



**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

**ANALÝZA SLADKÉ PAPRIKY RŮZNÉHO  
GEOGRAFICKÉHO PŮVODU**

ANALYSIS OF SWEET PEPPERS OF DIFFERENT GEOGRAPHICAL ORIGIN

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Petr Fiala

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.

BRNO 2020

## Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1427/2019 Akademický rok: 2019/2020  
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií  
Student: **Bc. Petr Fiala**  
Studijní program: Chemie a technologie potravin  
Studijní obor: Potravinářská chemie a biotechnologie  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.**

### Název diplomové práce:

Analýza sladké papriky různého geografického původu

### Zadání diplomové práce:

1. Zpracování teoretické části práce
2. Analýza vzorků mleté papriky pomocí ICP-OES, UV-VIS, HPLC a dalších chemických metod
3. Zpracování naměřených výsledků
4. Diskuze k získaným výsledkům

### Termín odevzdání diplomové práce: 31.7.2020:

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

-----  
Bc. Petr Fiala  
student(ka)

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

-----  
prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.  
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2020

-----  
prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.  
Děkan



## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá stanovením základních nutričních parametrů 26 vzorků mleté papriky z několika států a vyhodnocuje vliv geografického původu na chemické složení mleté papriky. Celkový počet 19 nutričních parametrů byl naměřen pokročilými analytickými metodami (ICP-OES, HPLC-DAD, HPLC-ELSD) spolu s dalšími laboratorními technikami. Výsledná data byla statisticky zpracována pomocí metod analýzy rozptylu (ANOVA), shlukové analýzy, analýzy hlavních komponent (PCA) a diskriminační analýzy (DA). Na základě statistického vyhodnocení bylo potvrzeno, že chemické složení mleté papriky je ovlivněno geografickým původem. Analýzou rozptylu (ANOVA) bylo stanoveno, že 14 parametrů se v rámci evropské, indické a čínské podoblasti statisticky vzájemně lišilo ( $p < 0,05$ ). Pomocí grafického zpracování analýzy hlavních komponent (PCA) bylo možné sledovat, že vzorky ze 3 hlavních podoblastí se od sebe lišily, naopak vzorky ze stejné oblasti nebylo snadné odlišit. Vytvořený klasifikační model potvrdil zařazení známých vzorků s úspěšností 100 %. Validační model poskytl zařazení neznámých vzorků s úspěšností 62,43 %.

## **ABSTRACT**

The diploma thesis is focused on the determination of basic nutritional properties of 26 samples of ground pepper from different countries and evaluates, whether the chemical composition of ground pepper is affected by the geographical origin. The amount of 19 nutritional properties were determined by advanced analytical methods (ICP-OES, HPLC-DAD, HPLC-ELSD) together with other laboratory techniques. Final results were statistically processed by the methods of analysis of variance (ANOVA), cluster analysis, principal component analysis (PCA) and discriminant analysis (DA). Statistical evaluation confirmed, that the chemical composition is affected by the geographical origin. Analysis of variance (ANOVA) determined 14 parameters to statistically differ ( $p < 0,05$ ) within the european, indian and chinese subregion. According to the graphical processing of principal component analysis (PCA), the 3 main subregions differed from each other, on the other hand the samples from the same region was hard to differentiate. Classification model confirmed the classification of the samples with the 100 % success rate. Validation model provided classification of the unknown samples with the 62,43 % success rate.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Mletá paprika, ICP-OES, chemická analýza, geografický původ, PCA, DA

## **KEYWORDS**

Ground pepper, ICP-OES, chemical analysis, geographical origin, PCA, DA

## CITACE

FIALA, Petr. *Analýza sladké papriky různého geografického původu*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií, 2020, 87 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124017>

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. 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

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Pavlu Divišovi, Ph. D. za možnost spolupráce a kvalitní odborné vedení během práce. Velký dík dále patří také konzultantovi diplomové práce, panu Ing. Václavu Štursovi, za jeho ochotu, věnovaný čas, konstruktivní připomínky a schopnost předávat své zkušenosti. Děkuji také panu Marcus von Busse za poskytnutí vzorků papriky z Číny. V neposlední řadě děkuji paní laborantce Lence Somrové za pomoc při práci v laboratořích a dále všem vyučujícím a přátelům, kteří mi byli vždy nápomocni.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	8
2	TEORETICKÁ ČÁST .....	9
2.1.	Obecná charakteristika papriky .....	9
2.2.	Chemické složení papriky .....	9
2.2.1.	Voda .....	9
2.2.2.	Sacharidy .....	10
2.2.3.	Bílkoviny .....	10
2.2.4.	Lipidy .....	10
2.2.5.	Oleoresin .....	11
2.2.6.	Vitaminy .....	11
2.2.7.	Karotenoidy .....	11
2.2.8.	ASTA (American Spice Trade Association) .....	12
2.2.9.	Kapsaicinoidy .....	12
2.2.10.	Prvkové složení .....	13
2.3.	Technologické fáze výroby mleté papriky .....	14
2.3.1.	Hnojení .....	15
2.3.2.	Sklizeň .....	15
2.3.3.	Zrání .....	16
2.3.4.	Sušení .....	16
2.3.5.	Mletí .....	17
2.3.6.	Skladování .....	17
2.4.	Posuzování jakosti a čistoty mleté papriky .....	18
2.5.	Falšování mleté papriky .....	19
2.5.1.	Způsoby falšování potravin .....	19
2.5.2.	Dobarvování mleté papriky .....	19
2.5.3.	Nahrazování mleté papriky levnější složkou .....	21
2.5.4.	Záměna původu mleté papriky .....	21
2.5.5.	Kontaminanty v mleté paprice .....	23
2.5.5.1.	Mykotoxiny .....	23
2.5.5.2.	Rezidua pesticidů .....	23
2.5.5.3.	Toxické kovy .....	24

2.6. Použité analytické metody .....	24
2.6.1. Stanovení obsahu vody .....	24
2.6.2. Vysokoučinná kapalinová chromatografie (HPLC).....	25
2.6.2.1. Transport mobilní fáze .....	26
2.6.2.2. Dávkování .....	26
2.6.2.3. Kolony .....	26
2.6.2.4. Detektory .....	27
2.6.3. Metody prvkové analýzy.....	27
2.6.4. Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) .....	27
2.6.4.1. Indukčně vázané plazma .....	28
2.6.4.2. Optická soustava – Monochromátor .....	29
2.6.4.3. Detekce.....	29
2.7. Statistické metody.....	30
2.7.1. Analýza rozptylu (ANOVA).....	30
2.7.2. Analýza hlavních komponent (PCA).....	30
2.7.3. Diskriminační analýza (DA).....	30
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	32
3.1. Popis vzorků .....	32
3.2. Pomůcky a přístroje .....	33
3.3. Chemikálie.....	33
3.4. Postup stanovení vybraných parametrů .....	34
3.4.1. Stanovení barvivosti ASTA .....	34
3.4.2. Stanovení obsahu popela.....	34
3.4.3. Stanovení obsahu vlhkosti .....	35
3.4.4. Stanovení obsahu vody metodou Karl-Fischera .....	35
3.4.5. Stanovení pH.....	35
3.4.6. Stanovení obsahu tuků .....	36
3.4.7. Stanovení obsahu hrubé bílkoviny .....	36
3.4.8. Stanovení obsahu kapsaicinoidů .....	36
3.4.9. Stanovení obsahu sacharidů .....	37
3.4.10. Stanovení prvků metodou ICP-OES .....	38
3.5. Statistické zpracování dat .....	40

4	VÝSLEDKY A DISKUZE .....	41
4.1.	Barvivost ASTA .....	41
4.2.	Popel .....	43
4.3.	Vlhkost.....	43
4.4.	Obsah vody .....	44
4.5.	pH .....	46
4.6.	Tuky.....	46
4.7.	Obsah hrubé bílkoviny.....	47
4.8.	Kapsaicinoidy .....	47
4.9.	Sacharidy .....	50
4.10.	Prvková analýza.....	53
4.11.	Analýza rozptylu (ANOVA) .....	57
4.12.	Shluková analýza .....	58
4.13.	Analýza hlavních komponent – PCA .....	60
4.14.	Diskriminační analýza .....	63
5	ZÁVĚR .....	68
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	70
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	81
8	PŘÍLOHY .....	82



# 1 ÚVOD

Mletá paprika (*Capsicum annum L.*) patří mezi nejoblíbenější koření využívané v gastronomii. Toto koření bylo dovezeno do Evropy ze Střední Ameriky a lidé si jej velice rychle oblíbili. Díky obchodníkům se poté mletá paprika dostala do celého světa a dnes se již pěstuje a zpracovává na všech kontinentech. Mletá paprika si získala svou popularitu zejména díky chuti, která může být sladká nebo pálivá, a to na široké škále. Podstatným faktorem při výběru mleté papriky je také její výrazná barva. Mimo jiné je paprika zdrojem vitamínů a dalších antioxidantních látek [1].

Obsah nutričních látek se významně odvíjí od geografického původu papriky. Tento geografický původ je jedinečný pro každou oblast a je ovlivněn různými faktory. Mezi nejvýznamnější faktory patří podnebí (množství srážek, množství slunečního svitu, teplota), nadmořská výška a složení půdy. Další faktory ovlivňující nutriční složení papriky jsou ovlivněny stylem pěstování (organické nebo konvenční), obdobím sklizně a následným zpracováním a skladováním [1].

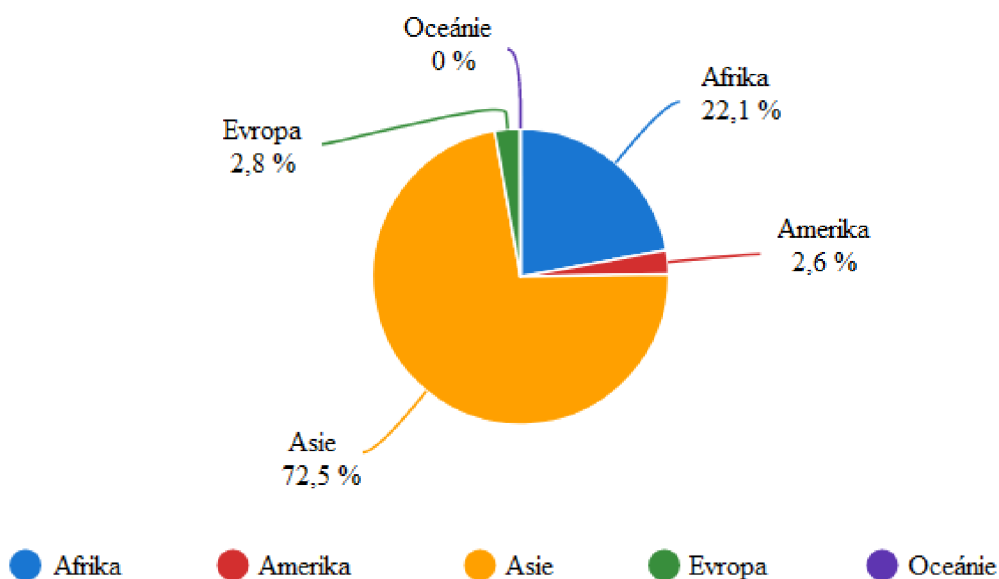
Pro některé producenty se tyto faktory staly typické a k ochraně své značky získali ochrannou známku. Ta má za cíl chránit produkt před falšováním. Mletá paprika se řadí mezi jedny z nejběžnějších komodit, které jsou v dnešní době falšovány. Cílem padělatelů je oklamat spotřebitele a zvýšit finanční zisk svého produktu. U falsifikátů je často uváděn jiný geografický původ, zneužívá se ochranná známka, přidává se barvivo nebo se produkt míchá s jinými surovinami ke zvýšení hmotnosti. Z těchto důvodů je nutné pomocí moderních technik odhalovat tyto často sofistikované způsoby falšování a zabránit tak okrádání zákazníka a také chránit samotné výrobce mleté papriky. Některé metody falšování navíc mohou představovat i zdravotní riziko pro spotřebitele. Nejčastěji používanými metodami k odhalení falšování mleté papriky patří spektroskopické metody (ICP-OES, ICP-MS, IR-MS, Ramanova spektroskopie, infračervená spektroskopie), chromatografické metody (HPLC-MS, GC-MS) a také metody založené na analýze DNA (SCAR-PCR) [63].

Cílem této diplomové práce bylo stanovit základní nutriční parametry mleté papriky a potvrdit či vyvrátit hypotézu, zda rozdíly v chemickém složení mleté papriky jsou ovlivněny geografickým původem vzorku. Oproti jiným studiím bylo použito k definování geografického původu hned několik analytických metod (HPLC-ELSD, HPLC-DAD, ICP-OES) spolu s dalšími laboratorními technikami. K vyhodnocení dat byly použity statistické metody vícerozměrné analýzy, a to analýza rozptylu (ANOVA), shluková analýza, analýza hlavních komponent (PCA) a diskriminační analýza (DA).

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1. Obecná charakteristika papriky

Paprika se řadí do čeledi lilkovité, nejčastěji vyskytujícím se zástupcem papriky je druh *Capsicum annuum*. Paprika je běžně se vyskytující zeleninou, která pochází ze Střední Ameriky. V současnosti se pěstuje po celém světě a využívá se v čerstvé podobě, sušená, fermentovaná nebo k výrobě oleoresinu. Mletá paprika se používá zejména v gastronomii, kde se přidává k dochucení a dobarvení pokrmů nebo jako zdroj pálivosti. Komerčně se paprika za poslední dekády stala velice populární, kdy se během let 1997-2017 její produkce zdvojnásobila. Největším producentem čerstvé papriky je Čína (18 milionů tun ročně), mletá paprika se nejvíce produkuje v Indii (2 milióny tun ročně) [1, 2].



Obrázek 1 Podíl světadílů na produkci mleté papriky [3]

### 2.2. Chemické složení papriky

#### 2.2.1. Voda

I sušená mletá paprika obsahuje určité množství vody. Díky malému množství vody v mleté paprice nedochází k oxidaci tuků a neenzymatickému hnědnutí, které zapříčiní změnu chuti vlivem tvorby nežádoucích sloučenin. Obsah vody je však limitován, legislativa České republiky povoluje maximální vlhkost v mleté paprice 11 % [4]. Vyšší vlhkost mleté papriky vede k nežádoucím jevům. Mezi ně patří zvýšený výskyt mikroorganismů a dále také oxidace vitaminů, která vede k celkové ztrátě nutričních vlastností. Zvýšený obsah vody v mleté paprice také může poukazovat na falšování potravin, při kterém se vlivem vyšší hmotnosti zvyšuje cena výrobku nebo také na špatné nakládání s potravinou (např. špatné skladování).

Při správných podmínkách skladování přítomné molekuly vody obklopují aktivní molekuly ostatních látek a chrání je před autooxidací tím způsobem, že snižují počet volných radikálů.

Díky tomu dochází ke zpomalení oxidace karotenoidů a dalších látek, čímž si mletá paprika zachová své původní vlastnosti [5].

### 2.2.2. Sacharidy

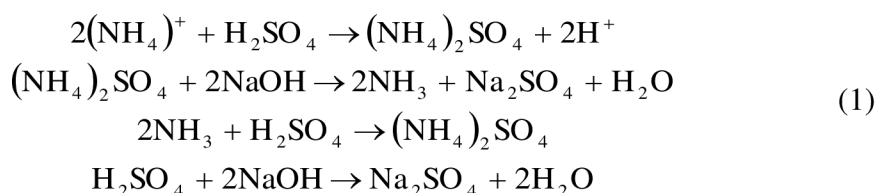
Sacharidy tvoří podstatnou část chemického složení mleté papriky. Vyskytují se ve formě volných cukrů (monosacharidů a oligosacharidů), polysacharidů a sacharidických zbytků. Volné cukry hrají důležitou roli při tvorbě chuti mleté papriky. Mletá paprika obsahuje nejvíce glukózu a fruktózu, přítomná je ale také sacharóza. Koncentrace volných cukrů v mleté paprice se pohybuje okolo 5 %. Jejich koncentrace se odvíjí od genotypu papriky, klimatických podmínek, zemědělské praxe, posklizňové úpravy a skladování papriky. Mezi polysacharidy přítomné v paprice se řadí škrob a vláknina. Koncentrace těchto polysacharidů je však nižší než koncentrace volných cukrů [6].

### 2.2.3. Bílkoviny

Obsah bílkovin v mleté paprice dle americké databáze činí přibližně 14 g/100 gramů vzorku. Pomocí dusíku obsaženého v bílkovinách se může stanovovat geografický původ a způsob pěstování papriky. Nakano et. al. popsali smysl tohoto stanovení, kdy rozdíly v koncentraci  $^{15}\text{N}$  v paprice odůvodňují různými kultivačními způsoby a aplikací hnojiv (anorganických nebo organických). Díky této metodě je také možné určit, zda se jedná o bio výrobu nebo o konvenční postup výroby papriky. Nízká koncentrace dusíku také poukazuje na možnost kultivace papriky v hydroponickém prostředí [7, 8].

Ke stanovení celkového dusíku v potravinách se používá Kjeldahlova metoda, která poskytuje kvalitní výsledky s dobrou opakovatelností. Kjeldahlova metoda se skládá z 5 kroků, a to přípravy a vážení vzorku, přidavku reagentů, mineralizace, destilace amoniaku a titrace. Metody se mohou lišit v použití katalyzátoru, v této diplomové práci byl použit Weiningerův katalyzátor [55, 57].

Mineralizace probíhá za přítomnosti kyseliny sírové, díky které se organický dusík převede na síran amonný. Po alkalizaci dochází k vytěsnění amonného dusíku, který se jímá do kyseliny. Po zpětné retitraci a přepočtu se získá finální koncentrace dusíku ve vzorku [55, 57]. Reakce probíhající při Kjeldahlově metodě stanovení celkových bílkovin jsou přehledně zobrazeny v Rovnici č. 1:



### 2.2.4. Lipidy

Lipidy v mleté paprice slouží jako kvalitativní parametr. Jsou zásadní pro barevné sloučeniny mleté papriky, které se v lipidech rozpouštějí a dodávají produktu červenou barvu. Lipidy

také napomáhají tvorbě homogenní směsi mleté papriky. Lipidy a mastné kyseliny se nejvíce vyskytují v semenech, ale také v perikarpu papriky [9].

Tepic et. al. [10] analyzovali složení mastných kyselin ve vzorcích mleté papriky, kdy největší zastoupení ve vzorku měly nenasycené mastné kyseliny, konkrétně kyselina linolenová a kyselina olejová. Z nasycených mastných kyselin měla největší zastoupení kyselina palmitová. Dle provedené analýzy mají největší zastoupení ve vzorcích mleté papriky osmnácti uhlíkové mastné kyseliny, které tvoří téměř 90 % všech mastných kyselin ve vzorku mleté papriky.

### **2.2.5. Oleoresin**

Oleoresin je viskózní kapalina, která se získává extrakcí z papriky pomocí organických rozpouštědel. Oleoresin získaný z papriky obsahuje vysokou koncentraci karotenoidů a kapsaicinoidů a s oblibou je využíván v potravinářství. Ve výrobcích zvyšuje intenzitu zbarvení a dodává výrobkům potřebnou ostrost.

Oleoresin se využívá také k falšování potravin, kdy po přidání do produktu dochází ke zvýšení ASTA jednotek, a tedy zvýšení intenzity zbarvení. Může však docházet i k falšování oleoresinu, při kterém se přidává syntetický vanilylamid, který zvyšuje pálivost [1].

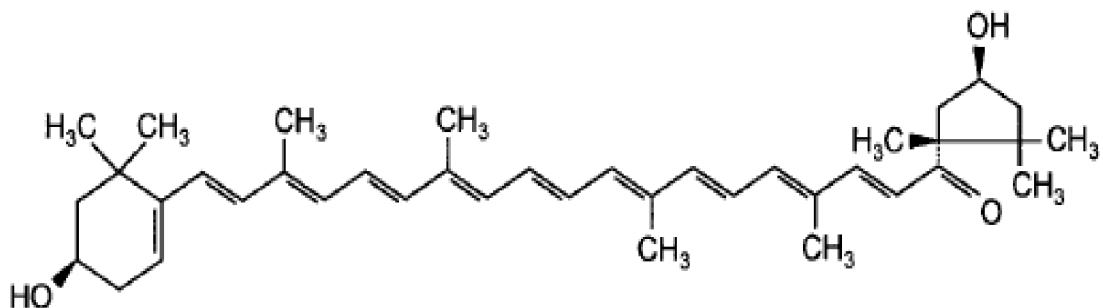
### **2.2.6. Vitaminy**

Paprika se řadí mezi zeleninu s vysokým obsahem vitaminů, a to zejména vitamínu C, vitamínu E a  $\beta$ -karotenu. Tyto vitaminy jsou pro tělo prospěšné díky svým antioxidačním účinkům, kdy odstraňují reaktivní radikály, které by způsobily oxidaci tuků.

V lidské dietě je paprika jedním z hlavních zdrojů vitamínu C, jehož koncentrace v čerstvé paprice se dle literatury pohybuje v rozmezí 100–200 mg/100 gramů hmoty. Během zrání se však koncentrace ještě zvyšuje, a to až 4x. Naopak ke značným ztrátám dochází během sušení, kdy pokles vitamínu C může být až 80%. Ke snížení koncentrace vitamínu C dochází také vlivem zahřátí, kdy koncentrace vitamínu C se může snížit až o 20–25 % [11, 12].

### **2.2.7. Karotenoidy**

Paprika je velmi bohatý zdroj karotenoidů. K jejich tvorbě dochází během zrání, kdy se zvyšuje jejich koncentrace vlivem esterifikace mastných kyselin. Nejběžnějšími zástupci karotenoidů v paprice jsou kapsorubin a kapsantin. Tyto látky jsou zodpovědné za zbarvení papriky, kdy kapsantin tvoří 30–60 % obsahu všech karotenoidních barviv, zatímco jeho isomer kapsorubin tvoří asi 6–18 % obsahu karotenoidních barviv v paprice. Vysoká koncentrace těchto látek zajišťuje vysokou intenzitu zbarvení papriky [11].



Obrázek 2 Chemická struktura kapsantinu [1]

Karotenoidy jsou velmi nestabilní látky, a to z důvodu výskytu dvojných vazeb v jejich molekule. Vlivem degradačních procesů karotenoidů může docházet ke snížení aktivity vitamínu A, a tedy poklesu nutriční kvality papriky. Obecně dochází k degradaci karotenoidů vlivem přítomnosti kyselin a světla, kdy dochází k izomerizačním reakcím. Tyto pigmenty jsou pak snáze oxidovatelné vzdušným kyslíkem za katalýzy lipoxygenáz a dochází k celkové degradaci kostry  $\beta$ -karotenu [13].

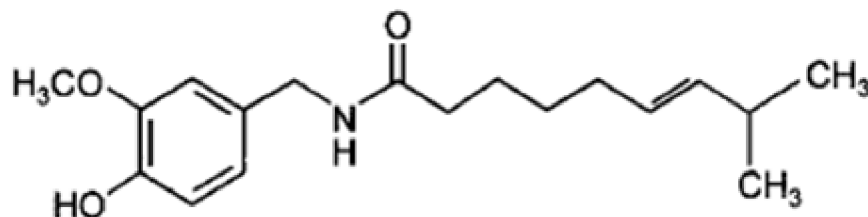
### 2.2.8. ASTA (American Spice Trade Association)

K zajištění kvality koření putující na americký trh byla zřízena agentura ASTA, která vytvořila kvalitativní parametry také pro mletou papriku. ASTA jednotky se při stanovení papriky využívají k popisu intenzity zbarvení daného vzorku papriky, tato barvivost je podmíněna množstvím karotenoidů ve výrobku. Barva mleté papriky je jedním z kvalitativních parametrů mleté papriky a vzhled papriky hraje pro spotřebitele důležitou roli při koupi. Výrobci často poskytují hodnotu ASTA na obalu výrobku, která je zpravidla v rozpětí 60–200 jednotek. Čím vyšší je hodnota ASTA, tím má paprika větší intenzitu zbarvení a obecně se také zvyšuje její cena. Odchýlení od zmíněných jednotek může naznačovat falšování mleté papriky nebo nedostatečnou kvalitu zpracování [11, 14, 54].

### 2.2.9. Kapsaicinoidy

Hlavní zdrojem pálivosti pálivé papriky a chilli je chemická skupina alkaloidů nazývaných kapsaicinoidy. Kapsaicinoidy jsou deriváty benzylaminu a v rámci skupiny se liší zejména v poloze dvojných vazeb.

Nejčastějším zástupcem kapsaicinoidů je kapsaicin. Ze všech kapsaicinoidů je jeho výskyt v paprice až 70% a je také nejpálivějším z kapsaicinoidů. Dalšími často vyskytujícími se kapsaicinoidy jsou dihydrokapsaicin, nordihydrokapsaicin a homokapsaicin [15].

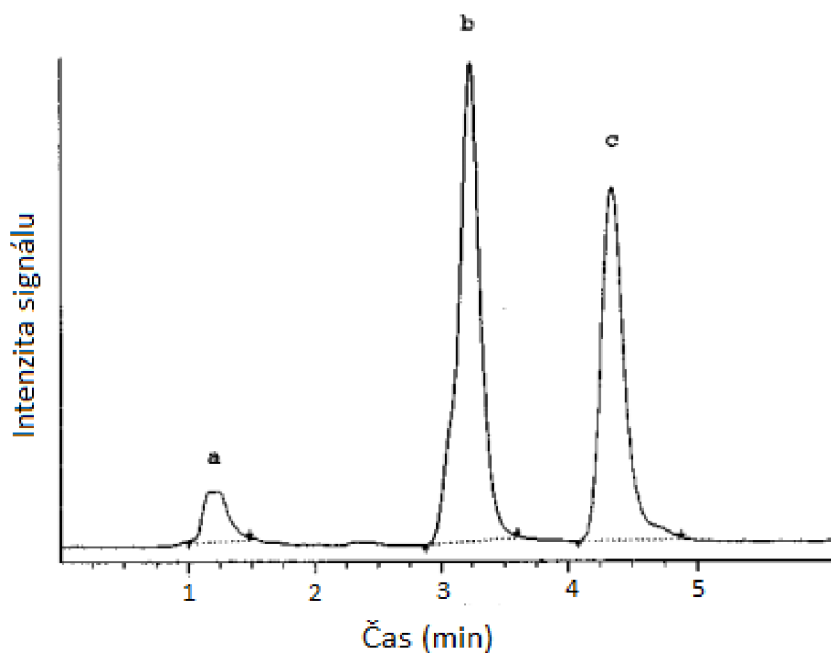


Obrázek 3 Chemická struktura kapsaicinu [1]

Množství kapsaicinu v paprice je ovlivněno genotypem papriky, množstvím světla při růstu, dále také vyvrálostí a lokalizací v rostlině. Pálivost paprik se hodnotí dle tzv. Scovilleho stupnice, ve které by sladká paprika měla mít obsah kapsaicinu téměř nulový a jeho pálivost by tedy měla být 0 jednotek SHU (Scoville Heat Unit), zatímco velmi pálivé papriky mohou dosahovat až 300 000 jednotek SHU. Kapsaicinody obsažené v mleté paprice jsou méně stabilní látky a může docházet k jejich rozpouštění během zpracování. Při překročení sušící teploty 60 °C může začít docházet k úbytku kapsaicinoidů [2, 15].

Kapsaicinoidy jsou velice ceněné pro své zdravotní účinky, a to zejména pro terapeutické efekty jako látky s antioxidačními účinky, které působí proti tvorbě nádorů a hrají také pozitivní roli v imunitním systému [15].

Obsah kapsaicinoidů v paprice se stanovuje zejména pomocí kapalinové chromatografie, která může korelovat s výsledky senzorické analýzy. Pomocí HPLC se stanovuje nejen celková koncentrace kapsaicinoidů, ale také koncentrace různých zástupců kapsaicinoidů (kapsaicin, dihydrokapsaicin, nordihydrokapsaicin) [56].



Obrázek 4 Chromatogram stanovení kapsaicinoidů, (a) nordihydrokapsaicin, (b) kapsaicin, (c) dihydrokapsaicin [56]

### 2.2.10. Prvkové složení

Prvkové složení mleté papriky hraje podstatnou roli v získání informací o původu vzorku. Koncentrace prvků v paprice se liší geografickou polohou pěstování, klimatickými podmínkami, koncentrací prvků v půdě využitě pro pěstování a schopností rostliny akumulovat tyto prvky. Mletá paprika obsahuje prvky v širokém rozmezí koncentrací s pozitivním nebo negativním vlivem na lidský organismus. K negativním vlivům dochází zejména vlivem kontaminace mleté papriky tzv. toxickými kovy. Obecně mezi vysoce toxické

prvky detekované v rostlinách patří As, Cd, Hg a Pb. Tyto prvky ohrožují biochemické procesy v buňkách, což může vést při konzumaci ke vzniku nádorových onemocnění. Některé prvky jsou však pro rostlinu esenciální, mezi tyto prvky se řadí Cr, Mn, Mo, Zn, Fe, Co, Cu, Al a Ni. Přesto i tyto prvky mohou být ve vysoké koncentraci toxické pro samotnou rostlinu [16].

Rubio et. al. analyzovali rozdíly v koncentraci vybraných prvků ve španělské paprice. Pro porovnání zvolili čerstvou zelenou papriku a vyzrálou červenou papriku. Výsledkem studie byla detekce vyšší koncentrace vybraných prvků (Mg, P, Fe, Cu, Zn, Mn a B) ve vyzrálé červené paprice oproti čerstvé zelené paprice [17].

### **2.3. Technologické fáze výroby mleté papriky**

Způsoby pěstování a zpracování papriky se liší v mnoha regionech, přesto je však možné popsat určité základní kroky, které jsou nutné při výrobě mleté papriky. Paprika roste v různých typech půdy, nejvíce ji však vyhovuje plodná a dobře živěná půda s nižším obsahem vody. Kromě druhu papriky se na vlastnostech podílí oblast pěstování, typ půdy, struktura půdy a péče o ni. Před samotným zasazením do půdy se obvykle paprika vypěstuje ve skleníku a tím se zkrátí doba nutná k následnému pěstování papriky na poli. Ideální teplota pro pěstování na poli se pohybuje okolo 25 °C [18].

Během kultivace na poli jsou rostliny vystaveny vnějším stresorům, ke kterým patří nestálý přísun vody, rozdíly v denních a nočních teplotách, ohýbání částí rostliny vlivem větru, vyčerpání nutrientů nebo poškození od škůdců. Tyto stresory mohou ovlivnit růst rostliny, úrodu nebo metabolismus esenciálních látek, například karotenoidů. Velkou výhodou tedy přináší použití skleníků, které omezují nebo přímo blokují tyto stresové faktory. Takto vypěstovaná paprika má obecně sensoricky lepší vlastnosti (velikost, lesk, sytost barvy), ale také lepší nutriční vlastnosti. Hlavní výhodou skleníků je možnost udržovat konstantní podmínky po celý rok, což také umožňuje sklizeň během celého roku [19].

Při pěstování ve sklenících se využívá plastových pytlů naplněných mulčí. Výhodou těchto pytlů je možnost rannější sklizně, snížení růstu plevelů a zadržení vlhkosti a hnojiva. Do těchto pytlů je ve sklenících přiváděna voda pomocí systému vodovodních trubek. Další výhodou plastových pytlů je zabránění znečištění produktu od hlíny. Oproti tomu hlavní nevýhodou je požadavek na určitou mechanizaci postupu plnění pytlů mulčí, což zvyšuje náklady na pěstování. Přesto však plastové pytle zvyšují úrodu a náklady tak nepřevyšují zisk [18].



*Obrázek 5 Pěstování papriky v plastových pytlech umístěných ve sklenicích [20]*

### **2.3.1. Hnojení**

Hnojení je základním technologickým procesem, který slouží k obohacení půdy a k dodání potřebných živin rostlině v ideálním čase. Způsob hnojení je ovlivněn odrůdou, tradicí pěstování, způsobem orby a sadby a také současnými klimatickými podmínkami. Prvním krokem je správné nastavení pH půdy, které přímo ovlivňuje růst rostliny, dostupnost živin a aktivitu mikroorganismů. Pro produkci papriky by pH mělo být lehce kyselé až neutrální. Ke snížení pH se využívá dusík, ke zvýšení naopak vápenec. Neexistuje obecné schéma správného hnojení, protože každá půda a každá rostlina je závislá na různé hodnotě pH, reziduích nutrientů a vlastní úrodnosti půdy. Tyto ukazatele by měly být známy několik měsíců před samotnou aplikací hnojiv, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám nejenom hnojiv, ale také aby hnojiva neponičila rostliny.

Hnojiva rostlinám dodávají různé prvky, nejčastěji jsou jimi však fosforečno-draselné a dusíkaté směsi. Mezi další prvky se řadí síra, zinek, hořčík a bor. Tyto prvky jsou většinou dodávány v komplexních směsích a jsou aplikovány na listy nebo do půdy před sadbou. Součástí procesu hnojení je také aplikace pesticidů, které snižují ztráty při pěstování. Mezi aplikované druhy pesticidů se řadí insekticidy, fungicidy a herbicidy [18].

### **2.3.2. Sklizeň**

Období sklizně se většinou odvíjí od stupně zralosti papriky, která je vyžadována pro konkrétní trh. Čerstvá paprika by měla být sklizena nezralá s pevnou slupkou a lesklou barvou. Naopak paprika, která se využívá pro koření, se sklízí později, kdy je již zralá a má vyšší obsah sacharidů. Paprika se většinou sklízí ručně [18].



Bae et. al. studovali stupeň zralosti papriky a vliv zralosti na koncentraci biologicky aktivních látek (vitaminu A a C, kapsaicinoidů, karotenoidů). Dle studie je koncentrace těchto látek vyšší ve zralé paprice oproti nezralé. Dochází také ke zvýšení antioxidační kapacity, což je podstatný faktor pro komerční sféru, kdy umožňuje prodloužení trvanlivosti čerstvé papriky [21].

Po sklizni obvykle následuje třídění, při kterém se odstraňují poškozené a nakažené plody. Také se z plodů odstraňují zbytky hlíny. Dále se třídí papriky dle intenzity zbarvení a velikosti. Takto vytríděné jsou čerstvé papriky dodávány na trh. Papriky sloužící jako koření jsou dále zpracovávány [18].

### **2.3.3. Zrání**

Během zrání papriky stále dochází k biochemickým procesům, které ovlivňují obsah přítomných látek s antioxidačními účinky. Vliv zrání na obsah těchto látek v maďarské paprice zkoumali ve své studii Daood et. al. Na začátku zrání papriky dochází ke značnému navýšení koncentrace kyseliny askorbové, zatímco koncentrace tokoferolů a  $\beta$ -karotenu vzrůstá pomalu. Po určité době však dochází ke změně biochemických procesů, kdy nastává pokles koncentrace tokoferolů a také kyseliny askorbové, zatímco koncentrace  $\beta$ -karotenu nadále vzrůstá, protože v paprice neustále pokračuje biosyntéza této látky na úkor degradovaných chloroplastů [22, 23].

### **2.3.4. Sušení**

Sušení je technologická operace, při které je cílem snížení obsahu vody a zabránění poškození produktu mikroorganismy. Během sušení papriky se nastavují podmínky tak, aby nedocházelo k nežádoucím dějům. Existují různé možnosti sušení, klasická metoda využívá slunečního svitu, který napomáhá snižování obsahu vody v paprice, která je rozložena na polyethylenových sítkách. K zajištění jednotného sušení se několikrát denně paprika přehází. K zabránění zpětnému získání vlhkosti během noci dochází k nakupení papriky a přikrytí plastovou fólií. Během jednoho týdne až 10 dnů poklesne vlhkost papriky na 10 až 14 %. Čím dříve je paprika sklizena, tím kratší vyžaduje dobu sušení. Tento způsob sušení v otevřeném prostoru je však náchylný na rychlé změny počasí a také na nebezpečí poškození hmyzem nebo hlodavci.

Ze zmíněných důvodů se používá alternativa ke klasickému sušení, a to tzv. skleníkové sušárny. Ty využívají schopnosti klasického skleníku udržovat vysokou teplotu a během teplých měsíců dochází k sušení papriky uvnitř skleníků. V zimě je možnost vytápění a paprika se tak může produkovat po celý rok. Využívají se buď jednokomorové, nebo dvoukomorové. Do jednokomorových se naveze paprika a nechá se volně vysoušet do požadované vlhkosti. Principem dvoukomorové sušárny je přesouvání horkého vzduchu z jedné komory do druhé za současného vysoušení papriky v obou komorách [24].

Další možností je sušení v tunelové sušárně. Paprika je kontinuálně přiváděna do sušárny pomocí pásového dopravníku nebo v kontejnerech na vozících. Do sušárny je přiváděn horký vzduch, který zahřívá papriku a dochází k odpařování vody. Hlavní výhodou tunelové sušárny je kontinuální sušení materiálu, nízké nároky na obsluhu a možnost rychle měnit podmínky sušení. Alternativním způsobem přívodu teplého vzduchu je přítomný skleník, ve kterém se

teplý vzduch produkuje vlivem slunečního záření a převádí do tunelové sušárny. Tento způsob může výrazně snížit energetické náklady [25].

Během sušení a tepelného záhřevu dochází také k biochemickým změnám, a to konkrétně k neenzymatickému hnědnutí, které má za následek tvorbu sloučenin hnědého zbarvení, které ovlivňují barvu papriky. Děje se tak zejména při vysokých teplotách, kdy k tomuto jevu dochází z důvodu přítomnosti cukrů a aminokyselin. Nežádoucím jevem je degradace karotenoidů, která vyúsťuje ve snížení intenzity barvy. Vážným problémem je také odpařování těkavých látek při sušení za vysoké teploty, čímž paprika ztrácí své původní aroma [26].

Výroba mleté papriky se liší v podmínkách sušení, zpravidla se teploty pohybují v rozmezí 35–80 °C. Vyšší teploty však mají za následek zmíněnou oxidaci karotenoidů a ztrátu barvy [27].

### **2.3.5. Mletí**

Po dostatečném vysušení papriky následuje proces mletí. Dle slovenského způsobu zpracování Žitavské papriky probíhá mletí ve dvou fázích na kamenném rotačním mlýně. Mlecí kámen v první fázi slouží k rozdrcení paprikových lusků na floky a následnému přesetí vymleté papriky, která poté propadá do sběrného dopravníku a směřuje do homogenizačního zařízení. V homogenizačním zařízení dochází ke druhé fázi mletí na tzv. vybarvovacím kameni, který roztírá tuky s barvivou. Po rozemletí se materiál proseje a získá se homogenní výrobek [28].

Daood et. al. se zabývali vlivem mletí na degradaci látek s antioxidačním účinkem ve vzorcích maďarské papriky. V mleté paprice se během následného skladování postupem času snižoval obsah tokoferolů, kdy mletá paprika ztratila 70, 90 a 100 % tokoferolů během 30, 60 a 90 dnů skladování. Koncentrace kyseliny askorbové se během prvních dvou měsíců snížila na 35 a 20 %. Po 120 dnech uskladnění mleté papriky se koncentrace kyseliny askorbové snížila na 10 %. Studie také zkoumala vliv mletí na koncentraci  $\beta$ -karotenu, která se v prvních dvou měsících snížila pouze nepatrně. Během dalších dvou měsíců skladování však koncentrace výrazně klesla až na 10 %. Tento výrazný pokles je připisován snížené koncentraci prvně zmíněných látek s antioxidačním účinkem, které již nezabraňovaly oxidaci  $\beta$ -karotenu [22].

### **2.3.6. Skladování**

Závěrečnou fází při výrobě mleté papriky je skladování produktu. Stanovení vhodných podmínek skladování by mělo zaručit stálost výrobku a udržení požadovaných vlastností. Pro udržení vysoké intenzity zbarvení by paprika neměla být skladována na světle, kde může docházet k degradaci karotenoidů. Také by při skladování neměla její vlhkost přesáhnout 12 %, v opačném případě může docházet k rozmnožování plísní. K zastavení degradačních procesů se využívají látky s antioxidačními účinky. Paprika sama o sobě již obsahuje kyselinu askorbovou působící proti oxidaci, avšak během zpracování dochází k výrazným ztrátám. Tento jev lze řešit tzv. restitucí, při které se přidává určité množství kyseliny askorbové k dosažení původní hodnoty v surovém produktu. Dalšími používanými látkami jsou tokoferoly a extrakt z rozmarýnu, jejichž antioxidační schopnost se využívá při

teplotách nad 25 °C, respektive pod 4 °C u druhé zmíněné látky. K zajištění antioxidační aktivity při změně teploty je tedy často nutné přidávat více než jednu látku s antioxidačními účinky. Přidávky těchto látek však znamenají ztrátu ochranné známky. Nejlepší antioxidační ochranou je pro tyto výrobce zavedení správných podmínek skladování. K tomu napomáhá proces sušení, kdy při kvalitním vysušení papriky není vyžadován přídavek žádných látek s antioxidačním účinkem [27].

Podstatným kritériem pro kvalitní papriku je její barva. V průběhu skladování a posklizňových úprav může docházet ke ztrátě intenzity barvy vlivem oxidace karotenoidů. Jejich stabilita závisí na podmínkách při sušení. Karotenoidy jsou velice stabilní, pokud jsou v neporušeném rostlinném pletivu. Při zpracování jsou však nechráněny a velice snadno podléhají změnám z důvodu vyšší teploty, přítomnosti světla nebo kyslíku. Oxidace karotenoidů je také způsobena přítomností kovů, enzymů nebo peroxidů [27].

Mletá paprika se obvykle skladuje v normální atmosféře v neprodyšných plastových pytlích obvykle opatřených hliníkovou fólií pro zvýšení bariérových vlastností materiálu. V některých případech je skladována vakuovaná nebo je balena s modifikovanou atmosférou. Ramakrishnan et. al. studovali vliv použitého plynu při skladování v plastových sáčcích a závěrem jejich studie bylo zjištění, že použití dusíkaté atmosféry nemá žádný signifikantní vliv na vlastnosti papriky oproti kyslíkové atmosféře. A to jak při běžné pokojové teplotě, tak také při zahřívání [5, 26, 29].

## **2.4. Posuzování jakosti a čistoty mleté papriky**

Mletá paprika je důležitým kořením v potravinářském průmyslu a vyžaduje vysokou kvalitu. Ta se hodnotí dle chuti, pálivosti a intenzity zbarvení. Vlivem zvyšujících se požadavků na bezpečnost potravin je nutné, aby mletá paprika nebyla náchylná na výskyt mikroorganismů a nežádoucích látek. Kvalita mleté papriky se hodnotí buď senzoričky nebo analyticky.

Pro senzoričké hodnocení by měla mletá paprika mít čerstvou, lehce ovocnou vůni, příjemnou ovocnou a sladkou chuť, případně dle pálivosti by měla být nepálivá, mírně pálivá nebo pálivá. Neměla by mít hořkou pachů a neměla by obsahovat nepříjemný zápach nebo chuť. Zásadní je také intenzivní červená barva, která by měla být stabilní.

Z hlediska analytického hodnocení stanovuje norma maximální povolené hodnoty pro mletou sladkou papriku. Její zrna by neměla být větší než 0,50 mm, maximální vlhkost by měla být 11 %, zatímco obsah popele maximálně 6,5 %. Obsah kapsaicinů sladké mleté papriky by se měl pohybovat v rozmezí 0–10 mg/100 g vzorku [30, 31].

Martín et. al. analyzovali aroma španělské papriky, a to uzené, sušené v peci a sušené na slunci a stanovovali obsah těkavých kyselin. Panel 15 členů ohodnotil uzenou papriku nejvyšší přijatelností, vynikala zejména intenzivní, stálou kouřovou vůní. Oproti tomu mletá paprika sušená v troubě měla ovocné tóny a chuť podobnou čerstvé paprice. Mletá paprika sušená na slunci byla nejméně přijatelná z důvodu slámové chuti.

Stanovení těkavých sloučenin v uzené mleté paprice prokázalo vyšší koncentraci alkoholů, fenolů a pyrrolů, zatímco pro mletou papriku sušenou v peci byla charakteristická přítomnost aldehydů a terpenů. Mletá paprika sušená na slunci měla významně nižší koncentraci těkavých látek než zbylé vzorky. Intenzita a stálost kouřového aroma souvisely s přítomností fenolů a alkoholů, zatímco sladká chuť byla ovlivněna přítomností aldehydů [32].

## **2.5. Falšování mleté papriky**

Falšování potravin se objevuje již u směnného obchodu, kdy hlavním účelem falšovatele bylo cíleně oklamat kupujícího s cílem finančního zisku. V dnešní době se falšovací metody zdokonalují a sám spotřebitel se stává takřka bezbranným. Mezi nejčastěji falšované potraviny se řadí lihoviny, víno a samozřejmě také koření. K ochraně spotřebitele u mnoha komodit slouží autentizační proces, který pomáhá k odhalení falšovaných potravin [33].

Autentizace potravin pokrývá mnoho různých aspektů zahrnujících charakterizaci, chybné označování a falšování. Falšování se definuje jako proces, kterým kvalita nebo povaha potraviny je snížena přidáním cizorodé nebo podřadné látky nebo proces, při kterém se jeden druh dané komodity ze specifické geografické polohy zaměňuje za jiný [33].

Koření v práškové formě je velmi citlivé na falšování, zejména z důvodu dlouhého a komplikovaného dodavatelského řetězce. Zboží se v něm dostane k finálnímu spotřebiteli až po několika procesech nákupu a prodeje. Během tohoto procesu může docházet k opakovanému falšování, a tedy i jednou testovaný vzorek může být dalšími distributory opět zfalšován a zfalšovaný vzorek poté přidán do finálního produktu [34].

### **2.5.1. Způsoby falšování potravin**

Falšování je možné rozdělit dle několika způsobů provedení. V každém z nich dochází k určitému klamání spotřebitele a jeho okrádání. Mezi běžnou praxí se řadí záměna určité potraviny za jinou, tedy konkrétně levnější komodita za dražší, případně komodita z méně populární lokality za tu, která je uvedena na obale. Další praktikou klamání spotřebitele je nastavování potraviny levnější složkou, nebo uvádění nedeklarovaných složek na obalu. Mezi další běžně se vyskytující způsoby falšování se řadí možnosti nastavování komodity složkou zlepšující její vlastnosti a také uvádění vyššího obsahu určité složky. Největší pozornost vzbuzují ty způsoby falšování, které ohrožují zdraví spotřebitele. V poslední dekádě však mají tyto případy sestupnou tendenci [33].

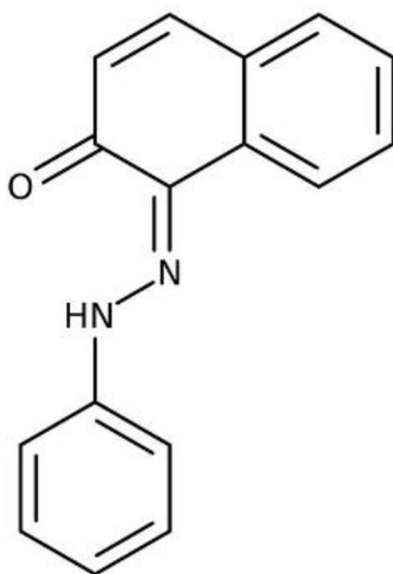
### **2.5.2. Dobarvování mleté papriky**

Výrazný případ falšování mleté papriky se stal v roce 1994, kdy byl pozastaven prodej mleté papriky v Maďarsku. Potíže přinesla dovezená mletá paprika z Rumunska, která byla ve směsi s toxickým oxidem olovnatým, který měl zvýšit intenzitu zbarvení mleté papriky. Po zkonsumování této papriky muselo být 60 lidí hospitalizováno. Maďarské úřady poté detekovaly olovo v 15 % testovaných vzorků a následkem toho byly zavedeny striktní kontroly nejen pro prodejce, ale také pro výrobce mleté papriky [34].

Dobarvováním mleté papriky se zvyšuje sytost barvy, což vytváří čerstvý vjem papriky a spotřebitele láká k opakovanému nákupu. Pro tento způsob falšování se využívají syntetická

a přírodní barviva. Existují dvě základní skupiny, mezi které patří azobarviva se zástupci Sudan I-IV nebo Rhodamin B a dále trifenylmetanová barviva, jejímž zástupcem je zelený malachit.

Nejčastěji používaným syntetickým barvivem při dobarvování mleté papriky je barvivo Sudan, které je však klasifikováno jako lidský karcinogen, a proto je v Evropské unii zakázáno. V roce 2003 byl zvýšený nárůst právě v kořenících přípravcích, Evropská unie tedy vydala směrnici na nutnost kontroly přítomnosti barviva Sudan [35]. Od zmíněného roku 2003 se také začal zvyšovat zájem vědců o toto odvětví a byla snaha o vyvinutí rychlých a levných metod na detekci přidávaného barviva. I přes zvýšenou kontrolu mleté papriky na obsah barviva Sudan neustále dochází k překračování limitů a k detekci tohoto barviva ve vzorcích mleté papriky. I proto jsou neustále vyvíjeny nové metody na odhalení, mezi které se řadí UV spektrometrie, Ramanova spektrometrie, nukleární magnetická spektroskopie, infračervená rezonance a mnoho dalších [36, 37].



Obrázek 6 Chemická struktura syntetického barviva Sudan I [38]

Kromě syntetických barviv se používají k falšování také přírodní barviva. Běžně využívaným je například červený pigment Monascus. Ten se získává fermentací ve východoasijských zemích z hub, které produkují sekundární metabolity zodpovědné za červený pigment. Ke stanovení přidávaného pigmentu Monascus se využívá technika HPLC-HRMS s Q-TOF detekcí [39].

Další možností zvýšení intenzity barvy mleté papriky je přidání oleoresinu. Horvath et. al. zkoumali, jak se mění vlastnosti mleté papriky s přidáním oleoresinu během skladování ve 7 vzorcích mleté papriky z Číny, Peru a Maďarska. Po 9 měsících skladování se v průměru snížila intenzita zbarvení o 33 %. Množství přidávaného oleoresinu však dle studie neovlivnilo tento pokles [41].

### 2.5.3. Nahrazování mleté papriky levnější složkou

V historii byly zaznamenány případy, při kterém se do papriky přidávaly levnější složky, aby paprika nabyla objemu. Mezi takto přidávané složky se v minulosti zařadily pepř, kurkuma, síran barnatý, lískový oříšek a také prášek z cihly. Tyto způsoby falšování neústí pouze ve finanční zisk prodejce, ale také ve zdravotní rizika pro konzumenta. Některé náhrady mohou zapříčinit alergické reakce nebo mohou být pro konzumenta karcinogenní. K detekci těchto náhrad je nutné využít různé analytické metody. Mezi používané metody k detekci neautentických složek v mleté paprice se řadí infračervená spektroskopie, DNA analýza nebo ICP-MS [47].

V komerčních vzorcích mleté papriky z Indie Dhanya et. al. detekovali přítomnost nadrceného ovoce *Ziziphus nummularia*. K detekci využili metodu DNA analýzy, konkrétně za použití metody SCAR (Sequence Characterized Amplified Region). Tuto metodu se snažili použít také na detekci nadrcené červené řepy, která se také používá jako barvivo v mleté paprice. V komerčních vzorcích se jim toto barvivo nepodařilo detekovat [40].

### 2.5.4. Záměna původu mleté papriky

Chemické složení rostlin je dáno podmínkami pěstování, které zahrnuje kvalitu půdy, teplotu, množství srážek a způsoby pěstování a zpracování. Proto se ochrana geografického původu stala jedním z hlavních důvodů pro udělování ochranné známky původu komodity. Používá se k rozeznání unikátní a odlišné charakteristiky dané komodity a k ochraně kvality a pověsti výrobku pocházejícího z dané geografické oblasti. Pro koření se geografická ochrana stala důležitým ekonomickým faktorem, zejména pro ty druhy pěstované tradičními metodami, které přidávají výrobku unikátní vlastnosti, aby byl schopný obstát na trhu [37].

Ochranná známka pro chráněné označení původu (CHOP) – PDO (Protected Designation of Origin) – je udělována těm komoditám, které splňují podmínky nařízení Evropského parlamentu a Rady EU č. 1151/2012 o režimech jakosti zemědělských produktů a potravin. Definice chráněného označení původu dle zmíněného nařízení zní: „CHOP je označení výjimečného zemědělského produktu nebo potraviny z daného regionu či místa, jejichž jakost nebo vlastnosti jsou dány zvláštním zeměpisným prostředím.“ [42]



Obrázek 7 Ochranná známka pro Chráněné označení původu [43]

K odhalení falšování země původu mleté papriky se využívají různé metody, mezi jednu z hlavních metod patří stanovení prvkového složení vzorku, které je ovlivňováno složením půdy a klimatickými podmínkami dané oblasti při pěstování. Existuje metoda tzv. elementárního fingerprintingu (česky otisky prstů), která je založena na podstatě, že každá komodita má své unikátní složení prvků, které se odvíjí od geografického původu. Díky elementární analýze je poté možné určit, zda daná paprika má obdobné složení prvků jako jiné papriky ze stejné lokality. Fingerprinting je samotný proces, při kterém se vytváří nebo analyzují dané charakteristické znaky objektů. Znakem v tomto případě může být chemické složení, objektem například vzorek mleté papriky. Mezi spolehlivé indikátory klimatických podmínek patří také izotopové poměry dusíku, uhlíku, kyslíku a vodíku, u kterých hodnota izotopového poměru závisí na daném regionu a zemědělské praxi [14, 44].

Ve Španělsku dochází k častému falšování papriky, kdy klasické odrůdy s ochrannou známkou z oblasti Murcia a La Vera (které tvoří přes 90 % španělského trhu) jsou nahrazovány jinými podřadnými odrůdami papriky, avšak na trh uváděny jako vysoce kvalitní mletá paprika ze zmíněných oblastí. K odhalení tohoto falšování byly vyvinuty úspěšné metody. Používanou metodou je kapilární zónová elektroforéza a také kapalinová chromatografie s UV detekcí, která odhalí falešnou papriku pomocí výrazně odlišné koncentrace fenolických sloučenin [45].

Brunner et. al. [46] analyzovali velký počet vzorků mleté papriky z různých zemí. Cílem jejich studie bylo vytvořit spolehlivý elementární fingerprint pro maďarskou mletou papriku *Szegedi Fuszer paprika*, která je opatřena ochrannou známkou. K identifikaci prvků využili metodu ICP-MS a posléze statistickou analýzu. Dle studie prvky B, Mg, Ca, Mn, Cu a Zn se příliš neliší v rámci geografického původu. Naopak signifikantní roli hraje poměr prvků

Rb/Sr, kdy vzorky mleté papriky z Francie mají tento poměr až 25x vyšší než vzorky z Maďarska. Jako podstatný faktor také zhodnotili izotopový poměr  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , ve kterém se vzorky z Číny, Španělska, Maďarska, Senegal a Itálie významně lišily od maďarské papriky. K zajištění spolehlivého fingerprintingu také analyzovali vliv zpracování mleté papriky. Vlivem procesu mletí a použití kovového materiálu narůstala koncentrace Al, Ti, Cr a Fe. Z tohoto důvodu tyto prvky nemohou sloužit k spolehlivému stanovení geografického původu mleté papriky [46].

### **2.5.5. Kontaminanty v mleté paprice**

Kontaminanty se dostávají do papriky úmyslně či neúmyslně. V Maďarsku v roce 2004 pomohla přítomnost kontaminantů odhalit falšování mleté papriky, kdy byl ve vzorcích papriky s deklarovaným maďarským původem odhalen aflatoxin. Tento aflatoxin byl produkován plísněmi, které se však v Maďarsku nevyskytují. Později bylo zjištěno, že domácí mletá paprika byla namixována s paprikou přivezenou z jižní Ameriky, kde byl potvrzen výskyt detekovaných aflatoxinů [34].

#### **2.5.5.1. Mykotoxiny**

Paprika je velmi náchylná na plísně, které tvoří mykotoxiny. Ty se mohou dostat do suroviny během růstu, sklizně, transportu nebo během skladování. Mezi nejzávažnější mykotoxiny, které produkují plísně a které se dostávají do papriky, se řadí aflatoxiny, Ochratoxin A a také fumonisiny. Tyto mykotoxiny jsou zodpovědné za celou řadu ledvinových, teratogenních a mutagenních nemocí. Dle nařízení Evropské komise musí dovozci splňovat maximální limit Ochratoxinu A v paprice, který činí 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Pro aflatoxiny je tento limit stanoven na 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  a 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  v závislosti na druhu toxinu. K detekci mykotoxinů v mleté paprice se využívá kapalinová chromatografie s fluorescenčním detektorem [48, 49, 50].

#### **2.5.5.2. Rezidua pesticidů**

Klimatické podmínky při pěstování koření mohou zapříčinit nemoci rostlin nebo náchylnost na škůdce. Z těchto důvodů se využívají různé druhy pesticidů ke snížení ztrát při produkci. Po aplikaci pesticidů dochází k častému vzniku reziduí, které se mohou akumulovat v přírodě. Sekundární produkty rozpadu pesticidů vzniklé UV zářením, změnou pH nebo působením mikroorganismů se dostávají do rostlin a kontaminují je, což má posléze za následek ohrožení lidského zdraví.

Rezidua pesticidů se mohou objevit v paprice při aplikaci pesticidů, při nesprávné zemědělské aplikaci nebo při špatných podmínkách během skladování a zpracování [48].

Mezi nelegální pesticidy se v současnosti řadí organochlorinové pesticidy typu DDT, které byly již v roce 1968 zakázány v Evropě, ale z důvodu jejich vysoké perzistence je stále možné je v rostlinách detekovat. Dalšími stále používanými pesticidy je skupina fungicidů, a to konkrétně triazoly nebo azoxystrobin, které likvidují plísně [48]. Ty se mohou dostat do papriky nejen během růstu, ale také při skladování. Mezi používané herbicidy k odstranění plevelů se řadí napropramid, který se aplikuje do půdy před pěstováním. Typicky používaný herbicid glyfosfát se nemůže konkrétně pro odrůdy papriky používat, a to z důvodu fytotoxicity [51, 52].



Kontrola obsahu pesticidů je zvlášť důležitá, protože spotřebitel není schopen je odstranit během přípravy jídla. K detekci pesticidů v mleté paprice slouží plynová chromatografie, UPLC nebo také Orbitrap-HRMS [48].

### **2.5.5.3. Toxické kovy**

Mezi další kontaminanty mleté papriky se řadí toxické kovy, mezi které patří olovo, kadmium, rtuť a nikl. Tyto tzv. těžké kovy paprika nedokáže využít pro své biochemické procesy, a proto dochází k jejich akumulaci v rostlině. Těžké kovy se v půdě přirozeně vyskytují, ale vlivem průmyslu dochází v půdě k nárůstu jejich koncentrace a kontaminují okolní prostředí. Pokud spotřebitel dlouhodobě konzumuje papriku s vyšším obsahem toxických kovů, může docházet k hepatotoxickým či neurotoxickým onemocněním s vážnými následky [48].

## **2.6. Použité analytické metody**

### **2.6.1. Stanovení obsahu vody**

Měření obsahu vody ve vzorku papriky je podstatné pro kontrolu mikrobiálního růstu v potravine, který souvisí s faktorem stability a kvality potraviny. Používanou metodou stanovení obsahu vody je titrace dle Karl-Fischera, která je založena na principu jodometrického stanovení vody v roztoku báze (pyridin, imidazol), metanolu s oxidem siřičitým a dalšími rozpouštědly. Voda reaguje s jódem a dalšími složkami roztoku a množství vody se poté stanovuje coulometricky. Reakce probíhá ve dvou krocích a je znázorněna v Rovnici č. 2. Výhodou této metody je aplikace při analýze sušených výrobků s nízkým obsahem vlhkosti, nevýhodou jsou však vyšší pořizovací náklady [53].



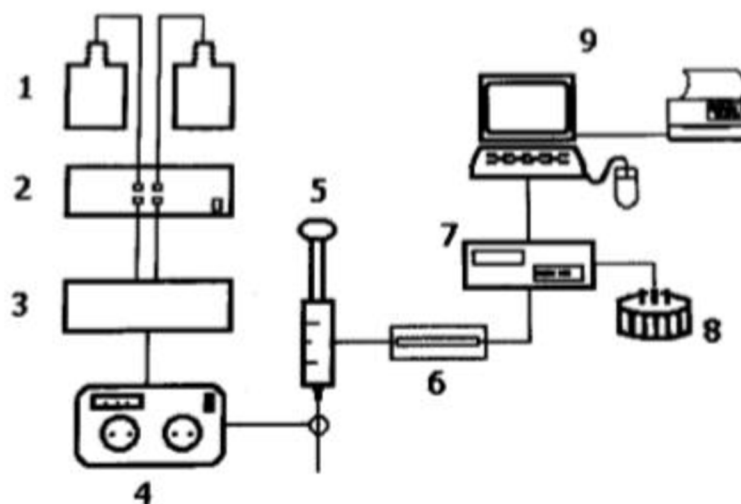


Obrázek 8 Přístroj 870 KF Titrino Plus od společnosti Metrohm [69]

### 2.6.2. Vysokoučinná kapalinová chromatografie (HPLC)

Chromatografie umožňuje separaci a analýzu různých směsí a sloučenin. U kolonových technik jsou separované analyty unášeny do detektoru, kde dochází k vyhodnocování signálů a vytvoření chromatogramu. Do chromatogramu jsou zaznamenávány chromatografické píky, které slouží k identifikaci látek pomocí retenčního času nebo ke kvantitativnímu stanovení, které se stanoví pomocí výšky nebo plochy píku [70].

Kapalinový chromatograf se skládá z několika částí. Pro uchování mobilní fáze slouží zásobníky mobilní fáze a pro transport mobilní fáze poté vysokotlaké čerpadlo. Další částí HPLC je systém dávkování vzorku. To je prováděno pomocí autosampleru nebo manuálního dávkovacího ventilu. Separace látek následně probíhá pomocí chromatografické kolony, ve které se konstantní teplota udržuje termostatem. Analyty jsou poté detekovány na detektorech a záznam je uveden do počítače. Příklad schématu kapalinového chromatografu je uveden na Obrázku č. 9 [71].



Obrázek 9 Schéma sestavení HPLC: (1) Zásobníky mobilních fází, (2) odplyňovač, (3) směšovač, (4) vysokotlaké čerpadlo, (5) dávkovač vzorku, (6) chromatografická kolona, (7) detektor, (8) sběrač frakcí, (9) datová stanice [71]

### 2.6.2.1. Transport mobilní fáze

Roztok mobilní fáze ze zásobníku se nejprve odplyňuje, aby nedocházelo k uvolňování bublinek rozpouštěcího plynu. V opačném případě by přítomnost bublinek mohla mít za následek špatnou opakovatelnost měření, nestabilitu základní linie, špatnou opakovatelnost retenčních časů či nestabilní výkon čerpadel. Pro odplynění mobilní fáze se využívá běžně probublávání heliem nebo vytvoření vakua [71].

K čerpání mobilní fáze ze zásobníku se využívají vysokotlaká čerpadla, která umožňují regulaci průtoku a zajišťují stabilní průtok mobilní fáze. Podstatným faktorem u čerpadel je jejich pracovní tlak, který by měl být vyšší než 10 MPa. Materiál čerpadla by neměl podléhat korozi. Čerpadla se dělí na pneumatická, bezpulsní (tzv. lineární) a pulsni neboli reciproční. Moderní chromatografy využívají zejména vysokotlaká dvoupístová čerpadla [70].

### 2.6.2.2. Dávkování

Dávkování je nedílnou součástí chromatografu a může ovlivnit kvalitu píků. Pomocí dávkovacího zařízení se vnáší vzorek do toku mobilní fáze. Provádí se ve formě úzkého koncentračního pulzu, aby nedocházelo k rozmývání píků. Běžně využívanými dávkovacími zařízeními jsou septové dávkovače, které vnáší vzorek pomocí injekční stříkačky. Dalším typem jsou dávkovací kohouty, které jsou schopné nadávkovat vzorek ve velice přesném objemu. Kohouty mohou být vícecestné a jsou součástí automatických dávkovačů [70].

### 2.6.2.3. Kolony

V chromatografických kolonách probíhá separace složek směsi. Kolony jsou v dnešní době vyráběny zejména komerčně a musí splňovat určité parametry. Mezi ně se řadí schopnost odolat tlaku až 100 MPa, musí být odolné vůči chemickým reakcím mobilní fáze a musí mít také hladký povrch. Chromatografické kolony mají obvykle délku 100 až 300 mm a jsou vyrobeny z nerezové oceli. Náplní kolon v HPLC bývají nejčastěji částice nesoucí hydrofobní uhlíkový řetězec o různém počtu uhlíků. K zajištění konstantní teploty v koloně se využívá termostat, a to nejčastěji kapalinový nebo horkovzdušný [71].

#### **2.6.2.4. Detektory**

Detektory slouží k analýze látek, které vycházejí z chromatografické kolony. Pomocí snímače detektory sledují určitou vlastnost eluátu, zesilují přijímaný signál a zaznamenávají jej do chromatogramu. Moderní detektory se vyznačují vysokou citlivostí, lineární koncentrační odezvou, nízkým šumem a minimálním vlivem na funkci při změně okolních podmínek. Celá detekce by měla probíhat v co nejkratším čase [70].

Mezi často využívané detektory u HPLC techniky se řadí spektrofotometrické detektory, se zdrojem záření o vlnové délce od 190 do 800 nm. Podstatnou část těchto detektorů tvoří průtočná cela. Její konstrukce musí být taková, aby vlivem ní nedocházelo k mísení separovaných elučních zón. Další podstatnou vlastností detektoru je množství vlnových délek, který je schopen snímat. Dle toho se dělí na detektory s fixní vlnovou délkou, s měnitelnou vlnovou délkou a s programovatelnou vlnovou délkou. Poslední možností jsou detektory s diodovým polem, které snímají celé spektrum v reálném čase. Každý zmíněný detektor je zakončen fotodiodou nebo systémem fotodiód, které jsou napojeny na kondenzátor. Vlivem dopadu fotonů se vybije kondenzátor a tento úbytek proudu je poté převeden na signál [71].

Dalším využívaným detektorem je ELSD (Evaporative light scattering detector), který je založen na principu rozptylu světla. Vzorek v tomto detektoru prochází průtokovou celou a srazí se s laserovým paprskem. Vlivem této srážky dojde k rozptylu světla a intenzita tohoto světla je detekována.

Kromě výše popsaných detektorů lze v HPLC použít také vodivostní detektory, refraktometrické detektory, nebo vodivostní detektory [71].

#### **2.6.3. Metody prvkové analýzy**

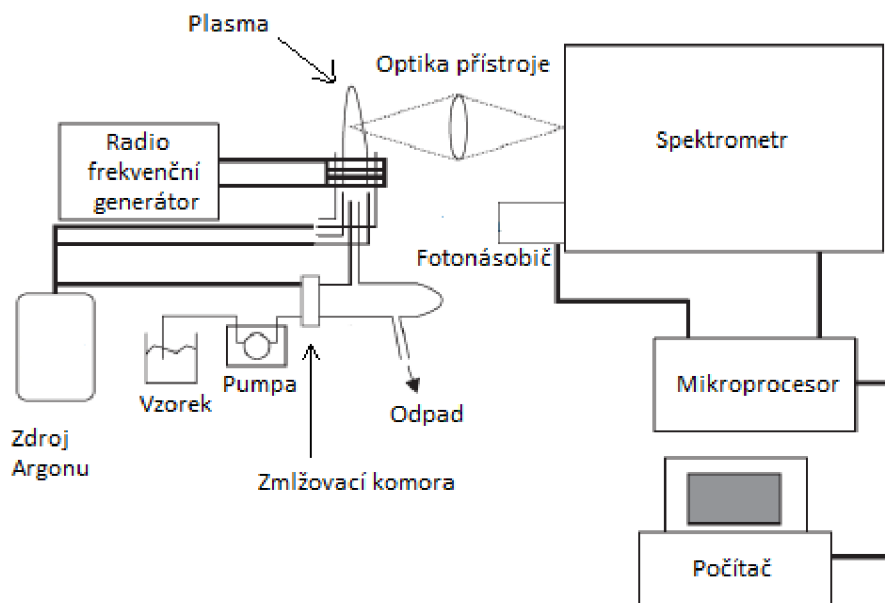
Pomocí metody prvkové analýzy je možné vytvořit elementární fingerprint, který potenciálně může poskytnout unikátní fingerprint vzorku, který se bude odvíjet od geografického původu analyzovaného vzorku. Elementární fingerprint tvoří vybrané prvky, které jsou typické pro daný vzorek a danou lokalitu pěstování. Je možné také využívat izotopové poměry, ty mohou přinést navíc informaci o způsobu pěstování. Mezi nejčastěji stanovené izotopové poměry v mleté paprice patří poměry izotopů vodíku ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ), uhlíku ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) a kyslíku ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ). Využívaným izotopovým poměrem je také  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Poměr těchto izotopů v přírodě je ubikvitní, a je tedy možné jej stanovit v každém vzorku [44, 46, 58, 68].

V poslední době se mnoho studií zabývalo geografickou autentizací mleté papriky, pro kterou bylo k analýze využito ICP-OES nebo ICP-MS. Tuto problematiku řešili ve svých studiích Palacios-Morillo et. al., Brunner et. al. a také Poór et. al. [14, 46, 60]. Dalším využitím metod prvkové analýzy je stanovení koncentrace těžkých kovů nebezpečných pro životní prostředí nebo pro konzumenta. Toto téma se také stalo předmětem studií, konkrétně studie Kilic et. al. a Savic et. al. [61, 62].

#### **2.6.4. Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)**

Principem metody ICP-OES je excitace elektronů v atomech prvků vytvořených v přítomnosti indukčně vázaného plazmatu. Excitované elektrony při deexcitaci uvolňují přebytečnou energii

ve formě fotonů o dané vlnové délce, které následně tvoří emisní spektrum. Složení vzorku se poté odvozuje od polohy čar ve spektru, zatímco koncentrace prvku dle intenzity čáry ve spektru. Obecné schéma sestavení ICP-OES je uvedeno na Obrázku č. 10 [66].

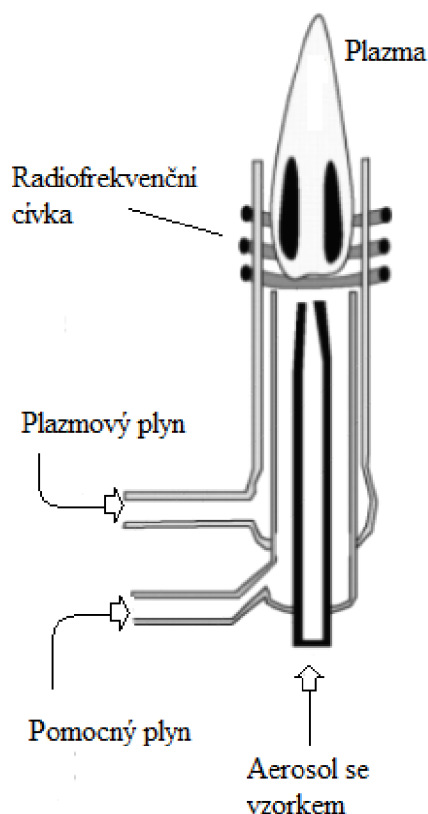


Obrázek 10 Schéma ICP-OES [66]

Vzorek v kapalném stavu je pomocí pumpy přiváděn do zmlžovače. Zde je pomocí argonu převeden na aerosol. Ve zmlžovací komoře jsou malé kapky vzorku separovány od velkých kapek dle rozdílné velikosti. Malé kapky jsou následně unášeny ve formě aerosolu do plazmového hořáku, zatímco velké kapky odcházejí do odpadu [66].

#### 2.6.4.1. Indukčně vázané plazma

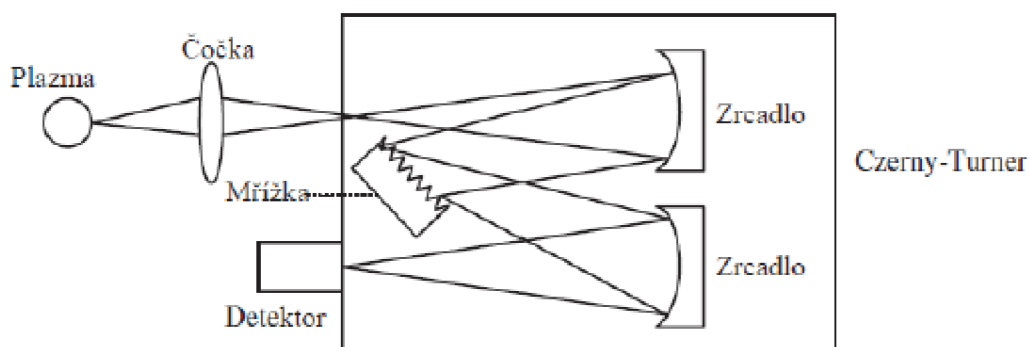
Plazma vzniká v plazmovém hořáku působením radiofrekvenčního generátoru pomocí indukční cívky v prostředí argonu. Do plazmové hlavice vtékají 3 druhy plynu: aerosol vzorku s nosným plynem (argonem), proudící plyn, díky kterému vzniká plazma (tzv. plazmový plyn, nejčastěji argon) a následně další plyn sloužící jako chladicí plyn (tzv. pomocný plyn). Díky takovému schématu je možné udržet teplotu v plazmovém hořáku 6 000–10 000 K. Při této teplotě dochází k ionizaci určité populace atomů argonu. V magnetickém poli začnou rychle migrovat ionty a uvolněné elektrony argonu, čímž začnou narážet do dalších atomů a dochází k další ionizaci. Tento proces po vytvoření rovnováhy vede ke vzniku stabilního indukčně vázaného plazmatu. Po přivedení vzorku do indukčně vázaného plazmatu dochází k odpaření rozpouštědla, k rozpadu molekul na atomy a k excitaci elektronů v elektrostacionárním obalu stanovených prvků a k vyzáření fotonů o určité vlnové délce [58, 66, 67].



Obrázek 11 Schéma plazmového hořáku [67]

#### 2.6.4.2. Optická soustava – Monochromátor

Elektromagnetické záření emitované v plazmovém zdroji přechází do optického spektrometru, ve kterém dochází k izolaci fotonů o požadované vlnové délce, která odpovídá měřeným analytům. K izolaci fotonů o různých vlnových délkách se u metody ICP-OES nejčastěji využívá monochromátor [66].



Obrázek 12 Schéma uspořádání monochromátoru Czerny-Turner [66]

#### 2.6.4.3. Detekce

Izolované fotony z monochromátoru jsou následně detekovány pomocí fotonásobiče. Ten je sestaven z fotosenzitivní katody, několika dynod a finální anody. Na fotosenzitivní katodu dopadají fotony, díky kterým se uvolní úměrné množství elektronů. Ty poté dopadají

na dynodu, ze které jsou opět uvolněny elektrony. Tento proces ústí v zesílený proud elektronů, které po dopadu na finální anodu umožňují detekci analytů [66].

## **2.7. Statistické metody**

Statistické metody obecně slouží k získání požadované informace z experimentálních dat. Tyto informace se získávají pomocí matematického aparátu a umožňují lepší pochopení naměřených výsledků. Chemická disciplína, která propojuje tyto vědní obory, se nazývá chemometrie. Chemometrie je vědním oborem, který umožňuje statisticky podložit správnost výsledků a potvrdit původní hypotézu. Chemometrie také umožňuje z naměřených parametrů vytvořit fingerprint vzorku, a tím pádem jednotlivé vzorky mezi sebou statisticky odlišit na základě rozdílného chemického složení [65].

### **2.7.1. Analýza rozptylu (ANOVA)**

Analýza rozptylu je statistická metoda, která identifikuje možné rozdíly v průměrných hodnotách více než dvou naměřených skupin vzorků (např. vzorky z různých států). Tyto rozdíly se definují jako statisticky významný rozdíl mezi skupinami. Cílem analýzy rozptylu je zjistit, zda statisticky významné rozdíly jsou způsobeny hodnotou jedné proměnné (měřené u více skupin), nebo zda je rozdíl způsoben náhodnými chybami. Nulová hypotéza vychází z předpokladu, že mezi skupinami vzorků není v daném parametru statisticky významný rozdíl. Při zamítnutí nulové hypotézy je možné odvodit rozdíly mezi danými oblastmi dle analyzovaného parametru [58, 59].

### **2.7.2. Analýza hlavních komponent (PCA)**

Analýza hlavních komponent, neboli PCA (Principal component analysis), se využívá k redukci proměnných. Děje se tak pomocí vytvoření hlavních komponent. Hlavní komponenta odráží lineární kombinaci původních proměnných. Hlavní komponenty se volí dle rozptylu, kdy s klesajícím rozptylem klesá také důležitost hlavní komponenty. Tedy čím větší je rozptyl výsledků určitých proměnných, tím hlavní komponenta získává na důležitosti. Díky hlavním komponentám poté dochází ke snížení počtu proměnných a výsledky lze promítnout do grafu.

Obecně se PCA využívá k nalezení vztahu mezi proměnnými a mezi vzorky, přičemž odstraňuje odlehlé výsledky, nachází a kvantifikuje nové hlavní komponenty a snižuje tak množství výsledků. Metoda PCA zahrnuje matematický postup, který přemění korelované proměnné do nového souboru nekorelovaných proměnných. PCA se využívá k validaci metod, určení optimálního množství proměnných a k interpretaci výsledků [63, 64].

### **2.7.3. Diskriminační analýza (DA)**

Techniky diskriminační analýzy vytvářejí modely, které mají za cíl odlišit skupiny objektů (např. vzorky z různých oblastí) pomocí vybraných diskriminátorů (obsah prvků, obsah sacharidů ve vzorku atd.). Ve vytvořeném modelu je poté možné přiřazovat jednotlivé analyzované vzorky do objektů dle zvolených diskriminantů. Největší váha je přisuzována těm diskriminantům, které definují všechny objekty. Naopak diskriminanty specifické pro

jeden určitý objekt příliš velkou váhu nemají (např. pokud je stanovovaný prvek přítomen pouze v některých vzorcích).

Lineární diskriminační analýza (LDA) je technika, u které se vybírají ty diskriminanty, které mají velký rozptyl výsledků v porovnání různých objektů. V rámci jednoho objektu jsou pak tyto rozptyly výsledků nízké. Díky této technice je možné přiřazovat neznámé vzorky do vytvořených objektů a odhadnout například geografický původ mleté papriky [58, 63, 65].



### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

#### 3.1. Popis vzorků

Ke stanovení analytických parametrů bylo vybráno 26 vzorků mleté papriky. Vzorky pochází z několika oblastí, největší zastoupení mají vzorky z Indie, Číny a Evropy.

Tabulka 1 Seznam vzorků

Název	Oblast	Země původu	Označení
Kashmiri Mirch Powder	Kašmír	Indie	I-MP
Sweet Paprika from Kashmir	Kašmír	Indie	I-KA
Spicy Paprika	Andra	Indie	I-A
Hot Paprika	Rajasthan	Indie	I-R
Sweet Kashmiri Paprika	Kašmír	Indie	I-SK
Fresh Sweet Kashmiri Paprika	Kašmír	Indie	I-SF
Fresh Spicy Paprika	Kašmír	Indie	I-HF
Hot Chilli	Ghaptur	Indie	I-Gh
Kashmiri Paprika	Kašmír	Indie	I-Ch
Szegedi	Csongrád	Maďarsko	E-Sz
Hazi Arány	Kecskemét	Maďarsko	E-HA
Paprika od Salvátora	Szeged	Maďarsko	E-SM
La Chinata	La Vera	Španělsko	E-LCŠ
La Pastora	Murcia	Španělsko	E-ŠM
Žitavská paprika floky	Podunajská nížina	Slovensko	E-ŽF
Žitavská paprika mletá	Podunajská nížina	Slovensko	E-ŽM
Atani	-	Čína	Č-Ata
Xinghua Jiahe	Xinghua Jingsu	Čína	Č-Xin
Ningxia Dirfood, Ningxia City	Yanchi	Čína	Č-ND
Tianzhen Bocheng, Datong City	Shanxi	Čína	Č-TB
Bayannaouer, Jieyuah City	Inner Mongolia	Čína	Č-Mon
Sweet Pepper, Fergana	Ferganská oblast	Uzbekistán	Č-Uz
Gaotai Hongfeng, Zhangye City	Gansu	Čína	Č-Gao
Malatya Pazari Sweet Paprika	Malatya	Turecko	W-Mal
The Spice House California, Sweet	Kalifornie	USA	W-USA
Sweet Paprika-Bio	Gharb	Maroko	W-Iz

### 3.2. Pomůcky a přístroje

- laboratorní sklo a náčiní
- lednice s mrazícím boxem
- mikrofiltr 0,45 µm (Chromservis Syringe filters, ČR)
- jednotka pro přípravu ultračisté deionizované vody ELGA PureLab Classic UV (Veolia Water Systems Ltd., UK)
- analytické laboratorní váhy AND HA-202M (A&D Company, Japonsko)
- předvážky AND EK-600H (A&D Company, Japonsko)
- reciproční třepačka GFL 3006 (Gesellschaft für Laborortechnik mbH, Německo)
- topná deska Gerhardt (Gerhardt Bonn, Německo)
- ultrazvuková lázeň – Ultrasonic Compact cleaner PSO 3000A (PowerSonic s.r.o., Slovensko)
- kapalinový chromatograf Agilent Infinity 1260 (Agilent Technologies, USA)
- pH metr Hanna Instruments HI 221 (Hanna Instruments, USA)
- UV-VIS spektrofotometr Helios Gamma (Spectronic Unicam, USA)
- sušárna Memmert UFE550 (Mettler, Německo)
- muflová pec Veb Electro Bad Frankenhausen (Německo)
- extrakční přístroj Soxtherm (Gerhardt, Německo)
- mineralizační přístroj Kjeldaltherm (Gerhardt, Německo)
- destilační přístroj Vapodest 500 (Gerhardt, Německo)
- 870 KF Titrino Plus (Metrohm, Švýcarsko)
- jednotka pro mikrovlnný rozklad – Milestone MLS 1200 mega (Milestone, USA)
- optický emisní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem Jobin Yvon Ultima 2 (Horiba Scientific Ltd., F)

### 3.3. Chemikálie

- etanol 96% (Penta, ČR)
- aceton 100% (VWR International, Francie)
- dichroman draselný (Lachema, ČR)
- hexahydrát síranu kobaltnatoamonného (Sigma Aldrich, USA)
- kyselina sírová 96% (Analytika, ČR)
- petrolether (Lach-ner, ČR)
- Weiningerův katalyzátor (Lach-ner, ČR)
- hydroxid sodný (Lach-ner, ČR)
- fenolftalein (Lachema, ČR)
- Tashirův indikátor
- metanol (Sigma Aldrich, USA)
- acetonitril (Sigma Aldrich, USA)
- kyselina octová (Sigma Aldrich, USA)
- kapsaicin s 95% čistotou z Capsicum sp. (Sigma Aldrich, USA)
- kyselina dusičná 65% (Analytika Praha spol. s.r.o., ČR)
- peroxid vodíku (Analytika Praha spol. s.r.o., ČR)
- glukóza – čistota > 99,5 % (Sigma Aldrich, USA)

- fruktóza – čistota > 99 % (Sigma Aldrich, USA)
- sacharóza – čistota > 99,5 % (Sigma Aldrich, USA)
- standardy prvků pro elementární analýzu (Analytika Praha spol. s r.o., ČR)

### 3.4. Postup stanovení vybraných parametrů

#### 3.4.1. Stanovení barvivosti ASTA

Hodnota ASTA byla stanovena dle metody ČSN ISO 7541 [72]. Do odměrné baňky bylo naváženo vypočítané množství (0,001 M  $K_2Cr_2O_7$ , 0,09 M  $(NH_4)_2Co(SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$  v 1,8 M  $H_2SO_4$ ) a bylo přidáno 10 ml  $H_2SO_4$ . Obsah baňky byl doplněn destilovanou vodou po rysku a ponechán po dobu 3 hodin. Výsledný roztok byl použit pro nastavení nulové hodnoty při 460 nm.

Pro změření ASTA barvivosti u samotných vzorků bylo naváženo 0,1 g mleté papriky s přesností na 1 mg. Vzorky byly poté kvantitativně převedeny do Erlenmeyerových baněk a bylo přidáno 20 ml acetonu. Následně byly vzorky vloženy na třepačku a byly extrahovány po dobu 3 hodin při 200 rpm. Po této době byly vzorky proměřeny pomocí optického spektrofotometru při vlnové délce 460 nm a celková hodnota ASTA byla přepočítána. Výpočet je uveden v Rovnici č. 3:

$$ASTA = \frac{A \cdot 16,4 \cdot devf}{m} \quad (3)$$

$$devf = \frac{0,6}{A_{\text{standard}}}$$

Kde:

A = naměřená absorbance vzorku

m = hmotnost navážky vzorku (g)

devf = deviační faktor; liší se od typu spektrofotometru

$A_{\text{standard}}$  = absorbance standardního roztoku

#### 3.4.2. Stanovení obsahu popela

Obsah popela byl stanoven dle metody ČSN ISO 7540 [73]. Do vyžíhaného porcelánového kelímku byl na analytických vahách navážen 1 g mleté papriky s přesností na 1 mg. Kelímek se vzorkem byl nejdříve odkouřen na varné desce, a následně žihán při teplotě 650 °C po dobu 4 hodin. Po vychladnutí byl kelímek zvážen a obsah popelu přepočítán na původní navážku. Výpočet je uveden v Rovnici č. 4:

$$w_{\text{popel}} = \frac{m_1 - m_0}{m_{\text{navážka}}} \cdot 100 \quad (4)$$

Kde:

$m_0$  = hmotnost prázdné misky před spálením

$m_1$  = hmotnost misky s popelem po spálení

### 3.4.3. Stanovení obsahu vlhkosti

Obsah vlhkosti byl stanoven dle metody ČSN ISO 7540 [73]. Vysušené hliníkové kelímky byly zváženy i s víčkem na analytických vahách. Následně byly do kelímků na analytických vahách naváženy 3 g mleté papriky s přesností na 1 mg. Hliníkové kelímky byly poté umístěny do laboratorní sušárny, ve které se vzorky sušily do konstantního úbytku hmotnosti. Obsah vlhkosti byl poté vypočítán z rozdílu hmotností původního vzorku a hmotnosti usušeného vzorku. Výpočet je uveden v Rovnici č. 5:

$$w_{\text{vlhkost}} = \frac{m_0 - m_1}{m_{\text{navážka}}} \cdot 100 \quad (5)$$

Kde:

$m_0$  = hmotnost kelímku se vzorkem před vysušením

$m_1$  = hmotnost kelímku se vzorkem po vysušení

### 3.4.4. Stanovení obsahu vody metodou Karl-Fischera

Obsah vody byl stanoven dle metody ČSN ISO 760 [74]. Do předem zvážené skleněné vialky uzavřené víčkem bylo naváženo 0,5 g mleté papriky s přesností na 1 mg. Obsah vialky byl následně doplněn 20 ml metanolu a opět zvážen. Takto připravený roztok byl vložen na 20 minut do vyhřívané ultrazvukové lázně. Extrakce probíhala při 50 °C. Po extrakci byl obsah vialky zfiltrován přes mikrofiltr a pomocí automatického titrátoru 870 KF Titrino Plus byl stanoven obsah vody ve vzorku. Konečný obsah vody byl vypočten dle Rovnice č. 6:

$$w_{\text{voda}} = \frac{(w_1 - w_b) \cdot (m_1 - m_2)}{m_3 - m_2} \cdot 100 \quad (6)$$

Kde:

$w_1$  = údaj o obsahu vody získaný z přístroje

$w_b$  = obsah vody v metanolu

$m_1$  = hmotnost vialky s metanolem a vzorkem

$m_2$  = hmotnost prázdné vialky

$m_3$  = hmotnost vialky se vzorkem

### 3.4.5. Stanovení pH

Hodnota pH byla stanovena pomocí pH metru s kombinovanými elektrodami. Na analytických vahách byl navážen 1 g mleté papriky s přesností na 1 mg. Vzorek byl poté kvantitativně převeden do Erlenmeyerových baněk spolu se 40 ml destilované vody. Vzorky byly na reciproční třepačce extrahovány po dobu 3 hodin při 200 rpm. Po uplynutí této doby bylo ve vzorcích mleté papriky změřeno pH pomocí pH metru.

### 3.4.6. Stanovení obsahu tuků

Obsah tuků byl stanoven dle metody ČSN ISO 7540 [73]. Ke stanovení celkového obsahu tuků v mleté paprice byla použita extrakce dle Soxhleta pomocí přístroje Soxtherm. Do extrakční patrony bylo naváženo 5 g vzorku s přesností na jednu desetinu gramu. Následně bylo do extrakčních baněk přidáno 130 ml petroletheru a kus pemzy a baňka byla připevněna do přístroje. Zde byla baňka zahřátá na 150 °C a mletá paprika v extrakční patroně byla následně extrahována. Extrakce probíhala po dobu 2,5 hodin. Po ukončení extrakce byla extrakční baňka vložena na dosušení do sušárny po dobu 30 minut. Po vychladnutí v exsikátoru byl vzorek zvážen a celkový obsah tuku přepočten na původní navážku. Výpočet je uveden v Rovnici č. 7:

$$w_{\text{tuk}} = \frac{m_0 - m_1}{m_{\text{navážka}}} \cdot 100 \quad (7)$$

Kde:

$m_0$  = hmotnost baňky s pemzou a extraktem

$m_1$  = hmotnost prázdné baňky s pemzou

### 3.4.7. Stanovení obsahu hrubé bílkoviny

Obsah hrubé bílkoviny ve vzorcích mleté papriky byl stanoven metodou podle Kjeldahla [75]. Do mineralizačních trubic byl navážen 1 g vzorku s přesností na 1 mg. Následně byly přidány přibližně 2 g Weiningerova katalyzátoru a 10 ml kyseliny sírové. Trubice byly vloženy do mineralizačního přístroje Gerhardt a vzorky byly 2,5 hodiny mineralizovány. Po ukončení mineralizace byly trubice ochlazeny a vytvořená sraženina dusíku byla rozpuštěna přidavkem asi 5 ml vody. Poté byly do mineralizační trubice přidány 3 kapky fenolftaleinu a v destilačním přístroji Gerhardt byla provedena destilace do 25 ml standardizované kyseliny sírové. Do destilátu byly následně přidány 3 kapky Tashirova indikátoru a obsah baňky byl titrován pomocí standardizovaného roztoku hydroxidu sodného. Obsah dusíku v mleté paprice byl vypočítán dle Rovnice č. 8:

$$w_N = \frac{2 \cdot M_{N_2} \cdot \left( c_{H_2SO_4} \cdot V_{H_2SO_4} - \frac{c_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{2} \right)}{m_0} \quad (8)$$

K vypočítání obsahu hrubé bílkoviny byl poté obsah dusíku vynásoben faktorem 6,25.

### 3.4.8. Stanovení obsahu kapsaicinoidů

Celkový obsah kapsaicinoidů ve vzorcích mleté papriky byl analyzován pomocí vysokoučinné kapalinové chromatografie s UV-VIS detekcí s diodovým polem dle postupu Kovaříkové [76]. Podmínky metody a nastavení přístroje jsou uvedeny v Tabulce č. 2:

Tabulka 2 Popis nastavení přístroje HPLC k analýze kapsaicinoidů

Přístroj	HPLC Agilent Infinity 1260
Objem nástřiku	5 $\mu\text{l}$
Průtok mobilní fáze	1 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$
Složení mobilní fáze	50:50 acetonitril:voda + 1% kyselina octová
Teplota v termostatu	30 $^{\circ}\text{C}$
Typ detektoru	DAD UV-VIS
Nastavená vlnová délka v detektoru	280 nm
Typ použité kolony	Poroshell 120 C18, (4,5x150 mm; 2,7 $\mu\text{m}$ )

Ze zásobního roztoku kapsaicinu rozpuštěného v metanolu byla vytvořena kalibrační řada o koncentracích 0, 5, 25 a 50  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Z vytvořené kalibrační křivky bylo vypočteno množství kapsaicinu ve vzorcích mleté papriky.

Do Erlenmeyerových baněk byl navážen 1 g vzorku s přesností na 1 mg a bylo přidáno 10 ml metanolu. Baňka byla následně sonifikována 15 minut v ultrazvukové lázni. Poté byla baňka vložena na třepačku, kde probíhala extrakce po dobu 20 minut při 200 rpm. Po extrakci byly vzorky přefiltrovány do odměrné baňky o objemu 25 ml a doplněny metanolem po rysku. Takto připravené vzorky byly pomocí mikrofiltru přefiltrovány do vialek a analyzovány pomocí HPLC-DAD.

#### 3.4.9. Stanovení obsahu sacharidů

Obsah sacharidů byl stanoven dle metody popsané v článku od Štursa et. al. [77]. Do zkumavek byl navážen 1 g vzorku s přesností na 1 mg a 10 ml vodného roztoku etanolu (etanol s vodou v poměru 8:2). Vzorek byl na třepačce extrahován po dobu 1 hodiny při 200 rpm. Po extrakci byly zkumavky zcentrifugovány po dobu 5 minut při 3000 rpm. Takto extrahovaný vzorek byl pomocí mikrofiltru přefiltrován a následně 25x zředěn a převeden do vialek. Koncentrace sacharidů byla stanovena pomocí HPLC-ELSD. Podmínky metody a nastavení přístroje jsou uvedeny v Tabulce č. 3.

Standardní roztoky fruktózy, glukózy a sacharózy o koncentraci 0,5  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  byly připraveny do odměrných baněk o objemu 50 ml. Kalibrační křivka byla sestavena z koncentrací sacharidů: 0, 100, 250 a 500  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Tabulka 3 Popis nastavení přístroje HPLC ke stanovení sacharidů

Přístroj	HPLC Agilent Infinity 1260
Objem nástřiku	8 $\mu$ l
Průtok mobilní fáze	1 ml $\cdot$ min <sup>-1</sup>
Složení mobilní fáze	75:25 acetonitril:voda
Teplota v termostatu	35 °C
Typ detektoru	ELSD
Nastavení detektoru	Zmlžovací teplota: 80 °C
	Vypařovací teplota: 65 °C
Typ použité kolony	Průtok zmlžovacího plynu (N <sub>2</sub> ): 1,3 l $\cdot$ min <sup>-1</sup>
	Prevail Carbohydrates ES (4,6x250 mm; 5 $\mu$ m)

#### 3.4.10. Stanovení prvků metodou ICP-OES

Obsah prvků byl stanoven metodou ICP-OES podle postupu, který popsal Diviš et. al. [78]. Do teflonových nádob určených pro rozklad v mikrovlnném rozkladném systému bylo naváženo 0,25 g s přesností na jednu desetinu gramu mleté papriky. Do nádob bylo poté přidáno 6 ml koncentrované kyseliny dusičné a 2 ml peroxidu vodíku. Nádoby se vzorky byly podrobeny rozkladu za podpory mikrovlnného záření. Rozklad probíhal v několika stupních dle nastaveného programu uvedeném v Tabulce č. 5. Po ukončení rozkladu byly vzorky z nádob kvantitativně převedeny do odměrných baněk o objemu 25 ml a doplněny vodou po rysku. Vzorky byly pomocí mikrofiltru zfiltrovány do zkumavek a koncentrace prvků byla změřena pomocí ICP-OES.

Ve vzorcích mleté papriky byly stanoveny následující prvky: Na, Ca, K, Mg, P, Zn, Mn, Fe, Cu. Kalibrační roztoky byly připraveny do odměrných baněk o objemu 25 ml. Pro stanovení makroprvků (Na, Ca, K, Mg a P) byla vytvořena kalibrační řada 0, 10 a 100 mg  $\cdot$  l<sup>-1</sup>. Pro stanovení mikroprvků Mn, Zn a Cu byly zvoleny body 0, 0,1 a 1 mg  $\cdot$  l<sup>-1</sup>, a pro Fe 0, 1, 5 a 10 mg  $\cdot$  l<sup>-1</sup>. Roztoky standardů byly následně změřeny pomocí ICP-OES. Nastavení přístroje je uvedeno v Tabulce č. 4.

Tabulka 4 Nastavení přístroje ICP-OES pro stanovení obsahu prvků

Přístroj	ICP-OES Ultima 2
Průtok argonu	Plazmový plyn: 13,56 l · min <sup>-1</sup>
	Pomocný plyn (mikro prvky): 0,195 l · min <sup>-1</sup>
	Pomocný plyn (makro prvky): 0,192 l · min <sup>-1</sup>
	Stínící plyn: 0,605 l · min <sup>-1</sup>
Mlžná komora	Cyklonová
Zmlžovač	Typ Meinhard
Tlak na zmlžovači	3 bary
Rychlost otáček peristaltického čerpadla	15 rpm
Příkon generátoru	1 200 W (makroprvky)
	1 300 W (mikroprvky)

Tabulka 5 Nastavený program mikrovlnného rozkladu

Stupeň rozkladu	1.	2.	3.	4.
Maximální výkon rozkladu [W]	500	1 000	500	1 000
Doba rozkladu [min]	5	5	5	10

Tabulka 6 Nastavení optické části ICP-OES

Prvek	Vlnová délka (nm)
Ca	393,366
Na	588,995
K	766,490
Mg	285,213
P	213,618
Fe	259,940
Cu	327,396
Mn	257,610
Zn	206,191



### **3.5. Statistické zpracování dat**

Všechna naměřená data byla statisticky zpracována v programu Statistica (Tibco, USA) a v programu MS Excel (Microsoft Corporation, USA). V programu MS Excel byly vypočteny průměrné naměřené hodnoty a jejich odchylky a bylo provedeno grafické zpracování výsledků. V programu Statistica byla provedena analýza rozptylu dat (ANOVA) ke zjištění statisticky významných rozdílů mezi skupinami vzorků. Dále byl proveden Tukeyho test s hladinou významnosti  $p < 0,05$  ke zjištění podobnosti nebo rozdílnosti mezi jednotlivými vzorky. Shluková analýza, analýza hlavních komponent (PCA) a diskriminační analýza byly použity ke zjištění korelací chemického složení vzorků různého geografického původu.

## 4 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 4.1. Barvivost ASTA

Ve 26 vzorcích mleté papriky byla stanovena barvivost ASTA. Naměřená hodnota ASTA se u jednotlivých vzorků pohybovala v rozmezí  $25 \pm 1$  až  $186 \pm 5$  ASTA. Nejnižší hodnota ASTA byla naměřena u vzorku Malatya Pazari z Turecka. Nejvyšší hodnotu ASTA naopak vykazoval vzorek Kashmiri Mirch Powder z Indie. Celková průměrná hodnota ASTA činila  $98 \pm 50$  ASTA. Grafické porovnání naměřených výsledků je uvedeno v Grafu č. 9 v příloze této diplomové práce.

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v hodnotě ASTA vzájemně statisticky liší ( $p < 0,05$ ). Pomocí Tukeyho srovnávacího testu byly vzorky rozděleny do několika skupin uvedených v Tabulce č. 7.

Nejnižší hodnoty ASTA vykazovaly vzorky ze skupiny A, B a C. Mezi tyto vzorky se řadí všechny vzorky z čínské oblasti (Č-Ata, Č-Xin, Č-ND, Č-TB, Č-Mon, Č-Uz, Č-Gao), dále vzorek z indické oblasti Rajastan a vzorek Sweet Paprika Bio z Maroka. Jejich průměrná ASTA činila  $47 \pm 14$ . Nejvyšší hodnoty ASTA vykazovaly vzorky ze skupiny K. Mezi tyto vzorky se řadí některé vzorky z Indie (I-MP, I-A, I-SK, I-Ch) a dále také paprika od Salvátora z Maďarska. Jejich průměrná ASTA činila  $176 \pm 5$ .

Do skupiny s nejnižší hodnotou ASTA se zařadily také vzorky z jiného území než z Číny, a to vzorek mleté papriky z indické oblasti Rajastan a dále bio vzorek mleté papriky Sweet Paprika z Maroka. Nižší hodnota ASTA může být způsobena postupem při zpracování a skladování mleté papriky, kdy při nesprávném postupu dochází k degradaci barvy. Těmito faktory se zabývali Rhim et. al. [80], u kterých byla nejprve naměřena hodnota ASTA v čerstvém výrobku, která činila 118 ASTA. Po nasimulování podmínek, a to konkrétně zvýšení teploty z  $25^\circ\text{C}$  na  $50^\circ\text{C}$  a zvýšení vlhkosti, došlo k poklesu z původní hodnoty 118 ASTA až na hodnotu 43 ASTA [81].

Získané výsledky byly porovnány s výsledky dalších autorů. Podobných výsledků dosáhli Zaki et al., kteří ve vzorku mleté papriky stanovili průměrnou hodnotu 125 ASTA. K podobné naměřené hodnotě ASTA dospěli ve své studii také Molnár et. al., kteří ve vzorcích mleté papriky stanovili průměrnou hodnotu 140 ASTA [79, 80].

Tabulka 7 Přehled výsledků stanovení ASTA barvivosti, obsahu popela, vlhkosti a vody

Označení	ASTA ( $\pm$ SD)	Obsah popela ( $\pm$ SD)	Obsah vlhkosti ( $\pm$ SD)	Obsah vody ( $\pm$ SD)
I-MP	186 $\pm$ 5 <sup>k</sup>	6,47 $\pm$ 0,01	9,10 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>	7,09 $\pm$ 0,01
I-KA	109 $\pm$ 1 <sup>g,h</sup>	6,43 $\pm$ 0,03	9,04 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>	3,13 $\pm$ 0,28
I-A	174 $\pm$ 4 <sup>k</sup>	5,33 $\pm$ 0,05	9,05 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>	4,40 $\pm$ 0,33
I-R	60 $\pm$ 4 <sup>c,d</sup>	5,21 $\pm$ 0,04	8,98 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>	4,53 $\pm$ 0,34
I-SK	176 $\pm$ 1 <sup>k</sup>	6,29 $\pm$ 0,01	9,84 $\pm$ 0,06 <sup>c,d</sup>	5,94 $\pm$ 0,26
I-SF	135 $\pm$ 3 <sup>ij</sup>	6,31 $\pm$ 0,03	7,76 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>	4,61 $\pm$ 0,01
I-HF	119 $\pm$ 3 <sup>h</sup>	6,34 $\pm$ 0,01	8,04 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>	5,13 $\pm$ 0,40
I-Gh	75 $\pm$ 2 <sup>d,e</sup>	5,02 $\pm$ 0,02	7,32 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	5,81 $\pm$ 0,34
I-Ch	174 $\pm$ 1 <sup>k</sup>	6,02 $\pm$ 0,04	8,93 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>	7,45 $\pm$ 0,43
E-Sz	172 $\pm$ 3 <sup>k</sup>	6,29 $\pm$ 0,01	14,87 $\pm$ 0,20 <sup>f</sup>	9,13 $\pm$ 0,38
E-HA	96 $\pm$ 3 <sup>f,g</sup>	6,57 $\pm$ 0,02	11,56 $\pm$ 0,04 <sup>d</sup>	6,39 $\pm$ 0,32
E-SM	118 $\pm$ 6 <sup>h</sup>	6,02 $\pm$ 0,03	12,14 $\pm$ 0,41 <sup>d,e</sup>	6,32 $\pm$ 0,26
E-LCŠ	90 $\pm$ 3 <sup>e,f</sup>	6,93 $\pm$ 0,05	10,01 $\pm$ 0,06 <sup>c</sup>	6,51 $\pm$ 0,01
E-ŠM	83 $\pm$ 2 <sup>e,f</sup>	5,14 $\pm$ 0,02	8,84 $\pm$ 0,07 <sup>b</sup>	4,87 $\pm$ 0,76
E-ŽF	124 $\pm$ 4 <sup>h,i</sup>	12,70 $\pm$ 0,43	11,5 $\pm$ 0,14 <sup>d</sup>	1,51 $\pm$ 0,34
E-ŽM	95 $\pm$ 3 <sup>f,g</sup>	5,59 $\pm$ 0,03	9,20 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>	5,17 $\pm$ 0,34
Č-Ata	43 $\pm$ 1 <sup>a,b</sup>	8,28 $\pm$ 0,02	12,72 $\pm$ 0,07 <sup>e</sup>	14,70 $\pm$ 0,01
Č-Xin	64 $\pm$ 3 <sup>c,d</sup>	5,13 $\pm$ 0,04	17,98 $\pm$ 0,12 <sup>h</sup>	3,40 $\pm$ 0,49
Č-ND	34 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	5,09 $\pm$ 0,02	12,70 $\pm$ 0,09 <sup>e</sup>	2,46 $\pm$ 0,24
Č-TB	34 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	5,00 $\pm$ 0,01	16,72 $\pm$ 0,05 <sup>g</sup>	1,84 $\pm$ 0,34
Č-Mon	57 $\pm$ 1 <sup>b,c</sup>	5,04 $\pm$ 0,08	17,74 $\pm$ 0,48 <sup>h</sup>	4,17 $\pm$ 0,26
Č-Uz	62 $\pm$ 1 <sup>c,d</sup>	5,06 $\pm$ 0,10	18,11 $\pm$ 0,32 <sup>h</sup>	6,37 $\pm$ 0,18
Č-Gao	40 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	4,69 $\pm$ 0,05	18,43 $\pm$ 0,01 <sup>h</sup>	6,85 $\pm$ 0,01
W-Mal	56 $\pm$ 2 <sup>b,c</sup>	6,21 $\pm$ 0,01	8,78 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	6,13 $\pm$ 0,09
W-USA	149 $\pm$ 5 <sup>j</sup>	7,44 $\pm$ 0,01	14,12 $\pm$ 0,07 <sup>f</sup>	6,18 $\pm$ 0,63
W-Iz	25 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	6,96 $\pm$ 0,01	14,37 $\pm$ 0,03 <sup>f</sup>	5,89 $\pm$ 0,36

Pozn.: Stanovení ASTA barvivosti a obsahu vlhkosti bylo provedeno ve 3 opakováních. Stanovení obsahu popela a obsahu vody bylo provedeno ve 2 opakováních. Naměřené hodnoty s jiným indexem se významně statisticky liší ( $p < 0,05$ ).

## 4.2. Popel

Ve 26 vzorcích mleté papriky byl stanoven obsah popela. Naměřený obsah popela se u jednotlivých vzorků pohyboval v rozmezí  $4,69 \pm 0,05$  % až  $12,70 \pm 0,43$  %. Nejnižší obsah popela byl naměřen ve vzorku Gaotai Hongfeng z Číny. Nejvyšší obsah popela byl naměřen v Žitavské paprice (floký) ze Slovenska. Takto vysoký obsah popela se však v porovnání s ostatními vzorky jeví jako extrémní, což potvrzuje také Grubbsův test odlehlých výsledků, který obsah popela Žitavské papriky označil za odlehlou hodnotu a tento vzorek byl proto z diskuze o obsahu popela vyřazen. Celkový průměrný obsah popela činil  $5,94 \pm 1,46$  %. Grafické porovnání naměřených výsledků je uvedeno v Grafu č. 10 v příloze této diplomové práce.

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v obsahu popela vzájemně statisticky neliší ( $p > 0,05$ ). Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce č. 7.

Vyhláška 398/2016 o požadavcích na koření stanovuje maximální povolený obsah popela v koření prodávaném v České republice, který činí 7,5 %. Ze změřených vzorků tento limit překračuje paprika Atani z Číny, a to o 0,78 %. Ostatní vzorky mleté papriky této vyhlášce vyhovují [82].

Obsahem popela v paprice se zabírali ve své studii Zaki et. al., kteří stanovili obsah popela v paprice v rozmezí 6,06–7,20 %. Lee et. al. stanovili nižší hodnotu obsahu popela, a to konkrétně 5,14 %. Naměřené výsledky v této diplomové práci se tedy shodují s výsledky uváděnými v dostupné literatuře [79, 83].

## 4.3. Vlhkost

Ve 26 vzorcích mleté papriky byl stanoven obsah vlhkosti. Naměřený obsah vlhkosti se u jednotlivých vzorků pohyboval v rozmezí  $7,32 \pm 0,02$  % až  $18,43 \pm 0,01$  %. Nejnižší obsah vlhkosti byl naměřen ve vzorku Hot Chilli z Indie, nejvyšší obsah vlhkosti byl naměřen ve vzorku Gaotai Honfeng z Číny. Celkový průměrný obsah vlhkosti ve 26 vzorcích mleté papriky byl  $11,95 \pm 3,54$  %. Grafické porovnání naměřených výsledků je uvedeno v Grafu č. 11 v příloze této diplomové práce.

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v obsahu vlhkosti vzájemně statisticky liší ( $p < 0,05$ ). Pomocí Tukeyho srovnávacího testu byly vzorky rozděleny do několika skupin uvedených v Tabulce č. 7.

Nejnižší obsah vlhkosti vykazovaly vzorky ze skupiny A. Mezi tyto vzorky se řadí vzorky z Indie (I-SF, I-HF a I-Gh). Jejich průměrný obsah vlhkosti činil  $7,70 \pm 0,92$  %. Nejvyšší obsah vlhkosti vykazovaly vzorky ze skupiny H. Mezi tyto vzorky se řadí vzorky z čínské oblasti (Č-Xin, Č-Mon, Č-Uz a Č-Gao). Jejich průměrný obsah vlhkosti činil  $18,07 \pm 0,25$  %.

Vyhláška 398/2016 o požadavcích na koření stanovuje limity pro maximální obsah vlhkosti ve vzorcích sladké papriky, který činí 11,0 % [82]. Tento limit nesplňují vzorky z Maďarska (E-Sz, E-HA, E-SM), vzorek Žitavské papriky (floký) ze Slovenska a vzorek z USA

(W-USA) a z Maroka (W-Iz). Maximální povolený obsah vody také přesahují všechny vzorky mleté papriky z Číny (Č-Xin, Č-ND, Č-TB, Č-Mon, Č-Uz a Č-Gao).

Pro porovnání výsledků byly vybrány různé studie. Nagy et. al. stanovili obsah vlhkosti v mleté paprice z Maďarska v rozmezí 7,19–17,90 %, což odpovídá hodnotám stanoveným v této diplomové práci. Také Duman et. al. stanovil obdobné výsledky, a to v rozmezí 9,68–12,38 %. Zaki stanovili obsah vlhkosti v mleté paprice v rozmezí 8,58–10,80 % [79, 85, 86].

#### **4.4. Obsah vody**

Ve 26 vzorcích mleté papriky byl stanoven obsah vody metodou Karl-Fischera. Naměřený obsah vody se u jednotlivých vzorků pohyboval v rozmezí  $1,51 \pm 0,34$  % až  $9,13 \pm 0,38$  %. Nejnižší obsah vody byl stanoven ve vzorku Žitavské papriky (floky) ze Slovenska. Nejvyšší obsah vody byl stanoven ve vzorku Szegedi z Maďarska. Celkový průměrný obsah vody činil  $5,25 \pm 2,51$  %. Grafické porovnání naměřených výsledků je uvedeno v Grafu č. 12 v příloze této diplomové práce.

Vzorek Č-Ata byl vyřazen ze souboru dat, protože obsah vody  $14,70 \pm 0$  % byl v rozporu se stanovenou vlhkostí, která u tohoto vzorku byla pouze  $12,72 \pm 0,07$  %.

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v obsahu vody vzájemně statisticky neliší ( $p > 0,05$ ). Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce č. 7.

V porovnání s ostatními studii jsou naměřené hodnoty obsahu vody obdobné. Supartono et. al. stanovili Karl-Fischerovou titrací obsah vody ve vzorcích mleté papriky v průměru  $7,20 \pm 0,53$  %. Nižší obsah vody, také pomocí Karl-Fischerovy titrace, stanovili Perva-Uzunalic et. al., u kterých byla stanovena průměrná hodnota obsahu vody 4,0 %. Obsah vody v mleté paprice zmiňuje také česká nutridatabáze, která uvádí obsah vody 7,9 % [87, 97, 98].

Tabulka 8 Přehled výsledků stanovení pH, obsahu tuku a hrubé bílkoviny

Označení	pH ( $\pm$ SD)	Obsah tuku (% $\pm$ SD)	Obsah hrubé bílkoviny (% $\pm$ SD)
I-MP	5,21 $\pm$ 0,01 <sup>f</sup>	15,53 $\pm$ 0,14 <sup>f,g</sup>	18,60 $\pm$ 0,10 <sup>h</sup>
I-KA	5,19 $\pm$ 0,02 <sup>e,f</sup>	15,26 $\pm$ 0,04 <sup>f,g</sup>	18,90 $\pm$ 0,15 <sup>h</sup>
I-A	5,09 $\pm$ 0 <sup>d,e,f</sup>	11,49 $\pm$ 0,34 <sup>d,e</sup>	17,77 $\pm$ 0,01 <sup>g</sup>
I-R	5,41 $\pm$ 0,02 <sup>g</sup>	15,95 $\pm$ 0,02 <sup>g</sup>	14,64 $\pm$ 0,24 <sup>d</sup>
I-SK	4,92 $\pm$ 0,01 <sup>c,d</sup>	13,92 $\pm$ 0,12 <sup>e,f,g</sup>	18,52 $\pm$ 0,56 <sup>h</sup>
I-SF	5,28 $\pm$ 0,02 <sup>f,g</sup>	13,74 $\pm$ 0,20 <sup>e,f,g</sup>	19,80 $\pm$ 0,41 <sup>i</sup>
I-HF	5,28 $\pm$ 0,04 <sup>f,g</sup>	14,96 $\pm$ 0,26 <sup>f,g</sup>	20,23 $\pm$ 0,13 <sup>i</sup>
I-Gh	4,95 $\pm$ 0,03 <sup>c,d</sup>	15,59 $\pm$ 0,01 <sup>f,g</sup>	16,44 $\pm$ 0,07 <sup>f</sup>
I-Ch	5,02 $\pm$ 0,03 <sup>d,e</sup>	15,77 $\pm$ 0,15 <sup>g</sup>	19,63 $\pm$ 0,03 <sup>i</sup>
E-Sz	4,77 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	8,42 $\pm$ 0,33 <sup>b,c</sup>	15,10 $\pm$ 0,07 <sup>d,e</sup>
E-HA	4,59 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	11,41 $\pm$ 0,11 <sup>d,e</sup>	14,81 $\pm$ 0,01 <sup>d,e</sup>
E-SM	4,62 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>	10,71 $\pm$ 0,03 <sup>c,d</sup>	14,45 $\pm$ 0,21 <sup>d</sup>
E-LCŠ	4,13 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	12,83 $\pm$ 0,04 <sup>d,e,f</sup>	14,64 $\pm$ 0,07 <sup>d</sup>
E-ŠM	5,18 $\pm$ 0,06 <sup>e,f</sup>	21,01 $\pm$ 0,25 <sup>h</sup>	16,87 $\pm$ 0,09 <sup>f</sup>
E-ŽF	5,02 $\pm$ 0,04 <sup>d,e</sup>	3,40 $\pm$ 0,31 <sup>a</sup>	13,60 $\pm$ 0,06 <sup>c</sup>
E-ŽM	4,88 $\pm$ 0,06 <sup>c</sup>	10,27 $\pm$ 0,63 <sup>c,d</sup>	16,42 $\pm$ 0,02 <sup>f</sup>
Č-Ata	4,61 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>	6,71 $\pm$ 0,11 <sup>b</sup>	14,42 $\pm$ 0,27 <sup>d</sup>
Č-Xin	4,64 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	2,30 $\pm$ 0,69 <sup>a</sup>	11,50 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>
Č-ND	4,63 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>	2,10 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	11,79 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>
Č-TB	4,91 $\pm$ 0,03 <sup>c,d</sup>	1,91 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	12,89 $\pm$ 0,10 <sup>b,c</sup>
Č-Mon	4,82 $\pm$ 0,08 <sup>c</sup>	2,10 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	12,07 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>
Č-Uz	4,88 $\pm$ 0,09 <sup>c</sup>	1,69 $\pm$ 0,71 <sup>a</sup>	14,64 $\pm$ 0,05 <sup>d</sup>
Č-Gao	4,93 $\pm$ 0,02 <sup>c,d</sup>	1,67 $\pm$ 0,12 <sup>a</sup>	11,80 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>
W-Mal	5,17 $\pm$ 0,01 <sup>e,f</sup>	16,0 $\pm$ 0,10 <sup>g</sup>	15,41 $\pm$ 0,48 <sup>e</sup>
W-USA	4,55 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	10,40 $\pm$ 0,57 <sup>c,d</sup>	12,73 $\pm$ 0,23 <sup>b</sup>
W-Iz	4,13 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	9,05 $\pm$ 0,17 <sup>b,c</sup>	12,91 $\pm$ 0,06 <sup>b,c</sup>

Pozn. : Všechny vzorky byly proměřeny ve 2 opakováních. Naměřené hodnoty s jiným indexem se významně statisticky liší ( $p < 0,05$ ).

## 4.5. pH

Ve 26 vzorcích mleté papriky bylo stanoveno pH pomocí pH metru. Naměřené hodnoty pH se u jednotlivých vzorků pohybovaly v rozmezí  $4,13 \pm 0,01$  až  $5,41 \pm 0,02$ . Nejnižší hodnoty pH byly naměřeny u 2 vzorků, a to vzorku mleté papriky La Chinata ze Španělska a bio vzorku Sweet Paprika z Maroka. Nejvyšší pH bylo stanoveno u vzorku Hot Paprika z indické oblasti Rajastan. Celková průměrná hodnota pH činila  $4,90 \pm 0,28$ . Grafické porovnání naměřených výsledků je uvedeno v Grafu č. 13 v příloze této diplomové práce.

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v hodnotě pH vzájemně statisticky liší ( $p < 0,05$ ). Pomocí Tukeyho srovnávacího testu byly vzorky rozděleny do několika skupin uvedených v Tabulce č. 8.

Nejnižší hodnoty pH vykazovaly vzorky ze skupiny A. Mezi tyto vzorky se řadí vzorky La Chinata ze Španělska a bio vzorek Sweet Paprika z Maroka. Jejich průměrná hodnota pH činila  $4,13 \pm 0$ . Nejvyšší hodnoty pH vykazovaly vzorky ze skupiny F a G. Mezi tyto vzorky se řadí vzorky z Indie (I-MP, I-KA, I-A, I-R, I-SF, I-HF) a vzorek La Pastora ze Španělska. Jejich průměrná hodnota pH činila  $5,23 \pm 0,09$ .

Hodnoty pH v mleté paprice stanovili Zaki et. al., a to v rozmezí 5,10–6,25. Lee et. al. stanovili hodnotu pH v rozmezí  $5,05 \pm 0,02$  až  $5,34 \pm 0,03$ . Nižší hodnoty pH stanovené v této diplomové práci jsou ovlivněny zejména geografickou oblastí, ve které je paprika pěstována a složením půdy, která poté ovlivňuje kyselost vzorku [79, 83].

## 4.6. Tuky

Ve 26 vzorcích byl stanoven celkový obsah tuků. Naměřený obsah tuků se u jednotlivých vzorků pohyboval v rozmezí  $1,67 \pm 0,12$  % až  $21,01 \pm 0,25$  %. Nejnižší obsah tuků byl naměřen ve vzorku mleté papriky Gaotai Hongfeng z Číny. Nejvyšší obsah tuků byl stanoven ve vzorku La Pastora ze Španělska. Celkový průměrný obsah tuku činil  $9,95 \pm 5,64$  %. Grafické porovnání naměřených výsledků je uvedeno v Grafu č. 14 v příloze této diplomové práce.

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v obsahu tuku vzájemně statisticky liší ( $p < 0,05$ ). Pomocí Tukeyho srovnávacího testu byly vzorky rozděleny do několika skupin uvedených v Tabulce č. 8.

Nejnižší obsah tuků vykazovaly vzorky ze skupiny A. Do této skupiny se zařadily vzorky mleté papriky z čínské oblasti (Č-Xin, Č-ND, Č-TB, Č-Mon, Č-Uz a Č-Gao) a také vzorek Žitavské papriky (floký) ze Slovenska. Jejich průměrný obsah tuků činil  $2,17 \pm 0,55$  %. Nejvyšší obsah tuků vykazovaly vzorky ze skupiny G a H. Mezi tyto vzorky se řadí vzorky z Indie (I-MP, I-KA, I-R, I-SK, I-SF, I-HF, I-Gh a I-Ch) a také vzorek La Pastora ze Španělska. Jejich průměrný obsah tuků činil  $15,75 \pm 2,0$  %.

Nízký obsah tuků ve skupině A mohl být zapříčiněn špatnou kvalitou nebo také extrakcí oleoresinu, která má za následek výrazné snížení obsahu tuků. Takto získaný oleoresin se dále používá ke zvýšení intenzity zbarvení pokrmů [84].

Obsah tuků v mleté paprice je uveden také v národních databázích. V Nutridatabázi je uveden obsah tuků 13,8 %. V americké databázi USDA se uvádí obsah tuků v rozmezí 11,48–14,80 %. Nižší obsah tuků v mleté paprice uvádí Zaki et. al., kteří stanovili obsah tuků v rozmezí 7,55–9,75 %. Vysoké hodnoty obsahu tuků stanovili ve své studii Krstic et. al., u kterých činil obsah tuků v mleté paprice 10,78–21,0 %. Tato uvedená data korespondují s daty stanovenými v této diplomové práci. Pro nízké hodnoty obsahu tuků u vzorků z Číny však bohužel nebylo možné nalézt obdobná data [8, 79, 87, 88].

#### 4.7. Obsah hrubé bílkoviny

Ve 26 vzorcích mleté papriky byl stanoven obsah hrubé bílkoviny Kjeldahlovou metodou. Naměřený obsah hrubé bílkoviny se u jednotlivých vzorků pohyboval v rozmezí  $11,50 \pm 0,09$  % až  $20,23 \pm 0,13$  %. Nejnížší obsah hrubé bílkoviny byl naměřen ve vzorku Xinghua Jiahe z Číny. Nejvyšší obsah hrubé bílkoviny byl naměřen ve vzorku Fresh Spicy Paprika z Indie. Celkový průměrný obsah hrubé bílkoviny ve všech vzorcích činil  $15,28 \pm 2,65$  %. Grafické porovnání naměřených výsledků je uvedeno v Grafu č. 15 v příloze této diplomové práce.

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v obsahu hrubé bílkoviny vzájemně statisticky liší ( $p < 0,05$ ). Pomocí Tukeyho srovnávacího testu byly vzorky rozděleny do několika skupin uvedených v Tabulce č. 8.

Nejnižší obsah hrubé bílkoviny vykazovaly vzorky ze skupiny A. Mezi tyto vzorky se řadí vzorky z čínské oblasti (Č-Xin, Č-ND, Č-Mon a Č-Gao). Jejich průměrný obsah hrubé bílkoviny činil  $11,79 \pm 0,20$  %. Nejvyšší obsah hrubé bílkoviny vykazovaly vzorky ze skupiny H a I. Mezi tyto vzorky se řadí vzorky z Indie (I-MP, I-KA, I-SK, I-SF, I-HF a I-Ch). Jejich průměrný obsah hrubé bílkoviny činil  $19,28 \pm 0,64$  %. Rozptyl výsledků stanovení obsahu hrubé bílkoviny může být ovlivněn odrůdou papriky, způsobem pěstování a zpracování, klimatickými podmínkami a také geografickou polohou [84].

Stanovením obsahu hrubé bílkoviny v mleté paprice se zabývaly různé studie. Giuffrida et. al. stanovili obsah hrubé bílkoviny ve vzorcích mleté papriky v rozmezí 7,44–15,59 %. Zaki et. al. stanovili vyšší obsah hrubé bílkoviny, a to v rozmezí 20,19–21,50 %. Hodnoty obsahu hrubé bílkoviny jsou také uváděny v americké databázi USDA, kde jsou uvedeny v rozmezí 13,96–14,47 % [8, 79, 89].

#### 4.8. Kapsaicinoidy

Ve 26 vzorcích mleté papriky byla pomocí HPLC-DAD stanovena koncentrace kapsaicinoidů. Ze všech vzorků byly detekovány kapsaicinoidy pouze v 10 vzorcích, a to v 9 vzorcích původem z Indie a v 1 vzorku původem z Turecka. Koncentrace kapsaicinoidů byla naměřena v rozmezí  $0,07 \pm 0,01$  až  $3,95 \pm 0,01$  mg · g<sup>-1</sup>. Nejnížší koncentrace kapsaicinoidů byla stanovena ve vzorku Malatya Pazari z Turecka. Nejvyšší koncentrace kapsaicinoidů byla stanovena ve vzorku Hot Paprika z indické oblasti Rajastan.



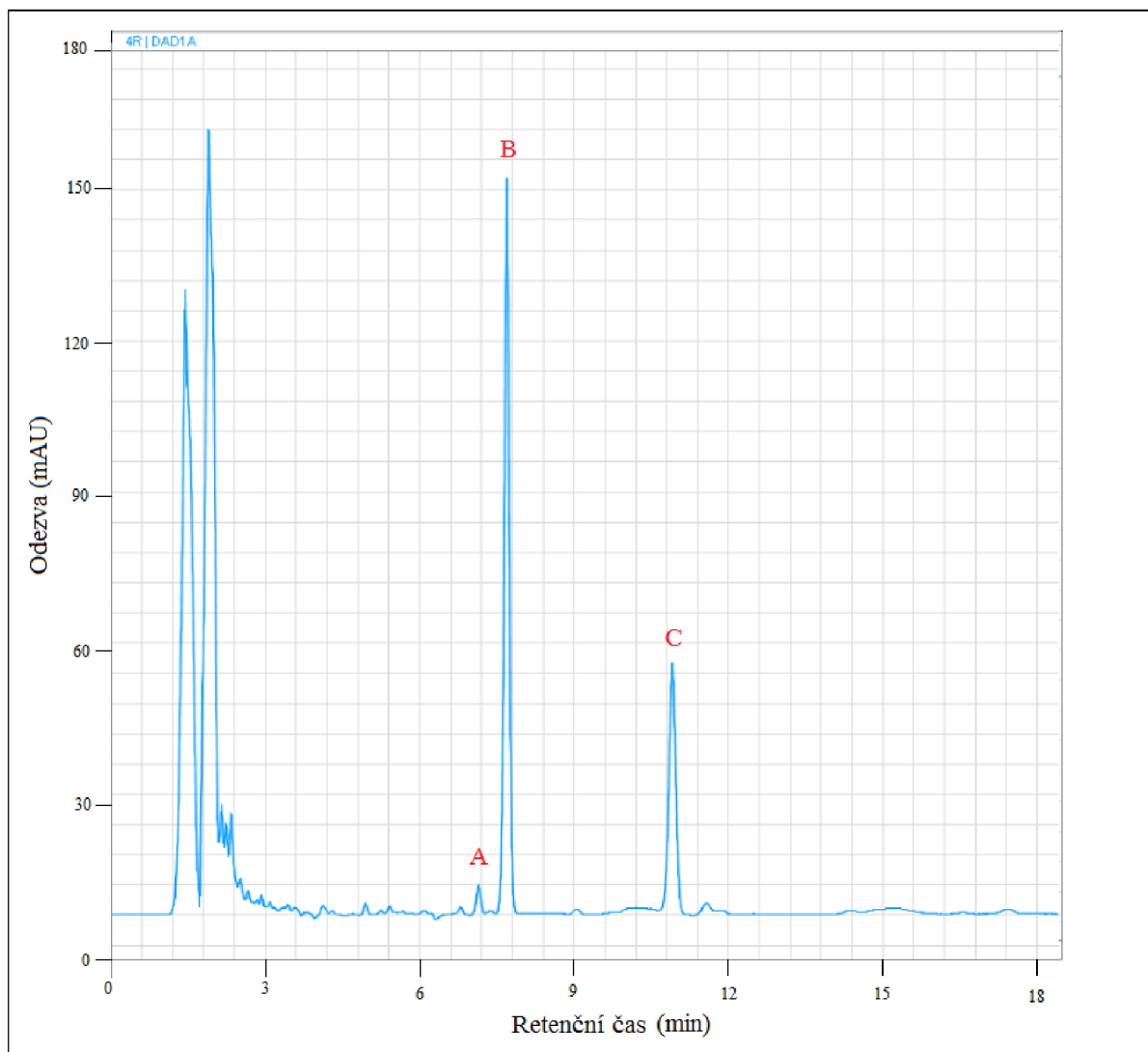
Za sladkou papriku se dle Scovilleho stupnice považuje paprika, u které SHU jednotky (Scoville Heat Units) jsou v rozmezí 0–700 SHU [90]. U všech vzorků z Evropy, Číny a také z U.S.A. a Maroka byla koncentrace kapsaicinoidů pod limitem detekce a tyto papriky tak lze považovat za sladké. Za trochu pálivou (700–3 000 SHU) lze považovat mletou papriku Malatya Pazari z Turecka (hodnota SHU činila  $1160 \pm 37$ ). Nejvíce vzorků, u kterých byly detekovány kapsaicinoidy, se řadí do skupiny mírně pálivých paprik, pro které jsou stanoveny hodnoty SHU v rozmezí 3 000–25 000 SHU. Za vysoce pálivé papriky se považují papriky, u kterých je hodnota pálivosti v rozmezí 25 000–70 000 SHU. Mezi tyto papriky byly zařazeny vzorky mleté papriky z indické oblasti Rajastan a Ghaptur. Prvně zmíněna mletá paprika z Rajastanu je nejpálivějším vzorkem, a to s pálivostí  $62714 \pm 177$  SHU.

Koncentraci kapsaicinoidů stanovili také Tilahun et. al. Pomocí HPLC analýzy stanovili koncentraci kapsaicinoidů v rozmezí  $0,29 \pm 0,01$  až  $4,45 \pm 0,21$   $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Při přepočtu na SHU jednotky rozmezí činilo 4 672–71 200 SHU a výsledná data tak korespondují s daty naměřenými v této diplomové práci. Koncentraci kapsaicinoidů v mleté paprice stanovili také Peusch et. al. Ti stanovili celkovou koncentraci kapsaicinoidů ve sladké paprice v rozmezí  $0,01$ – $0,07$   $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , což při přepočtení činilo 168–1 050 SHU. Tento výsledek odpovídá zejména sladké paprice Malatya Pazari z Turecka [91, 92].

*Tabulka 9 Přehled výsledků stanovení koncentrace kapsaicinoidů*

Označení	Koncentrace kapsaicinoidů ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \pm \text{SD}$ )	Scoville Heat Units (SHU $\pm$ SD)	Pálivost
I-MP	$0,64 \pm 0,01$	$9106 \pm 73$	Mírně pálivá
I-KA	$0,52 \pm 0,01$	$7744 \pm 47$	Mírně pálivá
I-A	$0,99 \pm 0,01$	$15224 \pm 62$	Mírně pálivá
I-R	$3,95 \pm 0,01$	$62714 \pm 177$	Vysoce pálivá
I-SK	$0,87 \pm 0,02$	$13429 \pm 227$	Mírně pálivá
I-SF	$0,64 \pm 0,01$	$9589 \pm 3$	Mírně pálivá
I-HF	$0,81 \pm 0,01$	$11830 \pm 49$	Mírně pálivá
I-Gh	$3,87 \pm 0,01$	$61549 \pm 191$	Vysoce pálivá
I-Ch	$0,80 \pm 0,01$	$12180 \pm 6$	Mírně pálivá
W-Mal	$0,07 \pm 0,01$	$1160 \pm 37$	Trochu pálivá

Pozn. : Všechny vzorky byly proměřeny ve 2 opakováních. U ostatních měřených vzorků nebyl detekován žádný obsah kapsaicinoidů. Limit detekce byl stanoven  $0,2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ .



Obrázek 13 Chromatogram stanovení kapsaicinoidů, (A) nordihydrokapsaicin, (B) kapsaicin, (C) dihydrokapsaicin

## 4.9. Sacharidy

Obsah vybraných sacharidů, a to fruktózy, glukózy a sacharózy byl stanoven ve 26 vzorcích mleté papriky pomocí HPLC analýzy s ELSD detekcí. U některých vzorků mleté papriky nebyla detekována glukóza, v Tabulce č. 10 jsou tyto vzorky ve sloupci glukózy označeny zkratkou < L.O.D. (pod limitem detekce). Grafické porovnání naměřených výsledků je uvedeno v Grafu č. 16 a 17 v příloze této diplomové práce.

Koncentrace fruktózy byla stanovena v rozmezí  $5,2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  až  $191,3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Nejnižší koncentrace fruktózy byla stanovena ve vzorku z indické oblasti Ghaptur. Naopak nejvyšší hodnoty byly stanoveny ve vzorku Ningxia Dirfood z Číny. Průměrná koncentrace fruktózy činila  $69,1 \pm 62,6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ .

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v koncentraci fruktózy vzájemně statisticky liší ( $p < 0,05$ ). Pomocí Tukeyho srovnávacího testu byly vzorky rozděleny do několika skupin uvedených v Tabulce č. 10.

Nejnižší koncentraci fruktózy vykazovaly vzorky ze skupiny A. Mezi tyto vzorky se řadí všechny vzorky z Indie (I-MP, I-KA, I-A, I-R, I-SK, I-SF, I-HF, I-Gh a I-Ch). Dále se do této skupiny řadí také vzorek La Pastora ze Španělska a Malatya Pazari z Turecka. Jejich průměrná koncentrace fruktózy činila  $13,2 \pm 3,8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Nejvyšší koncentraci fruktózy vykazovaly vzorky ze skupiny E, F a G. Mezi tyto vzorky se řadí vzorky z čínské oblasti (Č-Xin, Č-ND, Č-TB, Č-Mon, Č-Uz a Č-Gao). Jejich průměrná koncentrace fruktózy činila  $170,4 \pm 13,3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ .

Koncentraci fruktózy a dalších sacharidů v paprice stanovovali ve své studii Polacsek-Rácz et. al. Ve vzorcích maďarské papriky stanovili koncentraci fruktózy v rozmezí  $51,8 \pm 0,8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  až  $92,8 \pm 0,5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Kyung-Hyung ve své studii stanovili koncentraci fruktózy v rozmezí  $89,1$ – $168,9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , což jsou výsledky, které odpovídají některým vzorkům z evropské oblasti a většině vzorků z Číny. Obdobné koncentrace fruktózy jako u vzorků papriky z Indie stanovili ve své studii López et. al., u kterých bylo rozmezí koncentrace fruktózy  $11,0$ – $18,0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  [93, 94, 95].

Koncentrace glukózy byla u několika vzorků pod limitem detekce. Mezi tyto vzorky patřily všechny vzorky pocházející z Indie kromě vzorku z oblasti Andra. Koncentrace glukózy byla stanovena pod limitem detekce také u vzorku Malatya Pazari z Turecka. Nejvyšší koncentrace glukózy byla stanovena ve vzorku Ningxia Dirfood z Číny, a to  $131,8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Průměrná koncentrace glukózy činila  $52,7 \pm 43,3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ .

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v koncentraci glukózy vzájemně statisticky liší ( $p < 0,05$ ). Pomocí Tukeyho srovnávacího testu byly vzorky rozděleny do několika skupin uvedených v Tabulce č. 10.

Nejnižší koncentraci glukózy (u vzorků s koncentrací glukózy vyšší než limit detekce) vykazovaly vzorky ze skupiny A. Mezi tyto vzorky se řadí vzorek mleté papriky z indické oblasti Andra, vzorek Házi Arány z Maďarska, vzorky La Chinata a La Pastora ze Španělska

a také vzorek Atani z Číny. Jejich průměrná koncentrace glukózy činila  $10,8 \pm 4,3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Nejvyšší koncentraci glukózy vykazovaly vzorky ze skupiny E, F a G. Mezi tyto vzorky se řadí vzorky z Číny (Č-Xin, Č-ND, Č-TB, Č-Mon a Č-Gao). Jejich průměrná koncentrace glukózy činila  $114,7 \pm 13,6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Rozptyl ve výsledcích mohl být způsoben několika vlivy, mezi které patří zralost čerstvé papriky v době sklizně, odlišné klimatické podmínky během pěstování a také typ půdy, ve které byla paprika pěstována [95].

Polaczek-Rácz et. al. stanovili koncentraci glukózy v maďarské paprice v rozmezí  $13,9 \pm 0,9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  až  $33,8 \pm 1,1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Kyung-Hyung et. al. stanovili vyšší koncentraci glukózy, a to v rozmezí  $56,0$ – $112,0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . López et. al. stanovili v mleté paprice koncentraci glukózy obdobnou jako v případě fruktózy, a to v rozmezí  $9,8$ – $18,2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  [93, 94, 95].

Koncentrace sacharózy byla v průměru nejnižší ze stanovovaných sacharidů, a to  $22,6 \pm 9,0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Stanovená koncentrace sacharózy byla v rozmezí  $6,7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  až  $39,9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Nejnižší koncentrace sacharózy byla stanovena ve vzorku z indické oblasti Rajastan. Nejvyšší koncentrace sacharózy byla stanovena ve vzorku Ningxia Dirfood z Číny.

Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že analyzované vzorky se v koncentraci sacharózy vzájemně statisticky neliší ( $p > 0,05$ ). Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce č. 10 .

Také všechny vybrané studie potvrzují naměřené koncentrace sacharózy v této diplomové práci. Kyung-Hyung et. al. stanovili ve své studii koncentraci sacharózy v rozmezí  $17,8$ – $29,7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Nižší koncentraci sacharózy stanovili ve své studii Polaczek-Rácz et. al., a to v rozmezí  $4,2 \pm 0,2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  až  $20,1 \pm 1,0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  [93, 94].

Rozptyl ve výsledcích stanovení jednotlivých sacharidů je pravděpodobně způsoben různými vlivy působící na papriku, mezi které patří zralost čerstvé papriky v době sklizně, odlišné klimatické podmínky během pěstování a také typ půdy [95].

Tabulka 10 Přehled výsledků stanovení obsahu sacharidů

Označení	Obsah fruktózy (mg · g <sup>-1</sup> )	Obsah glukózy (mg · g <sup>-1</sup> )	Obsah sacharózy (mg · g <sup>-1</sup> )	∑ sacharidů (mg · g <sup>-1</sup> )
I-MP	15,3 <sup>a</sup>	< L.O.D.	28,8	44,1
I-KA	15,1 <sup>a</sup>	< L.O.D.	27,7	42,8
I-A	19,4 <sup>a</sup>	10,5 <sup>a</sup>	13,6	43,5
I-R	9,2 <sup>a</sup>	< L.O.D.	6,7	15,9
I-SK	17,2 <sup>a</sup>	< L.O.D.	20,0	37,2
I-SF	12,7 <sup>a</sup>	< L.O.D.	21,9	34,6
I-HF	13,0 <sup>a</sup>	< L.O.D.	25,2	38,2
I-Gh	5,2 <sup>a</sup>	< L.O.D.	19,5	24,7
I-Ch	11,8 <sup>a</sup>	< L.O.D.	22,1	33,9
E-Sz	102,7 <sup>d</sup>	34,0 <sup>b</sup>	35,1	171,8
E-HA	58,4 <sup>b</sup>	18,3 <sup>a</sup>	22,3	99,0
E-SM	80,7 <sup>c</sup>	37,8 <sup>b,c</sup>	29,3	147,8
E-LCŠ	29,6 <sup>a,b</sup>	5,3 <sup>a</sup>	15,9	50,8
E-ŠM	15,3 <sup>a</sup>	8,6 <sup>a</sup>	27,2	51,1
E-ŽF	85,2 <sup>c,d</sup>	20,0 <sup>a,b</sup>	29,2	134,4
E-ŽM	91,3 <sup>c,d</sup>	39,9 <sup>c</sup>	31,1	162,3
Č-Ata	47,3	11,1 <sup>a</sup>	19,8	78,2
Č-Xin	157,8 <sup>e</sup>	112,8 <sup>e,f,g</sup>	12,1	282,7
Č-ND	191,3 <sup>g</sup>	131,8 <sup>g</sup>	39,9	363,0
Č-TB	161,4 <sup>e</sup>	93,6 <sup>e</sup>	34,5	289,5
Č-Mon	156,6 <sup>e</sup>	108,6 <sup>e,f</sup>	14,9	280,1
Č-Uz	171,4 <sup>e,f</sup>	69,7 <sup>d</sup>	13,7	254,8
Č-Gao	184,2 <sup>f,g</sup>	126,7 <sup>f,g</sup>	39,3	350,2
W-Mal	10,5 <sup>a</sup>	< L.O.D.	14,6	25,1
W-USA	54,2 <sup>b</sup>	31,7 <sup>b,c</sup>	9,6	95,5
W-Iz	80,6 <sup>b</sup>	35,4 <sup>b,c</sup>	13,4	129,4

Pozn. : Naměřené hodnoty s jiným indexem se významně statisticky liší ( $p < 0,05$ ). Koncentrace glukózy u vzorků označených < L.O.D. byla pod limitem detekce, který pro byl pro glukózu stanoven 1 mg · g<sup>-1</sup>.

#### 4.10. Prvková analýza

Ve 26 vzorcích mleté papriky byla pomocí ICP-OES stanovena koncentrace těchto prvků: Ca, Na, K, Mg, P, Fe, Cu, Mn a Zn. Na základě analýzy rozptylu provedené na hladině významnosti 0,05 bylo zjištěno, že se vzorky v obsahu prvků Ca, Na, Mg, P, Fe, Mn a Zn vzájemně statisticky liší ( $p < 0,05$ ). Pomocí Tukeyho srovnávacího testu byly analyzované vzorky rozděleny do několika skupin uvedených v Tabulce č. 11 a 12 . Koncentrace K a Cu se u analyzovaných vzorků statisticky vzájemně nelišila ( $p > 0,05$ ).

V Tabulkách č. 11 a 12 jsou uvedeny naměřené hodnoty obsahu prvků. V Tabulce č. 13 jsou uvedeny nejnížší a nejvyšší naměřené hodnoty koncentrací jednotlivých prvků a také jejich celkový průměr. Stanovením obsahu prvků v mleté paprice se zabývali také Palacios-Morillo et. al., Poór et. al. a Mamedov et. al. Naměřená data v jejich studiích odpovídají výsledkům dosažených v této diplomové práci [14, 60, 96].

Tabulka 11 Přehled výsledků stanovení obsahu prvků pomocí ICP-OES

Označení	Ca (mg · g <sup>-1</sup> )	Na (mg · g <sup>-1</sup> )	K (mg · g <sup>-1</sup> )	Mg (mg · g <sup>-1</sup> )	P (mg · g <sup>-1</sup> )
I-MP	1,31±0,03 <sup>f</sup>	0,47±0,01 <sup>d,e</sup>	17,07±0,14	2,07±0,02 <sup>e,f</sup>	2,27±0,06 <sup>f,g</sup>
I-KA	1,48±0,10 <sup>g</sup>	0,48±0,01 <sup>d,e</sup>	17,56±0,31	2,21±0,06 <sup>f,g</sup>	2,49±0,10 <sup>h</sup>
I-A	1,12±0,19 <sup>d,e</sup>	0,47±0,02 <sup>d,e</sup>	14,37±0,88	1,88±0,15 <sup>c,d,e</sup>	2,49±0,26 <sup>h</sup>
I-R	1,31±0,06 <sup>f</sup>	0,39±0,01 <sup>c,d</sup>	12,47±0,08	2,22±0,03 <sup>f,g</sup>	2,14±0,04 <sup>e,f</sup>
I-SK	1,07±0,04 <sup>c,d</sup>	0,39±0,01 <sup>c,d</sup>	16,57±0,17	1,98±0,01 <sup>d,e,f</sup>	2,50±0,03 <sup>h</sup>
I-SF	1,0±0,01 <sup>c,d</sup>	0,68±0,01 <sup>g,h</sup>	16,29±0,28	2,02±0,01 <sup>e,f</sup>	2,65±0,02 <sup>i</sup>
I-HF	1,14±0,02 <sup>d,e</sup>	0,71±0,04 <sup>g,h</sup>	15,37±0,51	2,08±0,01 <sup>e,f</sup>	2,79±0,01 <sup>j</sup>
I-Gh	2,13±0,11 <sup>i</sup>	0,54±0,01 <sup>e,f</sup>	10,95±0,48	2,28±0,04 <sup>f,g</sup>	2,07±0,05 <sup>d,e</sup>
I-Ch	1,04±0,02 <sup>c,d</sup>	0,64±0,01 <sup>f,g</sup>	15,40±0,35	2,09±0,01 <sup>e,f</sup>	2,63±0,09 <sup>i</sup>
E-Sz	1,25±0,15 <sup>e,f</sup>	0,26±0,01 <sup>a</sup>	18,03±0,14	1,36±0,05 <sup>a</sup>	2,31±0,19 <sup>g</sup>
E-HA	2,55±0,19 <sup>j</sup>	0,39±0,01 <sup>c,d</sup>	15,97±0,34	1,93±0,08 <sup>d,e</sup>	1,83±0,11 <sup>c</sup>
E-SM	1,09±0,04 <sup>d</sup>	0,34±0,02 <sup>b,c</sup>	9,94±0,01	2,40±0,11 <sup>g,h</sup>	3,09±0,02 <sup>k</sup>
E-LCŠ	1,87±0,01 <sup>h</sup>	0,19±0,01 <sup>a</sup>	19,36±0,11	2,05±0,01 <sup>e,f</sup>	2,60±0,01 <sup>h,i</sup>
E-ŠM	1,38±0,08 <sup>f,g</sup>	0,73±0,03 <sup>g,h</sup>	14,69±0,67	1,88±0,07 <sup>c,d,e</sup>	2,06±0,06 <sup>d,e</sup>
E-ŽF	1,02±0,05 <sup>c,d</sup>	0,22±0,01 <sup>a</sup>	14,90±0,41	1,57±0,09 <sup>a,b,c</sup>	2,34±0,19 <sup>g</sup>
E-ŽM	1,28±0,10 <sup>f</sup>	0,21±0,01 <sup>a</sup>	14,36±0,28	1,65±0,05 <sup>b,c,d</sup>	2,19±0,10 <sup>f</sup>
Č-Ata	2,42±0,07 <sup>j</sup>	0,83±0,05 <sup>h,i</sup>	19,50±0,49	2,58±0,05 <sup>h</sup>	1,97±0,02 <sup>d</sup>
Č-Xin	0,56±0,02 <sup>a</sup>	0,61±0,01 <sup>f,g</sup>	13,97±0,52	1,37±0,01 <sup>a</sup>	1,51±0,01 <sup>a</sup>
Č-ND	0,66±0,02 <sup>a</sup>	0,42±0,02 <sup>c,d</sup>	14,04±0,14	1,51±0,07 <sup>a,b</sup>	1,53±0,05 <sup>a</sup>
Č-TB	0,86±0,05 <sup>b</sup>	0,23±0,01 <sup>a</sup>	14,66±0,17	1,45±0,05 <sup>a,b</sup>	1,85±0,08 <sup>c</sup>
Č-Mon	0,84±0,11 <sup>b</sup>	0,61±0,03 <sup>f,g</sup>	13,88±0,54	1,44±0,06 <sup>a,b</sup>	1,67±0,09 <sup>b</sup>
Č-Uz	0,95±0,08 <sup>b,c</sup>	0,24±0,01 <sup>a</sup>	14,91±0,26	1,29±0,04 <sup>a</sup>	1,84±0,05 <sup>c</sup>
Č-Gao	1,03±0,04 <sup>c,d</sup>	0,78±0,02 <sup>h</sup>	12,70±0,32	1,53±0,02 <sup>a,b</sup>	1,74±0,03 <sup>b,c</sup>
W-Mal	2,05±0,04 <sup>i</sup>	0,45±0,01 <sup>c,d</sup>	12,87±0,01	1,82±0,01 <sup>c,d,e</sup>	2,15±0,03 <sup>e,f</sup>
W-USA	1,37±0,08 <sup>f,g</sup>	0,91±0,01 <sup>i</sup>	14,81±0,46	1,58±0,06 <sup>a,b,c</sup>	2,01±0,12 <sup>d</sup>
W-Iz	1,76±0,04 <sup>h</sup>	0,30±0,01 <sup>a,b</sup>	17,08±0,03	2,05±0,03 <sup>e,f</sup>	2,27±0,03 <sup>f,g</sup>

Pozn. : Všechny vzorky byly proměřeny ve 2 opakováních. Naměřené hodnoty s jiným indexem se významně statisticky liší ( $p < 0,05$ ).

Tabulka 12 Přehled výsledků stanovení obsahu prvků pomocí ICP-OES

Označení	Fe (mg · g <sup>-1</sup> )	Cu (μg · g <sup>-1</sup> )	Mn (μg · g <sup>-1</sup> )	Zn (μg · g <sup>-1</sup> )
I-MP	0,21±0,01 <sup>g,h</sup>	11,2±1,1	16,8±0,2 <sup>i,j</sup>	19,5±0,3 <sup>h,i</sup>
I-KA	0,24±0,01 <sup>h</sup>	9,4±0,1	16,5±0,1 <sup>i,j</sup>	17,6±0,1 <sup>e,f</sup>
I-A	0,23±0,01 <sup>h</sup>	8,4±0,2	15,3±0,3 <sup>h,i</sup>	19,9±0,4 <sup>h,i</sup>
I-R	0,27±0,01 <sup>i</sup>	8,7±0,3	13,3±0,5 <sup>f,g</sup>	19,5±0,7 <sup>h,i</sup>
I-SK	0,18±0,01 <sup>f,g</sup>	9,8±0,2	14,7±0,2 <sup>g,h</sup>	18,0±0,3 <sup>e,f,g</sup>
I-SF	0,26±0,04 <sup>i</sup>	8,7±0,1	17,8±0,2 <sup>j</sup>	19,7±0,3 <sup>h,i</sup>
I-HF	0,18±0,01 <sup>g</sup>	8,7±0,3	17,1±0,5 <sup>j</sup>	18,4±0,5 <sup>f,g,h</sup>
I-Gh	0,16±0,01 <sup>e,f</sup>	9,9±0,2	12,3±0,2 <sup>e,f</sup>	17,7±0,3 <sup>e,f</sup>
I-Ch	0,19±0,01 <sup>g</sup>	9,7±0,3	16,2±0,5 <sup>h,i,j</sup>	19,7±0,6 <sup>h,i</sup>
E-Sz	0,09±0,01 <sup>a,b</sup>	9,8±0,1	9,6±0,1 <sup>c,d</sup>	16,2±0,1 <sup>d</sup>
E-HA	0,16±0,01 <sup>e,f</sup>	9,0±0,9	10,0±0,4 <sup>d</sup>	17,6±0,7 <sup>e,f</sup>
E-SM	0,24±0,04 <sup>h</sup>	10,2±0,6	12,2±0,4 <sup>e,f</sup>	18,9±0,3 <sup>g,h</sup>
E-LCŠ	0,16±0,01 <sup>e,f</sup>	9,5±0,1	19,9±0,1 <sup>k</sup>	23,6±0,2 <sup>j</sup>
E-ŠM	0,23±0,01 <sup>h</sup>	10,0±0,2	12,1±0,3 <sup>e,f</sup>	19,6±0,4 <sup>h,i</sup>
E-ŽF	0,11±0,01 <sup>c</sup>	8,6±0,1	9,8±0,1 <sup>c,d</sup>	18,9±0,1 <sup>g,h</sup>
E-ŽM	0,15±0,02 <sup>e</sup>	10,0±0,1	10,4±0,1 <sup>d</sup>	20,3±0,1 <sup>i</sup>
Č-Ata	0,37±0,02 <sup>j</sup>	10,5±0,3	11,1±0,2 <sup>d,e</sup>	14,6±0,3 <sup>c</sup>
Č-Xin	0,11±0,01 <sup>c</sup>	9,8±0,1	6,4±0,1 <sup>a</sup>	17,5±0,1 <sup>e,f</sup>
Č-ND	0,13±0,01 <sup>d</sup>	8,2±0,1	6,6±0,1 <sup>a</sup>	10,7±0,1 <sup>a</sup>
Č-TB	0,08±0,01 <sup>a,b</sup>	9,0±0,1	7,8±0,1 <sup>a,b</sup>	14,2±0,1 <sup>b,c</sup>
Č-Mon	0,10±0,01 <sup>c</sup>	9,6±0,1	7,8±0,1 <sup>a,b</sup>	13,1±0,1 <sup>b</sup>
Č-Uz	0,08±0,01 <sup>a</sup>	11,2±0,1	8,3±0,1 <sup>b,c</sup>	20,7±0,2 <sup>i</sup>
Č-Gao	0,10±0,01 <sup>b,c</sup>	8,6±0,1	6,7±0,1 <sup>a,b</sup>	9,6±0,1 <sup>a</sup>
W-Mal	0,50±0,03 <sup>k</sup>	10,0±0,1	17,8±0,1 <sup>j</sup>	24,0±0,1 <sup>j</sup>
W-USA	0,14±0,01 <sup>d,e</sup>	9,1±0,1	12,8±0,2 <sup>f</sup>	14,6±0,2 <sup>c</sup>
W-Iz	0,21±0,01 <sup>g,h</sup>	11,0±0,1	10,8±0,1 <sup>d,e</sup>	16,8±0,1 <sup>d,e</sup>

Pozn. : Všechny vzorky byly proměřeny ve 2 opakováních. Naměřené hodnoty s jiným indexem se významně statisticky liší ( $p < 0,05$ ).



Tabulka 13 Přehled průměrných naměřených hodnot stanovení obsahu prvků včetně odchylek, porovnání výsledků s dostupnou literaturou [14, 60, 88]

<b>Průměr+SD</b>	<b>Ca</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
<b>Min</b>	0,56±0,02	0,19±0,01	10,0±0,1	2,58±0,05	1,51±0,01	0,08±0,01	8,2±0,1	6,4±0,1	9,6±0,1
<b>Max</b>	2,55±0,19	0,91±0,01	19,5±0,5	1,29±0,04	3,09±0,02	0,50±0,02	11,2±1,1	19,9±0,1	24,0±0,1
<b>Průměr</b>	1,25±0,44	0,47±0,20	14,9±2,1	1,83±0,33	2,20±0,39	0,18±0,09	9,5±0,8	12,0±3,7	17,8±3,3
<b>Palacios- Morillo et.al.</b>	1,50-2,44	0,42-0,88	9,2-20,2	1,76-2,68	3,08-3,58	0,18-0,40	9,3-22,2	10,7-35,8	14,9-62,2
<b>Poór et. al.</b>	***	***	25,0-33,7	1,63-2,84	***	0,07-0,29	12,6-26,5	9,0-23,4	15,5-32,1
<b>Mamedov et. al.</b>	0,98-1,55	0,11-0,14	31,2-40,0	1,15-1,19	2,41-2,72	0,06-0,07	3,0-3,6	10,5-12,6	19,7-20,3

Pozn.: Koncentrace Ca, Na, K, Mg, P, Fe je uváděna v  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Koncentrace Cu, Mn a Zn je uváděna v  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ .

\*\*\* Takto označené prvky nebyly v dané práci stanovovány

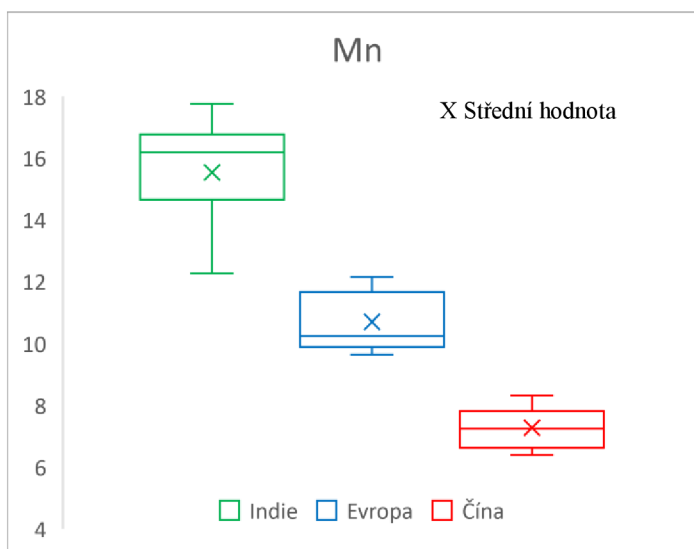
#### 4.11. Analýza rozptylu (ANOVA)

Pomocí metody analýzy rozptylu bylo vybráno 14 parametrů (74 % z celkového počtu), které vykazovaly statisticky významné rozdíly mezi vybranými oblastmi ( $p < 0,05$  a  $F > F_{\text{crit}} = 3,02$ ). Jako oblasti původu byly vybrány části indická, evropská a čínská. Statisticky významné parametry jsou uvedeny v Tabulce č. 14. Interval spolehlivosti byl nastaven na 95 %. Grafické znázornění rozptylů bylo vytvořeno pomocí krabicových grafů.

*Tabulka 14 Vyselektované parametry se statisticky významnými rozdíly mezi vybranými oblastmi*

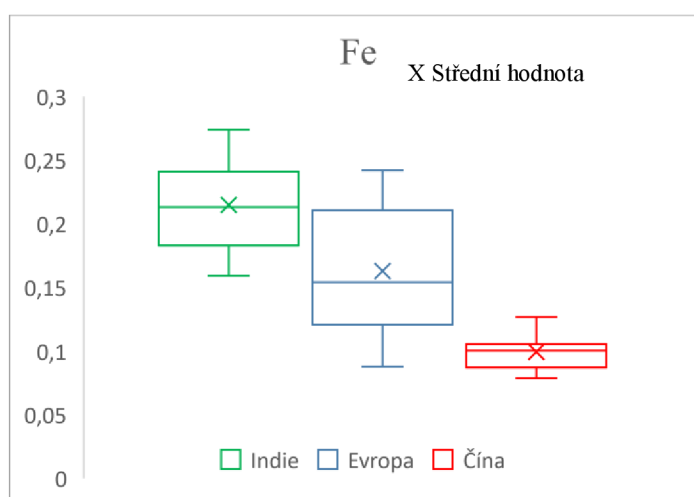
<b>Parametr</b>	<b>p (-)</b>	<b>F (-)</b>
Fruktóza	< 0,000001	110,0864
Glukóza	< 0,000001	103,4478
Mn	< 0,000001	62,9993
Vlhkost	< 0,000001	43,9764
Tuky	0,000001	30,4888
Hrubá bílkovina	0,000001	29,7715
Mg	0,000063	16,8070
P	0,000200	13,7907
Fe	0,000206	13,7100
ASTA	0,000786	10,6608
Zn	0,004137	7,4276
pH	0,004322	7,3499
Ca	0,008390	6,3086
Na	0,009888	6,0317

Parametry s hladinou významnosti  $p < 0,0001$  se považují za nejvýznamnější. Mezi tyto parametry se řadí koncentrace fruktózy a glukózy, koncentrace manganu a hořčiku a dále také obsah vlhkosti, obsah tuků a obsah hrubé bílkoviny. Tyto parametry vykazovaly velmi významné rozdíly v daných oblastech. V Grafu č. 1 je názorný příklad boxového grafu s vyznačenou střední hodnotou a kvartilů vymezujícími medián naměřených hodnot.



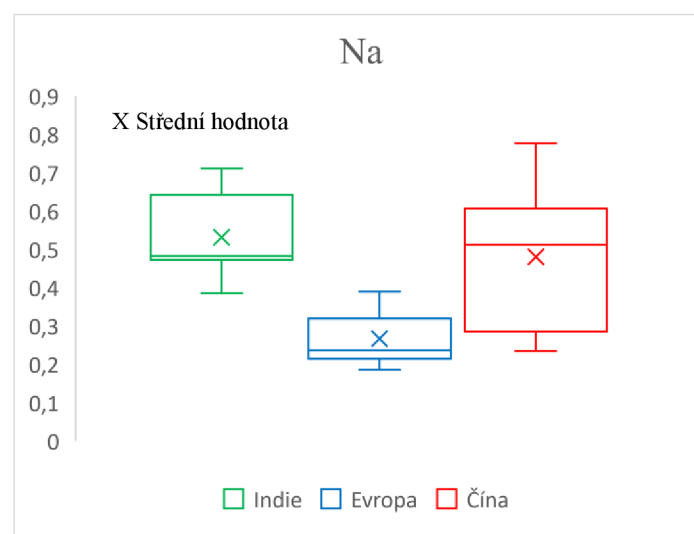
Graf 1 Krabicový graf pro Mn

Koncentrace fosforu, železa a hodnota ASTA lze také považovat za velmi významné parametry s hladinou významnosti  $p < 0,001$ . Krabicový graf pro železo je uveden v Grafu č. 2. Rozdíl mezi vzorky z Indie a vzorky z Evropy již není tak významný jako v případě manganu, ale vlivem velké rozdílnosti hodnot z Číny a ostatních hodnot naměřeného obsahu železa je tento parametr velmi významný.



Graf 2 Krabicový graf pro Fe

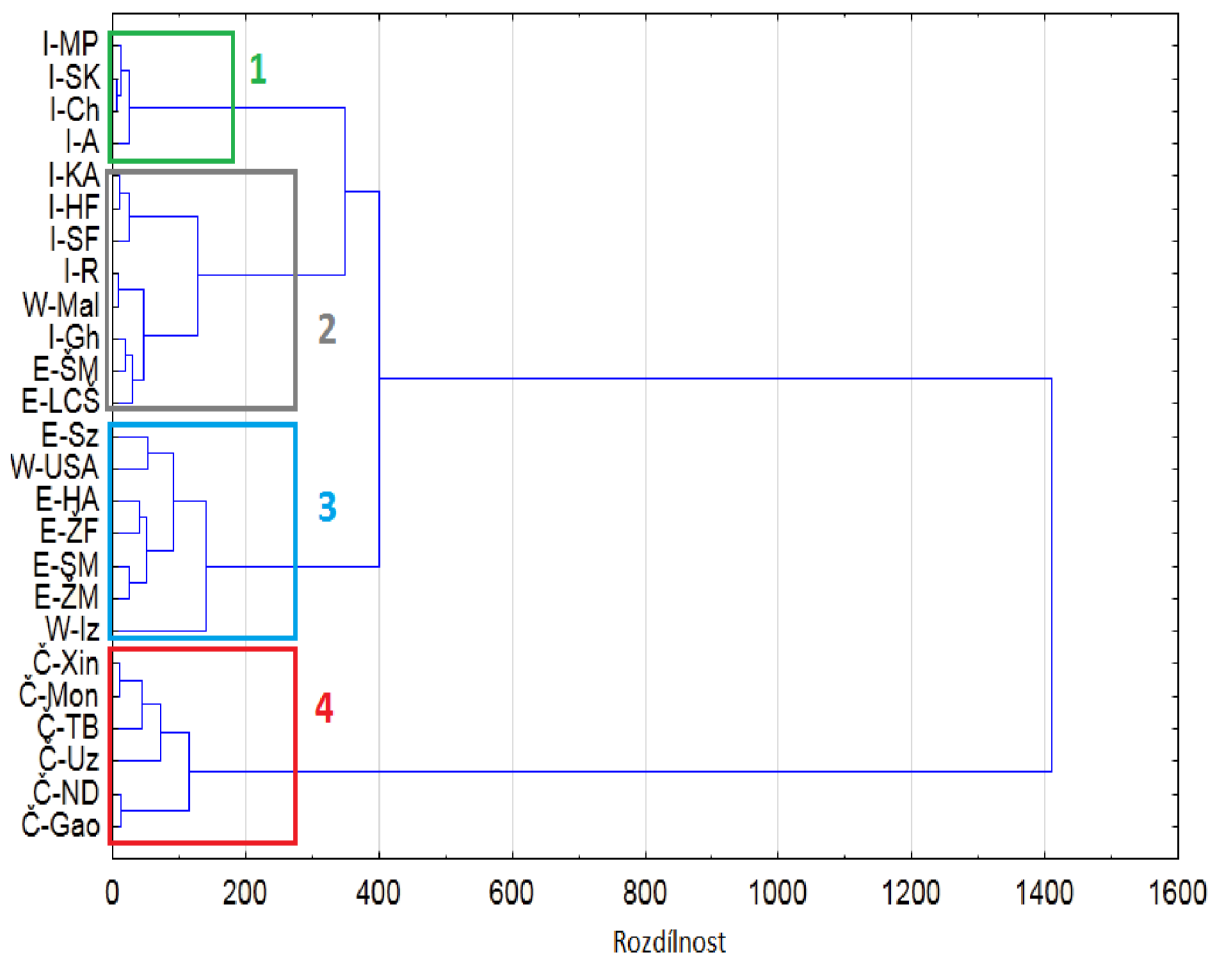
V Grafu č. 3 je opět předvedena ukázka krabicového grafu sodíku, který spadá do kategorie parametrů, které byly pomocí analýzy rozptylu označeny stále jako významné ( $p < 0,01$ ). Mezi další parametry v této skupině se řadí koncentrace zinku, vápníku a také pH.



Graf 3 Krabicový graf pro Na

## 4.12. Shluková analýza

Pomocí analýzy rozptylu ANOVA byly vybrány parametry, ze kterých byl vytvořen dendrogram. Za slučovací techniku byla zvolena Wardova metoda, metrickou metodou byla zvolena metoda čtvercových Euklidovských vzdáleností. Dendrogram na Obrázku č. 14 slouží ke znázornění rozdílů mezi jednotlivými vzorky mleté papriky.



Obrázek 14 Dendrogram shlukové analýzy vzorků mleté papriky

V dendrogramu jsou postřehnutelné 2 hlavní shluky (clustry), které se spojují na úrovni rozdílnosti 1400. Shluky označené barevně 1, 2 a 3 se navzájem spojují na úrovni rozdílnosti 400. V samostatném 4. shluku jsou umístěny vzorky, které pochází pouze z čínské oblasti. To značí, že tyto vzorky jsou velmi odlišné od ostatních vzorků a také se sami sobě velmi podobají. Z analyzovaných vzorků z čínské oblasti se žádný nevyskytuje v jiném shluku, než ve čtvrtém.

V 1. shluku se vyskytují 4 vzorky, všechny z indické oblasti. Tyto vzorky vykazují signifikantní podobnosti a mírně se liší od ostatních vzorků z indické oblasti, které jsou umístěny ve 2. shluku. Mezi vzorky z indické oblasti se ve 2. shluku řadí vzorky s označením I-KA, I-HF, I-SF a také I-Gh. Ve 2. shluku je dále možné vidět rozdělení na 2 menší shluky, které se spojují na úrovni rozdílnosti přibližně 100. V jednom z menších shluků jsou také zastoupeny pouze vzorky z indické oblasti, jako je tomu v 1. shluku. Jedná se o vzorky I-KA, I-HF a I-SF. Posledním vzorkem z indické oblasti je vzorek I-Gh, který je jako předešlé

3 vzorky umístěn v 2. shluku, ovšem v tomto shluku je zasazen do menšího, společně se vzorky z Evropy a Turecka.

Samotné vzorky z Evropy jsou z velké části umístěny ve 3. shluku a vykazují značnou podobnost. Pouze vzorky E-ŠM a E-LCŠ jsou umístěny ve 2. shluku. Tyto dva shluky již vykazují značné odlišnosti od ostatních vzorků z evropské oblasti a spojují se na úrovni rozdílnosti 400. Vzorky E-ŠM a E-LCŠ vykazují značnou podobnost, jako velmi pravděpodobný se jeví fakt, že oba vzorky pochází ze Španělska. Vzorky z Maďarska (E-HA, E-SM) a vzorky ze Slovenska (E-ŽF a E-ŽM) mají také podobné výsledky, protože oba menší shluky se spojují ve společný shluk na úrovni rozdílnosti přibližně 100. S dalším vzorkem z Maďarska (E-Sz) se poté spojují na nízké úrovni rozdílnosti okolo 170. I zde se tedy velmi pravděpodobně projevil vliv geografické oblasti, která si je velmi blízká.

Samostatné vzorky ze Spojených států amerických a z Maroka jsou umístěny ve 3. shluku společně se vzorky z evropské oblasti a je možné říci, že vykazují největší podobnost právě s těmito vzorky. Z dendrogramu je také možné určit podobnost mezi oblastmi, kdy evropská a indická oblast si jsou svými parametry více podobné než čínská oblast s kteroukoliv jinou oblastí.

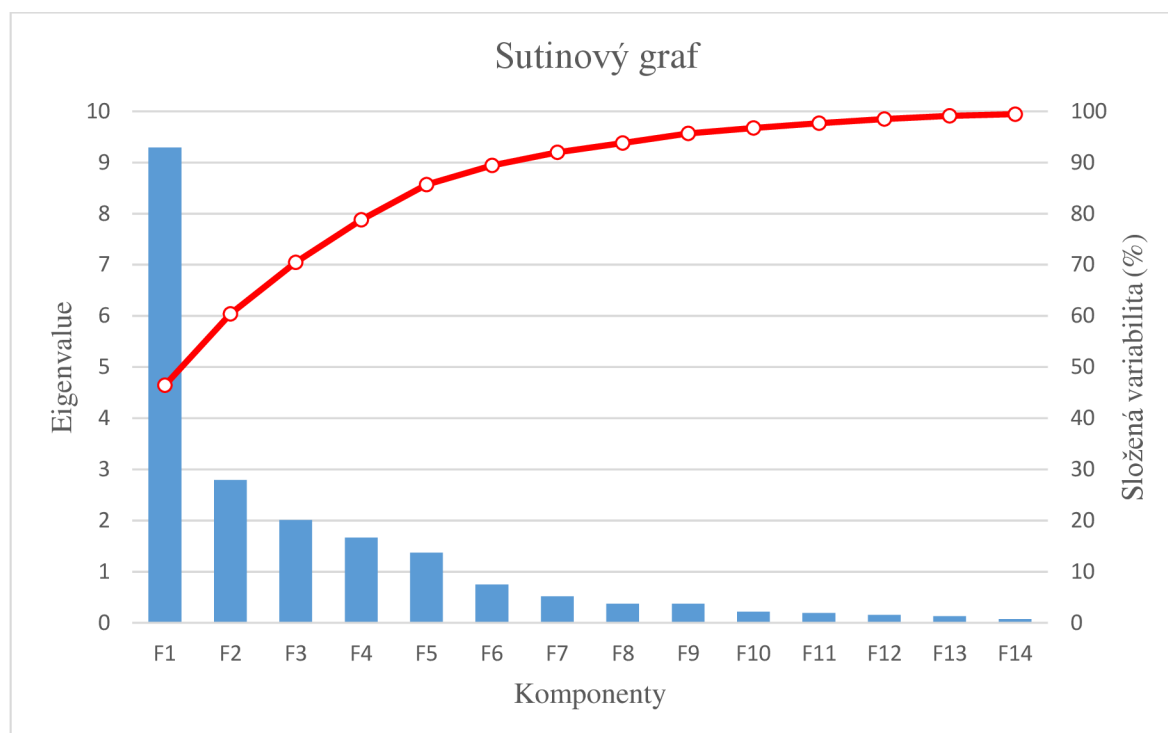
#### 4.13. Analýza hlavních komponent – PCA

Pomocí analýzy rozptylu ANOVA bylo vybráno 14 proměnných, které jsou statisticky významné pro rozdělování do skupin dle oblastí. Těchto 14 proměnných bylo použito na vyhodnocení a vizualizaci pomocí analýzy hlavních komponent. Počet proměnných byl redukován na hlavní komponenty, které vykazují Eigenvalue větší než 1. Čím vyšší je hodnota Eigenvalue, tím více proměnných tato komponenta zastupuje. Dle Kaiserova kritéria (Eigenvalue > 1) bylo určeno 5 hlavních komponent, které dohromady popisují 85,66 % celkové variability. Komponenty s danou Eigenvalue jsou vypsány v Tabulce č. 15 a graficky zpracovány v Grafu č. 4 pomocí tzv. sutinového grafu.

*Tabulka 15 Seznam komponent s danou Eigenvalue a variabilitou*

Komponenta	Eigenvalue	Variabilita (%)	Souhrnná variabilita (%)
F1	9,29	46,46	46,46
F2	2,79	13,95	60,41
F3	2,01	10,06	70,47
F4	1,67	8,34	78,81
F5	1,37	6,86	85,66
F6	0,75	3,73	89,40
F7	0,52	2,58	91,98
F8	0,37	1,85	93,82
F9	0,37	1,85	95,67

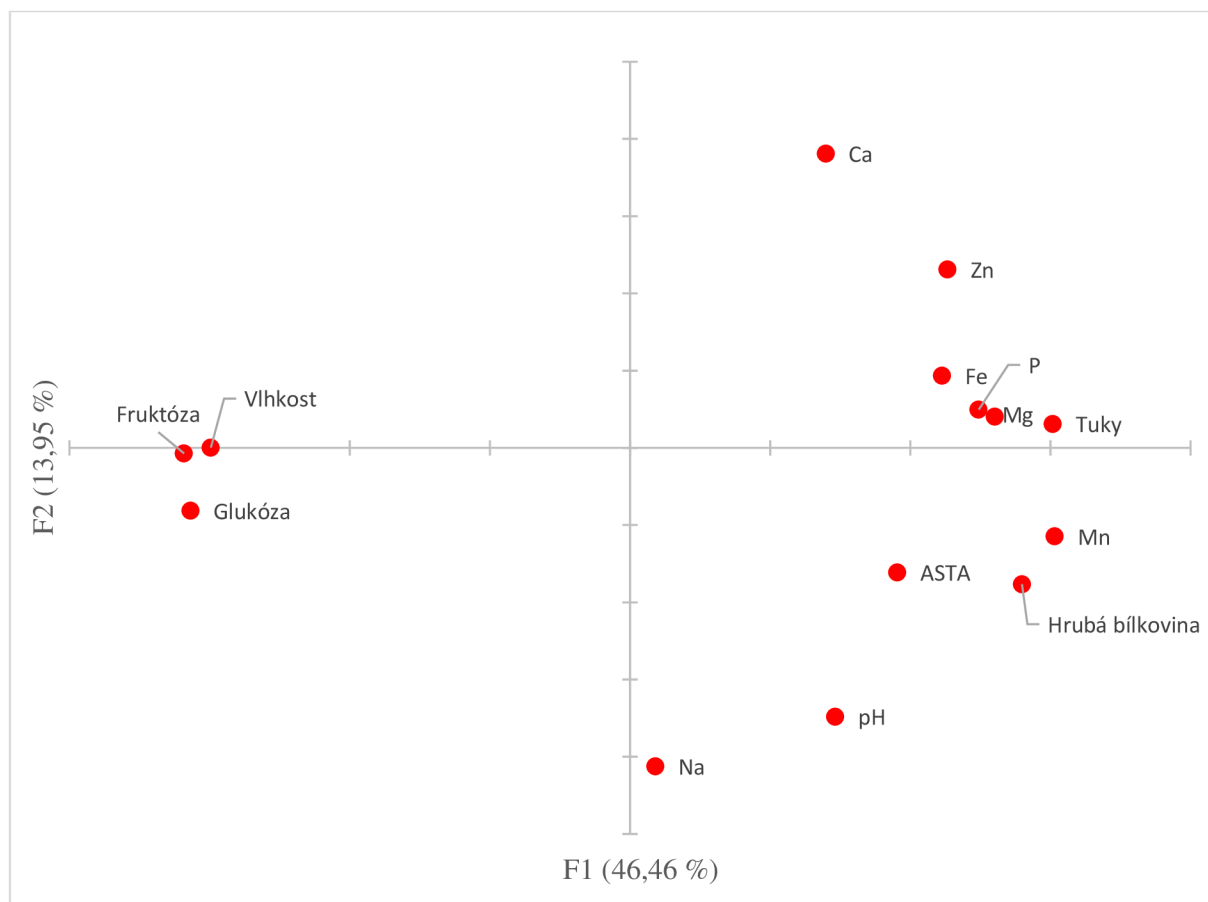
Komponenta	Eigenvalue	Variabilita (%)	Souhrnná variabilita (%)
F10	0,21	1,07	96,74
F11	0,19	0,97	97,70
F12	0,15	0,76	98,46
F13	0,13	0,63	99,09
F14	0,08	0,36	99,46



Graf 4 Sutinový graf znázorňující velikost Eigenvalue a dosaženou variabilitu

Pomocí vybraných hlavních komponent byly sestaveny grafy, které zobrazují jednotlivé projekce ve faktorové rovině. Pro 2D promítnutí byla vybrána komponenta 1 a komponenta 2. Tyto komponenty měli největší zastoupení proměnných (souhrnná variabilita těchto dvou komponent činí 60,41 %). V Grafu č. 5 jsou proměnné promítnuty ve 2D rovině. Z tohoto grafu lze vyčíst, které proměnné korelují nejvíce danou komponentu. Komponenta 1 je nejvíce pozitivně korelována obsahem tuků, obsahem hrubé bílkoviny a koncentrací manganu. Naopak nejvíce negativně korelována je koncentrací glukózy a fruktózy a také obsahem vlhkosti. Komponenta 2 je oproti tomu nejvíce pozitivně korelována koncentrací vápníku a zinku, negativně korelována je poté koncentrací sodíku a také hodnotou ASTA.

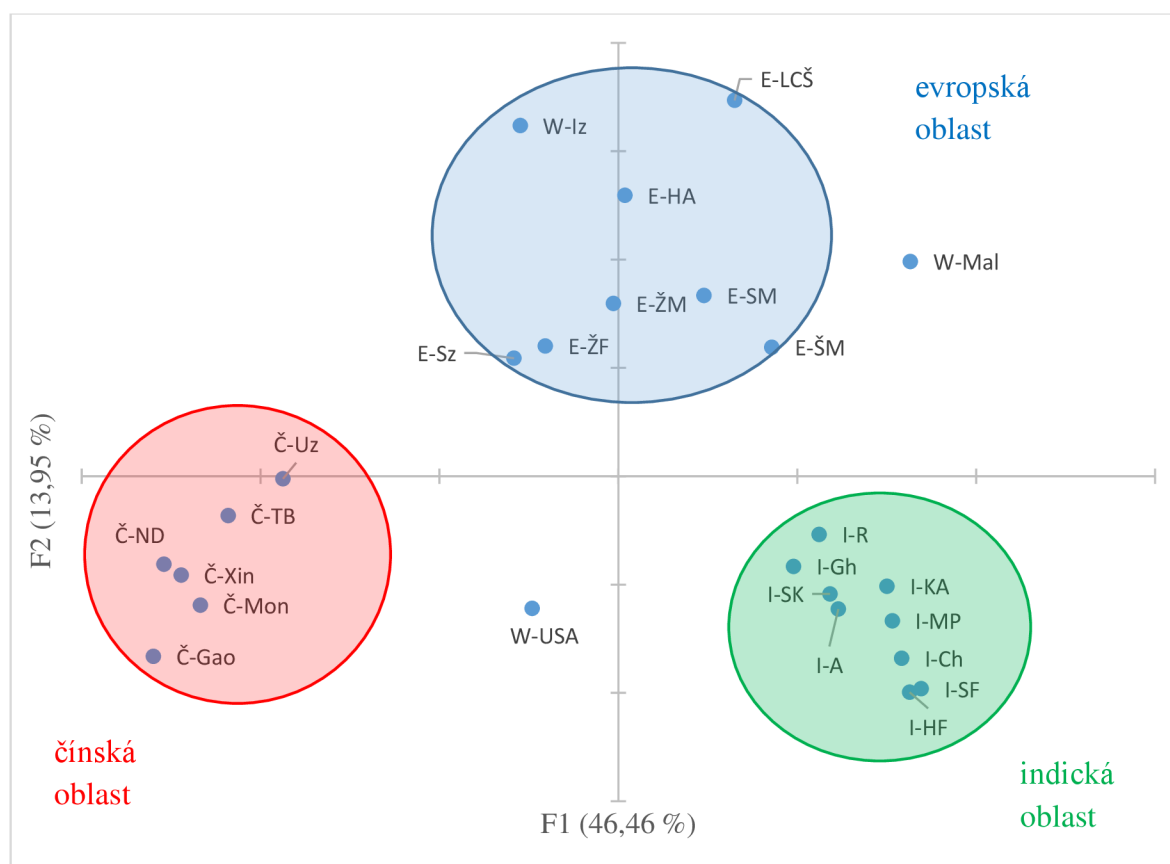
Významné korelace lze také sledovat mezi jednotlivými proměnnými, například glukóza a fruktóza velmi silně pozitivně korelují s obsahem vlhkosti, a naopak tato skupina 3 proměnných negativně koreluje s ostatními proměnnými. Velmi silnou pozitivní korelaci vykazovala také skupina mikroprvků Fe, Zn a Mn mezi sebou.



Graf 5 Projekce proměnných ve 2 hlavních komponentách

V Grafu č. 6 jsou výsledky opět promítnuty do roviny komponent 1 a 2. Pomocí tohoto grafu lze vidět distribuci vzorků a je možné vysledovat podobnost vzorků ze stejných geografických oblastí. Také je možné určit, která skupina je nejvíce ovlivněna různými proměnnými. Čínská oblast se pohybuje ve 3. kvadrantu a díky porovnání s Grafem č. 5 je možné předpokládat vysoký obsah fruktózy a glukózy a také vysoký obsah vlhkosti ve vzorcích z této oblasti. Naopak tyto vzorky s vysokou pravděpodobností nebudou vykazovat vyšší koncentraci manganu a vysoký obsah tuků a hrubé bílkoviny. Vzorky mleté papriky z evropské oblasti spadají do 1. a 2. kvadrantu. Vzorky z evropské oblasti obsahují vyšší koncentraci vápníku a zinku, naopak velice nízký obsah sodíku a také nízké hodnoty pH. Vzorky z indické oblasti jsou umístěny ve 4. kvadrantu. U těchto vzorků lze předpokládat vysoký obsah hrubé bílkoviny, vysoké hodnoty pH a také vysokou koncentraci manganu a sodíku. Samostatné vzorky z Maroka a Turecka jsou svým chemickým složením nejvíce blízké vzorkům z evropské oblasti. Oproti tomu vzorek ze Spojených států amerických se od evropské oblasti značně odlišuje a tvoří samostatnou skupinu, která se výrazně odlišuje od všech ostatních skupin.

Pomocí analýzy PCA byly úspěšně rozděleny vzorky z daných geografických oblastí a je tedy možné potvrdit původní hypotézu, že chemické složení vzorků mleté papriky se odlišuje v závislosti na geografickém původu. Analýzu PCA lze také považovat za spolehlivější než shlukovou analýzu, ve které byly některé vzorky umístěny do jiné geografické oblasti.



Graf 6 Projekce vzorků mleté papriky do faktorové roviny hlavních komponent 1 a 2

#### 4.14. Diskriminační analýza

Diskriminační analýza slouží oproti analýze hlavních komponent k lepšímu náhledu na rozdíly mezi danými oblastmi, ze kterých pochází vzorky mleté papriky. V této diplomové práci se hodnotí 3 oblasti, a to indická, evropská a čínská. Diskriminační analýza vytváří diskriminační a klasifikační funkce pro všechny 3 oblasti. Minimalizuje rozdíly v rámci oblastí a naopak maximalizuje tyto rozdíly v rámci porovnání mezi oblastmi. Díky tomuto principu je možné přiřazovat vzorky neznámého původu do známých oblastí.

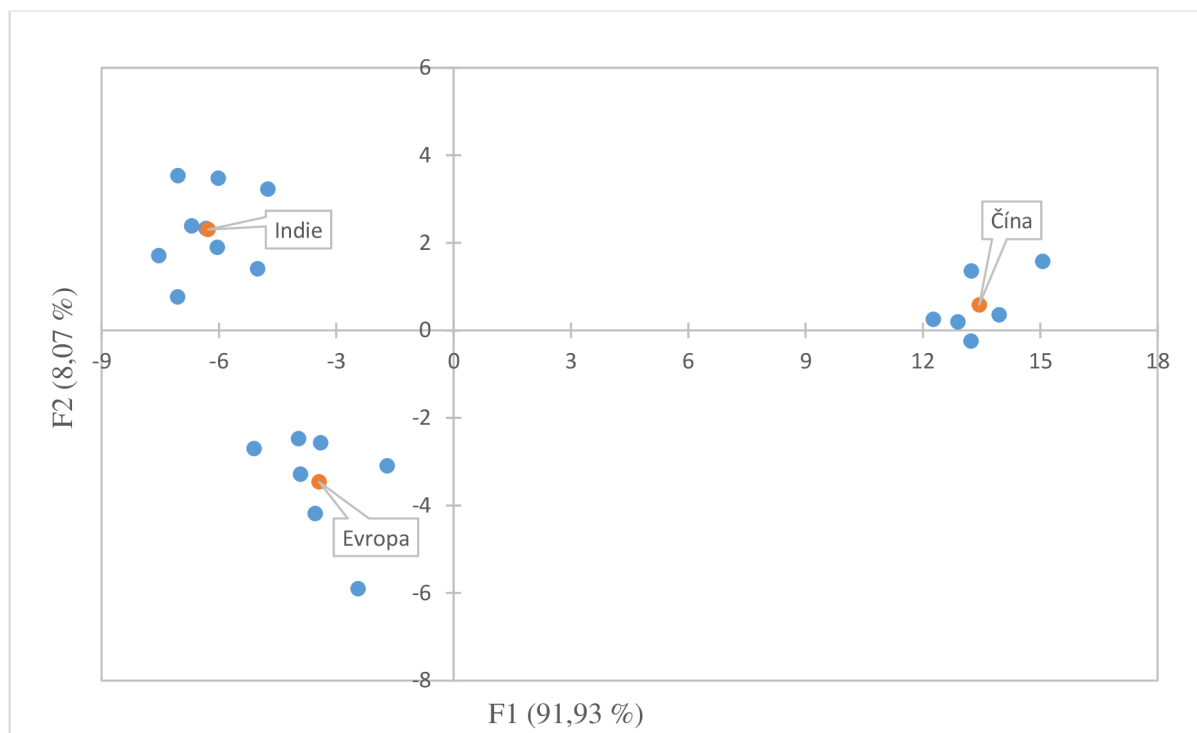
Výběr vstupních parametrů byl odvozen od analýzy rozptylu a celkově bylo vybráno 14 proměnných. U těchto 14 proměnných byl pomocí diskriminační analýzy vytvořen model, který shrnuje tyto proměnné do 2 funkcí. Proměnné byly vybrány pomocí Wilksovy lambdy, čím nižší byla hodnota této lambdy, tím významnější byl vliv proměnné na danou funkci. Pomocí krokové selekce bylo vyselektováno z celkového počtu 14 proměnných pouze 11 proměnných, které byly shrnuty do diskriminačních funkcí. Tyto 2 diskriminační funkce plně popisují vnitřní vztah mezi proměnnými a vzorky. Nejvýznamnější proměnná pro Funkci 1 byla koncentrace fruktózy, pro Funkci 2 byl zvolen obsah hrubé bílkoviny. Soubor diskriminačních funkcí a Wilksovy lambdy je uveden v Tabulce č. 16.



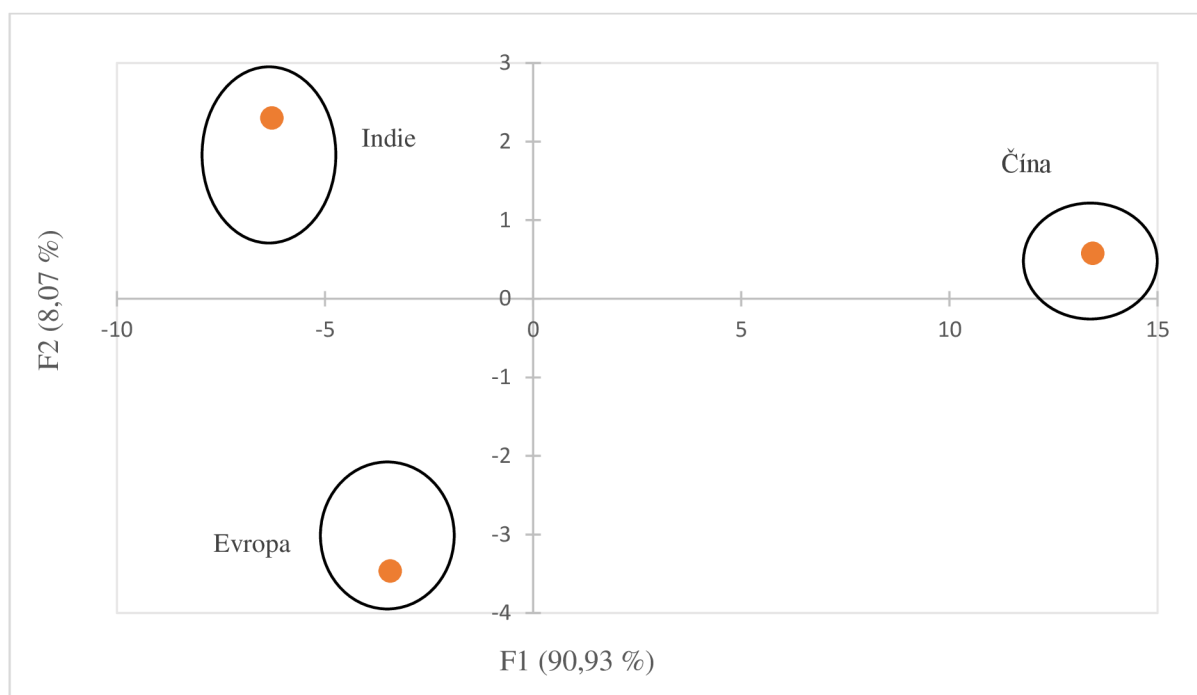
Tabulka 16 Hodnoty diskriminačních funkcí 1 a 2; Wilksova lambda

Proměnná	Funkce 1	Funkce 2	Wilksova lambda
Fruktóza	0,3717	-0,2727	0,1856
ASTA	-0,1173	0,0546	0,3890
pH	-0,0520	0,2816	0,2151
Vlhkost	0,2369	-0,1394	0,5148
Glukóza	0,3675	-0,1021	0,1626
Hrubá bílkovina	-0,1784	0,2888	0,3954
Tuky	-0,1980	0,0991	0,3283
Mg	-0,1432	0,1346	0,3429
P	-0,1346	-0,0034	0,5316
Ca	-0,0724	-0,1258	0,3437
Mn	-0,1589	0,1751	0,1944

Pomocí Funkce 1 a 2 byly také vytvořeny rozptylové grafy, které umožňují vizualizaci vzorků v grafu obdobně jako u PCA. V tomto případě jsou také vytvořeny centroidy, tedy střední hodnoty dat vzorků z daných oblastí. Obdobně jako u PCA je také u diskriminační analýzy poměrně značné rozdělení, kdy indická, evropská i čínská oblast jsou od sebe významně odděleny a vzorky nejsou namíchaný do různých oblastí. Rozptylové grafy jsou uvedeny v Grafech č. 7 a 8.



Graf 7 Rozptylový graf klasifikačních funkcí a centroidů



Graf 8 Rozptylový graf centroidů

Pomocí diskriminační analýzy byly získány klasifikační funkce. Tyto klasifikační funkce matematicky popisují danou oblast a jsou pro danou oblast výslednicí všech hodnot. Díky klasifikační funkci je možné zařadit neznámý vzorek do dané oblasti, pokud u něj byly proměřeny ty proměnné, které definují daný model. K dosažení 100% úspěšnosti zařazení do oblasti je od modelů vyžadován velký počet vzorků a pravidelné testování a ověřování

platnosti. Známé vzorky byly v této diplomové práci rozděleny do oblastí se 100% úspěšností. Při určování neznámých vzorků již tato úspěšnost značně klesala. V Tabulce č. 17 jsou uvedeny klasifikační funkce pro danou oblast, ze kterých se stanoví oblast centroidů a následně je možné zařadit do oblastí známé vzorky (Tabulka č. 18), ale také neznámé vzorky (Tabulka č. 19).

*Tabulka 17 Klasifikační funkce pro dané oblasti*

Proměnná/oblast	Indie	Evropa	Čína
Fruktóza	0,34	0,68	0,96
ASTA	1,41	1,28	0,44
pH	310,19	291,55	231,06
Vlhkost	-6,63	-6,19	10,91
Glukóza	0,65	0,62	0,92
Hrubá bílkovina	-7,32	-10,98	8,00
Tuky	-1,42	1,48	-3,68
Mg	126,43	82,33	175,37
P	39,24	62,92	-88,09
Ca	133,18	138,85	55,59
Mn	13,75	13,29	19,29

*Tabulka 18 Klasifikační matice pro známé vzorky a úspěšnost zařazení do oblasti*

Oblast	Indie	Evropa	Čína	Správnost zařazení
Indie	9	0	0	100 %
Evropa	0	7	0	100 %
Čína	0	0	6	100 %
Celkem	9	7	6	100 %

K ověření správnosti modelu se využívá křížové validace. Principem křížové validace je odebrání vždy jednoho vzorku z modelu a testování, do které oblasti se zařadí. Čím vyšší je počet vzorků, tím odebrání jediného vzorku nevytvoří významné změny a model pro tuto oblast zůstává stabilní. V této diplomové práci bylo pro klasifikační matici použito 9 vzorků z Indie, 7 vzorků z Evropy a 6 vzorků z Číny. Při odebrání jednoho vzorku z kterékoliv oblasti již je znám významný úbytek informace o oblasti, u indické oblasti tento úbytek činí 11,11 %, u evropské oblasti 14,29 % a u čínské dokonce 16,67 %. Výsledkem odebrání

vzorku a pokus o jeho zařazení jakožto neznámého vzorku měl velký vliv na správné zařazení. U indické oblasti se snížila správnost zařazení na 77,78 %, u čínské oblasti na 66,67 % a u evropské dokonce na 42,86 %. Tento úbytek je dán zejména vlivem snížení množství informací. Pro zvýšení integrity modelu by bylo nutné testovat rozsáhlejší soubor vzorků z každé oblasti tak, aby správnost zařazení byla u každé oblasti maximální. Celková průměrná predikční schopnost u všech 3 oblastí činila v této diplomové práci 62,43 %.

*Tabulka 19* Validacioní matice pro zařazení neznámých vzorků do oblastí a úspěšnost zařazení do oblastí

Oblast	Indie	Evropa	Čína	Správnost zařazení
Indie	7	2	0	77,78 %
Evropa	4	3	0	42,86 %
Čína	0	2	4	66,67 %
Celkem	11	7	4	62,43 %

Ke stanovení geografické autenticity mleté papriky použili diskriminační analýzu také Zhang et. al., kteří analyzovali vzorky mleté papriky ze 3 čínských oblastí. Při analýze neznámých vzorků metodou ICP-MS dosáhli správnosti zařazení pomocí validační matice 92,0 %. Vzorky mleté papriky analyzovali také Hwang et. al., a to konkrétně z oblasti Číny, Vietnamu a Jižní Koreji. K vyhodnocení geografické autenticity vzorků mimo jiné použili diskriminační analýzu a vytvořili model s 93,62% správným zařazením do oblastí při stanovení makroprvků a 97,87% správným zařazením vzorků mleté papriky při stanovení stopových prvků [99, 100].

## 5 ZÁVĚR

Použitím analytických metod spolu s laboratorními technikami byly stanoveny základní nutriční parametry 26 vzorků mleté papriky. Vzorky mleté papriky pocházely z několika světových oblastí, jako hlavní oblasti byly zvoleny evropská, indická a čínská, další analyzované vzorky byly původem z USA, Maroka a Turecka. Získaná data byla analyzována pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) k určení významných statistických rozdílů mezi geografickými oblastmi. Tukeyho test na hladině významnosti  $p < 0,05$  byl následně použit k rozdělení vzorků do skupin u daných parametrů. Mezi stanovované parametry byly vybrány tyto: ASTA barvivost, obsah vlhkosti, obsah vody, pH, obsah popelu, obsah tuků a hrubé bílkoviny, obsah kapsaicinoidů a dále obsah sacharidů (fruktózy, glukózy, sacharózy) a obsah vybraných prvků (Ca, Na, K, Mg, P, Fe, Cu, Mn, Zn).

Pomocí analýzy rozptylu ANOVA bylo vybráno 14 parametrů, které se ve výsledcích statisticky lišily ( $p < 0,05$ ). Mezi tyto parametry patřily ASTA barvivost, obsah vlhkosti, pH, obsah tuků a hrubé bílkoviny, obsah fruktózy a glukózy a vybrané prvky (Ca, Na, Mg, P, Fe, Mn, Zn). Tyto parametry byly dále použity k vyhodnocení, zda geografický původ ovlivňuje nutriční složení mleté papriky. Pomocí shlukové analýzy byly vytvořeny 4 shluky, ve kterých se jasně odlišily vzorky z čínské oblasti od ostatních shluků. Vzorky z indické a evropské oblasti vytvořily také samostatné shluky, avšak některé vzorky z těchto oblastí již zasahovaly do jiných shluků.

Při analýze hlavních komponent bylo zvoleno celkem 5 komponent s eigenvalue vyšší než 1. Pro grafické znázornění byly vybrány komponenty F1 a F2, které zastupovaly celkovou variabilitu 60,41 %. Při grafické projekci do dvou komponent F1 a F2 byly vyhodnoceny korelace mezi jednotlivými parametry a následně byly do grafické roviny promítnuty samotné vzorky. V grafu bylo možné pozorovat zobrazení 3 oblastí, kolem kterých bylo koncentrováno nejvíce vzorků. Oblasti byly rozděleny do všech kvadrantů a bylo možné mezi nimi pozorovat rozdíly. Vzorky z Evropy se vyskytovaly pouze v 1. a 2. kvadrantu, vzorky z Číny pouze ve 3. kvadrantu a vzorky z Indie pouze ve 4. kvadrantu. Vzdálenosti mezi centroidy těchto oblastí byly značně velké a bylo možné tyto oblasti od sebe vizuálně oddělit. Vzorky z Maroka a Turecka byly umístěny v 1., respektive v 2. kvadrantu a měly tak svým chemickým složením nejbližší ke vzorkům z Evropy. Vzorek z USA se z pohledu chemického složení od ostatních vzorků výrazně lišil.

Pomocí diskriminační analýzy byl vytvořen klasifikační model, který umožňuje zařazení vzorků mleté papriky do vybraných oblastí. Při testování klasifikačního modelu bylo zařazení známých vzorků do vybraných oblastí s úspěšností 100 %. Křížovou validací modelu byla stanovena predikční schopnost modelu 62,43 %. Pro zvýšení úspěšnosti zařazení neznámého vzorku do klasifikačního modelu by bylo potřeba vypracovat model o vyšším počtu vzorků. Dalším podstatným faktorem jsou velké vzdálenosti v rámci jednotlivých oblastí, které mohou být až 2 000 km. Při výběru oblastí s užším rozsahem by velmi pravděpodobně také vzrostla predikční úspěšnost klasifikačního modelu.

Analýza většího množství parametrů a jejich statistické zhodnocení umožnilo potvrdit správnost prvotní hypotézy, že vzorky mleté papriky lze odlišit na základě chemické analýzy

v rámci geografického původu. Zkoumaná problematika se ukázala být jako perspektivní. Práci by bylo možné rozšířit o analýzu více vzorků, popřípadě i vzorků z jiných oblastí. Rozšířit by se také mohly stanovované parametry vstupující do statistického zpracování dat.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PETER, K. V., *Handbook of herbs and spices*. 2nd edition. Oxford, UK: Woodhead. Woodhead Publishing series in food science, technology and nutrition. 2012. ISBN 978-0-85709-039-3.
- [2] TRIPODI, Pasquale a Sanjeet KUMAR. *The Capsicum Crop: An Introduction. The Capsicum Genome*. In: *Springer International Publishing*, 2019, Compendium of Plant Genomes. DOI: 10.1007/978-3-319-97217-6\_1. ISBN 978-3-319-97216-9. Dostupné také z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-97217-6\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-97217-6_1)
- [3] *Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Statistical Database*. FAO, 2019. [citováno 2020-03-05]
- [4] ČESKO. Vyhláška ze dne 2. prosince 2016 o požadavcích na koření, jedlou sůl, dehydratované výrobky, ochucovadla, studené omáčky, dresinky a hořčici. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2016, částka 162, číslo 398, s. 6286-6311. Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=61317>
- [5] CHETTI, Mahadev B., G. T. DEEPA, Roshny T. ANTONY, Mahadev C. KHETAGOUDAR, Dodappa S. UPPAR a Channappa M. NAVALGATTI. Influence of vacuum packaging and long term storage on quality of whole chilli (*Capsicum annum L.*). In: *Journal of Food Science and Technology*. 2014, vol. 51, no. 10, pp. 2827-2832. DOI: 10.1007/s13197-012-0763-3. ISSN 0022-1155. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s13197-012-0763-3>
- [6] ASNIN, L. a S. W. PARK. Isolation and Analysis of Bioactive Compounds in Capsicum Peppers. In: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2014, vol. 55, no. 2, pp. 254-289. DOI: 10.1080/10408398.2011.652316. ISSN 1040-8398. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2011.652316>
- [7] Akimasa NAKANO, Tiejun ZHAO. Authenticity of the Geographical Origin and Production Methods of Agricultural Products. In: *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*. 2018, Vol.52, No.2, pp.105.
- [8] USDA: United States Department of Agriculture, 2019. [online database], [cit. 2020-02-14]. Dostupné také z: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/278?manu = &fgcd = &ds = .>
- [9] Marion, J.E. & Dempsey, A.H. Fatty Acids of Pepper Seed Oil. J. Am. In: *Oil Chem*. 1964. Vol. 41, pp. 548-549.
- [10] TEPIĆ, A., Z. ZEKOVIĆ, S. KRAVIĆ a A. MANDIĆ. Pigment content and fatty acid composition of paprika oleoresins obtained by conventional and supercritical carbon dioxide extraction. In: *CyTA–Journal of Food*. 2009, vol. 7, no. 2, pp. 95-102. DOI: 10.1080/19476330902940382. ISSN 1947-6337. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19476330902940382>
- [11] MARTÍNEZ, Sidonia, Mercedes LÓPEZ, Montserrat GONZÁLEZ-RAURICH a Ana BERNARDO ALVAREZ. The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annum L.*). In: *International Journal of Food Sciences*

*and Nutrition*. 2009, vol. 56, no. 1, pp. 45-51. DOI: 10.1080/09637480500081936. ISSN 0963-7486. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09637480500081936>

[12] SINHA, Nirmal K. a Y. H. HUI. *Handbook of vegetables and vegetable processing*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2011. ISBN 978-0-8138-1541-1.

[13] SIMPSON, Kenneth L. Relative value of carotenoids as precursors of vitamin A. *Proceedings of the Nutrition Society*. 1983, vol. 42, no. 1, pp. 7-17.

DOI: 10.1079/PNS19830003. ISSN 0029-6651. Dostupné také z:

[https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0029665183000075/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0029665183000075/type/journal_article)

[14] PALACIOS-MORILLO, Ana, José Marcos JURADO, Ángela ALCÁZAR a Fernando DE PABLOS. Geographical characterization of Spanish PDO paprika by multivariate analysis of multielemental content. In: *Talanta*. 2014, vol. 128, pp. 15-22.

DOI: 10.1016/j.talanta.2014.04.025. ISSN 00399140.

Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0039914014003038>

[15] POPELKA, P., P. JEVINOVÁ, K. ŠMEJKAL a P. ROBA. Determination of Capsaicin Content and Pungency Level of Different Fresh and Dried Chilli Peppers. In: *Folia Veterinaria*. 2017, vol. 61, no. 2, pp. 11-16. DOI: 10.1515/fv-2017-0012. ISSN 2453-7837.

Dostupné také z: <http://content.sciendo.com/view/journals/fv/61/2/article-p11.xml>

[16] TOKALIOĞLU, Şerife, Fatma Kılıç DOKAN a Semiha KÖPRÜ. ICP-MS multi-element analysis for determining the origin by multivariate analysis of red pepper flakes from three different regions of Turkey. In: *LWT*. 2019, vol. 103, pp. 301-307.

DOI: 10.1016/j.lwt.2019.01.015. ISSN 00236438. Dostupné také z:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643819300167>

[17] RUBIO, Carmen, Arturo HARDISSON, Raúl MARTÍN, Alejandro BÁEZ, Macrina MARTÍN a Roberto ÁLVAREZ. Mineral composition of the red and green pepper ( *Capsicum annuum* ) from Tenerife Island. In: *European Food Research and Technology*. 2002, vol. 214, no. 6, pp. 501-504. DOI: 10.1007/s00217-002-0534-x. ISSN 1438-2377.

Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00217-002-0534-x>

[18] Kelley WT, Boyhan G. 2009. *Commercial Pepper Production Handbook*. Bulletin 1309, The University of Georgia, Cooperative Extension.

[19] RUSSO, VM, LR HOWARD, L SARAVIA, E.A. HEBISHI a P.A. BIACS. Carotenoids in pungent and non-pungent peppers at various developmental stages grown in the field and glasshouse. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2002, vol. 82, no. 6, pp. 615-624. DOI: 10.1002/jsfa.1099. ISSN 0022-5142. Dostupné také z:

<http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.1099>

[20] *Growing of paprika, Greenhouses for Horticulture* [online], [cit. 2019-10-12], Dostupné také z: <https://www.ulmaagricola.com/en/projects/growing-of-paprika/>

[21] BAE, Haejin, G.K. JAYAPRAKASHA, Kevin CROSBY, Kil Sun YOO, Daniel I. LESKOVAR, John JIFON a Bhimanagouda S. PATIL. Ascorbic acid, capsaicinoid, and flavonoid aglycone concentrations as a function of fruit maturity stage in greenhouse-grown



peppers. In: *Journal of Food Composition and Analysis*. 2014, vol. 33, no. 2, pp. 195-202. DOI: 10.1016/j.jfca.2013.11.009. ISSN 08891575.

Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889157513001907>

[22] DAOOD, Hussein G., M. VINKLER, F. MARKUS, E.A. HEBISHI a P.A. BIACS. Antioxidant vitamin content of spice red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors. In: *Food Chemistry*. 1996, vol. 55, no. 4, pp. 365-372. DOI: 10.1016/0308-8146(95)00136-0. ISSN 03088146.

Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0308814695001360>

[23] BIACS, Peter A., Beatrix. CZINKOTAI, Agoston. HOSCHKE, E.A. HEBISHI a P.A. BIACS. Factors affecting stability of colored substances in paprika powders. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1992, vol. 40, no. 3, pp. 363-367.

DOI: 10.1021/jf00015a001. ISSN 0021-8561. Dostupné také z:

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf00015a001>

[24] ÖZTEKİN, S., A. BAŞÇETİNCİLİK, Y. SOYSAL, E.A. HEBISHI a P.A. BIACS. Crop drying programme in Turkey. In: *Renewable Energy*. 1999, vol. 16, no. 1-4, pp. 789-794.

DOI: 10.1016/S0960-1481(98)00282-1. ISSN 09601481.

Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148198002821>

[25] CONDORÍ, M, R ECHAZÚ, L SARAVIA, E.A. HEBISHI a P.A. BIACS. Solar drying of sweet pepper and garlic using the tunnel greenhouse drier. In: *Renewable Energy*. 2001, **22**(4), s. 447-460. DOI: 10.1016/S0960-1481(00)00098-7. ISSN 09601481. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148100000987>

[26] RAMAKRISHNAN, T. V., F. J. FRANCIS, L SARAVIA, E.A. HEBISHI a P.A. BIACS. Color and carotenoid changes in heated paprika. In: *Journal of Food Science*. 1973, vol. 38, no. 1, pp. 25-28. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1973.tb02767.x. ISSN 0022-1147.

[27] PÉREZ-GÁLVEZ Antonio, Dámaso HORNERO-MÉNDEZ, María Isabel MÍNGUEZ-MOSQUERA a Fernando DE PABLOS. Stability of Paprika without Supplementary Antioxidants during Storage under Industrial Controlled Conditions. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009, vol. 57, no. 11, pp. 4718-4723.

DOI: 10.1021/jf804058m. Dostupné také z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf804058m>

[28] ŠPECIFIKÁCIA NARIADENIE RADY (ES) č. 510/2006 týkajúce sa chránených zemepisných označení a chránených označení pôvodu ČLÁNOK 5 „PAPRIKA ŽITAVA“ / „ŽITAVSKÁ PAPRIKA“ CHOP (x) CHZO (-). Banská Bystrica: Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky, 2012. Dostupné také z:

[http://www.upv.sk/swift\\_data/source/pdf/specifikacie\\_op\\_oz/SPECIFIKACIA\\_Paprika\\_Zitava.pdf](http://www.upv.sk/swift_data/source/pdf/specifikacie_op_oz/SPECIFIKACIA_Paprika_Zitava.pdf)

[29] IQBAL, Qumer, Muhammad AMJAD, Muhammad Rafique ASI, Augustin ARINO, Khurram ZIAF, Aamir NAWAZ a Tanveer AHMAD. Stability of Capsaicinoids and Antioxidants in Dry Hot Peppers under Different Packaging and Storage Temperatures. In: *Foods*. 2015, vol. 4, no. 2, pp. 51-64. DOI: 10.3390/foods4020051. ISSN 2304-8158.

[30] KRISHNA DE, Amit. *Capsicum: The genus Capsicum* [online]. CRC Press, 2003 [cit. 2020-03-08]. ISBN 9781-1344-2241-8. Dostupné také z:

[https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=zepxG-bjUYUC&oi=fnd&pg=PA223&dq=quality+of+paprika+powder&ots=u-NL7zvdCy&sig=BIUol8tQqIkul8nKTSO0nkx Pfs&redir\\_esc=y#v=onepage&q=quality%20of%20paprika%20powder&f=false](https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=zepxG-bjUYUC&oi=fnd&pg=PA223&dq=quality+of+paprika+powder&ots=u-NL7zvdCy&sig=BIUol8tQqIkul8nKTSO0nkx Pfs&redir_esc=y#v=onepage&q=quality%20of%20paprika%20powder&f=false)

[31] ISO 7540:2006 *Ground paprika (Capsicum annuum L.) — Specification*. 2. ISO/TC 34/SC 7 Spices, culinary herbs and condiments, 2006.

[32] MARTÍN, Alberto, Alejandro HERNÁNDEZ, Emilio ARANDA, Rocio CASQUETE, Rocio VELÁZQUEZ, Teresa BARTOLOMÉ a María G. CÓRDOBA. Impact of volatile composition on the sensorial attributes of dried paprikas. In: *Food Research International*. 2017, vol. 100, pp. 691-697. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.07.068. ISSN 09639969. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996917304088>

[33] ČÍŽKOVÁ, Helena, Rudolf ŠEVČÍK, Jan PIVOŇKA a Michal VOLDŘICH. Trendy v autenticitě potravin a přístupech k detekci falšování. V: *Chemické listy*. 2012, roč. 106, č. 10, s. 903-910.

Dostupné také z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012\\_10\\_903-910.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_10_903-910.pdf)

[34] EVERSTINE, KAREN, JOHN SPINK a SHAUN KENNEDY. Economically Motivated Adulteration (EMA) of Food: Common Characteristics of EMA Incidents. In: *Journal of Food Protection*. 2013, vol. 76, no. 4, pp. 723-735. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-12-399. ISSN 0362-028X. Dostupné také z: <http://jfoodprotection.org/doi/abs/10.4315/0362-028X.JFP-12-399>

[35] Rozhodnutí komise (EU) č. 2003/460 ze dne 20. června 2003 o mimořádných opatřeních týkajících se chilli papriček a výrobků z chilli papriček. Dostupné také z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/771b9c80-a7f2-4e37-a7a2-a693ea603d29/language-cs>

[36] MÁRQUEZ, Cristina, Itziar RUISÁNCHEZ a M. Pilar CALLAO. Qualitative and quantitative multivariate strategies for determining paprika adulteration with SUDAN I and II dyes: Common Characteristics of EMA Incidents. In: *Microchemical Journal*. 2019, vol. 145, no. 4, pp. 686-692. DOI: 10.1016/j.microc.2018.11.034. ISSN 0026265X.

Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026265X18311767>

[37] OLIVEIRA, Marciano M., J.P. CRUZ-TIRADO, Douglas F. BARBIN, Saskia M. VAN RUTH a Susanne ESSLINGER. Nontargeted Analytical Methods as a Powerful Tool for the Authentication of Spices and Herbs: A Review. In: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019, vol. 18, no. 3, pp. 670-689. DOI: 10.1111/1541-4337.12436. ISSN 1541-4337.

Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.12436>

[38] Barvivo Sudan I. In: *Fisher Scientific* [online]. [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: [HTTPS://WWW.FISHERSCI.COM/SHOP/PRODUCTS/SUDAN-I-ACROS-ORGANICS-2/AC147060250](https://www.fishersci.com/shop/products/sudan-i-acros-organics-2/ac147060250)

- [39] THALHAMER, Bernhard, Wolfgang BUCHBERGER a M. Pilar CALLAO. Adulteration of beetroot red and paprika extract based food colorant with *Monascus* red pigments and their detection by HPLC-QToF MS analyses: Common Characteristics of EMA Incidents. In: *Food Control*. 2019, vol. 105, no. 4, pp. 58-63.  
DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.05.020. ISSN 09567135. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713519302282>
- [40] DHANYA, K., S. SYAMKUMAR, S. SIJU a B. SASIKUMAR. SCAR markers for adulterant detection in ground chilli. In: *British Food Journal*. 2011, vol. 113, no. 5, pp. 656-668. DOI: 10.1108/00070701111131755. ISSN 0007-070X. Dostupné také z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/00070701111131755/full/html>
- [41] HORVÁTH, Zs. H. The effect of storage on the colour of paprika powders with added oleoresin. In: *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*. 2016, vol. 9, no. 1, pp. 50-59.  
DOI: 10.1515/ausal-2016-0005. ISSN 2066-7744. Dostupné také z: <http://content.sciendo.com/view/journals/ausal/9/1/article-p50.xml>
- [42] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1151/2012 ze dne 21. listopadu 2012, o režimech jakosti zemědělských produktů a potravin. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32012R1151>
- [43] Protective designation of origin [online]. [cit. 2019-12-10] Dostupné také z: [https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/food-safety-and-quality/certification/quality-labels/quality-schemes-explained\\_en](https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/food-safety-and-quality/certification/quality-labels/quality-schemes-explained_en)
- [44] GONZALVEZ, A., S. ARMENTA, M. DE LA GUARDIA a Fernando DE PABLOS. Trace-element composition and stable-isotope ratio for discrimination of foods with Protected Designation of Origin. In: *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2009, vol. 28, no. 11, pp. 1295-1311. DOI: 10.1016/j.trac.2009.08.001. ISSN 01659936.  
Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165993609001824>
- [45] CETÓ, Xavier, Núria SERRANO, Miriam ARAGÓ, Alejandro GÁMEZ, Miquel ESTEBAN, José DÍAZ-CRUZ a Oscar NÚÑEZ. Determination of HPLC-UV Fingerprints of Spanish Paprika (*Capsicum annum* L.) for Its Classification by Linear Discriminant Analysis: A Review. In: *Sensors*. 2018, vol. 18, no. 12, pp. 670-689.  
DOI: 10.3390/s18124479. ISSN 1424-8220.  
Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/12/4479>
- [46] BRUNNER, Marion, Róbert KATONA, Zsolt STEFÁNKA a Thomas PROHASKA. Determination of the geographical origin of processed spice using multielement and isotopic pattern on the example of Szegedi paprika. *European Food Research and Technology*. 2010, vol. 231, no. 4, pp. 623-634. DOI: 10.1007/s00217-010-1314-7. ISSN 1438-2377.  
Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00217-010-1314-7>
- [47] GALVIN-KING, Pamela, Simon A. HAUGHEY a Christopher T. ELLIOTT. Herb and spice fraud; the drivers, challenges and detection. *Food Control*. 2018, vol. 88, pp. 85-97.  
DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.12.031. ISSN 09567135. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713517306102>

- [48] REINHOLDS, Ingars, Vadims BARTKEVICS, Isabelle C.J. SILVIS, Saskia M. VAN RUTH a Susanne ESSLINGER. Analytical techniques combined with chemometrics for authentication and determination of contaminants in condiments: A review. In: *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015, vol. 44, no. 4, pp. 56-72. DOI: 10.1016/j.jfca.2015.05.004. ISSN 08891575. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889157515001374>
- [49] Nařízení komise (EU) 2015/1137 ze dne 13.července 2015, *kterým se mění nařízení (ES) č. 1881/2006, pokud jde o maximální limit ochratoxinu A v kořeni Capsicum spp.* Dostupné také z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c20cf8c6-9c61-4ba8-a39b-b91c13b97352/language-cs>
- [50] Nařízení komise (EU) č. 165/2010 ze dne 26. února 2010, *kterým se mění nařízení (ES) č. 1881/2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách, pokud jde o aflatoxiny.* Dostupné z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e66816f5-29ec-11e5-9f85-01aa75ed71a1/language-cs>
- [51] VAN ASSELT, E.D., J.L. BANACH, H.J. VAN DER FELS-KLERX, Alejandro GÁMEZ, Miquel ESTEBAN, José DÍAZ-CRUZ a Oscar NÚÑEZ. Prioritization of chemical hazards in spices and herbs for European monitoring programs: A Review. In: *Food Control*. 2018, vol. 83, no. 12, pp. 7-17. DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.12.023. ISSN 09567135. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713516307149>
- [52] KLÁTYIK S., DARVAS B., OLÁH M., MORTL M., TAKÁCS E. a SZEKÁCS A. Pesticide residues in spice paprika and their effects on environmental and food safety. In *Journal of Food and Nutrition Research*. 2017, vol. 56, no. 3, pp. 201-218. ISSN 1336-8672.
- [53] PANDA, H. Handbook on Spices and Condiments (Cultivation, Processing and Extraction). In: *Asia pacific business press*, 2010, pp. 640 . ISBN 9788-1783-3132-4.
- [54] MINGUEZ-MOSQUERA, M. I., M. JAREN-GALAN a J. GARRIDO-FERNANDEZ. Color quality in paprika. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1992, vol. 40, no. 12, pp. 2384-2388. DOI: 10.1021/jf00024a012. ISSN 0021-8561. Dostupné také z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf00024a012>
- [55] NIELSEN, S. Suzanne. Food analysis. 4th ed. New York: Springer, 2010. *Chemical and functional properties of food components series*. ISBN 978-1-4614-2589-2.
- [56] COLLINS, Margaret D., Loide Mayer WASMUND, Paul W. BOSLAND a P. ROBA. Improved Method for Quantifying Capsaicinoids in Capsicum Using High-performance Liquid Chromatography. In: *HortScience*. 1995, vol. 30, no. 1, pp. 137-139. DOI: 10.21273/HORTSCI.30.1.137. ISSN 0018-5345. Dostupné také z: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/30/1/article-p137.xml>
- [57] ÖTLEŞ, Semih, ed. *Methods of analysis of food components and additives*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2012. *Chemical and functional properties of food components series*. ISBN 978-143-9815-526.

- [58] POŘÍZKA, J. Využití analytických technik a chemometrie k autentifikaci vín. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2016. 203 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D..
- [59] PYTELA, Oldřich. 2003. *Chemometrie pro organické chemiky*. Vyd. 4. Pardubice: Univerzita Pardubice, 211 s. ISBN 80-719-4539-0.
- [60] POÓR, Péter, Péter POÓR, Attila ÖRDÖG, Irma TARI, Zoltán BÁTORI, Dubravka ŠTAJNER a Boris POPOVIĆ. Comparison of the mineral content of processed spice samples of sweet and hot paprika from the Szeged region. In: *Journal of Elementology*. 2018, vol. 103, no. 2, pp. 301-307. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.4.1497. ISSN 16442296. Dostupné také z: <http://jsite.uwm.edu.pl/articles/view/1497/>
- [61] KILIC, Serpil, Ihsan Burak CAM, Timur TONGUR, Murat KILIC, Zoltán BÁTORI, Dubravka ŠTAJNER a Boris POPOVIĆ. Health Risk Assessment of Exposure to Heavy Metals and Aflatoxins via Dietary Intake of Dried Red Pepper from Marketplaces in Antalya, Southern Turkey. In: *Journal of Food Science*. 2018, vol. 83, no. 10, pp. 2675-2681. DOI: 10.1111/1750-3841.14322. ISSN 00221147. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/1750-3841.14322>
- [62] SAVIĆ, Saša, Sanja PETROVIĆ, Mirjana PETRONIJEVIĆ, Aleksandra CVETANOVIĆ a Živomir PETRONIJEVIĆ. Determination of the mineral content of spices by ICP-OES. In: *Advanced Technologies*. 2019, vol. 8, no. 1, pp. 27-32. DOI: 10.5937/SavTeh1901027S. ISSN 2406-2979. Dostupné také z: <https://scindeks.ceon.rs/Article.aspx?artid=2406-29791901027S>
- [63] DOYLE, N., D. SWAIN, J. J. ROBERTS a D. COZZOLINO. The Use of Qualitative Analysis in Food Research and Technology: Considerations and Reflections from an Applied Point of View. *Food Analytical Methods*. 2017, vol. 10, no. 4, pp. 964-969. DOI: 10.1007/s12161-016-0654-8. ISSN 1936-9751. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s12161-016-0654-8>
- [64] BRO, Rasmus, Age K. SMILDE, J. J. ROBERTS a D. COZZOLINO. Principal component analysis: Considerations and Reflections from an Applied Point of View. In: *Anal. Methods*. 2014, vol. 6, no. 9, pp. 2812-2831. DOI: 10.1039/C3AY41907J. ISSN 1759-9660. Dostupné také z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C3AY41907J>
- [65] BEVILACQUA, Marta, Riccardo NESCATELLI, Remo BUCCI, Andrea D MAGRÌ, Antonio L MAGRÌ a Federico MARINI. Chemometric Classification Techniques as a Tool for Solving Problems in Analytical Chemistry. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. 2014, vol. 97, no. 1, pp. 19-28. DOI: 10.5740/jaoacint.SGEBevilacqua. ISSN 1060-3271. Dostupné také z: <https://academic.oup.com/jaoac/article/97/1/19/5654702>
- [66] BECKER, Johanna Sabine. 2007. *Inorganic Mass Spectrometry*. Chichester: Wiley. ISBN 978-0-470-01200-0.
- [67] OTRUBA, Editor Vítězslav. *6. kurz ICP spektrometrie*: Brno 24.-26. května 2011. Brno: Spektroskopická společnost Jana Marka Marci, 2011. ISBN 978-809-0453-913.

- [68] WAGNER, Neal R. Fingerprinting. *1983 IEEE Symposium on Security and Privacy* [online]. IEEE, 1983, 1983, , 18-18 [cit. 2020-03-15]. DOI: 10.1109/SP.1983.10018. ISBN 0-8186-0467-0. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6234491/>
- [69] 870 KF Titrino plus. *www.metrohm.com* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné také z: <https://www.metrohm.com/cs-cz/products-overview/karl-fischer-titration/kf%20titrino%20plus/28700010?fromProductFinder=true>
- [70] SOMMER, Lumír. *Základy analytické chemie*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1742-0.
- [71] NOVÁKOVÁ, Lucie a Michal DOUŠA. *Moderní HPLC separace v teorii a praxi*. Praha: Lucie Nováková, 2013. ISBN 978-80-260-4244-0.
- [72] ČSN ISO 7541. 1989. Mletá (v prášku) paprika. Stanovení celkového obsahu přírodních barviv.
- [73] ČSN ISO 7540. 2010. Mletá paprika (*Capsicum annum L.*) – Specifikace
- [74] ČSN ISO 760. 1998. Stanovení vody – Metoda Karl Fischera (Všeobecná metoda)
- [75] ČSN ISO 1871. 2009. Zemědělské a potravinářské výrobky. Obecné pokyny pro stanovení dusíku metodou podle Kjeldahla.
- [76] KOVAŘÍKOVÁ, T. *Stanovení nutričních vlastností mleté papriky různého geografického původu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2017. 69 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D..
- [77] ŠTURSA, Václav, Pavel DIVIŠ a Jaromír POŘÍZKA. Characteristics of Paprika samples of different geographical origin. *Potravinarstvo*. 2018, vol. 12, no. 1, pp. 254-261. DOI: 10.5219/902. ISSN 1337-0960. Dostupné také z: <http://www.potravinarstvo.com/journal1/index.php/potravinarstvo/article/view/902>
- [78] DIVIŠ, P., POŘÍZKA, J., VESPALCOVÁ, M., MATĚJČEK, A., KAPLAN, J. 2015. Elemental composition of fruits from different black elder (*Sambucus nigra L.*) cultivars grown in the Czech Republic. In: *J. Elementol.*, vol. 20, pp. 549-557.
- [79] ZAKI, Naima, Abdelmalek HAKMAOUI, Aaziz OUATMANE a Juan Pablo FERNANDEZ-TRUJILLO. Quality characteristics of Moroccan sweet paprika (*Capsicum annum L.*) at different sampling times. In: *Food Science and Technology*. 2013, vol. 33, no. 3, pp. 577-585. DOI: 10.1590/S0101-20612013005000072. ISSN 1678-457X.
- [80] MOLNÁR, Helga, Éva KÓNYA, Zsolt ZALÁN, Ildikó BATA-VIDÁCS, Rita TÖMÖSKÖZI-FARKAS, András SZÉKÁCS a Nóra ADÁNYI. Chemical characteristics of spice paprika of different origins. In: *Food Control*. 2018, vol. 83, no. 3, pp. 54-60. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.04.028. ISSN 09567135. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713517302165>
- [81] RHIM, Jong-Whan, Seok-In HONG, Zsolt ZALÁN, Ildikó BATA-VIDÁCS, Rita TÖMÖSKÖZI-FARKAS, András SZÉKÁCS a Nóra ADÁNYI. Effect of water activity and temperature on the color change of red pepper (*Capsicum annum L.*) powder. In: *Food*

*Science and Biotechnology*. 2011, vol. 20, no. 1, pp. 215-222. DOI: 10.1007/s10068-011-0029-2. ISSN 1226-7708.

Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10068-011-0029-2>

[82] ČESKO. Vyhláška ze dne 2. prosince 2016 o požadavcích na koření, jedlou sůl, dehydratované výrobky, ochucovadla, studené omáčky, dresinky a hořčici. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2016, číslo 398. Dostupné také z:

<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=61317>

[83] Lee, H. S., HONG, J. Y., CHOI, Y. J., Lee, Y. S., Seo, S. J., Shin, S. R. 2017. Characteristics in the components of the paprika by drying methods. In: *Korean Journal of Food Preservation*, vol. 24, pp. 497-504.

Dostupné také z: <https://doi.org/10.11002/kjfp.2017.24.4.497>

[84] MINGUEZ-MOSQUERA, M. Isabel. a Damaso. HORNERO-MENDEZ. Separation and quantification of the carotenoid pigments in red peppers (*Capsicum annum* L.), paprika, and oleoresin by reversed-phase HPLC. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1993, vol. 41, no. 10, pp. 1616-1620. DOI: 10.1021/jf00034a018. ISSN 0021-8561.

Dostupné také z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf00034a018>

[85] DUMAN, A. D. 2010. Storage of red chili pepper under hermetically sealed or vacuum conditions for preservative of its quality and prevention of mycotoxine occurrence. In: *Journal of Stored Products Research*, vol. 46, pp. 155-160. Dostupné také z:

<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2010.02.002>

[86] NAGY, Bence a Béla SIMÁNDI. Effects of particle size distribution, moisture content, and initial oil content on the supercritical fluid extraction of paprika. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2008, vol. 46, no. 3, pp. 293-298. DOI: 10.1016/j.supflu.2008.04.009. ISSN 0896-8446.

Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0896844608001332>

[87] Nutridatabáze, 2014. [online database], [cit. 2020-05-05] Dostupné také z: <http://www.nutridatabaze.cz/potraviny/?id=262>.

[88] KRSTIC, B., Đ. GVOZDENOVIC, S. PAJEVIC a L.J. MERKULOV. Anatomical and physiological characteristics of seed in pepper (*Capsicum annum* L.) varieties. In: *Acta Agronomica Hungarica*. 2001, vol. 49, no. 3, pp. 221-229. DOI: 10.1556/AAgr.49.2001.3.2. ISSN 0238-0161. Dostupné také z: <https://akjournals.com/view/journals/014/49/3/article-p221.xml>

[89] GIUFRIDDA, D., DUGO, P., TORRE, G., BIGNARDI, C., CAVAZZA, A., CORRADINI, C., DUGO, G. 2013. Characterization of 12 *Capsicum* varieties by evaluation of their carotenoid profile and pungency determination. In: *Food Chemistry*, vol. 140, pp. 794-802. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.060>

[90] WEISS, E.A. *Spice Crops*; CABI Publishing International: New York, NY, USA, 2002; stran 411.

- [91] TILAHUN, S., PARAMAGURU, P., a RAJAMANI, K.; Capsaicin and ascorbic acid variability in chilli and paprika cultivars as revealed by HPLC analysis. In: *Journal of Plant Breeding and Genetics*, 2013, vol. 1, no. 2, pp. 85-89.  
Dostupné také z: <https://journals.esciencepress.net/index.php/JPBG/article/view/212>
- [92] PEUSCH, M., MULLER-SEITZ, E., PETZ, M. *et al.* Extraction of capsaicinoids from chillies (*Capsicum frutescens* L.) and paprika (*Capsicum annuum* L.) using supercritical fluids and organic solvents. In: *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*., 1997, vol. 204, pp. 351–355. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1007/s002170050089>
- [93] POLACSEK-RÁCZ T., MAGDA P., HORVÁTH G., VAMOS-VIGYAZO L. Enzymatic determination of the sugars in red pepper. In: *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*. 1981, vol. 172, no. 2, pp. 115-117. DOI: 10.1007/BF01042416. ISSN 0044-3026. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/BF01042416>
- [94] KYUNG-HYUNG K., YUNG-A L., JAE-BOK P., 2012. Physicochemical Properties and Sensory Evaluation for the Heat Level (Hot Taste) of Korean Red Pepper Powder. In: *Preventive Nutrition Food Science*, vol. 17, pp. 29-35. Dostupné také z: <https://doi.org/10.3746/pnf.2012.17.1.029>
- [95] LÓPEZ, Alicia, Jose FENOLL, Pilar HELLÍN a Pilar FLORES. Cultivation approach for comparing the nutritional quality of two pepper cultivars grown under different agricultural regimes. In: *LWT-Food Science and Technology*. 2014, vol. 58, no. 1, pp. 299-305. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.02.048. ISSN 00236438. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643814001248>
- [96] MAMEDOV, M. I., O. N. PYSHNAYA, Ye. A. DZHOS, A. A. MATYUKINA, N. A. GOLUBKINA, S. M. NADEZHKIN a V. F. PIVOVAROV. Quality characteristics of paprika pepper varieties (*Capsicum annuum* L.) under Moscow Oblast conditions. In: *Russian Agricultural Sciences*. 2015, vol. 41, no. 5, pp. 326-330. DOI:10.3103/S1068367415050110. ISSN 1068-3674. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.3103/S1068367415050110>
- [97] SUPARTONO, W, S RÜCKOLD a H.-D ISENGARD. Karl Fischer Titration as an Alternative Method for Determining the Water Content of Cloves. In: *LWT-Food Science and Technology*. 1998, vol. 31, no. 4, pp. 402-405. DOI: 10.1006/fstl.1998.0370. ISSN 00236438. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002364389890370X>
- [98] PERVA-UZUNALIĆ, Amra, Mojca ŠKERGET, Bernd WEINREICH a Željko KNEZ. Extraction of chilli pepper (var. Byedige) with supercritical CO<sub>2</sub>: Effect of pressure and temperature on capsaicinoid and colour extraction efficiency. In: *Food Chemistry*. 2004, vol. 87, no. 1, pp. 51-58. DOI: 10.1016/j.foodchem.2003.10.016. ISSN 03088146. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030881460300565X>
- [99] ZHANG, Jian, Ruidong YANG, Rong CHEN, Yuncong C. LI, Yishu PENG a Xuefeng WEN. Geographical origin discrimination of pepper (*Capsicum annuum* L.) based on multi-elemental concentrations combined with chemometrics. In: *Food Science and Biotechnology*. 2019, vol. 28, no. 6, pp. 1627-1635. DOI: 10.1007/s10068-019-00619-3. ISSN 1226-7708. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10068-019-00619-3>



[100] HWANG, In Min, Eun Woo MOON, Hae-Won LEE, Nargis JAMILA, Kyong SU KIM, Ji-Hyoung HA a Sung Hyun KIM. Discrimination of Chili Powder Origin Using Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry (ICP-MS), Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES), and Near Infrared (NIR) Spectroscopy. In: *Analytical Letters*. 2018, vol. 52, no. 6, pp. 932-947. DOI: 10.1080/00032719.2018.1508293. ISSN 0003-2719.

Dostupné také z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00032719.2018.1508293>

## **7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

ASTA – American Spice Trade Association

SCAR – Sequence Characterized Amplified Region

PDO – Protected Designation of Origin

CHOP – Chráněné označení původu

EU – Evropská unie

HPLC – High-performance liquid chromatography (Vysokoučinná kapalinová chromatografie)

UV-VIS – Ultraviolet-visible spectroscopy (Ultrafialovo-viditelná spektroskopie)

ELSD – Evaporative light scattering detector (Odpařovací detektor rozptylu světla)

ICP-OES – Inductively coupled plasma – atomic emission spectroscopy (Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem)

ICP-MS – Inductively coupled plasma – mass spectrometry (Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem)

LOD – Limit of Detection (Limit detekce)

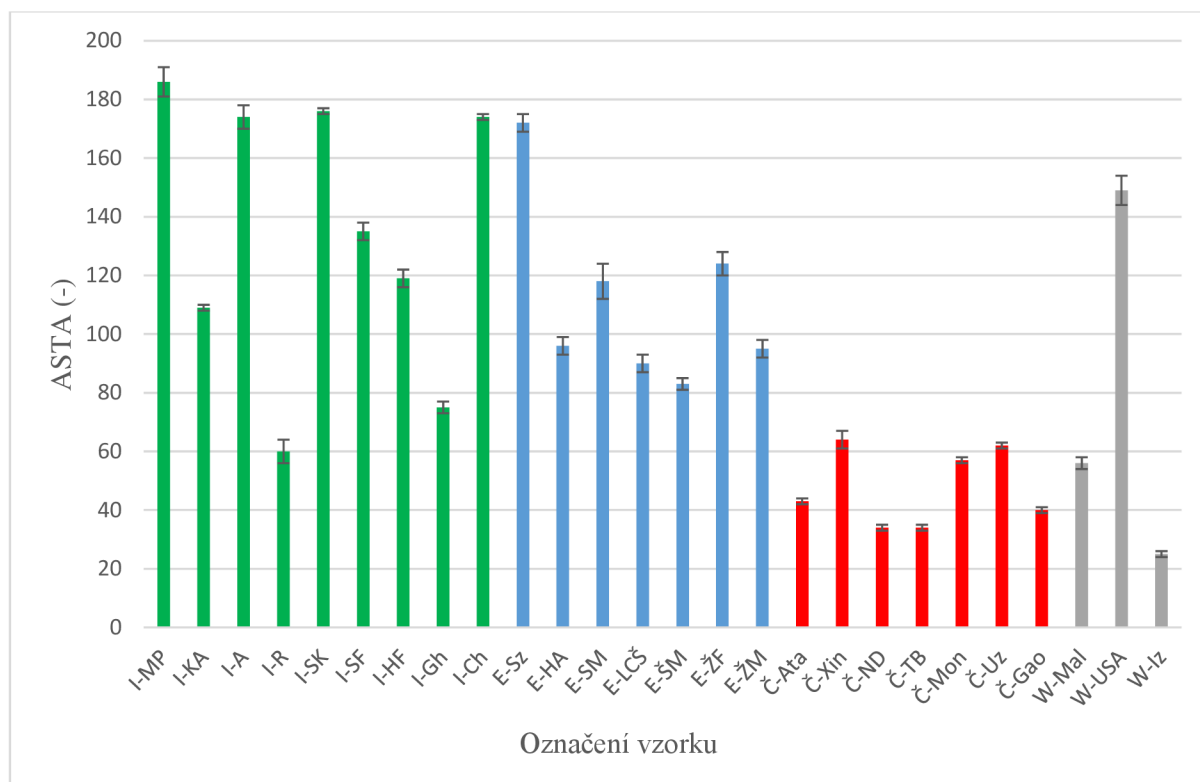
ANOVA – Analysis of Variance (Analýza rozptylu)

PCA – Principal Component Analysis (Analýza hlavních komponent)

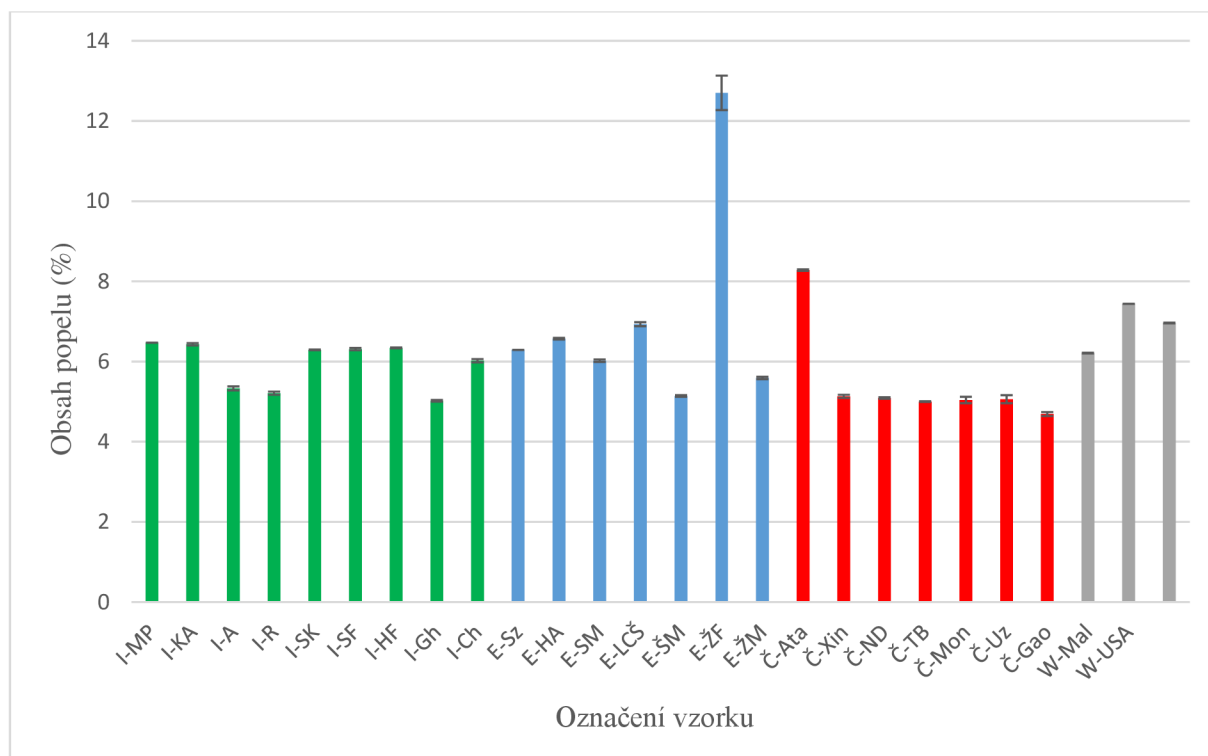
DA – Discriminant analysis (Diskriminační analýza)

U.S.A. – United States of America (Spojené státy americké)

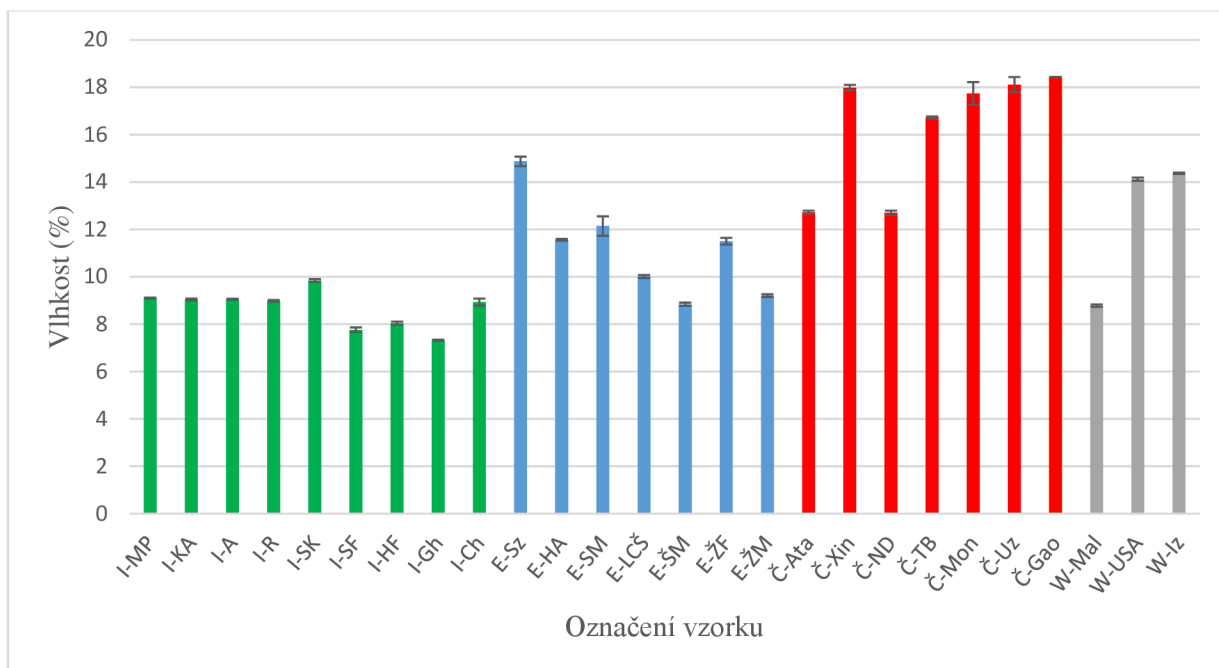
## 8 PŘÍLOHY



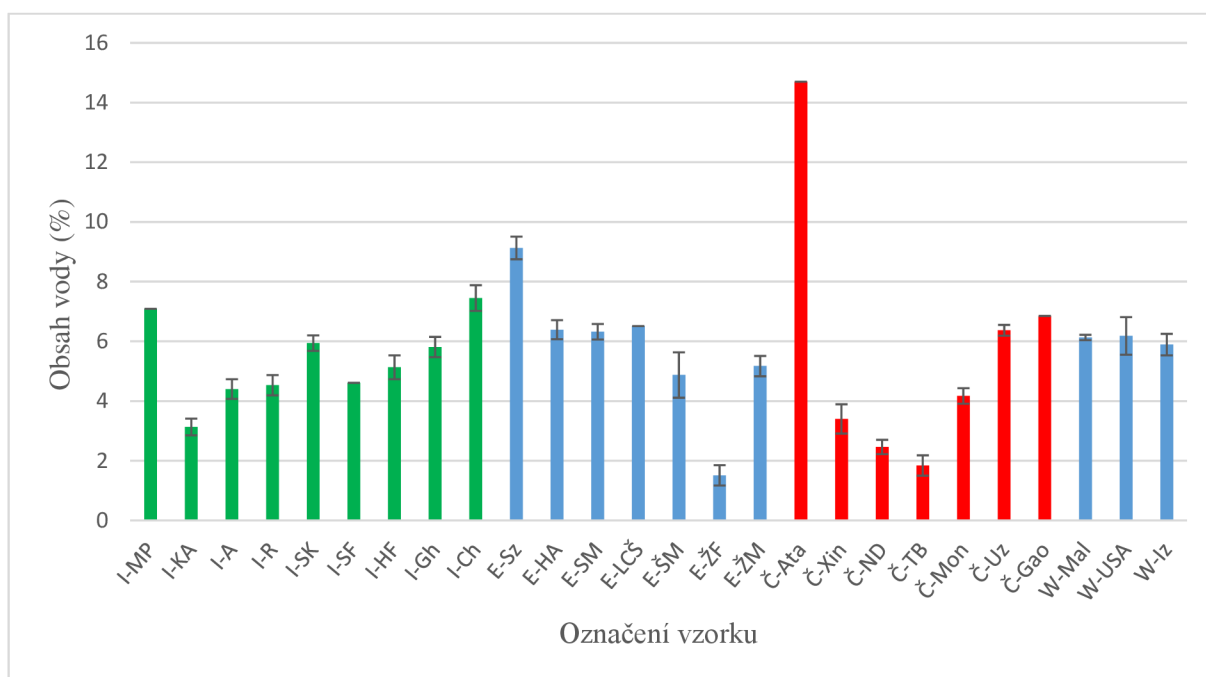
Graf 9 Stanovení hodnoty ASTA; zelená barva značí vzorky z Indie, modrá – Evropa, červená – Čína, šedá – ostatní státy



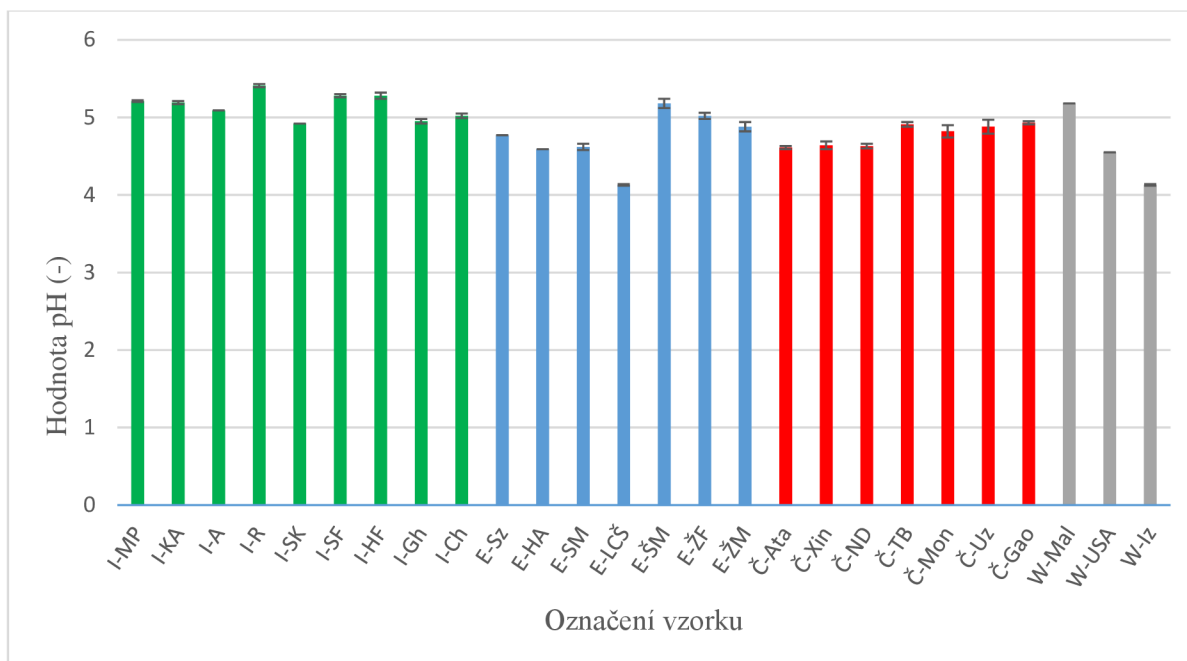
Graf 10 Stanovení obsahu popelu; zelená barva značí vzorky z Indie, modrá – Evropa, červená – Čína, šedá – ostatní státy



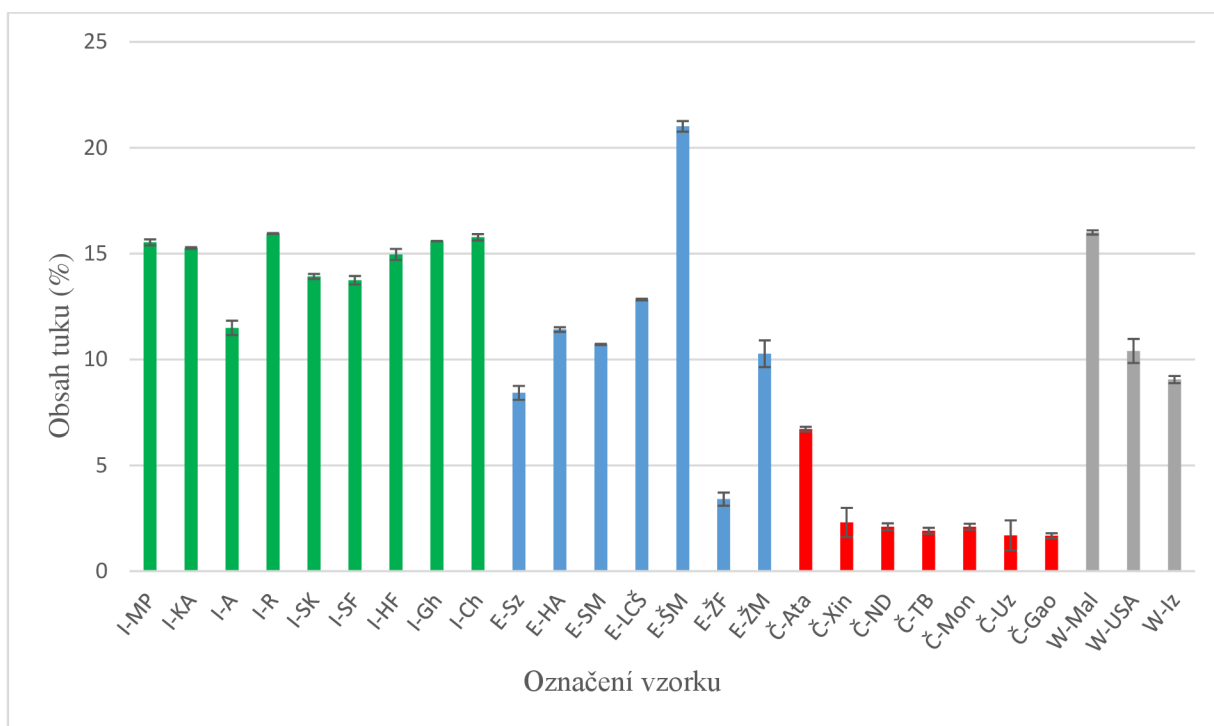
Graf 11 Stanovení obsahu vlhkosti; zelená barva značí vzorky z Indie, modrá – Evropa, červená – Čína, šedá – ostatní státy



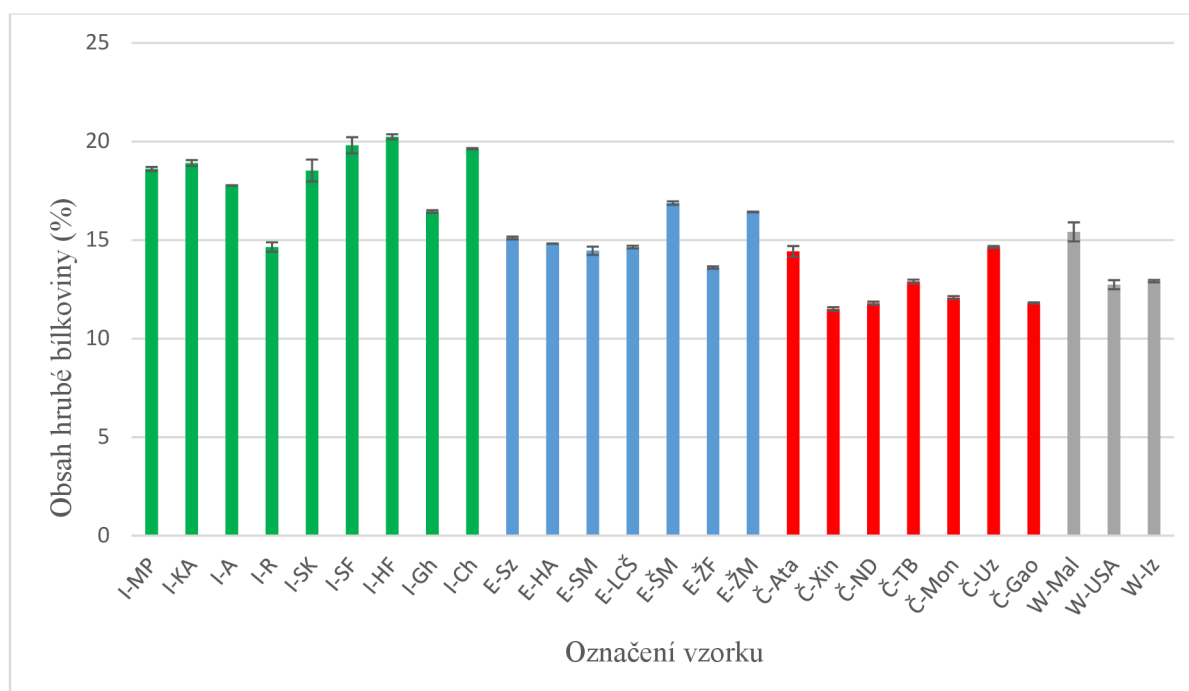
Graf 12 Stanovení obsahu vody; zelená barva značí vzorky z Indie, modrá – Evropa, červená – Čína, šedá – ostatní státy



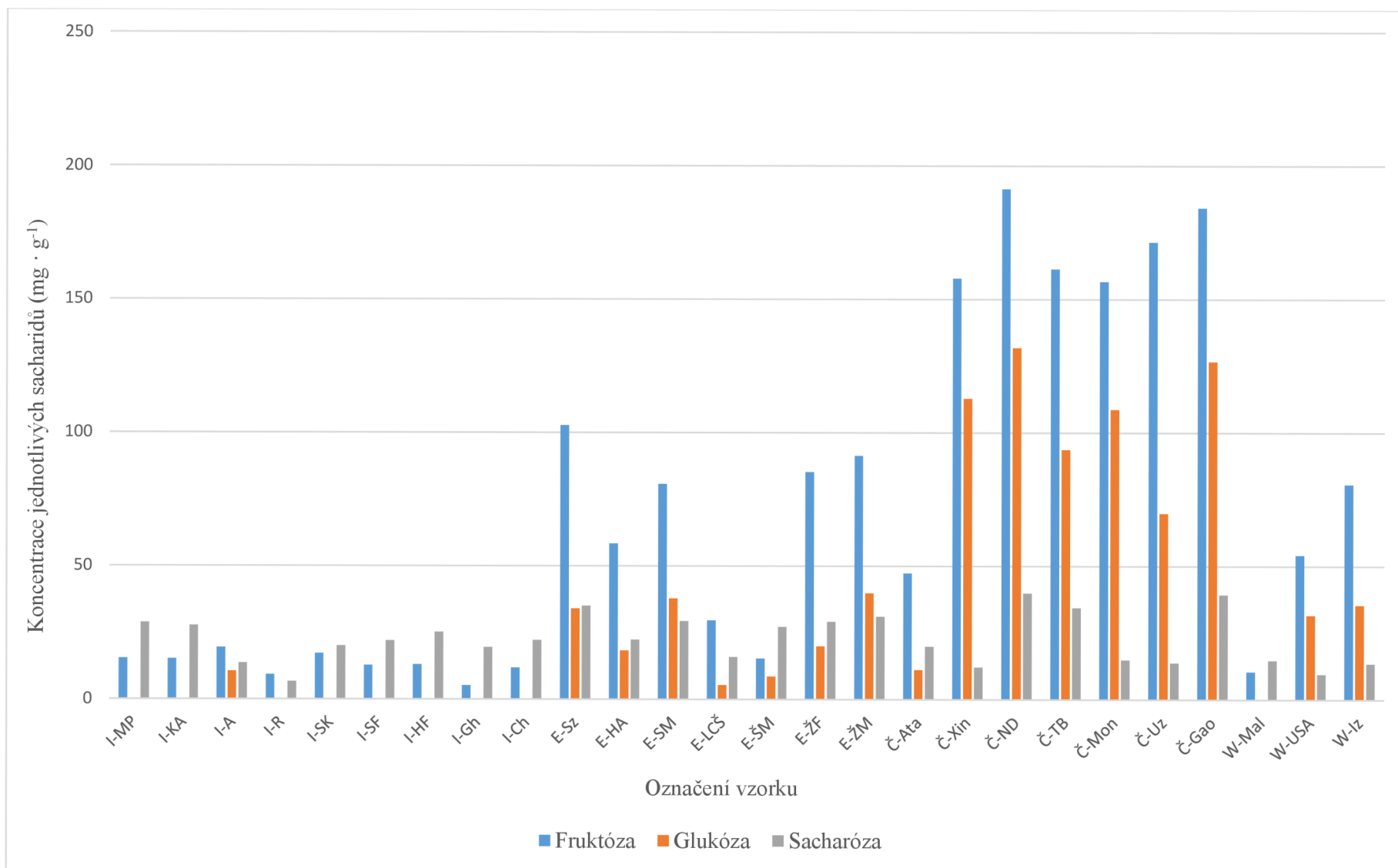
Graf 13 Stanovení pH; zelená barva značí vzorky z Indie, modrá – Evropa, červená – Čína, šedá – ostatní státy



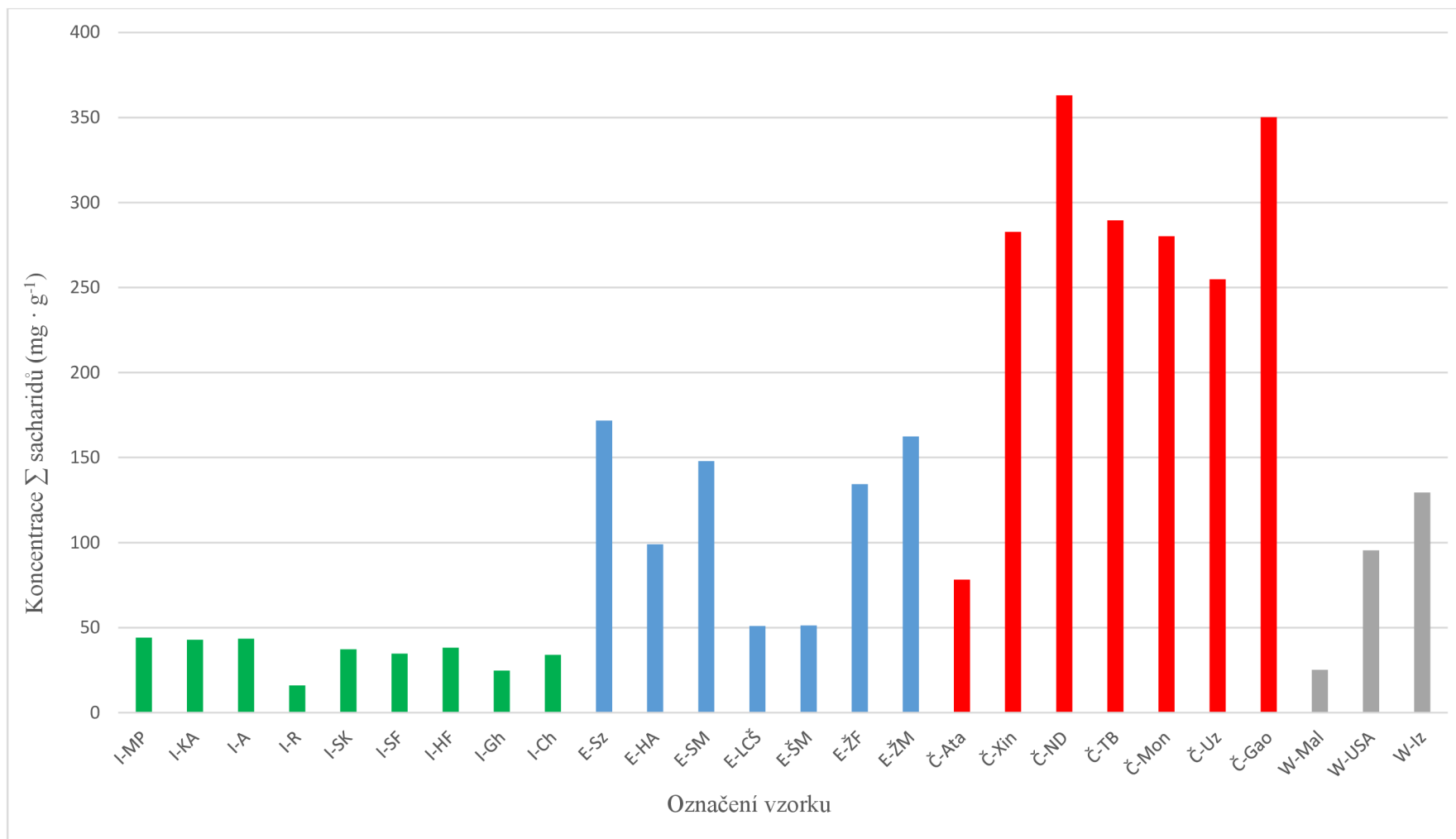
Graf 14 Stanovení obsahu tuku; zelená barva značí vzorky z Indie, modrá – Evropa, červená – Čína, šedá – ostatní státy



Graf 15 Stanovení obsahu hrubé bílkoviny; zelená barva značí vzorky z Indie, modrá – Evropa, červená – Čína, šedá – ostatní státy



Graf 16 Výsledky stanovení koncentrace jednotlivých sacharidů



Graf 17 Stanovení sumy sacharidů; zelená barva značí vzorky z Indie, modrá – Evropa, červená – Čína, šedá – ostatní státy