



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

VLIV MLETÍ KÁVOVÉHO ZRNA A PŘÍPRAVY KÁVY NA OBSAH VYBRANÝCH LÁTEK V KÁVĚ

THE INFLUENCE OF COFFEE BEAN GRINDING AND BREWING METHOD ON THE CONTENT OF SELECTED
SUBSTANCES IN A COFFEE CUP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Sabina Dvořáčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1775/2022 Akademický rok: 2022/23
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií
Studentka: **Bc. Sabina Dvořáčková**
Studijní program: Chemie přírodních látek
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.**

Název diplomové práce:

Vliv mletí kávového zrna a přípravy kávy na obsah vybraných látek v kávě

Zadání diplomové práce:

- 1) vypracujte literární rešerši na zadané téma
- 2) připravte kávu z různě namletého kávového zrna pomocí různých baristických postupů
- 3) proveďte analýzu připravené kávy pomocí instrumentálních technik
- 4) zpracujte naměřená data, diskutujte naměřené výsledky
- 5) formulujte závěry práce

Termín odevzdání diplomové práce: 8.5.2023:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Sabina Dvořáčková
studentka

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2023

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivem použitých baristických metod na obsah vybraných aromatických látek a kofeinu v různě mleté kávě. V teoretické části jsou zpracovány obecné informace o kávovníku, chemickém složení kávového zrna, pěstování, technologii posklizňového zpracování včetně jednotlivě rozebraných baristických metod přípravy. Dále se tato část věnuje popisu 10 vybraných těkavých látek, jež jsou součástí aromatického kávového profilu spolu s charakterizací xanthinového alkaloidu kofeinu. Náplní experimentální části bylo analyzování vzorků kávy ze 100% Arabiky, jež byly připraveny prostřednictvím pákového kávovaru, moka konvičky a Vacuum potu. Tyto metody byly využity k přípravě vzorků kávy, jež byla pomleta na nejjemnější, středně hrubý a hrubý stupeň mletí, jelikož byl zkoumán vliv relativní velikosti kávových částic na účinnost extrakce studovaných látek. Na základě získaných výsledků bylo zjištěno, že nejvyšší koncentrace kofeinu byly naměřeny u vzorků espressa ze středně mleté kávy, jež byly vyextrahovány pomocí pákového kávovaru a v 30 ml obsahovaly až 110 mg kofeinu. Podobných výsledků bylo dosaženo i u kávových vzorků z nejhruběji namletých kávových zrn připravených pomocí moka konvičky, jejichž kofeinové koncentrace dosahovaly průměrné hodnoty 176 mg na 50 ml nápoje. Nejvíce zastoupenou těkavou aromatickou látkou byl furfuryl acetát. Jeho nejvyšší koncentrace byly zaznamenány u vzorků z nejhrubší kávy z Vakuum potu, který se prokázal jako metoda s nejlepší opakovatelností. Vypočítané hodnoty vztažené na 1 kg kávy označily za nejvíce zastoupenou těkavou látku 2-methylpyrazin, jež byl stejně jako furfuryl acetát následován vysokým obsahem furfuryl alkoholu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Káva, aromatické látky, kofein, baristické metody, stupeň mletí

ABSTRACT

This thesis deals with the influence of barista methods on the content of selected aromatic substances and caffeine in variously ground coffee. In the theoretical part, general information about the coffee plant, the chemical composition of the coffee bean, cultivation, post-harvest processing technology, including individually discussed barista preparation methods are presented. Furthermore, this part is devoted to the description of 10 selected volatile compounds that are part of the aromatic coffee profile, together with the characterisation of the xanthine alkaloid caffeine. The experimental part was filled with the analysis of 100% Arabica coffee samples that were prepared through a lever coffee machine, moka pot and Vacuum pot. These methods were used to prepare coffee samples that were ground to the finest, medium and coarse grinding grades as the effect of relative coffee particle size on the extraction efficiency of the studied compounds was investigated. Based on the results obtained, it was found that the highest caffeine concentrations were measured in espresso samples of medium ground coffee, which were extracted using a lever coffee machine and contained up to 110 mg of caffeine in 30 ml. Similar results were obtained for coffee samples made from the coarsest ground beans prepared using a moka pot, with caffeine concentrations averaging 176 mg per 50 ml of beverage. The most abundant volatile flavouring substance was furfuryl acetate. Its highest concentrations were recorded in the coarsest coffee samples from the vacuum pot, which proved to be the method with the best repeatability. Calculated values based on 1 kg of coffee identified 2-methylpyrazine as the most abundant volatile, which, like furfuryl acetate, was followed by high furfuryl alcohol.

KEY WORDS

Coffee, aromatic substances, caffeine, barista methods, degree of grinding

DVOŘÁČKOVÁ, Sabina. *Vliv mletí kávového zrna a přípravy kávy na obsah vybraných látek v kávě*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148299>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Pavel Diviš.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a všechny použité literární zdroje správně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Pavlu Divišovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, trpělivost, veškerou pomoc a věnovaný čas.

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1	Káva a kávovník	9
2.1.1	Arabica	11
2.1.1.1	Typica.....	12
2.1.1.2	Bourbon.....	13
2.1.2	Robusta.....	13
2.2	Chemické složení kávového zrna	13
2.2.1	Sacharidy	14
2.2.2	Bílkoviny	14
2.2.3	Lipidy	14
2.2.4	Kofein.....	14
2.2.5	Fenolické látky	15
2.2.5.1	Kyselina chlorogenová.....	16
2.2.6	Aromatický profil	17
2.2.7	Aromaticky aktivní látky	19
2.2.7.1	Furfural.....	19
2.2.7.2	2-furylmethylketon.....	21
2.2.7.3	Furfuryl alkohol	22
2.2.7.4	Furfuryl acetát	23
2.2.7.5	2-methylpyrazin	24
2.2.7.6	Ethylpyrazin	25
2.2.7.7	Pyridin	25
2.2.7.8	2,3-pentandion (acetylpropionyl).....	26
2.2.7.9	5-methylfurfural	27
2.2.7.10	2-furanmethanthiol.....	28
2.3	Cesta kávy.....	28
2.3.1	Sklizeň a sběr	29
2.3.1.1	Ruční sběr.....	29
2.3.1.2	Strojový sběr	29
2.3.2	Zpracování zrn.....	30
2.3.2.1	Suché zpracování (natural,dry-processed)	30
2.3.2.2	Mokrý zpracování (fully-washed, wet-processed)	31
2.3.2.3	Medové zpracování (honey-processed, semi-washed).....	33
2.3.3	Loupání, leštění a třídění zrn.....	35
2.3.4	Vývoz a doprava zrna.....	37
2.4	Stěžejní technologické postupy zpracování	38
2.4.1	Pražení a jeho vliv	38
2.4.2	Mletí a jeho vliv	41
2.5	Baristické metody přípravy kávy	42
2.5.1	Espresso.....	44

2.5.2	Vakuum pot	46
2.5.3	Moka konvička	47
2.6	Analýza kávy pomocí instrumentálních technik.....	48
2.6.1	HPLC-MS.....	48
2.6.2	SPME-GC/MS.....	50
2.6.3	Sítová analýza	51
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	53
3.1	Seznam použitých chemikálií	53
3.2	Použité přístroje	53
3.3	Použité programy	53
3.4	Charakterizace vybrané kávy.....	54
3.5	Baristická příprava kávových vzorků	54
3.5.1	Espresso.....	54
3.5.2	Moka konvička	56
3.5.3	Vakuum pot	57
3.6	Stanovení obsahu kofeinu ve vzorcích pomocí HPLC analýzy.....	58
3.6.1	Parametry pro měření na HPLC přístroji	58
3.6.2	Podmínky pro MS detekci.....	58
3.6.3	Příprava mobilní fáze	58
3.6.4	Ředění kávových vzorků pro HPLC analýzu.....	58
3.6.5	Příprava bodů do kalibrační křivky	59
3.7	Stanovení aromaticky aktivních látek pomocí SPME-GC	59
3.7.1	Pracovní postup během přípravy kalibrační řady.....	59
3.8	Sítová analýza kávových částic	60
4	VÝSLEDKY A DISKUSE.....	63
4.1	Sítová analýza namletých zrn	63
4.2	Stanovení kofeinu ve vzorcích kávy	68
4.3	Stanovení obsahu vybraných těkavých aromatických látek	71
4.4	Zpracování dat v programu Statistica	77
4.4.1	Statistické zpracování kofeinu.....	78
4.4.2	Statistické zpracování aromatických látek	80
5	ZÁVĚR.....	84
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	86

1 ÚVOD

Pro mnohé z nás může být spojena s chvílemi pohody, pro někoho je nepostradatelnou součástí každodenní rutiny a pro jiné patří mezi naprosto neprobádané končiny. Ano, je to káva. [8]

Vyznačuje se příjemnou vůní i chutí s řadou čokoládových, ořechových či tvrdších tónů, vyvolává pozitivní pocity a myšlenky, a mezi ostatními nápoji vyniká svojí vysokou antioxidační aktivitou. Pravidelná konzumace kávy může mít pozitivní vliv na naši paměť, koncentraci, náladu nebo sportovní výkon. Kromě toho napomáhá při snižování rizika výskytu rakoviny jater či různých neurodegenerativních onemocnění, avšak nadměrná konzumace s sebou přináší i možné riziko zvýšení kardiovaskulárních onemocnění a celkového cholesterolu v těle [3].

Její kořeny sahají až do oblastí východní Afriky, kde téměř před 2000 lety došlo k objevení tohoto povzbuzujícího nápoje Etiopany. S postupem času káva expandovala dál do světa. Podle historie byla válečnický převezena do Arábie, kde se stala nepostradatelnou součástí řady tradic až dodnes, avšak v 17. století pronikla i do Evropy. Jelikož je tento horký nápoj spojován s odlišnými sociálními návyky v rámci rozdílné kultury v daných zemích, nezůstal nikdy bez povšimnutí veřejnosti. V druhé polovině 19. století považované za dobu rozkvétající industrializace Italové jednou pro vždy změnili způsob přípravy kávy, když přišli na trh se svými neuvěřitelnými kávovary a mlýnky na kávu. Kromě toho jsou považováni za vynálezce námi dobře známého nápoje, na nějž se zaměřuje i tato práce. Espresso [27].

V posledních letech trh s kávou dramaticky vzrostl, jelikož již dávno nejsou kávová zrna považována pouze za základní komoditu. Řada dnešních spotřebitelů vyhledává jen ta nejlepší a nejkvalitnější zrna, aby konzumace kávového nápoje s sebou přinesla obohacující zážitek spojený s novým smyslovým vnímáním. Kvalita kávových zrn závisí na různých faktorech, ať už na genetice rostliny, podmínkách a způsobu pěstování, posklizňovém zpracování, ale i skladování, pražení a jejich následném pomletí. Každý z těchto faktorů je nedílnou součástí procesu vedoucímu ve vzniku nápoje s charakteristickou chutí a výrazným aroma, v němž se nachází nepřeberné množství těkavých aromatických látek [36].

Ne nadarmo je v dnešní době možné použít nespočet baristických metod k vykouzlení lahodné kávy, jelikož každá z nich může svoje přednosti uplatnit v různých aspektech. Kromě zkoumání vlivu zvolené přípravy na obsah kofeinu a aromatických složek kávového aroma, si tato závěrečná práce klade za úkol porovnat vliv relativní velikosti částic na účinnost extrakce a s tím spojené množství vyextrahovaných látek.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Káva a kávovník

Půda, péče farmářů, podnebí společně se zeměpisnou polohou či samotný druh kávy značně ovlivňují různé chuťové profily a konečnou kvalitu kávy. Typický horký nápoj je pak připravován z jemně mletých semen kávovníku pěstovaného na plantážích zejména v sub/tropických oblastech exotických zemí [8][9].

Tyto rostliny řadíme mezi ovocné dřeviny spadající do rodu *Coffea*, který je řazen do čeledi mořenovitých (*Rubiaceae*) zahrnující okolo 6000 druhů. Je již známo, že pravlastí jsou horské oblasti Etiopie, kde se ještě dodnes vyskytují divoce rostoucí kávovníky. Odtud káva poprvé pronikla do Jemenu a arabských končin a v 15. století až do Evropy. Evropané pak svými zámořskými koloniemi rozšířili nejen tuto rostlinu, ale i celkovou kulturu pití tohoto zázračného nápoje do celého světa [9].

Obvykle dorůstají do výšky 5–10 m, ale mohou dorůstat i výše, proto jsou některé řazeny mezi keře a jiné mezi stromy. Na plantážích jsou však pravidelně seřezávány, protože by farmářům znesnadňovali sklizeň. Několikrát do roka bývají pouze na pár dnů obsypány drobnými bílými květy připomínající květy jasmínu, které mají velmi příjemnou a pronikavou vůni. Z opylených květů poté postupně začínají růst malé zelené bobule, po 9-11 měsících dozrávání mění barvu až na červenou, tmavě červenou nebo skoro fialovou a jsou nazývány kávovými třešněmi [9][12].



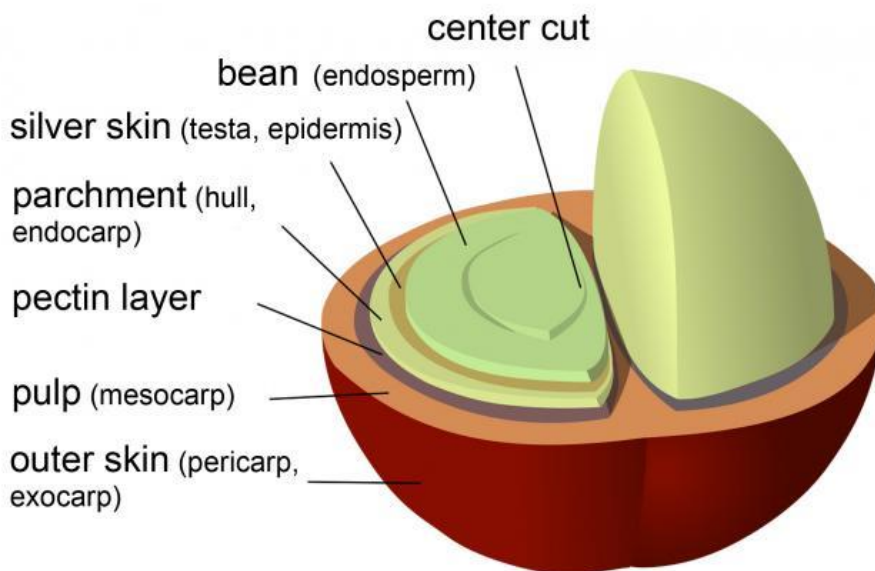
Obrázek 1: Květy a plody kávovníku arabského [10][11]

Je velmi důležité sledovat zbarvení bobulí během pěstování, protože jednak signalizují dobu vhodnou ke sběru a také pokud by byly utrženy ještě zelené, nebyly by už schopné dozrát. Jelikož kávovníky patří mezi ovoce, je možné třešně i normálně jíst, jen mají méně sladké dužiny.



Obrázek 2: Podoba kávové třešně [13]

Každá zralá bobule obsahuje 2 zrnka (\approx semínka), jejichž ploché strany jsou otočeny k sobě. Ta jsou schována v peckovicích o velikosti zhruba 1,5 cm a v ojedinělých případech může v plodu vyrůst pouze jedno jediné zrno. To má pak větší a kulatější tvar a je označováno jako tzv. perlové zrno, z něhož je připravována perlová káva. Semínka jsou uložena v několika ochranných vrstvách, jež bývají opatrně odstraňována před samotným procesem pražení. Na povrchu se nachází vnější zelená slupka *exocarp*, která během dozrávání pomalu mění svoji barvu, pod ní najdeme tenkou vrstvu dužiny *mesocarp*, v níž jsou uložena kávová zrna, z nichž každé má na sobě speciální vrstvu, světle žluté oplodí podobné pergamenu, která během zrání tvrdne a tím upravuje konečnou velikost kávových zrn. Zrníčka obaluje také další tenká stříbrná blána *integument/spermoderm*, a jejich vnitřní část tvoří *endosperm* [9][12].

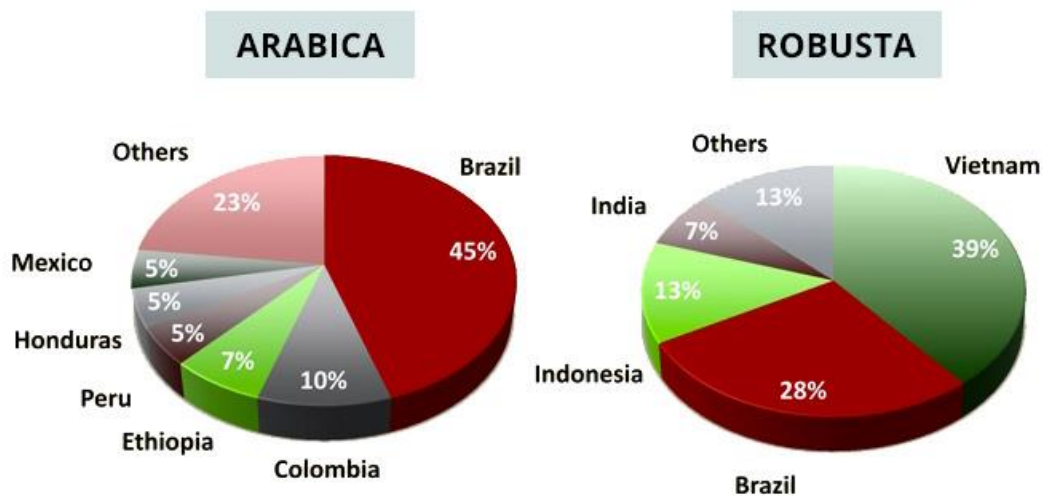


Obrázek 3: Jednotlivé vrstvy kávové třešně [14]

Z jednoho kávovníku se průměrně ročně sklídí zhruba 0,5–1 kg takových zrn a na první sklizeň se obvykle musí počkat 3–4 roky po vysazení rostliny [9][12].

Existuje celá řada různých druhů kávovníků (více než 120), z nichž největší ekonomickou hodnotu mají zejména 2 kávové odrůdy, a to *Coffea arabica* a *Coffea canephora* (Robusta). Ty

se vzájemně liší nejen způsobem pěstování, tvarem jednotlivých zrn nebo například chutí, ale také obsahem kofeinu. Jelikož potřebují teplejší klima, jsou po celém světě pěstovány především v oblastech okolo rovníku. Arabiku nejčastěji nalezneme ve Střední a Jižní Americe, částečně v Africe nebo Austrálii, zatímco Robusta je hojně pěstována v Asii (zejména Vietnam) a částečně i v Africe a Jižní Americe. 100% Arabika vyniká svojí vynikající senzoricou kvalitou, díky níž je pro spotřebitele daleko přijatelnější volbou než Robusta. Ta má však proti Arabice větší antioxidační aktivitu. Obsah kofeinu závisí zejména na daném druhu kávy a její tepelná stabilita zajišťuje minimální kofeinové ztráty během procesu pražení. Je však prokázáno, že i přes značná pozitiva na straně Arabiky se Robusta může pyšnit mnohem vyšším obsahem kofeinu [3][9][15][17].

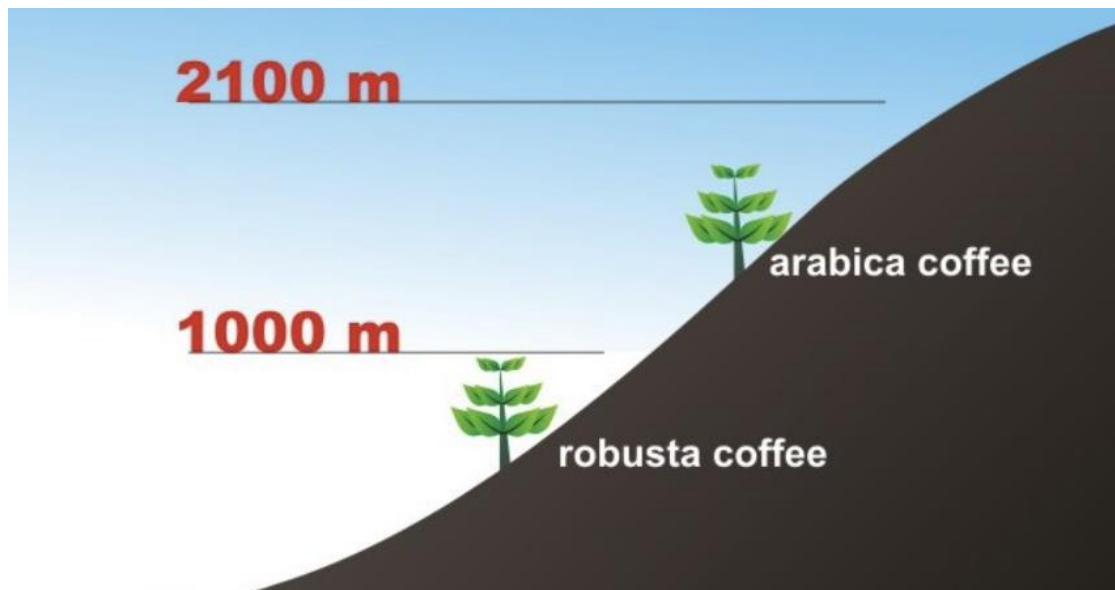


Obrázek 4: Produkce Arabiky a Robusty v jednotlivých zemích [16]

2.1.1 Arabica

Coffea Arabica je považována za jeden z nejvíce konzumovaných horkých nápojů východního světa. Tato nejoblíbenější arabská káva je nedílnou součástí veškerých perských tradic (zejména v Saúdské Arábii) každodenního života. [1] Ne nadarmo je označována za komerčně významnější, jelikož tvoří více než 70 % světové produkce kávy a díky rozmanité komplexní chuti i aromatu se řadí mezi kvalitnější a lepší kávy [1].

Arabský kávovník je sice náročnější na pěstování, méně odolný vůči škůdcům a různým chorobám, ale daří se mu ve vyšších nadmořských výškách mezi 600–2500 metry nad mořem. Obvykle se pěstuje při teplotách kolem 15–24 °C, prospívá mu vyšší vlhkost, ale i větší rozdíly v teplotách během dne a noci. Díky tomu plody dozrávají pomaleji a rozvíjí se v nich látkové složky utvářející charakteristickou chuť [9][16].



Obrázek 5: Výškové rozdíly oblastí růstu jednotlivých odrůd kávovníků [16]

I když na první pohled v porovnání s Robustou mezi sebou nemají téměř žádné odlišnosti, ve skutečnosti se jich nachází celá řada. Mimo to, že Arabika vyniká bohatší chutí s čokoládovými, kořeněnými až květinovými tóny, vyšší kyselostí, obsahuje dvakrát více cukrů a asi o 60 % více lipidů, je od Robusty rozpoznatelná už i pouhým okem a má méně kofeinu (0,5–1,4 %). Plošší a protáhlejší zrna se vyznačují svojí typickou zakřivenou rýhou, mají jemně zelenou barvu a před pražením vůni připomínají borůvky. Na světě existuje bezmála přes 80 druhů Arabik [16].



Obrázek 6: Porovnání zrnka Arabiky a Robusty [16]

2.1.1.1 Typica

Jedním ze základních druhů Arabiky, z nichž byla vypěstována řada dalších odrůd, je Typica. Tato rostlina rostla na prvních kávovníkových plantážích v Jemenu, ale její kořeny sahají až do Etiopie. Běžně dorůstá až do 4metrové výšky, má kónický tvar a výrazně červené plody. I přes

nižší produkci třešní během sklizně patří mezi odrůdu s excelentní kvalitou. Společně s Bourbonem tvoří základ všech dalších odrůd Arabiky a jednou z jejích mutací je odrůda zvaná Maragosype [9].

2.1.1.2 Bourbon

Tato odrůda vznikla z Typicy na začátku 18. století poté, co byla Francouzi vysazena uprostřed indického oceánu na ostrově Bourbon (dnes již Réunion), kde došlo k její přirozené mutaci. Třešně často bývají zbarvené dožluta, někdy ale také do červena i oranžova, rostou hustě u sebe, při silnějších deštích a větru snadno opadávají, a i když je jejich produkce o 30 % větší než u Typicy, během sklizně vykazují stále nižší vyprodukované množství než u řady jiných odrůd. Jeho mutací vzniká odrůda zvaná Caturra a přírodním hybridem mezi Typicou a Bourbonem je odrůda Mundo Nuovo. Bourbonová káva se podobá kávě z Typicy a má stále vysokou kvalitu [9][16].

2.1.2 Robusta

Coffea canephora, neboli kávovník statný, je spolu s Arabikou nejčastěji konzumovanou odrůdou kávy na celém světě. Patří však mezi méně kvalitní a levnější kávy, jelikož rostlina plodí daleko více během sklizně. Proti Arabice je daleko více rezistentní vůči chorobám, dorůstá až do výšky přes 10 metrů a je méně náročný na pěstování. Rostlina roste v nižších nadmořských výškách kolem 200–600 metrů nad mořem a vyžaduje stabilnější a teplejší klima s teplotami okolo 24–29 °C. Je pěstována s důrazem na rentabilitu a používána spíše jako komoditní káva [9][16][17].

Svoji přízeň si bezpochyby získala především díky až 3násobně (častěji dvojnásobně) vyššímu obsahu kofeinu (1,7–4,0 % kofeinu) a dvojnásobnému množství kyseliny chlorogenové, které zároveň slouží jako ochranné složky před škůdci vyskytujícími se v nižších nadmořských výškách. Vyšší obsah kofeinu je zapříčiněn zvýšenou expresí určitých genů spojených s jeho akumulací v kávových zrnech. Díky odlišné chemické struktuře a přítomnosti určitých složek, má Robusta naprosto rozdílnou kávovou chuť. Vyznačuje se výrazně hořkou, velmi silnou, zemitou až dřevěnou chutí doprovázenou aromatem připomínající arašidy. Zrnka jsou menší, zaoblenější, bledě zelená s nahnědlými odstíny s rovnou rýhou uprostřed [9][15][16].

2.2 Chemické složení kávového zrna

Kávové zrnko obsahuje více než 1000 bioaktivních látek a jeho sušina je téměř z poloviny tvořena polysacharidy (u Arabiky až z 50–55 %), dále lipidy, bílkoviny, chlorogenovými kyselinami, minerály, kofeinem, melanoidiny a dalšími významnými látkami. Jejich procentuální zastoupení se u Arabiky a Robusty vzájemně liší, ale zejména u Arabiky dochází k prokazatelným změnám v obsahu těchto složek po procesu pražení [15].

Výskyt jednotlivých složek v kávě spolu s kofeinem ovlivňuje celá řada rozmanitých faktorů. Kromě environmentálních podmínek, podnebí či klimatu, závisí také na způsobu pěstování, umístění, typu půdy, konkrétním druhu a původu kávy, či na posklizňovém zpracování zrn během procesu čištění a pražení. Obsah těchto látek mimo jiné ovlivňuje také způsob baristické

přípravy, hrubost/jemnost mletí, množství a teplota vody, nebo využívaný tlak včetně doby extrahování [15].

2.2.1 Sacharidy

Vyskytují se v kávových zrnech ve vysokých koncentracích a jakožto hlavní složky jsou potřebné k řadě důležitých funkcí jako je stabilizace pěny, tvorba sedimentu nebo například vazba charakteristické vůně. Kromě zlepšování organoleptických vlastností kávy navíc dokážou využívat svojí biologické aktivity ke snižování rizika rakoviny tlustého střeva [26].

Hlavním nízkomolekulárním oligosacharidem je sacharóza. V sušině zeleného kávového zrna jí nalezneme kolem 6–9 %, je známým prekurzorem pro tvorbu nežádoucího akrylamidu a stojí za zvyšováním hladiny kyselosti horkého nápoje. Díky tomu pak během fáze pražení procesu karamelizace dochází ke vzniku kyseliny octové. Polysacharidy zastupuje arabinogalaktan a galaktomannan spolu s celulózu, jejichž obsah je v průběhu pražení postupně snižován vlivem degradace na monosacharidy a oligosacharidy. Pražením je navíc sacharóza rychle degradována na glukózu a fruktózu, které stejně jako tento disacharid podléhají degradaci [25][26][28].

2.2.2 Bílkoviny

Spolu s redukovanými sacharidy působí jako prekurzory Maillardovy reakce, během níž je utvářeno charakteristické aroma a barva kávy vlivem vzniku glykosylaminů a melanoidinů. Aminokyselinou s nejvyšší koncentrací výskytu v zelených kávových zrnech je bezpochyby alanin doprovázený asparaginem, který je druhým reaktantem při tvorbě akrylamidu. V zelených zrnech jich nalezneme okolo 10–13 % a jsou více koncentrované v Robustě než aminokyseliny v Arabice [15][25][28].

Část kávové bílkoviny podléhá v průběhu pražení zrn degradaci, díky čemuž se štěpí na volné aminokyseliny a peptidy, jež jsou následně spotřebovány Streckerovými dedradacemi. To poté vede s celkovému snižování koncentrace bílkovin obsažených v upražené kávě [1].

2.2.3 Lipidy

Hrají důležitou roli při vývoji kávových zrn, jsou nosiči vitamínů rozpustných v tucích, ovlivňují texturu, pomáhají zachovávat aroma a přispívají ke konečnému pocitu v ústech po požití horkého kávového nápoje [25].

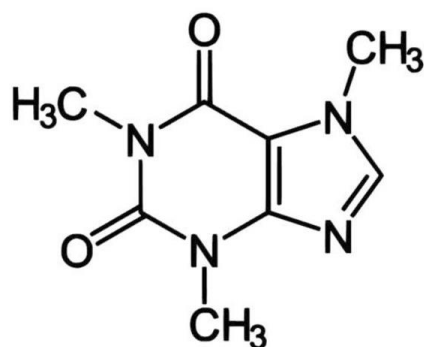
Tvoří asi 17 % suché hmotnosti zelených zrn, zahrnují především triacylglyceroly (TAG) společně s menším množstvím fosfolipidů a C-5HT (β -N-alkanoyl-5-hydroxytryptamidy). Jelikož nejsou odolné vůči oxidaci, mohou ohrozit konečnou kvalitu pražené kávy, u jejíž zrn se během skladování zvyšuje kyselost [25][29].

2.2.4 Kofein

Známý xanthinový alkaloid vznikající v nezralých kávových zrnech, v nichž dochází k jeho postupnému nárůstu v průběhu zrání kávových třešní. Je součástí skupiny purinových derivátů xanthinu, která mimo něj zahrnuje také theobromin obsažený v kakau a theofyllin nacházející se v listech čaje, jehož terapeutické účinky mohou sloužit jako relaxant uvolňující průduškové

svalstvo, či jako diuretikum. Všechny tyto látky jsou syntetizovány více než 60 vyššími rostlinami, avšak kofein je primárně tvořen theobrominem, zatímco theofyllin představuje spíše meziprodukt vznikající během katabolismu kofeinového alkaloidu. Tento sekundární metabolit zároveň funguje jako antagonist adenosinových receptorů A1 a A2 zodpovídající za stimulaci centra nervového systému či srdeční činnosti [15][19][95].

Díky značné podobnosti kofeinové a adenosinové struktury se kofein dokáže navázat na místo adenosinu, čímž zablokuje mozkové receptory a zvýšená mozková činnost aktivuje další žlázy. Tím se zvyšuje pozornost, dojde k potlačení únavy a do určité míry vyvolává pocity euforie, díky čemuž je označován za psychoaktivní stimulační drogu [20][23].



Obrázek 7: Molekula kofeinu (chemicky 1,3,7-trimethylxanthin) [22]

Kofeinový metabolismus je geneticky podmíněn a souvisí s četností či způsobem konzumace kávového nápoje. V játrech dochází k jeho demethylaci speciálními enzymy a rychlost jeho odbourávání závisí na přítomnosti jedné z alel. U jedinců s pomalejším metabolismem kofeinu může jeho konzumace zapříčinit pocity nevolnosti, slabost, zrychlené bušení srdce, což se u lidí s rychlejším metabolismem neprojevuje, a jeho denní dávka by neměla překročit více než 400 mg [15][18][94].

Vyskytuje se především v kávě, čaji, kakaových nápojích nebo třeba v cole, které představují jedny z hlavních zdrojů kofeinu dnešní moderní výživy. Kromě horkého povzbudivého nápoje připravovaného z kávových zrn bohatých na kofein ho nalezneme také v čaji. I když se jedná o stejnou sloučeninu, najdeme ho zde pod názvem thein. V porovnání s kávou bude jeho koncentrace daleko nižší a díky přítomným tříslovinám bude kofein v podobně theinu uvolňován daleko pomaleji, než by tomu bylo u kávy. Nalezneme ho mimo jiné i v nerozpustném komplexu guaraninu, jež je přirozenou součástí rostliny guarana. Plody této rostliny jsou využívány jako hlavní surovina pro výrobu stejnojmenného nápoje včetně různých podpůrných doplňků stravy. V různých množstvích ho najdeme i ve fazolích, plodech a listech některých rostlin, kde mimo jiné zastupuje funkci přirozeného rostlinného pesticidu schopného paralyzovat a usmrtit hmyz živící se částmi rostlin. Dalšími zdroji jsou například kakaové boby, listy čajovníku, cesmína paraguayská známá pod názvem yerba mate, či produkty vyrobené z ořechu koly [19][21].

2.2.5 Fenolické látky

Skupina složená z významných bioaktivních látek, v níž jsou hojně zastoupeny zejména chininové kyseliny a jejich deriváty. Typickými zástupci derivátů jsou i všudypřítomné

rostlinné sekundární metabolity jako kyselina kávová a především kyselina chlorogenová (CGA), jež řadíme mezi přírodní antioxidanty. Tento hydroxyskořicový ester chininových kyselin (CGA) patří mezi nejhojněji zastoupený potravinový fenol a v průměrném šálku (200 ml) nalezneme až 200 mg této kyseliny. Spolu s kafestolem a kahweolem patří do skupiny látek s významnými farmakologickými účinky na lidské zdraví [2][36].

Káva je bohatým zdrojem i dalších fenolických sloučenin a jejich degradačních produktů jako jsou kyselina ferulová či kyselina kumarová. Zelená zrna rovněž obsahují významné množství známého stimulantu, jež v těle napomáhá snižovat přeměnu nadbytku glukózy na tuk včetně jejího vstřebávání do krve. Kromě schopnosti mírného odvodňování podporuje kofein spolu s některými fenolickými sloučeninami také srdeční aktivitu či krevní oběh [2].

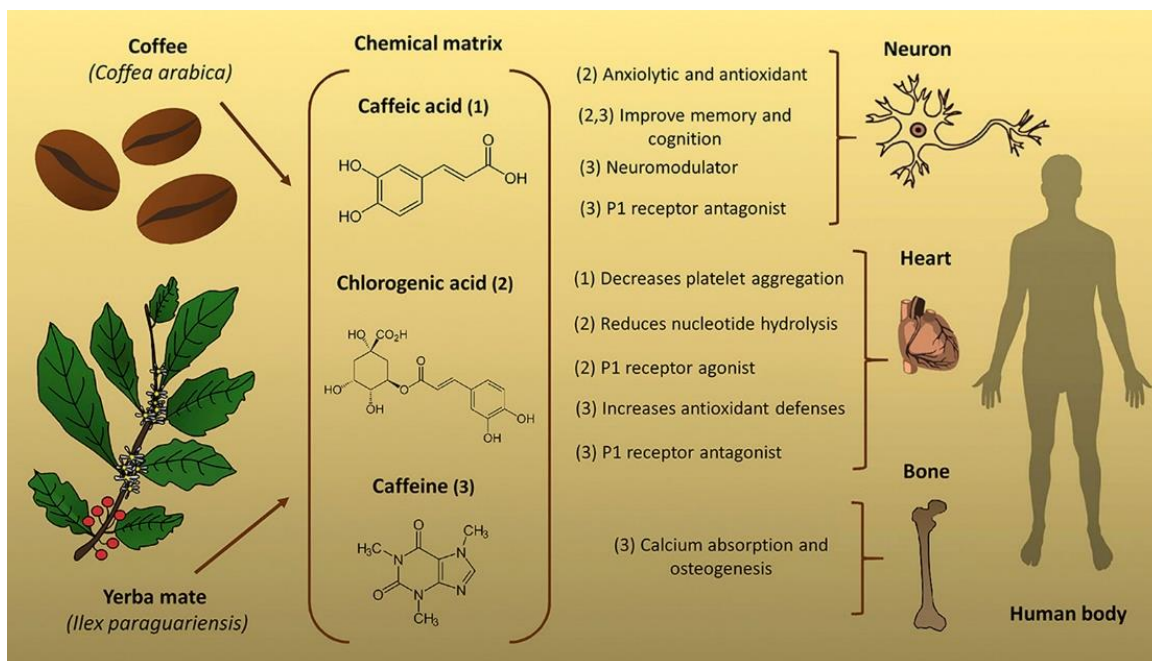
Některé dominantní fenoly a alkaloidy mohou negativním způsobem ovlivňovat senzoricou kvalitu kávového nápoje, avšak jejich obsah v kávových zrnech přispívá k antioxidační, antidiabetické či protizánětlivé aktivitě [36].

Chininové kyseliny díky 4 neekvivalentním hydroxylovým substituentům mohou tvořit 4 regioizomerní CGA, zatímco multisubstituované deriváty jsou schopny tvořit větší počet těchto izomerních struktur. U Arabiky bývá pozorován výskyt v průměru kolem 50 různých derivátů CGA, zatímco u Robusty kolem 85. V průběhu pražení zrn dochází k intenzivní přeměně chlorogenových kyselina na nové deriváty, což má za následek snížení původní koncentrace CGA, jež byla obsažena v nezpracovaných zelených zrnech [2].

2.2.5.1 Kyselina chlorogenová

Kromě četného výskytu různých fenolických látek jsou zelená neupražená kávová zrna bohatým zdrojem i fyziologicky aktivních látek jako je kyselina chlorogenová. Tento ester vytvořený z hydroxyskořicových a chinových kyselin tvořících 6–12 % kávové sušiny je spolu s kofeinem považován za přínosnou kávovou složku, kterou lze rozdělit do 3 hlavních skupin bioaktivních látek, jež značně souvisí s vývojem výsledné chuti a barvy pražené kávy. Těmito hlavními třídami CGA jsou kafeoylchinové (CQA), dikafeoylchinové (di-CQA) a feruloylchinové kyseliny (FQA), kde hlavní izomer 5-CQA obsahuje více než 55 % celkového CGA. Přítomnost těchto látek má příznivé účinky na chronická degenerativní onemocnění a prostřednictvím polyfenoloxidázy figurují jako substráty enzymatického hnědnutí pomocí, která indukuje tvorbu charakteristické tmavé barvy zeleně zbarvených zrn kávy [18][72].

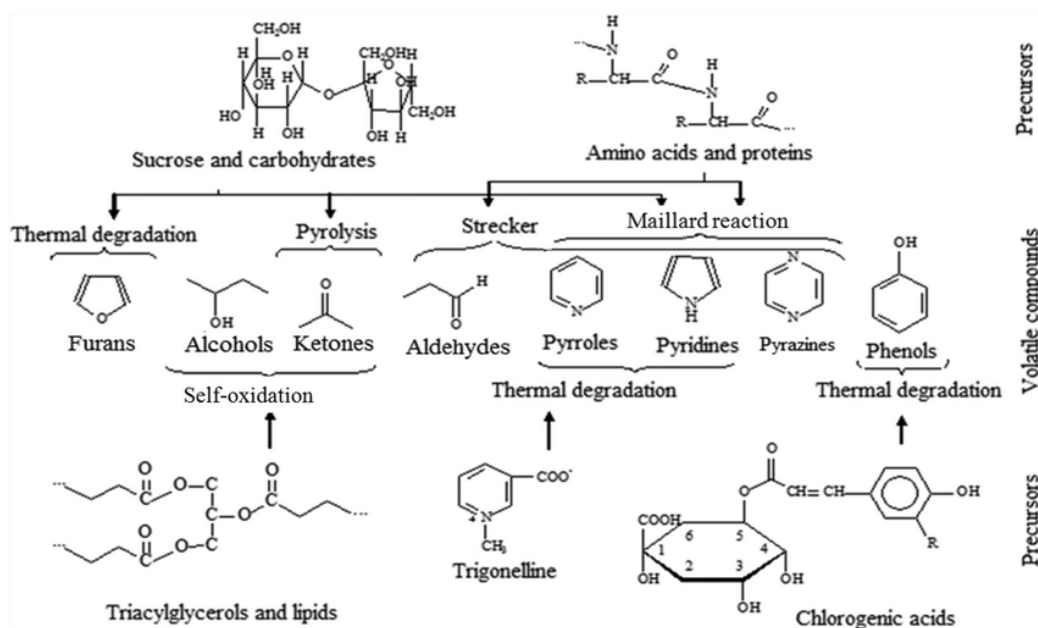
Často sledovaným parametrem je právě poměr těchto dvou kávových složek, jejichž množství se může měnit v závislosti na odlišných podmínkách během procesu zpracování zrn včetně jejich následných úprav. Zejména pak pražení zrn řadíme mezi jeden z hlavních faktorů ovlivňujících obsah těchto látek či jejich vzájemný poměr, jelikož čím intenzivněji budou zrna pražena, tím vyšší bude poměr kofeinu s kyselinou chlorogenovou. Vysoký poměr tudíž vyjadřuje poměrně nízký obsah CGA v porovnání s obsaženým kofeinem v kávě, který je během pražení daleko stabilnější sloučeninou. Narůstající délka i teplota intenzivního pražení navíc snižuje množství CGA, zatímco obsah kofeinu bývá obvykle téměř nezměněn [18].



Obrázek 8: Káva a její účinek na lidský organismus [27]

2.2.6 Aromatický profil

Látkami utvářejícími pevný základ aromatického profilu kávy jsou bezpochyby těkavé sloučeniny, mezi něž řadíme pyraziny, aldehydy, estery, ketony, furany či fenolické těkavé látky. Jejich výskyt závisí mimo jiné i na délce fermentace probíhající u zpracovávaných kávových zrn. Delší fermentační procesy mají za následek omezování syntézy a tím i celkové snižování obsahu těkavých sloučenin v zrnech spolu s potlačováním enzymatické aktivity vedoucí k poklesu tvorby důležitých prekurzorů kávového aroma, obzvláště pyrazinů a furfuralů [68].



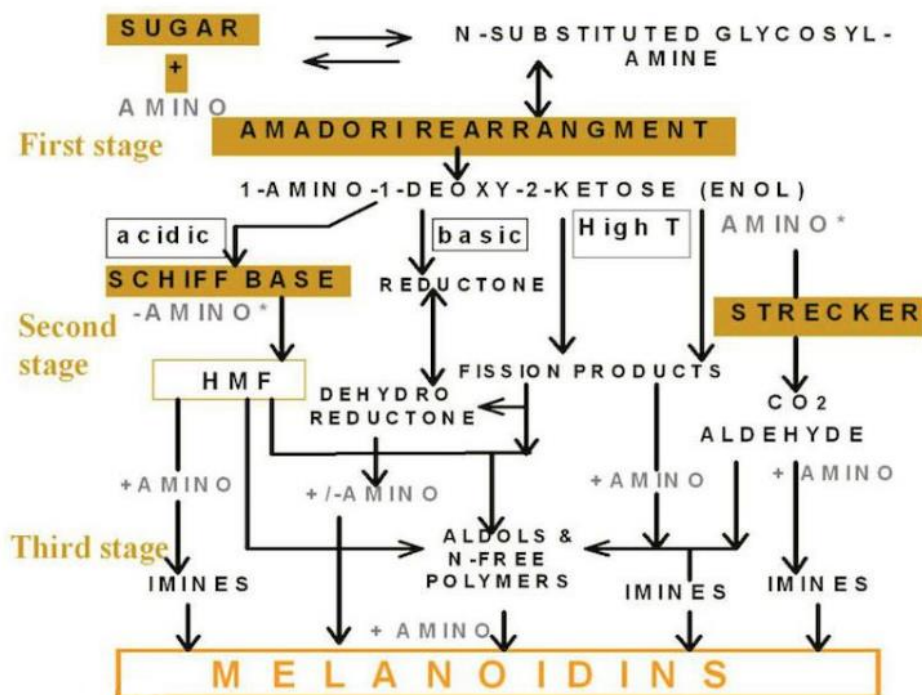
Obrázek 9: Prekurzory vznikající v kávě během pražení [69]

Charakteristické aroma kávy spoluutváří více než 800 různých aromatických sloučenin. Ty se vyskytují v zelených kávových zrnech v počtu okolo 200, zatímco v upražené kávě jich můžeme identifikovat až 1000. Společně s chutí vzniká v důsledku pražení kávových zrn, během něhož značná část chemických reakcí probíhá až po překročení teploty pražení pohybující se okolo 190 °C. Kromě toho je kávové aroma ovlivněno i chemickým složením zrn závislejícím na druhu kávovníku, jeho zeměpisném původu či způsobu zpracování sesbíraných plodů. To, jak výsledné aroma budeme vnímat, závisí také na koncentraci jednotlivých sloučenin a jejich vůni o různé intenzitě [7][73].

Během pražení jsou ze zrn extrahovány různé molekuly sloučenin, ovlivňujících aroma horkého nápoje, jejichž extrakce závisí především na jejich rozpustnosti, která závisí na polaritě daných molekul. Polární molekuly jsou ve vodě daleko více rozpustné a během procesu přípravy kávy je jich vyextrahováno větší množství, než těch nepolárních. U vyextrahovaných látek jsou primárně posuzovány 2 základní parametry určující výsledné aroma. Jedná se o koncentraci sloučeniny a její vůni detekovatelnou již při minimální koncentraci [7].

V horkém nápoji nalezneme zejména 6 látek pokrývajících více než 80 % průměrného relativního množství těkavých sloučenin označovaných jako tzv. markery kávové chuti. Jedná se o furfural, 2-methylpyrazin, 2-furfurylalkohol, 5-methylpyrazin, 2,6-dimethylpyrazin nebo také kyselinu octovou [7][68].

Základ aroma tvoří především heterocyklické sloučeniny generované v průběhu pražení v důsledku probíhající Maillardovy reakce a Streckerovy degradace. Do této skupiny sloučenin spadají hlavně furany, indoly, thioly, pyroly, různé alifatické sloučeniny a kromě toho se na něm významně podílí i sloučeniny, které ve svých strukturách obsahují síru. Furany kávě dodávají karamelový nádech, který je společně se sladkou chutí známkou přítomnosti maltolu či některých pyrolů, aldehydy přispívají ovocnými tóny, kouřové aroma vykouzlí fenolické sloučeniny včetně guajakolu a zemitou vůni kávě poskytují pyraziny. Na výsledné aroma má značný vliv jednak druhá nejzastoupenější skupina aromatických látek (pyraziny) spolu s thiozaly, ale také přítomnost některých kyselin a to zejména chlorogenové kyseliny ovlivňující chuť nápoje, a kyseliny octové obsažené v zelených, ještě nepražených zrnech ovlivňující celkovou aciditu [7][71].



Obrázek 10: Chemické děje probíhající v průběhu procesu pražení [7]

Během procesu pražení kávy dochází k tzv. Maillardově reakci, během níž reagují aminokyseliny spolu s redukcujícími cukry, což má za následek tvorbu charakteristického kávového aroma, chuti a vůně. V kávovém zrně nalezneme řadu živin nezbytných pro celkový růst i výživu rostliny, které současně tvoří základ procesu pražení (cukry, proteiny, lipidy, minerály) [7][71].

V první fázi pražení při teplotách do 150 °C dochází ke ztrátám vody obsažené v kávových zrnech, avšak samotné pražení započne až při zvýšení teploty na 160 °C. Teprve od této teploty se spustí mechanismy velké části chemických reakcí a jako hlavní produkt vzniká oxid uhličitý spolu se sirnými sloučeninami, jež na vzduchu snadno oxidují. To je hlavním důvodem, proč by káva neměla být skladována na vzduchu, jelikož by mohlo docházet ke ztrátám cenného aroma [7].

Jednou z látek typicky vyskytujících se v kávové vůni je trigonellin. Ten se během pražení z velké části rozkládá a je zdrojem některých aromatických dusíkatých sloučenin. Pyrolýzou tohoto alkaloidu vzniká velké množství pyridinu, jež má nežádoucí vliv na aroma a kromě toho snižuje celkovou kvalitu kávy. Tudíž čím více je káva pražena do tmavé barvy, tím více pyridinu se zde vyskytuje a tím horší bude kvalita hotového nápoje [64][65].

2.2.7 Aromaticky aktivní látky

2.2.7.1 Furfural

Spolu se svými deriváty furfural řadíme mezi přirozeně vyskytující se sloučeniny tvořící nezbytnou součást nejjedné potraviny. Tento furanový aldehyd je možné vyprodukovat i syntetickou cestou, avšak nalezneme ho především v potravinách jako káva, pečený chléb, ovoce a další [5][53].

Při jeho uvolňování do okolního prostředí nejsou očekávány náznaky perzistentních vlastností, proto dochází ke snadnému vypařování, jelikož na vzduchu podléhá degradaci v důsledku reakce s hydroxyradikály vyprodukované fotolytickou cestou. Během uvolňování furfuralu do půd obvykle očekáváme mnohem pomalejší odpar a jelikož je v půdách velmi mobilní, má vyšší predispozice k vylouhování se do podzemních vod. Kromě toho lze u něj předpokládat biodegradabilitu za i bez přístupu vzduchu. Vyznačuje se vyšší dermální toxicitou včetně dráždivých účinků pro kůži, dýchací cesty či sliznice. Jeho toxicita tak působí kromě dýchacích cest, nervového systému i na některé orgány a vodní organismy [4].

Má mnoho komerčních využití v podobě ochucovadel a aromat potravin, pesticidů, svoje uplatnění našel při produkci fenolických pryskyřic, ve farmacii, či například při rafinaci ropy. Jedná se o velmi důležitou organickou látku, která je nejčastěji vyráběnou průmyslovou chemikálií odvozenou z rostlinné biomasy, v jejíž hemicelulózové části nalezneme bohatě zastoupené pentózy (xylóza a arabinóza), což umožňuje její přeměnu na furfural. Proto je jednou z hlavních výrobních procesů pentózová degradace spolu tepelnou degradací 5-hydroxymethylfurfuralu při teplotách 200–250 °C [5].

Nejčastěji sledovaným derivátem je bezpochyby furan s okysličeným substituentem, 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF), který stejně jako furfural vzniká v průběhu tepelného zpracování potravin v rámci kyselého katalyzované dehydratace redukujících cukrů, dále během karamelizace či jako produkt Maillardovy reakce. Jeho hlavními zdroji jsou zejména v průběhu karamelizačních reakcí glukóza a fruktóza. Avšak nadměrná tepelná úprava může vést ke ztrátám nutričně důležitých složek obsažených v potravinách zapříčiňující tvorbu a hromadění některých škodlivých látek jako jsou furany, furfural nebo často sledovaný akrylamid. Z toho důvodu jsou furfuraly spolu s jejich deriváty často považovány za potravinové kontaminanty, jelikož hromadění 5-HMF je jednou z hlavních složek pro tvorbu akrylamidu zejména v průběhu procesu zpracování kávy [5][53].

Poměrně obtížným úkonem je bezpochyby snižování množství všudypřítomných furfuralů obsažených v různých potravinách, aniž by nedocházelo k ovlivnění jakýchkoli senzorických vlastností. Často využívanými intervencemi jsou tak především pozmeněné reakční podmínky v podobě zvýšeného pH, přidavku inhibičních látek či jejich fyzického odstranění pomocí vakuové technologie [55].

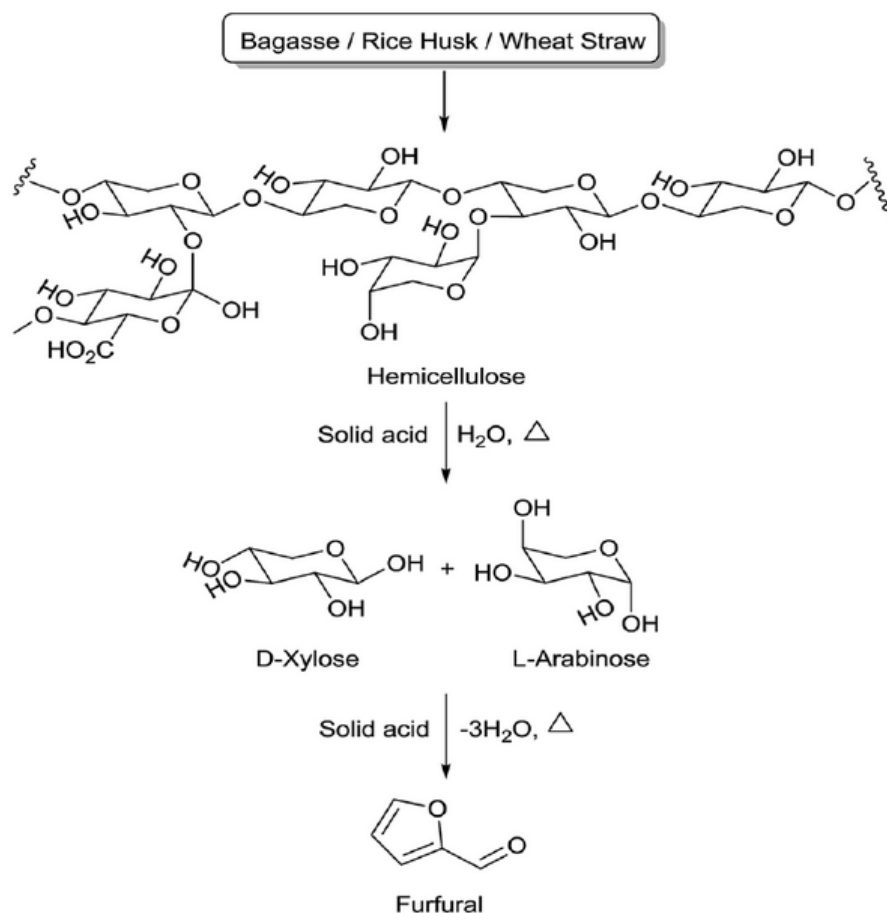
Furfural se nejčastěji vyrábí dehydratací pentózy z lignocelulózové biomasy jedno nebo dvoufázovým procesem. Rostlinná biomasa včetně dalších zemědělských reziduí představuje vhodnou výchozí surovinu nejen díky ideální homogenitě, ale i pro celkovou dobrou dostupnost na trhu. Při jednostupňovém procesu dochází k hydrolýze pentozanů na xylózu současně s jejich dehydratací až na furfural, zatímco během dvoufázového procesu hydrolýza probíhá za mírných podmínek, čímž xylóza dehydratuje přímo na furfural. Výhodou vícefázového procesu je především produkce vyššího množství furfuralu spolu s využitím pevných zbytků. Za komerční způsob výroby je považována kyselá hydrolýza pentozanových polysacharidů z nepotravinářských zbytků či dřevního odpadu z vláknitých zbytků potravinářských plodin jako jsou kukuřičné klasy či bagasy z cukrové třtiny, při níž pentozanové frakce v důsledku

probíhající hydrolyzy přecházejí na pentózy, jejichž následnou dehydratací získáme požadovaný furfural [6][57].

Jelikož se jedná o jednu z nejvýznamnějších aromatických látek generovaných během zahřívání přírodních cukrů, není divu, že vlivem karamelizace se tato sloučenina vyznačuje hnědým až karamelovým profilem. Ten je navíc doprovázen výrazně hořkým mandlovým podtónem, který běžně nalézáme u benzaldehydu, s nímž má furfural minimum strukturálních odlišností [70].

Ten je v průběhu procesu vyextrahován parní destilací z reaktoru pomocí řady destilačních kolon za vzniku vedlejších produktů jako methanol či kyselina octová. Kromě toho vzniká zbytková pevná látka obsahující lignin a depolymerizovanou celulózu, která může být vysušena, spálena a využita jako pohonná pára v kotli [6].

Mimo jiné je známo, že vlivem parní exploze dřeva bohatého na lignocelulózu dochází k hydrolyze polysacharidů obsažených v buněčné stěně a následnou dehydratací vznikají různé furaldehydy jako furfural [57].

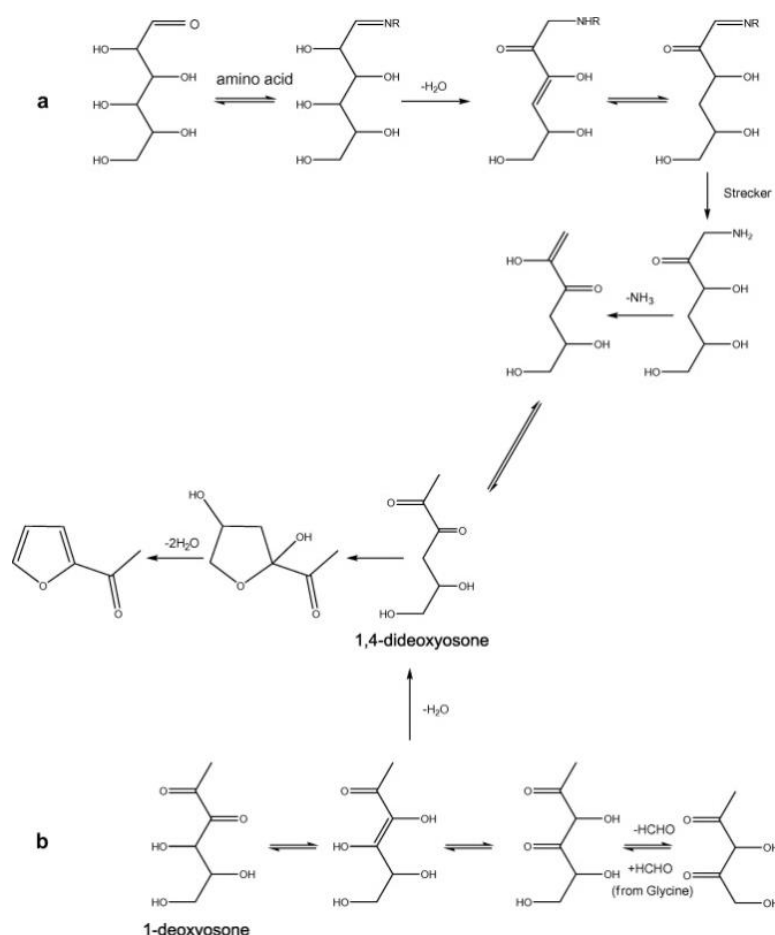


Obrázek 11: Proces vzniku furfuralu [6]

2.2.7.2 2-furylmethylketon

Těkavá látka patřící do skupiny furanoidů opatřených furanovým kruhem spolu s dalšími zástupci utváří skupinu důležitých aromatických látek ve zpracovaných potravinách nebo se nachází ve formě meziproduktů. Acetylfuran nejčastěji vzniká v průběhu Maillardovy reakce

buď přímo z glukózy přes 1-deoxyoson a 1,4-dideoxyoson v podobě meziproductů, nebo z glukózy za spoluúčasti glycinu. Přítomnost této aminokyseliny umožňuje vznik 2-acetylfuranu díky degradaci glycinu Streckerovou degradací na formaldehyd v kombinaci s glukózovou jednotkou C5, avšak jiné aminokyseliny mohou zapříčinit rekombinace fragmentů či cyklizaci tohoto redukujícího sacharidu. V dnešním moderním průmyslu je acetylfuran syntetizován Friedel-Craftsovou acylací furanu pomocí acetanhydridu [56].



Obrázek 12: Tvorba acetylfuranu z glukózy (b) spolu s tvorbou z glukózy a glycinu (a) [56]

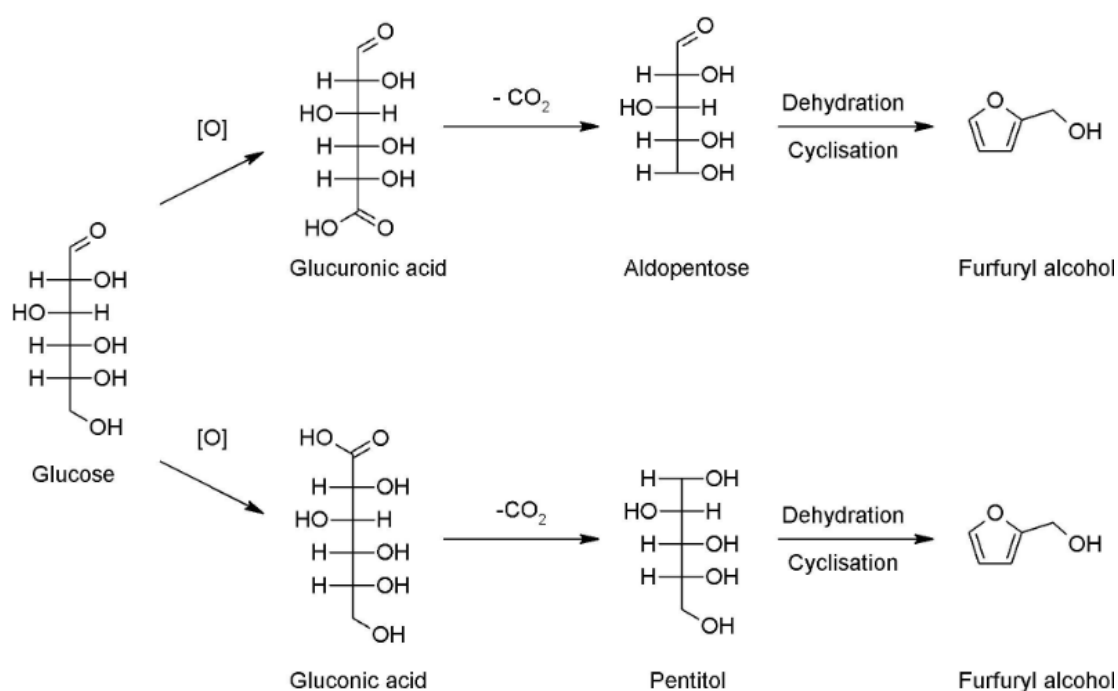
Tuto aromatickou sloučeninu můžeme nalézt zejména v esenciálních olejích, ovoci či sladkých produktech z kukuřice a lze ji rozeznat především díky jejím nasládlým balsamicko-skořicovým tónům. Své uplatnění našel u syntézy inhibitorů HIV proteázy či různých antibiotik [56][57].

2.2.7.3 Furfuryl alkohol

Další látka z řady těkavých sloučenin ze skupiny furanů, heterocyklických organických sloučenin s pětičlennými kruhy v jejich molekulární struktuře, tvořících nedílnou součást kávového nápoje. Furfuryl alkohol není přítomen v zelených zrnech, jelikož se tvoří až při samotném pražení kávy, během něhož dochází také k jeho odpařování a uvolňování do atmosféry. To je způsobeno příliš nízkou teplotou varu furfuryl alkoholu, která se nachází daleko od teploty vhodné k pražení kávy. Bylo prokázáno, že koncentrace této těkavé látky

roste s rostoucími teplotami použitými k pražení kávových zrn spolu s jeho vyšší volatilitou při zvyšujících se teplotách pražení. V porovnání s dalšími složkami kávy vyniká svou vysokou rozpustností ve vodě, proto jeho značná část přechází během vaření do nápoje [58][59].

Častým předpokladem vzniku této těkavé látky je oxidace glukózových jednotek C1 a C6 za vzniku kyseliny glukonové a glukuronové, jejichž následnou dekarboxylací vzniká kromě aldopentózy i pentitol. V dalších krocích v důsledku dehydratace, jež je následována cyklizací vzniká právě furfuryl alkohol. Kromě toho je tento derivát furanu považován za jednu z majoritních sloučenin vyprodukovaných během pražení kávové kyseliny [58].



Obrázek 13: Tvorba furfuryl alkoholu z glukózy [58]

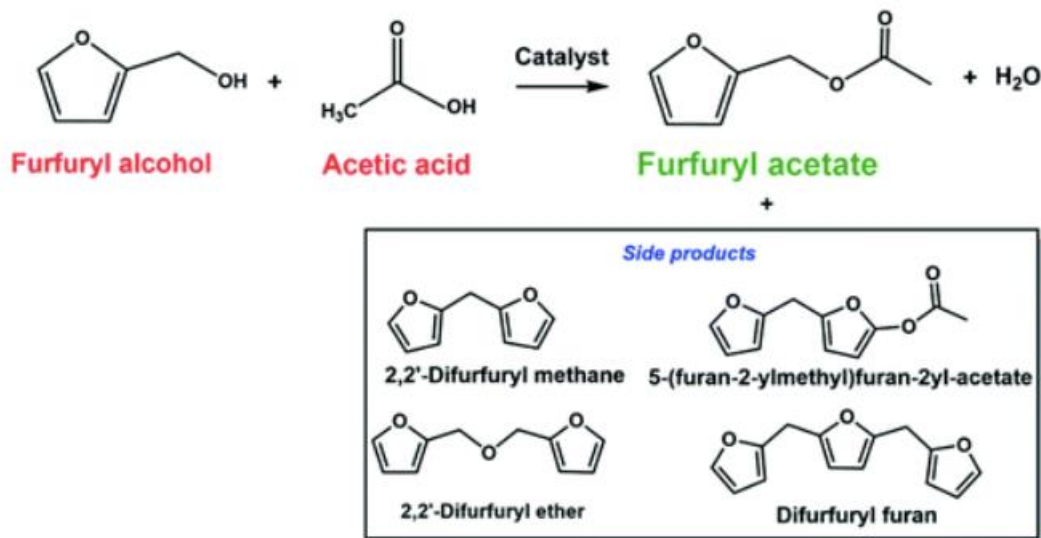
Setkáme se s ním u tepelně zpracovaných potravin, u dozrávajících alkoholických nápojů, ale zejména v kávových zrnech. Jeho koncentrace v jiných potravinách je však podobně nízká, jako předpoklady o možné karcinogenní aktivitě. Sušina Arabiky v porovnání se sušinou Robusty obsahuje téměř dvojnásobné množství sacharózy, jednoho z hlavních prekurzorů tvorby aromatických sloučenin v kávě, díky čemuž je i množství vyprodukovaného furfuryl alkoholu daleko vyšší než u horkého nápoje připravovaného z Robusty [58].

2.2.7.4 Furfuryl acetát

Furfuryl acetát lze získat kyselé katalyzovanou esterifikací furfuryl alkoholu (FA) odvozeného z biomasy, během níž dochází ke tvorbě nežádoucích huminů v důsledku polymerace FA na kyselých místech katalyzátoru. Nežádoucí huminy blokují aktivní místa, čímž snižují selektivitu během tvorby výsledného produktu, avšak vyšší teploty mohou tyto omezovače katalyzátorů odstranit [60].

Acetát stejně jako FA představuje potenciální přísadu do biopaliv, avšak své uplatnění našel zejména v průmyslu potravinářských aromat a příchutí. Společně s FA patří do skupiny látek,

které se s největší pravděpodobností podílejí na utváření aromatu kávového nápoje, kdy furfurylacetát vyniká svým ovocným a sladkým tónem [60][61].

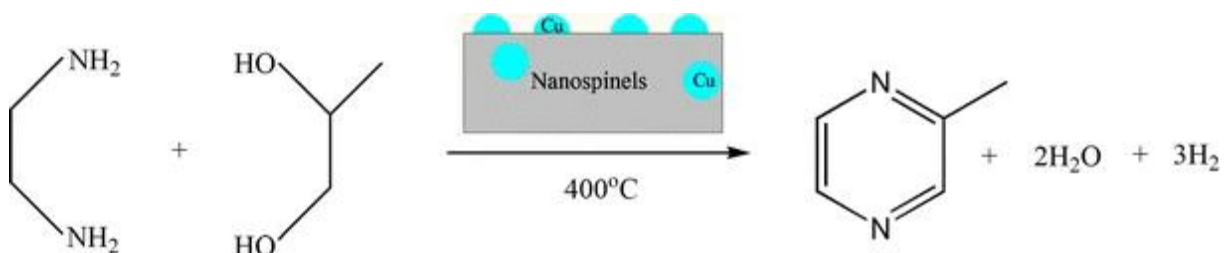


Obrázek 14: Esterifikace furfuryl acetátu [60]

2.2.7.5 2-methylpyrazin

Další skupinou látek představující monocyklické heteroaromatické sloučeniny jsou alkylnpyraziny. 2-methylpyrazin obvykle patří mezi nejhojněji zastoupené pyraziny v kávovém nápoji a současně je označován jako indikátor kvality kávových třešní. Pokud se nachází v sesbíraných plodech ve vyšších koncentracích, považuje se tato káva za vysoce kvalitní komoditu. Jeho charakteristické aroma se vyznačuje ořechovými, travnatými až čokoládovými tóny [68][75][79].

Stejně jako další pyraziny vzniká prostřednictvím Maillardovy reakce v tepelně ošetřovaných potravinách, během níž dochází k reakci aminokyselin s redukujícími cukry. Předpokládá se, že syntéza 2-methylpyrazinu vychází spíše z reakce asparaginu s fruktózou, než s glukózou [75][79].



Obrázek 15: Syntéza 2-methylpyrazinu [76]

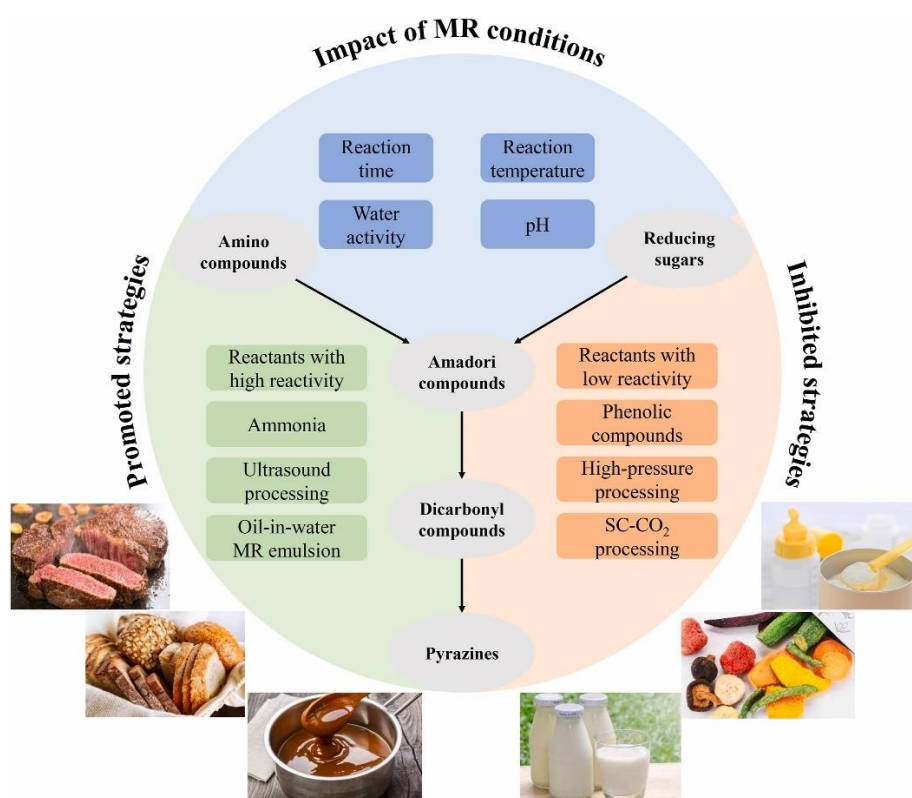
Sesbíraná kávová zrna připravená ke zpracování vykazují poměrně vysoký obsah alkoholů a aldehydů, jejichž koncentrace často klesá vlivem probíhající fermentace. To souvisí s nepřímou úměrností obsahu této těkavé látky s dobou fermentace, jelikož některé populace mikroorganismů nemají přílišný dopad na celkový obsah této látky, jako tomu je i u dalších

pyrazinů, jež jsou syntetizovány prostřednictvím tepelných degradačních procesů jako je Maillardova reakce [68].

2.2.7.6 Ethylpyrazin

Společně s 2-methylpyrazinem spadá do skupiny těkavých látek obsahujících šestičlenný heterocyklus známý jako pyrazinový kruh. Stejně jako zbytek pyrazinů vzniká procesy probíhajícími v tepelně ošetřovaných potravinách známých jako Maillardova reakce či Streckerova degradace [68][78].

Tento derivát methylpyrazinu se vyznačuje svým nahořklým, kakaovým až téměř zatuchlým chuťovým tónem, jež můžeme zaznamenat v řadě různých potravin jako jsou kávy, čaje, luštěniny či cereálie. V porovnání s methylpyrazinem jsou jeho aromatické vlastnosti zcela rozdílné, což má za následek přítomnost další methylové skupiny v postranním řetězci. Aroma totiž popisuje charakteristický máslový, ořechový až téměř rumový nádechem [78][79].



Obrázek 16: Proces generování pyrazinů v průběhu Maillardovy reakce [75]

2.2.7.7 Pyridin

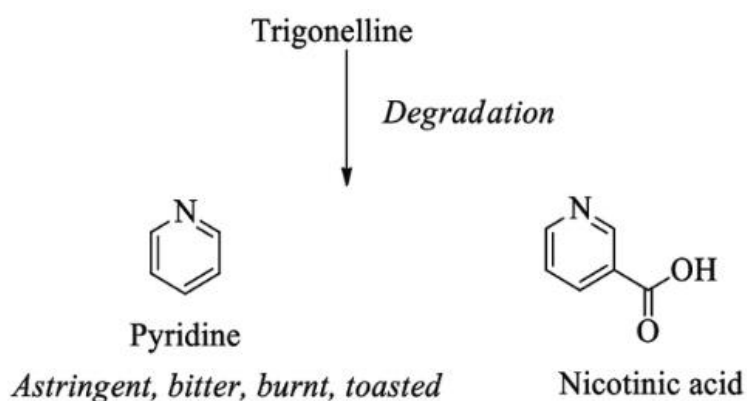
Pyridin představuje bezbarvou hořlavou kapalinu s typicky nepříjemným, až hořce rostlinným zápachem. Průmyslová výroba nejčastěji vychází ze surového uhelného dehtu, může však vznikat i rozpadem řady přírodních materiálů. Výskyt uhelného dehtu v pražírnicích poukazuje na určitou vadnost procesu pražení, což má za následek i zvýšený obsah této aromatické látky v kávě. Vyšší obsah pyridinu mimo jiné působí škodlivě i na lidský organismus, avšak

závažnost jeho účinku na lidském zdraví určuje řada faktorů počínaje dávkou, které jsme například vystaveni během kontaktu s látkou [62][63].

V přítomnosti vzduchu kapalný pyridin snadno podléhá odpařování a jeho rozklad může trvat několik měsíců. Jelikož je dobře mísitelný s vodou, může u něj dojít při uvolnění do podzemních vod či půd k jeho rozkladu na jiné sloučeniny už během několika dní [63].

Kromě toho, že jej lze využít jako výchozí látku k výrobě potravinářských aromat, léků, barviv, lepidel či různých pesticidů, slouží i jako rozpouštědlo a nalezneme ho také jako součást komplexních sloučenin obsažených v mnoha potravinách [63].

Pyridiny objevující se v kávě vznikají tepelně degradačními reakcemi hořkého alkaloidu trigonellinu, zdroje žádoucích aromatických sloučenin dusíku utvářející kávové aroma, který v průběhu pražení podléhá pyrolýze a 50–80 % je partikulárně degradován na pyridin, potažmo deriváty pyridinu, a kyselinu nikotinovou. Uvádí se, že pyrolýzou kromě kyseliny vzniká jako hlavní produkt především N-methylpyridinium. Čím delší bude pražení, tím tmavší budou i zrna a tím více pyridinu bude obsaženo v kávě. To má ale za následek snížení kvality výsledné kávy vlivem generování nepříjemného aroma [64][65].



Obrázek 17: Tepelná degradace trigonellinu [66]

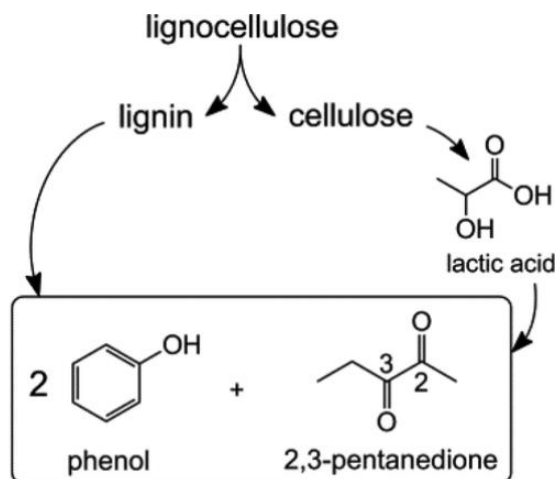
2.2.7.8 2,3-pentandion (acetylpropionyl)

Vysoce těkavá organická látka uvolňovaná z pražené kávy, jejímž typickým znakem je máslovo-olejové aroma. Acetylpropionyl slouží k aromatizaci některých potravin, například za účelem vytvoření ochuceného nápoje z mleté či zrnkové kávy [84][85].

Spolu s dalšími těkavými látkami vzniká přirozenou cestou během pražení kávových zrn za jejich současného uvolňování z pórů uvnitř struktury zrn. Jeho koncentrace narůstá se zvyšující se teplotou i dobou, během nichž jsou vybraná kávová zrna tepelně ošetřována pražením. Avšak expozice lidského organismu emitovanému 2,3-pentandionu (2,3-PD) během tepelného zpracování kávy může mít za následek i některá plicní onemocnění (bronchiolitida) [85].

2,3-PD lze odvodit z kyseliny mléčné vycházející z biomasy, nebo ho lze získat extrakcí mléčného odpadu. Z kyseliny se získává tzv. Claisenovou kondenzací 2 molekul laktátu

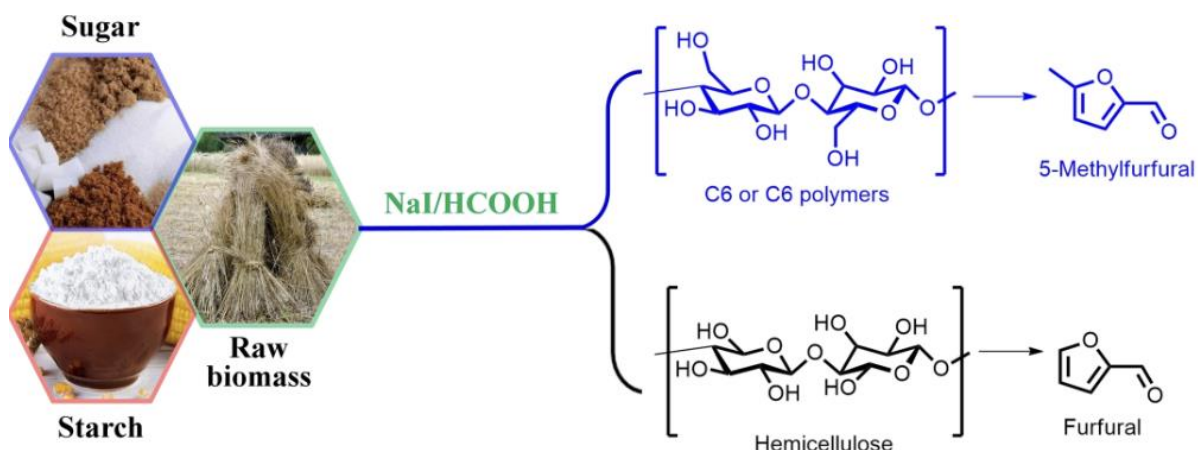
s následnou dekarboxylací doprovázenou dehydratací. Bisfenoly z lignocelulóзовých surovin sloužící ke tvorbě obnovitelných potravinářských materiálů mohou být syntetizovány pomocí 2,3-PD v roli potenciálního prekursoru spolu s fenolem [86].



Obrázek 18: Syntéza 2,3.pentadionu odvozeného z kyseliny mléčné [86]

2.2.7.9 5-methylfurfural

Zástupce furaldehydů, jehož vznik je přisuzován kyselé katalyzované hydrolyze s následnou dehydratací 6-deoxyaldohexáz, jež nalezneme zejména v lignocelulóзовé biomase, nebo zahřívání polysacharidů obsahujících zejména hexózy. Kromě toho může docházet ke tvorbě metabolitů přeměňujících se na kyselinu 2-furoovou včetně možné dekarboxylace těchto sloučenin na oxid uhličitý. Primárně je tato látka využívána jako potravinové dochucovadlo, jehož přítomnost připomíná javorový sirup, koření, či bonbóny [67][68][80].



Obrázek 19: Tvorba 5-methylfurfuralu [74]

Komplexní sacharidy představují nezbytné substráty k syntéze 5-methylfurfuralu, jejichž obsah je postupně snižován v důsledku probíhajících fermentačních procesů během zpracování kávových třešní vlivem mikrobiální aktivity. A právě činnost mikroorganismů představuje

jeden z hlavních důvodů zapříčiňujících značný pokles této sloučeniny v porovnání s ostatními těkavými látkami obsaženými v kávových zrnech [68].

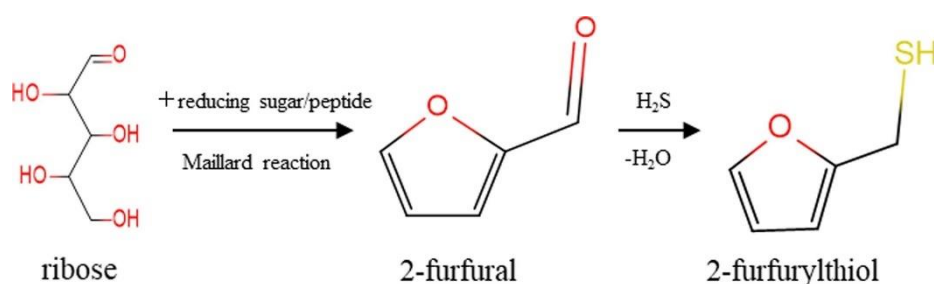
Společně s 5-hydroxymethylfurfurem vzniká ve významném množství během karamelizačních procesů. Na rozdíl od furfuralu se tyto dva furanové aldehydy vyznačují karamelovými až medovými tóny s mnohem menším hořko-mandlovým charakterem na pozadí. Tudíž jemnější kávy mohou vykazovat mnohem intenzivnější karamelový nádech, než tomu může být u intenzivněji pražených zrn. Proto je tento furan popsán zejména jako „sladký, karamelový, kávový“ [70][73].

2.2.7.10 2-furanmethanthiol

Další z řady derivátů furanu vyznačující se silným aromatem pražené kávy společně s kouřovými, sirnými, praženými až toastovými tóny. Podobně jako velká část pyrazinů i 2-furanmethanthiol (2FM) vzniká tepelnými procesy probíhajícími v potravinách během záhřevu, pečení či karamelizace [81].

2FM představuje jeden z těkavých thiolů a aromatických přispěvatelů, na který můžeme narazit v různých potravinách, a to zejména v pražené kávě, vínech, miso pastě a mnoha dalších. Kromě charakteristické aromatické složky spoluutvářející typickou kávovou vůni se tato poměrně zapáchající sloučenina podílí na aromatu různých odrůd vín, v nichž je generován činností kvasinek během kvašení, zatímco v kávě jeho syntéza probíhá prostřednictvím aminokarbonylové reakce během zahřívání [82].

Syntéza 2FM probíhá prostřednictvím reakce ribózy s cysteinem, případně reakce stejné aminokyseliny s jinými pentózami (glukóza). Byla prokázána klíčová role meziprojektu 2-furfuralu, jež vzniká v rámci probíhající ribóza-cysteinové reakce v průběhu Maillardovy reakce a je základem mechanismu tvorby 2FM za přítomnosti H_2S [83].



Obrázek 20: Syntéza aromatického 2-furanmethanthiolu z ribózy [83]

2.3 Cesta kávy

Ještě, než se v podobě lahodného nápoje objeví na našem stole, musí kávová zrna projít rukama desítek lidí. Ve spoustě zemích nedají lidé dopustit na tradiční způsoby zpracování, jinde se naopak do popředí dostávají technologicky vyspělé postupy usnadňující spousty hodin práce [9].

2.3.1 Sklizeň a sběr

Sklizeň uzrálých kávových třešní především závisí na jejich zeměpisné poloze. Kávovníky rostoucí kolem rovníku s velmi stabilním klimatem mohou být zbavovány úrody v průběhu celého roku, ale v ostatních oblastech se doba sběru výrazně odlišuje [9][24].

Samotná sklizeň trvá 6-8 týdnů, na jejímž začátku sběrači sklízí plody v nižších nadmořských výškách, v nichž plody kávovníku dozrávají rychleji. Kávy z těchto poloh jsou pak méně kvalitní, čemuž odpovídá i jejich nižší cena. Jakmile sběrači posbírají zralé třešně, začnou se pomalu přesouvat do vyšší nadmořských výšek s kvalitnějšími kávovými odrůdami [9][24].

Jedny z hlavních kritérií sloužících k odhadu výnosu za nasbírané plody, a hodnocení celkové kvality vypěstovaných zrn, jsou jejich fyzikální vlastnosti, vady, ale také poměr suchých zrn a červených třešní. Nežádoucí vlastnosti spolu s přítomností vad (nezralé, uschlé, hmyzem poškozené plody) vedou během dalšího zpracování a pražení ke tvorbě nechutí a podílejí se na celkovém snížení kvality nápoje. Kromě toho vadná zrna ovlivňují mimo jiné i biochemické a kvantitativní parametry hotové kávy, jelikož mají nižší hmotnost, hustotu a obsahují řadu prekurzorů (kofein, polyfenoly, sacharóza) [30].

Na výsledném poměru suchých zrn a červených třešní se podílejí četné výchozí faktory hrající významnou roli při generování kvalitních atributů kávy. Ať už genetika, stáří rostliny, prostředí růstu (srážky, teplota) včetně zvolených agronomických postupů (hnojení), oblast a výška umístěných plantáží (geografická topografie), přítomnost škůdců, strategie sklizně, či posklizňové zpracování, utvářejí základ těchto velmi vlivných faktorů [30].

2.3.1.1 Ruční sběr

Existuje několik způsobů, jak zralé červené třešně posbírat. Jedním z nich je tradiční ruční sběr. Některé kávovníkové plantáže se rozprostírají na strmých stráních vysoko v horách, kam by se strojová technika jen stěží dostávala. Proto je ruční způsob sběru jedinou možností, které lze v těchto podmínkách využít [9].

Najatí sběrači ručně sbírají zejména odrůdy na výběrovou kávu, která je sice dražší, ale o to více kvalitní. Takový sběr ale není úplnou zárukou kvality, jelikož jsou sběrači placeni za nasbírané množství a řada z nich trhá i nezralé plody za účelem lepšího výdělku. Trvá sice daleko déle, než je tomu u ostatních metod, avšak nedochází k poškození kávovníků ani nezralých, zelených plodů během sběru [9][24].

Další možností ručního sbírání je metoda využívaná hlavně v Brazílii, tzv. stripping (česání). I když je tato metoda rychlejší, není už natolik šetrná k samotným kávovníkům, jelikož sběrači od kmene až po okraj větve najednou shrnují všechny plody do svých košů, a to i včetně těch, které ještě nestihly uzrát. Díky tomu je poté nutné takto posbírané plody ještě protřídit od zelených, nezralých třešní [9].

2.3.1.2 Strojový sběr

Jedná se o typ sklizně využívaný farmáři především na plantážích Brazílie a Austrálie ležících v nižších nadmořských výškách s rovňejším terénem. Spočívá v projíždění speciálních sběrových strojů mezi řádky vysázených kávovníků, které strhávají ze stromů veškeré plody

včetně listů. Strojový sběr je sice rychlejší než samotný stripping, je však velmi nešetrný vůči kávovníkům, a kromě listů strhává i nezralé, zelené plody. Proti ručnímu sběru je mnohem levnější variantou, avšak jeho nevýhodou je horší zacházení s rostlinami [9].

Na konci každého dne sběrači přinášejí posbíranou úrodu v pytlech na místa, kde jsou třešně zváženy a podle váhy i sběrači finančně odměněni. Nasbírané třešně je poté nutné během několika hodin zpracovat [9][24].

2.3.2 Zpracování zrn

Nasbírané kávové třešně jsou na plantážích ještě dále zpracovávány. To má veliký vliv nejen na výslednou chuť kávy, ale i na její cenu. Existují tak 3 základní metody, jež se vzájemně odlišují jednak typem zpracování posbíraných plodů, ale zejména svojí náročností [9].

2.3.2.1 Suché zpracování (*natural, dry-processed*)

Jednodušší a méně finančně náročnou metodou je tzv. suché zpracování. Celosvětově rozšířená metoda je využívána zejména u káv pocházejících z Etiopie, Brazílie a oblastí, kde není možné zvolit jiný postup zpracování vlivem obtížného přístupu k vodě. Celkový proces je mimo jiné ideálnější provádět v oblastech s minimálním výskytem srážek, jež by mohly v průběhu sušení zapříčinit navlhnutí zrn [24][31].

Třešně nezbavené od dužiny jsou ihned po sběru rovnoměrně rozprostřeny na sušící stoly, betonovou podlahu či terasy tak, aby ke každé z nich rovnoměrně proudil vzduch a pronikaly sluneční paprsky. Působení těchto vlivů vede k postupnému schnutí plodů, které se ale neobejde bez pravidelného obracení a prohrabávání zemědělci. Díky tomu tak usychají rovnoměrně a spolu s jejich přikrýváním během noci je předcházeno výskytu hniloby zapříčiněnou okolní vlhkostí, která ke třešním může pronikat a může spustit proces fermentace. Jelikož nedostatečná péče může vést ke snadnému hnití, jež má vliv na výslednou chuť kávy připomínající nápoj se zkvašeným nádechem, patří suché zpracování mezi méně oblíbené metody mezi odborníky na světovém trhu. V posledních letech své využití našly tzv. africké postele vyrobené z bambusu a nataženého plátna umožňující rychlejší a rovnoměrnější schnutí díky větrání plodů ze všech stran [9][31][32].



Obrázek 21: Prohrabávání třešní během procesu sušení [32]

Samovolný proces sušení může trvat zhruba měsíc, avšak některé plantáže využívají rychlejší metody prostřednictvím mechanických sušiček. Třešně jsou po usušení ještě ponechány tzv. odpočívat v silech po dobu zhruba 30-60 dní, dokud v nich nedojde k vyrovnání vlhkosti na optimálních 11,5 %. Taková vlhkost pak umožňuje přežití zrn bez známek poškození během transportu na delší vzdálenosti, a následného uskladnění. Dostatečně usušené, odpočinuté třešně jsou poté zbaveny dužiny, oloupany od slupek nejčastěji s dopomocí loupacích strojů, a třizeny podle velikosti a kvality přímo na plantážích [24][31].

Takto zpracovaná zrna mají silnější a výraznější tělo, za což vděčí přítomnosti různých látek ze slupky a dužiny, jež byly uvolňovány během sušení a postupně pronikaly do zrn. Takové kávy se pak vyznačují rozmanitějším chuťovým profilem zahrnujícím medové, sirupově sladké, oříškové či ovocné tóny [9][32].

2.3.2.2 Mokrý zpracování (*fully-washed, wet-processed*)

V porovnání se suchým způsobem zpracování je procesně daleko náročnější především díky své vysoké šetrnosti a preciznosti. Jelikož se zaměřuje výhradně na samotné zrnko, nikoli na jeho obal, lze z něj vytěžit vysoce kvalitní kávová zrna a tím i mnohem kvalitnější kávové nápoje. Mokrý způsob zpracování našel své široké uplatnění na plantážích Latinské Ameriky či v jižních oblastech Afriky zaměřujících se zejména na pěstování Arabiky [9][32].

Posbírané třešně jsou nejprve promývány ve speciálních vodních nádržích, kde současně dochází k oddělování nedozrálých, nekvalitních plodů plovoucích na hladině od těch zralých, těžších, ležících na dně nádrže. Z promytých a protříděných třešní je pak následně odstraněna vrchní slupka spolu s částí dužiny pomocí tzv. depulperu. Je velmi důležité, aby byla zrna zbavena slupky a dužiny nejpozději do 24 hodin od sklizně. Pokud tak není učiněno, dochází k jejich prysychání k zrnům, což pak vede k mnohem obtížnějšímu loupání spojeného s rizikem poškození samotného zrna. Loupání zajišťují speciální loupací stroje [9][24][32].



Obrázek 22: Promývání kávových třešní [32]

Oloupaná a očištěná zrna následně putují do tzv. kvasných nádrží, kde se nechají fermentovat až 36 hodin. Díky probíhající fermentaci mikroorganismy přítomné v kávovém zrně vytvářejí enzymy, které uvolňují zbývající lepkavou vrstvu, jež pokrývá pergamenovou slupku, spolu s pergamenem samotným. Pergamenová vrstva již pak není lepkavá, je béžová a na dotek spíše drsná. Délka fermentace závisí na síle zbytků obalujících zrno, množství mikroorganismů v nádrži a okolní teplotě. Příliš dlouhý proces kvašení může ale zapříčinit hnití některých zrn, která by pak mohla zkazit celou várku [9][31][32].

Jakmile zrna absolvují proces fermentace, obsahují zhruba 50 % vlhkosti. Tu je nutné snížit za účelem dobrého uskladnění zelených kávových zrn bez výskytu jakýchkoli plísní. Zrna jsou tak předurčena k šetrnému sušení, které tvoří jedno z nejdůležitějších částí celého procesu zpracování. Menší farmy preferují sušení na slunci a větru stejně jako u suchého způsobu, kdy jsou zrnka stejným způsobem rozmístěna na betonové podlahy či africké postele za současného pravidelného obracení zemědělci. V oblastech s nízkým výskytem slunečního záření, s vysokou vlhkostí, či na velkých, dobře vybavených farmách využívají farmáři k sušení mechanické sušičky s horkým vzduchem. Avšak mechanicky dosušovaná káva má pak o něco nižší kvalitu [24][32].

Kromě větší náročnosti se toto zpracování vyznačuje mimo jiné i velkou spotřebou vody na promývání. Na 1 kg zelené kávy je v průměru spotřebováno asi 130 až 150 litrů vody. Nádrže navíc vyžadují každodenní důkladné čištění spolu s opakovaným vyměňováním vody za čistou, díky čemuž si tuto metodu nemohou některé kávové plantáže dovolit [9][31][32].

Typickým zástupcem absolvujícím tuto metodou přípravy jsou kvalitní kolumbijské kávy. Tyto fully-washed kávy mají středně komplexní tělo utvářející tzv. čistotu šálku spojenou s absencí

jakýchkoliv negativních tónů a chutí. Chutnají svěže s velmi výrazným acidním profilem nesoucím tóny citrusového ovoce, jež je ovlivněno předešlou fermentací ve vodě společně s okamžitým smytím sladké dužiny na začátku procesu [9][31][32].

2.3.2.3 Medové zpracování (*honey-processed, semi-washed*)

Řazeno mezi tzv. hybridní metody kombinující suchý i mokrý zpracovatelský způsob. Bylo vyvinuto brazilskými farmáři za cílem získat širší škálu chuti, v současnosti je však nejčastěji spojováno s pěstírnami kávovníků rozkládajících se na Costa Rica či v El Salvadoru. Každá z plantáží postupuje při těchto metodách odlišným způsobem, díky čemuž získávají i svoji originalitu [24][32].

Některé z plantáží volí podobnou cestu stejně jako mokré zpracování. Sesbírané třešně putují do vodních nádrží, kde jsou vyselektovány zralé plody. Ty jsou pak pomocí speciálních mlýnků zbaveny vrchní slupky spolu s velkou částí dužiny za současného promytí vodou. Zpracování si tak vysloužilo název *pulped-natural*, při němž farmáři využívají daleko menší množství vody na promývání plodů než u mokré metody. Stejně jako u suchého způsobu následuje sušení zrn obalených pergamenem s minimálním zbytkem dužiny na povrchu jejich vystavením slunečnímu záření na otevřených plochách. Důležitou součástí představuje také pravidelné otáčení zrn (především těch s větším množstvím dužiny) prováděné i několikrát denně. Na některých plantážích jsou dužnatá zrna dokonce prohrabávána každých 15 minut [9][24][32].

Zrna byla zpočátku zbavena pouze vnější části dužiny a po jejich vysušení ponechána krátkou dobu fermentovat. Během fermentace se ze zbytků slupek a dužiny stává kompaktní lepkavá vrstva připomínající med, díky čemuž získala tato metoda i svůj název [9][31].



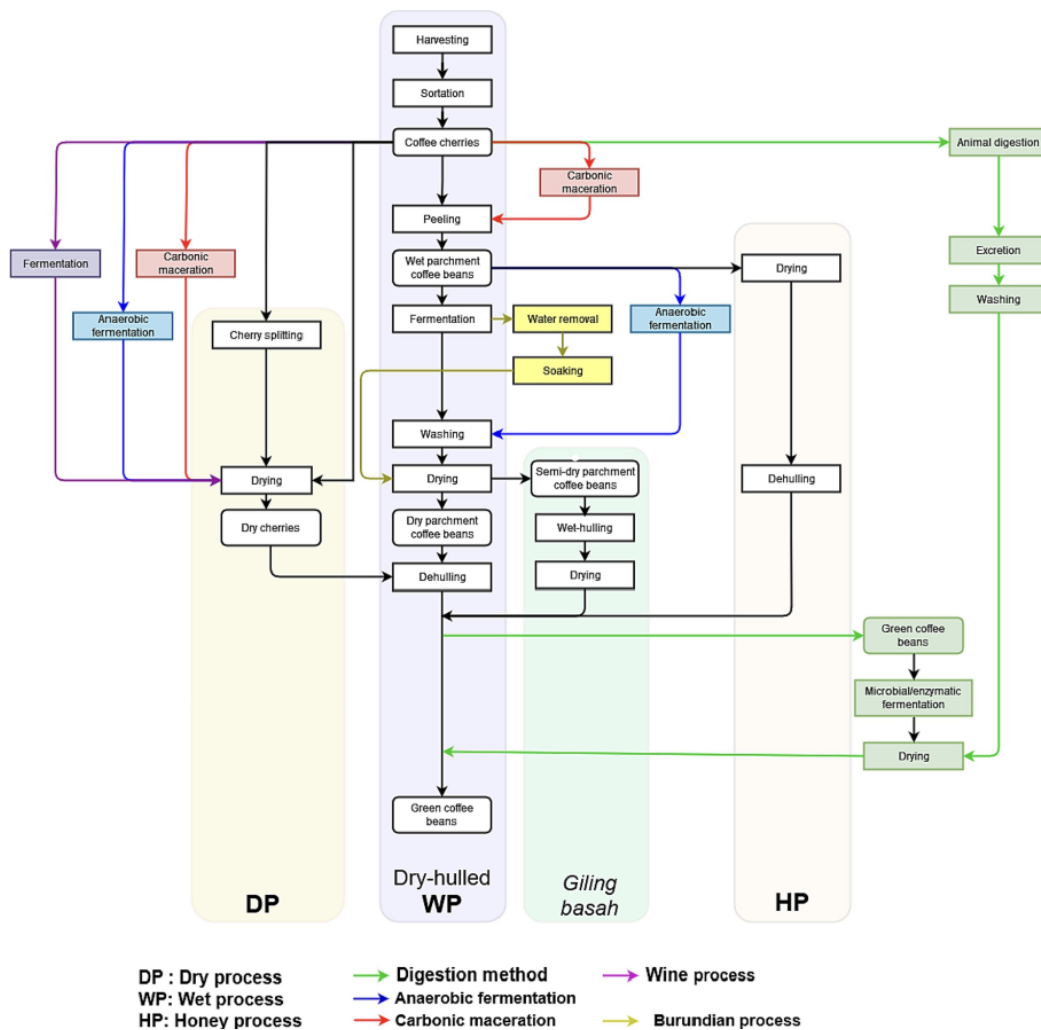
Obrázek 23: Zrna se zbytky slupek a dužiny [32]

Jiné plantáže volí naopak metodu, při níž nevyužívají téměř žádnou vodu, což značně snižuje provozní náklady na zpracování třešní. Farmáři oloupou kávové plody od slupek a získaná zrna s pergamenem, obzvláště s dužinou na povrchu, jsou opět podrobena procesu sušení. Podle toho, jak velké množství dužiny zůstalo na povrchu zrna dělíme medovou metodu na *black honey* (velké množství dužiny), *red honey* (střední množství dužiny) a *yellow honey* (malé množství dužiny). To, o jaké množství zbytkové dužiny se jedná, lze snadno rozeznat podle barvy uschlé dužiny na površích zrn [9][24][32].



Obrázek 24: Kávová zrna zpracovaná medovou metodou (levá miska) a mokrou metodou (pravá miska) [32]

Vzhledem k tomu, že medová metoda kombinuje to nejlepší ze suchého a mokrého způsobu zpracování, se tato kombinace projevuje i ve výsledné chuti připravované kávy. Díky vysokému obsahu cukrů ve vrchních částech třešní dochází vlivem fermentace k jejich uvolňování do kávových zrn. Zpracované kávy tak získávají jemné, avšak výrazné tělo bez příliš acidních tónů. „Medové“ kávy mají tudíž sladší chuť s velmi širokou škálou chuťových vlastností [9][32].



Obrázek 25: Prolínající se procesy zpracování kávových zrn [36]

2.3.3 Loupaní, leštění a třídění zrn

Jakmile zrna projdou všemi způsoby zpracování, čeká je až dvouměsíční odpočinek označovaný jako tzv. *reposo*. Pokud by byla káva exportována ihned po jejím zpracování, hrozil by u ní po upražení výskyt tzv. „zeleného“ nádechu připomínající čerstvě nasekanou trávu [9].

Krátce před samotným exportem je zrnkům dodávána trvanlivost odstraněním pergamenové slupky. Tu z kávových zrnek sloupávají speciální loupací stroje, čímž jsou pak připravena k další přepravě. Zrna zpracovaná mokřým způsobem se daleko obtížněji zbavují pergamenu v porovnání s loupáním vrstev ze zrn zpracovaných suchou metodou [24][34].

Rozlišujeme 2 základní typy loupacích strojů buď pracujících na principu tření/odírání, nebo na nárazové stroje oddělující pergamenovou vrstvu pomocí úderů. Aby však nedošlo k polámání zrn, musí mít v této fázi určitou vlhkost. Kromě toho jsou používány i tzv. válcové loupáče pro kávu zpracovanou suchým způsobem [34][35].

Aby došlo k úplnému odstranění stříbrné blány z povrchu s jeho současným uhlazením, procházejí oloupaná zrna ještě procesem leštění. Leštění zrn probíhá v leštících strojích pracujících na podobném principu jako stroje loupací. Tím však může dojít k jejich spálení,

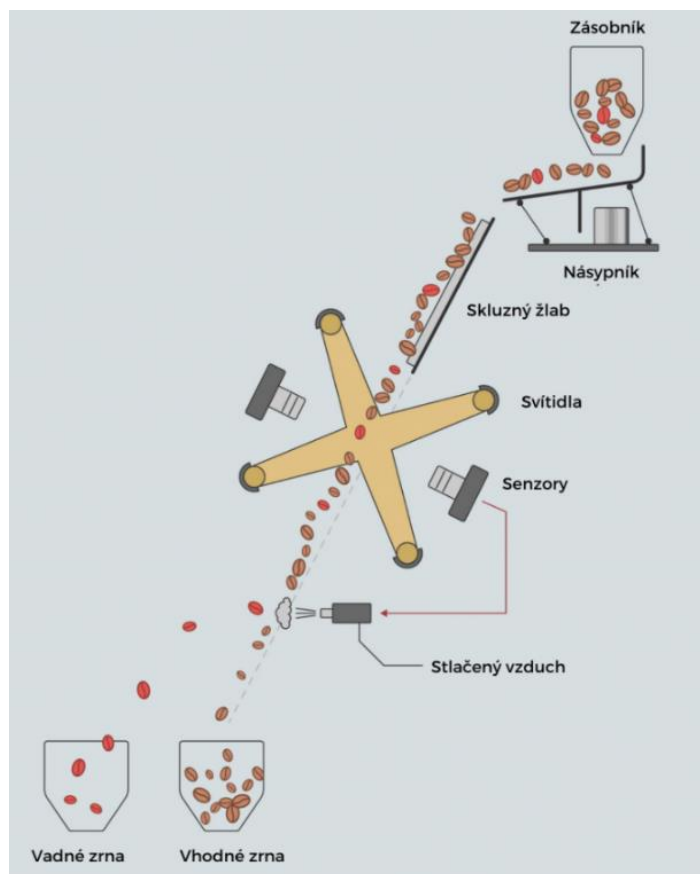
proto řada odběratelů vyžaduje, aby na nich zbylo aspoň malé množství pergamenu i se stříbrnou slupkou [24][34][35].

Oloupaná a vyleštěná zrna musí ještě projít procesem třídění. Důležitost metody porovnávající jednotlivá kávová zrna spočívá v posuzování vztahu mezi množstvím vadných kávových zrn a celkovou kvalitou kávy, tudíž by stačilo jediné vadné zrnko, které by mohlo pokazit výslednou chuť jinak lahodného nápoje [33].

Ne každé zrno vypadá stejně. Obvykle mají přibližně stejnou velikost, tvarují se spíše do délky než do šířky, z jedné strany jsou zploštělá a z té druhé oválná. Mohou ale být malá, nedostatečně vyvinutá, určitým způsobem vadná či defektní, proto jsou hned na začátku tříděna podle velikosti, kvality či tloušťky. Výjimku představují okrouhle válcovitá perlová zrna spolu se zrny nadměrnými (tzv. obří zrna maragogy), jejichž cena je v porovnání s ostatními odrůdami daleko vyšší [24][35].

Separace podle velikosti probíhá přes síta různě velkých otvorů. Stejně velká zrna ale nemusí mít i stejnou hmotnost, tudíž se musí vytřídit ta svráštělá či jinak poškozená. Ta bývají nejčastěji odstraňována pomocí vzduchu či gravimetrických separátorů vhánějících silný proud vzduchu mezi kávová zrna uložená na vyvýšených platech, čímž oddělují těžší zrna od těch lehčích za pomoci tlaku [33][34][35].

Proudy padajících zrn mívají senzory nastavené podle specifických parametrů, které dokážou odhalit všechna odbarvená, kyselá, či hmyzem poškozená zrna po zpracování a tím tak identifikovat vadné kusy podle barvy a tvaru. Stroje proto využívají stlačený vzduch k vyhazování takto nevyhovujících zrn z proudu těch zdravých, jakmile je shledají vadnými [33][35].



Obrázek 26: Třídění vadných zrn pomocí gravimetrického separátoru [33]

Jakmile jsou zrnka upravena všemi způsoby, přichází na řadu ochutnávka různých várek kávy, které pak putují rovnou do pražírny nebo na burzu [9].

2.3.4 Vývoz a doprava zrna

Každoročně je do celého světa vyváženo více než 6–7 milionů tun zelené kávy, jejíž exportované množství každým rokem neustále více a více narůstá. Než však hotová káva dorazí ke spotřebitelům po celém světě, začíná její cesta v podobě zelené surové kávy z plantáže na soumarech spolu s absolvováním dlouhé a náročné přepravy nákladními auty, lodní dopravou a v současnosti i letadlem [9][24][34].

Těsně před vývozem je už bezpečné kávu skladovat, jelikož obsahuje 11–12 % vlhkosti. Odrůdy jako Arabika bývají vyváženy co nejdříve, zatímco Robusta na svůj vývoz čeká podstatně déle [9].

Kávová zrna zůstávají v pergamenových obalech do té doby, než dojde k jejich vývozu. I přes to, že obal zvyšuje jejich objem a s tím i spojené náklady, slouží především jako ochrana před vnějším poškozením. Farmáři ještě před exportem balí zelenou kávu do jutových nebo sisalových pytlů schopných pojmou až 60 kg kávy. Jutové pytle (žoky) jsou široce využívány především pro svou nízkou cenu a jednoduchý způsob výroby, avšak neposkytují kávovým zrnům příliš dobrou ochranu vzhledem ke svojí prodyšnosti. Díky tomu mohou převážnou kávu napadnout škůdci, nebo může dojít k jejich poškození vlivem vlhka a výskytu plísní [9][34].

Transport zelené kávy s sebou ale nese řadu komplikací. V posledních letech čím dál více pražírén apeluje na farmáře kávových plantáží s požadavkem kvalitnějšího a lepšího balení zrn i za předpokladu zvýšení nákladů. Svoje uplatnění v poslední době nachází tzv. GrainPro pytle chránící kávu před okolní vlhkostí i pachy, jelikož je schopna zelená zrna hermeticky uzavřít na rozdíl od jutových pytlů. Dražším, ale za to neúčinnějším obalovým systémem je vakuové balení, jež kávu dostatečně chrání před přístupem kyslíku, vlhkostí, pachy z okolí včetně schopnosti znatelně prodlužovat její čerstvost [9][24].

Žoky naplněné kávou poté putují loděmi do celého světa v kontejnerech, jejichž kapacita odpovídá zhruba 250 žokům. Odhadem se na přepravě kávy podílí více než 2250 dopravních lodí, které ale často zbytečně prodlužují dobu čekání zrn kvůli různým kontrolám a proclením v přístavech [9][24][34].

Poté, co je káva v přepravních kontejnerech pomocí lodí rozvezena do celého světa, putuje na nejdůležitější místo. Do pražírny. Teprve zde dochází k největším přeměnám kávových zrn, jež rozhodnou o výsledné kvalitě budoucí kávy [9].

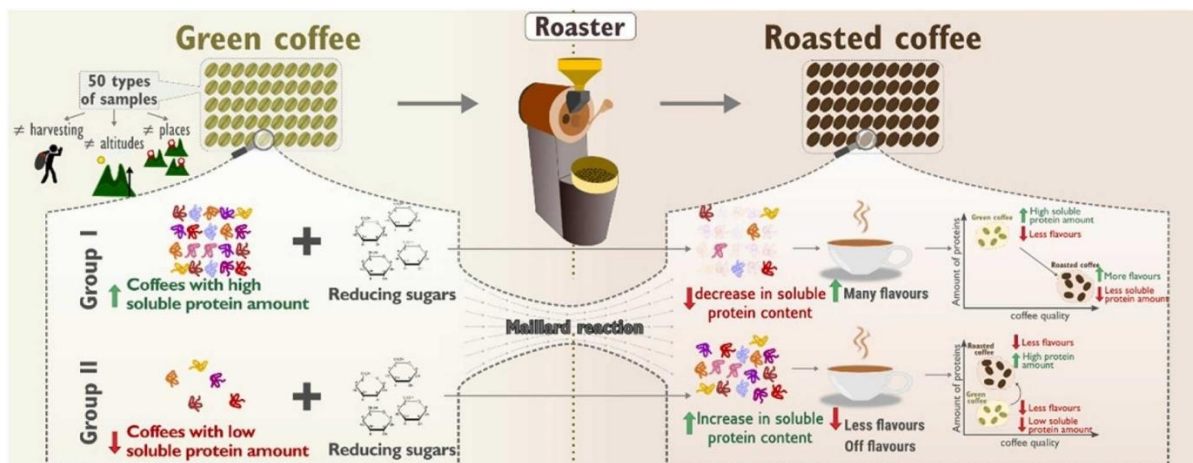
2.4 Stěžejní technologické postupy zpracování

2.4.1 Pražení a jeho vliv

Proces pražení může vést k významným změnám biologické aktivity včetně změn hlavních složek kávových zrn. V průběhu procesu dochází ke tvorbě důležitých látek zodpovědných za sensorické vlastnosti kávového nápoje společně se vznikem více než 900 těkavých aromatických sloučenin. I přes vysoké koncentrační zastoupení několika antioxidačních sloučenin (fenolické či flavonoidní sloučeniny) může docházet ke ztrátám či významnému poklesu některých přírodních fenolických látek doprovázených vznikem jiných antioxidačních sloučenin. Kromě produktů Maillardovy reakce generovány i těkavé heterocyklické sloučeniny, jež lze považovat za potenciální antioxidanty [1][3].

V zelených kávových zrnech nalezneme sacharidy, lipidy, trigonellin, bílkoviny, kofein či různé kávové prekurzory určující vlastnosti výsledné kávy, jež jsou sensoricky posuzovány zejména na základě chuti a aroma. Za transformací těchto prekurzorových sloučenin stojí tepelné degradační reakce probíhající při pražení kávových zrn. Maillardova reakce a Streckerova degradace jsou reakcemi zodpovědnými za tvorbu různých tříd sloučenin utvářejících charakteristické kávové aroma. Klíčové prekurzory aroma představují rozpustné aminokyseliny spolu s peptidy, jež interagují s karbonylovými skupinami redukujících cukrů [71].

Aroma kávy tvoří velké množství složitých směsí různých aromatických těkavých látek. Za většinu charakteristické kávové vůně je zodpovědný kávový olej, který obsahuje zhruba desetina pražených zrn. Na jeho tvorbě se podílí nejen jeden složitý mechanismus určitým způsobem interagující i s těmi dalšími [65].



Obrázek 27: Procesy probíhající v průběhu Maillardovy reakce v kávě [71]

Stupeň, na který pražíme vybranou kávu, úzce souvisí se stanovenou teplotou a dobou pražení pro danou várku, které výrazně ovlivňují výslednou barvu kávy, jež může být buď světlá, středně pražená nebo tmavá. Na finální barvě se obzvláště podílí doba, po kterou budou zrna vystavena procesu pražení, jelikož čím déle budou pražena za současné čím dál vyšší teploty, tím tmavší bude i jejich barva. Avšak se zvyšujícím se stupněm pražení obvykle dochází i k poklesu koncentrace akrylamidu v kávových zrnech ve spojitosti s probíhající degradací chlorogenových kyselin společně se snižováním antioxidační aktivity a obsahu kofeinu. To mimo jiné vede ke zvyšující se syntéze produktů Maillardovy reakce a Streckerovy degradace, které napomáhají kompenzovat ztráty fenolických sloučenin poté, co zrna absolvovala pražicí proces, včetně zvýšení celkové antioxidační aktivity [1][3][65].

Pražení se vyznačuje kontinuálním přenosem tepla na základě vodivosti, a to z povrchu zrn až k jejich středu. První fáze procesu vede k odpařování vody obsažené ve struktuře sesbíraných semen, avšak aby k tomu došlo, musí být zahřívána při teplotách vyšších než 160 °C. Kávová zrna začínají postupně expandovat, což je podpořeno příchodem další fáze, pro niž jsou typické exotermické reakce doprovázené tvorbou CO₂. Stěžejním bodem počáteční fáze je i tzv. „crack“ vyznačující se vznikem typické rýhy na kávovém zrně. Jakmile zrna dosáhnou požadované teploty, ochladí se proudem studeného vzduchu. Avšak tvorba chuti závisí i na vlastnostech samotných kávových semen, či na nastaveném programu a stupni pražení, jelikož teplota a zvolený stupeň přímo souvisí s finálním chemickým složením včetně sensorických vlastností zrn. Benefitem velkého množství látek je jejich rozpustnost ve vodě, díky čemuž mohou být poté extrahovány do našich kávových nápojů [87].

Každý profesionální pražič ještě před samotným nastavením finálního programu na velké pražičce připraví obvykle 3 různé vzorky pražené podle stupnice. Jakmile jsou vzorky hotové, vyjmou se z malé pražičky a po vychladnutí se na základě provedené degustace rozeberou jednotlivé chutě včetně určení toho nejlepšího vzorku. K vybraným parametrům přidává pražič další specifikace, jež společně s programem nastaví na pražičce, avšak nejtěžší úkol představuje samotné profilování kávy. Jakmile je zvolen ideální postup teploty a času, putuje daná várka do velké pražičky [24].



Obrázek 28: Chlazení zrn v profesionální bubnové pražičce kávy [96]

Profesionální pražička má několik částí. Na začátku procesu musí být zahřátá na vysokou teplotu, aby mohl pražič nasypat přesně stanovenou dávku zelených zrn do horního trychtýře přístroje. Zrnka se dostávají do bubnu pražičky, v níž se budou nacházet po celou dobu procesu, jelikož buben zajistí rovnoměrné upražení veškerých zrn. Jakmile zrna po vsypání doputují do bubnu, dojde k rapidnímu poklesu teploty uvnitř přístroje, jelikož jsou zelená zrna studená a s postupným zvyšováním teploty bude postupně klesat hmotnost zrn vlivem odpařování vody v nich obsažené [9][54].

Celý proces může trvat okolo 10–15 minut, avšak závisí na dané várce. Po odpaření vody začínají zrna postupně získávat tmavší barvu a po uplynutí necelých $\frac{2}{3}$ celkového času je slyšet charakteristický „first crack“. Zrnka praskají díky vysokým teplotám v pražičce, jelikož vlivem hromadění vznikajícího oxidu uhličitého stoupá tlak, který v kombinaci s párou způsobí praskání buněčné struktury. Odpařování vlhkosti je tudíž spojeno se změnami jejich velikosti, což doprovází typický zvuk, jehož výsledkem je okem viditelná rýha uprostřed každého zrna. „First crack“ představuje stěžejní moment, jelikož teprve od této chvíle v zrnech započne probíhat řada chemických změn nutných k dosažení ideálně upražené kávy [9][24].

Po prvním prasknutí se jako první mění škroby, z nich vzniklé cukry začnou pracovat, a až ke konci pražení karamelizovat. Pražení musí trvat nejméně 11–12 minut, aby byla sladká chuť cítit v nápoji, a proto se jemná, světle pražená káva prezentuje kyselejší chutí spolu se ovocnými tóny. Kolem 13. minuty se postupně generují sladší tóny kávy, jelikož dochází k pomalé karamelizaci přítomných cukrů. To je spojeno s ústupem kyselosti v nápoji, což mimo jiné charakterizuje tento střední stupeň pražení. Pokud preferujeme intenzivnější a tvrdší kávové tóny, ponecháme kávu pražit 14–15 minut, čímž docílíme i jejího mírného zhořknutí. Proto se tato silně pražená tmavá káva vyznačuje především hořkými a čokoládovými tóny [9][24].

Kromě přeměny škrobů na cukry dochází k odbourávání přítomných kyselin, k tvorbě nových kyselin a k postupnému rozkladu bílkovin na peptidy. To má za následek uvolňování éterických a lipidických olejů dodávajících kávě typické aroma, které v průběhu pražení začínají migrovat ke stěnám kávových buněk vlivem zvyšující se porozity zrn. Delší pražení má jednak za následek výskyt uhlíku v pražených zrnech, ale především bude docházet k vyvstávání těchto důležitých olejů na povrch zrn namísto jejich uchování uvnitř. Tím se oleje stávají více náchylnými na žluknutí a jakákoli teplotní změna vede k rychlejšímu molekulárnímu pohybu způsobujícímu oxidaci přítomných olejů. Při nesprávném skladování navíc dochází k postupným ztrátám těchto éterických olejů a s tím spojeným ztrátám charakteristického aroma [9].

V posledních minutách pražení přichází i druhé prasknutí, tzv. „second crack“. Pokud se dostaví co nejpozději od zahájení procesu, dává větší předpoklad k zisku kvalitnější kávy, avšak pražení zrn déle než do tohoto prasknutí vede k jejich přepálení způsobující výrazně hořkou chuť. Některé země zastavují proces už po prvním „cracku“, avšak Česko patří mezi národy s láskou k více upražené kávě vyznačující se ne příliš kyselou, ale spíše sladkou chutí s jemně nahořklým koncem [54].

Jakmile je celý proces ukončen, vysypou se zrna z bubnu do speciálního kruhového tanku, kde musí být káva v co nejkratším čase zchlazena. Aby neprobíhaly další chemické reakce, obsahuje chladič speciální hrabičky, jež se neustále pohybují mezi várkou tisíce horkých zrn, čímž urychlují samotné chlazení. Takto zchlazená zrna putují na několik dní do speciálních sil, kde jsou ponechána se odležet. V průběhu odpočinku ze zrn odcházejí různé plyny a jakmile jsou dostatečně odležena, čekají na finální zabalení [9][24][54].

2.4.2 Mletí a jeho vliv

Stejně jako spousta dalších potravinových komodit i upražená kávová zrna absorbují vzdušnou vlhkost spolu s veškerými okolními pachy. Pokud ale chceme z kávy dostat opravdu to nejlepší, je vhodné kupovat malá balení obsahující čerstvě namletou kávu. Avšak jakmile dojde k otevření balíčku, stává se kyslík spolu se světlem největším nepřítelem namletých zrn. Přístup světla podporuje procesy fotodegradace vedoucí z rychlejšímu rozkladu látek uvnitř zrna, zatímco při kontaktu kávy s kyslíkem dochází k oxidaci některých významných sloučenin. V průběhu pražení mimo jiné vznikají i důležité plyny včetně CO₂, jež je uvolňován po dobu dalších 10 dní po ukončení pražení. Z toho důvodu nemůže docházet k absorpci kyslíku, avšak jakmile si najde kyslík cestu dovnitř zrna, způsobí degradaci látek podílejících se na aroma a chuti výsledné kávy. Čím déle poté necháme příslušný balíček s kávou otevřený, tím více bude ubývat na její kvalitě společně se ztrátami typického aroma [24].

Velmi důležitým faktorem ovlivňujícím rychlost průtoku vody přes namletou kávu je její hrubost. V případě, že chceme kávu ponechat louhovat delší dobu, zvolíme hrubě namletá zrna, zatímco při kratší době extrakce potřebujeme velmi jemnou kávu (příprava espressa). Kvalita umletých zrn už poté závisí na zvoleném mlýnku, jež si například pořídíme domů, avšak při návštěvě zkušeného baristy můžeme mít jistotu, že kávu umele vždy kvalitně a rychle na profesionálních mlýncích [9][24].

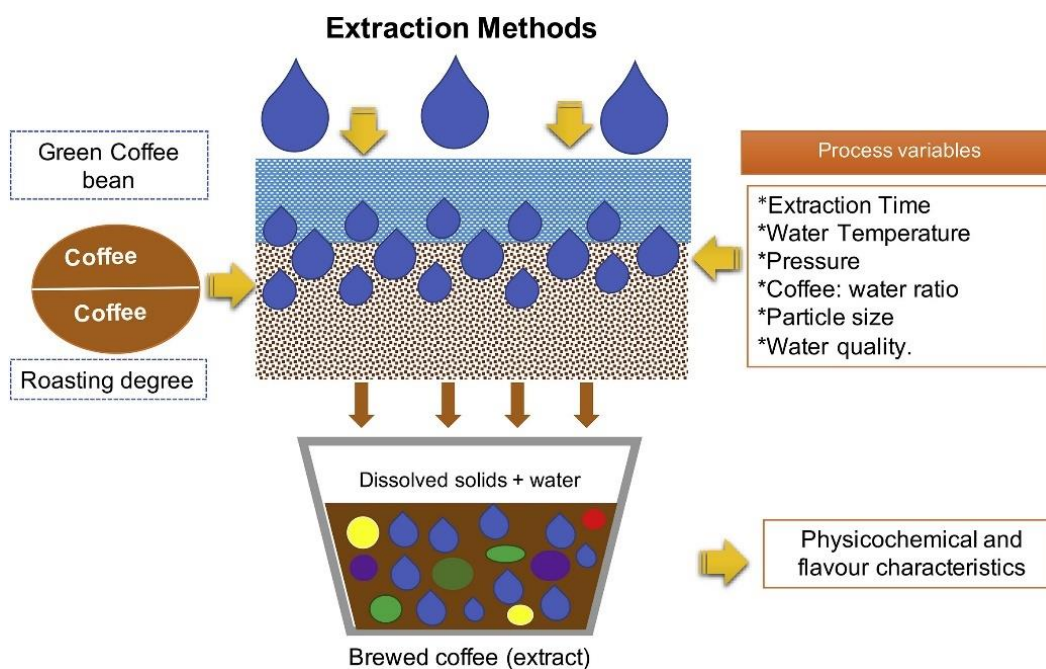
Výslednou chuť povzbudivého nápoje do značné míry ovlivňuje včetně řady dalších faktorů i velikost namletých částic. To, jakým způsobem bude káva připravována, souvisí s požadavkem na určitou velikost distribuovaných částic zvolených k extrakci daného nápoje a umožní nám tak získat toho nejlepšího z příslušně upravených kávových plodů. Některé výzkumy prokázaly významné ovlivňování kinetiky extrakce v závislosti na relativní velikosti částic, jelikož hrubší frakce usnadňují perkolaci v průběhu tepelné úpravy díky větším kanálkům uvnitř kávového koláče, které umožňují vyšší rychlost proudění extrakční vody, zatímco jemnější frakce dodávají konečné chuti intenzitu vlivem rychlejšího uvolňování rozpustných látek. Avšak nevýhodou menších částic mohou být predispozice k častějšímu ucpávání filtračních prostředků, zatímco u větších částic v důsledku menší kontaktní plochy dochází ke snížení extrakce a difúze některých látek [15][88].

Vzhledem k faktu, že granulometrická velikost částic namleté kávy souvisí s kinetikou extrakce, ovlivňuje mimo jiné i množství veškerých extrahovatelných látek. Z toho vyplývá prokazatelný vliv relativní velikosti částic na zlepšení účinnosti samotné extrakce vedoucí k získání vyšších koncentrací důležitých bioaktivních sloučenin, tudíž čím jemnější frakci použijeme, tím více těkavých látek vyextrahujeme. S tím zároveň souvisí i množství namleté kávy použité ke tvorbě podpůrného nápoje, jelikož čím menší množství kávy bude použito k baristické přípravě, tím pravděpodobněji bude i nižší obsah extrahovaných bioaktivních látek v nápoji. V důsledku rozložení kávových buněk mletím dochází také k uvolňování významných organických těkavých sloučenin včetně pyrolytického plynu CO₂. Rozmělněním buněčné struktury dochází ke zvětšování extrakční plochy, která při kontaktu s vodou usnadňuje solubilizaci a emulgaci významných sloučenin vlivem zvyšování rozhraní mezi H₂O a kávou. Velikost frakce tudíž představuje stěžejní faktor, na němž závisí pórovitost koláče, v rámci kinetiky extrakce i perkolační dráhy vody včetně dalších mikrostrukturálních vlastností kávy [88][89][90].

2.5 Baristické metody přípravy kávy

Kávová zrna již nějakou dobu nejsou považována za hůře dostupnou komoditu. Spotřebitelé více a více pahnou po nových obohacujících zážitcích získaných během konzumace tohoto horkého nápoje, proto je káva čím dál více vyhledávána především pro její spojení s ne příliš prozkoumaným smyslovým vnímáním a prožitkem [36].

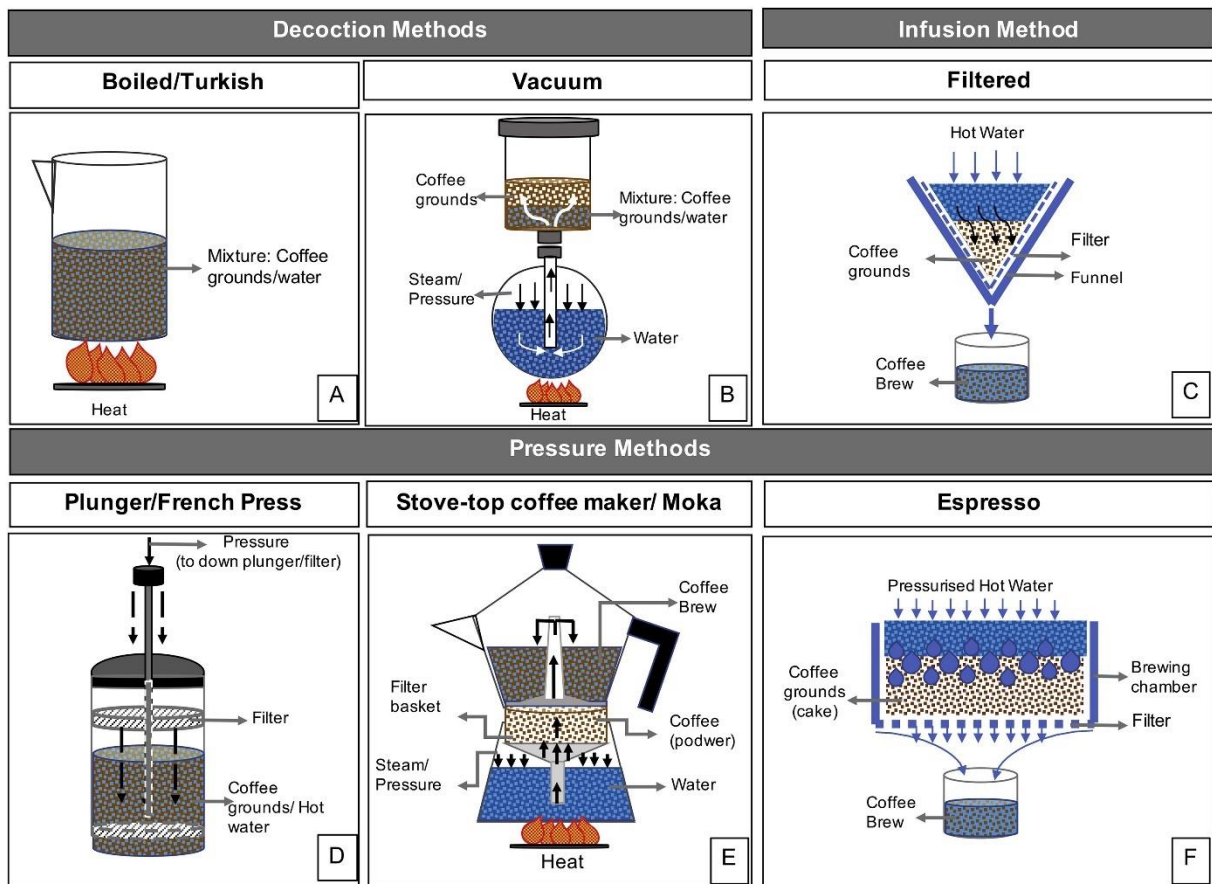
Kvalitu kávy ovlivňuje řada odlišných faktorů (genetika, způsoby zpracování zrn, metody přípravy, způsob podávání kávy), jejichž znalost je základem úspěchu k získání co nejlepšího kávového nápoje a to po všech stránkách. Mezi jedny z takto důležitých aspektů majících ideální predispozice pro tvorbu lahodného povzbuzujícího nápoje patří právě baristické způsoby přípravy [36].



Obrázek 29: Extrakce kávového nápoje [90]

V dnešní době existuje bezpočet způsobů přípravy kávy, bez níž si většina lidí nedokáže představit svůj start do každého dne. Volba vhodné metody záleží zejména na chuťových preferencích každého konzumenta, na jejichž základě je poté volena obtížnost a rychlost přípravy [9].

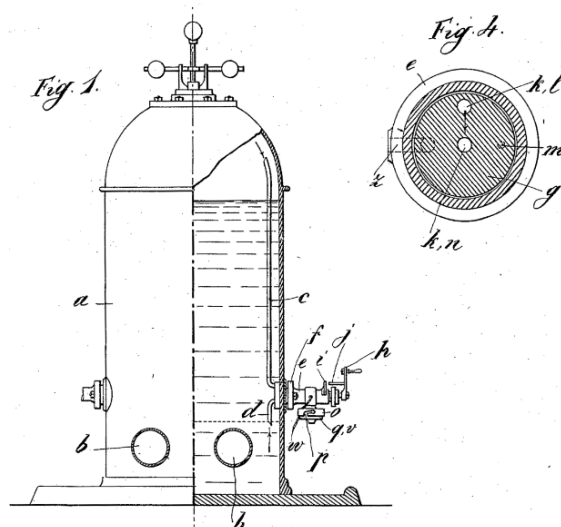
Jednotlivé metody můžeme rozdělit na 2 základní praktiky, při nichž vznikají kávy překapávané přes filtr a kávy vylouhované ve vodě. Na tvorbě překapávané kávy se podílí hlavně gravitace, jejímž vlivem voda, již byla káva zalita, proniká přes filtr v podobě vylouhovaného nápoje směrem dolů do nádoby. Louhování je tak jednodušší a mnohem rychlejší, navíc je namletá káva po celou dobu zalévána čerstvou vodou, tím pádem neustále absorbuje nové a nové látky v kávě obsažené. Louhování přímo ve vodě se významně odlišuje od první metody v použité tekutině, jelikož kávu extrahujeme celou dobu ve stejné vodě. Ta po uplynutí určitého časového úseku už není schopná do sebe absorbovat tolik nových látek, proto dochází ke zpomalení procesu extrakce. Existuje však několik metod, jež zahrnují kombinaci obou metod, kdy ve vodě vylouhovaná namletá káva následně překapává přes filtr do sběrné nádoby [9][24].



Obrázek 30: Přehled nejčastěji využívaných metod extrakce kávy [90]

2.5.1 Espresso

Tento objemem malý, přesto silně koncentrovaný nápoj výrazné chuti vynalezli Italové. Avšak první patenty na espresso stroje pochází již z druhé poloviny 19. století, z doby rozkvétající industrializace a zrychlujícího se životního stylu. Tenkrát německý vynálezce Gustav Kessel přišel s řešením pro řadu majitelů tehdejších kaváren, kteří si uvědomovali, že musí svým zákazníkům poskytnout povzbuzující nápoje mnohem rychlejší cestou a nahradit tak dlouhotrvající přípravu překapávané či filtrované kávy. Proto se Kessel rozhodl využít přednosti a sílu stoletím oblíbené páry ve prospěch svého nového vynálezu. Jeho první přístroj tak dokázal odděleně využívat vodu a poté i páru pro extrakci namleté kávy [9][41].



Obrázek 31: Jeden z prvních patentů espresso stroje [41]

Spolu s německým průkopníkem se i řada dalších vynálezců snažila vydat jinou cestou s vidinou zhotovení nepřekonatelných patentů na přístroje připravujících kávu, avšak v 50. letech Italové obohatili trh svými neuvěřitelnými kávovary a mlýnky, čímž jednou pro vždy změnili způsob přípravy kávy ve značné části Evropy [9].

Italové kromě toho na několik dalších desítek let stanovili základ tvorby lahodné kávy, jelikož vytvořili základní parametry pro přípravu *espresso*, jež využívají některé země až dodnes. Jelikož tehdejší pražírny neměly takovou možnost výběru a celkovou dostupnost kávy jako tomu je v dnešní době, sloužil tento návod jako ideální základ. *Espresso* a jeho příprava od té doby prošla četnými změnami zejména v důsledku lepší politické i ekonomické situace spousty zemí, která umožnila rozšířit znalosti a celkové povědomí o rozmanitých druzích kávy či způsobu jejich pražení po celém světě [9][24].

Význam názvu „*espresso*“ doslovně znamená „dát pod tlak“, což do značné míry vypovídá o samotném postupu jeho přípravy, který rovněž jako nadčasové vynálezy pochází z Apeninského poloostrova. Avšak ne každý zákazník si dokáže pod pojmem „*espresso*“ představit jeden a ten samý druh kávy. Proto k docílení ideální charakteristiky tohoto nápoje musíme použít pákový *espresso* kávovar [42].

Dobře připravený šálek na svém povrchu nese patřičnou vrstvu oříškovo-čokoládové krémové pěny zvané *crema*, která mimo jiné vypovídá i o kvalitě přípravy samotné kávy už jenom podle její barvy. Nejdůležitějším parametrem je bezpochyby kávová chuť, jejíž tzv. tělo dokáže v ústech vyvolat řadu rozmanitých tónů a chutí. Správné *espresso* by tudíž mělo být připraveno z 8–10 gramů libovolně zvolené namleté kávy pomocí kávovaru připravujícího horký nápoj z vody o teplotě okolo 90 °C při nastaveném tlaku na 9 barů, jež by měl za 20–30 sekund poskytnout 25–35 ml tohoto povzbuzující moku [9][24].

2.5.2 Vakuum pot

Jeho historické kořeny sahají už na začátek 19. století, kdy v průběhu průmyslové revoluce vynálezci neustále experimentovali s vakuem a párou. První zmínky o tomto doslova alchymickém zázraku pochází už z roku 1830, během něhož v německém Berlíně údajně vznikl první oficiální patent. V návaznosti na první prototyp si svoje vynálezy následně nechala patentovat řada dalších průkopníků, jenže zařízení byla pořád dosti složitá a spousta použitých nádob nevydržela nápor vyššího tlaku a teploty. Vše se ale změnilo na začátku 20. století s převratným vynálezem borosilikátového skla pojmenovaného jako *Pyrex* s daleko lepšími tepelnými vlastnostmi. Od té doby každá inovace byla blíž a blíž k vytvoření ideálně fungujícího přístroje poskytující ještě lepší a kvalitnější kávu [37].



Obrázek 32: Historické prototypy vakuum potu (vpravo jedna z dnešních provedení) [37]

Nejen díky svému vzhledu, ale i svojí funkcí radíme vakuum pot mezi jeden z nejefektivnějších způsobů přípravy kávy. Tento vakuový kávovar neboli sifon vyhledávají především konzumenti s vytríbenými chuťovými pohárky prahnoucími po velmi jemné kávě bez jakékoli kávové sedliny. Byť svojí konstrukcí připomíná obtížně ovladatelný přístroj, stačí k jeho správnému použití pouze zkušenosti a praxe [24][37].

Základ konstrukce se sestává ze 2 skleněných nádob vzájemně spojených trubicí a oddělených filtrem. Zahříváním vody ve spodní baňce vzniká pára, jež následně pomalu vzlíná skleněnou trubicí nahoru přes filtr až do horní nádoby. Pára v určitém momentu dosáhne takového tlaku, který zapříčiní vytlačování vody zespodu směrem nahoru a jakmile přejde většina vody přes filtr, nasype se do ní namletá káva. Tu však musíme dobře zamíchat, aby došlo k jejímu namočení po celém povrchu. Káva je poté ponechána asi jednu minutu louhovat a po ukončení záhřevu dochází k pomalému snižování tlaku ve spodní části vlivem přeměny páry zpět na kapalinu. Vzniklý podtlak poté způsobuje stékání již vylouhované kávy do spodní nádoby, díky čemuž pak veškeré nečistoty a kal zůstávají nad filtrem [9][37].



Obrázek 33: Konstrukce vakuum potu [38]

2.5.3 Moka konvička

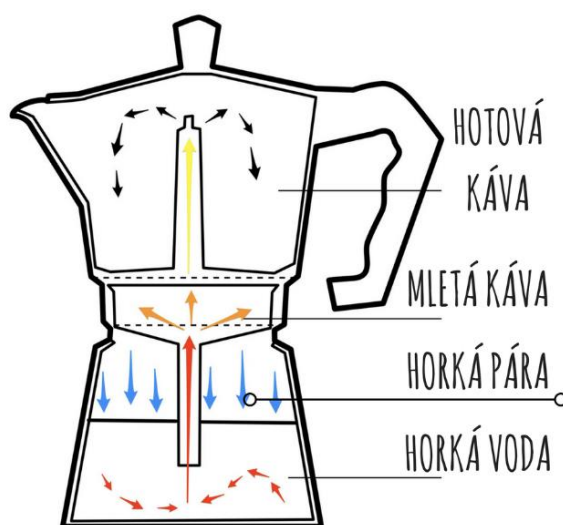
První záznamy o tomto úžasném vynálezu pocházejí z roku 1933. Italský inženýr Alfons Bialetti nechal ve své firmě zaměřující se na odlévání hliníku poprvé vytvořit první prototyp jednoduchého kávovaru, který se stal nepostradatelným prakticky v každé italské domácnosti až dodnes. Nadšení milovníci kávy si tento kávovar natolik zamilovali, že netrvalo dlouho a celá firma začala prudce expandovat. Dnes ji můžeme znát i pod názvy jako moka pot či express, můžeme však o ní slyšet jako o tzv. bialecce, jenž svůj název získala právě po svém vynálezci [9][39].



Obrázek 34: Bialetti moka konvička [91]

Moka konvička má 3 základní části, z nichž spodní nádobka slouží jako zásobník pro studenou či horkou vodu, středním dílem je sítko pro aplikaci namleté kávy, a poslední část tvoří horní nádobka na vylouhovanou kávu [24][39].

Vlivem záhřevu vody ve spodní uzavřené části dochází ke tvorbě páry za současného zvyšování vnitřního tlaku. V důsledku expanze páry začne horká voda probublávat přes namletou kávu umístěnou na sítku a je protlačena až do horní nádoby v podobě hotové vylouhované kávy. Ta už jen po dokončení extrakce vyteče z trysky v horní části a na rozdíl od vakuum potu nestéká zpět dolů, nýbrž zde zůstává a může se podávat [9][24][39].



Obrázek 35: Princip fungování moka konvičky [39]

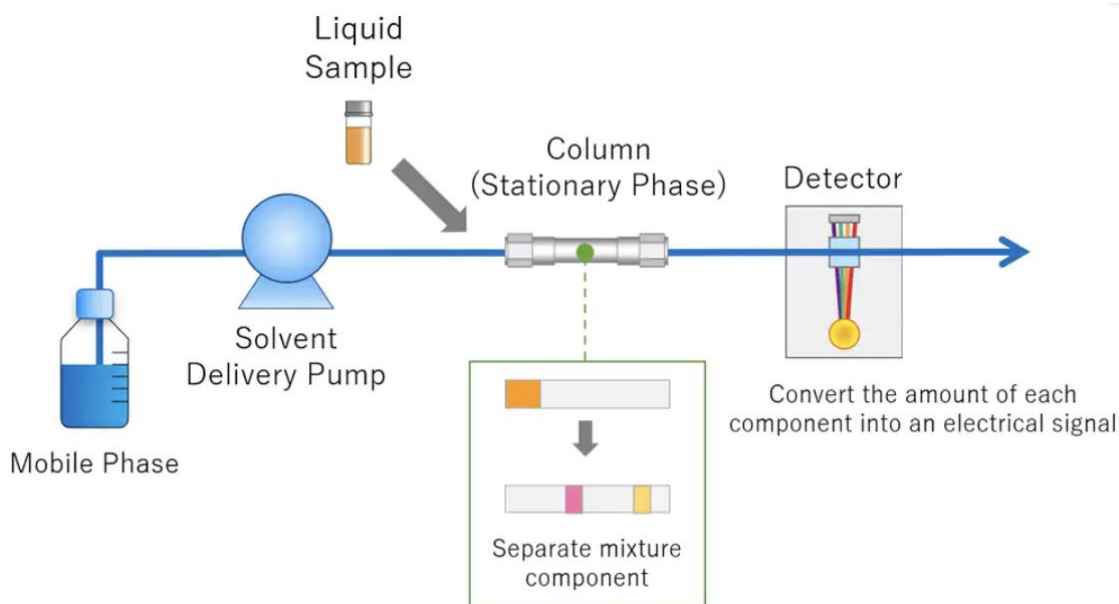
2.6 Analýza kávy pomocí instrumentálních technik

2.6.1 HPLC-MS

Zkratka HPLC (*High-performance Liquid Chromatography*) představuje jednu z chromatografických technik patřících mezi analytické metody zaměřující se na separaci složek ze směsi, jejich kvantifikaci a charakterizaci na základě fyzikálně-chemických vlastností, díky čemuž ji řadíme mezi preparativní chromatografii. Vysokoučinná kapalinová chromatografie mimo jiné využívá distribuce látek mezi pohyblivou a nepohyblivou fází, přičemž samotná separace je realizována uvnitř separační kolony obsahující stacionární fázi v podobě pevného adsorbentu, jíž prochází mobilní pohyblivá fáze (tzv. eluent). Distribuce poté probíhá za předpokladu existence fázového rozhraní mezi těmito dvěma fázemi, kdy během separace dochází k utváření rovnovážných stavů izolovaných látek mezi oběma fázemi [44][45].

Chromatograf se sestává z několika součástí, a to zejména z chromatografické kolony se stacionární fází, automatického dávkovače včetně nástřikového zařízení, odplyňovací jednotky a na základě analýzy zvolený detektor včetně datového procesoru [44].

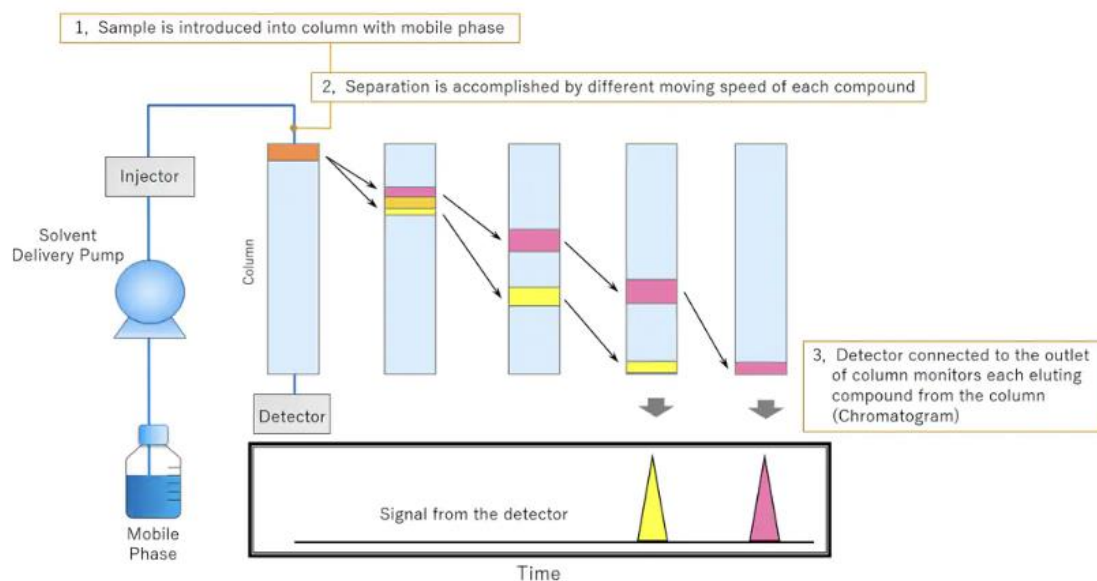
Důležitou součástí chromatografu je vysokotlaké čerpadlo zajišťující stálý a řízený průtok kapalně mobilní fáze skrze kolonu obvykle naplněnou zrnitým materiálem z pevných částic. Pokud by však mobilní fáze obsahovala vzduchové bubliny, mohlo by dojít ke kolísání řízeného průtoku, čemuž zabraňuje odplynovací zařízení [44].



Obrázek 36: Konstrukce HPLC [43]

HPLC primárně analyzuje látky rozpuštěné v kapalném rozpouštědle, což umožňuje kvantitativní a kvalitativní analýzu vzorku. Mobilní fází je nejčastěji nepolární rozpouštědlo, jež kontinuálně protéká zvolenou chromatografickou kolonou, v níž následně dochází k separaci na základě rozdílné afinity obsažených látek ve vzorku ke stacionární a mobilní fázi. Čím vyšší bude afinita látky vůči mobilní fázi, tím rychleji se bude pohybovat kolonou, zatímco čím silnější bude afinita k nepohyblivé fázi, tím pomalejší bude její pohyb [43][45].

Jakmile dojde k separaci jednotlivých látek ze směsi, pokračují tyto eluované analyty směrem k detektoru zaznamenávajícímu signál v závislosti na čase. Detektor dokáže snímat celé barevné spektrum a jelikož detekuje odezvy při libovolné vlnové délce, je možné porovnat získané spektrum s knihovnou spekter v počítači. Jako výsledek získáme dvourozměrný graf zvaný chromatogram znázorňující koncentraci vzorku v závislosti na čase provedené analýzy [43][44][45].



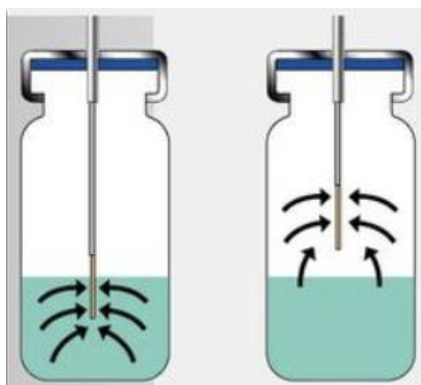
Obrázek 37: Princip separace látek pomocí HPLC [43]

2.6.2 SPME-GC/MS

Za inovativní, účinnou a citlivou metodu stanovení lze označit mikroextrakci na pevné fázi (*Solid Phase Microextraction*). Tato jednoduchá adsorpčně-desorpční technika, při níž není nutná přítomnost žádného rozpouštědla, provádí zakoncentrování analytů a jakožto demonstrativní technika si zakládá na dělicí rovnováze stanovených analytů mezi maticí vzorku a extrakční fází. Ve spojení s plynovou či kapalinovou chromatografií umožňuje také stanovit přítomnost těkavých a netěkavých látek ve vzorku [49][50][51].

Princip této techniky spočívá v přímé extrakci analytu ze vzorku na vlákno (obvykle křemenné) potažené extrakční fází na základě probíhající adsorpce či absorpce. Stacionární fází může být kapalina (polymer), pevná látka jakožto sorbent, nebo jejich kombinace v závislosti na povaze sledované látky. Její tloušťka na vláknu mimo jiné ovlivňuje citlivost stanovací metody, jelikož silnější vrstva umožňuje extrakci většího množství analytu, proto je používáno pro zachycení více těkavých látek, zatímco tenká vrstva extrakční fáze zajišťuje rychlejší difúzi včetně uvolňování vybraných látek během tepelné desorpce. Dutá ocelová jehla, v níž je uloženo citlivé vlákno spojené s ocelovým pístem, slouží jako ochrana před mechanickým poškozením. Proto před začátkem a i na závěr každé extrakce dochází k jeho zatažení zpět do vnitřní části duté jehly [49].

Proces mikroextrakce se sestává ze 2 hlavních kroků, přičemž vysunutí vlákna do stanoveného vzorku vede k separaci analytů z matrice vzorku do extrakční fáze. Jakmile dojde k vytvoření rovnováhy a uplyne předepsaná doba extrakce, odstraní se stacionární fází potažené vlákno, jež putuje do chromatografického přístroje k následné desorpci koncentrovaných extraktů vzorku. SPME založená na extrakci a koncentraci analytů je nejčastěji využívána ve spojení s plynovou chromatografií. Existují 2 druhy vzorkování, při nichž dochází buď k přímému ponoření vlákna do kapalného vzorku (*DI-SPME; Direct Immersing SPME*), nebo je extrakce prováděna z prostoru nad vzorkem v uzavřené nádobě (*HS-SPME; Headspace SPME*) [49][50][51].



Obrázek 38: Schéma přímé DI-SPME (vlevo) a HS-SPME (vpravo) [49]

2.6.3 Sítová analýza

Jedná se o granulometrickou techniku sloužící ke stanovení frakčního rozměru kávových částic, při níž dochází ke vzniku jednotlivých frakcí vlivem prosévání analyzovaného vzorku řadou na sobě naskládaných sít, jejichž otvory se postupně zmenšují od horního síta směrem k dolnímu (horní síto má největší prosévací otvory) [52].

Jednotlivé parametry částic byly vypočítány na základě řady vzorců, z nichž první veličina v podobě hmotnostního podílu frakce x_i vycházela z následujícího vztahu, v němž m_i představuje hmotnost dané frakce a m_{celkem} celkovou hmotnost veškerých frakcí:

$$x_i = \frac{m_i}{m_{celkem}} \cdot 100 \quad (1)$$

Pro zůstatek meliva na sítě Z_i včetně vyjádření daného zůstatku procenty (Z) byly použity vzorce:

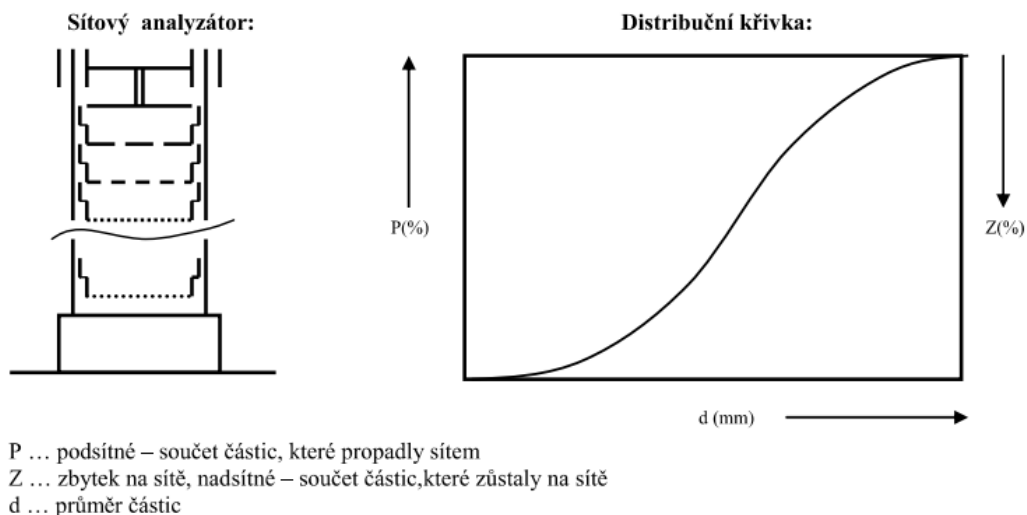
$$Z_i = m_i + m_{i+1} \dots$$

$$Z = \frac{Z_i}{m_{celkem}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Stejně tomu bylo i u vztahů pro výpočet propadu mletých částic na sítích P_i doprovázených výpočty procentuálního vyjádření propadu P :

$$P_i = m_{celkem} - Z_i$$

$$P = \frac{P_i}{m_{celkem}} \cdot 100 \% \quad (3)$$



Obrázek 39: Sítová analýza [52]

Analýza je realizována prostřednictvím automatického sítového analyzátoru, jejímž výsledkem je závislost množství jednotlivých frakcí vzorku na velikosti prosévaných zrn. Grafickým znázorněním této závislosti jsou pak diferenciální či integrální distribuční křivky [52].

Kromě distribuční křivky lze vyjádřit celkovou distribuci velikosti částic na základě histogramu vyjadřujícího množství jednotlivých frakcí analyzovaného vzorku na používaných sítích [92].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Seznam použitých chemikálií

- Kyselina mravenčí (99-100%), VWR
- Filtrovaná voda, VWR
- Kofein, Sigma-Aldrich
- Deionizovaná voda
- 2-Furanmethanthiol (98%), Sigma-Aldrich
- 2-Furyl methyl keton (99%), Sigma-Aldrich
- 5-Methylfurfural (99%), Sigma-Aldrich
- 2,3-Diethyl-5-methylpyrazin (99%), Sigma-Aldrich
- Furfural (99%), Sigma-Aldrich
- Ethylpyrazin (99%), Sigma-Aldrich
- 2-Methylpyrazin (99%), Sigma-Aldrich
- Pyridin, Sigma-Aldrich
- Furfurylacetát (99%), Sigma-Aldrich
- Furfurylalkohol (98%), Sigma-Aldrich
- 2,3-Pentandion (97%), Sigma-Aldrich
- 2-Ethyl-3,5(6)-dimethylpyrazin, Sigma-Aldrich
- Ethanol absolutní (99,5%), VWR

3.2 Použité přístroje

- Analytické váhy Sartorius Entris 224I-IS
- Pákový kávovar SAECO Poemia
- Kuchyňský vaříč Sencor
- Mlýnek na kávu Mahlkönig EK43 (Penerini)
- Kapalínový chromatograf 1260 Infinity, Agilent Technologies
- Kolona Kinetex EVO C18 (150×4,6 mm; 2,6 μm), Phenomenex
- Automatické pipety, ThermoFisher Scientific
- Stříkačky umělé
- Stříkačkové membránové filtry (velikost pórů 0,45 μm)
- Skleněné vialky s víčky + septum
- Laboratorní sklo
- Lžička, lodička, stříčka

3.3 Použité programy

- Thermo Xcalibur Qual Browser
- STATISTICA 13.3.721.1 64-bit, TIBCO Software Inc.

3.4 Charakterizace vybrané kávy

K veškerým experimentům byla použita brazilská výběrová káva z poctivé brněnské pražírny Penerini. Kávová zrna byla zaměstnanci namleta přímo na prodejně pomocí speciálního mlýnku Mahlkönig EK43 na 3 rozdílné stupně. Zrna byla namleta podle typů káv z nich obvykle připravovaných, proto nejjemněji namletá káva I. byla pomleta na Turek, středně hrubá káva II. na espresso a nejhrubější káva III. na V60.

Tato 100% Arabika je vhodná pro přípravu espressa či překapávané kávy, jež nám mimo jiné může nabídnout kvalitní silnou kávu s oříškovými, vanilkovými až čokoládovými chuťovými tóny.

3.5 Baristická příprava kávových vzorků

Na přípravu 27 kávových vzorků z Arabiky se 3 odlišnými stupni mletí byly použity celkem 3 baristické techniky a to pákový espresso kávovar, moka konvička a vakuum pot.

3.5.1 Espresso

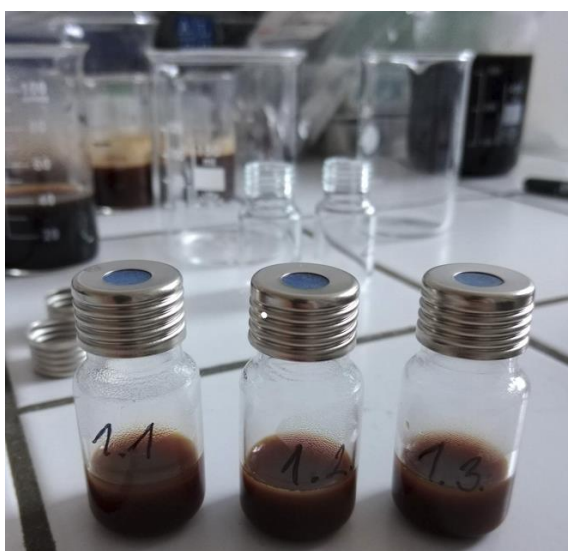
Espresso bylo připravováno pomocí automatického pákového kávovaru, na němž byl pro přípravu kávových vzorků nastaven tlak o síle 9 barů a teplota kohoutkové vody se pohybovala okolo 90 °C. Na analytických vahách bylo do menší kádinky odváženo 7 g nejjemněji namleté kávy I., která byla pomocí lžičky přesypána do speciální páky, v níž byla lehce utlačena tamperem do rovna. Páka byla poté vložena do přístroje, ze kterého byl následně po stisknutí tlačítka jímán horký nápoj o objemu 30 ml po dobu 20–30 s. Jakmile bylo patrné ustálení kávové pěny, byly pomocí pipety odebrány 3 ml kávy do připravených a popsáných vialek, jež byly okamžitě uzavřeny víčky opatřené nepropíchnutým septem.



Obrázek 40: Pákový automatický kávovar na přípravu espressa

Stejným způsobem byly ze stejného stupně umléte kávy připraveny další 2 vzorky. Celý proces byl rovněž zopakován u odlišných stupňů mleté kávy (II., III.), z nichž každý stupeň poskytl po 3 vzorcích. K analýze tak bylo připraveno celkem 9 vzorků espressa s různou hrubostí výchozí kávy.

Ze všech 9 nápojů připravených z 3 odlišně namletých káv byly ještě na závěr odebrány vzorky pro HPLC analýzu, kdy do umělých a popsaných zkumavek bylo vždy pomocí umělohmotné stříkačky s nasazeným membránovým filtrem (pórovitost 0,45 μm) přefiltrováno dostatečné množství kávy potřebné k následnému ředění. Každá stříkačka byla naplněna kávou a její ústí bylo zasazeno do membránového filtru, přes který bylo po stlačení stříkačky získáno dostatečné množství kávového vzorku. Po jejich vychladnutí poté tvořily základ pro ředění vzorků nových.



Obrázek 41: Připravené vzorky espressa k GC analýze

Tabulka 1: Parametry připravovaných vzorků kávy pomocí pákového kávovaru

Espresso			
vzorek	$m_{\text{sypkákáva}}$	$V_{\text{káva}}$	t_{extrakce}
	[g]	[ml]	[s]
1	7	30	20-30
2			
3			

Tabulka 2: Charakterizace jednotlivých vzorků espressa

Espresso			
stupeň mletí	číslo vzorku		
I.	1.1	1.2	1.3
II.	4.1	4.2	4.3
III.	7.1	7.2	7.3

3.5.2 Moka konvička

Do spodní části moka konvičky bylo nalito 50–55 ml kohoutkové vody, jelikož zde i po uplynutí perkolace zůstává minimální podíl vody. Do hrdla bylo následně umístěno sítko, do něhož bylo pomocí lžičky postupně umačkováno 7 g nejjemněji namleté brazilské kávy, jež byla navážena do malé kádinky na analytických vahách. Jakmile bylo sítko naplněno až po horní okraj, byla do závitů spodní části namontována část horní. Konvička byla poté umístěna na elektrický vařič a po dobu zhruba 2 minut zahřívána při maximální teplotě zvolitelné na příslušném vařiči. Samotná perkolace byla ukončena ve chvíli, kdy veškerá vylouhovaná káva vytekla z trysky v horní nádobě. Hotový horký nápoje byl přelit do připravené kádinky, z níž byly pomocí pipety odebrány 3 ml kávy do čisté vialky, která byla ihned uzavřena. Takto byly připraveny další 2 vzorky z jemně mleté kávy a z ostatních káv II. a III. bylo v návaznosti na to připraveno dalších 6 vzorků. Všechny 9 káv bylo na závěr ještě přefiltrováno přes stříkačky s membránovými filtry do připravených umělohmotných zkumavek, které později sloužily jako vzorky utvářející základ pro další ředění.



Obrázek 42: Moka konvička využívaná k přípravě kávových vzorků

Tabulka 3: Parametry připravovaných vzorků kávy pomocí moka konvičky

moka konvička			
vzorek	$m_{\text{sypkákáva}}$	$V_{\text{káva}}$	t_{extrakce}
	[g]	[ml]	[min]
1	7	50	2-3
2			
3			

Tabulka 4: Charakterizace jednotlivých vzorků kávy z moka konvičky

moka konvička			
stupeň mletí	číslo vzorku		
I.	2.1	2.2	2.3
II.	5.1	5.2	5.3
III.	8.1	8.2	8.3

3.5.3 Vakuum pot

Do spodní skleněné baňky byla nejdříve nalita kohoutková voda o objemu 400 ml a následně byla sestavena celá konstrukce přístroje. Na plátěno-kovové sítko umístěné na dně vrchní skleněné nádoby bylo nasypáno 25 g navážené nejjemnější kávy I. z a do připraveného hořáku byl doplněn technický líh. Po utěsnění nádob byl tento hořák umístěn pod spodní baňku s vodou a po zapálení knotu bylo započato zahřívání tekutiny. Jakmile byla voda ohřáta na dostatečnou teplotu, vlivem vznikající páry a zvyšujícího se tlaku byla voda vytlačována nahoru přes sítko až do horní části. Zde byla tekutina smísena s kávou a za souvislého míchání po dobu 1 minuty ponechána extrahovat. Po uplynutí této doby byl uhašen zdroj záhřevu a vlivem vznikajícího podtlaku byla vyextrahovaná tekutina kvantitativně převedena opět do spodní nádoby. Takto vylouhovaný horký nápoj byl přelit do připravené kádinky, ze které byly pomocí pipety odebrány 3 ml vzorku do malé vialky, jež byla hned poté co nejlépe uzavřena. Takto bylo postupováno ještě dvakrát a dalších 6 vzorků bylo připraveno z namletých káv II. a III do stejných uzavíratelných vialek. Jakmile bylo uvařeno všech 9 vzorků, z každého z nich bylo pomocí stříkačky s membránovým filtrem přefiltrováno kvantitativně dostačující množství kávy do umělohmotné zkumavky, která byla uzavřena špuntem. Takto přefiltrované vzorky byly poté použity k ředění nových vzorků k HPLC analýze.

Tabulka 5: Parametry připravovaných vzorků kávy pomocí vakuum potu

Vakuum pot			
vzorek	$m_{\text{sypkákáva}}$	$V_{\text{káva}}$	t_{extrakce}
	[g]	[ml]	[min]
1	25	400	10-15
2			
3			

Tabulka 6: Charakterizace jednotlivých vzorků kávy z vakuum potu

Vakuum pot			
stupeň mletí	číslo vzorku		
I.	3.1	3.2	3.3
II.	6.1	6.2	6.3
III.	9.1	9.2	9.3

3.6 Stanovení obsahu kofeinu ve vzorcích pomocí HPLC analýzy

3.6.1 Parametry pro měření na HPLC přístroji

- kolona: Kinetex EVO C18 (150×4,6 mm; 2,6 μm)
- mobilní fáze (MF): 1% roztok *HCOOH*
- průtok MF: 0,6 ml/min
- objem nástřiku: 5 μl
- teplota kolony: 30 °C
- detektor: MS

3.6.2 Podmínky pro MS detekci

- ionizace pomocí ESI
- zmlžovač: 40 PSI
- napětí v kapiláře: 3500 V
- teplota plynu: 325 °C
- průtok plynu: 10 l/min
- polarita: kladná

3.6.3 Příprava mobilní fáze

V prvním kroku byl připraven zásobní roztok mobilní fáze pro HPLC v podobě 1% roztoku kyseliny mravenčí. Do 1 l odměrné baňky bylo napipetováno 10 ml kyseliny mravenčí (s 99 až 100% čistotou), která byla poté smíchána se speciální filtrovanou vodou. Jelikož malé množství této vody chybělo, byla na doplnění roztoku až po rysku nádoby použita deionizovaná voda ze stříčky. Takto připravený roztok byl poté přelit do příslušné borosilikátové láhve a sloužil jako pohyblivá mobilní fáze během celé analýzy.

3.6.4 Ředění kávových vzorků pro HPLC analýzu

Všechny vzorky kávy vyextrahované pomocí vakuu potu (viz *Tabulka 6*) byly 10× zředěny do 1 ml vialky, do níž bylo pomocí automatické pipety napipetováno 0,9 ml 1% roztoku kyseliny mravenčí (MF) spolu s 0,1 ml kávového vzorku odebraného z označených umělohmotných zkumavek.

Vzorky káv připravované pomocí pákového kávovaru (*Tabulka 2*) a moka konvičky (*Tabulka 4*) byly zředěny celkem 50×. Do označené 1 ml vialky bylo automatickou pipetou převedeno 980 μl 1% roztoku kyseliny mravenčí, k němuž bylo posléze přidáno 20 μl kávového vzorku. Jelikož bylo pracováno s velmi malým pracovním objemem, byl do vialky jako první převeden roztok MF a poté až kávový vzorek. Špička pipety byla poté ještě nejméně 2-3× promyta roztokem ve vialce, aby bylo vytěženo maximum objemu vzorku se snahou co nejvíce omezit ztráty.

3.6.5 Příprava bodů do kalibrační křivky

Pro samotné stanovení kalibrační křivky sestávající se z 5 bodů za účelem zisku vzorků o určité koncentraci byl nejdříve přichystán zásobní roztok alkaloidu kofeinu o koncentraci 100 mg/l, z něhož bylo následným ředěním připraveno 5 kalibračních roztoků, jejichž koncentrace odpovídala 0, 10, 25, 50 a 100 mg/l.

Nejprve bylo na analytických vahách odváženo 10 mg bílého kofeinového prášku na lodičku, z níž byl tento prášek kvantitativně převeden stříčkou naplněnou deionizovanou vodou do 100 ml odměrné baňky. Jakmile bylo viditelné kompletní rozpuštění kofeinu, byla baňka doplněna vodou až po rysku.

Do první připravené 1 ml vialky byl posléze automatickou pipetou napipetován 1 ml zásobního roztoku kofeinu, čímž byl získán kalibrační roztok o koncentraci 100 mg/l. Takto bylo připraveno celkem 5 různých koncentrací do popsanych 1 ml vialek, které odpovídali bodům [100; 50; 25; 10; 0]. Jako rozpouštědlo byl použit 1% roztok kyseliny mravenčí (MF).

3.7 Stanovení aromaticky aktivních látek pomocí SPME-GC

3.7.1 Pracovní postup během přípravy kalibrační řady

Nejprve byl vytvořen zásobní roztok sestávající se ze směsi 12 standardů rozpuštěných v ethanolu (> 99%) o celkové koncentraci 1 g/l. Do popsané 25 ml odměrné baňky se zátkou bylo nalito malé množství ethanolu, do něhož byly později pomocí automatických pipet přidávány velmi malé objemy jednotlivých standardů. Po přidavku každého ze standardů byly jejich špičky asi 2-3× promyty v roztoku za účelem minimalizování ztrát rezidua standardů.

V prvním kroku byla na analytické váze vynulována hmotnost zátkou uzavřené baňky s malým množstvím ethanolu, do níž bylo následně napipetováno 25 µl prvního standardu. Baňka byla okamžitě uzavřena zátkou, zvážena a její hmotnost zaznamenána k příslušné látce. Následně po vynulování hmotnosti bylo do stejné baňky napipetováno dalších 25 µl, avšak již druhého standardu, a po uzavření baňky byla zobrazená hmotnost opět zaznamenána. Takto bylo pokračováno až do posledního dvanáctého standardu a baňka se směsí byla ethanolem doplněna až po rysku. Takto připravený roztok byl následně využit jako základ tvorby série kalibračních řad, jež byly v rámci experimentu vyzkoušeny.

Druhý zásobní roztok o koncentraci 100 mg/l byl připraven odebráním 2,5 ml směsi standardů, jež byly napipetovány do nové 25 ml odměrné baňky a po rysku doplněny ethanolem. Z tohoto roztoku byly následně připraveny 3 další směsi představující 3 kalibrační body [20; 2; 0,2].

Mezitím byla pomocí kávovaru připravena modelová káva, kdy bylo naváženo 7 g nejjemnější namleté kávy I do páky, ta byla tamperem mírně stlačena a po zprovoznění přístroje bylo jímáno 30 ml horkého nápoje. Tento postup byl proveden celkem 4×. Kávy byly ponechány se schladit na takovou dobu, aby nedošlo k vytékání žádoucích látek.

První ze zředěných roztoků byl připraven napipetováním 5 ml zásobního roztoku (100 mg/l) do 25 ml baňky, jež byla po rysku doplněna modelovou kávou. U druhého i třetího roztoku bylo postupováno stejným způsobem s rozdílnými poměry zásobního roztoku a modelové kávy,

a roztok o koncentraci 0,2 mg/l byl ještě následně 10× naředěn. Tímto způsobem byl získán i poslední, nejméně koncentrovaný, kalibrační bod 0,02 mg/l. K analýze tak bylo připraveno celkem 5 roztoků představujících 5 kalibračních bodů [100; 20; 2; 0,2; 0,02].

Jelikož bylo na základě výsledků zjištěno přílišné překonzentrování vzorků v modelové kávě, čímž se pro citlivou metodou SPME staly nepoužitelnými, byl tento postup vyřazen a z již připraveného zásobního roztoku směsi těkavých látek o koncentraci 1 g/l byl ředěním nachystán nový roztok o koncentraci 100 mg/l. Do 25 ml odměrné baňky bylo pomocí automatické pipety převedeno 2,5 ml zásobního roztoku standardů (1 g/l), jež bylo následně doplněno ethanolem až po rysku nádoby. Z takto připraveného roztoku byly poté vytvořeny 3 další zředěné roztoky, které byly po odebrání příslušného množství ze 100 mg/l roztoku doplněny deionizovanou vodou až po rysku nádoby. Hotová kalibrační řada se tak skládala ze 3 kalibračních bodů [10; 1; 0,1]. Z každého roztoku byly na závěr napipetovány 3 ml do připravené vialky a poté velmi těsně uzavřeny víčkem opatřené nepropíchnutým septem.



Obrázek 43: Roztoky pro nové kalibrační body

Na základě poskytnutých výsledků z předchozích kalibračních křivek bylo provedeno finální měření v rozsahu 6 kalibračních bodů [10; 2; 1; 0,5; 0,1; 0], jež byly na přístroji analyzovány 3 vpichy do každé vialky.

3.8 Sítová analýza kávových částic

Za účelem stanovení frakčního rozměru částic zvolené brazilské kávy byla provedena sítová analýza všech 3 stupňů namletých zrn. Analýza byla prováděna jednak ručně, ale také za pomoci automatického síťového analyzátoru.

Na začátku analýzy byla na sebe naskládána zvolená síta, kdy síto s nejmenšími otvory tvořilo základ celého analyzátoru a na něj byla postupně naskládána síta s větším a větším průměrem otvorů. Pro ruční analýzu byla použita síta s velikostmi děr 100, 200, 250, 300, 400 a 500 μm , zatímco pro automatickou analýzu síta o velikostech otvorů 200, 300, 400, 500, 710 a 800 μm včetně spodní části v podobě pouhé záchytné kovové nádoby bez jakýchkoliv děr.

U prvních pokusů byla zvolena navážka příslušné kávy na 100 g, ale jelikož bylo viditelné časté ucpávání pórů síta, byla tato navážka snížena na 25 g. Na horní síto bylo proto nasypáno navážené množství (25 g) nejjemněji namleté kávy a pomocí trhavých pohybů byla káva prosévána přes všechna síta. Jakmile tak bylo učiněno, bylo horní sítu sundáno z celé konstrukce a jeho obsah vysypán na připravený filtrační papír. Pomocí štětce bylo ještě následně oprášeno reziduum kávových částic usazené v otvorech z obou stran daného síta i po jeho stěnách. Toto množství bylo poté kvantitativně převedeno do kádinky, zváženo a zapsáno. Tímto způsobem byly vysypány a zváženy veškeré frakce ze všech používaných sít. Celý proces byl zopakován i pro další namleté kávy II. a III.



Obrázek 44: Různé kávové frakce po absolvování sítové analýzy

U automatického analyzátoru byla na počátku sestavena jednotlivá síta na sebe, pomocí závitů byla utažena a na horní síto s největšími otvory bylo nasypáno 25 g jemně mleté kávy I. Na přístroji byla nastavena ideální frekvence otřesů na dobu 20 minut a po uplynutí tohoto času byla opět na filtrační papír vysypána jedna frakce za druhou ze všech využívaných sít, která byla následně převedena do kádinky a zvážena. Stejným procesem prošla i středně (II.) a hrubě (III.) namletá káva.



Obrázek 45: Sítový analyzátor

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

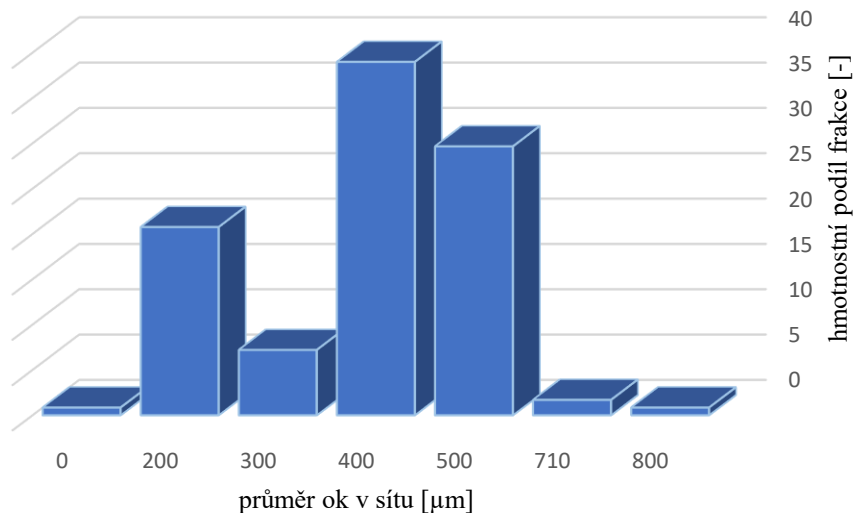
4.1 Sítová analýza namletých zrn

Na horní díl sestaveného síťového analyzátoru bylo vždy nasypáno zvolené množství namleté kávy o různé hrubosti (I., II. a III.) a po uplynutí 20 minut, během nichž docházelo k vibračním spojením s proséváním daného materiálu jednotlivými síty, byly jednotlivé frakce vysypány na filtrační papír z každého síta zvlášť. Každá frakce byla poté zvážena a sloužila jako výchozí materiál pro další výpočty.

Celý síťový analyzátor se skládal ze 6 sít, jež byla od nejmenšího průměru otvorů k těm největším zasazena do nádoby, která sloužila k pochytnímu naprostých reziduí frakcí. Každá frakce byla pečlivě zvážena, zapsána a po sečtení porovnána s výchozím množstvím používané kávy. Na základě získaných hodnot byl poté vypočítán hmotnostní podíl frakce x_i , zůstatek mleté kávy na daném sítu Z_i , propad meliva na daném sítu P_i a jejich podíly vyjádřené v procentech (Z a P). Z propadu meliva vyjádřeného v procentech a průměrů velikosti ok sít byly posléze sestaveny distribuční křivky.

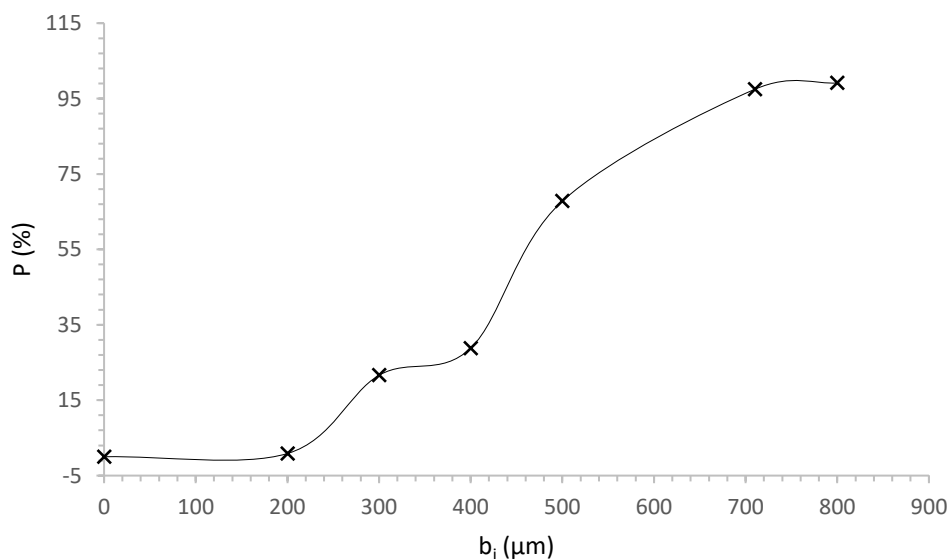
Tabulka 7: Vypočítané hodnoty veličin ze sítové analýzy pro nejjemněji namletou kávu I.

nejjemněji namletá káva I.							
navážka 25 g							
síto	b_i	m_i	x_i	Z_i	P_i	Z	P
	[μm]	[g]	[-]	[g]	[g]	[%]	[%]
1	800	0,2	0,85	0,2	23,4	0,85	99,15
2	710	0,4	1,69	0,6	23,0	2,54	97,46
3	500	7,0	29,66	7,6	16,0	32,20	67,80
4	400	9,2	38,98	16,8	6,8	71,19	28,81
5	300	1,7	7,20	18,5	5,1	78,39	21,61
6	200	4,9	20,76	23,4	0,2	99,15	0,85
spodní díl	0	0,2	0,85	23,6	0,0	100,00	0,00
celkem		23,6					
ztráty		1,4					



Obrázek 46: Graf vyjadřující podíl jednotlivých frakcí vzorku z nejjemněji namleté kávy

Z grafu je patrné, že množstevně největší frakce se po provedené analýze nacházela na prostředním sítu s otvory o průměru 400 μm . Podobně tomu bylo i u frakce zadržené na síti, jež se nacházelo v analyzátoru výše a jehož otvory velikostně odpovídaly 500 μm . Jelikož byla analyzována nejjemněji namletá káva, je pravděpodobné, že u sít s označením 400 a 500 μm došlo k zahlcení otvorů částicemi, a káva tak nemohla prostupovat dále. Největší zůstatky meliva byly spíše očekávány v nižších patrech síťového analyzátoru vzhledem k malé velikosti analyzovaných kávových částic, ale pravděpodobné zahlcení otvorů sít způsobilo zadržení frakce už ve vyšších patrech přístroje. Nicméně do posledního síta (200 μm) doputovala vlivem vibrací i poměrně obstojná frakce, jejíž částice velikostně odpovídaly předpokládané velikosti analyzovaného meliva. Třetí síto tak zachytilo frakci, jež odpovídala 28 % z celkového množství mleté kávy, frakce ze čtvrtého síta 36,8 %, zatímco frakce z posledního síta 19,6 %.

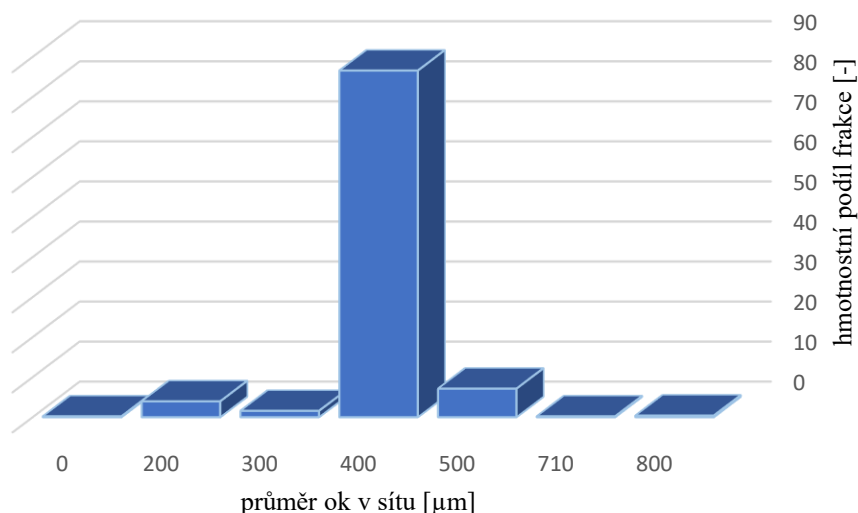


Obrázek 47: Graf integrální distribuční křivky nejjemnější kávy I.

Z vypočítaných hodnot byla vytvořena distribuční křivka pro analyzovaný vzorek nejjemněji namleté kávy vyjadřující závislost propadu meliva v procentech na velikosti otvorů v daných sítích. K téměř 100% propadu meliva došlo u prvních dvou sít (800 a 710 μm), jelikož zde nebyly zachyceny významnější podíly kávové frakce. K téměř třetinovému propadu zbylého meliva došlo u čtvrtého síta (400 μm) z důvodu zachycení největší frakce, která činila 36,8 % z analyzovaného 25 g vzorku nejjemněji mleté kávy. K zachycení kávových částic na tomto sítu mohlo pravděpodobně dojít vlivem zahlcení síťových otvorů, avšak u zbývajících 26 % analyzovaného vzorku došlo k propadu na nižší síta s menšími průměry ok.

Tabulka 8: Vypočítané hodnoty jednotlivých veličin pro středně namletou kávu II.

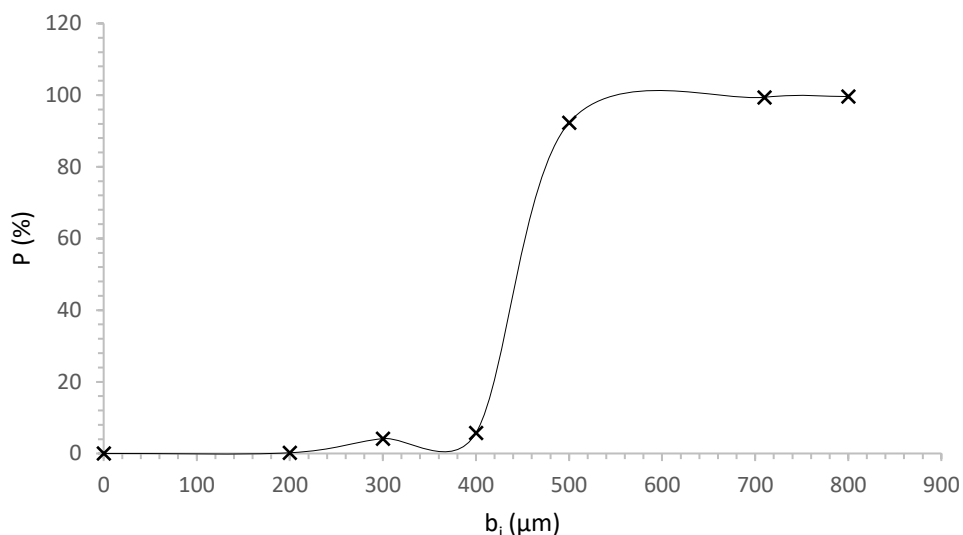
středně namletá káva II.							
navážka 25 g							
síto	b_i	m_i	x_i	Z_i	P_i	Z	P
	[μm]	[g]	[-]	[g]	[g]	[%]	[%]
1	800	0,10	0,40	0,10	25,20	0,40	99,60
2	710	0,05	0,20	0,15	25,15	0,59	99,41
3	500	1,80	7,11	1,95	23,35	7,71	92,29
4	400	21,90	86,56	23,85	1,45	94,27	5,73
5	300	0,40	1,58	24,25	1,05	95,85	4,15
6	200	1,00	3,95	25,25	0,05	99,80	0,20
spodní díl	0	0,05	0,20	25,30	0,00	100,00	0,00
celkem		25,3					
ztráty		0,0					
nadbytek		0,2-0,3					



Obrázek 48: Graf vyjadřující podíl jednotlivých frakcí vzorku ze středně mleté kávy

V další části byl analyzován 25 g vzorek středně mleté kávy II., jehož největší podíl byl stejně jako u předešlé analýzy zachycen na síte s velikostí otvorů 400 μm . Tato frakce odpovídala

87,6 % z celkové navážky analyzované kávy. I v tomto případě nemůžeme vyloučit eventuální zahlcení prosévacích otvorů čtvrtého síta částicemi, jelikož v porovnání s velikostí mletých kávových zrn z předešlé analýzy se jednalo o kávu, jejíž stupeň mletí byl o řád vyšší, než u nejjemnější kávy I.

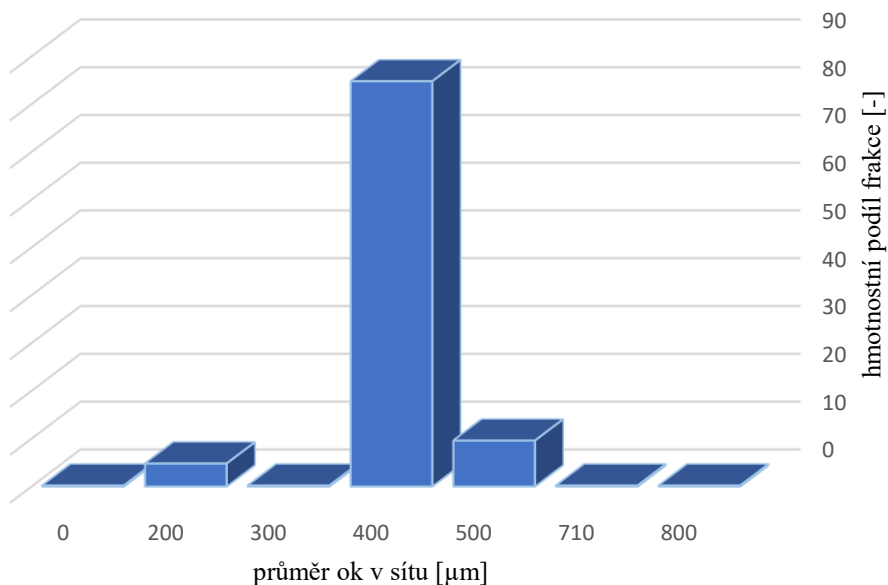


Obrázek 49: Graf integrální distribuční křivky středně namleté kávy II.

Z distribuční křivky je patrné, že k zadržení největší frakce došlo na 4. sítu (400 μm), jelikož největší procentuální propady meliva byly zaznamenány u prvních tří sít s největšími průměry otvorů (800, 710 a 500 μm). Síto s průměrem ok 500 μm zachytilo první identifikovatelnou frakci, avšak následné síto zachytilo téměř 88 % analyzovaného vzorku, díky čemuž už dále nedocházelo ke ztelnějším propadům meliva.

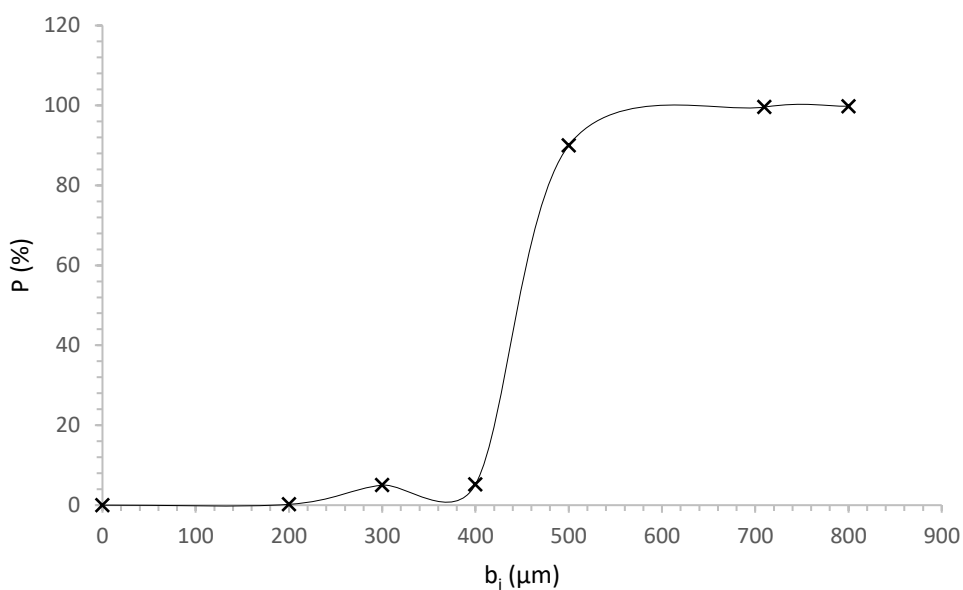
Tabulka 9: Vypočítané hodnoty ze síťové analýzy pro hrubě namletou kávu III.

hrubě namletá káva III.							
navážka 25 g							
síto	b_i [μm]	m_i [g]	x_i [-]	Z_i [g]	P_i [g]	Z [%]	P [%]
1	800	0,05	0,2	0,05	24,95	0,2	99,8
2	710	0,05	0,2	0,10	24,90	0,4	99,6
3	500	2,40	9,6	2,50	22,50	10,0	90,0
4	400	21,20	84,8	23,70	1,30	94,8	5,2
5	300	0,05	0,2	23,75	1,25	95,0	5,0
6	200	1,20	4,8	24,95	0,05	99,8	0,2
spodní díl	0	0,05	0,2	25,00	0,00	100,0	0,0
celkem		25,0					
ztráty		0,0					



Obrázek 50: Graf vyjadřující podíl jednotlivých frakcí vzorku ze hrubě mleté kávy

Velmi podobně tomu bylo i u poslední, hrubě mleté kávy III., u níž největší frakce vznikla stejně jako u předchozích 2 analýz na prostředním sítu, jehož otvory o velikosti $400 \mu\text{m}$ nepropustily většinu částic dál. V porovnání se středně mletou kávou se část frakce zachytila už i na větším síte ($500 \mu\text{m}$), avšak drtivá část meliva (téměř 85 %) neprošla přes následující síto dál. Stejně jako u předešlých pokusů mohlo i v tomto případě dojít k zahlcení otvorů síta, ale jelikož se jedná o největší velikost analyzovaných kávových částic, předpokládalo se jejich zachycení již v horních částech sítového analyzátoru.



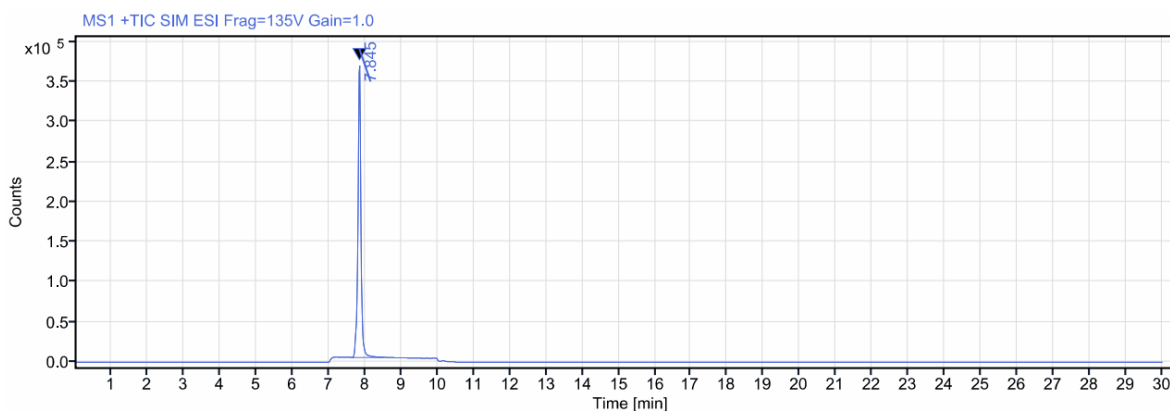
Obrázek 51: Graf integrální distribuční křivky hrubě namleté kávy III.

Distribuční křivka z poslední síťové analýzy vykazovala prakticky stejné chování, jako křivka získaná během analyzování středně hrubé kávy. K největším propadům meliva vyjádřených v procentech došlo u prvních 3 sít, jejichž otvory dosahují největších průměrů (800, 710 a 500 μm), tudíž drtivá většina vzorku byla zachycena u čtvrtého síta (400 μm). Tato frakce představovala 84,8 % z celkového vzorku, jež byl na začátku analýzy nasypán na horní síto analyzátoru. U dalších sít už vznikaly pouze velmi malé frakce meliva, jež bylo obtížnější identifikovat.

Na základě získaných grafů lze tudíž předpokládat podobnost výsledků u obsahu přítomných látek u středně mleté a hrubé kávy, jelikož mezi sebou neměly příliš velké rozdíly i přes odlišnou velikost mletých částic.

4.2 Stanovení kofeinu ve vzorcích kávy

Následné vyhodnocování v rámci této práce bylo zaměřeno na obsah kofeinu v kávových vzorcích, jež byly přichystány z čerstvě namletých kávových zrn. Z každého vzorku vyextrahované kávy připravovaného ze 3 rozdílných stupňů mleté kávy třemi zvolenými baristickými metodami dle postupu uvedeného v kapitole 3.5 byl získán chromatogram, na němž byl identifikován jeden výrazný kofeinový pík. Retenční časy charakterizovaného kofeinu se pohybovaly mezi hodnotami 7,77 až 7,99.



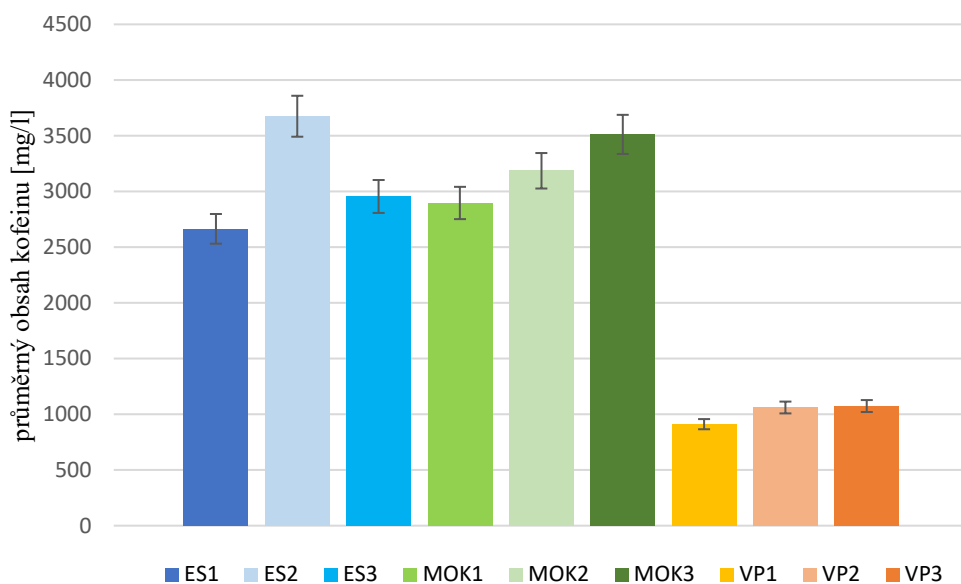
Obrázek 52: Záznam analýzy reálného vzorku kávy pomocí HPLC-MS

Během práce s HPLC přístrojem byla k měření využita pouze MS detekce, jelikož bylo zjištěno, že v průběhu analýzy s DAD detekcí koeluuje kyselina chlorogenová se stejným retenčním časem jako kofein. Díky tomu měly obě stanovované látky vrchol píku ve stejných místech při 270 nm a čistota kofeinového píku byla narušována přítomností kyseliny. Z toho důvodu bylo rozhodnuto o následné práci pouze s MS detektorem.

Tabulka 10: Výsledné koncentrace kofeinu v jednotlivých vzorcích kávy

název vzorku	c (x)	průměr $\bar{c}(x)$	$m_{\text{nápoj}}$	$\bar{m}_{\text{nápoj}}$	SMODCH	m (x)	$\bar{m}(x)$
	[mg/l]	[mg/l]	[mg]	[mg/30 ml; 50 ml; 400 ml]	[-]	[mg/g]	[mg/g]
ES 1.1	2442	2665	73	80	5,5	10	11
ES 1.2	2894		87			12	
ES 1.3	2657		80			11	
MOK 2.1	2790	2897	140	145	9,8	20	21
MOK 2.2	3172		159			23	
MOK 2.3	2727		136			19	
VP 3.1	887	911	355	364	6,9	14	15
VP 3.2	924		370			15	
VP 3.3	923		369			15	
ES 4.1	3654	3675	110	110	2,5	16	16
ES 4.2	3584		108			15	
ES 4.3	3787		114			16	
MOK 5.1	3044	3186	152	159	5,9	22	23
MOK 5.2	3183		159			23	
MOK 5.3	3330		167			24	
VP 6.1	1046	1061	418	424	4,5	17	17
VP 6.2	1074		430			17	
VP 6.3	1062		425			17	
ES 7.1	2871	2955	86	89	5,9	12	13
ES 7.2	2766		83			12	
ES 7.3	3228		97			14	
MOK 8.1	3949	3512	197	176	15,5	28	25
MOK 8.2	3316		166			24	
MOK 8.3	3272		164			23	
VP 9.1	1065	1074	426	430	2,6	17	17
VP 9.2	1081		432			17	
VP 9.3	1076		430			17	

Zkratky ES, MOK a VP v Tabulka 10 představují názvy jednotlivých baristických metod, jež byly využity k přípravě kávových vzorků. Z každého stupně mleté kávy bylo pomocí těchto 3 metod přichystáno celkem 9 vzorků, kdy vzorky pod označením 1.1–3.1 byly uvařeny z nejjemněji namleté kávy I., vzorky 4.1–6.3 ze středně hrubé kávy II., zatímco vzorky 7.1–9.3 z nejhruběji namleté kávy III. Vypočítaná množství obsaženého kofeinu v mg/l byla dále přepočítána na objem nápoje, s nímž bylo během analýzy pracováno (30 ml z ES, 50 ml z MOK a 400 ml z VP) včetně přepočtu množství kofeinu v 1 g kávy.



Obrázek 53: Porovnání průměrného obsahu kofeinu kávy připravené z různě hrubých káv různými baristickými metodami

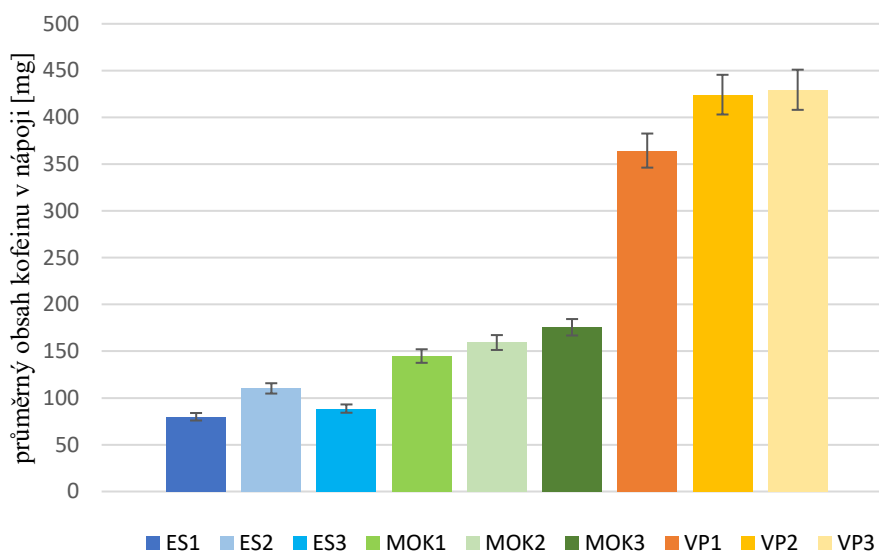
Vzorky espressa připravované pomocí pákového kávovaru a moka konvičky vykazovaly poměrně srovnatelné koncentrace kofeinu, zatímco káva připravená z Vacuum potu obsahovala téměř třetinový podíl kofeinu. Naproti tomu při porovnání s předešlými 2 metodami vykazovala tato metoda nejlepší opakovatelnost.

Za hlavním rozdílem mezi znázorněnými množstvími kofeinu stojí především odlišné objemy vařené kávy, jelikož mezi sebou byly porovnány koncentrace zkoumaného alkaloidu ze 30 ml espressa z kávovaru, 50 ml filtrované kávy z moka konvičky a 400 ml kávy uvařené pomocí Vacuum potu. Vacuum pot poskytoval vzorky s nejvíce koncentrovaným kofeinem, zatímco hodnoty vycházející ze vzorků z moka konvičky a kávovaru měly mezi sebou mnohem menší rozdíly. Toto chování lze přisuzovat i rozdílným objemům nápojů (30; 50; 400 ml) a navážkám kávy (7; 7; 25), jelikož by se dalo předpokládat, že z navážky 25 g bude káva o objemu 400 ml obsahovat více kofeinu, než 30 ml espresso ze 7 g navážky, avšak průměrné hodnoty vztažené na 1 litr nápoje toho nejsou přímým důkazem.

I přes nejkratší dobu extrakce a nejmenší objem extrahovaného kávového nápoje z pákového kávovaru (ES), u něhož byl předpokládán výskyt kofeinu ve vyšších koncentracích, pouze v jednom případě kofein markantněji převyšoval svým obsahem hodnoty naměřené ze vzorků z moka konvičky. Jeho nejvyšší průměrný obsah byl zaznamenán u espressa připravovaného ze středně namleté kávy na pákovém kávovaru, jehož hodnota dosahovala 3675 mg/l. Podobně vysokých hodnot dosáhly i vzorky připravované moka konvičkou z nejhruběji namleté kávy (3512 mg/l), avšak při vzájemném porovnání lze usoudit, že nejlepších koncentrací bylo dosaženo u káv připravovaných z kávy se středním stupněm mletí.

Bylo také zjištěno, že ve vzorcích vylouhovaných z nejjemněji umleté kávy byl výskyt kofeinu v porovnání s dalšími stupni ve všech případech nejmenší. Při detailnějším porovnání průměrných hodnot kofeinu v jednotlivých kávových nápojích se středně hrubá káva stala

nejlepší volbou pro přípravu espressa pomocí kávovaru, zatímco hrubá káva poskytovala vyšší obsahy kofeinu u káv uvařených moka konvičkou a Vacuum potem. Tyto výsledky tudíž potvrzují předpoklad vycházející ze síťové analýzy, který předpokládal podobnost mezi středně hrubou a hrubě namletou kávou, jež se prokázaly jako ideálněji zvolené stupně mleté kávy. Avšak dle získaných výsledků je evidentní, že na množství extrahovaného xathinového alkaloidu kofeinu nemá rozdílná hrubost namleté kávy přílišný vliv.



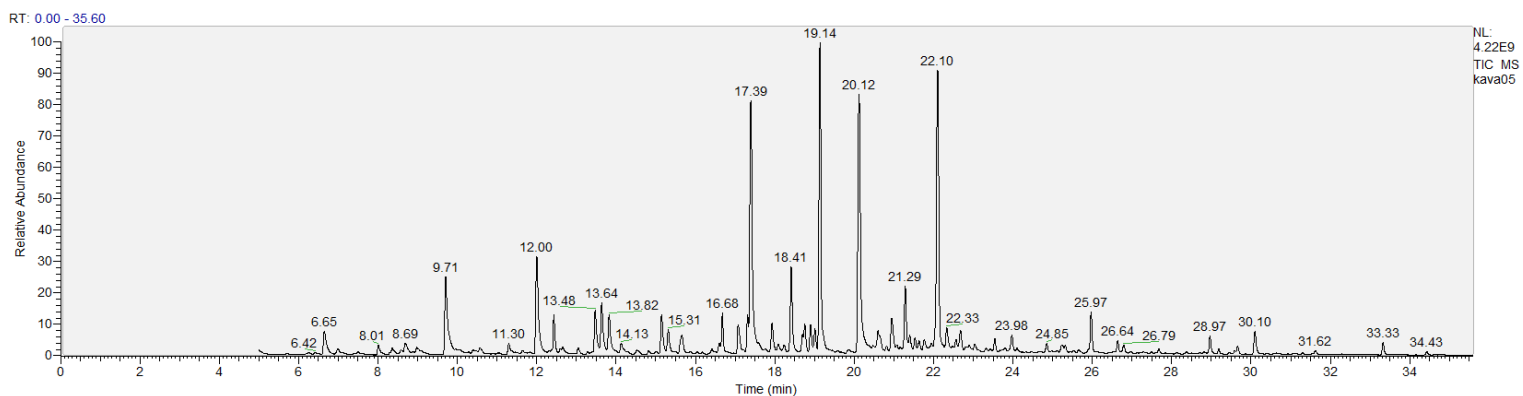
Obrázek 54: Graf porovnávající průměrné hodnoty obsahu kofeinu vztažených na objem kávového nápoje rozlišeného podle použité metody přípravy

Obsah kofeinu v libovolném kávovém nápoji se může pohybovat v rozmezí od 50 do 400 mg. Literatura uvádí, že na základě studií lze za typický šálek perkolované kávy považovat nápoj o objemu 150 ml obsahující až 85 mg kofeinu, zatímco uvařená káva obsahuje v průměru 57 mg kofeinu na 100 g kávy [21]. V espressu z pákového kávovaru se průměrně objevuje zhruba 63 mg kofeinu, avšak jehož množství může nabývat hodnot v rozmezí 60–80 mg na vyextrahovaných 30 ml z 8–10 g navážky kávy. Naměřené hodnoty espressa z kávovaru tudíž odpovídají předpokladům, jež vycházejí z predispozicí pražené Arabiky sloužící jako vstupní surovina [94]. Kofein z kávy vylouhované moka konvičkou ve všech případech převyšoval množství, jež byla zaznamenána ve vzorcích espressa, což mohlo být zapříčiněno větším objemem horkého nápoje (50 ml) v porovnání se vzorky z kávovaru (30 ml).

4.3 Stanovení obsahu vybraných těkavých aromatických látek

Kávové aroma spoluutváří nepřeborné množství různých aromatických látek, z nichž byly vybrány nejhojněji zastoupené látky, které byly v rámci experimentu sledovány. Ze 3 různě zvolených stupňů namleté kávy bylo třemi baristickými metodami na základě přesně stanovených postupů přípravy přichystáno celkem 27 vzorků, jež byly následně podrobeny

analýze na SPME-GC. Současně byla vytvořena kalibrační řada, z níž byly posléze vypočítány obsahy vybraných 10 aromatických těkavých látek v kávových vzorcích, jež byly před tím identifikovány pomocí retenčních časů z chromatogramu z dostupné knihovny (viz. Obrázek 55).



Obrázek 55: Příklad chromatogramu s charakteristickými píky těkavých látek z GC analýzy

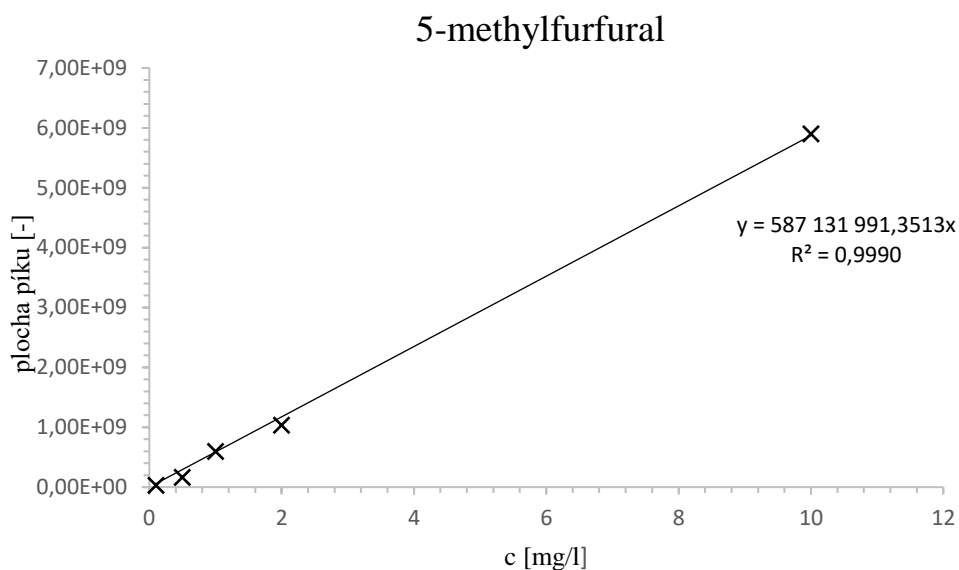
V rámci stanovování aromatických látek byla provedena příprava série kalibračních řad, v nichž byla jako první modelové prostředí použita káva. Tato kalibrační řada ale neposkytla příliš příznivé výsledky, a to zejména u všech stanovovaných derivátů, jejichž vygenerované kalibrační křivky neměly lineárně rostoucí charakter. Z toho důvodu byla tato překonzentrovaná kalibrační řada vyloučena a modelové prostředí v podobě kávy vyměněno za další rozpouštědlo. Proto byla směs standardů rozpuštěných v ethanolu tentokrát namísto kávy doplněna deionizovanou vodou. Kalibrační řada sice poskytovala daleko příznivější výsledky, avšak problémem byla nevyhovující opakovatelnost. Z toho důvodu byla vytvořena i třetí kalibrační řada, do níž byly přidány další kalibrační body za použití ethanolu jako doplňovacího rozpouštědla. Během GC analýzy byly u všech měření provedeny 2-3 vpichy skrz septum do vzorku, které s sebou mohly přinášet určitou chybovost, jelikož mohlo dojít k mírnému vytékání některých stanovovaných látek. Poslední kalibrační řada byla nakonec zvolena jako výchozí pro výpočet jednotlivých koncentrací 10 stanovovaných těkavých látek.

Tabulka 11: Údaje k vybrané aromatické látce

název látky	RT
	[min]
5-methylfurfural	20,1

Tabulka 12: Parametry 5-methylfurfuralu k vytvoření kalibrační řady

c	0,1	0,5	1,0	2,0	10,0
[mg/l]					
plocha	30199652,21	166745036,62	600527092,07	1038074975,20	5903844388,36



Obrázek 56: Kalibrační řada pro 5-methylfurfural

Na Obrázek 56 je uveden příklad kalibrační křivky vytvořené pro aromatickou látku 5-methylfurfural, která sloužila jako základ výpočtu koncentrace této látky v jednotlivých vzorcích kávy.

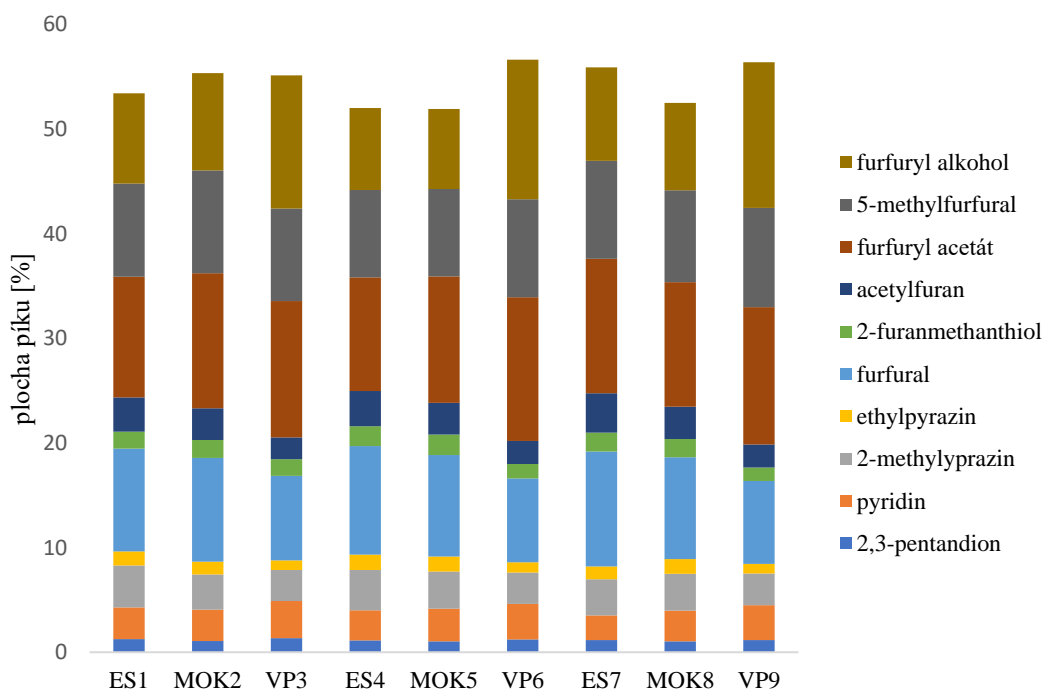
Tabulka 13: Tabulka relativních poměrů 10 aromatických látek vyjádřených v procentech

aromatická látka	baristická metoda s příslušnou hrubostí kávy (I., II., III.)								
	ES I.	MOK I.	VP I.	ES II.	MOK II.	VP II.	ES III.	MOK III.	VP III.
2,3-pentandion	1,24	1,07	1,34	1,12	1,03	1,23	1,18	1,04	1,16
pyridin	3,03	3,01	3,54	2,87	3,12	3,41	2,35	2,94	3,34
2-methylpyrazin	4,01	3,36	2,98	3,88	3,55	2,99	3,46	3,51	3,00
ethylpyrazin	1,37	1,21	0,93	1,47	1,45	0,96	1,23	1,40	0,94
furfural	9,82	9,93	8,07	10,36	9,70	8,03	10,98	9,73	7,90
2-furanmethanthiol	1,61	1,71	1,59	1,88	1,93	1,38	1,79	1,76	1,30
acetylfuran	3,26	3,01	2,06	3,36	3,04	2,19	3,76	3,07	2,19
furfuryl acetát	11,53	12,92	13,05	10,88	12,07	13,73	12,85	11,90	13,11
5-methylfurfural	8,91	9,81	8,83	8,34	8,35	9,36	9,37	8,78	9,49
furfuryl alkohol	8,63	9,32	12,74	7,84	7,64	13,33	8,92	8,34	13,94

V následující tabulce (viz. Tabulka 13) se nachází výčet relativních poměrů 10 stanovovaných aromatických látek, jež jsou vyjádřeny v procentuálním zastoupení v kávových vzorcích připravovaných 3 baristickými metodami ze tří různých stupňů mletí (I., II., III.). Jednotlivá procenta představují pouhý zlomek aromatického profilu vzorků, který je tvořen více než jen 10 těkavými látkami, na něž se zaměřuje tato práce. Součet ploch píků veškerých aromatických

látek nacházejících se v každém vzorku společně dává 100 %, ze kterých byly následně vypočítány procentuální podíly každé látky zvlášť. Jelikož byly každou metodou připraveny 3 vzorky kávy, vytvořil se průměr jejich změřených ploch píků, z nichž byly následně vypočítány relativní poměry daných látek, které figurují v příslušné tabulce pro každou metodu.

Z vypočítaných dat je zřejmé, že nejvíce zastoupenou těkavou látkou ve všech kávových vzorcích je furfuryl acetát následovaný furfurem, furfuryl alkoholem a 5-methylfurfurem, jež představují jedny z hlavních markerů kávové chuti. Procentuální zastoupení zbylých 6 látek se od sebe příliš nelišila a obvykle se pohybovala pod hranicí 4 %. Nejvyšší množství furfuryl acetátu bylo detekováno ve vzorcích připravených pomocí Vacuum potu ze středně hrubé kávy (13,73 %). Zbylé vzorky káv připravovaných z nejjemněji a nejhruběji namleté kávy extrahované Vacuum potem stejně jako u středně hrubého stupně obsahovaly více než 13 % této aromatické látky. Vysoký procentuální podíl furfuryl acetátu zaznamenaly i vzorky káv z pákového kávovaru a moka konvička, avšak Vacuum pot se na základě výsledků ukázal jako nejlepší baristická metoda poskytující nejvyšší množství této nejhojněji zastoupené aromatické těkavé látky.



Obrázek 57: Relativní poměry stanovovaných aromatických látek

Literatura předpokládá nejvyšší zastoupení těkavých látek ze strany furanů, a to zejména furfuryl acetátu a furfuryl alkoholu, jež jsou následovány 2-methylfuranem. Tento předpoklad tudíž odpovídá výsledkům získaným v této práci [89]. Kromě toho literatura uvádí, že zvyšující se stupeň mleté kávy určitým způsobem ovlivňuje výskyt některých aromatických látek, jejichž obsah se s měnící se velikostí kávových částic mírně zvyšuje. To může být pozorováno u koncentrace 2-methylfuranu, ale zejména u furfuryl acetátu a furfuryl alkoholu. Naopak 5-methylfurfural a furfural prakticky nezaznamenají nárůst množství vlivem zvětšujících se částic. Mírný nárůst koncentrace může v závislosti na velikosti kávových částic zaznamenat

i 2,3-pentandion, který ale na základě naměřených výsledků patří mezi 2. nejméně zastoupenou aromatickou látku z vybraných standardů.

Jak již bylo uvedeno, na obsahu těkavých látek se podílí velikost částic, jelikož na základě literatury je vyšší obsah některých aromatických látek připisován snižující se velikosti částic, které urychlují extrakci horkého nápoje a podporují lepší difuzi těchto látek. Přítomnost látek utvářejících kávové aroma může být výsledkem výskytu různých odchylek vzniklých během procesu pražení, jež mohou zapříčinit i změny ve výsledném aromatickém profilu. Jedním z faktorů tak může být délka pražení, protože čím déle bude káva pražena, tím více bude docházet ke zvyšování obsahu daných látek.

Za nejméně zastoupenou těkavou látku lze na základě vypočítaného procentuálního podílu ze všech kávových vzorků označit ethylpyrazin, jež byl následovaný 2,3-pentandionem.

Při porovnání použitých baristických metod bylo vyzorováno, že nejvyšší procentuální zastoupení látek se nacházelo především u vzorků připravovaných pomocí Vacuum potu či pákového kávovaru. To by tudíž potvrdovalo část teorie diskutující o vyšším obsahu některých aromatických látek zapříčiněných menším průměrem namletých částic, jako je tomu u vzorků připravených pákovým kávovarem. Naproti tomu obsah těkavých látek ve vzorcích kávy vylouhovaných pomocí moka konvičky téměř ve všech případech nedosahoval takových hodnot, aby mohla být tato metoda zvolena za nejlepší. Z použitých stupňů mleté kávy se nedá přesně určit jeden, jenž by v porovnání s ostatními vynikal v takové míře, že by byl označený za nejideálnější, avšak na základě naměřených dat můžeme konstatovat, že vyšší obsahy vybraných těkavých látek se častěji objevovaly jak u nejjemněji namleté kávy, tak i u hrubě mleté Arabiky.

Tabulka 14: Vypočítané obsahy studovaných aromatických látek vztažených na 1 kg kávy

název vzorku	2,3-pentandion	pyridin	2-methylpyrazin	ethylpyrazin	2-furanmethanthiol
	m (x)	m (x)	m (x)	m (x)	m (x)
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
ES 1.1	63	210	575	61	9
ES 1.2	76	261	733	222	9
ES 1.3	63	234	739	74	7
MOK 2.1	66	283	827	84	7
MOK 2.2	79	312	735	88	15
MOK 2.3	83	321	681	74	13
VP 3.1	118	427	844	82	14
VP 3.2	114	453	788	73	12
VP 3.3	106	394	721	67	12

název vzorku	2,3-pentandion	pyridin	2-methylpyrazin	ethylpyrazin	2-furanmethanthiol
	m (x)	m (x)	m (x)	m (x)	m (x)
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
ES 4.1	52	166	528	61	9
ES 4.2	59	234	618	70	9
ES 4.3	55	207	652	75	8
MOK 5.1	67	329	845	100	13
MOK 5.2	76	319	742	92	13
MOK 5.3	72	293	760	97	13
VP 6.1	115	424	860	87	12
VP 6.2	87	387	725	71	10
VP 6.3	94	362	676	62	9
ES 7.1	41	128	419	45	7
ES 7.2	50	151	435	46	6
ES 7.3	52	129	466	50	7
MOK 8.1	42	292	786	99	12
MOK 8.2	40	295	775	97	13
MOK 8.3	39	232	582	62	8
VP 9.1	7	368	722	69	10
VP 9.2	6	317	669	63	9
VP 9.3	5	335	618	57	8

Tabulka 15: Pokračování vypočítaných hodnot aromatických látek z Tabulka 14

název vzorku	furfural	acetylfuran	furfurylacetát	5-methylfurfural	furfurylalkohol
	m (x)	m (x)	m (x)	m (x)	m (x)
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
ES 1.1	126	50	63	118	324
ES 1.2	156	64	62	123	330
ES 1.3	148	56	55	109	317
MOK 2.1	188	62	68	164	503
MOK 2.2	187	74	96	173	426
MOK 2.3	193	70	99	168	441
VP 3.1	194	61	107	190	751
VP 3.2	173	53	104	177	762
VP 3.3	180	52	104	170	700

název vzorku	furfural	acetylfuran	furfurylacetát	5-methylfurfural	furfurylalkohol
	m (x)	m (x)	m (x)	m (x)	m (x)
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
ES 4.1	143	55	52	101	272
ES 4.2	129	52	52	99	266
ES 4.3	139	52	50	97	262
MOK 5.1	175	67	78	142	364
MOK 5.2	181	70	81	144	377
MOK 5.3	193	68	84	139	369
VP 6.1	204	66	112	199	743
VP 6.2	167	55	106	184	760
VP 6.3	149	48	100	161	713
ES 7.1	116	48	49	91	241
ES 7.2	109	44	49	87	238
ES 7.3	134	54	52	98	270
MOK 8.1	185	69	76	143	378
MOK 8.2	173	69	79	136	359
MOK 8.3	152	54	67	134	385
VP 9.1	161	54	89	170	682
VP 9.2	152	49	97	169	677
VP 9.3	140	47	82	150	692

Tabulka 14 a Tabulka 15 prezentují vypočítaná množství 10 stanovovaných aromatických látek v mg přepočítaných na 1 kg kávy. Z obou tabulek je patrné, že nejvíce zastoupenou látkou v jednom kilogramu mleté kávy je 2-methylpyrazin, po němž následuje druhý nejvíce zastoupený furfuryl alkohol. Při vzájemném porovnávání vypočítaných hodnot lze konstatovat, že nejnižší koncentrace látek byly zaznamenány u vzorků připravovaných pákovým kávovarem, zatímco nejvyšší koncentrace těkavých látek poskytovaly zejména vzorky kávy vyextrahované Vacuum potem. Za ideálně zvolenou hrubost mleté kávy lze podle těchto výsledků považovat nejjemněji namletou kávu I., která u většiny látek poskytovala vyšší koncentrace.

Je známo, že aromatické látky, jež ve své struktuře obsahují síru, z velké části zodpovídají za charakteristické aroma pražené kávy. Jednou z těchto sloučenin je i 2-furanmethanthiol, jehož výskyt v čerstvě pražené kávě hraje zásadní roli. Obvykle jsou tyto látky přítomné pouze ve stopovém množství vzhledem k nízkému bodu vzplanutí spolu s tendencí podléhat oxidačním degradačním reakcím probíhajícím v kávových zrnech. To potvrzují i naměřené výsledky, v nichž byla zaznamenána přítomnost 2-furanmethalthiolu v nejnižších koncentracích ze všech kávových vzorků [97].

4.4 Zpracování dat v programu Statistica

Naměřená data byla na závěr porovnána pomocí statistického aparátu, k čemuž byl využit program Statistica, v němž byla provedena shluková analýza, analýza hlavní komponent PCA,

jednofaktorová analýza rozptylu ANOVA, Kruskal-Wallis ANOVA spolu s vytvořením různých 3D grafů.

4.4.1 Statistické zpracování kofeinu

Jednotlivé baristické metody byly ve vygenerovaných tabulkách označeny zkratkami ES pro kávovar, MOK pro moka konvičku a VP pro Vacuum pot. Vzorky z nejjemněji namleté kávy byly označeny pod písmenem A, ze středně hrubé kávy B a nejhrubší kávy C.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; kofein 30 ml (List1 in koncentrace do statistiky)						
Independent (grouping) variable: metoda						
Kruskal-Wallis test: H (2, N= 9) =5,955556 p =,0509						
Depend.:	Code	Valid N	Sum of Ranks	Mean Rank		
kofein 30 ml						
ES A	1	3	8,00000	2,666667		
ES B	2	3	24,00000	8,000000		
ES C	3	3	13,00000	4,333333		

Obrázek 58: Kruskal-Wallis ANOVA aplikovaná na vzorky připravené kávovarem z různých frakcí

Na základě provedené Kruskal-Wallis analýzy můžeme říci, že vzorky kávy připravované pákovým kávovarem se z hlediska obsahu kofeinu v závislosti na použité hrubosti kávy od sebe statisticky významně neliší s p hodnotou 0,0509. Jelikož byla nulová hypotéza založena na předpokladu p hodnoty menší než 0,05, je získaná hraniční p hodnota poměrně diskutabilním výsledkem, zda by přesnost tohoto tvrzení mohlo zvýšit množství opakování.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; kofein 30 ml (List1 in koncentrace do statistiky)						
Independent (grouping) variable: metoda						
Kruskal-Wallis test: H (2, N= 9) =5,066667 p =,0794						
Depend.:	Code	Valid N	Sum of Ranks	Mean Rank		
kofein 30 ml						
MOK A	1	3	7,00000	2,333333		
MOK B	2	3	16,00000	5,333333		
MOK C	3	3	22,00000	7,333333		

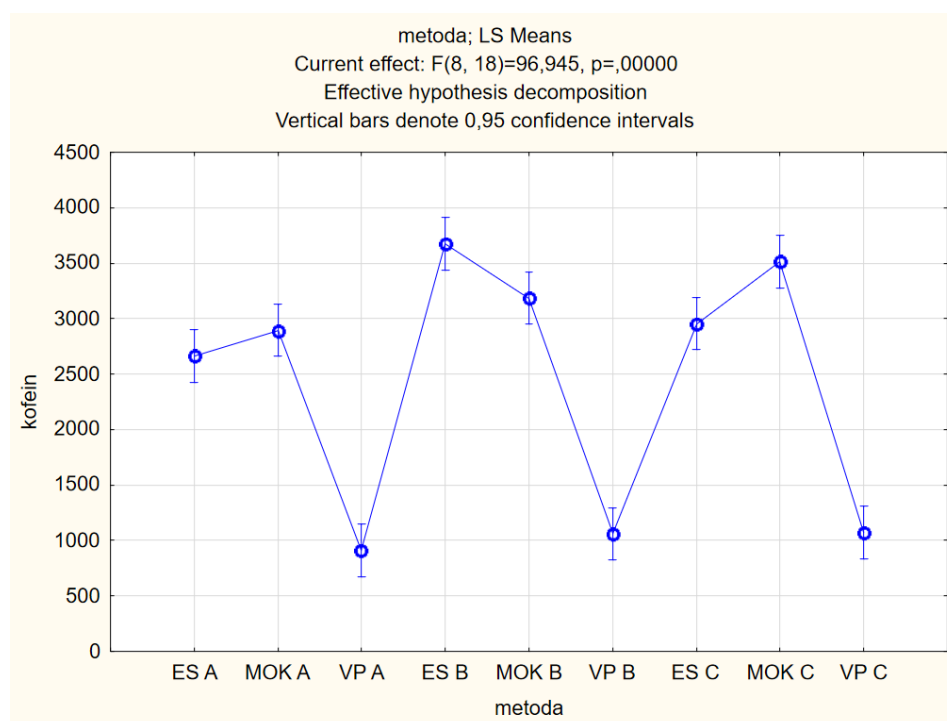
Obrázek 59: Kruskal-Wallis ANOVA aplikovaná na vzorky připravené moka konvičkou z různých frakcí

Na základě získaných výsledků Kruskal-Wallis analýzy můžeme konstatovat, že vzorky kávy připravované moka konvičkou se z hlediska obsahu kofeinu v závislosti na různé mleté kávě od sebe statisticky významně neliší s p hodnotou 0,0794.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; kofein 30 ml (List1 in koncentrace do statistiky)						
Independent (grouping) variable: metoda						
Kruskal-Wallis test: H (2, N= 9)=6,488889 p =,0390						
Depend.: kofein 30 ml	Code	Valid N	Sum of Ranks	Mean Rank		
VP A	1	3	6,00000	2,000000		
VP B	2	3	16,00000	5,333333		
VP C	3	3	23,00000	7,666667		

Obrázek 60: Kruskal-Wallis ANOVA aplikovaná na vzorky připravené Vacuum potem z různých frakcí

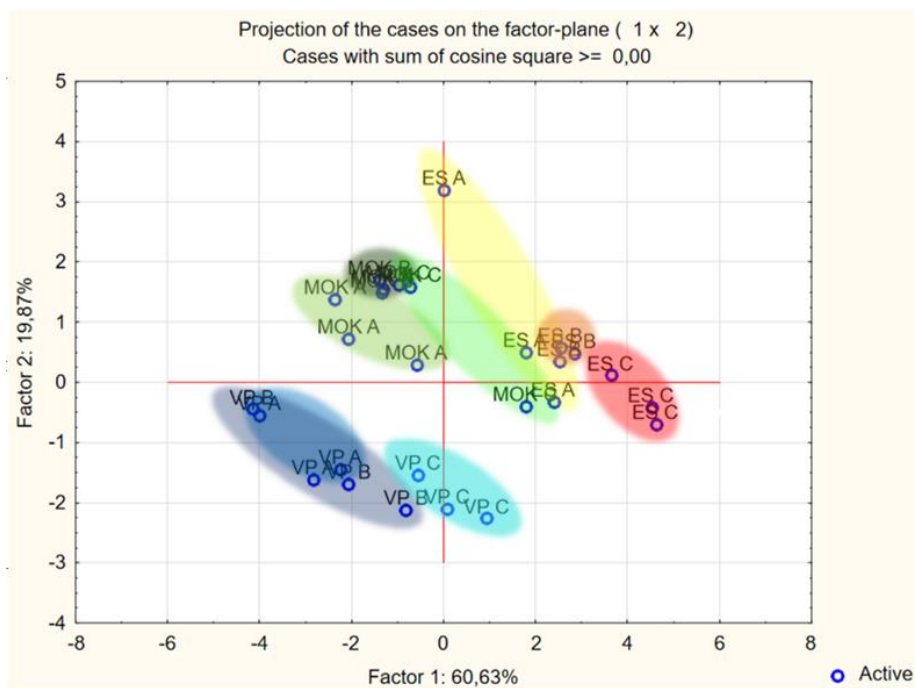
Dle výsledků z Kruskal-Wallis analýzy můžeme říci, že vzorky kávy uvařené pomocí Vacuum potu se z hlediska obsahu kofeinu v závislosti na odlišné hrubosti kávy od sebe statisticky významně liší s p hodnotou 0,0390.



Obrázek 61: Graf vyjadřující koncentrační zastoupení kofeinu ve vzorcích kávy připravovaných 3 metodami

Jednofaktorová analýza rozptylu stejně jako vypočítaná data z kapitoly 4.2 potvrdila, že nejvyšší množství kofeinu se nachází v kávových vzorcích vylouhovaných prostřednictvím kávovaru a moka konvičky především ze středně hrubé a hrubě mleté kávy, zatímco u vzorků z Vacuum potu byl jeho výskyt zaznamenán nejméně, avšak tato metoda vykazovala nejlepší opakovatelnost. Tudíž byly prokázány statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými baristickými metodami na obsah kofeinu.

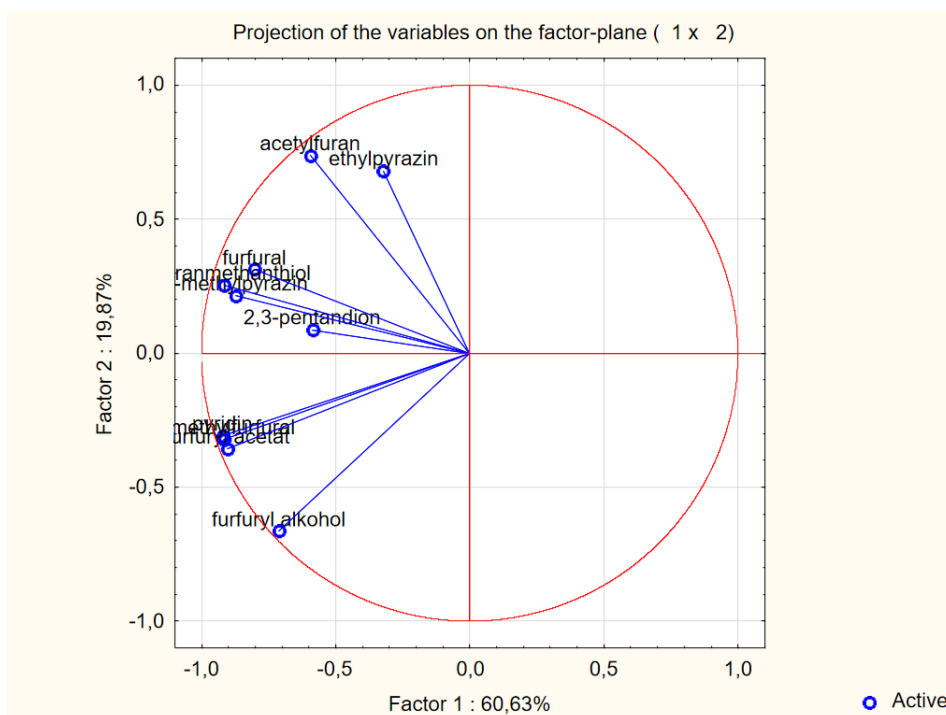
4.4.2 Statistické zpracování aromatických látek



Obrázek 62: Aplikovaná analýza hlavních komponent u jednotlivých baristických metod

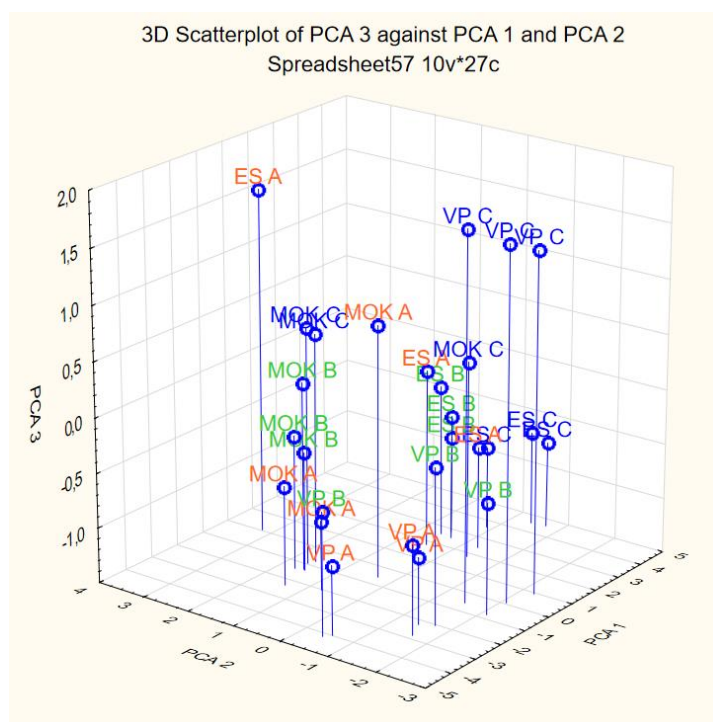
V grafu vygenerovaném pomocí analýzy hlavních komponent PCA je zobrazena projekce pozorování vzorků kávy do faktorové roviny hlavních komponent 1 a 2, jež slouží k interpretaci získaných dat na základě vizualizace. Podstatou analýzy je provedení shlukování proměnných v prostoru, na jejichž základě je možné hledat charakteristické znaky. Během procesu dochází k vytváření nových proměnných, jelikož původním proměnným jsou přiřazeny nové komponenty po provedení analýzy. PCA analýza se nám tak snaží maximalizovat rozdíly mezi jednotlivými daty.

Z obrázku lze vypožorovat, že vzorky kávy připravovaných pomocí pákového kávovaru ze všech stupňů mleté kávy byly projektovány do oblasti s pozitivním skóre pro hlavní komponenty 1 i 2. Při porovnání s grafem projekce aromatických látek ze vzorků z Obrázek 63 můžeme říci, že vzorky připravované pákovým kávovarem obsahují malá množství furfuryl alkoholu, furfuryl acetátu nebo například pyridinu.



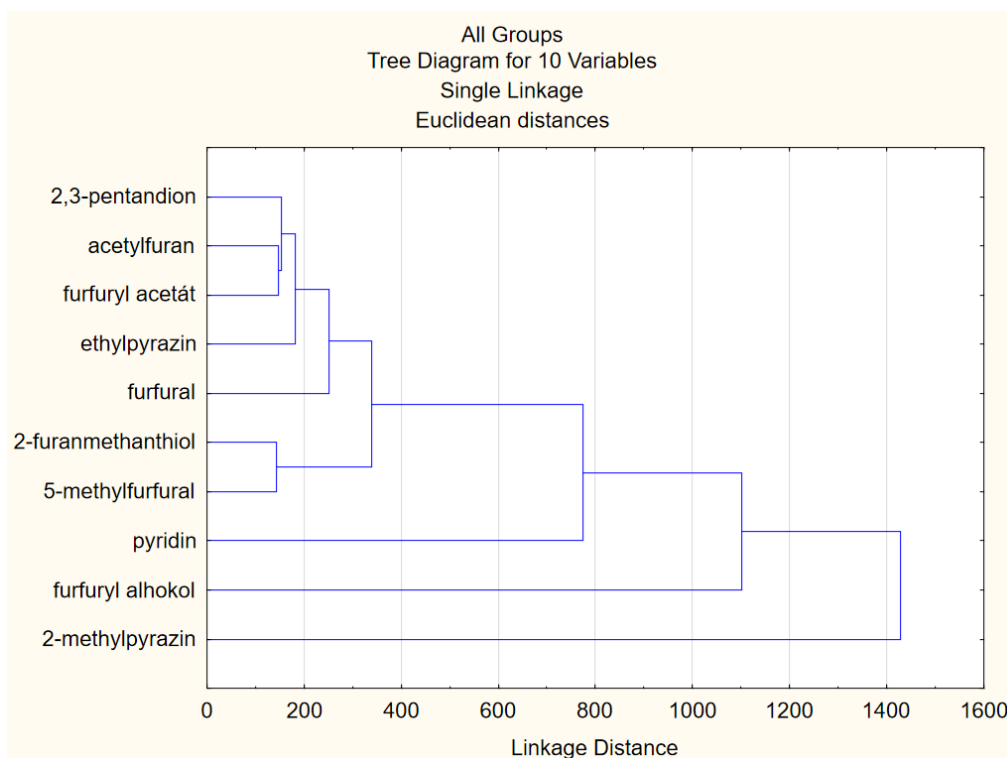
Obrázek 63: Projekce pozorování (vzorků kávy) do faktorové roviny hlavních komponent 1 a 2

Dále lze vyčíst, že ve vzorcích kávy vyextrahovaných ze všech tří stupňů mleté kávy pomocí Vacuum potu vyprojektovaných do oblasti s negativním skóre pro hlavní komponenty 1 a 2 se nachází největší množství aromatických látek jako furfuryl acetát, furfuryl alkohol či pyridin. To odpovídá výsledkům vypočítaných koncentrací vztahených na 1 kg kávy z Tabulka 15.



Obrázek 64: 3D bodový graf v prostoru

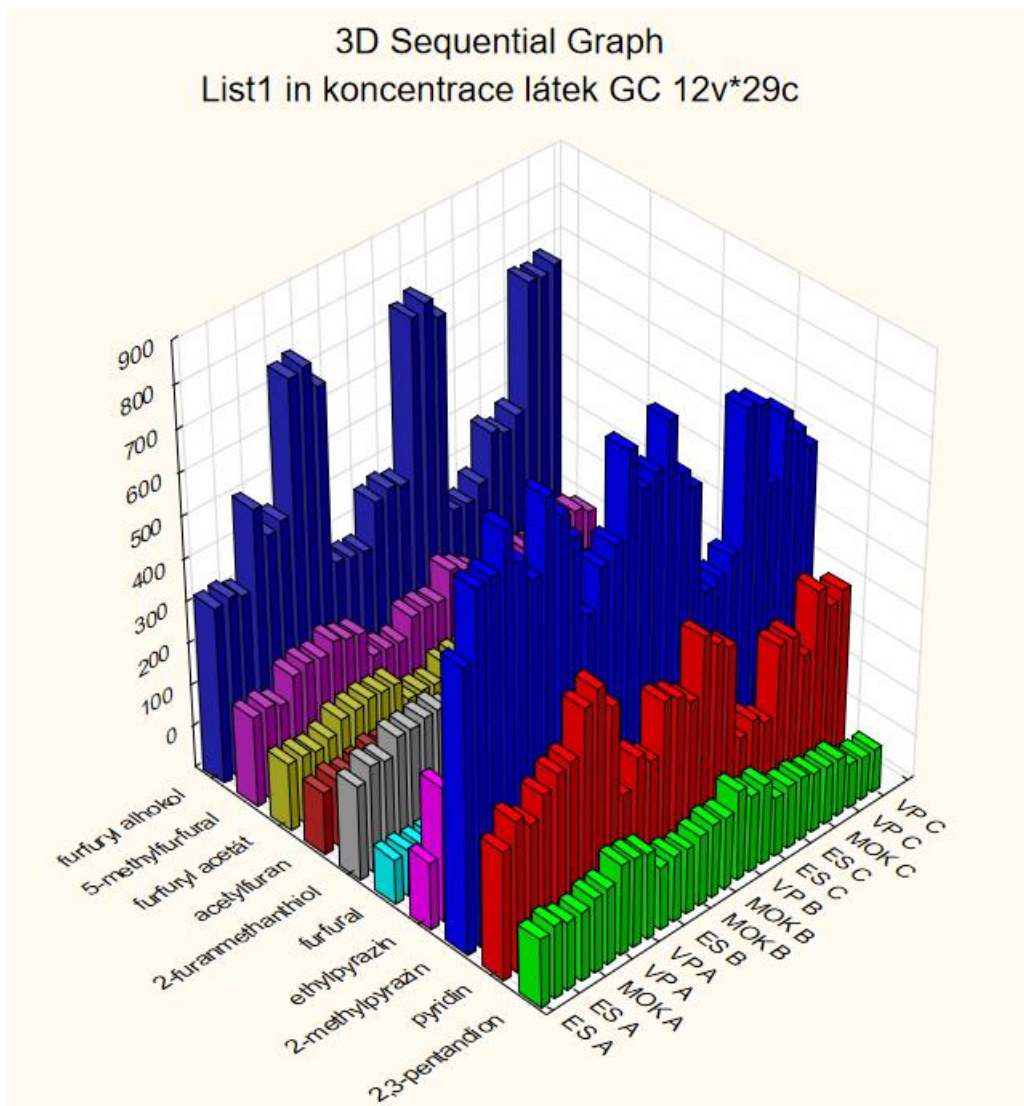
Pomocí programu byly nejdříve zjištěny koordináty jednotlivých pozorování pro hlavní komponenty. Z těch byl následně pomocí programu vytvořen 3D bodový graf v prostoru. Díky tomu můžeme pozorovat vznik jednotlivých shluků v prostoru a zejména diferenciaci mezi stupni mleté kávy a použitými baristickými metodami.



Obrázek 65: Dendrogram vygenerovaný shlukovou analýzou pro 10 aromatických látek

Jako další byla provedena shluková analýza, jejíž podstata tkví v objektivním seskupování jednotlivých vzorků do množin na základě jejich podobnosti či rozdílnosti. Cílem této metody bylo vytvoření množin seskupených na základě podobnosti proměnných a nalezení podmnožiny v dané množině objektů. Výstupem této hierarchické metody je horizontální dendrogram. Jednotlivé shluky 10 studovaných aromatických látek tak byly porovnávány na základě množství vztažených na 1 kg kávy, v nichž se nacházely v kávových vzorcích.

Signifikantní rozdíl byl zaznamenán především mezi množstvím 2-methylpyrazinu a 2,3-pentandionu, jež se nacházeli na opačných koncích dendrogramu. Výrazný cluster společně vytvořili 2-methylpyrazin, furfuryl alhokol a pyridin, tedy došlo k vytvoření podobného shluku, jako tomu bylo i u analýzy hlavních komponent. Všechny 3 látky vykazovaly nejvyšší koncentrace v analyzovaných vzorcích. Vlastní cluster vytvořil 5-methylfurfural společně s 2-furanmethanthiolem, čímž se tak odlišili od skupiny ostatních látek. Zbylé látky společně vytvořily jeden větší shluk znázorňující jejich nižší koncentrace ve vzorcích.



Obrázek 66: 3D graf v prostoru znázorňující množství 10 aromatických látek připravovaných různými metodami

Na závěr byl ještě vygenerován 3D graf v prostoru znázorňující koncentrační zastoupení všech 10 látek vztažených na 1 kg kávy. Tato data pocházela ze vzorků připravovaných 3 vybranými baristickými metodami ze nejjemněji, středně a hrubě mleté kávy.

Na základě prostorové vizualizace lze říci, že nejhodněji zastoupeným standardem byl v kávových vzorcích 2-methylpyrazin společně s furfuryl alkoholem. Kromě toho se poměrně významným množstvím prokázal i přítomný pyridin a za nevhodnější baristickou metodu lze tudíž zvolit Vacuum pot, jež poskytoval vyšší koncentrace prakticky u všech stanovovaných látek v nápoji.

5 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vzájemně porovnat reálné kávové vzorky připravené ze 3 rozdílných stupňů mleté kávy, na jejichž základě byl zkoumán vliv distribuce velikosti částic na koncentraci kofeinu a aromatických sloučenin. Vzorky byly připravovány podle přesně stanoveného postupu pomocí 3 baristických metod, u nichž bylo cílem prozkoumat účinnost a zejména vliv zvolené baristické metody na obsah vybraných látek. Z takto připravených vzorků bylo následně pomocí HPLC analyzováno množství obsaženého kofeinu včetně identifikace 10 vybraných těkavých aromatických látek metodou SPME-GC. K příslušným analýzám byly přichystány i kalibrační řady, jež byly následně použity k vyhodnocování získaných dat.

Z brazilské zrnkové kávy byly pomocí profesionálního mlýnku vytvořeny 3 frakce s rozdílnou velikostí částic, které sloužily jako základ pro přípravu celkem 27 vzorků, jež byly posléze analyzovány na základě vybraných instrumentálních technik. Pro hlavní experiment byl zvolen pákový espresso kávovar, moka konvička a Vacuum pot, pomocí nichž byly kávové vzorky připravovány identickým způsobem, jak by tomu bylo i v kavárně.

Na základě analyzovaných dat můžeme říci, že nejvyšší koncentrace kofeinu byly zaznamenány u 30 ml espressa připravovaného pákovým kávovarem, a to zejména ze středně mleté kávy II., která se prokázala jako nejideálnější stupeň mleté kávy. Takto připravené espresso z kávy Arabika o objemu 30 ml na základě výsledků obsahovalo v průměru až 110 mg kofeinu. Velmi podobných výsledků dosahovaly i kávové vzorky připravované v moka konvičce, v níž provedená extrakce zajistila vyšší zastoupení kofeinu ve vzorcích z nejhruběji umleté kávy (176 mg/50 ml). Tyto výsledky mimo jiné potvrzovaly i hodnoty vztažené na gram kávy, jelikož vzorky z nejhrubší kávy uvařené prostřednictvím moka konvičky obsahovaly 25 mg kofeinu na 1 g mleté kávy, zatímco 1 g středně hrubé kávy obsahoval 23 mg. Dosažené výsledky byly pravděpodobně příčinou použití hrubší frakce, která usnadňovala perkolaci kávových vzorků, jelikož došlo ke vzniku větších kanálků v kávovém koláči, jimiž tak extrakční voda proudila daleko rychleji a do výsledného nápoje došlo k uvolnění většího množství stanovovaného alkaloidu. Avšak z výsledků je evidentní, že na množství extrahovaného kofeinu nemá hrubost mletí přílišný vliv.

Bylo zjištěno, že transport těkavých sloučenin do kávového nápoje může být ovlivněn nejen velikostí částic z pomletého kávového zrna, ale i baristickou metodou zvolenou k extrakci dané kávy. Vypočítané relativní poměry veškerých aromatických látek, na něž byla zaměřena tato práce, prokazovaly, že nejvíce zastoupenou těkavou látkou je furfuryl acetát, který se vyskytoval v kávových vzorcích v průměru okolo 13 %. Dalšími hojně zastoupenými látkami byly furfuryl alkohol, furfural či 5-methylfurfural, čímž potvrzovaly předpoklady uvedené v literatuře. Nejvyšší množství furfuryl acetátu bylo zaznamenáno zejména u vzorků připravovaných Vacuum potem, který se jevil jako nejvhodnější baristická metoda poskytující vyšší zastoupení aromatických sloučenin vyextrahovaných do horkého nápoje. Ačkoliv se z hlediska vyššího výskytu aromatických látek Vacuum pot prokázal jako nejlepší metoda, na extrakci kofeinu měly větší vliv tlakové metody.

V kávách připravovaných z nejjemněji namleté kávy vlivem účinnější a rychlejší extrakce figurovaly vyšší obsahy stanovovaných látek, jejichž obsahy byly přepočítány a vztaženy na 1 kg kávy. Z toho vyplývá prokazatelný vliv zvolené velikosti částic na účinnost extrakce, jelikož jemnější kávové frakce poskytují větší množství těkavých látek a k extrakci samotného nápoje dochází v kratším časovém intervalu. Tyto výpočty byly základem zjištění, že ve vzorcích přepočítaných na kilogram kávy byl z vybraných standardů nejvíce zastoupen 2-methylpyrazin následovaný furfuryl alkoholem.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ALAMRI, Eman, Mahmoud ROZAN a Hala BAYOMY. A study of chemical Composition, Antioxidants, and volatile compounds in roasted Arabic coffee. *Saudi Journal of Biological Sciences* [online]. 2022, **29**(5), 3133-3139 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1319562X. Dostupné z: doi:10.1016/j.sjbs.2022.03.025
- [2] BADMOS, Sabur, Seung-Hun LEE a Nikolai KUHNERT. Comparison and quantification of chlorogenic acids for differentiation of green Robusta and Arabica coffee beans. *Food Research International* [online]. 2019, **126** [cit. 2023-04-21]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2019.108544
- [3] VIGNOLI, Josiane Alessandra, Marcelo Caldeira VIEGAS, Denisley Gentil BASSOLI a Marta de Toledo BENASSI. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. *Food Research International* [online]. 2014, **61**, 279-285 [cit. 2023-04-21]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2013.06.006
- [4] REED, N.R. a E.S.C. KWOK. Furfural. *Encyclopedia of Toxicology* [online]. Elsevier, 2014, 2014, 685-688 [cit. 2023-04-21]. ISBN 9780123864550. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-386454-3.00147-0
- [5] PARENT, Richard A. Furfural. *Encyclopedia of Toxicology* [online]. Elsevier, 2005, 2005, 394-397 [cit. 2023-04-21]. ISBN 9780123694003. Dostupné z: doi:10.1016/B0-12-369400-0/00441-5
- [6] ESEYIN, Anthonia, E. a Philip, H. STEELE. An overview of the applications of furfural and its derivatives. *International Journal of Advanced Chemistry* [online]. 2015, **3**(2), 42-47 [cit. 2023-04-21]. ISSN 2310-2977. Dostupné z: doi:10.14419/ijac.v3i2.5048
- [7] MAREČEK, Zdeněk. Chemické složení kávy. *Lázeňská káva s. r. o.* [online]. 2016–2023, 27. 3. 2022 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.lazenskakava.cz/chemicke-slozeni-kavy/>
- [8] BYDLENI.CZ. Příprava kávy - legendy a historie [online]. ABSTRACT, 2011 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1214 - 5548. Dostupné z: <https://www.bydleni.cz/clanek/Historie-pripravy-kavy>
- [9] DAVIES VESELÁ, Petra. *Velká kniha o kávě*. Praha: Smart Press, 2018. ISBN 978-80-88244-05-9.
- [10] EHRENBERGEROVÁ, Lenka. ČASOPIS ŽIVA. *Agrolesnictví a plantáže kávovníku / Agroforestry and Coffee Plantations* [online]. Nakladatelství Academia, 2014 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/2014-1/agrolesnictvi-a-plantaze-kavovniku.html>
- [11] NEHYDA, Luboš. Jak pěstovat kávovník. *NATURHELP.CZ* [online]. 2021, 3. 3. 2020 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://naturhelp.cz/jak-pestovat-kavovnik/>
- [12] MAREČKOVÁ, Veronika. Kávovník. *Lázeňská káva s. r. o.* [online]. 2016–2023, 20. 3. 2022 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.lazenskakava.cz/kavovnik/>
- [13] PENDZHIEV, A. M. Obsah kávových zrn. Složení kávy. *PODSOLKO* [online]. 2021, 14. 12. 2022 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://podsolko.ru/cs/blanks/soderzhanie-kofeinogo-zerna-sostav-kofe-naskolko-kofe-polezen/>

- [14] TAMBE, Y. Coffe bean structure. In: *Feedipedia: Animal Feed Resources Information System* [online]. 2012–2022 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.feedipedia.org/content/coffee-bean-structure>
- [15] OLECHNO, Ewa, Anna PUŚCION-JAKUBIK, Małgorzata Elżbieta ZUJKO a Katarzyna SOCHA. Influence of Various Factors on Caffeine Content in Coffee Brews. *Foods* [online]. 2021, **10**(6) [cit. 2023-04-21]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods10061208
- [16] Srovnání zrnkové kávy Arabiky a Robusty. *COFFESPOT.cz* [online]. 2011–2023, 28. 12. 2022 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.coffeespot.cz/blog/rozdily-kava-arabica-robusta>
- [17] MAREČKOVÁ, Veronika. Arabica vs Robusta. Jaký je rozdíl?. *Lázeňská káva s. r. o.* [online]. 2016–2023, 11. 1. 2021 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.lazenskakava.cz/arabika-ci-robusta/>
- [18] JEON, Jong-Sup, Han-Taek KIM, Il-Hyung JEONG, et al. Contents of chlorogenic acids and caffeine in various coffee-related products. *Journal of Advanced Research* [online]. 2019, **17**, 85-94 [cit. 2023-04-21]. ISSN 20901232. Dostupné z: doi:10.1016/j.jare.2019.01.002
- [19] Kofein. *SAECO* [online]. 28. 1. 2014 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://www.saeco-servis.com/kofein-obecne-informace/>
- [20] Kofein. *Celostnimedicina.cz* [online]. 2001–2023, 4. 8. 2011 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.celostnimedicina.cz/kofein.htm>
- [21] BURDAN, Franciszek. Caffeine in Coffee. *Coffee in Health and Disease Prevention* [online]. Elsevier, 2015, 2015, 201-207 [cit. 2023-04-21]. ISBN 9780124095175. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-409517-5.00022-X
- [22] Molecular Structure of Caffeine. In: *Stack Exchange, Inc.* [online]. 2023, 28. 6. 2016 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://chemistry.stackexchange.com/questions/54268/molecular-structure-of-caffeine>
- [23] Kofein a jeho účinky v lidském těle. *Kavovnik.cz: Velkoobchod s kávou* [online]. 2007–2023 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.kavovnik.cz/clanky/kofein-a-jeho-ucinky-v-lidskem-tele/>
- [24] DAVIES VESELÁ, Petra. *Kniha o kávě: průvodce světem kávy s recepty na její přípravu*. Praha: Smart Press, 2010. ISBN 978-80-87049-34-1.
- [25] Chemická struktura kávy. *Toper* [online]. 2021 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.toper.com/cs/chemical-structure-of-coffee/>
- [26] ARYA, Meenakshi a L. Jagan Mohan RAO. An Impression of Coffee Carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 2007, **47**(1), 51-67 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1040-8398. Dostupné z: doi:10.1080/10408390600550315
- [27] STEFANELLO, Naiara, Roselia Maria SPANEVELLO, Sabina PASSAMONTI, et al. Coffee, caffeine, chlorogenic acid, and the purinergic system. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2019, **123**, 298-313 [cit. 2023-04-21]. ISSN 02786915. Dostupné z: doi:10.1016/j.fct.2018.10.005

- [28] MURKOVIC, Michael a Karin DERLER. Analysis of amino acids and carbohydrates in green coffee. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods* [online]. 2006, **69**(1-2), 25-32 [cit. 2023-04-21]. ISSN 0165022X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbbm.2006.02.001
- [29] SILVA, Ana Carolina R., Carol Cristine DA SILVA, Rafael GARRETT a Claudia M. REZENDE. Comprehensive lipid analysis of green Arabica coffee beans by LC-HRMS/MS. *Food Research International* [online]. 2020, **137** [cit. 2023-04-21]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2020.109727
- [30] WORKU, Mohammed, Tessema ASTATKIE a Pascal BOECKX. Effect of growing conditions and postharvest processing on arabica coffee bean physical quality features and defects. *Heliyon* [online]. 2022, **8**(4) [cit. 2023-04-21]. ISSN 24058440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2022.e09201
- [31] Metody zpracování kávy: Washed, natural a honey. *Café Montaña: Pražírna kávy* [online]. 2023 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.cafemontana.cz/o-kave/metody-zpracovani-kavy/>
- [32] Tradiční metody zpracování kávy. *EBENICA COFFE s. r. o.* [online]. 2009–2023, 20. 7. 2021 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://ebenica.cz/blog/tri-zakladni-metody-zpracovani-kavy/>
- [33] HLOŽKOVÁ, Ester. Třídění zrnk kávy ve výběrové pražírně. *Lázeňská káva s. r. o.* [online]. 2016–2023, 22. 9. 2022 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.lazenskakava.cz/trideni-zrnek-v-prazirne/>
- [34] Technologie zpracování kávy. *Kavovnik.cz: Velkoobchod s kávou* [online]. 2007–2023 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.kavovnik.cz/clanky/technologie-zpracovani-kavy/>
- [35] Sklizeň kávy. *Caprea cafe: Pražírna* [online]. 2023, 4. 5. 2018 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://caprea-cafe.cz/nezarazene/sklizen-kavy/>
- [36] FEBRIANTO, Noor Ariefandie a Fan ZHU. Coffee bean processing: Emerging methods and their effects on chemical, biological and sensory properties. *Food Chemistry* [online]. 2023, **412** [cit. 2023-04-21]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2023.135489
- [37] Vacuum pot: baristická alchymie ve Vaší kuchyni. *Výborná káva: web, který voní kávou* [online]. 2013, 9. 12. 2022 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.vybornakava.cz/2016/vacuum-pot-baristicka-alchymie-ve-vasi-kuchyni/>
- [38] SHANNON, A. Immersion Coffee - Explained. *Mamas Caffeinated Cup* [online]. 2023 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: https://mamascaffeinatedcup.com/immersion-coffee/?utm_content=cmp-true#google_vignette
- [39] Moka konvička. *CAFE ETERNITY, s. r. o.* [online]. 2023 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.cafeeternity.cz/clanek/moka-konvicka-cafeeternity-cz>
- [40] The Bialetti Moka Express Stovetop Espresso And Coffee Maker Review. *HOMEGROUNDS.CO* [online]. 2023 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.homegrounds.co/bialetti-moka-express-espresso-maker-review/>
- [41] Historie a vývoj espresso strojů. *Jak na kávu* [online]. 2013 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://jaknakavu.eu/espresso/historie-a-vyvoj-espresso-stroju/>

- [42] Příprava kávy - Espresso: kompletní manuál. *GourmetKava s. r. o.* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.gourmetkava.cz/cs/priprava-kavy-espresso-kompletni-manual-28>
- [43] What is HPLC?. *Shimadzu Corporation: Excellence in Science* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/analysis-basics/basic/what_is_hplc.html
- [44] SOMMER, Lumír. *Základy analytické chemie*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1742-0.
- [45] NOVÁKOVÁ, Lucie a Michal DOUŠA. *Moderní HPLC separace v teorii a praxi*. Praha [i.e. Hradec Králové]: Lucie Nováková, 2013. ISBN 978-80-260-4243-3.
- [46] KATAOKA, Hiroyuki. Sample preparation for liquid chromatography. *Liquid Chromatography* [online]. Elsevier, 2017, 2017, 1-37 [cit. 2023-04-21]. ISBN 9780128053928. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-805392-8.00001-3
- [47] Solid Phase Microextraction (SPME). *Merck KGaA* [online]. 2023 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en/applications/analytical-chemistry/sample-preparation/solid-phase-microextraction>
- [48] CHANG, Shu-Han, Hui-Yu HO, Ching-Chia CHANG, Chi-Zong ZANG, Ya-Hui HSU, Mei-Chih LIN, Su-Hsiang TSENG a Der-Yuan WANG. Evaluation and optimization of a HS-SPME-assisted GC-MS/MS method for monitoring nitrosamine impurities in diverse pharmaceuticals. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* [online]. 2022, **221** [cit. 2023-04-21]. ISSN 07317085. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpba.2022.115003
- [49] OUYANG, Gangfeng a Janusz PAWLISZYN. SPME in environmental analysis. In: *Analytical and Bioanalytical Chemistry* [online]. 2006, s. 1059-1073 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1618-2642. Dostupné z: doi:10.1007/s00216-006-0460-z
- [50] CHARVÁTOVÁ, PH.D., Ing. Michaela. *Využití metody SPME při analýze látek pocházejících z polymerů kontaminujících potravní řetězce (SOP)*. Ústav veterinární ekologie a ochrany životního prostředí FVHE VFU Brno. Dostupné také z: <https://fvhe.vfu.cz/static/informace-o-fakulte/sekce-ustavy/uvozp/metoda-spme/index.html>
- [51] PAWLISZYN, Janusz. Theory of Solid-Phase Microextraction. *Handbook of Solid Phase Microextraction* [online]. Elsevier, 2012, 2012, 13-59 [cit. 2023-04-21]. ISBN 9780124160170. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-416017-0.00002-4
- [52] LUDVÍK, Miloslav, Oldřich HOLEČEK, Milan JAHODA a Lenka SCHREIBEROVÁ. *Laboratorní cvičení z chemického inženýrství* [online]. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2000 [cit. 2023-04-23]. ISBN 80-708-0404-1.
- [53] LIU, Qing, Pingping ZHOU, Pengjie LUO a Pinggu WU. Occurrence of Furfural and Its Derivatives in Coffee Products in China and Estimation of Dietary Intake. In: *Foods* [online]. 2023 [cit. 2023-04-23]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods12010200

- [54] MAREČEK, Zdeněk. Co se děje se zrnem v průběhu pražení. *Lázeňská káva s. r. o.* [online]. 2016 - 2023, 16. 8. 2021 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.lazenskakava.cz/co-se-deje-se-zrnem-v-prubehu-prazeni/>
- [55] QUARTA, Barbara a Monica ANESE. Furfurals removal from roasted coffee powder by vacuum treatment. In: *Food Chemistry* [online]. 2012, s. 610-614 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2011.07.083
- [56] WANG, Yu, H. RODOLFO JULIANI, James E. SIMON a Chi-Tang HO. Amino acid-dependent formation pathways of 2-acetylfuran and 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3[2H]-furanone in the Maillard reaction. In: *Food Chemistry* [online]. 2009, s. 233-237 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2008.12.014
- [57] MOE, Størker T., Gianluca MARCOTULLIO, Mihaela Tanase OPEDAL a Rune BRUSLETTO. Formation of 5-methylfurfural and 2-acetylfuran from lignocellulosic biomass and by Cr³⁺-catalyzed dehydration of 6-deoxyhexoses. In: *Carbohydrate Research* [online]. 2022 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00086215. Dostupné z: doi:10.1016/j.carres.2022.108672
- [58] ALBOUCHI, Abdullatif a Michael MURKOVIC. Formation kinetics of furfuryl alcohol in a coffee model system. In: *Food Chemistry* [online]. 2018, s. 91-95 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2017.09.112
- [59] ALBOUCHI, Abdullatif, Julia RUSS a Michael MURKOVIC. Parameters affecting the exposure to furfuryl alcohol from coffee. In: *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2018, s. 473-479 [cit. 2023-04-23]. ISSN 02786915. Dostupné z: doi:10.1016/j.fct.2018.05.055
- [60] VAISHNAVI, B. J., S. SUJITH, K. M. RAJASHEKHAR VAIBHAVA, P. Jyothi BHAT, Rajappan VETRIVEL a Ganapati V. SHANBHAG. *Selective synthesis of furfuryl acetate over solid acid catalysts and active site exploration using density functional theory* [online]. In: . 2022, s. 4298-4311 [cit. 2023-04-23]. ISSN 2044-4753. Dostupné z: doi:10.1039/D2CY00334A
- [61] AMANPOUR, Asghar a Serkan SELLI. Differentiation of Volatile Profiles and Odor Activity Values of Turkish Coffee and French Press Coffee. In: *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2016, s. 1116-1124 [cit. 2023-04-23]. ISSN 01458892. Dostupné z: doi:10.1111/jfpp.12692
- [62] GANCARZ, Marek, Bohdan DOBRZAŃSKI, Urszula MALAGA-TOBOŁA, et al. Impact of Coffee Bean Roasting on the Content of Pyridines Determined by Analysis of Volatile Organic Compounds. In: *Molecules* [online]. 2022 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules27051559
- [63] Public Health Statement for Pyridine: Toxicological profile for pyridine. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)* [online]. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1992 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp52-c1-b.pdf>
- [64] Trigonelline in Coffee. *Coffee chemistry: brew your mind* [online]. Los Angeles, CA - USA, 2004–2020, 23. 4. 2015 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.coffeechemistry.com/trigonelline-in-coffee>

- [65] WEI, Feifei a Masaru TANOKURA. Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting. In: *Coffee in Health and Disease Prevention* [online]. Elsevier, 2015, 2015, s. 83-91 [cit. 2023-04-23]. ISBN 9780124095175. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3
- [66] PINHEIRO, Patrícia Fontes, Carlos Alexandre PINHEIRO, Vanessa Moreira OSÓRIO a Lucas Louzada PEREIRA. Chemical Constituents of Coffee. In: *Quality Determinants In Coffee Production* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2021, 2021-12-12, s. 209-254 [cit. 2023-04-23]. Food Engineering Series. ISBN 978-3-030-54436-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-54437-9_5
- [67] MOE, Størker T., Gianluca MARCOTULLIO, Mihaela Tanase OPEDAL a Rune BRUSLETTO. Formation of 5-methylfurfural and 2-acetylfuran from lignocellulosic biomass and by Cr³⁺-catalyzed dehydration of 6-deoxyhexoses. In: *Carbohydrate Research* [online]. 2022 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00086215. Dostupné z: doi:10.1016/j.carres.2022.108672
- [68] GALARZA, Gustavo a Jorge G. FIGUEROA. Volatile Compound Characterization of Coffee (*Coffea arabica*) Processed at Different Fermentation Times Using SPME–GC–MS. In: *Molecules* [online]. 2022 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules27062004
- [69] TOLEDO, Paulo R.A.B., Leonardo PEZZA, Helena R. PEZZA a Aline T. TOCI. Relationship Between the Different Aspects Related to Coffee Quality and Their Volatile Compounds. In: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2016, s. 705-719 [cit. 2023-04-23]. ISSN 15414337. Dostupné z: doi:10.1111/1541-4337.12205
- [70] WRIGHT, John. Flavor Bites: 5-Methyl Furfural. *Perfumer & Flavorist* [online]. Allured Business Media, 2023, 4. 2. 2016 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.perfumerflavorist.com/flavor/ingredients/article/21860368/flavor-bites-5-methyl-furfural>
- [71] CARDOSO, Wilton Soares, Sandy Rodrigues DIAS, Vinicius Serafim COELHO, Lucas Louzada PEREIRA, Deusélio Bassini FIORESI a Flávia de Abreu PINHEIRO. Maillard reaction precursors and arabica coffee (*Coffea arabica* L.) beverage quality. In: *Food and Humanity* [online]. 2023, s. 1-7 [cit. 2023-04-23]. ISSN 29498244. Dostupné z: doi:10.1016/j.foohum.2023.01.002
- [72] KULAPICHITR, Fareeya, Chaleda BOROMPICHAICHARTKUL, Mingchih FANG, Inthawoot SUPPAVORASATIT a Keith R. CADWALLADER. Effect of post-harvest drying process on chlorogenic acids, antioxidant activities and CIE-Lab color of Thai Arabica green coffee beans. In: *Food Chemistry* [online]. 2022 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2021.130504
- [73] MACHEINER, Lukas, Anatol SCHMIDT, Franz KARPFF a Helmut K. MAYER. A novel UHPLC method for determining the degree of coffee roasting by analysis of furans. In: *Food Chemistry* [online]. 2021 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2020.128165
- [74] XU, Jianwang, Xinge MIAO, Lei LIU, Yantao WANG a Weiran YANG. Direct Synthesis of 5-Methylfurfural from D-Fructose by Iodide-Mediated Transfer Hydrogenation.

- In: *ChemSusChem* [online]. 2021, s. 5311-5319 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1864-5631. Dostupné z: doi:10.1002/cssc.202102021
- [75] YU, Hang, Ruyue ZHANG, Fangwei YANG, Yunfei XIE, Yahui GUO, Weirong YAO a Weibiao ZHOU. *Control strategies of pyrazines generation from Maillard reaction* [online]. In: . 2021, s. 795-807 [cit. 2023-04-23]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2021.04.028
- [76] LUO, Wen, Fang-Li JING, Xiao-Peng YU, Si SUN, Shi-Zhong LUO a Wei CHU. Synthesis of 2-Methylpyrazine Over Highly Dispersed Copper Catalysts. In: *Catalysis Letters* [online]. 2012, s. 492-500 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1011-372X. Dostupné z: doi:10.1007/s10562-012-0782-8
- [77] YERETZIAN, Chahan, Alfons JORDAN, Raphael BADOUD a Werner LINDINGER. From the green bean to the cup of coffee: investigating coffee roasting by on-line monitoring of volatiles. In: *European Food Research and Technology* [online]. 2002, s. 92-104 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1438-2377. Dostupné z: doi:10.1007/s00217-001-0424-7
- [78] Showing Compound 2-Ethylpyrazine. *FoodB* [online]. 8. 4. 2010 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://foodb.ca/compounds/FDB008533>
- [79] MAKSIMOWSKI, Damian, Natalia PACHURA, Maciej OZIEMBŁOWSKI, Agnieszka NAWIRSKA-OLSZAŃSKA a Antoni SZUMNY. Coffee Roasting and Extraction as a Factor in Cold Brew Coffee Quality. In: *Applied Sciences* [online]. 2022 [cit. 2023-04-23]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app12052582
- [80] PETISCA, Catarina, Trinidad PÉREZ-PALACIOS, Olívia PINHO a Isabel M. P. L. V. O. FERREIRA. Optimization and Application of a HS-SPME-GC-MS Methodology for Quantification of Furanic Compounds in Espresso Coffee. In: *Food Analytical Methods* [online]. 2014, s. 81-88 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1936-9751. Dostupné z: doi:10.1007/s12161-013-9601-0
- [81] LEOBET, Elenir L., Ellen C. PERIN, José I. C. FONTANINI, Naimara V. PRADO, Sheila R. ORO, Vânia C. F. BURGARDT, Alexandre T. ALFARO a Alessandra MACHADO-LUNKES. Effect of the drying process on the volatile compounds and sensory quality of agglomerated instant coffee. In: *Drying Technology* [online]. 2020, s. 1421-1432 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0737-3937. Dostupné z: doi:10.1080/07373937.2019.1644347
- [82] OHATA, Motoko, Takatoshi TOMINAGA, Denis DUBOURDIEU, Kikue KUBOTA a Etsuko SUGAWARA. Quantification and Odor Contribution of 2-Furanmethanethiol in Different Types of Fermented Soybean Paste Miso. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2009, s. 2481-2485 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf803258c
- [83] LIU, Huan, Zhenyu WANG, Teng HUI, Fei FANG a Dequan ZHANG. New insight into the formation mechanism of 2-furfurylthiol in the glucose-cysteine reaction with ribose. In: *Food Research International* [online]. 2021 [cit. 2023-04-23]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2021.110295
- [84] AKIYAMA, Masayuki, Kazuya MURAKAMI, Noboru OHTANI, et al. Analysis of Volatile Compounds Released during the Grinding of Roasted Coffee Beans Using Solid-

- Phase Microextraction. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2003, s. 1961-1969 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf020724p
- [85] LÉBOUF, Ryan F., Brie Hawley BLACKLEY, Alyson R. FORTNER, et al. Exposures and Emissions in Coffee Roasting Facilities and Cafés: Diacetyl, 2,3-Pentanedione, and Other Volatile Organic Compounds. In: *Frontiers in Public Health* [online]. 2020 [cit. 2023-04-23]. ISSN 2296-2565. Dostupné z: doi:10.3389/fpubh.2020.561740
- [86] SCHUTYSER, Wouter, Steven-Friso KOELEWIJN, Michiel DUSSELIÉ, et al. Regioselective synthesis of renewable bisphenols from 2,3-pentanedione and their application as plasticizers. In: *Green Chem* [online]. 2014, s. 1999-2007 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1463-9262. Dostupné z: doi:10.1039/C4GC00250D
- [87] TOCI, Aline T., Débora A. AZEVEDO a Adriana FARAH. Effect of roasting speed on the volatile composition of coffees with different cup quality. In: *Food Research International* [online]. 2020 [cit. 2023-04-23]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2020.109546
- [88] KHAMITOVA, Gulzhan, Simone ANGELONI, Germana BORSETTA, Jianbo XIAO, Filippo MAGGI, Gianni SAGRATINI, Sauro VITTORI a Giovanni CAPRIOLI. Optimization of espresso coffee extraction through variation of particle sizes, perforated disk height and filter basket aimed at lowering the amount of ground coffee used. In: *Food Chemistry* [online]. 2020 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2020.126220
- [89] DE VIVO, Angela, Alessandro GENOVESE, Maria Cristina TRICARICO, Angela APREA, Raffaele SACCHI a Fabrizio SARGHINI. Volatile compounds in espresso resulting from a refined selection of particle size of coffee powder. In: *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 2022 [cit. 2023-04-23]. ISSN 08891575. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfca.2022.104779
- [90] CORDOBA, Nancy, Mario FERNANDEZ-ALDUENDA, Fabian L. MORENO a Yolanda. RUIZ. *Coffee extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews* [online]. In: . 2020, s. 45-60 [cit. 2023-04-23]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2019.12.004
- [91] The Moka valve: a tiny component of remarkable importance. *Bialetti Industrie S.p.A.* [online]. 2021 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: https://www.bialetti.com/it_en/inspiration/post/the-moka-valve-a-tiny-component-of-remarkable-importance
- [92] Analýza distribuce velikosti částic. *Microtrac Retsch GmbH* [online]. 2023 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.microtrac.cz/cz/znalostni-baze/distribuce-velikosti-castic/>
- [93] BELL, Leonard N., Clinton R. WETZEL a Alexandra N. GRAND. Caffeine content in coffee as influenced by grinding and brewing techniques. *Food Research International* [online]. 1996, **29**(8), 785-789 [cit. 2023-04-29]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/S0963-9969(97)00002-1
- [94] Kofein. *Don Franco: domácí pražírna* [online]. 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.donfranko.cz/blog-o-kave/kofein/>
- [95] ITO, Emi, Alan CROZIER a Hiroshi ASHIHARA. Theophylline metabolism in higher plants. In: *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects* [online]. 1997, s.

- 323-330 [cit. 2023-05-01]. ISSN 03044165. Dostupné z: doi:10.1016/S0304-4165(97)00045-7
- [96] Pražení kávy: od zrnka k šálku. *EBENICA COFFE s. r. o.* [online]. 2009–2023, 8. 9. 2021 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://ebenica.cz/blog/prazeni-kavy-od-zrnka-k-salku/>
- [97] CHEONG, Mun Wai, Kau Hin TONG, Jeremy Jian Ming ONG, Shao Quan LIU, Phillip CURRAN a Bin YU. Volatile composition and antioxidant capacity of Arabica coffee. In: *Food Research International* [online]. 2013, s. 388-396 [cit. 2023-05-04]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2012.12.058