n=2)	101
Příloha 17 Tabulka s hodnotami intraday a interday opakovatelností pro jednotlivé koncentrace standardů.....	102
Příloha 18 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku (n=2).....	102
Příloha 19 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 120 °C (vzorek č. 4, n=4).....	103
Příloha 20 Tabulka s hodnotami relativních koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 120 °C (vzorek č. 4, n=4)	103
Příloha 21 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 150 °C (vzorek č. 4, n=4).....	104

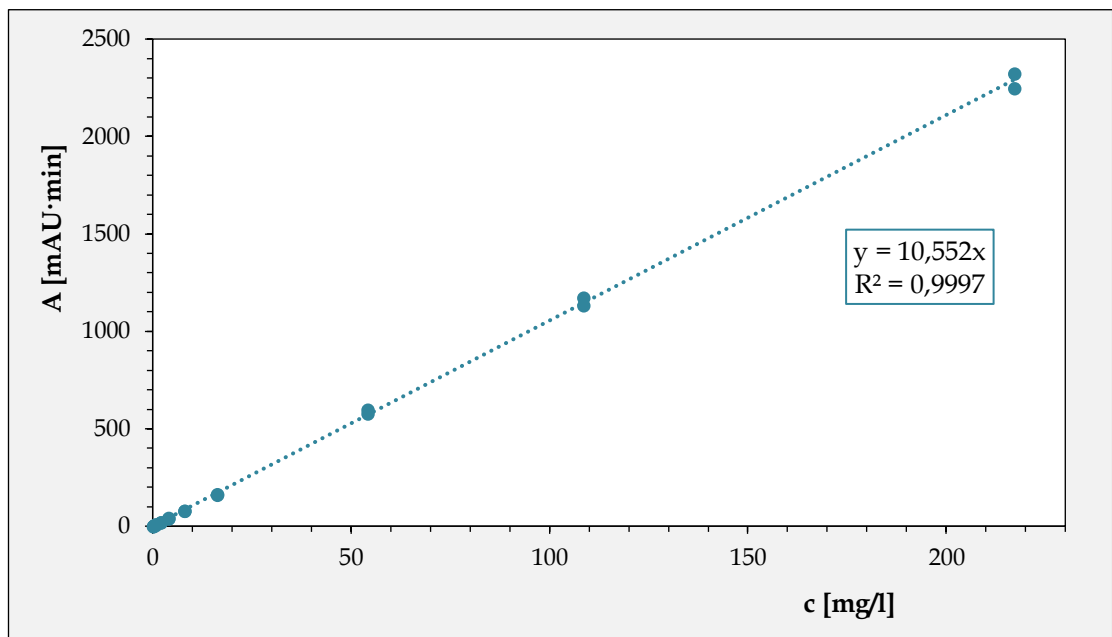
Příloha 22 Tabulka s hodnotami relativních koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 150 °C (vzorek č. 4, n=4)	104
Příloha 23 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 180 °C (vzorek č. 4, n=4).....	105
Příloha 24 Tabulka s hodnotami relativních koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 180 °C (vzorek č. 4, n=4)	105
Příloha 25 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 180 °C (vzorek č. 6, skořice cejlonská, n=4)	106
Příloha 26 Tabulka s hodnotami relativních koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 180 °C (vzorek č. 6, skořice cejlonská, n=4).....	107

PŘÍLOHY:

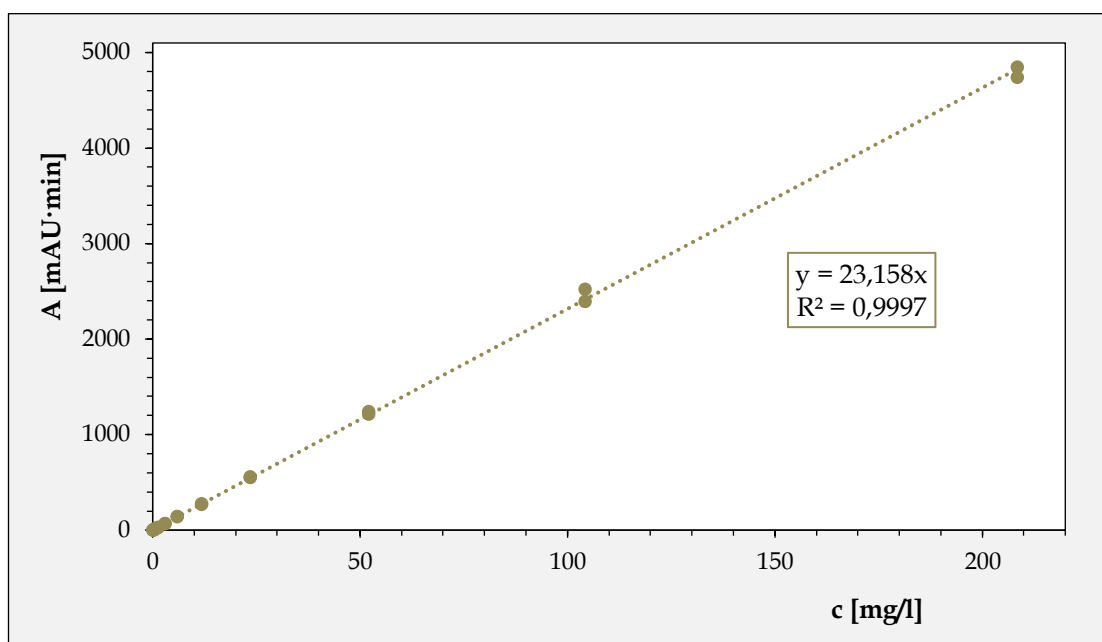
Příloha 1 Kalibrační závislost pro protokatechaldehyd



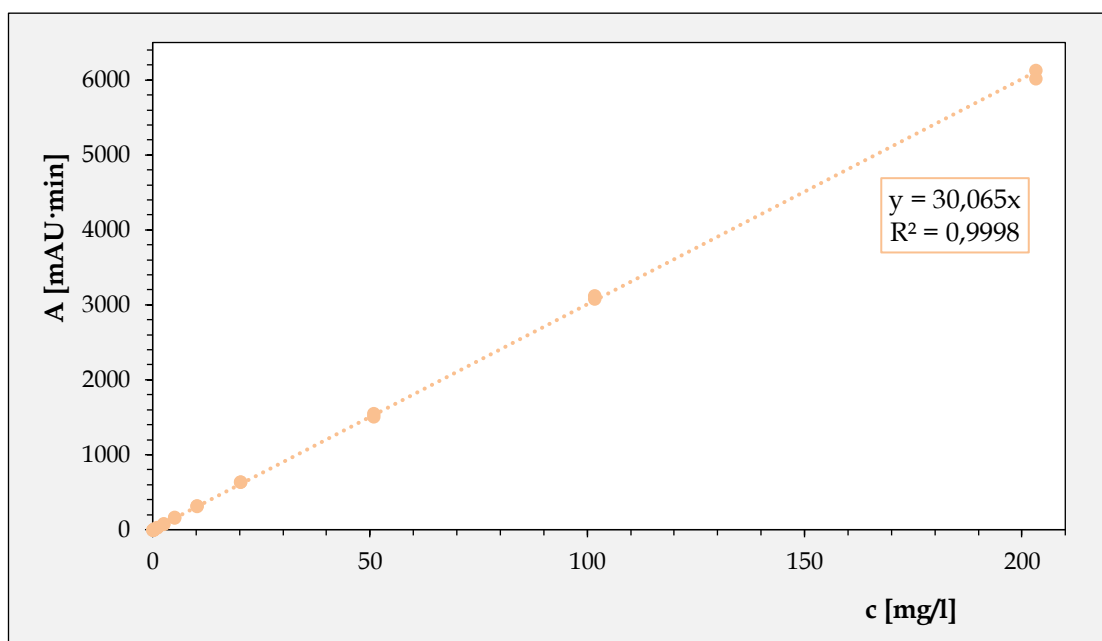
Příloha 2 Kalibrační závislost pro kyselinu chlorogenovou



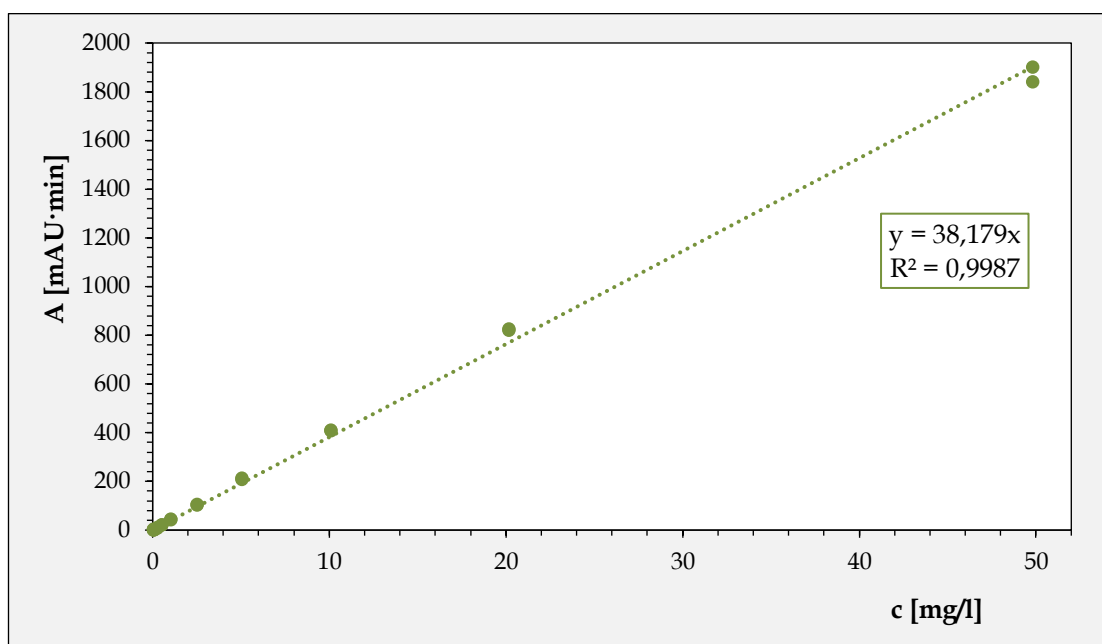
Příloha 3 Kalibrační závislost pro kyselinu kávovou



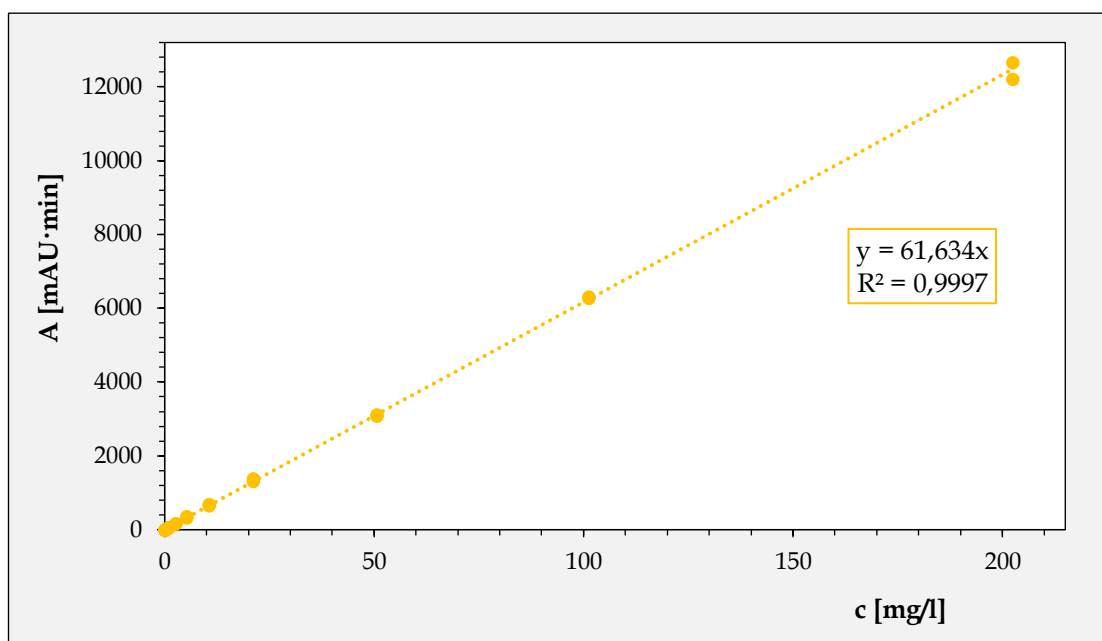
Příloha 4 Kalibrační závislost pro kumarin



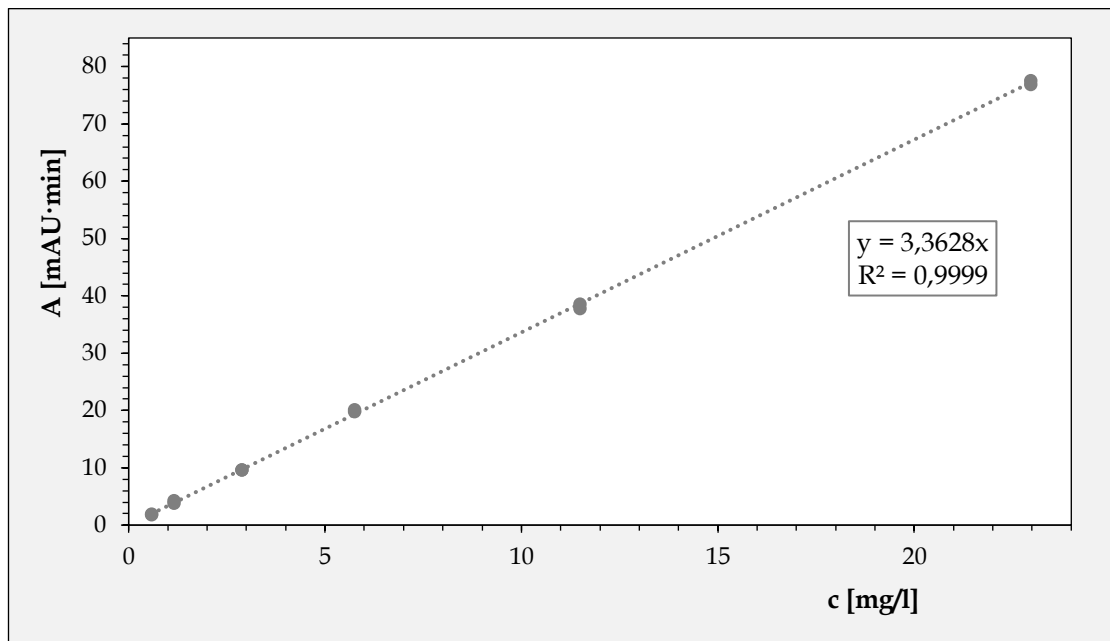
Příloha 5 Kalibrační závislost pro kyselinu p-kumarovou



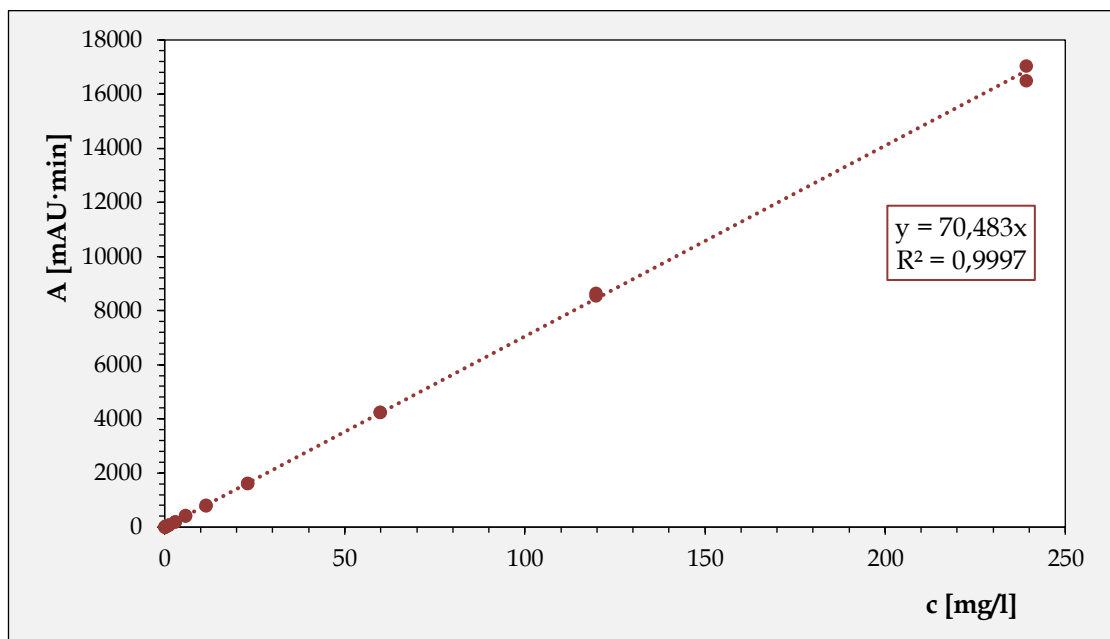
Příloha 6 Kalibrační závislost pro kyselinu skořicovou



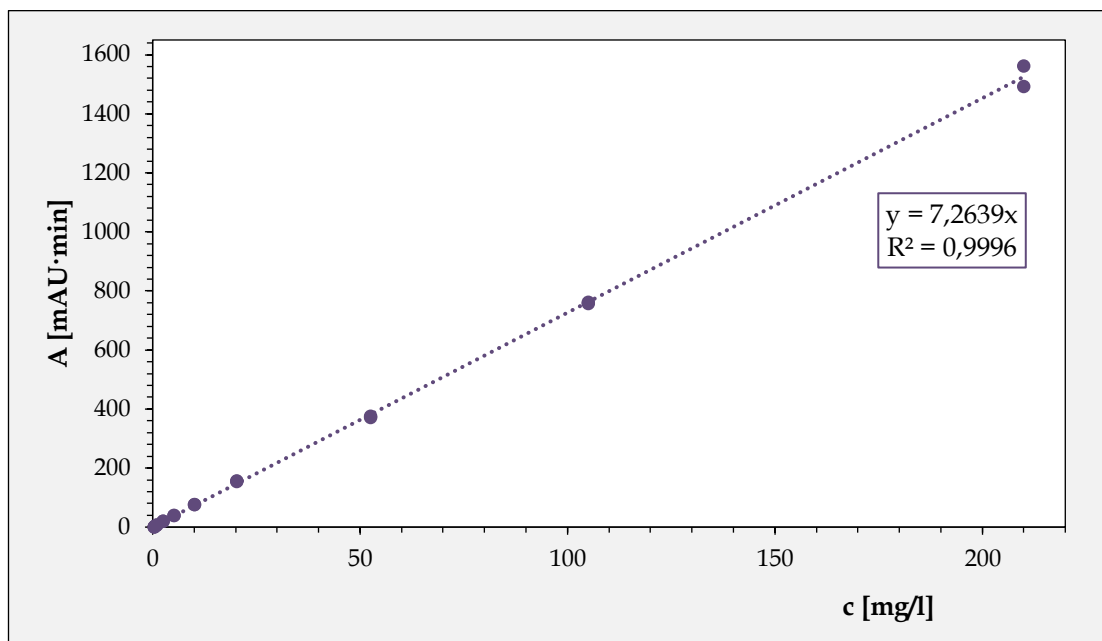
Příloha 7 Kalibrační závislost pro cinnamylalkohol



Příloha 8 Kalibrační závislost pro cinnamaldehyd



Příloha 9 Kalibrační závislost pro eugenol



Příloha 10 Vztahy použité k výpočtům

a) Výpočet LOD a LOQ

S – výška píku [AU]

N – výška šumu [AU]

$$\text{LOD} = 3 \cdot \frac{S}{N}$$

$$\text{LOQ} = 10 \cdot \frac{S}{N}$$

b) Výpočet návratnosti

$c_{\text{naměř.}}$ – naměřená koncentrace [mg/l]

$c_{\text{skut.}}$ – skutečná koncentrace [mg/l]

$$\text{Návratnost [\%]} = \frac{c_{\text{naměř.}}}{c_{\text{skut.}}} \cdot 100$$

c) Výpočet opakovatelnosti

s – směrodatná odchylka [mg/l]

\bar{x} – průměr [mg/l]

$$\text{RSD [\%]} = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

Příloha 11 Tabulka s hodnotami pro výpočet mezí detekce a mezí stanovitelnosti

Standard	Koncentrace [mg/l]	Výška píku (S)	Výška šumu (N)	S/N
Protokatechaldehyd	0,0101	0,1588	0,0200	7,94
Kyselina chlorogenová	0,0203	0,1146	0,0200	5,73
Kyselina kávová	0,0118	0,1772	0,0200	8,86
Kyselina <i>p</i> -kumarová	0,0101	0,2336	0,0200	11,68
Kumarin	0,0101	0,1475	0,0200	7,38
Cinnamylalkohol	0,0574	0,0812	0,0200	4,06
Kyselina skořicová	0,0106	0,3256	0,0200	16,28
Cinnamaldehyd	0,0115	0,2746	0,0200	13,73
Eugenol	0,0504	0,1296	0,0200	6,48

Příloha 12 Tabulka s hodnotami výtěžností pro standardy měřené ve třech různých dnech o koncentracích 1, 10 a 100 mg/l (n=6)

Standard	Výtěžnost [%]		
	1 mg/l	10 mg/l	100 mg/l
Protokatechaldehyd	107,3 ± 6,11	103,2 ± 1,97	101,79 ± 0,91
Kyselina chlorogenová	99,37 ± 8,01	95,53 ± 2,21	97,77 ± 0,50
Kyselina kávová	102,44 ± 4,21	99,43 ± 1,00	99,97 ± 0,82
Kyselina <i>p</i> -kumarová	99,58 ± 0,48	100,13 ± 3,12	97,32 ± 1,86
Kumarin	104,65 ± 0,11	103,95 ± 2,38	103,03 ± 2,62
Cinnamylalkohol	83,1 ± 1,65	82,89 ± 0,32	83,13 ± 1,68
Kyselina skořicová	104,54 ± 1,04	102,08 ± 0,71	102,39 ± 2,05
Cinnamaldehyd	104,58 ± 0,44	102,22 ± 0,42	102,28 ± 2,65
Eugenol	106,33 ± 8,70	101,91 ± 1,94	100,14 ± 1,55

Příloha 13 Tabulka s hodnotami výtěžností pro standardy měřené v jednom dni (n=5)

Standard	Výtěžnost [%]		
	1 mg/l	10 mg/l	100 mg/l
Protokatechaldehyd	108,19 ± 4,94	105,27 ± 4,61	104,11 ± 3,18
Kyselina chlorogenová	101,84 ± 4,71	99,38 ± 5,57	103,57 ± 4,63
Kyselina kávová	102,73 ± 3,31	102,61 ± 5,86	105,60 ± 5,40
Kyselina <i>p</i> -kumarová	101,09 ± 0,94	101,43 ± 4,05	85,12 ± 2,36
Kumarin	104,65 ± 1,00	105,44 ± 3,10	127,71 ± 5,83
Cinnamylalkohol	87,34 ± 0,97	84,75 ± 1,67	85,43 ± 2,38
Kyselina skořicová	107,94 ± 1,59	103,84 ± 0,87	104,40 ± 2,52
Cinnamaldehyd	104,87 ± 1,64	102,69 ± 1,17	101,76 ± 2,70
Eugenol	116,87 ± 0,71	105,78 ± 1,66	102,48 ± 1,00

Příloha 14 Tabulka s hodnotami výtěžností pro vzorek se standardním přídatkem (n=8)

Látka	Výtěžnost [%]
Protokatechaldehyd	100,31 ± 2,98
Kyselina chlorogenová	97,16 ± 3,14
Kyselina kávová	94,25 ± 6,74
Kyselina <i>p</i> -kumarová	96,46 ± 2,27
Kumarin	90,99 ± 5,51
Cinnamylalkohol	79,23 ± 4,16
Kyselina skořicová	96,61 ± 2,49
Cinnamaldehyd	90,00 ± 7,43
Eugenol	92,37 ± 4,60

Příloha 15 Tabulka s hodnotami výtěžností pro standardy o koncentraci 1 mg/l pro posouzení stability v čase (n=2)

Standard	Výtěžnost [%]	
	1. až 3. den (n=6)	17. den (n=2)
Protokatechaldehyd	107,30 ± 5,89	104,18 ± 5,70
Kyselina chlorogenová	99,37 ± 7,96	103,82 ± 12,70
Kyselina kávová	102,44 ± 4,63	103,77 ± 6,52
Kyselina <i>p</i> -kumarová	99,58 ± 1,72	99,47 ± 1,93
Kumarin	104,65 ± 1,10	104,12 ± 5,53
Cinnamylalkohol	83,10 ± 3,65	49,67 ± 70,24
Kyselina skořicová	104,54 ± 1,61	108,7 ± 7,29
Cinnamaldehyd	104,59 ± 0,55	103,23 ± 4,41
Eugenol	106,33 ± 10,06	109,87 ± 1,58

Příloha 16 Tabulka s hodnotami výtěžností pro standardy o koncentraci 10 mg/l pro posouzení stability v čase (n=2)

Standard	Výtěžnost [%]	
	1. až 3. den (n=6)	17. den (n=2)
Protokatechaldehyd	103,20 ± 3,19	101,73 ± 1,08
Kyselina chlorogenová	95,53 ± 2,86	95,34 ± 1,82
Kyselina kávová	99,43 ± 2,80	100,31 ± 0,23
Kyselina <i>p</i> -kumarová	100,13 ± 3,13	98,42 ± 0,49
Kumarin	103,95 ± 2,36	100,84 ± 0,73
Cinnamylalkohol	82,89 ± 0,39	81,78 ± 0,37
Kyselina skořicová	102,07 ± 0,67	103,48 ± 0,05
Cinnamaldehyd	102,21 ± 0,44	101,81 ± 1,39
Eugenol	101,91 ± 2,01	104,42 ± 1,65

Příloha 17 Tabulka s hodnotami intraday a interday opakovatelností pro jednotlivé koncentrace standardů

Látka	RSD _{intra} [%]			RSD _{inter} [%]		
	1 mg/l	10 mg/l	100 mg/l	1 mg/l	10 mg/l	100 mg/l
Protokatechaldehyd	4,57	4,38	3,06	5,49	3,09	3,28
Kyselina chlorogenová	4,63	5,61	4,47	8,01	3,00	2,12
Kyselina kávová	3,22	5,72	5,12	4,52	2,81	2,03
Kyselina <i>p</i> -kumarová	0,95	2,94	4,56	1,05	2,27	3,55
Kumarin	0,93	4,00	2,78	1,72	3,13	2,97
Cinnamylalkohol	1,47	0,83	2,42	1,54	0,65	2
Kyselina skořicová	1,11	1,97	2,79	4,39	0,47	2,27
Cinnamaldehyd	1,56	1,14	2,66	0,53	0,43	2,33
Eugenol	0,61	1,57	0,98	9,46	1,98	1,49

Příloha 18 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku (n=2)

Látka	Koncentrace [mg/g]					
	Vz. č. 1	Vz. č. 2	Vz. č. 3	Vz. č. 4	Vz. č. 5	Vz. č. 6
Protokatechaldehyd	0,0250 ± 0,0027	0,0221 ± 0,0037	0,0289 ± 0,0145	0,0177 ± 0,0023	0,0236 ± 0,0029	0,0206 ± 0,0026
Kyselina chlorogenová	0,0949 ± 0,0023	0,0789 ± 0,0114	0,1345 ±0,0002	0,0545 ± 0,0031	0,1636 ± 0,0030	0,2458 ± 0,0347
Kyselina kávová	0,3480 ± 0,0406	0,4453 ± 0,0271	0,4846 ± 0,0060	0,3338 ± 0,0057	0,1155 ± 0,0016	0,2449 ± 0,0298
Kyselina <i>p</i> -kumarová	0,1182 ± 0,0218	0,0888 ± 0,0077	0,1009 ± 0,0048	0,0840 ± 0,0032	0,0352 ± 0,0025	0,1093 ± 0,0151
Kumarin	3,3017 ± 0,0672	0,6307 ± 0,0324	3,2839 ± 0,1334	4,0458 ± 0,0388	0,0142 ± 0,0010	0,0092 ± 0,0023
Cinnamylalkohol	0,5703 ± 0,0087	0,2069 ± 0,0510	0,4523 ± 0,0168	0,4356 ± 0,0274	0,5455 ± 0,0111	0,4600 ± 0,0389
Kyselina skořicová	0,7972 ± 0,0218	0,5735 ± 0,0128	0,5962 ± 0,0329	0,8803 ± 0,0052	0,4195 ± 0,0284	0,2971 ± 0,0169
Cinnamaldehyd	23,3757 ± 0,1121	17,5325 ± 0,1268	18,9015 ± 0,2236	28,4857 ± 0,4346	3,2156 ± 0,1830	7,3190 ± 0,5612
Eugenol	0,0366 ± 0,0006	0,0441 ± 0,0194	0,1345 ± 0,0190	0,0461 ± 0,0018	0,1887 ± 0,0150	0,0309 ± 0,0027

Příloha 19 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 120 °C (vzorek č. 4, n=4)

Látka	Koncentrace [mg/g]				
	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Protokatechaldehyd	0,0218 ± 0,0012	0,0202 ± 0,0005	0,0189 ± 0,0016	0,0218 ± 0,0017	0,0198 ± 0,0021
Kyselina chlorogenová	0,0648 ± 0,0054	0,0527 ± 0,0055	0,0759 ± 0,0129	0,0650 ± 0,0053	0,0771 ± 0,0139
Kyselina kávová	0,4237 ± 0,0287	0,3620 ± 0,0079	0,3773 ± 0,0255	0,3915 ± 0,0284	0,3773 ± 0,0158
Kyselina <i>p</i> -kumarová	0,112 ± 0,011	0,040 ± 0,002	0,054 ± 0,007	0,049 ± 0,008	0,045 ± 0,006
Kumarin	4,210 ± 0,068	4,235 ± 0,085	4,225 ± 0,113	4,045 ± 0,192	4,260 ± 0,020
Cinnamylalkohol	0,657 ± 0,040	0,512 ± 0,030	0,526 ± 0,048	0,453 ± 0,049	0,452 ± 0,021
Kyselina skořicová	0,884 ± 0,023	0,881 ± 0,010	0,887 ± 0,017	0,880 ± 0,024	0,902 ± 0,013
Cinnamaldehyd	28,394 ± 1,101	26,605 ± 1,237	25,486 ± 0,339	23,372 ± 1,297	24,983 ± 0,367
Eugenol	0,0498 ± 0,0036	0,0296 ± 0,0033	0,0391 ± 0,0015	0,0370 ± 0,0040	0,0381 ± 0,0040

Příloha 20 Tabulka s hodnotami relativních koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 120 °C (vzorek č. 4, n=4)

Látka	Relativní koncentrace [%]				
	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Protokatechaldehyd	100	92,83 ± 5,97	86,97 ± 10,24	100,23 ± 8,06	91,09 ± 10,77
Kyselina chlorogenová	100	81,36 ± 5,22	117,14 ± 21,49	100,25 ± 7,93	118,91 ± 28,74
Kyselina kávová	100	85,46 ± 5,30	89,07 ± 10,30	92,40 ± 8,32	89,05 ± 6,89
Kyselina <i>p</i> -kumarová	100	36,22 ± 4,24	48,13 ± 8,84	43,47 ± 8,19	39,96 ± 8,79
Kumarin	100	100,59 ± 1,16	100,35 ± 2,22	96,08 ± 5,84	101,17 ± 1,42
Cinnamylalkohol	100	77,91 ± 6,78	80,09 ± 6,58	68,94 ± 6,74	68,78 ± 6,97
Kyselina skořicová	100	99,61 ± 1,83	100,36 ± 4,06	99,55 ± 3,63	102,00 ± 3,56
Cinnamaldehyd	100	93,70 ± 1,23	89,76 ± 4,46	82,31 ± 7,76	87,99 ± 4,50
Eugenol	100	59,50 ± 10,21	78,61 ± 2,80	74,22 ± 9,74	76,61 ± 11,38

Příloha 21 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 150 °C (vzorek č. 4, n=4)

Látka	Koncentrace [mg/g]				
	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Protokatechaldehyd	0,0218 ±	0,0284 ±	0,0317 ±	0,0411 ±	0,0403 ±
	0,0012	0,0022	0,0009	0,0050	0,0029
Kyselina chlorogenová	0,0648 ±	0,0747 ±	0,0450 ±	0,0485 ±	0,0588 ±
	0,0054	0,0070	0,0065	0,0057	0,0069
Kyselina kávová	0,4237 ±	0,3820 ±	0,3342 ±	0,3119 ±	0,2962 ±
	0,0287	0,0248	0,0219	0,0236	0,0171
Kyselina <i>p</i> -kumarová	0,112 ±	0,035 ±	0,037 ±	0,035 ±	0,037 ±
	0,011	0,013	0,012	0,010	0,010
Kumarin	4,210 ±	4,056 ±	3,387 ±	3,335 ±	3,015 ±
	0,068	0,163	0,272	0,123	0,482
Cinnamylalkohol	0,657 ±	0,398 ±	0,306 ±	0,287 ±	0,219 ±
	0,040	0,060	0,024	0,033	0,036
Kyselina skořicová	0,884 ±	0,935 ±	0,921 ±	0,942 ±	0,938 ±
	0,023	0,028	0,010	0,031	0,008
Cinnamaldehyd	28,394 ±	21,976 ±	16,421 ±	14,985 ±	13,315 ±
	1,101	0,986	2,443	0,470	3,121
Eugenol	0,0498 ±	0,4053 ±	0,0287 ±	0,0269 ±	0,0298 ±
	0,0036	0,0598	0,0013	0,0080	0,0070

Příloha 22 Tabulka s hodnotami relativních koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 150 °C (vzorek č. 4, n=4)

Látka	Relativní koncentrace [%]				
	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Protokatechaldehyd	100	130,28 ±	145,47 ±	188,77 ±	185,22 ±
		2,48	9,98	31,35	8,54
Kyselina chlorogenová	100	115,30 ±	69,45 ±	74,90 ±	90,74 ±
		15,08	12,80	12,66	14,65
Kyselina kávová	100	90,17 ±	78,89 ±	73,63 ±	69,92 ±
		11,70	9,82	5,58	2,46
Kyselina <i>p</i> -kumarová	100	31,03 ±	33,21 ±	31,74 ±	33,40 ±
		11,17	10,05	10,80	9,70
Kumarin	100	96,34 ± 3,15	80,43 ±	79,21 ±	71,61 ±
			5,66	4,13	10,72
Cinnamylalkohol	100	60,62 ± 9,68	46,53 ±	43,74 ±	33,25 ±
			4,46	3,79	2,03
Kyselina skořicová	100	105,79 ±	104,13 ±	106,56 ±	106,13 ±
		3,46	3,25	6,07	2,03
Cinnamaldehyd	100	77,40 ± 2,47	57,83 ±	52,78 ±	46,89 ±
			6,40	1,51	9,06
Eugenol	100	67,23 ±	57,69 ±	54,02 ±	59,92 ±
		14,20	3,87	13,85	9,89

Příloha 23 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 180 °C (vzorek č. 4, n=4)

Látka	Koncentrace [mg/g]				
	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Protokatechaldehyd	0,0218 ±	0,0174 ±	0,0078 ±	0,0075 ±	0,0078 ±
	0,0012	0,0008	0,0014	0,0012	0,0004
Kyselina chlorogenová	0,0648 ±	0,0260 ±	0,0129 ±	0,0122 ±	0,0109 ±
	0,0054	0,0013	0,0023	0,0017	0,0038
Kyselina kávová	0,4237 ±	0,2679 ±	0,1802 ±	0,1574 ±	0,1331 ±
	0,0287	0,0119	0,0121	0,0102	0,0087
Kyselina <i>p</i> -kumarová	0,112 ±	0,026 ±	0,025 ±	0,024 ±	0,021 ±
	0,011	0,002	0,007	0,004	0,002
Kumarin	4,210 ±	2,929 ±	2,739 ±	2,703 ±	2,616 ±
	0,068	0,111	0,169	0,027	0,053
Cinnamylalkohol	0,657 ±	0,258 ±	0,126 ±	0,098 ±	0,094 ±
	0,040	0,017	0,014	0,009	0,017
Kyselina skořicová	0,884 ±	0,869 ±	0,854 ±	0,845 ±	0,827 ±
	0,023	0,030	0,016	0,010	0,008
Cinnamaldehyd	28,394 ±	12,026 ±	8,616 ±	8,381 ±	6,993 ±
	1,101	0,181	1,085	0,276	0,155
Eugenol	0,0498 ±	0,0311 ±	0,0323 ±	0,0344 ±	0,0368 ±
	0,0036	0,0043	0,0032	0,0024	0,0024

Příloha 24 Tabulka s hodnotami relativních koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 180 °C (vzorek č. 4, n=4)

Látka	Relativní koncentrace [%]				
	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Protokatechaldehyd	100	79,89 ± 5,47	35,82 ±	34,20 ±	35,75 ±
			7,47	6,45	1,03
Kyselina chlorogenová	100	40,14 ± 3,68	19,97 ±	18,82 ±	16,85 ±
			1,97	3,85	7,07
Kyselina kávová	100	63,22 ± 5,87	42,54 ±	37,15 ±	31,43 ±
			2,73	4,91	3,94
Kyselina <i>p</i> -kumarová	100	23,51 ± 1,87	22,06 ±	21,38 ±	18,60 ±
			5,34	4,03	2,99
Kumarin	100	69,57 ± 3,36	65,05 ±	64,21 ±	62,14 ±
			4,65	1,29	1,67
Cinnamylalkohol	100	39,31 ± 4,76	19,11 ±	14,85 ±	14,37 ±
			2,47	1,91	2,58
Kyselina skořicová	100	98,28 ± 4,08	96,61 ±	95,62 ±	93,50 ±
			2,90	2,29	1,59
Cinnamaldehyd	100	42,35 ± 1,94	30,34 ±	29,52 ±	24,63 ±
			5,00	2,09	1,48
Eugenol	100	62,40 ± 7,32	64,96 ±	69,05 ±	74,02 ±
			6,81	9,50	6,52

Příloha 25 Tabulka s hodnotami koncentrací látek ve vzorku zahřivaném na 180 °C (vzorek č. 6, skořice cejlonská, n=4)

Látka	Koncentrace [mg/g]				
	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Protokatechaldehyd	0,1688 ± 0,0016	0,0808 ± 0,0057	0,0994 ± 0,0051	0,1274 ± 0,0084	0,1437 ± 0,0026
Kyselina chlorogenová	0,2490 ± 0,0246	0,1057 ± 0,0069	0,0810 ± 0,0125	0,0500 ± 0,0007	0,0471 ± 0,0111
Kyselina kávová	0,2376 ± 0,0237	0,1295 ± 0,0038	0,1083 ± 0,0060	0,0911 ± 0,0078	0,0687 ± 0,0134
Kyselina <i>p</i>-kumarová	0,131 ± 0,012	0,052 ± 0,007	0,037 ± 0,005	0,025 ± 0,001	0,026 ± 0,001
Kumarin	0,009 ± 0,002	0,006 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,005 ± 0,000	0,005 ± 0,001
Cinnamylalkohol	0,553 ± 0,028	0,177 ± 0,012	0,125 ± 0,013	0,089 ± 0,009	0,084 ± 0,006
Kyselina skořicová	0,309 ± 0,018	0,316 ± 0,006	0,307 ± 0,007	0,319 ± 0,029	0,321 ± 0,005
Cinnamaldehyd	7,305 ± 0,498	4,921 ± 0,224	3,753 ± 0,073	3,576 ± 0,387	3,428 ± 0,043
Eugenol	0,0323 ± 0,0023	0,0225 ± 0,0019	0,0234 ± 0,0023	0,0215 ± 0,0031	0,0138 ± 0,0001

Příloha 26 Tabulka s hodnotami relativních koncentrací látek ve vzorku zahříváném na 180 °C (vzorek č. 6, skořice cejlonská, n=4)

Látka	Relativní koncentrace [%]				
	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Protokatechaldehyd	100	47,86 ± 3,47	58,89 ± 2,77	75,48 ± 5,22	85,17 ± 1,46
Kyselina chlorogenová	100	42,44 ± 1,47	32,51 ± 3,68	20,08 ± 2,28	18,91 ± 6,00
Kyselina kávová	100	54,49 ± 6,18	45,55 ± 6,09	38,34 ± 3,29	28,92 ± 3,66
Kyselina <i>p</i> -kumarová	100	40,16 ± 5,59	27,99 ± 2,77	19,28 ± 1,62	19,72 ± 2,88
Kumarin	100	68,42 ± 13,94	50,64 ± 23,67	58,74 ± 15,60	53,72 ± 19,56
Cinnamylalkohol	100	32,07 ± 3,52	22,60 ± 2,90	16,09 ± 2,42	15,21 ± 1,65
Kyselina skořicová	100	102,37 ± 5,39	99,39 ± 5,47	103,16 ± 10,29	103,88 ± 5,95
Cinnamaldehyd	100	67,37 ± 1,76	51,37 ± 4,52	48,96 ± 3,06	46,93 ± 3,61
Eugenol	100	69,56 ± 1,18	72,52 ± 10,90	66,68 ± 10,21	42,61 ± 2,89