

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Stanovení pigmentů v plodech u volně rostoucí růže šípkové  
Bakalářská práce**

**Autor práce: Pavla Adamíková**

**Obor studia: Výživa a potraviny**

**Vedoucí práce: PharmDr. Jan Kubeš, Ph.D.**

**© 2021 ČZU v Praze**

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Stanovení pigmentů v plodech u volně rostoucí růže šípkové " jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3/5/2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu PharmDr. Janu Kubešovi, Ph.D. za cenné rady, trpělivost a odbornou pomoc při vedení bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat paní Ing. Pavle Vachové, Ph.D. za odbornou pomoc při zpracování statistických dat. Dále děkuji členům Katedry botaniky a fyziologie rostlin za pomoc v laboratorní části bakalářské práce a spolužákům, kteří mi pomáhali se sběrem šípků. V neposlední řadě děkuji mé rodině a přátelům, kteří mně za dobu mého studia podporovali.

# Stanovení pigmentů v plodech u volně rostoucí růže šípkové

## Souhrn

Tato bakalářská práce měla za cíl zjistit, jestli mohou být pigmenty přítomné v šípcích, jako chlorofyl<sub>a</sub>, chlorofyl<sub>b</sub> a karotenoidy, ovlivněny přítomností těžkých kovů pocházejících z různých zdrojů. Kromě těchto rostlinných barviv byl hodnocen i možný vliv na spalné teplo plodů růže šípkové, které byly sbírány na lokalitách jak s potencionální rizikem znečištění, tak i v areálech, kde nebyla z důvodu kontroly kontaminace předpokládána. Dalším cílem bylo vypracování literární rešerše na tuto problematiku včetně botanického a fytochemického popisu růže šípkové, i s ohledem na použití jejích produktů ve fytoterapii a problematiku těžkých kovů a jejich vlivu na lidské tělo a jiné organismy.

Praktická část se skládala ze sběru plodů růže šípkové ve 20 různých lokalitách v rámci pěti vzdálených oblastech (Mladá Boleslav, Děčín, Praha, Kladno a Příbram) České republiky. Pro zjištění obsahu těžkých kovů na povrchu šípkových češulí byla použita upravená metoda ICP–MS analýzy, pro zjištění spalného tepla šípků byla využita kalorimetrie. Pigmenty se stanovovaly pomocí UV/Vis spektrofotometrie. Stanovení sledovaných kovů jako olovo nebo kadmium ukázalo, že plody šípku ze zdánlivě čisté lokality mohou být zatíženy jejich vyšší přítomností a naopak. Z naměřených výsledků vyplynulo, že ve většině pozorovaných oblastech s vyšší kontaminací těžkými kovy, šípkový obsahovaly menší množství chlorofylu, a zároveň u nich byla stanovena menší hodnota spalného tepla. Dle provedené statistiky, vliv těžkých kovů na obsah karotenoidů prokázán nebyl.

**Klíčová slova:** *Rosa canina*, těžké kovy, karotenoidy, ICP-MS analýza, kalorimetrie

# Determination of pigments in fruits of wild growing *Rosa canina*

## Summary

This bachelor thesis aimed to determine whether pigments present in rose hips, such as chlorophyll<sub>a</sub>, chlorophyll<sub>b</sub> and carotenoids, may be affected by the presence of heavy metals from various sources. In addition to these plant pigments, the possible effect on the calorific values of rosehip fruits, which were collected in locations with a potential risk of pollution, as well as in areas where contamination was not expected due to contamination control, was evaluated. Another goal was to develop a literature search on this issue, including the botanical and phytochemical description of the rose hip, also with regard to the use of its products in phytotherapy and the issue of heavy metals and their effect on the human body and other organisms.

The practical part consisted of collecting rosehip fruits in 20 different localities within five remote areas (Mladá Boleslav, Děčín, Prague, Kladno and Příbram) in the Czech Republic. A modified method of ICP – MS analysis was used to determine the content of heavy metals on the surface of rose hips, and calorimetry was used to determine the heat of combustion of rose hips. Pigments were determined by UV/Vis spectrophotometry. The determination of the monitored metals such as lead or cadmium showed that rosehip fruits from a seemingly clean locality can be burdened by their higher presence and vice versa. The measured results showed that in most of the observed areas with higher heavy metal contamination, the rose hips contained less chlorophyll, and at the same time a lower value of combustion heat was determined. According to statistics, the effect of heavy metals on carotenoid content has not been demonstrated.

**Keywords:** *Rosa canina*, heavy metals, carotenoids, ICP-MS analysis, calorimetry

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Růže šípková.....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Botanická charakteristika .....	10
3.1.2 Šípky v lidové medicíně a folklóru .....	11
<b>3.2 Obsahové látky v šípcích .....</b>	<b>12</b>
3.2.1 Antioxidanty.....	13
3.2.2 Fenolové sloučeniny .....	13
3.2.3 Flavonoidy.....	14
3.2.4 Karotenoidy .....	14
3.2.5 Vitamin E.....	15
3.2.6 Vitamin C.....	16
<b>3.3 Těžké kovy.....</b>	<b>16</b>
3.3.1 Obecný popis .....	16
3.3.2 Znečištění.....	17
3.3.3 Problematika těžkých kovů.....	17
3.3.4 Jednotlivé prvky .....	18
<b>4 Metodika.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Sběr a zpracování šípků.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Teplota vzduchu a úhrn srážek .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3 Stanovení pigmentů.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4 Kalorimetrie.....</b>	<b>30</b>
<b>4.5 Multiprvková analýza ICP-MS.....</b>	<b>31</b>
<b>4.6 Statistické metody .....</b>	<b>31</b>
<b>5 Výsledky.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Stanovení pigmentů .....</b>	<b>32</b>
<b>5.2 Kalorimetrie.....</b>	<b>34</b>
<b>5.3 Multiprvková analýza ICP-MS.....</b>	<b>35</b>
<b>6 Diskuze.....</b>	<b>39</b>
<b>6.1 Stanovení závislosti mezi obsahem pigmentů a těžkých kovů .....</b>	<b>39</b>
<b>6.2 Kalorimetrie.....</b>	<b>42</b>
<b>7 Závěr .....</b>	<b>43</b>

<b>8 Literatura.....</b>	<b>44</b>
<b>9 Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>

# 1 Úvod

Literatura uvádí, že růže šípková je používána člověkem pro své léčebné vlastnosti už od pradávna (Scherfová & Caspari 2019; Úřadníček et al. 2001). Je zajímavou rostlinou nejenom kvůli svým obsahovým látkám, ale i kvůli její dostupnosti. Vyskytuje se téměř všude po celé České republice a může sloužit jako vhodný zdroj vitamínu C a dalších látek, které mohou být zdraví prospěšné (Roman et al. 2013; Preedy 2015; Al Yafeai et al. 2018).

Při sbírání planých rostlin, nebo v případě růže šípkové jejích plodů, je vhodné uvážit jejich sběr v souvislosti s jejich výskytem. Je obecně známý fakt, že rostliny rostoucí podél silnic nejsou nejvhodnější ke sběru. Zplodiny z automobilového provozu však nejsou jediným zdrojem potencionálního znečištění těžkými kovy. Svoji roli hrají minerální hnojiva (Zwolak et al. 2019), průmysl (Schutzendubel & Polle 2002), a další antropogenní činnosti (O'Connell et al. 2008).

Znečištění těžkými kovy ovlivňuje celé životní prostředí, včetně zvířat a rostlin. Ovlivňuje v rostlinách změnu v obsahu sekundárních metabolitů (Shakya et al. 2008), zvyšují obsah popelovin (Kuklová et al. 2014), tvar plodů a jejich možnou deformaci a inhibují řadu biochemických pochodů (Cheng 2003).

Tato práce se věnuje v literární rešerši informacím o růži šípkové, jejích obsahovým látkám a o problematice těžkých kovů. V praktické části se zabývá stanovením deseti těžkých prvků, které se vyskytující na obalu češule růže šípkové ve zvolených 20 lokalitách a zjišťuje míru znečištění. Tyto hodnoty jsou dále srovnávány s naměřenými koncentracemi pigmentů a posuzuje vliv znečištění i na změny v kalorimetrických hodnotách.



## 2 Cíl práce

Volně rostoucí rostliny jsou zdrojem řady metabolitů, jejichž kvalita může být kromě přirozených faktorů ovlivněna i místem sběru z hlediska působícího znečištění. Cílem práce bylo zjistit míru této kontaminace a stanovení obsahu pigmentů v plodech růže šípkové (*Rosa canina* L.) sbíraných v místech zatížených silnou dopravou, a určit vhodnost takové lokality. V rámci pozorování byla ověřována hypotéza, že v oblasti s vysokým znečištěním se na povrchu plodů šípku budou vyskytovat rizikové látky ve větším množství, a tím může být ovlivněno i množství pigmentů.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Růže šípková

Růže šípková (*Rosa canina* L.) je používána odedávna pro své léčivé účely. V lidovém léčitelství se používají jak plody růže šípkové pro posílení imunity a podporu vylučování, tak také čaj z okvětních lístků pro posílení nervů, proti hemeroidům a průjmu. Druhé latinské jméno růže šípkové je odvozeno z řeckého *kynosbatos*, kde *kynos* znamená v překladu pes a *batos* se překládá jako pichlavý keř. Předpokládá se, že člověk od nepaměti věří, že kořeny šípkové růže mohou vyléčit kousnutí od vzteklého psa (Úřadníček et al. 2001). Jedním z důkazů o používání této rostliny v prehistorických dobách je nález šípků v pilotových stavbách z doby kamenné (Scherfová & Caspari 2019). Dle Úřadníčka et al. (2001) se našla zásoba šípků v neolitickém sídlišti ve Velké Británii, jež dosahovala stáří asi 2000 let.

V současné době slouží růže šípková jako užitková rostlina. Využívají se její okvětní lístky k dekoraci a aromatizaci pokrmů. Z jader šípků se vyrábí olej používaný v kosmetickém průmyslu. Z šípků se v domácnostech vyrábějí povidla, likéry a vína. Sušené šípkové se v domácím prostředí používá jako chutný čaj (Scherfová & Caspari 2019) čili odvar, který se používá jako posilující vitaminový prostředek při jarní únavě či pro zvýšení odolnosti vůči chřipce díky vitamínu C (Úřadníček et al. 2001). Zároveň se šípkové používají při infekčních onemocněních ledvin a močového měchýře díky flavonoidům, které působí slabě močopudně. Jako diuretikum slouží i nažky, které se dále používají jako antirevmatikum, antineuralgikum (Úřadníček et al. 2001) a jsou užitečné při léčbě onemocnění kůže a vředů (Preedy 2015).

Růže šípková tvoří také důležitý krajinářský prvek. Její nepostradatelnost spočívá v oblasti šlechtění a očkování. Patří do významných podnoží kultivarů zahradních růží (Úřadníček et al. 2001; Kunt 2017).

#### 3.1.1 Botanická charakteristika

Růže šípková je vytrvalá rostlina, která roste do polokulovitě rozloženého keře. Tato rostlina patří pod čeleď růžovité (*Rosaceae*), rod růže (*Rosa*) (Preedy 2015; Scherfová & Caspari 2019). Její výška dosahuje od jednoho do tří metrů, doba květu se pohybuje od května do června, ale může rozkvétat od druhé poloviny května. Doba zralosti plodu růže šípkové se uvádí od října do listopadu (Úřadníček et al. 2001; Scherfová & Caspari 2019).

Větve této rostliny (keře) jsou přímé, převislé i prutovité a mají na svém povrchu vyrostlé hákovitě zahnuté ostny. Díky tomuto formování trnů je rostlina schopna šplhat vzhůru. Na větvích se často mohou tvořit háčky, jež způsobuje žlabatka růžová. Listy jsou opadavé a lichozpeřené skládající se z pěti až sedmi zubatých vejčitých lístků svěže nebo modravě zelené barvy. Zakončeny jsou špičatě nebo tupě. Při základu listů se nacházejí dva palisty a ostnitě řapíky. Velké květy jsou pětičetné a jemně vonící a jsou složeny z korunních

lístků růžové až bělavé barvy. Květy dosahují v průměru čtyři až šesti centimetrů. Kališní lístky jsou zpeřené (Preedy 2015; Kunt 2017; Scherfová & Caspari 2019). Květy růže šípkové jsou jednodomé a mohou být opylovány včelami, mouchami, brouky a motýly (*Lepidoptera*). Rostlina je samosprašná (Preedy 2015).

Plody jsou označovány jako „šípky“ a jedná se o souplodí nažek růže šípkové (Úřadníček et al. 2001; Preedy 2015), jež jsou oválného tvaru, oranžové až červené barvy a dužnatého charakteru (Obr. č. 1). Uvnitř souplodí se nacházejí drsné chloupky, ve kterých jsou uloženy jednotlivé nažky (Preedy 2015; Scherfová & Caspari 2019). Právě tato část rostliny, šípky (*Cynosbati fructus*), slouží jako významný zdroj vitamínu C a karotenoidů (Preedy 2015).



Obr. č. 1 Růže šípková a její plody (Laštovičková, 2017)

Pod rod *Rosa* (*Rosaceae*) patří přibližně 150 nahlášených druhů vyskytujících se v Evropě a severní Americe (Preedy 2015), na severozápadě Afriky, malé Asii, Kavkaze až po střední Asii (Úřadníček et al. 2001). Existují i další domácí růže (*Rosa canina* subs.), kterých je asi 40 druhů a těžko se od sebe rozeznávají. Růži šípkovou lze nalézt na okrajích cest a lesů, u strání, v křovinách i houštinách, na výslunných svazích, křovinatých stráních, mezích, zarůstajících pastvinách. Může však růst i ve světlých lesích i na okrajích mokřin (Rystonová 1996; Úřadníček et al. 2001; Scherfová & Caspari 2019). Je to světlobytná rostlina snášející sucho a teplo s nízkými nároky na kvalitu půdy schopna růst v kamenitém prostředí. Růže šípková je tedy rezistentní k drsným podmínkám (Úřadníček et al. 2001; Preedy 2015). V České republice je pokládána za obecně rozšířený druh od nížin do horských oblastí. Vyskytuje se v maximální výšce 1050 m n.m. (Kvilda, Šumava) (Úřadníček et al. 2001).

### 3.1.2 Šípky v lidové medicíně a folklóru

Jsou známy lidové zvyky spjaté s růží šípkovou. Na Nový rok nebo na Vánoce bylo zvykem bezeslovné podání jednoho až třech šípků oknem, jež byly později zkonsumovány.

Tento zvyk měl zajistit prevenci proti různým onemocněním. Jeden z dalších zvyků spočíval zakrytím hálek z růže šípkové polštářem, jež měl podpořit dobrý spánek (Scherfová & Caspari 2019).

Na větvích, listech či kořenech rostlin šípkového keře mohou růst háčky (*cecidie*), které vypadají jako „boule“ nebo výrůstky (Obr. č. 2). Vznikají díky aktivitě larev, které se vylíhly z vajíček háčkovatého hmyzu. V případě růže šípkové jde o žlabatku růžovou (*Diplolepis rosae*) patřící pod blanokřídlý (*Hymenoptera*) hmyz. Háčky na růži šípkové jsou tedy výsledkem interakce žlabatky růžové a samotné hostitelské rostliny. *Cecidie* se vyskytují i na jiných rostlinách jako jsou listnaté stromy a byliny a mohou být tvořené i jinými organismy než je hmyz, např. houby, bakterie a hlístice (Skuhřavá & Skuhřavý 2010).

Již lidé ve starověku znali tyto podivné útvary na rostlinách. K léčení lidských chorob používal řecký lékař Hippokratés (cca 460–370 př. n. l.) šťávy některých hálek. Zjistilo se však až později, že obsahují třísloviny, které působí baktericidně a fungicidně (Skuhřavá & Skuhřavý 2010).



Obr. č. 2 Háčky na růži šípkové - *Diplolepis rosae* (Duda, 2006)

Dle Sherfové a Caspariho (2019) se přípravky z hálek používají jako pomoc při onemocnění močového měchýře a ledvin. Lidé pak také věřili, že háčky ze žlabatky dané pod polštář podporují spánek.

### 3.2 Obsahové látky v šípcích

Plody šípků se obvykle vyskytují v červených a oranžových barvách. Jsou složeny z 30 – 35 % semínek a z 65–70 % oplodí (Preedy 2015). Plody šípků jsou známy svým obsahem vitamínu C, který je považován za nejvyšší mezi léčivými rostlinami, ovocem a zeleninou (30 –1300 mg/100 g) (Roman et al. 2013). Plody šípků přirozeně obsahují biologicky aktivní složky, jako jsou karotenoidy, tokoferoly (vitamin E), provitamin A, polyfenoly, bioflavonoidy, třísloviny, pektiny, cukry, aminokyseliny, esenciální oleje, esenciální mastné kyseliny a foláty (Preedy 2015; Al Yafeai et al. 2018). Díky vysokému obsahu množství vitamínu C

a proanthokyanidů mohou být šípky využity v potravinářství a farmacii. Jsou také bohatým zdrojem minerálů – draslíku a fosforu. Díky těmto látkám a složkám, jež dodávají šípkům jejich typickou příchuť, se používají v pokrmech různých světových kuchyní.

Esenciální mastné kyseliny (EFAs, essential fatty acids), jsou dlouhé řetězce polynenasycených mastných kyselin (PUFAs, polyunsaturated fatty acids) odvozené od kyseliny linolenové, kyseliny linolové a kyseliny arachidonové (Preedy 2015). Lidské tělo si nedokáže vytvořit esenciální mastné kyseliny), a tak zmíněné kyseliny musí být dodávány skrz stravu. Šípky růže šípkové obsahují tyto látky, proto jsou vhodné k lidskému použití. Snižují hladinu cholesterolu v krvi, některé z těchto kyselin zabraňují vzniku krevních sraženin. Regulují početné funkce lidského těla, které zahrnují krevní tlak, viskozitu krve, imunitní a zánětlivé odpovědi těla. Šípky růže jsou díky vysokému terapeutickému významu těchto kyselin široce využívány v přírodních fytomedicínách (Preedy 2015).

### **3.2.1 Antioxidanty**

Vlastnosti antioxidantů mají například kyselina askorbová (zmíněný vitamin C), thioly nebo polyfenoly. Tyto látky se běžně používají jako potravinové doplňky (Rao 2016).

Dle Găman et al. (2020) antioxidanty zamezují oxidaci molekul uvnitř buňky. Volné radikály jsou produkovány biologickou oxidací, jsou velmi reaktivní a začínají řetězovou reakci spontánně, kde může dojít k poškození nebo až k usmrcení buňky (Rao 2016). Při jejich nadprodukcí dochází k poškození buněčných komponent, jako jsou nukleové kyseliny, proteiny, lipidy a sacharidy. Antioxidanty neutralizují tyto volné kyslíkové radikály neboli ROS (reactive oxygen species) produkované během aerobního buněčného dýchání, vlastní oxidací, a tak redukuje ostatní molekuly. Tímto ukončují nebezpečnou řetězovou reakci. K volným kyslíkovým radikálům se řadí superoxid ( $O_2^-$ ), peroxid vodíku ( $H_2O_2$ ) a peroxynitrit ( $OONO$ ) (Găman et al. 2020).

Přírodní antioxidanty jsou důležité prvky pro udržení zdraví a slouží jako prevence před aterosklerózou, stárnutím, neurodegenerativními onemocněními, karcinogenezí, hematologickými onemocněními nebo před chronickými záněty (Găman et al. 2020) a také před poškozením endotelu cév (Hampl & Lapčík 1996). Endogenní antioxidanty, jako jsou enzymy kataláza, superoxid–dismutáza, peroxidáza nebo tripeptid glutathion, zneškodňují volné kyslíkové radikály a také zabraňují oxidativnímu stresu. Exogenní antioxidanty jsou důležité pro doplnění a vyvážení veškeré antioxidantní kapacity. K exogenním antioxidantům se řadí vitamin C, vitamin E, flavonoidy, karotenoidy a další rostlinné produkty (Găman et al. 2020). Dle Hampl & Lapčík (1996) snižují antioxidanty mutagenitu a kancerogenitu mnoha cizorodých látek.

### **3.2.2 Fenolové sloučeniny**

Fenolové sloučeniny jsou nejhojnější sekundární metabolity rostlin a vyskytují se tak v rostlinné potravě. Chrání rostliny před ultrafialovým zářením (UV) a infekcí nebo působí jako lákadlo pro opylovače rostliny (Medveckienė et al. 2020). Chemická struktura

fenolových sloučenin se skládá z aromatického jádra a s jednou nebo více hydroxylovými skupinami. Hlavními skupinami fenolových sloučenin jsou flavonoidy, fenolové kyseliny, taniny, stilbeny a lignany (Ayad & Akkal 2019). Fenolové sloučeniny jsou známy pro své antioxidační, antimutagenní a antikarcinogenní vlastnosti. Jejich hydroxylové skupiny jim umožňují odchyťvat volné radikály. Dají se proto použít jako podpůrný prostředek pro lidské nemoci (Roman et al. 2013).

Polyfenoly jsou považovány za jedny z hlavních fytochemikálií, které přispívají k antioxidační aktivitě rostlin (Roman et al. 2013). Olej z šípkových semen je bohatým zdrojem flavonoidů a je používán v mnoha zemích k ochraně pleti před spálením od slunce. Dřívější studie poukazují na fakt, že se flavonoidy akumulují v epidermální vrstvě a chrání před škodlivé UVB záření (Medveckienė et al. 2020).

### 3.2.3 Flavonoidy

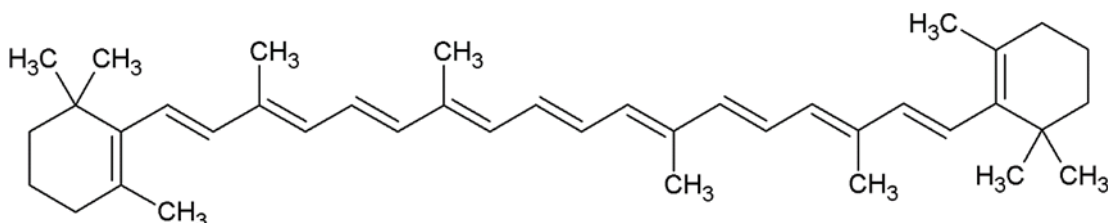
Dle Hampl & Lapčík (1996) jsou flavonoidy látky rostlinného původu, jež jsou přítomny v zelených rostlinách, kde hrají důležitou roli při fotosyntéze. Dále ochraňují rostlinu před stresem z abiotických i biotických faktorů. Flavonoidy mají vliv na aroma a barvu plodu (Medveckienė et al. 2020). Kvercetin a rutin, které patří do skupiny flavonoidů, se vyskytují v šípčích růže, kdy rutin se zde ze sledovaných flavonoidů vyskytl v nejvyšší koncentraci. (Roman et al. 2013; Medveckienė et al. 2020).

Některá semena, konkrétně jejich aleuronová vrstva, jsou také bohatým zdrojem těchto metabolitů. Tato vrstva však bývá při výrobě mouky, loupané rýže a jiných potravin odstraněna. Živočichové nejsou schopni flavonoidy vytvářet, ale mohou je však v nezanedbatelném množství přijímat v rostlinné stravě. Díky střevním bakteriím jsou flavonoidy uvolňovány z rostlinné matrice a spolu s dalšími složkami potravy jsou vstřebávány. Flavonoidy jsou kromě antioxidantů také inhibitory některých enzymů a interagují s hormonálními receptory. Metabolity této podskupiny, isoflavonoidy, jsou schopné vazby na estrogenové receptory a patří tak do skupiny fytoestrogenů. Isoflavonoidy mohou působit, jako přirozené estrogény, nicméně mohou mít i účinek antagonistický (Hampl & Lapčík 1996). Dle Babu & Liu (2009) epidemiologické a klinické studie a studie na zvířatech odhalily, že flavonoidy mohou působit ochrannými účinky proti kardiovaskulárním onemocněním a rakovině. Dále flavonoidy působí antibakteriálními, antivirovými a protizánětlivými účinky.

### 3.2.4 Karotenoidy

Karotenoidy se skládají z funkčních jednotek isoprenoidů (terpenů) složených do polyenového řetězce obsahujícího tři až 15 konjugovaných dvojných vazeb, díky kterým dokážou absorbovat světlo a stávají se součástí fotosyntézy. Karotenoidy se pohybují na barevné škále od žluté, oranžové až k červené barvě (Caballero et al. 2015; Al-Yafeai et al. 2018). Dle Villaño et al. (2016) jsou karotenoidy nejvíce rozšířená skupina pigmentů v přírodě.

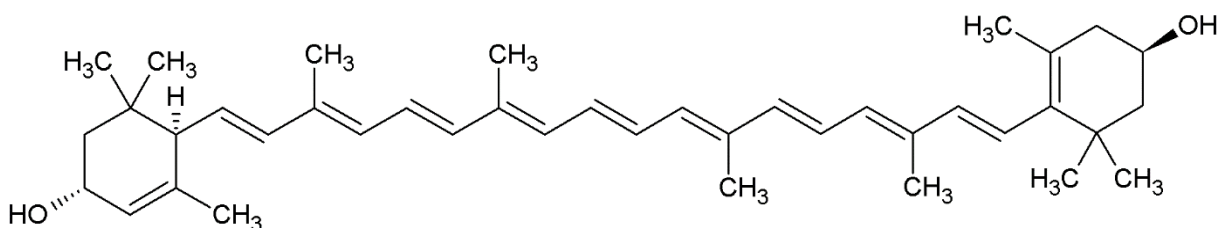
Karotenoidy se dělí na dvě podskupiny – karoteny, které jsou složeny pouze z uhlíků a vodíků, a xantofyly, které jsou jejich oxidovanou formou (Caballero et al. 2015). K nejznámějším karotenům se řadí  $\alpha$ -karoten, lykopen a  $\beta$ -karoten (Obr. č. 3), který je nejvýznamnější z karotenoidů (Villaño et al. 2016; Al-Yafeai et al. 2018). Ke xantofylům patří lutein (Obr. č. 4), zeaxanthin, astaxanthin, violaxantin, rubixantin a kryptoxantin (Villaño et al. 2016).



Obr. č. 3 Strukturální vzorec  $\beta$ -karotenu, zdroj (pubchem.ncbi.nlm.nih.gov)

Karotenoidy jsou účinné antioxidanty, které nabízejí celou řadu výhod pro lidské zdraví. Antioxidanty chrání před buněčným poškozením díky, již zmíněnému, vychytávání kyslíkových radikálů (Medveckienė et al. 2020). Karotenoidy jsou také zdrojem provitaminu A, který může být v těle přeměněn na vitamin A, jenž je nezbytný pro normální růst a vývoj, imunitní funkce a udržuje normální stav zraku (Villaño et al. 2016). V lidském oku reprezentují lutein a zeaxantin makulární pigmenty, které mohou chránit žlutou skvrnu a vnější segmenty fotoreceptorů sítnice od oxidačního stresu. Hrají důležitou roli při zneškodňování reaktivních forem kyslíku a stávají se tak nezbytnými složkami pro lidský zrak. Pacienti s makulární degenerací docílili vizuálního zlepšení díky semínkám z šípku a skořápkovým plodům (Medveckienė et al. 2020).

Studie ukázaly, že šípky mohou obsahovat  $\beta$ -karoten, lykopen, violaxantin, zeaxantin, kryptoxantin a rubixantin (Al-Yafeai et al. 2018; Medveckienė et al. 2020).



Obr. č. 4 Strukturální vzorec luteinu, zdroj (pubchem.ncbi.nlm.nih.gov)

### 3.2.5 Vitamin E

Vitamin E označuje skupinu strukturně příbuzných přírodních produktů pocházejících z rostlin, které obsahuje tokoferoly a tokotrienoly. Přítomnost lipofilního vitaminu E je nezbytná pro živočišné buňky, konkrétně pro jejich buněčné membrány. Vitamin E inhibuje peroxidaci volných radikálů polynenasycených lipidů v membránách a lipoproteinech (Lennarz & Lane 2013). Dle Bhave et al. (2017) byly v šípkách objeveny  $\alpha$ - a  $\gamma$ -tokoferol.



### 3.2.6 Vitamin C

Dle Pláteník et al. (2009) je vitamin C příkladem známého a prozkoumaného antioxidantu. Jeho hlavní funkce spočívá v regeneraci železa v aktivních centrech hydroxyláz pro syntézu kolagenu, karnitinu, noradrenalinu a aktivaci řady hypotalamických peptidových hormonů. Dle Kohlmeiera (2003) je vitamin C esenciální pro dásně, cévy a další měkké tkáně, kosti, mozek a nervovou činnost. Je také nezbytný pro metabolismus živin železa, bílkovin, tuku a antioxidantní ochranu proti volným radikálům. Volné radikály zvyšují risk rakoviny a kardiovaskulárních nemocí. Denní příjem je doporučen pro dospělé ženy nejméně 75 mg na den a pro dospělé muže nejméně 90 mg na den. Ve věku nad 50 let, při kouření, vyčerpávajícím cvičením, zánětlivé infekci nebo při úrazu se může potřeba zvýšit. Kurděje vznikají jako deficiencie vitaminu C, avšak jejich výskyt je vzácný ve většině zemí. Pro prevenci je doporučen denní příjem 10 mg na den. Příznaky deficiencie (kurděje) jsou bolestivé otoky a krvácení dásní, kloubů a končetin, špatné hojení ran, únava a zmatenost. Různé zdroje uvádí obsah vitaminu C v g/kg nebo mg/100 g šípků. Obsah vitaminu C se v šípkách pohybuje od 300-4000 mg/100g (Ercisli 2007; Bhave et al. 2017).

## 3.3 Těžké kovy

### 3.3.1 Obecný popis

Těžké kovy se přirozeně vyskytují v zemské kůře a také v horninotvorných a rudních minerálech, díky tomu je jejich určitá koncentrace v půdách, sedimentech, vodách a v živých organismech přirozená. Antropogenní činnosti, ke kterým se řadí industriální využití kovů, hornictví, železářny, pálení fosilní paliv, spalování odpadů, výfukové plyny z dopravního provozu (O'Connell et al. 2008), vojenské aktivity, zemědělské činnosti a likvidace odpadu vedou k emisi těžkých kovů a k jejich akumulaci v celém ekosystému (Schutzendubel & Polle 2002; Soceanu 2009). Do atmosféry, vodního a půdního prostředí se tak dostává značné množství potenciálně toxických látek, čímž dochází ke znečištění životního prostředí, protože se vyskytují ve zvýšené koncentraci, než je přirozené (O'Connell et al. 2008).

Dle O'Connell et al. (2008) jsou těžké kovy pojmem, jenž zahrnuje skupinu kovů a metaloidů, které mají atomovou hustotu větší než  $6 \text{ g/cm}^3$ . Avšak Schutzendubel & Polle (2002) uvádí, že těžké kovy mají atomovou hustotu větší než  $5 \text{ g/cm}^3$ . Ačkoliv je termín těžké kovy volně definovaný, zároveň je obecně používán s obvyklým zaměřením na prvky jako je Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb a Zn. Tyto prvky jsou běžně spojovány se znečištěním a toxicitou (O'Connell et al. 2008).

Literatura není jednotná v popisech jednotlivých skupin těžkých kovů. Schutzendubel & Polle (2002) těžké kovy rozdělují do třech skupin. Jedna ze skupin kovů, známa jako skupina mikronutrientů, zahrnuje prvky—Fe, Mo a Mn. Podle Sharma & Agrawal (2005) do skupiny mikronutrientů patří i Co, In a Cu. Mikronutrienty se stávají toxickými pouze při jejich vyšším příjmu.



Další skupinou těžkých kovů jsou toxické prvky, kam patří Zn, Ni, Cu, V, Co, W a Cr, které jsou z menší nebo větší části i stopovými prvky (Schutzendubel & Polle 2002). Zároveň jsou ale těžké kovy jako je Fe, Cu, Zn, Co, Cr a Mn esenciálními prvky pro mnohé rostliny a živočichy. Esenciální těžké kovy a mikronutrienty mají důležitou roli v biochemii a fyziologických funkcích v rostlinách a živočiších. Účastní se redoxních reakcí a jsou součástí řady enzymů (Sharma & Agrawal 2005).

Poslední skupinou těžkých kovů jsou prvky, které nemají žádnou funkci ve výživě organismů a jsou více nebo méně toxické rostlinám a mikroorganismům. Do této skupiny se řadí As, Hg, Ag, Sb, Cd, Pb, Sn a U (Schutzendubel & Polle 2002; Sharma & Agrawal 2005). Tato bakalářská práce se zaměřuje na některé výše zmíněné těžké kovy, ale i těmi, které nebyly Schutzendubel & Polle (2002) a Sharma & Agrawal (2005) uvedeny. Jedná se o kovy jako V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Tl a Pb.

### **3.3.2 Znečištění**

Dopravní provoz je brán jako primární zdroj průmyslového znečištění v blízkosti městského prostředí (Galal & Shehata 2015). Kontaminované jsou půdy, které se nachází v blízkosti silnic (Galal & Shehata 2015), ale také rostliny, které v blízkosti silnic rostou (Hamurcu et al. 2010). Složení a míra znečištění těchto rostlin se může měnit v závislosti na vzdálenosti dané rostliny od okraje silnice. Znečištěné mohou být plody i jiné jedlé části (Hamurcu et al. 2010). Těžké kovy jsou v dopravním provozu vypouštěny díky výfukovým plynům ve formě aerosolů, ale také díky opotřebením automobilových komponent jako jsou brzdy, pneumatiky a katalyzátory (Galal & Shehata 2015). Toxiny se mohou dostat do rostliny skrze kořenový systém díky dešťům. Emise výfukovými plyny se v průběhu let zvyšuje v závislosti na rostoucím přibývání dopravního provozu. Znečištění přírodního prostředí těžkými kovy se obecně stává globálním problémem díky nárůstu populace, urbanizace a rozrůstající se industrializaci. Dle Galal & Shehata (2015) existuje větší koncentrace kovů (Pb, Cu, Zn, Pd) v městském prostředí na vrchních vrstvách půdy, dálnic a ulic, industriálních zónách, obytných oblastech a obchodních čtvrtích.

### **3.3.3 Problematika těžkých kovů**

Přítomnost těžkých kovů v životním prostředí antropogenní činností může být škodlivá pro řadu zvířecích druhů včetně lidí. Kovy se mohou odlišovat od ostatních toxických polutantů tím, že nejsou biologicky odbouratelné, jsou perzistentní a mohou být akumulovány v živých tkáních, což způsobuje různé nemoci a poruchy (Villaescusa et al. 2004).

Toxické prvky jako jsou Hg, Cd, Pb a Ni se v potravinovém řetězci dostávají do skupiny konzumentů skrz producenty. V kořenech rostlin nastává první kontakt iontů těžkých prvků. Ve vodním prostředí je však celá rostlina vystavena těmito látkám. Těžké prvky se také dostávají do rostlin adsorpcí z jejich listů, kde se částice kovů usadily na jejich površích

(Sharma & Agrawal 2005). Těžké kovy vnikají do lidského těla skrze dýchací nebo trávicí systém a jsou považovány za účinné karcinogeny (Sharma & Agrawal 2005).

Mnoho těžkých kovů je využíváno rostlinami jako mikronutrienty, ale jejich vysoké koncentrace produkují řadu toxických efektů (O'Connell et al. 2008). Těžké kovy zhoršují fyziologii rostlin tím, že zpomalují jejich fotosyntetickou asimilaci a inhibují jejich podstatné enzymatické reakce a tím zpomalují dýchání a jejich růst (Villaescusa et al. 2004). Akumulace a distribuce těžkých kovů ze vzduchu do půdy závisí na depozici plynů a atmosférických srážkách (Villaescusa et al. 2004).

Toxicita těžkých kovů spočívá v jejich schopnosti se silně navázat na kyslík, dusík a atomy síry. Díky této vazebné afinitě mohou kovy tvořit ligandy. Těžké kovy dokážou kvůli těmto vlastnostem inaktivovat rostlinné enzymy. Protože rostliny využívají mnoho kovů jako součást svých enzymů nutných k životu – vytlačení potřebného kovu toxickým kovem může vést k inhibici nebo úplné ztrátě enzymové aktivity. Kation  $Mg^{2+}$  je využíván jako součást enzymu RuBisCO, ale může být vytlačen dvojmocnými kationty  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  a  $Zn^{2+}$ , což vede ke ztrátě aktivity enzymu. Výměnnou potřebného vápenatého kationtu  $Ca^{2+}$ , který je součástí proteinu kalmodulinu, který je důležitý pro buněčnou signalizaci, za  $Cd^{2+}$ , vede inhibici kalmodulinového enzymu. Těžké kovy také mohou způsobit vznik reaktivních kyslíkových radikálů jako je superoxid ( $\cdot O_2^-$ ) a hydroxylový radikál ( $\cdot OH$ ) (Schutzendubel & Polle 2002).

### 3.3.4 Jednotlivé prvky

#### Kobalt

Kobalt je stříbrně bílý kov s atomovým číslem 27. Kobalt se přirozeně vyskytuje v minerálech jako kobaltit ( $CoAsS$ ), smaltin ( $CoAs_3$ ) a erythrit ( $[Co_3(AsO_4)_2 \cdot 2H_2O]$ ) (Bradl ed. 2005). Využívá se pro výrobu vysoce kvalitní oceli, slitiny a magnetické slitiny. Používá se i jako barvivo, odbarvovač skla, je součástí laků a inkoustů (Bradl ed. 2005).

Kobalt je esenciální mikronutrient pro modrozelené řasy, volně žijící bakterie včetně rodu *Rhizobium*, což jsou hlízkovité bakterie, které fixují vzdušný dusík ( $N_2$ ) na kořenech bobovitých rostlin. Kobalt není esenciální pro rostliny, je však součástí vitamínu  $B_{12}$ , který je esenciální pro všechna zvířata včetně lidí (Bradl ed. 2005). Člověk jej přijímá navázaný na živočišné bílkoviny v potravě (maso, vnitřnosti, žloutek, sýry, pivovarské kvasnice). Vitamin  $B_{12}$  je složen ze dvou pyrolových jader spojených molekulou kobaltu. Denní spotřeba vitamínu  $B_{12}$  by se měla pohybovat v mezích 2,5–7,0  $\mu g$ , avšak u kojících žen by měl dosahovat dvojnásobku. Při jeho dlouhodobém nedostatku může docházet k únavě jedince a jeho bledosti. Dále může způsobit poruchy nervů a jiné chování jako zmatenost či podrážděnost (Hyánek 2011).

#### Chrom

Chrom je stříbřitě zářící kov, který je nerozpustný v oxidujících kyselinách a vodě, proto se využívá jako součást slitin odolných proti korozi. Nejběžnější ruda chromu je chromit  $[(Fe, Mg)O(Cr, Al, Fe)_2O_3]$ .

Největší využití chromu je pro výrobu nerezové oceli. Využívá se také v produkci papíru, chemickém průmyslu, slévárnách nebo při činění kůží a jako součást hnojiv. Do antropogenních zdrojů chromu, které způsobují znečištění životního prostředí, se řadí používání elektrických pecí, produkce oceli a provoz uhelných elektráren. Provoz galvanického pokovování, barvení kožichů, výroby klišu či dalších průmyslových závodů může vypouštět odpadní vodou kontaminovanou chromem.

Chrom je esenciální prvek zvířat i lidí. Chromitý kationt ( $\text{Cr}^{3+}$ ) je zapotřebí pro dosažení normálního metabolismu glukózy. Deficience chromu v lidském těle má za následek poruchu glukózové tolerance, glykosurii (ztráty glukózy močí), zvýšení sérového inzulinu, cholesterolu a všech triacylglycerolů.

Je známa toxicita chromu v jeho šestimocné a čtyřmocné formě. Expozice člověka sloučeninám  $\text{Cr}^{6+}$  je spojena s vyšším výskytem rakoviny dýchacích cest (O'Connell et al. 2008). Kromě možné karcinogenity může způsobovat i další onemocnění respiračního systému, pneumonii nebo bronchitidu. Po niklu je chrom druhý nejznámější kožní alergen.

### **Měď**

Měď je těžký kov, zároveň je ale esenciálním prvkem pro lidi, vyšší rostliny a řasy, kde je důležitou součástí fotosyntézy. Měď je obsažena v proteinech, katalyzuje redoxní reakce a je součástí lidských enzymů (Sharma & Agrawal 2005), jako je ceruloplasmin, cytochrom c oxidáza, superoxid dismutáza a dalších (WHO 2011).

Enormní koncentrace mědi v lidském těle může vést ke slabosti, letargii, anorexii a také k poruchám gastrointestinálního traktu (O'Connell et al. 2008). Dále dochází k silnému podráždění sliznice, poškození kapilár, jater, ledvin i k podráždění nervového systému následovaného depresí. Při intoxikaci lidského těla mědí dochází k modrozelenému průjmu i slin, akutní hemolýze a abnormalitám ve funkci ledvin (Sharma & Agrawal 2005). Člověk, u kterého se projevila dědičná Wilsonova choroba, má vrozenou chybu v metabolismu ve formě zhoršené schopnosti jater vylučovat Cu do žluči. Tato skutečnost vede k akumulaci Cu v tkáních, rohovce a orgánech, jako jsou mozek, játra a ledviny, a tím se tkáně poškozují. Bezpečný a adekvátní denní příjem Cu je stanoven na 2–3 mg pro dospělé a 1–3 mg pro děti (Sharma & Agrawal 2005).

V rostlinách se měď akumuluje v kořenech, které může v některých případech i poničit. Na druhou stranu deficit mědi v rostlinách může vést ke snížení množství chlorofylu a kvůli tomu jsou rostliny náchylnější k nemocem a je možná jejich menší výtěžnost (Radulescu et al. 2013).

### **Nikl**

Nikl je stříbřitě bílý, tvrdý a kujný kov s feromagnetickými vlastnostmi. Je možné ho rozpustit v kyselinách jako  $\text{HNO}_3$  a mírně rozpustný je v kyselině  $\text{HCl}$  a  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Nikl se vyskytuje v půdách ve formě volného iontu  $\text{Ni}^{2+}$ , a nebo je součástí organických

a anorganických ligandů. Vyskytuje se také ve dvou nejvýznamnějších niklových rudách – pyrrhotit a pentlandit  $[(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8]$  (Bradl ed. 2005).

Nikl se využívá ve výrobě slitin a nerezové oceli, akumulátorech NiCd, jako součást elektronických součástí a chirurgických implantátů. Díky jeho využití je možné nikl najít v odpadních vodách z galvanického pokovování, chemického průmyslu a z průmyslu výroby barev (Villaescusa et al. 2004), stejně tak jako v čistírenských kalech, těžebním průmyslu a spalování uhlí. Hlavní zdroj Ni ve vzduchu se udávají tavící procesy. Existuje korelace mezi výskytem niklu a vanadu ve vzduchu (Bradl ed. 2005).

Nikl je esenciální prvek pro žijící organismy (Hamurcu et al. 2010; Sharma & Agrawal 2005; Bradl ed. 2005). Vyskytuje se jako součástí enzymu ureázy, hydrogenázy, metyl CoM reduktáza (MCR) a CO-dehydrogenázy (ferredoxin dehydrogenáza). Deficit Ni v rostlinách způsobuje růstovou depresi rostlin, snížení Fe v rostlinných pletivech následované chlorózou a nekrotózou (Bradl ed. 2005).

Při dlouhodobé expozici může u ryb docházet ke snížené kalcifikaci koster nebo k udušení (Bradl ed. 2005). Inhalace niklových sloučenin jako  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ ,  $\text{Ni}_3\text{S}_2$ , NiO a  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  vede k onemocnění plic jako je pneumonitida s adrenální krizí, astma a také k degeneraci jater (Bradl ed. 2005). Nikl má karcinogenní účinky na dýchací ústrojí (Bradl ed. 2005; Sharma & Agrawal 2005) a také embryotoxické a nefrotoxické účinky, může rovněž způsobit alergické reakce lidského těla, kontaktní dermatitidu nebo zánět spojivek. Jsou známy reakce lidského těla na novou kloubní protézu, zubní vložku nebo kardiostimulátor, jež obsahují nikl (Sharma & Agrawal 2005).

## **Zinek**

Zinek je bílý měkký kov s nádechem modré barvy a vyskytuje se vždy ve dvojmocném stavu. V přírodě je možné ho najít jako součástí chlorečnanů, chloridů, síranů a dusičnanů, které jsou ve vodě rozpustné. Dále může být součástí oxidů, uhličitanů, fosfátů a křemičitanů, které jsou ve vodě skoro nerozpustné. Zinek je také součástí jílu v jílovitých půdách. Zinek se také vyskytuje v sulfidových rudách jako je sfalerit, wurtzit  $((\text{Zn},\text{Fe})\text{S})$  a smithsonit  $(\text{ZnCO}_3)$  (Bradl ed. 2005).

Zinek je značně používán v automobilovém průmyslu, kosmetice, při výrobě televizních obrazovek, suchých článků baterie, elektrických zařízení, a v zemědělství součástí hnojiv a insekticidů. Může být součástí antiseptik, různých prášků, barev, laků. Jako zdroj zinku se uvádějí čistírenské kaly, výfukové plyny vozidel, opotřebení pneumatik a koroze pozinkované oceli (Bradl ed. 2005).

Zinek je esenciální prvek pro rostliny i zvířata. V rostlinách je zapojen do mnohých metaloenzymů a plazmatických membrán kořenových buněk. Působí jako katalyzátor v mnoha biochemických reakcích rostlin. Lidské tělo používá zinek jako součást mnoha enzymů. Deficit zinku je nebezpečný v období růstu, těhotenství a laktace. Mezi klinické příznaky nedostatku Zn patří dermatitida, chudokrevnost, špatná hojivost ran

a neuropsychologické dysfunkce. Vysoký příjem Zn může ovlivnit metabolismus cholesterolu. Toxicita zinku v lidském těle je velmi vzácná (Bradl ed. 2005).

## Olovo

Olovo je modrošedý měkký kujný kov s jasným leskem. Není dobrý elektrický vodič, je rezistentní ke korozi. Nejběžnější minerály olova jsou galenit ( $\text{PbS}$ ), cerusit ( $\text{PbCO}_3$ ) a anglesit ( $\text{PbSO}_4$ ), jejichž zvětrávání způsobuje uvolnění olova. K dalším přirozeným zdrojům olova patří sopečná činnost. I když je olovo toxický prvek a vykazuje nepříznivé zdravotní účinky, stejně jako kadmium je používán člověkem přes 5000 let (Bradl ed. 2005; Navrátil & Rohovec 2006). Olovnaté rudy jsou dobře dostupné a snadno se z nich získává kovová slitina. Již v době bronzové v Malé Asii (3000 až 2000 př. n. l.) bylo olovo známé jako čistý kov, což potvrzují archeologické nálezy olověných kuliček z tohoto období (Navrátil & Rohovec 2006).

Ve starověkém Egyptě byla známa slévateľnost olova se zlatem jako podvodné praktiky pro padělání zlatých předmětů, zejména prstenů (Navrátil & Rohovec 2006). Římská doba s sebou přinesla pokročilejší technologie, kde se olovo i jeho sloučeniny široce využívaly. Díky tomu se lidé dostávali s tímto kovem do užšího styku. Římané měli svoji zálibu ve víně, kde jej skladovali v olověných nádobách. Víno pozvolna rozpouštělo jejich stěny a jedovaté složky se dostávali do nápoje. Římané navíc používali octan olovnatý ( $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ ; olověný cukr), který měl nasládlou chuť a zároveň pozastavoval mikroorganismy od nechtěných kvasných procesů. Chronickými otravami olova trpěli zvláště bohatí a vlivní Římané, kteří byli známí svým nepřičetným chováním, šílenstvím či demencí, jako například císaři Neron a Caligula. Avšak i mezi aristokraty byly rozšířené příznaky olovem, i když méně výrazné jako zasmušlost, málomluvnost, snížená sexuální výkonnost nebo i sterilita (Navrátil & Rohovec 2006). I méně majetní občané byli ohrožováni olovem. Používali vodu rozváděnou potrubím z olova, kde vnitřek trubek byl pokryt vrstvou nerozpustných sloučenin na bázi hydroxidů a uhličitánů olovnatých. Používaly se olověné nádoby na skladování potravin, olůvko jako psací potřeba a olovo také sloužilo státním pokladnám jako mincovní kov pro znehodnocování měny. Otroci byli vystavováni přímému působení jedovatého prachu při těžbě a zpracování olověných rud. Kvůli nepříznivým vlivům olova na lidské zdraví bylo zpracování olova na území pozdní říše římské zakázáno a přesunuto do provincií (Navrátil & Rohovec 2006).

Ve středověké Evropě se olovo používalo k zalévání barevných sklíček při tvorbě vitráží neboli okenních tabulí, k mučení nepřátel ve formě roztaveného olova a také při kňihtisku, kde slitina olova a antimonu vykazovala velmi dobré schopnosti při lití a poskytovala přesné odlitky matric (Navrátil & Rohovec 2006). Díky rostoucí poptávce po olovu se zvyšovala i intenzita těžby, a tím se zvyšovalo i znečištění životního prostředí tímto prvkem ve formě hutního prachu. Rudy stříbra a olova se v Českých zemích těžily v Příbrami, Kutné Hoře a Jáchymově. V 19. století chemický průmysl vyžadoval materiál, který by odolával působení kyseliny sírové. Olověné olovo se pro to hodilo. Při prvních procesech výroby kyseliny sírové se využívaly olověné komory (Navrátil & Rohovec 2006).

Přítomnost olova je nezbytná pro ekonomické účely a v průmyslu. Využívá se zejména pro opakovaně nabíjitelné baterie, olověné autobaterie, výrobu slitin, jako součástí barev, střeliva a benzínu. Dále se využívá jako štít proti radiaci a tepelný stabilizátor PVC. Olovo se v půdách vyskytuje, ale díky velké afinitě olova k půdní organické hmotě by neměl působit problémy. Výjimkou však jsou místa těžeb a tavení (Bradl ed. 2005). I když se olovo využívalo a dále využívá mnoha způsoby, obavy vyplývající z jeho toxicity stále rostou. Již v malých dávkách dokáže poškozovat lidské zdraví i životní prostředí.

Způsob vniknutí olova do lidského organismu závisí na jeho chemické a fyzikální formě. Anorganické olovo je obvykle vdechnuté nebo přijaté zažívacím traktem a neprochází biologickou transformací, zatímco olovo v organické formě, jako je tetraetylolovo (TEL), vstupuje do těla skrze kůži nebo inhalací a je metabolizován játry (Bradl ed. 2005).

TEL byl využíván ve dvacátých letech 20. století jako laciné palivo do benzinových motorů. Pro správný chod motoru je důležité kvalitní palivo, s obsahem větvených uhlovodíků, zejména 2,2,4-trimethylpentanem (isooktan), které se spalují požadovanou střední rychlostí. Avšak získání kvalitního benzínu frakční destilací ropy nepostačovala tehdejší poptávce. Výsledkem tedy bylo přidávání látek do méně kvalitních benzinových frakcí, které upravovaly spalování. TEL dosahoval nejlepších výsledků. Teprve později se ukázalo, že TEL ohrožuje zdraví lidí. Tato těžká látka vstupovala do těla díky kontaktu s pokožkou, kde přešla do tukových tkání. Velkovýroba této látky usmrtila několik obětí chronickými otravami. Následkem intoxikací těchto lidí byly duševní poruchy (Navrátil & Rohovec 2006). Dalším krokem vstoupení olova do životního prostředí bylo přidávání sloučeniny 1,2-dibromethanu do benzínu, který měl za úkol vychytat málo těžké oxidy olova, které vznikaly spálením olovnatého benzínu. Zmíněné oxidy se dobře usazují a motor se tak mohl zadřít. Vznikal bromid olovnatý ( $PbBr_2$ ), který odcházel ve formě aerosolu se zplodinami hoření výfukem ven z motoru auta. Částice zmíněného aerosolu měly specifický povrch, který snadno reagoval s oxidem uhličitým ( $CO_2$ ) a se vzdušnou vlhkostí. Velikost aerosolů vznikajících při spalování pohonných hmot je v rozmezí od 0,1-0,2  $\mu m$ . Vzdušné proudy byly schopné zanést aerosoly obsahující olovo do velkých vzdáleností. Stopová množství olova je možné dodnes nalézt v arktických ledovcích. V největší míře však zůstává kolem silnic (Navrátil & Rohovec 2006).

Po zjištění faktu, že přidávání olova do benzínu má spoustu negativních vlivů, byli výrobci paliv nuceni snižovat obsah TEL. V České republice, v letech 1960–1990, se zredukoval obsah olova v benzinech o 75 % a k 1. lednu 2001 byl prodej těchto paliv zastaven zákonem. Díky poklesům výroby, používání olovnatých paliv a zavádění čistících stanic v tepelných elektrárnách se ovzduší postupně čistí. Pokles obsahu olova v atmosféře se projevuje snížením celkového množství olova, které je ukládaný do životního prostředí. Atmosféricky deponované olovo v dnešní době pravděpodobně pochází ze spalování uhlí v tepelných elektrárnách, ale určitá část může pocházet i z aerosolů ze zemí, kde používání TEL nebylo ukončeno (Navrátil & Rohovec 2006).

Aerosoly olova jsou dobře rozpustné ve vodě, tudíž se díky dešťové nebo povrchové vodě olovo snadno dostane do půdy, kde se váže na půdní horizonty obsahující organickou hmotu. Olovo se při rozkladu této hmoty nebo při erozních procesech může uvolňovat a je odnášeno půdní vodou ve formách komplexů s organickými kyselinami do potoků a řek, kde se ve zvýšené koncentraci zachycuje v sedimentech na jejich dnech. Díky vysokým průtokům jsou tyto sedimenty odnášeny do moře (Navrátil & Rohovec 2006).

Aerosoly ze spalovacích motorů automobilů byly a zároveň jsou zdrojem částic pro vznik smogu zejména v průmyslových aglomeracích a velkoměstech. Při častém kontaktu lidí se smogem se mnohdy vyskytovaly dýchací problémy, bronchitida, astma a otoky plic. Smogové částice větší než 10  $\mu\text{m}$  se zachycují na sliznici dýchacích cest, ale menší částice, které odpovídají velikostí aerosolů olova, pronikají hluboko do plic, kde více než 90 % olova vstupuje do krevního oběhu (Navrátil & Rohovec 2006). Když se olovo dostane do lidské krve, je distribuován krví do orgánů – ledviny, kostní dřeň, játra, mozek – a tvrdých tkání – zuby a kosti. Olovo se v těle akumuluje celý život a vylučuje se pozvolna močí. Otrávení olovem obvykle nastává chronickou expozicí, tedy při malých dávkách ve větším časovém horizontu (Bradl ed. 2005; Navrátil & Rohovec 2006).

Pro hospodářská zvířata, ryby a divokou zvěř je olovo nescifický toxin, který inhibuje mnoho enzymatických aktivit. Otrávení olovem s sebou přináší nechtěné efekty na hematologický, centrálně nervový a rozmnožovací systém. Pro lidi je otrávení olovem velkým problémem, zejména pro nemluvňata a děti (Bradl ed. 2005).

Sloučeniny olova vstupují i do rostlin nejen skrze kořeny ve formách vodných roztoků olovnatých solí, ale také jejich respiračními orgány (listy) ze srážek či aerosolu obsahující olovo. Skrze rostliny olovo přechází do živočichů včetně člověka (Bradl ed. 2005).

Kontaminace olovem může nastat skrze kontaminovaný vzduch, nebo při požití kontaminovaného jídla a vody (Bradl ed. 2005). Typické symptomy otravy olovem bývají vyčerpání, chvění, bolest hlavy, zvracení, kolika a vytvoření šedého lemu na dásních (Bradl ed. 2005). Olovo se v lidském těle akumuluje v kostech, konkrétně v kostní dřeni. Považuje se za neurotoxin. Při vysoké úrovni expozice způsobuje encefalopatii, kognitivní poruchy, poškození ledvin, anémii a zhoršuje reprodukční systém. Dále je odpovědný za behaviorální abnormality, mentální retardaci a mentální vývoj. Dokáže zasahovat do metabolismu vápníku a vitamínu D, ovlivňuje tvorbu hemoglobinu a může vést k anémii (Radulescu et al. 2013). V USA i v Evropě jsou známy případy dětí, které byly intoxikované prachovými částicemi obsahující olovo, skrze degradaci a obroušení barev na bázi olova (Bradl ed. 2005).

## **Kadmium**

Kadmium je měkký, kujný, stříbřitě bílý a zářivý kov. Vyskytuje se téměř vždy jako dvojmocný prvek ve všech stálých sloučeninách, vytváří hydroxidy a sloučeniny s amoniakem a kyanidem. Je snadno rozpustný v kyselině dusičné ( $\text{HNO}_3$ ) a je široce používán v nízkotavitelných slitinách (Bradl ed. 2005).

Kadmium se využívá ve výrobě slitin, barviv, baterií, galvanickým pokovování, fungicidů a jako antikorozi ochrana železa a oceli. I když se je použití kadmia celosvětově omezováno, i tak se kadmium může vyskytnout v potravinách. V důsledku lidské činnosti se kadmium dostává do životního prostředí prostřednictvím použití fosfátových hnojiv, atmosférické depozice, při aplikacích čistírenského kalu nebo při těžbě a tavení. Spalování fosilních paliv, koksování, činnosti oceláren a metalurgické procesy jsou také zdrojem emisních znečištění (Bradl ed. 2005).

Kadmium je toxické pro rostliny stejně tak jako pro bezobratlí a obratlovce již při nižších dávkách než zinek, olovo nebo měď. Jeho fytoxicita záleží na druhu rostliny a koncentraci kadmia v médiu. Typickými fytoxicitními znaky kadmia jsou Fe-deficientní chloróza, nekróza, vadnutí rostliny, červenooranžové zbarvení listu, celková redukce růstu rostliny, redukce obsahu chlorofylu a poškození vnějších a vnitřních kořenových struktur. Bezobratlí jsou taktéž citliví na přítomnost kadmia v jejich okolí, konkrétně v půdě (Bradl ed. 2005).

Kadmium je spojováno s nefrotickými účinky při vysokých expozicích (O'Connell et al. 2008), ale dokáže být škodlivým prvkem pro lidské tělo již v nízkých dávkách (Hamurcu et al. 2010). Zdrojem příjmu kadmia pro člověka se stává jídlo, kouření cigaret a voda. Při dlouhotrvajících expozicích může, jako olovo, způsobovat poškození kostí, jako je např. osteoporóza. Dále může ovlivnit metabolismus vápníku a fosforu. Akumulace kadmia probíhá v orgánech (ledviny a játra). Je známo, že kadmium primárně ovlivňuje tubulární funkci ledvin a tím zhoršuje reabsorpci bílkovin, cukru a aminokyselin. Dlouhotrvající expozice v nízkých dávkách vede ke kardiovaskulárním chorobám a rakovině (Sharma & Agrawal 2005; Bradl ed. 2005). Jeden ze známých případů znečištění a intoxikace kadmia je v povodí řeky Jinzu (Japonsko), kde byli zdejší obyvatelé vystaveni expozici kadmia po dobu 30 let. Znečištěná řeka, činností těžby, se používala k zavlažování rýžových polí, které vedlo k onemocnění itai-itai (Bradl ed. 2005).

## **Vanad**

Vanad je brán za všudypřítomný prvek. Většina jeho minerálů vznikla díky geologickým procesům. Vanad se také může vyskytovat ve fosilních palivech a biomase jako jsou rašelina, uhlí, ropný olej, bitumen a ropná břidlice. Existují určité bakterie jako je *Shewanella oneidensis*, *Geobacter metallireducens* nebo *Azotobacter vinelandii*, které používají sloučeniny vanadu ve svých buněčných procesech (Sherameti & Varma 2001).

Vanad se používá pro obohacení fosilních paliv, kde se vyskytuje jako vanadyl porfyrin. Díky spalování těchto fosilních paliv, kde vznikají oxidy vanadu, přítomnosti vanadu v olověných trubkách, těžby a zpracování jeho rud se stává nebezpečnou látkou a putuje v životním prostředí. Vanad je klasifikován jako mutagenní, teratogenní a potenciálně karcinogenní látka. Intoxikace vanadem nastává při přímé expozici, jinak vysoké množství vanadu se do lidského těla těžce dostávají. Při inhalaci oxidů vanadu ( $V_2O_5$ ,



V<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nastávají zdravotní problémy, jako je podráždění spojivek a dýchacího systému (Sherameti & Varma 2001).

Akutní intoxikace vanadem může být léčena redukčním činidlem jako je kyselina askorbová nebo léčivem, které pracuje jako redukční a chelatační činidlo (katechiny) (Sherameti & Varma 2001).

## Arsen

Arsen je ocelově šedý, křehký, krystalický metaloid. Při kontaktu se vzduchem se rapidně zoxiduje na oxid arsenitý (As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Jeho primárními zdroji jsou rudy mědi a olova (Bradl ed. 2005). Arsen je možné najít ve všech částech přírody – v nadzemní a podzemní vodě a půdě.

Sloučeniny arsenu se používaly pro svoji toxicitu zejména jako herbicidy a pesticidy – zeleň svinibrodská [3Cu(AsO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>·Cu(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>], arseničnan trivápenatý Ca<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> a hydrogenarseničnan olovnatý (PbHAsO<sub>4</sub>). Používaly se v ovocných sadech proti obaleči jablečnému (*Cydia pomonella*), larvám *Manduca quinquemaculata* parazitujících na tabákových rostlinách, mandelince bramborové (*Leptinotarsa decemlineata*) a květopasu bavlníkovému (*Anthonomus grandis*) páchající škody na polích bavlníku a tabáku. V USA a Evropě je jejich používání zakázané. Arsen se dále používá ve slitinách olova a mědi. Do životního prostředí se také dostává díky spalování uhlí (Bradl ed. 2005).

Trojmocný arsen (As<sup>III</sup>) je považován za toxičtější formu pro rostliny než pětimočný arsen (As<sup>V</sup>). Obě dvě formy arsenu vykazují vysokou afinitu k proteinům, lipidům a dalším buněčným komponentám, a proto se akumulují v tkáních. Mezi nejběžnější otravy arsenem patří jeho inhalace nebo přijmutím ústy. Jsou známy případy z Indie (Západní Bengálsko) a Bangladéše, kde byli tamní obyvatelé otráveni arsenem skrze vodu ze studní, které byly vyhloubeny do vrstev bohaté na arsen, anebo vodou obsahující toxický odpad (Bradl ed. 2005).

Nejenom středověku byl arsen známý svými toxickými účinky a používal se jako jed (Bradl ed. 2005). Madame Guilina Toffana (narozena v 17. století) byla známá travička arsenem (Ibrahim et al. 2006). Do 40. let minulého století se arsen používal v léčbě syfilis a psoriáze (lupenka). Nyní je stále součástí antiparazitik ve veterinární medicíně. Arsen způsobuje otravu při pití kontaminované vody (Bradl ed. 2005). Příjem 150 ppm arsanu (AsH<sub>3</sub>) způsobuje okamžitou smrt (WHO 2011), stejně tak jako anorganická forma arsenu při 0,6 mg/kg (Ibrahim et al. 2006). Arsan způsobuje po jeho nadechnutí hemolýzu krve, které doprovází akutní selhání ledvin (Ibrahim et al. 2006). Dle světové zdravotnické organizace (WHO 2011) je nejtoxičtější forma arsenu plyn. Arsen se v hojné míře vyskytuje v cigaretovém kouři, který obsahuje i další prvky v toxické formě jako je (Al, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Hg, Ni, Po-210, Se a Zn), které jsou nebezpečné ne jenom pro aktivní kuřáky, ale také i pro pasivní kuřáky (WHO 2011). Toxicita arsenu může být akutní, subakutní nebo chronická. Akutní toxicita se vyznačuje křečemi v břiše a hyperstézii končetin. Při chronické toxicitě arsen způsobuje anémii a poškozuje játra a ledviny. Může také způsobovat periferní vaskulární poruchy, které vedou až ke gangréně nohou (Sharma & Agrawal 2005). Studie

v Taiwanu odhalily souvislosti mezi dlouhotrvající expozicí anorganického arsenu v pitné vodě a zhoubnými nádory vyskytujícími se na játrech, plicích, močovém měchýři, ledvinách, prostatě a v nosní dutině (Bradl ed. 2005). Světová zdravotnická organizace (WHO) doporučila jako maximální hladinu arsenu v pitné vodě v množství 10 µg/L.

### **Thallium**

Thallium je měkký kov šedobílé barvy. V přírodě se nejběžněji vyskytuje v oxidačním čísle +I ( $Tl^{+I}$ ), ale jsou známy výskyty i v oxidačním čísle +III. Hlavními minerály thallia jsou crooksit  $[(Cu, Tl, Ag)_2Se]$ , hutchinsonit  $[(PbTl)_2(Cu, Ag)As_5S_{10}]$  a lorandit ( $TlAsS_2$ ). Hlavní využití thallia je ve slitinách kovů. V průmyslu se využívá pro výrobu rtuťových výbojek a polovodičů. Využívá se též jako katalyzátor a v elektronickém průmyslu. Do roku 1970 se využíval v zemědělství jako součást směsí rodenticidů a insekticidů. Thallium je široce distribuováno v životním prostředí a pro toxicitu jedince stačí malá dávka. Thallium je vypouštěno do životního prostředí prostřednictvím spalování uhlí a z výroby cementu (Bradl ed. 2005).

Projevy otravy thaliem jsou na počátku zákeřné a nabývají maximálního účinku mezi prvním a třetím týdnem po expozici. Nejvíce koncentrace thallia po expozici se nachází v játrech a ledvinách. Otrávení se vyznačuje křečí v břiše, zvracením, anorexií, bolestí v noze, zácpou, nevolností a alopecií. (Insley et al. 1986). Alopecie začíná po druhém týdnu expozice, její plný rozsah se ukáže mezi třetím a čtvrtým týdnem expozice (Ibrahim et al. 2006).

## 4 Metodika

V kapitole metodiky jsou rozepsány všechny kroky vedoucí k popsání jednotlivých metod pro stanovení pigmentů, spalného tepla a těžkých prvků, které budou detailněji popsány v jednotlivých podkapitolách.

### 4.1 Sběr a zpracování šípků

Sběr šípků byl prováděn na podzim roku 2020 (září a říjen), za suchého počasí, v pěti městech (oblastech) nebo v jejich okolí (Děčín, Mladá Boleslav, Praha, Kladno a Příbram) (Obr. č. 3). V každém městě byly vybrány čtyři lokality, z nichž jedna reprezentovala lokalitu kontrolní (čistou), která by mohla být méně znečištěná než zbylé tři lokality (Tabulka 1).

Problematický sběr nastal v Příbrami (Trhové Dušníky Litavka), kde nebyl dostatek kvalitních šípků. Množství nasbíraných šípků ze zmíněné lokality posloužilo pouze pro metodiku multiprvkovou analýzu ICP-MS, viz podkapitola 4.5. Plody růže šípkové se sbíraly bez stopky a ve zralém stavu, který signifikovala jejich sytě červená barva, do vzorkovnic. Nejpozdější sběr šípků nastal v posledních dnech října (28/10/2020) na Kladně, na rozdíl od sběru v Příbrami, kdy byl sběr uskutečněn v posledních dnech září (30/9/2020) (Tabulka 1).

Pro stanovení pigmentů a pro kalorimetrii bylo nutné po sběru z každé lokality určitou hmotnost šípků (60 g) oddělit a separovat všechny dužnaté češule šípků od jejich pichlavých chloupků a semen. Pro jejich usušení byla použita elektrická sušárna Memmert UFE 600, kde se sušily při teplotě 35 °C po dobu zhruba jednoho týdne do jejich konstantní hmotnosti. Pro analýzu ICP-MS bylo potřeba šípky nejprve usušit stejným způsobem, ale bez odstranění semen, aby nedošlo k rozředění použité kyseliny šťávou z plodů.



Obr. č. 5 Mapa sběru šípků v ČR (1 – Mladá Boleslav, 2 – Děčín, 3 – Praha, 4 – Kladno, 5 – Příbram) (zdroj mapy.cz, online)

**Tabulka 1** – Lokality sběru šípků, GPS souřadnice a jejich datum sběru

Oblast + lokalita sběru	GPS souřadnice	Datum sběru (D/M/R)
Mladá Boleslav		
Benzina	50.4055000N, 14.9308889E	11/10/2020
Veselá	50.5035556N, 14.9686111E	4/10/2020
Jičínská	50.4088889N, 14.9514444E	9/10/2020
Řepov	50.4026667N, 14.9485278E	6/10/2020
Děčín		
Útulek	50.7689000N, 14.2225550E	3/10/2020
ul. 17. listopadu	50.7773469N, 14.2203281E	10/10/2020
Krokova	50.7721650N, 14.2312719E	4/10/2020
Březiny	50.7708661N, 14.2500581E	4/10/2020
Praha		
Podolské schody	50.0590611N, 14.4224239E	4/10/2020
Kačerov	50.0509750N, 14.4658439E	4/10/2020
Nemocnice Krč	50.0302950N, 14.4555200E	8/10/2020
Suchdol	50.1316431N, 14.3870861E	7/10/2020
Kladno		
Poldi	50.1515033N, 14.1306597E	26/10/2020
Železnice	50.1628764N, 14.1271053E	28/10/2020
Vrapická	50.1672128N, 14.1622639E	28/10/2020
Louka	50.1710983N, 14.1669200E	28/10/2021
Příbram		
Trhové Dušníky Litavka	49.7173725N, 14.0150203E	30/9/2020
Kovohutě	49.7058439N, 13.9762303E	30/9/2020
Obecnice	49.7160561N, 13.9540914E	30/9/2020
Trhové Dušníky louka	49.7183836N, 14.0117158E	30/9/2020

## 4.2 Teplota vzduchu a úhrn srážek

Růst a zrání růže šípkové je závislé na počasí, proto teplota vzduchu a úhrn srážek mohly pozměnit složení šípku anebo výskyt těžkých kovů na povrchu šípku. Růže šípková začíná kvést od června do července (pladias.cz) a šípky se sbírají v době jejich dozrání, které nastává od září do října (leros.cz), proto jsou zahrnuta data o teplotě a srážkách od června až do konce října (Tabulka 2).

**Tabulka 2** – Průměrné měsíční teploty vzduchu a úhrny srážek z daných lokalit (zdroj chmi.cz, online)

Oblast a lokalita sběru		červen	červenec	srpen	září	říjen
Mladá Boleslav	Teplota (°C)*	17,0	18,5	18	13,5	8,7
	Srážky (mm)	107	49	54,1	109,6	30
Děčín	Teplota (°C)	17,3	18,4	19,7	14,3	10,2
	Srážky (mm)	83	27,6	60,4	35	61,9
Praha	Teplota (°C)	18,9	21,6	22,1	17,4	11,9
	Srážky (mm)**	74,9	1,1	3,1	1,5	
Kladno	Teplota (°C)*	17,0	18,5	18	13,5	8,7
	Srážky (mm)**	65,8	32	62,8	57	70,8
Příbram	Teplota (°C)	15,5	18,5	19,2	14,8	8,6
	Srážky (mm)	128	63,9	70	77,6	30,8

\*Data pro konkrétní oblasti nejsou dostupná, proto jsou uvedeny průměrné hodnoty Středočeského kraje

\*\* Zdroj dat in-pocasi.cz

### 4.3 Stanovení pigmentů

Stanovení pigmentů bylo provedeno upraveno metodiku dle Porra et al. (1989). Usušené češule šípků se ručně rozdrtily pomocí třecí misky a tloučku na jemný prášek, který byl navážen na analytických vahách Adventurer (Ohaus) do Eppendorfových zkumavek, kam se následně přidalo 1 ml dimethylformamidu (DMF). Eppendorfovy zkumavky se označily, uzavřely a jejich obsah s pigmenty se nechal 72 hodin extrahovat v temnu za občasného promíchávání. Třetí den se extrakt přelil do kyvet a proměřila se absorbance jednotlivých složek extraktu pigmentů na spektrofotometrickém přístroji UV-Vis Evolution 201 (Thermo Scientific). Jako slepý vzorek se použil čistý DMF. Měření absorbancí probíhalo při vlnových délkách 480; 648,8; 663,8 a 710 nm. Pro výpočet obsahu pigmentů byly použity následující rovnice:

Rovnice pro výpočet chlorofylů

$$\text{Chl}_a = 12,0 \cdot A_{663,8} - 3,11 \cdot A_{646,8}$$

$$\text{Chl}_b = 20,78 \cdot A_{646,8} - 4,88 \cdot A_{663,8}$$

Rovnice pro výpočet celkového chlorofylu:

$$\text{Chl}_{a+b} = 7,12 \cdot A_{663,8} + 17,67 \cdot A_{646,8}$$

Rovnice pro výpočet karotenoidů:

$$\text{Car}_{x+c} = (1000 A_{480} - 1,12 \text{Chl}_a - 34,07 \text{Chl}_b) / 245$$

Výsledky všech rovnic jsou v jednotkách  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . Pro převedení výsledků na  $\text{nmol}\cdot\text{ml}^{-1}$  byly hodnoty pro chlorofyly vynásobeny jejich koeficienty. Chlorofyl<sub>a</sub> s koeficientem 1,118 a Chlorofyl<sub>b</sub> vynásoben hodnotou 1,102.

## 4.4 Kalorimetrie

Spalná kalorimetrie je jednou ze základních metod v biologických vědních disciplínách. Patří k nejstarším původním termálním metodám. Spalná kalorimetrie je široce využívána, lze ji aplikovat téměř ve všech vědních oborech a je nezastupitelná při manipulaci odpadů z potravinářského a krmivářského průmyslu (Hnilička et al. 2020). Kalorimetrie se používá pro zjištění energetické hodnoty rostlinného materiálu, kdy při vyšším obsahu těžkých kovů se má zvyšovat i spalné teplo.

Po dokonalém usušení (viz Kap. 4.1) se navázilo zhruba 0,5 g šípků, které byly homogenizovány ve skleněné třecí misce a tlučkem opět na jemný prášek. Ten byl pak sušen při 100 °C do konstantní hmotnosti a poté spálen v kyslíkové atmosféře v kalorimetrické nádobě uvnitř adiabatického kalorimetru IKA C-4000 (software C-402, norma DIN 51900, Heitersheim, Německo). Naměřené hodnoty spalného tepla (kJ/g) byly použity pro stanovení hrubé energie (s popelem). Obsah popele byl stanoven gravimetricky spalováním jednotlivých vzorků v elektrické muflové peci při 500 °C (Kuklová et al. 2019).

Metodou spalné kalorimetrie byl stanoven transport asimilátů a jejich translokace v jednotlivých vegetativních orgánech. Sušina rostlinného materiálu se homogenizovala pomocí rychlomlýnku Pulverisette-14 (Fritsch) na velikost částic 0,1 mm.

Pomocí spalné kalorimetrie je možné sledovat obsah energeticky bohatých látek a transport asimilátů mezi jednotlivými rostlinnými orgány. Díky této metodě se vzorek úplně spálí v 100% kyslíkové atmosféře, při tlaku 30 MPa. K měření byl použit suchý spalný adiabatický kalorimetr LAGET MS 10A (Laget, SRN). Na kalorimetru byl měřen tepelný skok na 5 desetinných míst ve stupních Celsia. Normy ČSN EN 14918 a ČSN ISO 1928 byly použity pro stanovení spalného tepla rostlinného materiálu (ÚNMZ 2010).

Hodnota spalného tepla se vypočítá z opravného teplotního vzestupu a efektivní tepelné kapacity kalorimetru, kde se bere zřetel na tepelné účinky z vedlejších reakcí, podíly energie při zapálení a spálení zapalovacího prostředku. Hodnota výhřevnosti vzorku se vypočítá z hodnoty spalného tepla, zmenšené o výparné teplo vody, vzniklé z paliva během hoření - po započítání oprav (spalné teplo kyseliny sírové a kyseliny dusičné) (ÚNMZ 2010).

Pro výpočet spalného tepla byl použit následující vztah:

$$Q = \frac{(C \cdot Dt) - c}{mv - mp}$$

Kde Q = spalné teplo vzorku

C = tepelná kapacita kalorimetru

Dt = celkový vzestup teploty (°C)

c = součet oprav (spalné teplo HNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

mv = hmotnost navážky vzorku

mp = hmotnost popelovin

## 4.5 Multiprvková analýza ICP-MS

Ke stanovení těžkých kovů byl postup upraven dle Vachová et al. (2017). Vzorkovnice s vysušenými plody růže šípkové byly zváženy na vahách Kern a následně bylo k šípkům přidáno 100 ml roztoku 2M kyseliny dusičné Normatom (VWR) pro stanovení stopových prvků. Vzorkovnice byly opatrně protřepávány 10 minut a získaný extrakt byl zfiltrován přes vatou do 50ml centrifugačních zkumavek a odstředěn při 5000 otáčkách za minutu po dobu 15 minut. Vzniklý supernatant byl v čistých, předem připravených zkumavkách uskladněn lednici při 4 °C před vlastním ICP-MS stanovením těžkých kovů.

ICP-MS je analytická spektrální metoda, která kombinuje ICP (Inductively Coupled Plasma, indukčně vázané plasma) a MS (Mass Spectrometry, hmotnostní spektrometrie), kde ICP je zdroj kladně nabitých částic (např.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Pb}^+$ ) a MS tyto částice deteguje (Mihaljevič et al. 2004). Postup ICP-MS analýzy byl upraven pro povrchové depozice a jejího možného vztahu k obsahovým látkám.

Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS, Agilent 7700x, Agilent Technologies, USA) byla použita pro stanovení koncentrací vybraných analytů (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Tl a Pb) ve výluhu (2 mol/l  $\text{HNO}_3$ ) rostlinného materiálu. Výluhy byly před analýzou naředěny 10× ultračistou vodou ( $\geq 18,2 \text{ M}\Omega/\text{cm}$ ; MilliQ system, Millipore, SAS, Francie). Pro použití konfigurace ICP-MS je zapotřebí: autosampler ASX-500, mikrokonzentrický zmlžovač MicroMist, dvouplášťovou Scottovu mlžnou komoru, oktapólovou kolizní/reakční celu a kvadrupólový filtr. Vlastní měření probíhalo v tzv. heliovém módu snižující úroveň spektrálních polyatomických interferencí.

Přístroj byl kalibrován metodou externí kalibrace s využitím víceprvkových roztoků analytů v rozmezí koncentrací 0,01 – 1000 mg/l (ASTASOL-MIX, Analytika, ČR) v 1,5% (m/v)  $\text{HNO}_3$  (Analpure®, Analytika, ČR). Metoda interního standardu, která využívá víceprvkový roztok obsahujícího 100  $\mu\text{g}/\text{l}$  Sc, Ge, Rh, In a Lu (ASTASOL-MIX, Analytika, ČR), který byl kontinuálně přiváděn do zmlžovače spolu se vzorky, byla použita pro korekci vlivu matrice a driftu signálu analytů v čase. Výsledky byly zpracovány v softwaru MassHunter (Agilent, USA) (Mihaljevič et al. 2004).

## 4.6 Statistické metody

Statistické metody byly použity pro analýzu všech dat, které se získaly z metod. Využívala se One-way ANOVA pro testování rozdílů různých parametrů pigmentů, spalného tepla a ICP-MS analýzy extraktů kontaminantů z povrchu rostliny růže šípkové.

Průkazné rozdíly mezi průměry na hladině významnosti  $\alpha=0,05$  byly dále testovány pomocí Tukey HSD post-hoc metody. Post-hoc testy se provádějí až po zamítnutí nulové hypotézy, kdy je zpravidla  $p < 0,05$  a pomáhají nalézt homogenní skupiny v testovaných datech (Lepš & Šmilauer 2016). Všechny provedené výpočty byly připravené pomocí softwaru STATISTICA 13.5 (Statsoft, Tulsa, USA).

## 5 Výsledky

Tato kapitola se bude věnovat výsledkům jednotlivých metod, které jsou popsány v předchozí kapitole. Výsledky budou rozebírány a porovnávány mezi sebou. Oblasti sběru (města) a jejich lokality jsou v každé tabulce ve stejném pořadí, a to tak, že čtvrtá lokalita každé oblasti je považována za kontrolní neboli nejméně znečištěnou.

### 5.1 Stanovení pigmentů

V rámci pigmentů se stanovoval zvláště chlorofyl a, chlorofyl b, jejich suma a poměr. S ohledem na použitou metodiku, nejsou karotenoidy blíže identifikovány, ale měřeny jako celek. Tabulka 3 uvádí průměrné obsahy pigmentů z jednotlivých lokalit. Kvůli nedostatku kvalitních šípků nebyly stanoveny pigmenty v lokalitě Litavka (Příbram). Při použití statistické metody ANOVA pro obsah karotenoidů nebyly nalezeny průkazné rozdíly mezi vybranými oblastmi. Nicméně se dá však určit jejich průměrný nejvyšší a zároveň nejnižší obsah, který byl naměřen v Praze, kontaminovaná lokalita Podolské schody (32,78 nmol/g) a v Příbrami, v čisté lokalitě Trhové Dušníky, Louka (16,44 nmol/g). U těchto pigmentů lze pozorovat, že výběr lokality z hlediska její kontaminace neukázal předpokládaný dopad. Pro dosažení rozmanitějších a odlišných výsledků by bylo zapotřebí nasbírat širší škálu dat.

V oblasti Mladé Boleslavi má největší obsah chlorofylu<sub>a</sub> lokace Benzina, kde se jedná o statisticky signifikantní rozdíl. Vyskytuje se zde až dvojnásobný obsah tohoto pigmentu oproti ostatním lokalitám této oblasti, včetně kontrolní (Řepov), mezi nimiž nebyl výrazný rozdíl. Nejvíce chlorofylu<sub>b</sub> bylo nalezeno také v lokaci Benzina společně s lokací Jičínská, ale nejedná se o významný obsahový rozdíl. Nejvyšší koncentrace celkového chlorofylu byla naměřena v lokaci Benzina, kde je zároveň nejmenší obsah karotenoidů. Ani u jednoho stanovení obsahu se však nejedná o signifikantní rozdíl. Nejmenší množství chlorofylů pak bylo pozorováno u vzorků získaných z lokality Řepov.

Opačný jev byl sledován v oblasti Děčín, kde bylo naměřeno významně vyšší zastoupení chlorofylu<sub>a</sub> oproti většině ostatních vzorků. V případě celkového a chlorofylu<sub>b</sub> byly rozdíly z hlediska statistiky ještě méně patrné. Nejvyšší množství karotenoidů bylo pak naměřeno v lokalitě Útulek, nejmenší množství v lokalitě Ul. 17. listopadu.

Nejvyšší naměřený obsah karotenoidů, spolu s nejnižším obsahem chlorofylů ze všech oblastí, se vyskytuje v oblasti Praha, konkrétně v lokalitách Suchdol (kontrolní lokalita) a výše uvedené Podolské schody, kde se nachází chlorofyly a karotenoidy s homogenními skupinami, tedy bez statisticky signifikantních rozdílů.

Z oblasti Kladno si lze povšimnout, že podobně jako v případě Mladé Boleslavi, znečištěná lokalita Vrapická, vzorky obsahovaly nejvyšší množství chlorofylů, a na rozdíl od lokality Benzina i karotenoidů.



**Tabulka 3** – Obsah chlorofylu a, chlorofylu b a karotenoidů (nmol/g) v daných lokalitách. Pro statistické stanovení byla použita jednocestná ANOVA, kdy v případě, že  $p < 0,001$  byl proveden post hoc Tukeyův test. Stejná písmena pak označují homogenní skupiny

<b>Oblast a lokalita sběru</b>	chlorofyl <sub>a</sub>	chlorofyl <sub>b</sub>	celkový chlorofyl	karotenoidy
<b>Mladá Boleslav</b>				
Benzina	10,64 <sup>d</sup>	20,17 <sup>a,b,c</sup>	30,81 <sup>a,b</sup>	15,43
Veselá	5,27 <sup>a,b</sup>	17,34 <sup>a,b</sup>	22,62 <sup>a,b</sup>	19,94
Jičínská	5,92 <sup>a,b,c</sup>	20,57 <sup>a,b,c</sup>	26,48 <sup>a,b</sup>	18,44
Řepov	4,25 <sup>a</sup>	15,77 <sup>a</sup>	20,02 <sup>a</sup>	17,11
<b>Děčín</b>				
Útulek	4,83 <sup>a,b</sup>	19,08 <sup>a,b,c</sup>	23,92 <sup>a,b</sup>	28,95
ul. 17. listopadu	4,02 <sup>a</sup>	15,93 <sup>a</sup>	19,95 <sup>a</sup>	20,16
Krokova	6 <sup>a,b,c</sup>	17,53 <sup>a,b</sup>	23,52 <sup>a,b</sup>	25,23
Březiny	9,32 <sup>c,d</sup>	30,81 <sup>b,c</sup>	40,14 <sup>b</sup>	22,87
<b>Praha</b>				
Podolské schody	3,22 <sup>a</sup>	12,38 <sup>a</sup>	15,60 <sup>a</sup>	32,78
Kačerov	3,56 <sup>a</sup>	13,09 <sup>a</sup>	16,66 <sup>a</sup>	20,08
Nemocnice Krč	3,44 <sup>a</sup>	13,25 <sup>a</sup>	16,69 <sup>a</sup>	21,51
Suchdol	3,2 <sup>a</sup>	12,5 <sup>a</sup>	15,70 <sup>a</sup>	26,58
<b>Kladno</b>				
Poldi	5,68 <sup>a,b,c</sup>	21,27 <sup>a,b,c</sup>	26,95 <sup>a,b</sup>	21,9
Železnice	5,21 <sup>a,b</sup>	19,36 <sup>a,b,c</sup>	24,56 <sup>a,b</sup>	18,28
Vrapická	8,36 <sup>b,c,d</sup>	31,7 <sup>c</sup>	40,07 <sup>b</sup>	30,88
Louka	5,14 <sup>a,b</sup>	20,14 <sup>a,b,c</sup>	25,28 <sup>a,b</sup>	24,38
<b>Příbram</b>				
Litavka	-	-	-	-
Kovohutě	3,65 <sup>a</sup>	10,99 <sup>a</sup>	14,64 <sup>a</sup>	24,5
Obecnice	3,63 <sup>a</sup>	10,15 <sup>a</sup>	13,78 <sup>a</sup>	30,39
Trhové Dušníky louka	6,83 <sup>a,b,c,d</sup>	21,91 <sup>a,b,c</sup>	28,74 <sup>a,b</sup>	16,44
Hodnota p	0,000	0,000	0,000	0,133
Hodnota F (18, 38)	8,504	4,998	5,443	1,531

Tento vyšší obsah však nebyl u žádného stanovení průkazný. Oblast Příbram byla opět spíše podobná oblasti Děčína tím, že nejvyšší, byť neprůkazná data, byla pozorována spíše u lokality vybrané jako nekontaminovaná. Jak bylo zmíněno výše, plody z tohoto místa sběru měly nejnižší obsah karotenoidů z této oblasti.

## 5.2 Kalorimetrie

Při měření spalného tepla (Q) se změřilo spalné teplo s popelem (Q+, hrubá energie), kde se v popelu vyskytují všechny minerální látky a spalné teplo bez popelu (Q-), kde byly hořením spáleny všechny minerální látky a byly převedy na energii spalného tepla. Výsledky měření spalného tepla v jednotlivých oblastech je popsáno v Tabulce 4.

**Tabulka 4** – Změřené spalné teplo s popelem a bez popelovin (kJ/g) v daných lokalitách Pro statistické stanovení byla použita jednocestná ANOVA, kdy v případě, že  $p < 0,001$  byl proveden post hoc Tukeyův test. Stejná písmena označují homogenní skupiny

Oblast a lokalita sběru	Spalné teplo (s popelem)	Spalné teplo (bez popelovin)
Mladá Boleslav		
Benzina	14,27 <sup>e</sup>	15,80 <sup>g</sup>
Veselá	12,79 <sup>d</sup>	13,93 <sup>f</sup>
Jičínská	11,49 <sup>a</sup>	12,32 <sup>a</sup>
Řepov	11,87 <sup>a,b,c</sup>	12,89 <sup>a,b,c,d</sup>
Děčín		
Útulek	12,37 <sup>b,c,d</sup>	13,28 <sup>b,c,d,e,f</sup>
ul. 17 listopadu	12,13 <sup>a,b,c,d</sup>	12,85 <sup>a,b,c,d</sup>
Krokova	11,55 <sup>a</sup>	12,43 <sup>a</sup>
Březiny	14,31 <sup>e</sup>	15,34 <sup>g</sup>
Praha		
Podolské schody	12,72 <sup>d</sup>	13,82 <sup>e,f</sup>
Kačerov	11,74 <sup>a,b</sup>	12,67 <sup>a,b,c</sup>
Nemocnice Krč	11,58 <sup>a</sup>	12,41 <sup>a</sup>
Suchdol	11,91 <sup>a,b,c</sup>	12,63 <sup>a,b,c</sup>
Kladno		
Poldi	11,81 <sup>a,b</sup>	12,61 <sup>a,b</sup>
Železnice	11,97 <sup>a,b,c</sup>	12,88 <sup>a,b,c,d</sup>
Vrapická	12,55 <sup>c,d</sup>	13,50 <sup>d,e,f</sup>
Louka	12,41 <sup>b,c,d</sup>	13,23 <sup>b,c,d,e</sup>
Příbram		
Litavka	-	-
Kovohutě	12,41 <sup>b,c,d</sup>	13,32 <sup>c,d,e,f</sup>
Obecnice	12,12 <sup>a,b,c,d</sup>	12,95 <sup>a,b,c,d</sup>
Trhové Dušníky louka	11,62 <sup>a</sup>	12,34 <sup>a</sup>
Hodnota p	0,000	0,000
Hodnota F (18,38)	35,638	53,466

Z výsledků vychází, že v každé oblasti se vyskytly statisticky signifikantní rozdíly z měření spalného tepla s popelem (Q+), v žádné oblasti nejsou lokality, které by všechny spolu sdílely alespoň jednu homogenní skupinu. Nejvyšší hodnoty Q+ se naměřily v lokacích Benzina (Mladá Boleslav) a Březiny (Děčín), kde byly pozorovány i nejvyšší hodnoty chlorofylů (Tabulka 3). Nízké hodnoty Q+ se naměřily v každé oblasti a patří pod společnou homogenní skupinu. Nejnížší z nich se nachází v lokalitě Jičínská (Mladá Boleslav), Krokova (Děčín) a Nemocnice Krč (Praha). V oblasti Kladno byly naměřeny středně vysoké hodnoty Q+, kde nejvyšší hodnotu z nich dosahuje lokalita Vrapická, která měla opět i vyšší obsah chlorofylů. Oproti tomu však u lokality Trhové Dušníky, Louka, bylo Q+ pozorováno oproti ostatním lokalitám Příbrami nižší v případě Kovohutí průkazně.

Výsledky měření spalného tepla bez popelovin (Q-) dosahují vyšších hodnot než Q+, ale také poskytují data, které jsou statisticky významně rozdílné ve všech oblastech. Nejvyšší průkazná hodnota Q- byla naměřena, stejně tak jako u Q+, v lokalitách Benzina (Mladá Boleslav) a Březiny (Děčín). Významné nejnižší hodnoty Q- byly naměřeny v lokalitách Jičínská (Mladá Boleslav), Krokova (Děčín), Nemocnice Krč (Praha) a Trhové Dušníky louka (Příbram). Z oblasti Kladna je naměřená nejmenší hodnota z lokace Poldi a nejvyšší z lokace Vrapická. Obě dvě hodnoty z těchto lokací však patří do stejné homogenní skupiny.

### 5.3 Multiprvková analýza ICP-MS

Pomocí metody ICP-MS se stanovovalo dohromady deset těžkých kovů, mezi ně patří V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Tl. Výsledky měření jsou rozděleny do dvou tabulek (Tabulka 5, Tabulka 6) po pěti těžkých kovech pro lepší orientaci.

Vyšší průkazné hodnoty vanadu byly naměřeny u více oblastí, v lokalitách Poldi (Kladno), Jičínská, Řepov (Mladá Boleslav), ul. 17. listopadu (Děčín) a Litavka, (Příbram), a mezi těmito místy pak nebyl v obsahu tohoto kovu rozdíl. V případě Mladé Boleslavi, vyšší hodnoty byly zjištěny u čisté lokality, naopak vzorky z podobného typu lokalit (Suchdol, Louka, Trhové Dušníky Louka) byly méně kontaminované vanadem ve srovnání se zatíženými místy. Tento rozdíl byl ale průkazný vždy pouze od jedné lokality v rámci dané oblasti (Tabulka 5).

Statisticky signifikantní nejvyšší obsah chromu byl pozorován v oblasti Příbram (Litavka), kde bylo monitorováno také jeho malé zatížení ze všech lokalit (Kovohutě, Obecnice). V oblasti Mladá Boleslav byl chrom stanoven také ve vyšších množstvích, včetně čisté lokality (Řepov). Nicméně žádná hodnota se významně nelišila, jak v rámci tohoto města, tak zbývajících oblastí. (Tabulka 5).

Průkazný nárůst obsahu kobaltu se nacházel opět v oblasti Příbram v lokalitách Litavka a Trhové Dušníky louka. Na povrchu šípků bylo v první lokalitě stanoveno nejvíce kobaltu oproti všem zbývajícím místům, v rámci druhé byl výrazný nárůst pouze v případě lokalit

ze stejné oblasti (Obecnice, Kovohutě), případně lokality Kačerov (Praha). Ve zbylých oblastech se hodnoty chromu signifikantně nelišily (Tabulka 5).

**Tabulka 5** – Stanovení těžkých kovů v daných lokalitách (mg/ kg)

Oblast a lokalita sběru	V	Cr	Co	Ni	Cu
Mladá Boleslav					
Benzina	0,002 <sup>a,b,c</sup>	0,015 <sup>a,b,c</sup>	<0,001 <sup>a,b</sup>	<0,026 <sup>a</sup>	<0,082 <sup>a</sup>
Veselá	0,002 <sup>a,b,c</sup>	0,021 <sup>b,c</sup>	0,002 <sup>a,b</sup>	0,131 <sup>a</sup>	0,123 <sup>a</sup>
Jičínská	0,006 <sup>d,e</sup>	0,029 <sup>c</sup>	0,004 <sup>a,b</sup>	0,082 <sup>a</sup>	0,198 <sup>a</sup>
Řepov	0,006 <sup>e</sup>	0,024 <sup>b,c</sup>	0,003 <sup>a,b</sup>	0,053 <sup>a</sup>	0,151 <sup>a</sup>
Děčín					
Útulek	0,002 <sup>a,b,c</sup>	0,016 <sup>a,b,c</sup>	0,001 <sup>a,b</sup>	0,028 <sup>a</sup>	0,095 <sup>a</sup>
ul. 17. listopadu	0,005 <sup>d,e</sup>	0,015 <sup>a,b,c</sup>	0,002 <sup>a,b</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,140 <sup>a</sup>
Krokova	0,003 <sup>c,d</sup>	0,020 <sup>b,c</sup>	0,002 <sup>a,b</sup>	0,030 <sup>a</sup>	0,120 <sup>a</sup>
Březiny	0,002 <sup>a,b,c</sup>	0,015 <sup>a,b,c</sup>	0,001 <sup>a,b</sup>	0,036 <sup>a</sup>	0,096 <sup>a</sup>
Praha					
Podolské schody	0,001 <sup>a,b,c</sup>	0,016 <sup>a,b,c</sup>	0,001 <sup>a,b</sup>	0,032 <sup>a</sup>	0,082 <sup>a</sup>
Kačerov	0,001 <sup>a,b,c</sup>	0,011 <sup>a,b,c</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,018 <sup>a</sup>	0,140 <sup>a</sup>
Nemocnice Krč	0,0008 <sup>a,b,c</sup>	0,016 <sup>a,b,c</sup>	0,001 <sup>a,b</sup>	0,018 <sup>a</sup>	0,082 <sup>a</sup>
Suchdol	0,0005 <sup>a</sup>	0,011 <sup>a,b</sup>	0,001 <sup>a,b</sup>	0,016 <sup>a</sup>	0,081 <sup>a</sup>
Kladno					
Poldi	0,007 <sup>e</sup>	0,015 <sup>a,b,c</sup>	0,002 <sup>a,b</sup>	0,015 <sup>a</sup>	0,071 <sup>a</sup>
Železnice	0,002 <sup>c,d</sup>	0,016 <sup>b,c</sup>	0,001 <sup>a,b</sup>	0,010 <sup>a</sup>	0,062 <sup>a</sup>
Vrapická	0,002 <sup>b,c</sup>	0,009 <sup>a,b,c</sup>	0,001 <sup>a,b</sup>	0,006 <sup>a</sup>	0,044 <sup>a</sup>
Louka	0,003 <sup>c,d</sup>	0,016 <sup>a,b,c</sup>	0,001 <sup>a,b</sup>	0,028 <sup>a</sup>	0,088 <sup>a</sup>
Příbram					
Litavka	0,004 <sup>e</sup>	0,068 <sup>c</sup>	0,007 <sup>c</sup>	<3,208 <sup>b</sup>	1,108 <sup>b</sup>
Kovohutě	0,001 <sup>a,b</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,003 <sup>a</sup>	0,046 <sup>a</sup>
Obecnice	0,0004 <sup>a</sup>	0,0004 <sup>a</sup>	0,0003 <sup>a</sup>	<0,0212 <sup>a</sup>	0,0267 <sup>a</sup>
Trhové Dušníky louka	0,003 <sup>a,b,c</sup>	0,008 <sup>a,b,c</sup>	0,002 <sup>b</sup>	0,085 <sup>a</sup>	0,521 <sup>a</sup>
Hodnota p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hodnota F (19, 40)	22,017	33,964	8,223	83,088	8,963

Nejvyšší průkazné hodnoty obsahu niklu a mědi ze všech oblastí byly pozorovány v lokalitách Litavka (Příbram). V místě Trhové Dušníky louka ze stejné oblasti bylo zvýšené množství těchto prvků zaznamenáno také, ale nelišilo se od zbyvajících lokalit. V ostatních oblastech byly nicméně pozorovány odchylky, kdy například v lokalitě Louka (Kladno) bylo naměřeno více těchto prvků ve vzorku při srovnání se všemi tamními kontaminovanými místy. Zbylá místa, kde nebyla předpokládána kontaminace, ukázala různý obsah niklu a mědi oproti zatíženým lokalitám (Tabulka 6). Nejvyšší signifikantně významné hodnoty obsahu niklu

a mědi ze všech oblastí byly pozorovány v lokalitách Litavka a Trhové Dušníky louka. Obě dvě lokality patří pod oblast Příbram. Zbylé oblasti a lokality se statisticky neliší.

**Tabulka 6** - Stanovení těžkých kovů v daných lokalitách (mg/kg). Pro statistické stanovení byla použita jednocestná ANOVA, kdy v případě, že  $p < 0,001$  byl proveden post hoc Tukeyův test. Stejná písmena označují homogenní skupiny.

<b>Oblast a lokalita sběru</b>	<b>Zn</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Tl</b>	<b>Pb</b>
<b>Mladá Boleslav</b>					
Benzina	<0,385 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a,b,c</sup>	0,0004 <sup>a</sup>	<0,00001 <sup>a</sup>	<0,009 <sup>a</sup>
Veselá	0,826 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a,b,c</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,00002 <sup>a</sup>	0,017 <sup>a</sup>
Jičínská	0,841 <sup>a</sup>	0,005 <sup>e</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,00003 <sup>a</sup>	0,020 <sup>a</sup>
Řepov	1,270 <sup>a</sup>	0,003 <sup>d</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,00005 <sup>a</sup>	0,024 <sup>a</sup>
<b>Děčín</b>					
Útulek	0,739 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a,b,c</sup>	0,0004 <sup>a</sup>	<0,00005 <sup>a</sup>	0,014 <sup>a</sup>
ul. 17. listopadu	0,701 <sup>a</sup>	0,003 <sup>d</sup>	0,0005 <sup>a</sup>	0,00003 <sup>a</sup>	0,022 <sup>a</sup>
Krokova	0,745 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a,b,c</sup>	0,0004 <sup>a</sup>	0,00004 <sup>a</sup>	0,017 <sup>a</sup>
Březiny	0,675 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a,b,c</sup>	0,0007 <sup>a</sup>	0,00001 <sup>a</sup>	0,013 <sup>a</sup>
<b>Praha</b>					
Podolské schody	0,671 <sup>a</sup>	0,0005 <sup>a,b</sup>	0,0004 <sup>a</sup>	<0,000003 <sup>a</sup>	0,020 <sup>a</sup>
Kačerov	0,549 <sup>a</sup>	0,0003 <sup>a</sup>	0,0002 <sup>a</sup>	<0,000001 <sup>a</sup>	0,008 <sup>a</sup>
Nemocnice Krč	0,400 <sup>a</sup>	0,0003 <sup>a</sup>	0,0004 <sup>a</sup>	<0,000005 <sup>a</sup>	0,007 <sup>a</sup>
Suchdol	0,228 <sup>a</sup>	0,0002 <sup>a</sup>	0,0003 <sup>a</sup>	<0,000001 <sup>a</sup>	0,004 <sup>a</sup>
<b>Kladno</b>					
Poldi	0,449 <sup>a</sup>	0,002 <sup>b,c,d</sup>	0,0119 <sup>b</sup>	0,00003 <sup>a</sup>	0,028 <sup>a</sup>
Železnice	0,299 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a,b,c</sup>	0,0005 <sup>a</sup>	<0,00001 <sup>a</sup>	0,006 <sup>a</sup>
Vrapická	0,210 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a,b,c</sup>	0,0010 <sup>a</sup>	<0,00002 <sup>a</sup>	0,013 <sup>a</sup>
Louka	0,369 <sup>a</sup>	0,002 <sup>c,d</sup>	0,0019 <sup>a</sup>	0,00003 <sup>a</sup>	0,016 <sup>a</sup>
<b>Příbram</b>					
Litavka	6,246 <sup>b</sup>	0,0103 <sup>f</sup>	0,027 <sup>c</sup>	0,000203 <sup>b</sup>	0,331 <sup>c</sup>
Kovohutě	0,190 <sup>a</sup>	0,0010 <sup>a,b,c</sup>	0,0031 <sup>a</sup>	0,000296 <sup>b</sup>	0,958 <sup>d</sup>
Obecnice	0,123 <sup>a</sup>	0,0004 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>	<0,000001 <sup>a</sup>	0,049 <sup>a</sup>
Trhové Dušníky louka	2,319 <sup>a</sup>	0,0026 <sup>b,c,d</sup>	0,0032 <sup>b</sup>	0,000105 <sup>a</sup>	0,110 <sup>b</sup>
Hodnota p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hodnota F (19, 40)	41,530	180,02	73,979	12,910	67,245

V lokalitě Litavka byl naměřen signifikantně vysoký obsah zinku, kdy i při porovnání zinku s ostatními těžkými kovy je jeho hodnota obsahu zde nejvyšší. Ve zbylých oblastech a lokacích se hodnoty statisticky nelišily (Tabulka 6), přestože například šípky ze stanoviště Trhové Dušníky Louka také obsahovaly více zinku. S výjimkou oblastí Kladna (Louka) a Mladé Boleslavi (Řepov) bylo v čistých lokalitách zjištěno spíše menší množství tohoto kovu.

Nejnižší koncentrace arsenu byly pozorovány v celé oblasti Praha nezávisle na lokalitě, kdy rozdíly mezi jednotlivými místy nebyly průkazné. Menší množství arsenu bylo rovněž zaznamenáno v oblasti Příbrami v lokalitě Obecnice. Tato oblast však také zahrnovala místo s jeho nejvyšším statisticky významným obsah, kterým byla Litavka (Tabulka 6). Vyšší množství bylo rovněž zjištěno opět u šípků z čisté lokality Řepov a Jičínská v rámci Mladé Boleslavi.

Oblast Příbram (Litavka) se ukázala z hlediska kadmia jako také kontaminovaná, nicméně v tomto případě byly nejvyšší hodnoty kadmia naměřeny ze vzorků z Poldi, Kladno. Hodnoty kadmia nepřesahují hodnotu 1 mg/kg dle Českého Lékopisu (2017). Mezi ostatními lokalitami nebyl nalezen statistický rozdíl, i když v čisté lokalitě Březiny (Děčín) byla koncentrace v rámci tohoto města vyšší oproti zbylým místům (Tabulka 6).

Thalium se vyskytuje v nejmenším množství při porovnání všech těžkých kovů, jeho obsah však byl nejvíce zřetelný opět na Příbramsku, v lokalitách Litavka a Kovohutě (Tabulka 6).

Vybrané lokality Příbramy jsou obecně více kontaminovány ve srovnání s ostatními místy ČR, včetně Prahy, jak je tomu i v případě olova. Významně nejvyšší hodnoty jeho obsahu se vyskytují pouze na místě sběru, jako jsou Kovohutě, Litavka a Trhové Dušníky Louka. Není však překročen limit 5 mg/kg, který stanovuje Český lékopis 2017. Rozdíly obsahu olova v ostatních oblastech nejsou signifikantní. Z naměřených výsledků však jde vyčíst, že šípky z lokality Řepov také obsahovaly více olova v porovnání se zbylými místy Mladé Boleslavi (Tabulka 6). Tato lokalita tak může být z hlediska šípků považována za zatíženou.

## 6 Diskuze

V této kapitole se bude diskutovat vztah mezi získanými jednotlivými výsledky, a tedy možná závislost sledovaných parametrů na přítomnosti těžkých kovů s ohledem na podobné práce provedené jinými autory.

### 6.1 Stanovení závislosti mezi obsahem pigmentů a těžkých kovů

V oblasti Mladá Boleslav patřila Benzina, původně vybraná jako kontaminovaná, k nejčistším lokalitám. Všechny těžké prvky se u plodů růže šípkové vyskytovaly ve významně nízkém obsahu (Tabulka 5, Tabulka 6). Zato nejvíce znečištěná lokalita byla Jičínská, kde se nacházelo až třikrát více vanadu a dvakrát více obsahu chromu než na stanovišti Benzina. Je zajímavé, že tyto dvě lokality si svým umístěním byly podobné, protože se vyskytovaly u silnic, které vedou přímo do Mladé Boleslavi. Avšak v okolí Jičínská se vyskytovala obchodní centra a jejich parkoviště, kdežto Benzina se vyskytovala v zahrádkářské oblasti, i kvůli tomuto faktu mohla být Benzina méně znečištěná. Oproti tomu kontrolní lokalita Řepov nacházející se nejdál od silnic na polních cestách jako nejčistší oblast nevyšla. Studie od Gambuś & Wieczorek (2012) uvádí, že se díky používání fosforových a vícenásobných hnojiv může zvýšit zatížení životního prostředí. Dle Zwolak et al. (2019) zemědělská zemina může obsahovat těžké kovy díky organickým i minerálním hnojivům. Je tedy možné, že díky zemědělské činnosti se v této lokaci vyskytl zvýšený obsah těžkých kovů. V lokalitách Veselá a Jičínská byl naměřen největší obsah karotenoidů, i když to nejsou nejméně znečištěné oblasti. Z Tabulky č. 3 lze také vidět trend, kdy šípky s vyšším obsahem celkového chlorofylu, mají méně karotenoidů.

V oblasti Děčín se dají pokládat dvě lokality jako nejčistší, a to lokalita Útulek a Březiny, která byla zároveň pokládána za kontrolní oblast. Březiny se vyskytují zhruba 3 km od železnice v blízkosti lesa na polní cestě, jak je možné vyčíst z Přílohy č. 2. Je proto zajímavé, že statisticky nízké obsahy těžkých kovů dosahuje i lokalita Útulek, kde se nachází strojírenský závod. Šípky z těchto dvou lokalit obsahovaly velice podobnou hodnotu obsahu těžkých kovů (Tabulka č. 5., Tabulka č. 6.). Březiny dosahují viditelně vyšších hodnot celkového chlorofylu, zato obsahují menší hodnoty obsahu karotenoidů než lokalita Útulek. Za zatížené lokality se dají pokládat ul. 17. listopadu a Krokova, která se nachází v blízkosti železnice a silnice vedoucí do centra města (Příloha č. 2). Ul. 17. listopadu dosahuje signifikantně vyšších hodnot obsahu vanadu a arsenu, proto je možné ji pokládat za nejvíce zatíženou oblast (Tabulka 5 a 6). Lokalita Krokova dosahuje nevýznamně vyšších hodnot celkového chlorofylu spolu s karotenoidy než nejzatíženější lokalita (ul. 17. listopadu) (Tabulka 3).

Oblast Praha dosahovala ze všech oblastí nejmenších rozdílů v obsahu těžkých prvků, a zároveň se dá pokládat za relativně nejméně znečištěnou, z pohledu šípků ze sledovaných oblastí. Při porovnání jednotlivých lokalit z této oblasti je patrné, že hodnota obsahu zinku

byla nejvyšší v lokalitě Podolské schody (Tabulka 5 a 6), a to asi třikrát vyšší než hodnota obsahu v lokalitě Suchdol. Za nejčistší z vybraných stanovišť v oblasti Praha lze tedy považovat tuto lokalitu, která je zároveň i nejčistší lokalita ze všech měřených oblastí. V lokalitě Podolské Schody pak byl naměřen nejvyšší obsah karotenoidů ze všech oblastí, nicméně jak bylo popsáno ve výsledcích, tyto výstupy nebyly statisticky potvrzeny.

V oblasti Kladno byla brána lokalita Louka jako kontrolní a nejméně znečištěná. I když se tato lokalita vyskytuje mimo Kladenskou průmyslovou zónu, asi 400 metrů od frekventované silnice a přes 600 metrů od další lokality Vrapická (Příloha č. 4), obsahuje větší koncentraci zinku a dosahuje nejvyšších hodnot mědi v celé oblasti. Při srovnání těchto hodnot s hodnotami ostatních oblastí jsou rozdíly statisticky nevýznamné. Lokalita Vrapická se může pokládat, dle naměřených hodnot za nejméně znečištěné stanoviště, a to i s ohledem na to, že se vyskytovala v blízkosti frekventované silnice na rozdíl od lokality Louka. Při pohledu na Tabulku č. 3. je patrné, že Vrapická dosahuje nejvyšších hodnot jak celkových chlorofylů, tak karotenoidů na rozdíl od ostatních lokalit. Lokalita Poldi patřila do nejvíce znečištěné lokality v oblasti Kladno, dosahuje významné hodnoty zinku, která je nejvyšší mezi všemi oblastmi. Hodnoty karotenoidů a celkového chlorofylu se liší pouze v lokalitě Vrapická, kde nabývá vyššího vzrůstu. V ostatních lokalitách se tyto hodnoty statisticky neliší.

Průkazně nejvíce znečištěné šípky byly pozorovány v oblasti Příbram v lokalitě Trhové Dušníky Litavka. Každý ze stanovovaných těžkých kovů zde dosahoval i řádově vyšších hodnot ve srovnání s ostatními místy. Při porovnání lokalit Litavka a Suchdol, kdy je Suchdol nejméně znečištěná lokalita ze všech, dosahuje Litavka 8× vyššího obsahu vanadu, 27× vyššího obsahu zinku, 200× vyššího obsahu niklu a 82× vyššího obsahu olova (Příloha 6). Další lokalitou z této oblasti, která byla statisticky významně znečištěná, byly předpokládáně Kovohutě. Tato lokalita se vyskytuje poblíž areálu Příbramských Kovohutí, zato Litavka (obec Trhové Dušníky) se nachází zhruba 4 km od Kovohutí. V lokalitě Kovohutě bylo naměřeno několikrát více thalia než v lokalitě Litavka. Kvůli nedostatku nasbíraného kvalitního materiálu v lokalitě Litavka nebyly pro tuto lokalitu naměřeny hodnoty obsahu pigmentů. Za nejméně znečištěnou oblast Příbrami se může pokládat lokalita Obecnice, která dosahuje nejvyššího obsahu karotenoidů.

Šípky byly sbírány od konce září do konce října. Nejdříve byly sbírány šípky v oblasti Příbrami (30/9/2020), kdy se teplota vzduchu pohybovala okolo 15 °C. Nejpozději byly sesbírány šípky z oblasti Kladna (28/10/2020), kdy se teplota pohybovala okolo 8,7 °C. V oblastech se průměrné měsíční srážky shodují, nejedná se o přílišné změny. Datum sběru šípků mohlo ovlivnit hodnoty obsahových látek. Dle Andersson et al. (2011) závisí různá hodnota obsahu karotenoidu na genetické variaci, stádiu zrání, klimatu, podmínkách růstu růži šípkové, skladování šípků a analytických metodách. Byly zaznamenány výsledky experimentu, kde Andersson et al. (2011) porovnává různá stadia zrání šípků s jejich hodnotami karotenoidů a chlorofylu<sub>a</sub> (ch<sub>a</sub>) chlorofylu<sub>b</sub> (ch<sub>b</sub>).



První termín sběru šípků nastal 30/9 v Příbrami, kde nejvyšší naměřená hodnota karotenoidů (Obecnice, Příloha č. 8) byla 30.52 ug/g. Poslední sběr šípků se odehrál 28/10 v oblasti Kladna, kde byla nejvyšší naměřená hodnota karotenoidů 31.29 ug/g (Vrapická). Vzhledem k tomu, že rozdíly v obsahu karotenoidů celkově nebyly průkazné, a v těchto dvou oblastech se statisticky ani nelišila nejvyšší koncentrace chlorofylů v plodech (Trhové Dušníky – louka × Vrapice; Tabulka č. 3), pozdější doba sběru nemusela mít na obsah těchto pigmentů vliv.

Při porovnání obsahu karotenoidu dle Andersson et al. (2011), při sběru šípků na konci září (28/9) a na konci října (26/10), šípky nasbírané později dosahovaly až 1,2× vyšších hodnot karotenoidů. Zajímavé jsou rozdíly hodnot chlorofylu<sub>a</sub> a chlorofylu<sub>b</sub>, kdy hodnota prvního dosahovala 9,86 ug/g a hodnota chlorofylu<sub>b</sub> 0,00 ug/g na konci zářijových dnů. Na konci říjnových dnů bylo dle jejich studie množství obou chlorofylů nulové. Naměřené hodnoty chlorofylů z Kladna byly vždy nenulové na rozdíl od naměřených hodnot zmiňovaného výzkumu. Andersson et al. (2011) tvrdí, že vyššímu obsahu karotenoidů se dá docílit pozdějším sběrem. Z jeho měření vyplývá, že čím pozdější sběr, tím menší množství chlorofylů daný vzorek šípků obsahuje. Dá se tedy předpokládat, že u lokalit, kde nabíraly chlorofyly vyššího obsahu než karotenoidy, se dá předejít pozdějším sběrem.

Dle Andersson et al. (2011) se nižší obsahy karotenoidů dají nalézt v šípkách, které byly sbírány ve dřívější době. Tato skutečnost vychází i z našich naměřených dat vybraných lokalit (Vrapická, Obecnice) a vycházela by i z obsahu karotenoidů nasbíraných šípků v lokalitě Podolské schody (Praha). Tato lokalita spolu s lokalitou Vrapická obsahují vyšší hodnotu karotenoidu než jakákoliv lokalita z Příbrami. Ve zbytku lokalit nebyl tento jev prokázán. Důležitý fakt je, že v citované studii byly sbírány plody jiných druhů růže (*R. dumalis* Bechst., *R. dumalis* hybrid, *R. rubiginosa* L. a *R. spinosissima* L.), které rostly v jiných klimatických podmínkách na území Švédska, a použili odlišné analytické metody, proto se výsledky mohou lišit.

Největší hodnota obsahu karotenoidů byla naměřena v lokalitě Podolské schody – Praha (32,94 ug/g, Příloha č. 8), jedná se o nejvíce znečištěnou naměřenou lokalitu v Praze, ale samotná oblast patří k nejméně znečištěným. Při přepočtu hodnoty vychází suma karotenoidů na 3,29 mg·100 g<sup>-1</sup>. Studie zaměřená na množství karotenoidů v růži šípkové, pěstované na organické farmě v Litvě, ukázala, že jejich šípky dosahovaly hodnoty 8,67 mg/100 g. Karotenoidy se stanovovaly ze zmražených šípků, které obsahovaly nejen češule, ale i semínka a pro samotnou determinaci karotenoidů byla použita HPLC metoda (Medveckienė et al. 2020).

Vyšší hodnoty chlorofylů byly naměřeny v lokalitách Benzina (Mladá Boleslav), Březiny (Děčín) a Vrapická (Kladno), které byly zařazeny do lokalit se sníženou zátěží těžkých kovů. Dle Shakya et al. (2008) se při akumulaci těžkých kovů (olovo, zinek a měď) snižuje obsah chlorofylů v mechu. Stejný jev popsal i Li et al. (2010) u pěstované zeleniny jako je špenát, brukev čínská, rajčata apod. Tento trend je možné vyzorovat i u naměřených hodnot zmiňovaných oblastí. Lokalita Obecnice (Příbram) je jediná lokalita, kde tento jev

nebyl pozorován, v oblasti Praha pak dosahují všechny lokality podobné hodnoty obsahu chlorofylů.

## 6.2 Kalorimetrie

Nejvyšší spalné teplo s popelem ( $Q_+$ ) a spalné teplo bez popelovin ( $Q_-$ ) bylo naměřeno v lokalitách Březiny – Děčín ( $Q_+ = 14,31$  kJ/g;  $Q_- = 15,34$  kJ/g) a Benzina – Mladá Boleslav ( $Q_+ = 14,27$  kJ/g ;  $Q_- = 15,80$  kJ/g). Dle Paine (1971) by měl obsahovat 1 g suché rostlinné biomasy průměrně 16,74 kJ/g. Nejblíže se k této hodnotě přibližují zmíněné lokality.

Dle Kuklová et al. (2014) se zvyšuje obsah popelovin v rostlinách, které se vyskytují ve znečištěných oblastech díky antropogenní aktivitě. Lokalita Benzina byla nejméně znečištěná v oblasti Mladá Boleslav a zároveň obsahovala nejméně karotenoidů (15,43 nmol/g), přesto vykazovala nejvyšší hodnoty spalného tepla. Na druhou stranu zde byly naměřeny nejvyšší hodnoty celkového chlorofylu v celé oblasti (30,81 nmol/g). Lokalita Březiny patří také k nejméně znečištěné lokalitě v oblasti Děčín a vykazuje také průkazně vyšší hodnotu obsahu celkového chlorofylu (40,14 nmol/g) a to tak, že je nejvyšší z celé oblasti. Obsah karotenoidů v této lokalitě není významně vysoký. Dle Hnilička et al. (2020) může být energie biomasy ovlivněna botanickým druhem, genotypem, a zda je rostlina zemědělskou plodinou či roste v divoké přírodě. Studie rovněž ukázaly (Kuklová et al. 2019), že rostliny vyskytující se dál od dálnice, tedy od potenciálního znečištění, vykazují vyšší hodnoty energie, než urostlin vyskytující se v menší vzdálenosti od dálnice. To by potvrzovalo zjištění této bakalářské práce u lokalit, kde byla zjištěna menší kontaminace šípku těžkými kovy jako je Benzina (Mladá Boleslav), Březiny (Děčín), Vrapická (Kladno). V lokalitách Podolské schody (Praha) a Kovohutě (Příbram) zjištění nepotvrzuje. Jak uvádí Hnilička et al. (2015), stresové faktory mohou mít za určitých podmínek pozitivní vliv na produkci protektivních látek. Během jejich biosyntézy může docházet ke vzniku produktů s vyšší energií, které by mohly případně vysvětlit nárůst v těchto lokalitách.

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, zda míra kontaminace sbíraných plodů růže šípkové z vybraných lokalit ovlivňuje obsah jejich pigmentů a spalného tepla.

Díky zjištěným hodnotám bylo zjištěno, že některé lokality, které byly primárně vybrané jako znečištěné (Děčín – Benzina), byly méně zatížené těžkými kovy než lokality čisté (Děčín – Řepov). Přestože některé výsledky statistiky neukázaly průkazné výsledky, u tří z pěti hodnocených měst nebo jejich okolí byl pozorován trend, že vyšší obsah chlorofylů v plodech růže šípkové se vyskytoval u méně zatížených oblastí. Zjistilo se, že vyšší obsah těžkých kovů má rovněž u většiny vzorků spíše negativní vliv na energii šípku. Tento fakt byl také potvrzen u těchto tří lokalit. Nepodařilo se prokázat platný vztah s obsahem karotenoidu v šípcích a obsahem těžkých kovů na jejich povrchu.

Pro potvrzení a zjištění dalších vztahů mezi obsahovými látkami plodů růže šípkové a jejich znečištění, by bylo zapotřebí nasbírat větší a rozmanitější vzorky v terénu. Hypotéza, že vliv znečištění na pigmenty šípků v případě karotenoidů potvrzena nebyla, nicméně byla pozorována závislost vyššího obsahu chlorofylů a spalného tepla na méně kontaminovaném prostředí.

U žádného vzorku také nebylo vyhodnoceno rizikové množství těžkých kovů, které udává Český lékopis 2017. Vzhledem k tomu, že však nebyla použita předepsaná metodika stanovení, nelze přesněji určit možnou míru kontaminace celého plodu.

Tato bakalářská práce může posloužit jako zdroj informací o růži šípkové, těžkých kovech a jejich vlivu, a jako podklad pro další studie vztahů mezi zatíženým prostředím a obsahovými látkami rostlin.

## 8 Literatura

### Knižní zdroje

- AL-YAFEAI, Ahlam; MALARSKI, Angelika; BÖHM, Volker. Characterization of carotenoids and vitamin E in *R. rugosa* and *R. canina*: Comparative analysis. *Food chemistry*, 2018, 242: 435-442.
- ANDERSSON, Staffan C., et al. Carotenoid content and composition in rose hips (*Rosa* spp.) during ripening, determination of suitable maturity marker and implications for health promoting food products. *Food Chemistry*, 2011, 128.3: 689-696.
- AYAD, Radia; AKKAL, Salah. Phytochemistry and biological activities of algerian *Centaurea* and related genera. In: *Studies in Natural Products Chemistry*. Elsevier, 2019. p. 357-414.
- BABU, Pon Velayutham Anandh; LIU, Dongmin. Flavonoids and cardiovascular health. In: *Complementary and Alternative Therapies and the Aging Population*. Academic Press, 2009. p. 371-392.
- BHAVE, Apurva, et al. Assessment of rosehips based on the content of their biologically active compounds. *journal of food and drug analysis*, 2017, 25.3: 681-690.
- BRADL, Heike (ed.). *Heavy metals in the environment: origin, interaction and remediation*. Elsevier, 2005.
- CABALLERO, Benjamin; FINGLAS, Paul; TOLDRÁ, Fidel. *Encyclopedia of food and health*. Academic Press, 2015.
- ČSN EN ISO 18125: Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti. Praha: ÚNMZ, 2010.
- ERCISLI, Sezai. Chemical composition of fruits in some rose (*Rosa* spp.) species. *Food chemistry*, 2007, 104.4: 1379-1384.
- GALAL, Tarek M.; SHEHATA, Hanaa S. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. *Ecological Indicators*, 2015, 48: 244-251.
- GĂMAN, Amelia Maria; EGBUNA, Chukwuebuka; GĂMAN, Mihnea-Alexandru. Natural bioactive lead compounds effective against haematological malignancies. *Phytochemicals as lead compounds for new drug discovery*, 2020, 95-115.
- GAMBUŠ, F.; WIECZOREK, J. Pollution of fertilizers with heavy metals. *Ecological Chemistry and Engineering. A*, 2012, 19.4-5: 353-360.
- GERTRUD, Scherfová; CLAUS, Caspari. *Plané rostliny: a jejich zapomenutý význam*. Grada Publishing as, 2019.

- HALLMANN, Ewelina. The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, 92.14: 2840-2848.
- HAMPL, Richard; LAPČÍK, Oldřich. Jíte rádi flavonoidy. *Vesmír*, 1996, 75.3: 125.
- HAMURCU, Mehmet, et al. Mineral and heavy metal levels of some fruits grown at the roadsides. *Food and Chemical toxicology*, 2010, 48.6: 1767-1770.
- HNILIČKA, F.; HNILIČKOVÁ, H.; HEJNÁK, V. Use of combustion methods for calorimetry in the applied physiology of plants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2015, 120.1: 411-417.
- HNILIČKA, František, et al. Combustion calorimetry and its application in the assessment of ecosystems. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2020, 142.2: 771-781.
- IBRAHIM, Danyal, et al. Heavy metal poisoning: clinical presentations and pathophysiology. *Clinics in laboratory medicine*, 2006, 26.1: 67-97.
- INSLEY, Barbara M.; GRUFFERMAN, Steven; AYLIFFE, H. Edward. Thallium poisoning in cocaine abusers. *The American journal of emergency medicine*, 1986, 4.6: 545-548.
- KOHLMEIER, Martin (ed.). *Nutrient Metabolism. Food Science and Technology International Series*. Elsevier Science & Technology, 2003.
- KOLODZIEJ, Barbara, et al. Effect of traffic pollution on chemical composition of raw elderberry (*Sambucus nigra* L.). *Journal of Elementology*, 2012, 17.1.
- KUKLOVÁ, Margita, et al. Physiological reaction and energy accumulation of dominant plant species in fir-beech ecosystems affected by air pollution. *Folia Oecologica*, 2014, 41.1: 53-61.
- KUKLOVÁ, Margita, et al. The impact of highway motor vehicle traffic on energy stores in selected plant species. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 2019, 103.4: 604-609.
- LÉKOPIS, Český. Grada Publishing as, Praha 2017. 2017.
- LENNARZ, William J.; LANE, M. Daniel. *Encyclopedia of biological chemistry*. Academic Press, 2013.
- LEPŠ, Jan; ŠMILAUER, Petr. *Biostatistika*. Nakladatelství Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, 2016.
- LI, QuSheng, et al. Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2010, 73.1: 84-88.
- MEDVECKIENĚ, Brigita, et al. carotenoids, polyphenols, and ascorbic acid in organic rosehips (*Rosa* spp.) Cultivated in Lithuania. *Applied Sciences*, 2020, 10.15: 5337.
- MIHALJEVIČ, Martin; STRNAD, Ladislav; ŠEBEK, Ondřej. Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii. *Chemické listy*, 2004, 98.3: 123-130.

- NAVRÁTIL, Tomáš; ROHOVEC, Jan. Olovo: Těžká minulost jednoho z těžkých kovů. 2006.
- NJUS, David, et al. Ascorbic acid: The chemistry underlying its antioxidant properties. *Free Radical Biology and Medicine*, 2020.
- O'CONNELL, David William; BIRKINSHAW, Colin; O'DWYER, Thomas Francis. Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review. *Bioresource technology*, 2008, 99.15: 6709-6724.
- PAINE, Robert T. The measurement and application of the calorie to ecological problems. *Annual review of ecology and systematics*, 1971, 2.1: 145-164.
- PLÁTENÍK, Jan, et al. Volné radikály, antioxidanty a stárnutí. *Interní medicína pro praxi*, 2009, 11.1: 30-33.
- PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIEDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1989, 975.3: 384-394.
- PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIEDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1989, 975.3: 384-394."
- PREEDY, Victor R. (ed.). *Essential oils in food preservation, flavor and safety*. Academic Press, 2015.
- RADULESCU, Cristiana, et al. Assessment of heavy metals level in some perennial medicinal plants by flame atomic absorption spectrometry. *Romanian Reports in Physics*, 2013, 65.1: 246-260.
- RAO, V. Rajeswer. Antioxidant Agents. In: *Advances in Structure and Activity Relationship of Coumarin Derivatives*. Academic Press, 2016. p. 137-150.
- ROMAN, Ioana; STĂNILĂ, Andreea; STĂNILĂ, Sorin. Bioactive compounds and antioxidant activity of *Rosa canina* L. biotypes from spontaneous flora of Transylvania. *Chemistry Central Journal*, 2013, 7.1: 1-10.
- ROPCIUC, Sorina. The content of carotenoid pigments in *Rosa canina* L. fruit. *Food and Environment Safety Journal*, 2017, 10.4.
- RYSTONOVÁ, Ida, 1996. *Byliny a jejich lidové názvy*. Praha: Vodnář. ISBN 80-85255-82-0.
- SHAKYA, K.; CHETTRI, M. K.; SAWIDIS, T. Impact of heavy metals (copper, zinc, and lead) on the chlorophyll content of some mosses. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, 54.3: 412-421.

- SHARMA, Rajesh Kumar; AGRAWAL, Madhoolika. Biological effects of heavy metals: an overview. *Journal of environmental Biology*, 2005, 26.2: 301-313.
- SHERAMETI, Irena; VARMA, Ajit (ed.). *Detoxification of heavy metals*. Springer Science & Business Media, 2011.
- SCHUTZENDUBEL, Andres; POLLE, Andrea. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of experimental botany*, 2002, 53.372: 1351-1365.
- SKUHRAVÁ, Marcela a Václav SKUHRAVÝ. Hálky na rostlinách. *Živa*. 2010, **2010**(5), 3.
- SOCEANU, Alina. Presence of heavy metals in fruits from prunus genera. *Ovidius Univ. Ann. Chem*, 2009, 20: 108-110.
- Tuhá paliva - Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti: ČSN ISO 1928. Praha: ÚNMZ, 2010.
- ÚRADNÍČEK, L.; MADĚRA, P. a kol., 2001: Dřeviny České republiky. *Matice lesnická, Písek*.
- Vachová, P., Vach, M., & Najnarová, E. (2017). Using expansive grasses for monitoring heavy metal pollution in the vicinity of roads. *Environmental Pollution*, 229, 94-101
- VILLAESCUSA, Isabel, et al. Removal of copper and nickel ions from aqueous solutions by grape stalks wastes. *Water research*, 2004, 38.4: 992-1002.
- VILLAÑO, Débora; GARCÍA-VIGUERA, C.; MENA, Pedro. Colors: Health Effects. 2016.
- VILLAÑO, Débora; GARCÍA-VIGUERA, C.; MENA, Pedro. Colors: Health Effects. 2016.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, et al. *Adverse health effects of heavy metals in children*. World Health Organization, 2011.
- ZWOLAK, Aneta, et al. Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: A review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2019, 230.7: 1-9.

### **Elektronické zdroje**

- Beta-Carotene. *PubChem* [online]. Bethesda: National Library of Medicine, 2004 [cit. 2021-4-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/beta-Carotene#section=2D-Structure>
- Denní data dle zákona 123/1998 Sb.* [online]. ČHMÚ, 2020 [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>
- Denní data dle zákona 123/1998 Sb. Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-04-025]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb>
- DUDA, Michal. Fotografie les. *Michal Duda* [online]. 2006 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: [http://michal-duda.euweb.cz/fotografie\\_sylva.htm](http://michal-duda.euweb.cz/fotografie_sylva.htm)

- HYÁNEK, Josef. AKTIVNÍ VITAMIN B12 (HOLOTRANSKOBALAMIN) A DIAGNOSTICKÝ VÝZNAM JEHO STANOVENÍ. *Společnost pro výživu* [online]. Praha: Společnost pro výživu, 2011 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.vyzivapol.cz/aktivni-vitamin-b12-holotranskobalamin-a-diagnosticky-vyznam-jeho-stanoveni/>
- Kladno. *In - počasí* [online]. Plzeň: InMeteo [cit. 2021-4]. Dostupné z: [https://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/kladno/?&typ=srazky&historie\\_bar\\_mesic=6&historie\\_bar\\_rok=2020#monthly\\_graph](https://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/kladno/?&typ=srazky&historie_bar_mesic=6&historie_bar_rok=2020#monthly_graph)
- KUNT, Miroslav. ROSA CANINA - RŮŽE ŠÍPKOVÁ (ROSCAN). *Dendrologická databáze* [online]. Praha: ČZU, 2017 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: [http://hsmap.cz/app/czu/detail\\_view\\_druh.php?kod=roscan](http://hsmap.cz/app/czu/detail_view_druh.php?kod=roscan)
- LAŠTOVIČKOVÁ, Šárka. Růže šípková je nabitá vitamíny a minerály. *Portál pro aktivní seniory* [online]. Praha: Magazín i60.cz, 2017 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.i60.cz/clanek/detail/18220/ruze-sipkova-je-nabita-vitaminy-a-mineraly>
- Lutein. *PubChem* [online]. Bethesda: National Library of Medicine, 2004 [cit. 2021-4-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/xanthophyll>
- Pladias – databáze české flóry a vegetace [online]. c2021 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://pladias.cz/taxon/data/Rosa%20canina>
- Růže šípková - Šípky, které neuspí, ale pomohou při nachlazení* [online]. Praha, c2021 [cit. 2021-4]. Dostupné z: <https://www.leros.cz/ruze-sipkova>



## 9 Samostatné přílohy

**Příloha č. 1** – Mapa oblasti Mladá Boleslav (1 – Veselá, 2 – Jičinská, 3 – Řepov, 4 – Benzina)(zdroj mapy.cz)



**Příloha č. 2** – Mapa oblasti Děčín (1 – ul. 17. listopadu, 2 – Krokova, 3 – Útulek, 4 – Březiny) (zdroj mapy.cz)



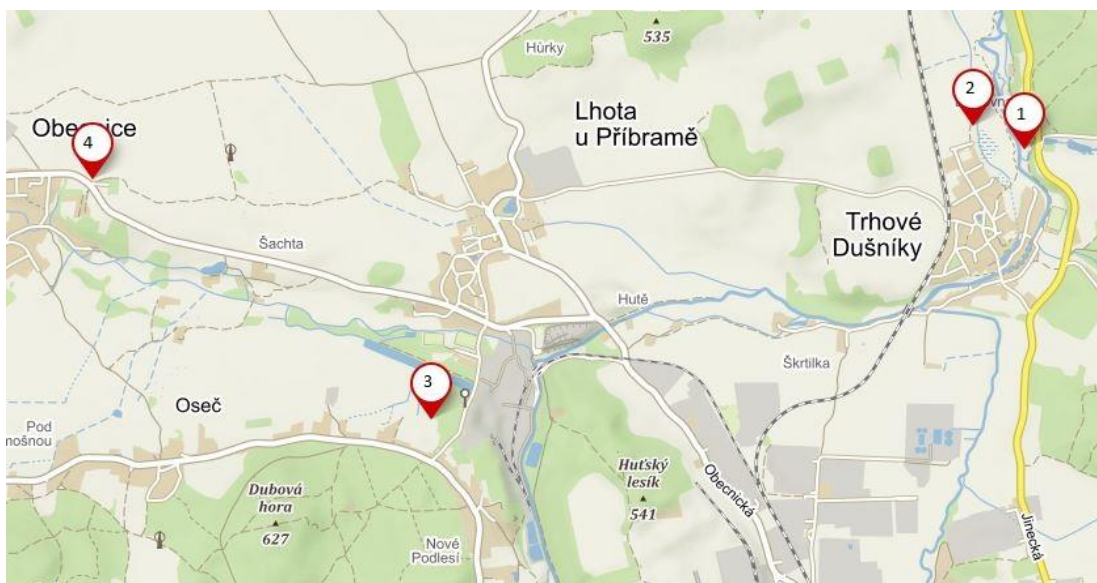
**Příloha č. 3** – Mapa oblasti Praha (1 – Nemocnice Krč, 2 - Kačerov, 3 – Podolské schody, 4 – Suchdol) (zdroj mapy.cz)



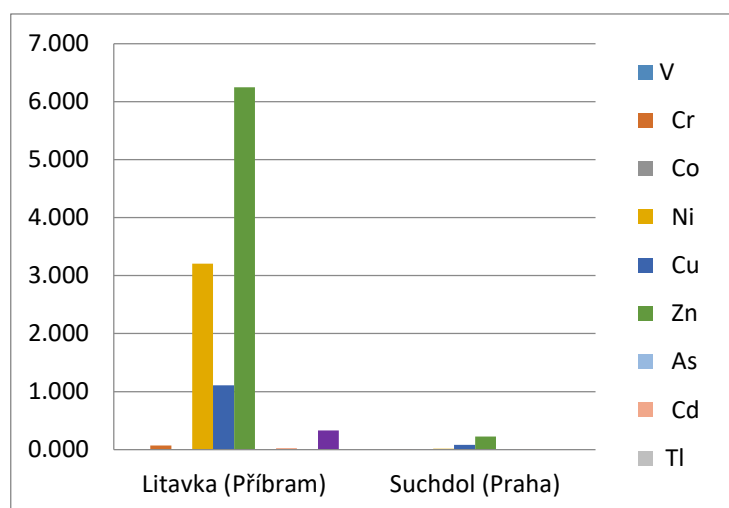
**Příloha č. 4** – Mapa oblasti Kladno (1 – Poldi, 2 – Železnice, 3 – Vrapická, 4 – Louka) (zdroj mapy.cz)



**Příloha č. 5** – Mapa oblasti Příbram (1 – Litavka, 2 – Trhové Dušníky louka, 3 – Kovohutě, 4 – Obecnice)



**Příloha č. 6** – Graf těžkých kovů v různých lokalitách ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )



**Příloha č. 7** – Tabulka hodnot obsahu pigmentů ve zkoumaných oblastech a lokalitách ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )

Oblast a lokalita sběru	chlorofyl <sub>a</sub>	chlorofyl <sub>b</sub>	celkový chlorofyl	karotenoidy
<b>Mladá Boleslav</b>				
Benzina 9	9.519	18.303	27.821	15.693
Veselá 10	4.715	15.738	20.454	20.162
Jičínská 11	5.291	18.662	23.952	18.712
Řepov 12	3.802	14.309	18.111	17.318
<b>Děčín</b>				
Útulek 13	4.324	17.318	21.643	29.194
ul. 17. listopadu 15	3.592	14.457	18.049	20.362



Krokova 16	5.365	15.904	21.270	25.458
Březiny 14	8.339	27.961	36.300	23.272
<hr/>				
Praha				
Podolské schody 1	2.882	11.233	14.115	32.942
Kačerov 2	3.188	11.882	15.070	20.245
Nemocnice Krč 3	3.080	12.022	15.101	21.685
Suchdol 4	2.866	11.343	14.209	26.744
<hr/>				
Kladno				
Poldi 20	5.078	19.300	24.378	22.181
Železnice 19	4.657	17.566	22.223	18.529
Vrapická 18	7.480	28.768	36.248	31.292
Louka 17	4.593	18.276	22.869	24.646
<hr/>				
Příbram				
Litavka 5	-	-	-	-
Kovohutě 7	3.267	9.972	13.239	24.648
Obecnice 8	3.244	9.212	12.456	30.521
Trhové Dušníky louka 6	6.106	19.883	25.989	16.727
<hr/>				
Hodnota p	0	0	0	0.133
Hodnota F (18, 38)	8.504	4.998	5.443	1.531
<hr/>				