

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Vliv aplikace selenu na jeho příjem a akumulaci  
makroživin rostlinami pšenice jarní**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Filip Hlaváček**

**Obor studia: Rostlinná produkce**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr. h. c.**

**Konzultant: Ing. Lukáš Kaplan, Ph.D.**

© 2020 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na *téma " Vliv aplikace selenu na jeho příjem a akumulaci makroživin rostlinami pšenice jarní "* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24.7.2020

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Pavlu Tlustošovi, CSc., dr. h. c. za poskytnuté odborné rady a vedení diplomové práce. Dále pak Ing. Lukášovi Kaplanovi, Ph.D. za pomoc při přípravě a organizaci experimentu a členům Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin za zpracování analýz vzorků.

# Vliv aplikace selenu na jeho příjem a akumulaci makroživin rostlinami pšenice jarní

## Souhrn

Česká republika je jednou z mnoha zemí světa, kde hrozí reálné riziko nedostatku selenu v lidské stravě. Selen je významný stopový prvek, který přispívá k optimální činnosti štítné žlázy a imunitního systému. Optimální příjem selenu pomáhá snižovat riziko infarktu a napomáhá při léčbě zánětlivých onemocnění, důležitý je i pro reprodukci, protože pozitivně ovlivňuje pohyblivost spermií. Průměrný příjem selenu u obyvatele České republiky je nedostatečný, činí 36  $\mu\text{g}/\text{den}$ . Doporučená denní dávka je pro muže 70  $\mu\text{g}/\text{den}$  a 55  $\mu\text{g}/\text{den}$  u žen. Těhotné a kojící ženy potřebují až 75  $\mu\text{g}/\text{den}$ .

Dle předem určených cílů práce byla zpracována literární část, která je zaměřena na charakteristiku selenu jako stopového prvku, obsah selenu v půdě i jeho význam pro rostliny, hospodářská zvířata a člověka. Dále jsou v rešerši shrnuty interakce selenu s organickou hmotou s dusíkem fosforem, draslíkem a sírou. Okrajově jsou zmíněna hnojiva s obsahem selenu a krátce je charakterizována pokusná rostlina pšenice.

V rámci experimentální části diplomové práce byl v roce 2019 založen vegetační nádobový experiment s pšenicí pěstovanou na dvou zeminách, kyselá půda typu černice z Doudleb nad Orlicí a neutrální zemina typu kambizem z Krásné Hory nad Vltavou. Každá ze zemin byla založena s pěti různými variantami hnojení ve čtyřech opakováních, na kterých byla následně pěstována pšenice jarní odrůdy Scirocco. Po ukončení experimentu byly odebrány vzorky ze všech částí pšenice, ale i vzorky zemin. Vzorky byly poté analyzovány a vyhodnoceny jejich chemické vlastnosti a složení.

Ze sledovaných variant dosáhla nejvyšší akumulace selenu varianta č. 4, kde bylo aplikováno 160  $\mu\text{g}$  selenu na nádobu, jejíž odběr celkovou biomasou pšenice pěstovanou na obou půdách činil u obou zemin téměř 150  $\mu\text{g}/\text{nádobu}$ . Nejvyšší obsah selenu v zrna byl zjištěn ve variantě s nejvyšší dávkou selenu 160  $\mu\text{g}/\text{nádobu}$  pěstované na zemině Doudleby nad Orlicí, kde jeho koncentrace dosahovala hodnoty 3,08 mg/kg sušiny.

Z výsledků je zřejmé že hnojení pšenice selenem je efektivní způsob, jak zvýšit jeho obsah v pšeničném zrna. Takto obohacené zrna lze využít jako potravu pro lidskou populaci nebo jako krmivo pro hospodářská zvířata a tím zvýšit jeho nedostatečný příjem.

**Klíčová slova:** pšenice jarní, selen, hnojení, makroživiny

# Influence of selenium application on its uptake and accumulation of macronutrients by summer wheat

## Summary

The Czech Republic is one of many countries in the world where there is a real risk of selenium deficiency in the human diet. Selenium is an important trace element contributing to the optimal functioning of the thyroid gland and the immune system. Optimal selenium intake helps to reduce the risk of heart attack and the treatment of inflammatory diseases. It is also important for reproduction, because it has a positive effect on sperm motility. The average intake of selenium in the population of the Czech Republic insufficient is 36 µg/day. The recommended daily dose is 70 µg/day for men and 55 µg/day for women. Pregnant and lactating women need up to 75 µg/day.

The literature part of the diploma thesis is focused on the characteristics of selenium as a trace element, the content of selenium in the soil and its importance for plants, livestock and humans. Furthermore, the research summarizes the interactions of selenium with organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur. Selenium-containing fertilizers and a brief description of experimental crop, wheat is present there..

As the experimental part of the diploma thesis, a vegetation pot experiment was established in 2019, growing wheat in soils from two localities, acid soil from Doudleby nad Orlicí and neutral soil from Krásná Hora nad Vltavou. Each of the soils was established with five different fertilization variants in four repetitions, on which spring wheat of the Scirocco variety was subsequently grown. At the end of the experiment, samples were taken from all parts of wheat as well as soil samples. The samples were then analyzed and their chemical properties and composition evaluated.

Of the monitored variants, the highest accumulation of selenium was achieved by variant 4th, where 160 µg of selenium was applied to the vessel, the collection of which by the total biomass of wheat grown on both soils was almost 150 µg / vessel. The highest content of selenium in grain was found in with the highest dose of selenium 160 µg / container grown on the soil of Doudleby nad Orlicí, where its concentration reached 3.08 mg / kg dry matter.

It is clear from the results that fertilizing wheat with selenium is an effective way to increase its content in wheat grain. The grain enriched in this way can be used as food for the human population or as feed for livestock and thus increase its insufficient intake.

**Keywords:** summer wheat, selenium, fertilization, macronutrients



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vědecká hypotéza a cíle práce</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Literární řešerše</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Charakteristika selenu jako stopového prvku</b>	<b>3</b>
<b>3.2</b>	<b>Selen v půdě</b>	<b>4</b>
<b>3.3</b>	<b>Význam selenu pro rostliny</b>	<b>6</b>
3.3.1	Metabolismus selenu v rostlinách	7
3.3.2	Příznivé účinky selenu pro rostliny	8
3.3.3	Pšenice jarní	9
3.3.4	Řepka olejka	12
<b>3.4</b>	<b>Význam selenu pro hospodářská zvířata</b>	<b>13</b>
<b>3.5</b>	<b>Význam selenu pro člověka</b>	<b>13</b>
3.5.1	Nedostatek selenu	15
3.5.2	Choroby z nedostatku selenu	16
3.5.3	Toxicita selenu pro člověka	16
<b>3.6</b>	<b>Faktory ovlivňující účinnost příjmu selenu rostlinami</b>	<b>17</b>
<b>3.7</b>	<b>Interakce selenu s organickou hmotou</b>	<b>17</b>
<b>3.8</b>	<b>Interakce selenu s makroživinami N, P, K, S</b>	<b>18</b>
3.8.1	Interakce s dusíkem	18
3.8.2	Interakce s fosforem	18
3.8.3	Interakce selenu s draslíkem	19
3.8.4	Interakce selenu se sírou	19
<b>3.9</b>	<b>Hnojiva s obsahem selenu</b>	<b>19</b>
3.9.1	Fugát	20
<b>3.10</b>	<b>Pšenice</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>Materiál a metody</b>	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>Obecně o experimentu</b>	<b>22</b>
4.1.1	Charakteristika použité odrůdy	22
4.1.2	Charakteristika odběrových míst a vstupních zemin	22
4.1.2.1	Zemina ze stanoviště Doudleby nad Orlicí	22
4.1.2.2	Zemina Krásná Hora nad Vltavou	23
4.1.3	Charakteristika použitých hnojiv	24
4.1.3.1	Minerální hnojení NPK	24
4.1.3.2	Fugát	24
4.1.3.3	Selen	25
4.1.4	Příprava nádob experimentu	25
4.1.5	Schéma experimentu	25

<b>4.2</b>	<b>Průběh a ošetření experimentu .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3</b>	<b>Metody stanovení chemických vlastností zemin, rostlin a fugátu.....</b>	<b>27</b>
4.3.1	Metody stanovení chemických vlastností zemin .....	27
4.3.1.1	Stanovení hodnoty pH a obsahu rozpustných solí.....	27
4.3.1.2	Stanovení obsahu dusíku a uhlíku v zeminách.....	28
4.3.1.3	Stanovení přijatelných forem prvků metodou podle Mehlicha III .....	28
4.3.1.4	Stanovení biodostupného a organicky vázaného podílu selenu v půdě .....	28
4.3.1.5	Stanovení pseudocelkového obsahu selenu ve vzorcích půd .....	28
4.3.2	Metody stanovení obsahů živin ve fugátu a rostlinných materiálech .....	29
4.3.3	Stanovení makroživin pomocí mikrovlnného rozkladu ve fugátu .....	29
4.3.4	Stanovení makroživin pomocí suchého nízkotlakového rozkladu v rostlinných materiálech .....	29
4.3.5	Stanovení obsahu uhlíku .....	29
<b>4.4</b>	<b>Statistické vyhodnocení experimentu .....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Výnosy biomasy .....</b>	<b>31</b>
5.1.1	Výnos kořenů .....	31
5.1.2	Výnos slámy .....	32
5.1.3	Výnos zrna .....	33
<b>5.2</b>	<b>Obsahy makroprvků v biomase.....</b>	<b>34</b>
5.2.1	Obsah dusíku.....	34
5.2.2	Obsah fosforu.....	34
5.2.3	Obsah draslíku .....	35
5.2.4	Obsah vápníku .....	36
5.2.5	Obsah hořčíku .....	36
5.2.6	Obsah síry .....	37
5.2.7	Obsah selenu .....	38
<b>5.3</b>	<b>Celkové odběry živin.....</b>	<b>39</b>
5.3.1	Odběry dusíku biomasou pšenice ze zeminy DNO .....	39
5.3.2	Odběry dusíku biomasou pšenice ze zeminy KH .....	40
5.3.3	Odběry fosforu biomasou pšenice ze zemin Doudleby nad Orlicí .....	41
5.3.4	Odběr fosforu biomasou pšenice pěstované na zemině Krásná Hora nad Vltavou 42	
5.3.5	Odběry draslíku biomasou pšenice ze zemin Doudleby nad Orlicí.....	43
5.3.6	Odběry draslíku biomasou pšenice ze zemin Krásná Hora nad Vltavou..	44
5.3.7	Odběry vápníku biomasou pšenice ze zemin DNO .....	45
5.3.8	Odběry vápníku biomasou pšenice ze zemin Krásná Hora nad Vltavou..	46
5.3.9	Odběry hořčíku biomasou pšenice ze zemin DNO.....	47
5.3.10	Odběr hořčíku biomasou ze zemin Krásná Hora nad Vltavou .....	48
5.3.11	Odběry síry biomasou pšenice ze zeminy Doudleby nad Orlicí.....	49



5.3.12	Odběr síry biomasou ze zemin Krásná Hora nad Vltavou.....	50
5.3.13	Odběry selenu biomasou pšenice ze zeminy Doudleby nad Orlicí .....	51
5.3.14	Odběry selenu biomasou pšenice ze zeminy Krásná Hora nad Vltavou ..	52
<b>5.4</b>	<b>Fyzikálně chemické vlastnosti zemin po skončení experimentu .....</b>	<b>53</b>
5.4.1	Hodnota pH zemin po skončení experimentu.....	53
5.4.2	Obsah prvků v zeminách po skončení experimentu .....	54
5.4.2.1	Obsah minerálního dusíku v zemině .....	54
5.4.2.2	Obsah fosforu .....	54
5.4.2.3	Obsah draslíku.....	55
5.4.2.4	Obsah vápníku.....	56
5.4.2.5	Obsah hořčíku .....	56
5.4.2.6	Obsah síry.....	57
5.4.2.7	Obsah selenu .....	58
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>62</b>
<b>8</b>	<b>Seznam literatury.....</b>	<b>63</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>73</b>
<b>10</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>
<b>10.1</b>	<b>Obrázky.....</b>	<b>I</b>
10.1.1	Fotografie z průběhu experimentu .....	I
<b>11</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>XI</b>

# 1 Úvod

Selen je nezbytným prvkem pro výživu lidí a zvířat, který se vyskytuje v prostředí. Ekosystémy, půda, biomasa i atmosféra obsahují stopové množství selenu v organických i anorganických formách. Nízké koncentrace selenu mohou vést k jeho deficitu populace lidské i zvířat. Jeho příjem v lidské stravě se ve značné míře řídí koncentracemi selenu v rostlinách, které mají schopnost přijímat selen pomocí kořenů z půdního prostředí. Mobilita selenu v systému půda-rostlina, má zásadní význam pro výživu nejen člověka, ale i veškerých ostatních živočichů. Zdroje selenu jsou na světě velmi vzácné, proto je nutné s nimi zacházet maximálně opatrně a s rozvahou.

Pšenice setá (*Triticum aestivum*) je dle osevní plochy celosvětově nejpěstovanější obilninou, díky její vhodnosti pro výrobu velkého spektra potravinářských výrobků. Má také vynikající pekařské vlastnosti, je velmi dobře využitelná pro krmné účely ale i pro průmyslové zpracování (Divišová et al. 2010). Význam pšenice vyplývá z jejího dominantního postavení mezi plodinami pěstovanými v České republice, kde zaujímá výměru kolem 800 000 ha. Přesto, že velká část ploch se využívá s cílem dosažení potravinářské kvality, tak je zhruba 60 % produkce zkrmeno hospodářskými zvířaty.

Jednou z možností zvýšení příjmu selenu lidmi a zvířaty je zpracování obohaceného zrna selenem, například pšeničného, pro potravinářské či krmné využití. Ač obiloviny vykazují nízké koncentrace selenu, konzumují se v lidské stravě ve velkém množství, a proto jsou jeho nejdůležitějším zdrojem. Při zpracování pšeničného zrna jsou výhodou minimální ztráty selenu v procesu mletí mouky či krupice v mlýnech, kdy ztráty jsou zpravidla do 10 % celkového obsahu selenu v zrna, důvodem je že až 96 % selenu se hromadí v endospermu.

## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Selen je stopový prvek, je součástí biomolekul, přispívá k optimální činnosti štítné žlázy a imunitního systému. Chrání rostliny před fyziologickým stresem, který je způsoben některými rizikovými prvky a dále proti stresu vůči suchu a chladu. V rámci zpracování diplomové práce byly předem vytyčeny následující hypotézy:

1) Předpokládáme, že s rostoucí dávkou selenu, se bude zvyšovat jeho příjem a obsah v biomase rostlinami pšenice jarní.

2) Předpokládáme, že rozdílný zdroj živin, minerální hnojivo NPK a fugát, ovlivní příjem selenu a jeho akumulaci v rostlinách pšenice jarní.

Cílem diplomové práce bude zhodnotit v literární části poznatky jednotlivých zahraničních i tuzemských autorů zabývajících se problematikou aplikace selenu na ornou půdu a jeho kumulaci jednotlivými částmi pletiv zemědělských plodin.

Cílem experimentální části modelového nádobového vegetačního experimentu, bude verifikovat a zhodnotit vliv aplikace selenu (ve formě selenanu) a hnojiva NPK na výnos biomasy pšenice jarní, obsah živin v jednotlivých částech rostlin (kořen, sláma, zrno) a odběr živin rostlinami pšenice. Dále bude cílem vyhodnocení obsahů přístupných živin ve vzorcích zemin odebraných na konci vegetačního experimentu.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Charakteristika selenu jako stopového prvku

Selen byl objeven švédským chemikem Jönsem Jakobem Berzeliem v roce 1817 a byl považován za toxický prvek pro lidi i hospodářská zvířata téměř 150 let. Průlom ve výzkumu selenu nastal v roce 1957, kdy se ukázalo, že přidání selenu do krmiva bránilo svalové dystrofii a cirhóze jater u laboratorních potkanů (Rayman 2000).

Dalším mezníkem ve výzkumu chování selenu bylo jeho objevení v enzymu glutathion peroxidáze, který v těle mění karcinogenně působící peroxid vodíku na neškodnou vodu a molekulární kyslík. Od této doby se důležitost a význam selenu pro lidi a hospodářská zvířata dostala do centra pozornosti a je považován za základní stopovou živinu v lidské i zvířecí stravě (Hartikainen 2005).

Selen je nezbytným prvkem pro lidi a zvířata, který se vyskytuje v prostředí, nebo v jejich bezprostředním okolí. Mořské a sladkovodní ekosystémy, půda, biomasa i atmosféra obsahují stopové množství selenu v organických i anorganických formách. Nízké koncentrace selenu na terestrických ekosystémech vedou k jeho nedostatku u lidské populace, zatímco vysoké koncentrace selenu ve vodách i v půdě, mohou být toxické a mohou vést až k úmrtí dotčeného organismu. Příjem selenu v lidské stravě se ve značné míře řídí jeho koncentracemi v rostlinách, které mají schopnost přijímat selen pomocí kořenů z půdního prostředí. Mobilita selenu v systému půda-rostlina, má tedy zásadní význam pro výživu nejen člověka, ale i veškerých ostatních živočichů (Lyons et al. 2003).

Zdroje selenu jsou na světě velmi vzácné, a proto je třeba s nimi zacházet opatrně a s rozvahou. Selen je získáván jako vedlejší produkt při těžbě a zpracování mědi a neexistují žádná ložiska, která by mohla být těžena pouze jako zdroj selenu. Většina selenu se vyrábí v USA, Japonsku a Kanadě, světová produkce v roce 1910 činila přibližně 5 t ročně a na přelomu tisíciletí se zvýšila na 2 300 t za rok. Má jedinečné vlastnosti jako polovodič, který tvoří cennou surovinu pro průmysl, je ale i nezbytnou živinu pro lidi, zvířata a v neposlední řadě může podporovat růst a kvalitu rostlin. Nedostatek selenu je považován za zdravotní problém pro 0,5 – 1 miliardu lidí na celé planetě (Campa et al. 1999). Ještě větší počet osob konzumuje méně selenu, než je nutné pro optimální ochranu před rakovinou, kardiovaskulárními chorobami a závažnými infekčními chorobami včetně HIV (Dworkin 1994).

Vlivem nedokonalé extrakce selenu při těžbě barevných kovů dochází po celém světě k jeho velkým ztrátám, proto by se měla těžba a následná extrakce zefektivnit. Pro budoucí

generace je zapotřebí zachovat jeho zdroje a nakládat s nimi co nejefektivněji (Haug et al. 2007).

Selen se přidává do některých minerálních hnojiv, ale pouze jeho malá část je přijímána rostlinou, jeho větší část zůstává v půdě, jako zásoba pro rostliny rostoucí na stanovišti delší dobu nebo je vyplaven, hlavně je v půdě imobilizován a přeměněn do rostlinám málo přístupných forem. Metody obohacování minerálních hnojiv selenem by mohlo být cestou, jak problém s nedostatkem selenu v potravě vyřešit (Aspila 2005).

Jednou z možností je zpracovávání obohaceného zrna selenem pro potravinářské využití (Bryszewska 2005).

### 3.2 Selen v půdě

Marček et al. (2009) udávají, že základní zdroj selenu je tvořen zemskou kůrou, ve které je nerovnoměrně obsažen. Průměrný obsah selenu v zemské kůře se pohybuje v rozmezí 0,05 – 0,09 mg/kg selenu.

Krauskopf (1985) uvádí koncentrace selenu pohybující se v rozmezí od 0 do 1 250 mg/kg v běžných půdách. Dle Zhu et al. (2009) se běžný obsah selenu v půdách pohybuje v rozmezí 0,01 – 2 mg/kg.

Většina evropských půd, zejména ve východní a jižní části oblasti Baltského moře, je na selen chudá. Toto území je poměrně rozsáhlé a zahrnuje pobaltské státy jako Polsko, Bělorusko, Dánsko, většinu Německa a část Švédska. Extrémně nízký obsah selenu v ornici (<0,1 mg/kg) a v podloží (<0,05 mg/kg) byl zjištěn v Lotyšsku, Litvě, Bělorusku a v severovýchodní části Polska (Reimann 2003).

Naopak nadměrné koncentrace selenu (>3 mg/kg půdy) se vyskytují v oblastech Severní Ameriky, některých oblastech Číny a Irska, zatímco nedostatečný obsah (<0,125 mg/kg) se vyskytuje na Sibiři, Novém Zélandu a v čínské oblasti Keshan (Broadley et al. 2006).

Důležitým faktorem pro příjem selenu rostlinami je jeho biologická dostupnost. Ta se obecně snižuje s klesající hodnotou a také s klesající hodnotou redoxního potenciálu půdního prostředí a zvýšeným obsahem organických látek. Jeho obsah v půdě silně závisí také na fyzikálních a agrochemických vlastnostech půd. Je prokázáno, že obsah selenu v půdě přímo koreluje s obsahem jílových částic, a proto je jeho nejnížší množství obsaženo v písčitých půdách (Lyons et al. 2003).

Ve vyvřelých metamorfovaných horninách a v sulfidických rudách se selen vyskytuje téměř a výhradně ve formě redukovaných Se 2-iontů v sulfidových minerálech železa, niklu, mědi, zinku a olova. Sedimentární horniny však mohou obsahovat oxidované formy, jako

selenan nebo seleničitan, což jsou také nejběžnější formy selenu v půdě, kromě organických sloučenin v živé organické hmotě (Krauskopf 1985).

Hlavní doplňování půdy selenem spočívá ve zvětrávání hornin, tedy alespoň v dlouhém časovém horizontu. Přírodní doplňování zásoby půdy selenem probíhá v koloběhu vody, kdy dochází k těkání dimethylselenidu a dalších jeho těkavých sloučenin z moře do atmosféry a následným spadem formou dešťů (Campos 1996).

Allein (1980) prokázal, že dešťové srážky bohaté na kyselinu sírovou jsou výborným zdrojem selenu, jehož koncentrace jsou u pobřeží vyšší než ve vnitrozemí.

Selen se v přírodě vyskytuje ve čtyřech valenčních stavech, a to jako selenid Se (-II), elementární selen Se (0), seleničitan Se (IV) a selenan Se (VI). Výskyt v půdě je řízen přírodními mechanismy, jako jsou mineralizace, imobilizace a volatilizace. Míra zastoupení jednotlivých mechanismů se liší v závislosti na formě selenu, mikrobiální aktivitě půdy, hodnotě pH půdního prostředí a redoxních podmínkách (Ros et al. 2016; Sharma et al. 2015).

Každá ze sloučenin selenu se liší biologickou dostupností v půdách. Seleničitan Se (IV) a selenan Se (VI) se nejčastěji využívají v zemědělských systémech hnojení, protože jsou rozpustné ve vodě, selenan je však rozpustný více a je tedy více dostupný rostlinám z půdního roztoku. Seleničitan obecně převažuje v kyselých půdách, vlhčích oblastech a má tendenci vytvářet silně vázané komplexy na povrchu oxidů kovů nebo v půdní organické hmotě. Tím vykazuje nízkou biologickou dostupnost (Versini et al. 2016; Ros et al. 2016).

Selen má tendenci být více dostupný v dobře provzdušněných alkalických půdách, kde se vyskytuje jako selenan. Hydroponické experimenty prokázaly, že rostliny upřednostnily příjem seleničitanu před selenanem, při aplikaci stejného množství těchto dvou forem anorganických sloučenin selenu (Versini et al. 2016).

Elementární selen Se (0) je ve vodě nerozpustný, a tudíž rostlinám nepřístupný. Naproti tomu selen v organických sloučeninách, například selenoaminokyseliny přítomné s valencí Se (-II), jsou vysoce biologicky dostupné. Akumulace této formy v rostlinách je vyšší, když se do hydroponického růstového média přidají selenoaminokyseliny ve srovnání s anorganickými formami selenu ve stejné koncentraci (Fernández-Martínez & Charlet 2009).

Selenoaminokyseliny jako takové mohou být výjimečně aktivní složkou v organických hnojivech a mohou být přidávány do půdy aplikací organických hnojiv obohacených o selen (Bañuelos et al. 2015).

Kromě toho mohou být organické sloučeniny selenu uvolňovány do půdy biologickým rozkladem rostlinných a mikrobiálních tkání. Sloučeniny tohoto prvku mohou být adsorbovány

různými půdními složkami a rozdílně distribuovány mezi půdní frakce. Rozdíl v podmínkách biologické dostupnosti lze nalézt v různých chemických sloučeninách selenu v půdě. Na základě jejich vazebné síly. Li et al 2017 to rozdělil do pěti frakcí ve vodě rozpustný, výměnný, vázaný na železo nebo oxid manganu, vázaný na organickou hmotu a reziduální selen. Různé frakce vykazují různé stupně mobility a biologické dostupnosti selenu (Li et al. 2017).

### 3.3 Význam selenu pro rostliny

Rostliny selen přeměňují především na selenomethionin (Se-met) a vnášejí ho do proteinu místo methioninu, protože genetický kód a kyselina t-RNA mezi nimi nerozlišuje. Selenomethionin se jako hlavní sloučenina selenu vyskytuje v obilninách, luštěninách a sóji, zatímco selenocystein se vyskytuje především jako selenokomplex v rostlinách obohacených selenem, jako je česnek, cibule či brokolice. Dle Whanger (2002) jsou hlavní sloučeniny selenan, seleničitan, selenocystein, selenomethionin.

Různé čeledi rostlin vykazují značné rozdíly v jejich schopnosti absorbovat a akumulovat selen v částech rostlin jako jsou kořeny, stonky, listy nebo zrna (Song et al. 2018). Například Száková et al. (2015) zjistili, že schopnost akumulovat selen je vyšší u čeledí *Asteraceae*, *Silenaceae* a *Cyperaceae*, naopak nižší schopnost akumulace selenu byly zjištěny u čeledí *Rosaceae*, *Campanulaceae* a *Urticaceae*.

Rostliny se rozdělují podle jejich schopností akumulace kovů a stopových prvků. Hyperakumulace je schopnost některých rostlin akumulovat mimořádně vysoké koncentrace kovů a stopových prvků, i když jsou pěstovány na půdách s nízkými koncentracemi. Schopnost hyperakumulace může dávat rostlinám jistou výhodu, například toleranci vůči suchu, alelopatii a chemickou obranu vůči býložravcům nebo patogenům. Je známo, že některé rostlinné druhy hyperakumulují více než jeden kov nebo prvky stopové. Nejméně 400 rostlin ve 45 čeledích jsou hyperakumulátoři v mnoha různých geografických lokalitách. Hyperakumulace selenu byla pozorována u rostlin čeledí *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae*, *Lecythidaceae*, *Fabaceae*, *Rubiaceae* a *Scrophulariaceae* vyskytujících se na seleniferních půdách (Cakir et al. 2012).

Rostliny se liší ve své schopnosti akumulovat selen a jsou rozděleny do tří skupin: primární akumulátory (hyperakumulátory), sekundární akumulátory a neakumulátory (Cakir et al. 2012).

**Skupina hyperakumulátorů** ve svých tkáních může hromadit stovky až tisíce miligramů Se/kg sušiny bez jakýchkoliv negativních účinků v rámci negativních fyto toxických účinků. Tato schopnost je způsobena hlavně snížením koncentrace intracelulárního selenu Se-Cys a Se-Met, které jsou normálně začleněny do proteinů. Zvláštní pozornost byla věnována rostlině *Astragalus bisulcatus*. Jedná se o nejlépe charakterizovaný akumulátor selenu. Tento rostlinný druh může ve svých výhoncích pojmout až 0,65 % Se v suché hmotě (Cakir et al. 2012).

**Skupina sekundárních akumulátorů** absorbují selen v poměru jeho obsahu dostupného v půdě. Rostliny jsou schopny akumulovat až několik stovek miligramů selenu. Do této skupiny patří zástupci druhů *Astragalus*, *Aster*, *Atriplex* a *Melilotus*, (Cakir et al. 2012).

**Do skupiny neakumulátorů** patří většina pícein a kulturních zemědělských plodin, stejně jako skupina trav. Obsahují méně než 25 mg Se/kg sušiny (Cakir et al. 2012).

### 3.3.1 Metabolismus selenu v rostlinách

Selen je chemicky podobný síře, konkuruje jí a je transportován uvnitř rostliny prostřednictvím transportérů síranů přítomných v membráně kořenových buněk. Po vstupu do rostliny se přemísť do listů a metabolizuje se v plastidech cestou asimilace síry na Se-Cys nebo Se-Met (Pilon-Smits & Quinn 2010).

Prvním krokem při asimilaci selenu je přeměna anorganického selenu na seleničitan. Vyžaduje postupné působení dvou enzymů známých jako ATP sulfurylasa a APS reduktáza. APS katalyzuje hydrolýzu ATP za vzniku adenosin fosfoselenátu, který je dále redukován na seleničitan enzymem sulfitreduktáza. U rostlin lze tento krok také redukovat glutathionem nebo glutaredoxiny (Wallenberg et al. 2010).

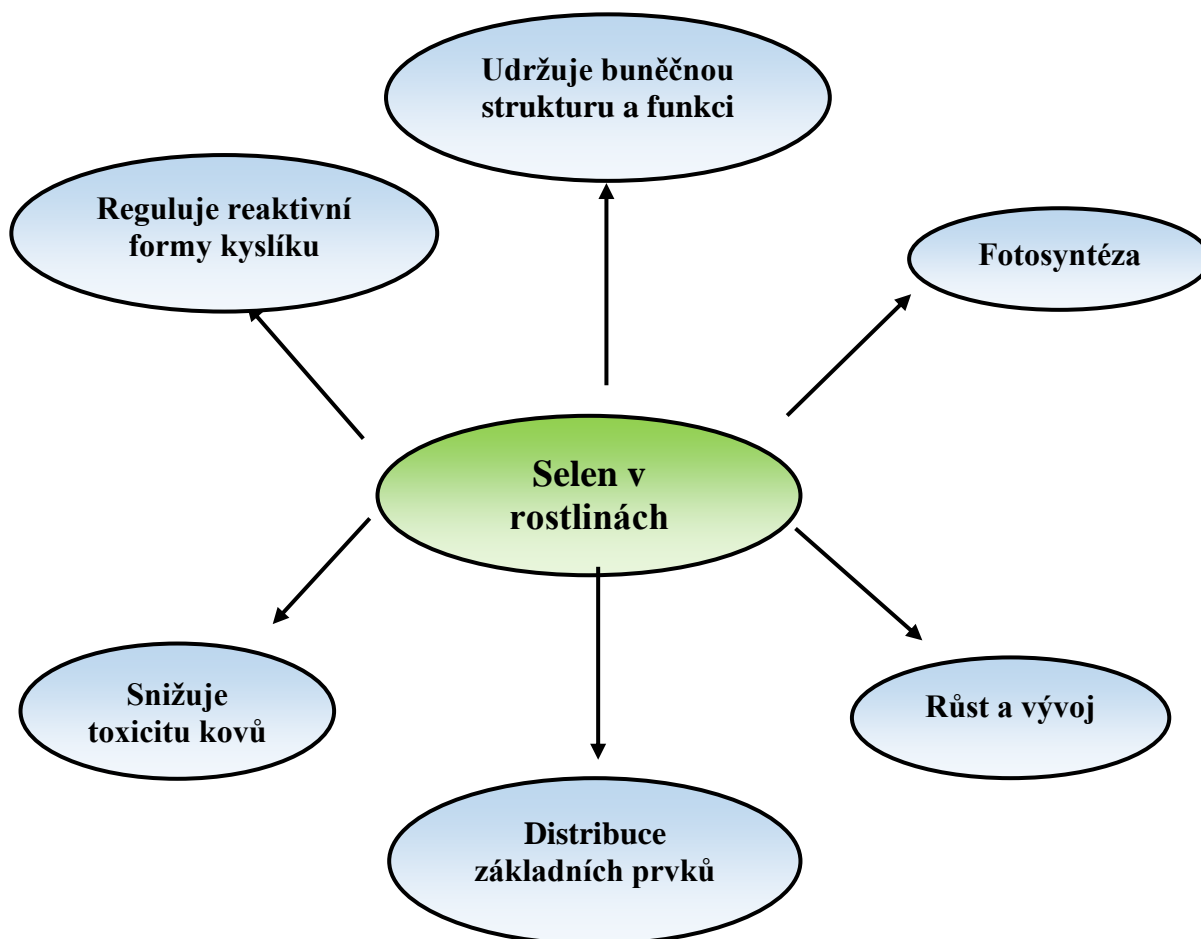
Seleničitan se potom převede na Se-Cys kondenzací s O-acetylserinem v přítomnosti enzymu cysteinové syntázy. V závislosti na rostlinných druzích a okolních podmínkách může být Se-Cys přeměněn na elementární Se v přítomnosti enzymu Se-Cyslyázy nebo může být methylován na methyl-Se-cystein (Me-Se-Cys) pomocí selenonocysteinové methyltranselenázy nebo může být převeden na selenomethionin (Se-Met) řadou dalších enzymů (Gupta & Gupta 2010).



### 3.3.2 Příznivé účinky selenu pro rostliny

Obrázek 1 charakterizuje stručný přehled významných rolí selenu v rostlinách. Z obrázku je patrný vliv obsahu selenu v rostlině na průběh činnosti fotosyntézy, na činnost a funkčnost buněčných membrán apod.

Obrázek 1 Příznivé účinky selenu na rostlinu (Gupta & Gupta 2017)



Ačkoliv se selen přímo neúčastní metabolických procesů důležitých pro správný růst a vývoj rostlin, ani není esenciálním prvkem, jeho optimální obsah v rostlinách může mít kladný vliv na eliminaci důsledků způsobených fyziologickými stresy (Nawaz et al. 2014).

Selen v nízkých koncentracích chrání rostliny před různými abiotickými stresy, jako je odolnost vůči chladu, odolnost vůči suchu, vysychání a stres vyvolaný vysokým obsahem kovů. Ve stresových podmínkách se produkují reaktivní druhy kyslíku v rostlinách, které narušují buněčné membrány a proteiny (Gupta & Gupta 2010).

### 3.3.3 Pšenice jarní

Hlavními zdroji příjmu selenu v lidské stravě jsou obiloviny, maso a ryby. Podle mnoha studií je hnojení obilovin selenem nákladově neefektivnější strategií pro zvýšení příjmu tohoto stopového prvku v potravě. Ačkoliv obiloviny vykazují nízké koncentrace selenu (mezi 10 - 550 µg/kg v závislosti na regionu) konzumují se v lidské stravě v relativně velkém poměru, a jsou proto jeho důležitým zdrojem (López-Bellido et al. 2019).

Pšenice má však další výhody, jako jsou minimální ztráty selenu v procesu získávání mouky či krupice v mlýnech, kdy ztráty jsou zpravidla do 10 % celkového obsahu v zrna (Sager 2006). To potvrzuje i Lyons et al. (2005), kteří tvrdí že asi 96 % selenu se hromadí v endospermu, což snižuje ztráty Se během zpracování zrna pro potravinářské využití. Uvádí však, že mletím pšeničného zrna na bílou mouku dochází ke ztrátám značného množství živin a zdravých prospěšných látek. Ve své studii zkoumali koncentrace selenu a dalších mikroprvků v různých částech pšeničného zrna. Obsah selenu v pšeničném zrna je znázorněn v následující tabulce č. 1.

**Tabulka 1. Obsah selenu v pšeničném zrna µg/kg (Lyons et al. 2005)**

Obsah selenu v pšeničném zrna	
Odrůda	Obsah v µg/kg
Krichauff	510 ± 72
Kukri	410 ± 49

Existují však i extrémní případy, kde pšeničné zrna z oblasti extrémně chudé na selen obsahuje Se pouze v rozsahu 3–7 µg Se/kg. Opačný případ s extrémně vysokým obsahem selenu je znám ze Severní a Jižní Dakoty v USA, kde pšeničné zrna může obsahovat až 2 000 µg Se/kg. Minimální obsah selenu v zrna se pak uvádí pro lidskou výživu v rozmezí mezi 50–100 µg Se/kg. Pšenice vyprodukovaná v Evropě obsahují méně selenu než v Severní Americe. Ve skandinávských zemích se selen vyskytuje v koncentracích ještě nižších, pohybující se v rozmezí 7–18 µg Se/kg (Tamás et al. 2010).

Hlavním důvodem nízkého obsahu Se v zrna pšenice je malé množství biodostupného Se v půdách a třeba i nižší translokace Se z kořenů do nadzemní biomasy. Dalším z důvodů snížených koncentrací selenu v pšeničném zrna je zředovací efekt, tudíž v důsledku vyššího výnosu oproti kontrole se přijatý selen rozředí (Fan et al. 2008). To potvrzuje i Zhao et al. (2007), kdy zavlažování významně snížilo jeho obsah v zrna o 30–75 %, účinek byl pravděpodobně způsoben ředícím efektem v důsledku zvýšeného výnosu

zrna, konkurencí síranu přidaného do zavlažovací vody a zvýšených ztrát selenu z půdy vyplavením. Koncentrace v zrnu kolísala v rozmezí od 10 do 115 µg Se/kg (Zhao et al. 2007).

Příjem a obsah selenu se v pšeničném zrnu zvyšoval úměrně k množství aplikovaného selenanu, nikoli seleničitanu. Seleničitan však zvýšil jeho koncentraci a jeho absorpci oproti kontrole. Koncentrace selenu v zrnu, zejména seleničitanu byla vyšší při vyšší hodnotě pH. Jeho příjem z hnojiv NPK obohacených selenanem byl stejně vysoký jako u selenu aplikovaného samostatně. Účinek jeho aplikace byl příznivý v prvních dvou letech, ve třetím roce jeho účinnost klesla (Singh 1991).

Výsledky Duscay et al. (2009) ukázaly vliv aplikace zvyšujících se dávek selenu (0,05 mg, 100 µg a 200 µg/kg) do půdy v nádobových pokusech s NPK hnojením pšenice jarní na výnos biomasy (zrna, slámy a kořenů), kde byla pozorována akumulace selenu. Selen byl aplikován ve formě seleničitanu sodného a NPK ve formě ledku amonného s dolomitickým vápencem, kyseliny fosporečné a KCl. Výsledky ukázaly očekávaný indiferentní účinek zvyšujících se dávek selenu na výnos zrna, slámy a kořenů. Stupňované dávky jeho aplikace do půdy způsobily významné zvýšení obsahu selenu v sušině celé biomasy pšenice. Obsahy ve slámě, zrně a kořenech v jednotlivých variantách jsou znázorněny v tabulce č. 2 a 3.

**Tabulka 2. Obsah selenu v různých částech pšenice (Duscay et al. 2009)**

Rok	Varianta	Obsah Se (µg/kg)		
		Zrno	Sláma	Kořeny
2000	1	30	35	200
	2	45	40	220
	3	140	45	415
	4	818	99	980
	5	723	174	1350
2001	1	60	20	240
	2	50	110	250
	3	170	80	350
	4	570	180	840
	5	740	280	1400

**Tabulka 3. Jednotlivé varianty hnojení v nádobovém experimentu (Duscaj et al. 2009)**

Varianty hnojení		
Varianta	NPK g/nádobu	Se mg/kg
1	x	x
2	2g N + 0,4 g P + 1,6 g K	x
3	2g N + 0,4 g P + 1,6 g K	0,05
4	2g N + 0,4 g P + 1,6 g K	0,1
5	2g N + 0,4 g P + 1,6 g K	0,2

Hlavní formou selenu v pšeničném zrně je Se-methionin (cca 60 %), který je biologicky nejvhodnější pro lidskou výživu. Se-cystein, methyl-Se-cystein, selenan a seleničitan jsou v zrně zastoupeny v mnohem nižších koncentracích (Hart et al. 2011).

U pšenice ošetřené selenanem se ukázala jako dominantní forma selenu v kořenech selenan. Naopak, u přihnojení seleničitanem došlo k jeho přeměně na organické formy v kořenech a většina selenu v kořenech nebyla extrahovatelná vodou a pravděpodobně se již navázala do proteinů nebo jiných ve vodě nerozpustných forem. Seleničitany mohou být absorbovány fosfátovými transportéry v kořenech pšenice. Příjem seleničitanu je na metabolismu závislý aktivní proces a rychlost jeho příjmu byla podobná jako u selenanu. Seleničitan je v kořenech rychle asimilován do organických forem a má nízkou mobilitu při transportu xylemem. Naproti tomu selenan není snadno asimilován do organických forem, ale v transportu xylemem je vysoce mobilní (Li et al. 2008).

Selenan a seleničitan jsou dvě hlavní anorganické formy určené ke hnojení. Obě tyto formy se chovají odlišně, v kombinované aplikaci obou těchto forem selenu foliární aplikací na pšenici je převládající seleničitan, takže je přístupnější a zdá se, že inhibuje absorpci a transport selenanu. Selen má dvojí účinek na rostliny pšenice, při nízkých koncentracích působí jako stimulant růstu, zatímco při vysokých koncentracích snižuje prodloužení kořenů a mění příjem a translokaci živin NPK (Guerrero et al. 2014).

Manojlović et al. (2019) provedli polní experiment, ve kterém zkoumali vliv hnojení selenem na jeho příjem pšenicí ozimé i pšenicí jarní. Základní hnojení aplikovali 200 kg NPK 8:16:24 + 50 kg močoviny, následovala dvě přihnojení ledkem amonným, každé po 120 kg/ha. Pokus byl proveden ve čtyřech variantách:

**Tabulka 4. Jednotlivé varianty hnojení (Manojlović et al.2019)**

Varianta	Se g/ha ve formě Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Způsob hnojení
1	5	listová aplikace postřikem
2	10	listová aplikace postřikem
3	10	kapalná aplikace na povrch půdy
4	Bez aplikace Se	

Dle Manojlović et al. (2019) neměla aplikace selenu žádný vliv na výnos zrna. S tím však nesouhlasí výsledky Lara et al. (2019), kteří tvrdí že přihnojení pšenice dávkou 21 g Se/ha ve formě selenanu Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> podpořilo zvýšení rychlosti fotosyntézy, což pozitivně ovlivnilo metabolismus sacharidů zvýšením produkce škrobu, celkových rozpustných cukrů, což vedlo k zvýšení výnosu zrna.

Se stoupající dávkou selenu však stoupala i koncentrace selenu v pšeničném zrně, průměrně se u 1. varianty zvýšila 2,6x, u 2. varianty 4,6x a u 3. varianty 3,4x (Manojlović et al. 2019).

Pšenice je vhodná k přihnojování selenem v podobě kapalného hnojiva foliární aplikací, protože je schopná koncentrovat dostatečné množství selenu v zrnech, aniž by jeho příjem ovlivňoval růst (Lara et al. 2019).

V experimentu (Broadley et al. 2010) měla aplikace roztoku Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> významný účinek na koncentraci selenu v zrně pšenice. S každým gramem selenu aplikovaného na plochu se koncentrace v zrně u obou odrůd a ve všech čtyřech lokalitách zvýšila. Ani při nejvyšší dávce 100 g Se/ha nebyla zaznamenána žádná fytoxicita selenu na porost pšenice.

Foliární aplikace selenem obohaceného hnojiva ve fázi prodlužování BBCH 31 se jeví jako pravděpodobně nejúčinnější možnost hnojení. Pro jarní výsev plodin je možnost hnojení před setím, zde je však zapotřebí aplikovat větší množství selenu než u foliární aplikace (Curtin et al. 2010).

Scalania et al (2019) prokázali že pšeničné zrně nashromáždilo přibližně 12 % z celkového rozpustného selenu v půdě.

### 3.3.4 Řepka olejka

Řepka (*Brassica napus* L.) je jednou z nejdůležitějších plodin produkující olejnatá semena na světě, je považována za třetí největší zdroj jedlého oleje po palmě olejné a sóje. Řepka je s nejnižším obsahem nasycených mastných kyselin jedním z nejdůležitějších zdrojů

rostlinných olejů s pozitivním přínosem pro lidské zdraví. Má však i průmyslové a farmaceutické využití (Carvalho et al. 2006).

Rostliny řepky jsou během růstového období vystaveny různým typům biotických a abiotických stresů, což snižuje jejich produkci (Kumar 2014). Produkce řepkového oleje je negativně ovlivněna tepelných stresem v pozdním období a nízkými srážkami, olejnatost však podporuje nadprůměrné srážky a podprůměrné teploty (Kutcher et al. 2010).

Selen zvýšil růst rostlin řepky, výnos semen a zlepšil kvalitu řepkového oleje (Pilon-Smits et al. 2009).

### **3.4 Význam selenu pro hospodářská zvířata**

Selen je nenahraditelný v mnoha funkcích živých organismů, jeho sloučeniny mají antioxidační a protirakovinné vlastnosti jsou pro lidstvo zájmem. Selenoaminokyseliny jsou zodpovědné za většinu hlášených biomedicínských účinků (Dumont et al. 2006). Působí jako katalytické centrum několika selenoproteinů, jako je glutathionperoxidáza, thioredoxin reduktáza a jodtyronin-dejodinázy, proto je důležitý při odstraňování volných radikálů, ochraně před oxidačním stresem a posílení imunitního systému (Gupta & Gupta 2017).

Selen je důležitým stopovým prvkem pro všechna hospodářská zvířata včetně skotu. Funguje hlavně jako antioxidant, jeho doporučený denní příjem ve výživě skotu se odhaduje na 100 µg/kg suché hmoty krmiva, u dojnic je tato dávka zvýšena až na 300 µg/kg (Suttle 2010).

Krmiva s vysokým obsahem fermentovaných sacharidů, dusičnanů, síranů nebo vápníku negativně ovlivňují využití selenu obsaženého v krmivu hospodářských zvířat v organismu. Doplnění krmiva o zdraví prospěšné mikroelementy jako je selen může snížit výskyt metritidy a ovariálních cyst v období po otelení (Mehdi & Dufrasne 2016).

Vitamín E je jedním z faktorů ovlivňujících potřebu selenu v krmivu. Strava s nízkým obsahem vitamínu E může zvýšit množství selenu nezbytného pro prevenci anomálií ve vývoji embrya (Mehdi & Dufrasne 2016). Zust et al. (1996) dále uvádí, že nedostatek selenu a současně nedostatek vitamínu E může vést k poruše metabolismu štítné žlázy, což má za následek snížení rychlosti růstu plodu, sníženou plodnost a pokles odolnosti vůči chorobám. Zvýšení plodnosti při přidávání selenu do krmiva je připisováno snížení pravděpodobnosti potratu během prvního měsíce po inseminaci (Ceko et al. 2015).

### **3.5 Význam selenu pro člověka**

Lidský metabolismus vyžadují více než 22 základních minerálních prvků, které mohou být dodávány do těla vhodnou stravou (Graham et al. 2007).

První znalosti o biologickém významu selenu se objevili v 50. letech 20. století, kdy zjistili, že bakterie *Eschericia coli* potřebuje selen pro svůj metabolismus. Zvířata mají selenoproteiny ve svých biologických strukturách. Rostliny jsou však schopné transformovat selen do mnoha různých nízkomolekulárních látek, které mají podobnou hodnotu jako vitamíny pro nás a zvířata. Díky nimž jsme schopni využít stopové množství selenu rozpuštěného v půdním profilu, který rostliny přijmou přes kořeny a zabudovaly do svých struktur (Whanger 2002).

K příjmu selenu, coby stopového prvku, dochází hlavně prostřednictvím stravy, zejména konzumací mořských ryb, mořských plodů a masa hospodářských zvířat, přičemž je příjem omezen na několik desítek mikrogramů denně. Dalšími zdroji expozice selenu je kouření cigaret, pobyt ve znečištěném ovzduší ve městech a průmyslových oblastech, nebo ho lze přijímat i jako doplněk stravy v různých preparátech (Vincenti et al. 2018).

Nedostatečná výživa selenem je daleko závažnější než jeho toxicita, z tohoto důvodu je nutné se zabývat otázkou obohacování rostlin selenem a pozorovat vzájemné vztahy mezi obsahem selenu v půdě a jeho následnou akumulací v rostlinách i na vyšších úrovních potravního řetězce. V oblastech nízkého obsahu selenu v půdách je nutné tuto otázku řešit právě na začátku potravního řetězce (Duscaj et al. 2009).

Optimální obsah dostupného selenu je důležitý pro mnoho životních funkcí člověka, včetně centrálního nervového systému, reprodukčního ústrojí mužů, endokrinního systému, funkce svalů, kardiovaskulárního systému a imunitního systému. Mnoho onemocnění imunitního systému člověka může být ovlivněno obsahem selenu v těle, jeho formami, ale i jeho metabolismem (Avery & Hoffmann 2018). Dle Li et al. (2017) působí selen jako antioxidant a má schopnost detoxikace organismu od těžkých kovů.

Může hrát významnou roli při tlumení škodlivých účinků těžkých kovů jako například kadmia (Cd) nebo rtuti (Hg), a metaloidů, jako je arsen (As). Toxicita indukovaná těmito prvky je často spojena s tvorbou reaktivních forem kyslíku. Selen prostřednictvím příslušných selenoproteinů s antioxidační aktivitou, například glutathionperoxidáza a thioredoxin reduktáza (TrxR), je schopen neutralizovat reaktivní formy kyslíku a zabránit tak oxidačnímu poškození buněk (Zwolak & Zaporowska 2012).

Dle Tinggi (2003) mají obsahy selenu v potravinách tendenci odrážet jeho hladiny v půdách. Vysoké příjmy selenu jsou známy z Venezuely, USA a z oblastí Číny se seleniferními půdami, což potvrzuje i Kipp et al. (2015) v tvrzení, že lidé v USA a Kanadě netrpí nedostatky selenu ve stravě, naopak problém s nedostatkem selenu řeší lidé v Číně,

Evropě, Rusku a na Novém Zélandu, jelikož půdy v těchto zemích mají v některých oblastech nízkou hladinu selenu, a tudíž rostliny pěstované na zdejších půdách mají nízký obsah selenu.

Tabulka č. 5 znázorňuje odhadovaný příjem selenu člověkem ( $\mu\text{g}/\text{den}$ ) z vybraných zemí (Tinggi 2003).

**Tabulka 5. Odhadovaný denní příjem selenu člověkem**

Země	Se ( $\mu\text{g}/\text{den}$ )
Belgie	28-61
Kanada	98-224
Čína oblast nízkého Se (Keshanova choroba)	36
Čína oblast vysokého Se (selenóza)	240-6990
Finsko	
Před použitím hnojiva s Se	25
Po použití hnojiva s Se	67-110
Řecko	110
Maďarsko	41-90
Japonsko	104-127
Nový Zéland	17-80
Anglie	13-43
Skotsko	30-60
USA	60-160
Venezuela	200-350
Mexiko	61-73

### 3.5.1 Nedostatek selenu

Nedostatek selenu v lidské stravě způsobuje zpomalení růstu, zhoršený metabolismus a abnormality ve funkci štítné žlázy (Reeves & Hoffman 2009).

Hranice mezi doporučenou a toxickou dávkou selenu je velmi úzká (Tan et al. 2002). Obecně však platí, že optimální doporučená dávka selenu se u zdravého člověka pohybuje



v rozmezí 55–70 mg/den. Nejvyšší tolerovaná dávka Se se u dospělých pohybuje okolo 400 mg/den, úroveň příjmu selenu nad tuto hranici jsou pro člověka považovány za toxické (Shreetan & Dooley 2019).

Paraorechy jsou považovány za nejdůležitější zdroj selenu pro lidskou populaci a jednu z možných potravin, které alespoň částečně eliminují jeho nedostatek (Curtin et al. 2010).

### **3.5.2 Choroby z nedostatku selenu**

Příznaky těžkého nedostatku selenu souvisí především s funkcí srdečních svalů a pevností kostí a kloubů. Mírný nedostatek vede ke snížení plodnosti u mužů, nedostatek selenu způsobuje zvýšené riziko projevu rakoviny prostaty. Projevy artritidy, zkrácených prstů na nohou a rukou nebo poruchy růstu má za následek nedostatek selenu u dětí ve věku 5–13 let, kdy tělo velmi rychle roste (Shreetan & Dooley 2019).

Jednou z chorob je Keshanova choroba, nabyla svého názvu podle oblasti v Číně, kde je obsah selenu v půdě na extrémně nízké úrovni. Předpokládá se, že je důsledkem nedostatečného příjmu selenu v kombinaci s virovou infekcí, kdy nedostatek selenu v těle mění neškodné viry na viry agresivní. Je to typ srdeční nemoci, vrozené vady, spojená se srdečním selháním, které se projevuje nízkým krevním tlakem a zrychleným pulzem, následuje totální selhání srdečního oběhu a postupná bradykardie až asystolie (Schomburg 2016).

Selen je nezbytný pro tvorbu testosteronu a pro tvorbu a vývoj normálních spermií. Pánské pohlavní žlázy obsahují velké koncentrace selenu, žlázy jsou zodpovědné za plodnost – čili i za kvalitu spermií (Ambroziak et al. 2017).

Dle Schomburg (2016) má nedostatek selenu za následek depresivní náladu a nepřátelské chování. Během stavu nedostatku dostává mozek prioritní zásoby, což ukazuje na význam selenu pro zdraví mozku. Koncentrace selenu v mozku u pacientů s Alzheimerovou chorobou je 60 % koncentrace zdravých jedinců (Lyons et al. 2003).

### **3.5.3 Toxicita selenu pro člověka**

Toxicita selenu je problém v oblastech se seleniferními půdami (Duscaj et al. 2009). Selen nelze považovat jen jako pouze esenciální prvek, při příjmu vyšších dávek působí toxicky pro lidský organismus. Dávky přesahující 700 µg/den mohou způsobovat otravy selenem a selenózy. Ta byla zjištěna v některých oblastech Číny, zejména v oblastech se seleniferními půdami, kde lidé přijímají více jak 900 µg/den. K nadlimitní konzumaci může dojít i předávkováním nebo chybou ve výrobě výživových doplňků (Zwolak & Zaporowska 2012).

Jak uvádí MacFarquhar (2010) ve Spojených státech amerických nastala otrava selenem u lidí, kteří požili tekutý doplněk stravy, obsahoval 200krát vyšší obsah selenu než deklarované množství na etiketě.

Nadměrný příjem selenu z potravy je škodlivý, což může vést k některým příznakům selenózy, včetně kožních onemocnění, praskání nehtů, vypadávání vlasů a dýchacích potíží (Rayman 2012).

### **3.6 Faktory ovlivňující účinnost příjmu selenu rostlinami**

Obsah selenu v zrně i slámě pšenice může být úspěšně snížen aplikací sádry do půdy. Aplikace 0,8 t/ha sádry zůstává účinná pro snížení akumulace selenu po dobu 2 let po aplikaci. Došlo ke snížení obsahu selenu o 60 % v zrně a o 49 % v pšeničné slámě. Tato metoda může účinně snížit riziko toxicity selenu z jeho nadměrné konzumace u lidí a zvířat, kteří jsou závislí na stravě založené na pšenici pěstované v seleniferních oblastech (Dhillon & Dhillon 2000).

Koncentrace a biologická dostupnost různých forem selenu závisí na vlastnostech půdy, jako je pH, obsah organických látek, struktura, mikrobiální aktivita a přítomnost konkurenčních iontů a organických sloučenin. Aplikace posklizňových zbytků plodin nebo hnoje hospodářských zvířat na půdu ošetřenou selenanem snížila akumulaci selenu v různých částech rostlin 7 - 10x (Ajwa et al. 1998).

Přidáním hnoje skotu v kombinaci se seleničitanem a selenanem snížilo příjem rostlinami obou iontů v hlinité půdě, což bylo vysvětleno obsahem organických kyselin s nízkou molekulární hmotností ve hnoji, které soupeřily o sorpční místa se selenem (Øgaard et al. 2006).

Podle Dhillon et al. (2010) organické Se sloučeniny jsou snadno metabolizovány v půdě a relativně velké množství methylovaného selenu může být uvolněno volatilizací z půdy doplněné organickým selenem. Aplikace hnoje a čerstvé rostlinné organické hmoty (zeleného hnojení) pomohla zvýšit rychlost odpařování selenu ze seleniferních půd.

### **3.7 Interakce selenu s organickou hmotou**

Půdní organická hmota je důležitou součástí půdního profilu, která udržuje selen v půdě. Podíl organické hmoty je ovlivněn typem půdy nebo jejím specifickým obsahem v půdě. Vyšší obsah se obvykle vyskytuje v rašelinných půdách, kde by měl být zdůrazněn vliv organické hmoty na mobilitu selenu, zatímco mobilita selenu je řízena hlavně adsorpcí seleničitanu na oxyhydroxidy Fe, Al a Mn, v sopečných půdách, červených zeminách a dalších půdách chudých na organickou hmotu (Li et al. 2017).

Floor et al. (2011) zjistili, že bylo mobilizováno méně selenu v kyselých půdách bohatých na organickou hmotu než v půdách neutrálních. Vysoký obsah organické hmoty (6-10 %) měl za následek nižší dostupnost půdního selenu pro rostliny (Wang and Gao 2001).

Aplikace organické hmoty na zemědělskou půdu podporuje desorpci fixního selenu a tím zvýšit jeho biologickou dostupnost (Wijnja and Schulthess 2000). Organická hmota vyprodukovaná na půdách s vysokým obsahem selenu, například pšeničná sláma, může být aplikována na půdy s nízkým obsahem selenu. Ajwa et al. (2011) dokázali zvýšit obsah selenu v půdě o 1,5 mg Se/kg aplikací hnoje hospodářských zvířat krmených vojtěškou, která byla pěstována na seleniferní půdě. Použití seleniferních organických hnojiv poskytuje pomalu se uvolňující a dlouhodobý zdroj selenu a spolu s rozkladem organických materiálů v půdě slouží jako kvalitní zdroj živin pro pěstované rostliny.

### **3.8 Interakce selenu s makroživinami N, P, K, S**

#### **3.8.1 Interakce s dusíkem**

Koncentrace dusíku v kořenech i nadzemních částech okurky zůstaly na úrovni kontroly, s výjimkou významného snížení obsahu dusíku v rostlinách hnojených vysokými dávkami selenu ve formě seleničitanu  $60\mu\text{M}$ , v hydroponickém způsobu pěstování, byl zde tedy zaznamenán projev fyto toxicity (Hawrylak-Nowak et al. 2015).

Přihnojování pšenice dávkou 21 g Se/ha ve formě selenanu  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  podpořilo metabolismus dusíku, a tím se zvýšil obsah celkového přijatého dusíku biomasou (Lara et al. 2019).

#### **3.8.2 Interakce s fosforem**

Dle studie (Sanghun et al. 2011) se koncentrace selenu v zrna pšenice snížila, pokud bylo aplikováno hnojivo s obsahem fosforu na půdy s vysokou dostupností selenu. Jednalo se patrně konkurenci P-Se, konkrétně fosforečnan-seleničitan, při transportu selenu do kořenů z půdního roztoku. Bylo tedy zjištěno, že aplikace hnojiv s obsahem fosforu může ovlivnit obsah selenu v pšeničném zrna, a to i na půdách s jeho přirozeně vysokým obsahem. Tuto teorii potvrzuje i studie Liu et al. 2018, kde výsledky ukázaly, že rostoucí dávka fosforečnanu významně snížila koncentraci a akumulaci Se v kořenech, stoncích i listech pšenice ozimé. Zvýšení dávky P významně inhibovalo akumulaci Se ve stěně kořenových buněk, na druhou stranu ale zlepšilo distribuci Se v organelách a v tekuté frakci kořenových buněk.

Hydroponická aplikace seleničitanu v nízkých koncentracích 2-10  $\mu\text{M}$  udržovaly hladinu P na optimální úrovni. Dalším zvyšováním dávky seleničitanu se obsah P snižoval (Hawrylak-Nowak et al. 2015). Dle Li et al. (2008) fosfáty inhibují příjem seleničitanu kořeny pšenice.

### **3.8.3 Interakce selenu s draslíkem**

Seleničitan má větší účinek na absorpci K než selenát při expozici do 10  $\mu\text{M}$  Se. Při vyšších hladinách selenu nebyly však pozorovány žádné významné rozdíly mezi selenidem a selenanem při akumulaci K v kořenech. U nadzemní biomasy nebyla akumulace K také významně ovlivněna žádným ošetřením selenem (Guerrero et al. 2014).

### **3.8.4 Interakce selenu se sírou**

Selen se velmi podobá síře v chemických vlastnostech s ohledem na atomovou hmotnost, vazebnou energii, ionizační potenciál a afinitu elektronů. Kromě toho existuje také rozdíl v síle kyseliny mezi těmito dvěma prvky. Například selan ( $\text{H}_2\text{Se}$ ) je silnější kyselina než sulfan. (Tinggi 2003).

## **3.9 Hnojiva s obsahem selenu**

Hnojení rostlin selenem je vhodně pro klasické hnojení v zemědělské prvovýrobě. Zvýšení příjmu selenu rostlinami může zajistit šlechtění rostlin, i genetické inženýrství. Právě tyto možnosti mají být nejúčinnější způsoby, jak zvýšit příjem selenu rostlinou a následně lidmi (Lyons et al. 2004).

Dle Yli-Halla (2005) vzniká při hnojení selenem problém, že rostlina je schopná přijmout jen malou část selenu, obvykle méně než 10 % aplikovaného množství, podle Lyons et al. (2004) až 18 %. Selen je přeměňován na nedostupné sloučeniny pro rostliny, a tak jeho příjem s časem klesá. Studie Curtin et al. (2006) provedená na Novém Zélandu udává, že hnojení selenem je nejúčinnější, pokud se aplikuje na půdu ve fázi intenzivního růstu rostliny, tedy na jaře.

Účinnost hnojení tímto prvkem závisí na formě dodaného selenu, dávce hnojiva, aplikační technice, načasování a převládajících agrochemických vlastnostech půdy. Většina aplikovaného selenu je zadržena v půdě, může dojít k jeho ztrátám proplavením, povrchovým odtokem nebo může tékat do atmosféry. Kontaminaci vody selenem mohou vznikat rizika pro vodní organismy, je tedy nutné dodržet pravidla pro jeho aplikaci (Li et al. 2017).

Biologická dostupnost selenu z půdy se velmi liší s různými agrochemickými vlastnostmi půdy a jejím složením. pH půdy a redoxní potenciál jsou klíčovými faktory odrážející biologickou dostupnost selenu. Obecně je selen více imobilizován v kyselých půdách. Mezi půdními složkami hrají rozhodující roli při určování biologické dostupnosti selenu (hydr)oxidy Fe, Al, Mn a obsah půdní organické hmoty.

Nejlepším příkladem obohacování hnojiv selenem je finská praxe přidávání selenanu sodného do všech vícesložkových hnojiv, ke kterému dochází od roku 1984. Zpočátku byly využívány dvě hladiny přísad: 6 mg Se/kg hnojiva pro trvalé travní porosty a 16 mg Se/kg hnojiva pro ornou půdu. Tato hnojiva obohacená selenem poskytovala přibližně 3 g Se/ha na lučních porostech a 8 g Se/ha na orné půdě. Koncentrace selenu v rostlinách, živočišných produktech, půdách, vodě a lidských tělech byly pravidelně sledovány a výsledky byly použity k úpravě množství přísady Se do hnojiv. Od roku 1998 byl přírůstek selenu upraven na 10 mg Se/kg hnojiva (Hartikainen 2005).

Tato praxe podstatně zvýšila koncentrace selenu v plodinách, zelenině, ovoci a živočišných produktech. Například průměrný obsah selenu ve všech obilných zrnech vyprodukovaných ve Finsku se zvýšila z  $<10\mu\text{g/kg}$  sušiny před hnojením na nyníjších  $250\mu\text{g/kg}$  u jarní pšenice a  $50\mu\text{g/kg}$  u pšenice ozimé. V důsledku toho se průměrný příjem selenu ve Finsku zvýšil z  $25\mu\text{g/kg}$  za den na  $110\mu\text{g/kg}$  denně. Rovněž se zvýšil podíl obilovin na celkových příjmech selenu z 9 % na 26 % (Hawkesford and Zhao 2007).

### 3.9.1 Fugát

S nárůstem počtu bioplynových stanic digestát nabývá na významu v zemědělství. Jeho vlastnosti i následné využití se intenzivně zkoumají (Tambone et al. 2010). Složení digestátu závisí především na původu vstupních surovin a době zdržení (Dubský a Kaplan 2012). Kromě živinového složení je nutné sledovat i obsah těžkých kovů, aby se zajistila jejich bezpečná aplikace na zemědělskou půdu v souladu s legislativou (Teglia et al. 2011). Fugát vznikající mechanickým odseparováním digestátu je zředěný roztok obsahující celé spektrum živin ve formě přijatelné pro rostliny. Fugát je charakteristický svým nízkým obsahem sušiny pohybujícím se v rozmezí 0,8 – 4 % a lze ho využít pro přímou aplikaci na půdu jako kapalné hnojivo (Kolář et al. 2010). Fugát obsahuje dusík především ve formě minerální, rostlinám přístupný. S ohledem na množství vody jsou koncentrace přístupného N v původní hmotě nízké a pohybují se v rozmezí jen 0,15 – 0,30 %, obsah draslíku je obdobný a obsah dalších živin je významně nižší (Kolář et al. 2009). S ohledem na tyto problémy se intenzivně hledají způsoby, jak fugát upravit a zlepšit ekonomiku jeho aplikace. S ohledem na vysokou hodnotu pH,

významné zastoupení dusíku v amonné formě a vysoké skupenské teplo vody jsou možnosti úpravy tohoto slabého roztoku živin omezené (Tlustoš et al. 2014).

Fugát je charakterizován jako oddělená kapalná část z digestátu patřící mezi hnojiva se snadno přístupným dusíkem rostlinám. Má však vysoký obsah vody v kombinaci s nízkou koncentrací živin, lze ho ale aplikovat přímo na zemědělskou půdu v blízkosti farmy nebo bioplynové stanice. Přeprava fugátu na velké vzdálenosti je vzhledem k aplikačnímu objemu neekonomická. Dusík ve fugátu je rostlinám přístupný, ovšem jeho obsah je jen 0,15 – 0,30 %. Obsah sušiny ve fugátu se pohybuje v rozmezí 1 až 3 % (Kocatürk-Schumacher et al. 2019).

Dle Malat'áka a Vaculíka (2008) fugát obsahuje dobrou koncentraci živin (dusíku, fosforu a draslíku). Přísun živin z fugátu do půdy je ve výši N 5,1 kg/t, P 1,4 kg/t a K 3,4 kg/t. Fugát lze aplikovat zejména na povrch orné půdy, nejlépe na rovných pozemcích. Zapravení fugátu do půdy je nutné provést do 24 hodin, výjimkou je řádkové přihnojování porostů.

### 3.10 Pšenice

Celosvětová produkce obilí se za posledních 50 let dramaticky zvýšila, a to především v důsledku intenzivnějšího hospodaření s půdou a zavádění nových technologií. V budoucnu lze očekávat silné zvýšení poptávky po obilninách, což může být dosaženo spíše další intenzifikací zemědělství než rozšiřováním výměr zemědělských ploch. Skutečný výnos zrna se v některých oblastech přibližuje maximální možné výši, zatímco v jiných regionech nejsou dosaženy výnosy v maximální výši, a proto mají vyšší potenciál pro zintenzivnění (Neumann et al. 2010).

Pšenice setá (*Triticum aestivum*) je dle osevní plochy celosvětově nejpěstovanější obilninou především vhodností pro výrobu širokého spektra potravinářských výrobků, a tak je její využití univerzální. Dále má vynikající pekařské vlastnosti z důvodu obsahu kvalitního lepku a jako krmná obilnina. Velmi dobře je využitelná i pro průmyslové zpracování, například pro výrobu lihu a škrobu (Divišová et al. 2010).

Význam pšenice vyplývá z jejího dominantního postavení mezi plodinami pěstovanými v naší republice, kde zaujímá plochu zhruba 800 000 ha. Vlivem rozdílných podmínek dochází k meziročnímu kolísání produkce zrna. Přesto, že se velká část osevních ploch využívá s cílem dosažení potravinářské kvality, největší podíl kolem 60 % se zkrmuje (Prugar 2008).

## 4 Materiál a metody

### 4.1 Obecně o experimentu

V experimentální části diplomové práce probíhal v roce 2019 vegetační nádobový experiment s pěstováním pšenice jarní. Pro pěstování byly odebrány vzorky zemin ze dvou lokalit Doudleby nad Orlicí a Krásná Hora nad Vltavou. Odebrané 2 vzorky byly následně analyzovány pro stanovení chemických vlastností. Naším cílem bylo odebrání zeminy s kyselým a neutrálním pH, to se povedlo a Doudleby nad Orlicí byly vybrány pro odběr kyselé půdy a Krásná Hora nad Vltavou pro odebrání neutrální zeminy.

#### 4.1.1 Charakteristika použité odrůdy

Pro vegetační nádobový experiment byla vybrána odrůda jarní pšenice Scirocco od společnosti KWS. Odrůda je charakterizována jako poloraná odrůda elitní (E) jakosti se středně vysokým až vysokým výnosem zrna v ošetřené i neošetřené variantě pěstování. Rostliny středně vysoké až vysoké, středně odnožující s velkým až velmi velkým zrnem. Její předností je vysoký obsah dusíkatých látek v zrně.

#### 4.1.2 Charakteristika odběrových míst a vstupních zemin

**Tabulka 6. GPS odběrových lokalit**

Doudleby nad Orlicí	GPS: 50.107452, 16.261382
Krásná Hora nad Vltavou	GPS: 49.604687, 14.277463

##### 4.1.2.1 Zemina ze stanoviště Doudleby nad Orlicí

Doudleby nad Orlicí se nacházejí v okrese Rychnov nad Kněžnou ve východních Čechách. Nadmořská výška je 285 m.n.m. Doudleby spadají do 5. klimatického regionu, charakteristickým mírně teplým a mírně vlhkým podnebím. Hlavní půdní jednotka odběrového byla černice modální na sprašových hlínách, středně těžká, bez skeletu s příznivými vláhovými podmínkami, tato oblast spadá do řepařské výrobní oblasti. Pozemek, kde probíhal odběr, patří rodinné farmě Ivo Hlaváček, hospodařící na 141 ha orné půdy a 14 ha trvalých travních porostů. Hlavní zastoupení má v podniku ozimá pšenice o výměře 90 ha, dále sója 30 ha, řepka a jarní ječmen.

U zeminy odebrané z této lokality byla zjištěna hodnota pH 5,54 ve výluhu  $\text{CaCl}_2$ , sušina zeminy byla stanovena 81,1 %. Obsah psudocelkového obsahu selenu extrahovaného pomocí lučavky královské byl  $661 \pm 15$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  zeminy. Obsah celkového dusíku v zemině byl stanoven 4,39 mg/kg zeminy, dusík v amonné formě byl zastoupen 0,84 mg/kg a nitrátový 3,55 mg/kg.

**Obrázek 2. Odběrové místo Doudleby nad Orlicí**



#### 4.1.2.2 Zemina Krásná Hora nad Vltavou

Krásná Hora nad Vltavou se nachází v oblasti Středního Povltaví v okrese Příbram, cca 80 km jižně od Prahy, s členitým terénem s nadmořskou výškou 350 – 450 m.n.m. Převládá zde 5. klimatický region, tedy stejný jako v Doudlebách nad Orlicí. Liší se však hlavní půdní jednou, která v tomto místě odběru byla kambizem modální, středně těžká bez skeletu s dobrými vláhovými podmínkami. Subjekt obhospodařující odběrový pozemek je ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s. Brámborářsko – ovesná výrobní oblast je dána vyšší nadmořskou výškou a nižší průměrnou roční teplotou. Podnik se skládá z několika částí, celkem obhospodařuje 5 260 ha zemědělské půdy, hlavní zaměření má podnik na živočišnou výrobu – chovají na 4 200 kusů skotu. Družstvo provozuje také 2 bioplynové stanice. Krásná Hora a Petrovice.



Zemina z Krásné Hory nad Vltavou měla hodnotu pH 6,84 ve výluhu  $\text{CaCl}_2$ , sušina byla stanovena 83,17 %. Obsah pseudocelkového selenu byl v této zemině stanoven na  $587 \pm 23 \mu\text{g/kg}$ . Zjištěná hodnota celkového obsahu dusíku v zemině 9,30 mg/kg byl tvořen 8,4 mg/kg nitrátovou formou dusíku a 0,89 mg/kg amonnou formou dusíku.

**Obrázek 3. Odběrové místo Krásná Hora nad Vltavou**



### 4.1.3 Charakteristika použitých hnojiv

#### 4.1.3.1 Minerální hnojení NPK

Před založením experimentu byl v laboratořích Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin připraven roztok NPK o následujících hmotnostních koncentracích: 100 g/L N, 19,4 g/L P a 86,1 g/L K. Roztok byl připravován z dusičnanu draselného ( $\text{KNO}_3$ ), dihydrogenfosforečnanu amonného  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  a dusičnanu amonného  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

#### 4.1.3.2 Fugát

Fugát použitý při založení byl odebrán ze ZD Krásná Hora nad Vltavou z bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou. Přímo u bioplynové stanice se nachází separátor, který separuje digestát na separát a fugát. Fugát byl odebrán do plastového barelu o objemu 20 litrů, převezen na ČZU a následně u něho byly provedeny analýzy pro zjištění jeho chemických vlastností. Obsah sušiny ve fugátu byl stanoven 5,34 %.

**Tabulka 7. Obsah přístupných živin ve fugátu Krásná Hora nad Vltavou**

N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
3800 ± 282	13840 ± 477	61261 ± 1 769	36 569 ± 948	12 959 ± 445	7 726 ± 268

#### 4.1.3.3 Selen

Při založení vegetačního experimentu byl do vybraných variant zemin přidán v různých dávkách selen ve formě selenanu  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ , jde o bezvodou formu, výrobce Sigma-Aldrich, Německo), jedná se o bílou krystalickou látku ve formě jemného prášku, který je velmi dobře rozpustný ve vodě.

#### 4.1.4 Příprava nádob experimentu

Z každé z lokalit v Doudleběch nad Orlicí a Krásné Hory nad Vltavou bylo odebráno přibližně 200 kg zeminy z půdního profilu do 20 cm, byla na místě proseta a naložena do plastových pytlů. Zeminy byly odvezeny do areálu České zemědělské univerzity do prostor katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Následovalo rozprostření na plachtu a proschnutí materiálu. Po důkladném usušení následovalo prosátí zeminy na síť o zrnitosti 5 mm. Do každé nádoby bylo naváženo 5 kg suché zhomogenizované zeminy, která byla následně smíchána s roztokem NPK, selenanem a fugátem.

Výsev semen pšenice jarní probíhal ručně dne 20.3.2019, do každé nádoby bylo zaseto 30 semen, následovala zálivka všech nádob demineralizovanou vodou a umístění na venkovní stanoviště, které se v případě deště zakrylo automatickým zastřešením z macrolonu, aby nedošlo k vyplavení živin.

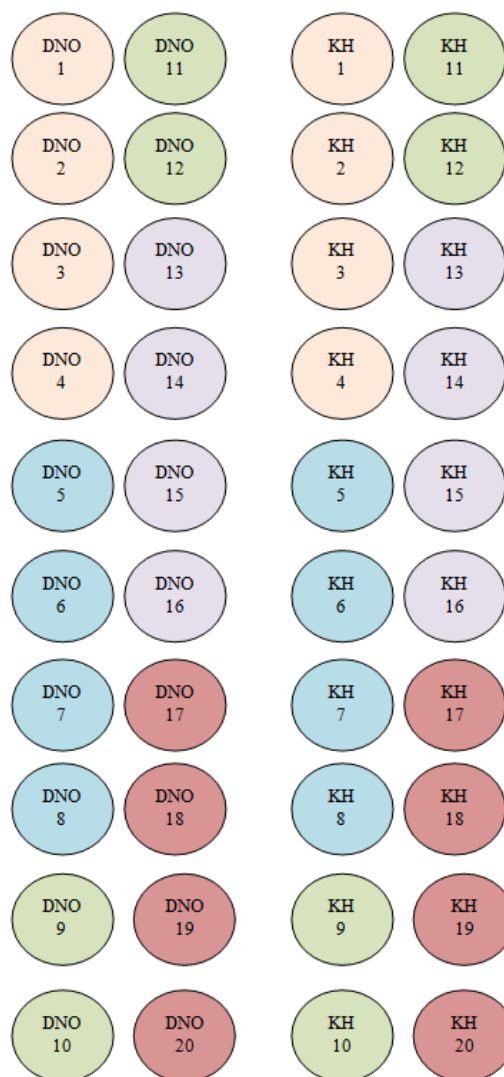
#### 4.1.5 Schéma experimentu

Experiment byl založen do 40 identických plastových nádob s 5 kg zeminy v každé nádobě. 20 nádob se zeminou z lokality Doudleby nad Orlicí a 20 nádob zeminou z Krásné Hory nad Vltavou. Jednotlivé varianty hnojení (dávky hnojiva) byly stejné na zeminách Doudleby nad Orlicí i Krásná Hora nad Vltavou.

**Tabulka 8. Jednotlivé varianty hnojení**

Varianta	Hnojení	Dávka/nádobu	Počet opakování
<b>1 DNO</b>	Nehnojená	Nehnojená	4
<b>2 DNO</b>	NPK	1 g N + 0,19 g P + 0,86 g K	4
<b>3 DNO</b>	NPK + Se1	1 g N + 0,19 g P + 0,86 g K + 32 µg Se	4
<b>4 DNO</b>	NPK + Se5	1 g N + 0,19 g P + 0,86 g K + 160 µg Se	4
<b>5 DNO</b>	Fugát + NPK + Se 0,5	1/2 fugát + 1/2 NPK + 16 µg Se	4
<b>1 KH</b>	Nehnojená	Nehnojená	4
<b>2 KH</b>	NPK	1 g N + 0,19 g P + 0,86 g K	4
<b>3 KH</b>	NPK + Se1	1 g N + 0,19 g P + 0,86 g K + 32 µg Se	4
<b>4 KH</b>	NPK + Se5	1 g N + 0,19 g P + 0,86 g K + 160 µg Se	4
<b>5 KH</b>	Fugát + NPK + Se 0,5	1/2 fugát + 1/2 NPK + 16 µg Se	4

**Obrázek 4. Schéma experimentu**



## **4.2 Průběh a ošetření experimentu**

Během celého vegetačního období probíhalo kontinuální ruční odplevelování všech nádob experimentu. 24.4. 2019 byly vyjednoceny všechny nádoby na 20 rostlin na nádobu, zároveň byl proveden postřik přípravkem Nurelle D v koncentraci 0,2 % proti kohoutkovi, který způsobuje značné poškození listů rostlin. Další nezbytný zásah přípravkem na ochranu rostlin ATLAS v koncentraci 0,1 % byl proveden 21.5. 2019 proti houbové chorobě padlí pšeničnému.

Dne 15.7. 2019 probíhala sklizeň, oddělily se samotné klasy a sklídila sláma, všechna biomasa z jednotlivých nádob byla umístěna do oddělených vzorkovacích papírových sáčků a sáčky popsány dle varianty a opakování.

Po sklizni následovalo rušení experimentu, které spočívalo v odebrání vzorku zeminy z každé nádoby, a následném proprání kořenů demineralizovanou vodou pro odstranění všech zbytků zeminy, pro zachování pouze čistých kořenů, které byly usušeny.

Oddělování semen od klasů, tedy klasický „výmlat“ probíhal na technické fakultě na katedře zemědělských strojů. První fází tohoto procesu bylo vymláčení semen z klasů na pokusné bubnové mlátičce. Po vymláčení klasů se materiál přesunul do laboratorní podtlakové čističky zrna, kde bylo odděleno zrno od plev a na výstupu bylo dokonale čisté zrno bez příměsí, či zbytků klasů.

## **4.3 Metody stanovení chemických vlastností zemin, rostlin a fugátu**

### **4.3.1 Metody stanovení chemických vlastností zemin**

Vyhodnocení veškerých vzorků zemin probíhalo na pracovišti Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů v Praze. Vzorky byly upraveny dle metodických postupů jednotlivých analýz.

#### **4.3.1.1 Stanovení hodnoty pH a obsahu rozpustných solí**

Z chemických vlastností byla stanovena hodnota pH a obsah rozpustných solí ve vodném výluhu vzorku a demineralizované vody v poměru 1: 10 (v/w). Bylo naváženo 10 g suchého vzorku do plastových PE lahvíček s víkem a zalito 100 ml destilované vody. Měření bylo realizováno kalibrovaným pH metrem a kalibrovaným konduktometrem pod označením HI 991300 Hanna Instruments.

#### 4.3.1.2 Stanovení obsahu dusíku a uhlíku v zeminách

Stanovení dusíku v čerstvé hmotě bylo provedeno kolorimetrickou metodou na analyzátoru SKALAR SANPLUS SYSTEM (Skalar, Holandsko). Pro stanovení bylo naváženo 5 g čerstvé zeminy, k které bylo přidáno 100 ml  $\text{CaCl}_2$ . Třepání vzorků probíhalo 2 hodiny, následovala ponechání kyvet v klidovém stavu po dobu 2 hodin. Poté byly vzorky zfiltrvány přes filtrační papír do kyvet použitých pro přímou analýzu

#### 4.3.1.3 Stanovení přijatelných forem prvků metodou podle Mehlicha III

Vzorky zemin se extrahovaly kyselým roztokem, roztok obsahoval fluorid amonný pro zvýšení rozpustnosti různých forem fosforu vázaných na hliník. Dusičnan amonný příznivě ovlivňuje desorpci draslíku, vápníku a hořčíku. Kyselá reakce roztoku je nastavena kyselinou dusičnou a octovou. Přítomnost EDTA zajišťuje dobrou uvolnitelnost významných mikroelementů. 5 g navážka zeminy vzorku byla přesunuta do třepací lahve spolu s 50 ml extrakčního činidla, třepání probíhalo 10 minut. Vzniklá suspenze byla přefiltrována přes papírový filtr. Filtrát byl následně změřen na atomovém nebo emisním spektrometru.

#### 4.3.1.4 Stanovení biodostupného a organicky vázaného podílu selenu v půdě

Do čistých polypropylenových centrifugačních zkumavek o objemu 15 ml, bylo naváženo 2,5 g suché půdy prosáté přes síto o hrubosti 2 mm. Dále bylo do zkumavek pipetováno 10 ml 0,1 mol/L  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  a suspenzi třepali na překlopné třepačce (Multi RS-60, BIOSAN, Lotyšsko) po dobu 4 hodiny při 30 ot/min, následně byla suspenze odstředěna při 2 680 x g (C-28-A, BOECO, Německo) po dobu 10 minut, a nakonec zfiltrována přes filtrační papír KA-5 /papírna Pernštějn, Česká republika). Získaný filtrát byl naředěn 6-krát (1ml filtrátu + 5 ml  $\text{H}_2\text{O}$ ) a uchován pro stanovení Se technikou ICP-MS.

#### 4.3.1.5 Stanovení pseudocelkového obsahu selenu ve vzorcích půd

Do čistých křemenných zkumavek o objemu 35 ml bylo naváženo 0,5 g suché půdy, prosáté přes síto o hrubosti 2 mm, navažujeme s přesností na 0,1 mg. Do zkumavek se napipetovalo 6 ml lučavky královské, tj 1,5 ml koncentrované  $\text{HNO}_3$  a 4,5 ml koncentrované  $\text{HCl}$ . Do zkumavky bylo dále přidáno magnetické míchadélko s teflonovou povrchovou úpravou a zkumava se zavřela víčkem. Zkompletované zkumavky byly umístěny do mikrovlnného rozkladného zařízení (Discover SP-D, CEM Corp., USA) a temperovány na teplotu 180 °C po dobu 18-ti minut. Vychladlé vzorky se kvantitativně převedly do objemu 45 ml (do čisté 50 ml polypropylenové zkumavky) pomocí ultračisté  $\text{H}_2\text{O}$ . V naměřených

vzorcích se stanovuje koncentrace Se technikou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP – MS; Agilent 7 700x Agilent Technologies Inc., USA). Získané koncentrace byly přepočteny na navážku půdy.

#### **4.3.2 Metody stanovení obsahů živin ve fugátu a rostlinných materiálech**

Vyhodnocení veškerých rostlinných vzorků a vzorků fugátu probíhalo na pracovišti Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů v Praze. Vzorky byly usušeny při teplotě 35 °C, následně zhomogenizovány na mlýnku se sítím o velikosti 1 mm.

#### **4.3.3 Stanovení makroživin pomocí mikrovlnného rozkladu ve fugátu**

Mikrovlnný rozklad byl proveden v kyvetách, do kterých bylo naváženo 0,5 g vzorku. Poté byly vzorky zality 8 ml HNO<sub>3</sub> a 2 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, podrobeny mikrovlnnému rozkladu za zvýšené teploty a tlaku, a vzniklý mineralizát byl odpařen po 20 minutách.

Obsahy celkových živin byly stanoveny atomovou absorpční spektrometrií s plamenovou atomizací na přístroji Varian 280FS (Varian, Austrálie) a optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji Agilent 720 (Agilent Technologies Inc., USA).

#### **4.3.4 Stanovení makroživin pomocí suchého nízkotlakového rozkladu v rostlinných materiálech**

Mikrovlnný rozklad byl proveden v kyvetách, do kterých bylo naváženo 0,5 g vzorku. Poté byly vzorky zality 8 ml HNO<sub>3</sub> a 2 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, podrobeny mikrovlnnému rozkladu a vzniklý mineralizát byl odpařen po 20 minutách.

Obsahy celkových živin byly stanoveny atomovou absorpční spektrometrií s plamenovou atomizací na přístroji Varian 280FS (Varian, Austrálie) a optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji Agilent 720 (Agilent Technologies Inc., USA).

#### **4.3.5 Stanovení obsahu uhlíku**

Stanovení uhlíku bylo provedeno samotnou navážkou 1 g suchého vzorku. Analýza vzorku proběhla pomocí elementárního CHNS analyzátoru (Vario Macro Cube, Německo).

#### **4.4 Statistické vyhodnocení experimentu**

V rámci statistického vyhodnocení byly průměrné výnosy suché biomasy a odběry živin jednotlivých variant pšenice jarní statisticky vyhodnoceny programem statistica 12 testem homogenity rozptylů a poté analýzou rozptylu ( $P \leq 0,05$ ). Podrobnější rozdíly mezi jednotlivými průměry byly vyhodnoceny Tuckey HSD test ( $P \leq 0,05$ ).

## 5 Výsledky

### 5.1 Výnosy biomasy

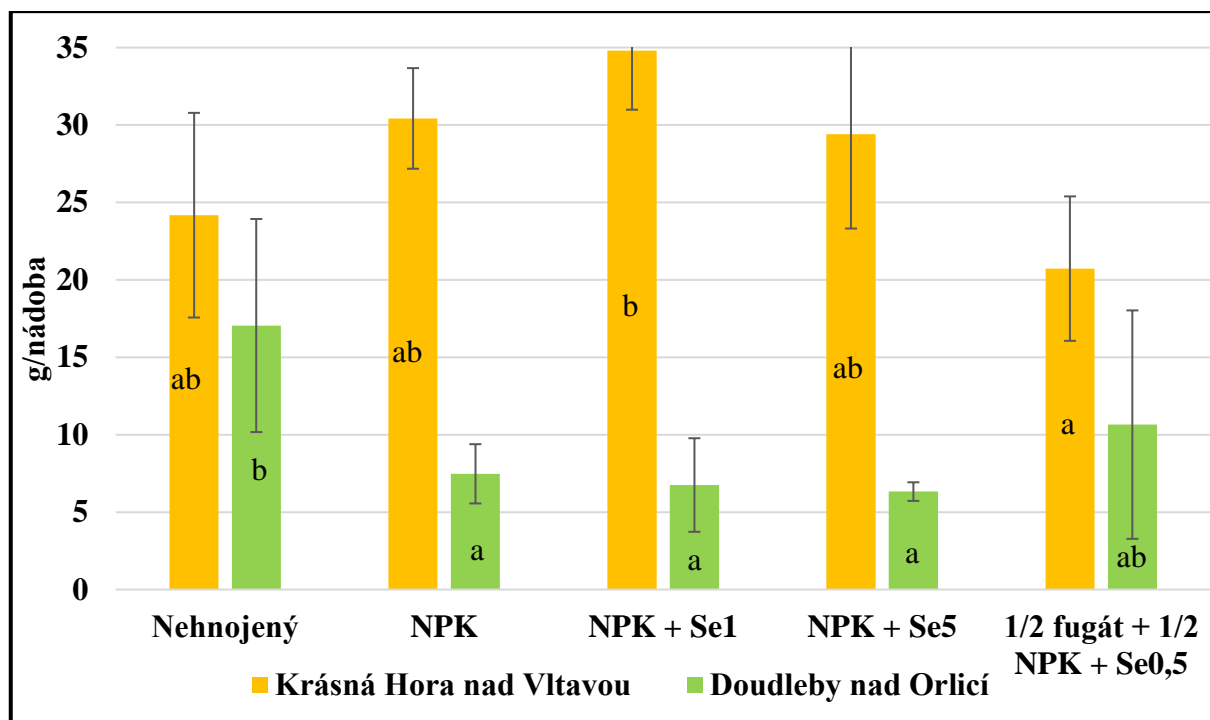
#### 5.1.1 Výnos kořenů

Graf č. 1 znázorňuje výnos kořenů jednotlivých variant v porovnání obou zemin. Nejvyšší výnos kořenů byl zjištěn ve variantě č. 3 Krásná Hora nad Vltavou (34,8 g/nádobu). Naopak nejnižší výnos kořenů byl zjištěn ve variantě č. 4 Doudleby nad Orlicí (6,3 g/nádobu). Z grafu je dále patrné že varianty KH č. 2,3 a 4 dosahovaly několikanásobně vyšších výnosů kořene než stejné varianty pěstované na zemině Doudleby nad Orlicí.

Dle statistického vyhodnocení variant pěstovaných na zemině Krásná Hora nad Vltavou se varianta č. 3 (NPK+Se1) statisticky lišila od varianty č. 5 (1/2 fugát+1/2 NPK+Se0,5)

Statisticky významný rozdíl lze pozorovat mezi variantou č. 1 DNO (nehnojená kontrola) a variantami DNO č. 2,3 a 4.

Graf 1. Výnosy kořene



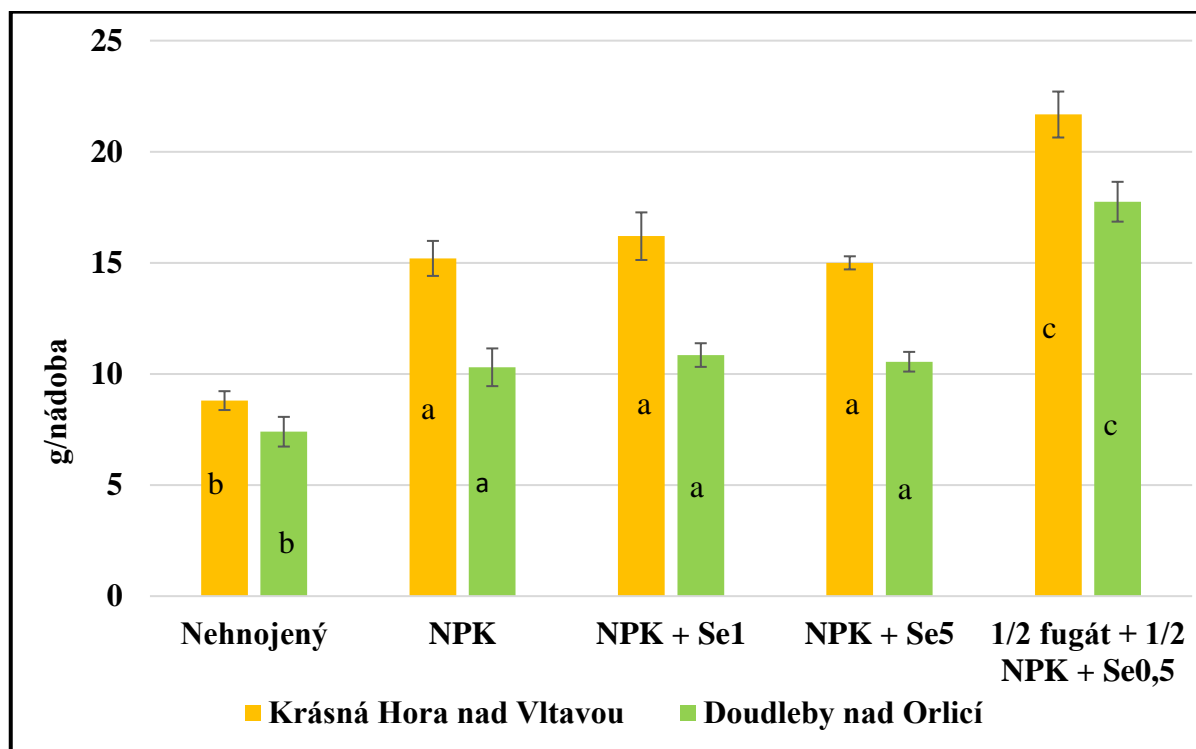


### 5.1.2 Výnos slámy

Graf č. 2 znázorňuje výnos slámy jednotlivých variant vegetačního experimentu. Nejvyšší výnos slámy byl zjištěn u varianty č. 5 Krásná Hora nad Vltavou (21,6 g/nádoba). Naopak nejnižší výnos slámy byl zjištěn u varianty č. 1 Doudleby nad Orlicí (7,4 g /nádoba). Na půdě Krásná Hora nad Vltavou byl výnos slámy nižší než výnos kořene. Na půdě Doudleby nad Orlicí byl naopak vyšší výnos slámy než kořene.

Dle statistického zhodnocení je patrné, že varianty pěstované na obou zeminách dopadly z hlediska statistické odlišnosti stejně. Varianta č. 1 (nehnojená kontrola) se průkazně lišila od všech ostatních variant č. 2,3,4 a 5. Další varianta, u které byl zjištěn statistický rozdíl je varianta č. 5 (1/2 fugát+1/2 NPK+Se0,5), která se lišila od variant 1,2,3 a 4.

Graf 2. Výnosy slámy



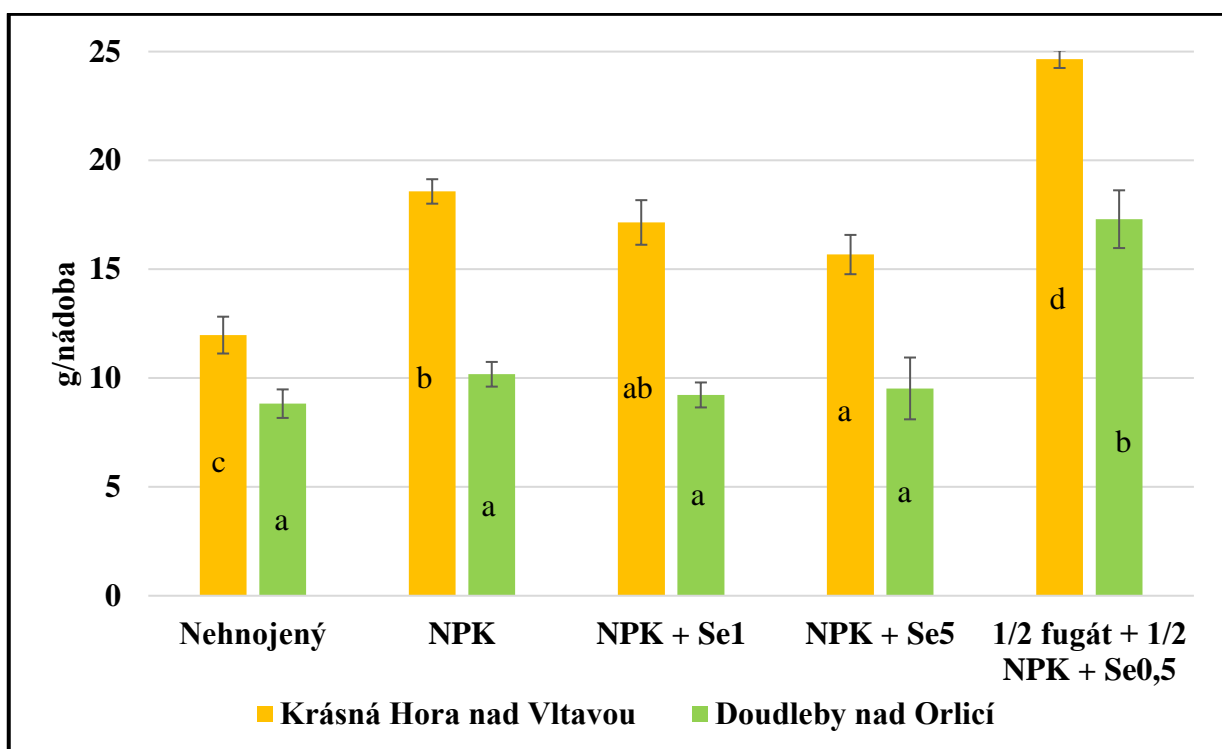
### 5.1.3 Výnos zrna

Graf č. 3 znázorňuje výnos zrna jednotlivých variant obou zemin. Nejvyšší výnos byl zjištěn ve variantě č. 5 Krásná Hora nad Vltavou (24,6 g/nádoba). Nejnižší výnos zrna byl naopak zjištěn ve variantě č. 1 Doudleby nad Orlicí (8,8 g/nádoba). Aplikace selenu neměla žádný vliv na výnos zrna, což se shoduje s Manojlović et al. (2019), kteří zjistili že aplikace selenu neměla žádný vliv na výnos zrna pšenice.

Z grafu je nadále patrné že aplikace 1/2 fugát+1/2 NPK+Se0,5 měla na zemině DNO i KH pozitivní vliv na výnos zrna pšenice jarní tak, že výnos se více než zdvojnásobil.

Varianta č.5 DNO se statisticky významně lišila od ostatních variant DNO č. 1,2,3 a 4. Mezi variantami pěstovanými na zemině KH byl zjištěn statisticky významný rozdíl u varianty č. 1. (nehnojená kontrola) od variant č. 2,3,4 a 5.

Graf 3. Výnosy zrna



## 5.2 Obsahy makroprvků v biomase

### 5.2.1 Obsah dusíku

Tabulka č. 9. znázorňuje obsah dusíku v kořenech, slámě i zrnou obou lokalit. Nejvyšší obsah dusíku byl zjištěn v zrně ve variantě č. 3, Doudleby nad Orlicí (32 150 mg/kg), podobně vysoké hodnoty však vykazovalo zrno i ve variantách 2,4 a 5 Doudleby nad Orlicí. Naopak nejnižší obsah dusíku byl zjištěn ve vzorku slámy ve variantě č. 2, Doudleby nad Orlicí (2 265 mg/kg). Obsah dusíku ve slámě Doudleby nad Orlicí ve variantách 3 a 4 byl několikanásobně vyšší než ve stejných variantách hnojení Krásná Hora nad Vltavou.

**Tabulka 9. Obsah dusíku v biomase pšenice (mg/kg sušiny)**

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Varianta	Kořen	Sláma	Zrno	Varianta	Kořen	Sláma	Zrno
1 Nehnojená	3 700 ± 1 067	3 775 ± 450	17 525 ± 1 734	1 Nehnojená	3 750 ± 506	4 150 ± 208	15 675 ± 368
2 NPK	9 050 ± 2 284	2 265 ± 2 407	32 150 ± 1 250	2 NPK	4 850 ± 506	8 275 ± 403	30 650 ± 544
3 NPK+Se1	8 425 ± 2 437	26 500 ± 2 001	32 400 ± 1 177	3 NPK+Se1	3 900 ± 707	9 175 ± 1 664	31 225 ± 1 354
4 NPK+Se5	11 200 ± 1 462	24 425 ± 2 939	32 225 ± 953	4 NPK+Se5	4 950 ± 544	10 725 ± 853	30 075 ± 3 239
5 Fugát+ NPK+Se½	7 925 ± 2 422	7 525 ± 850	31 500 ± 1 163	5 Fugát+ NPK+Se½	5 300 ± 860	5 275 ± 350	26 550 ± 1 386

### 5.2.2 Obsah fosforu

Tabulka č. 10 znázorňuje obsah fosforu v biomase pšenice, nejvyšší obsah (4 373 mg/kg) byl zjištěn ve slámě ve variantě č. 1 Krásná Hora nad Vltavou. Nejnižší obsah fosforu byl zjištěn v kořeni ve variantě č. 5 Krásná Hora nad Vltavou (1 151 mg/kg). Obsah fosforu ve slámě Krásná Hora nad Vltavou byl ve všech variantách vyšší než jeho obsah ve slámě Doudleby nad Orlicí. Rostoucí dávka selenu neměla vliv na obsah fosforu v biomase. Hnojením NPK jsme dosáhly vyššího obsahu fosforu ve slámě i v zrně pšenice pěstované na zemině Doudleby nad Orlicí.

**Tabulka 10 Obsah fosforu v biomase pšenice (mg/kg sušiny)**

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Varianta	Kořen	Sláma	Zrno	Varianta	Kořen	Sláma	Zrno
1 Nehnojená	1 243 ± 221	2 097 ± 105	3 116 ± 116	1 Nehnojená	1 541 ± 102	4 373 ± 452	3 325 ± 98
2 NPK	1 551 ± 110	2 522 ± 162	3 481 ± 158	2 NPK	1 414 ± 103	3 799 ± 203	3 374 ± 351
3 NPK+Se1	1 606 ± 192	2 553 ± 62	3 354 ± 556	3 NPK+Se1	1 334 ± 84	4 037 ± 123	3 741 ± 325
4 NPK+Se5	1 782 ± 230	2 601 ± 244	3 358 ± 11	4 NPK+Se5	1 311 ± 89	4 153 ± 255	3 534 ± 133
5 Fugát+ NPK+Se½	1 183 ± 96	2 378 ± 196	3 560 ± 79	5 Fugát+ NPK+Se½	1 151 ± 114	3 932 ± 198	4 011 ± 156

**5.2.3 Obsah draslíku**

Tabulka č. 11 znázorňuje obsah draslíku v biomase pšenice v různých variantách hnojení. Nejvyšší obsah draslíku byl zjištěn ve slámě ve variantě č. 5 Doudleby nad Orlicí (23 069 mg/kg), podobě vysoký byl i ve stejné variantě č. 5 Krásná Hora nad Vltavou (22 240 mg/kg). Nejnižší obsah draslíku byl zjištěn v zrně ve variantě č. 4 Krásná Hora. Hnojením NPK došlo ke zvýšení obsahu draslíku ve slámě a kořenu pšenice pěstované na zemi Doudleby nad Orlicí. Hnojení fugátem výrazně zvýšilo koncentraci draslíku ve slámě pšenice na obou experimentálních zeminách.

**Tabulka 11. Obsah draslíku v biomase pšenice (mg/kg sušiny)**

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Varianta	Kořen	Sláma	Zrno	Varianta	Kořen	Sláma	Zrno
1 Nehnojená	4 404 ± 1 016	15 177 ± 1 072	3 772 ± 89	1 Nehnojená	4 818 ± 598	16 438 ± 337	3 888 ± 90
2 NPK	4 783 ± 297	17 782 ± 1 218	3 875 ± 216	2 NPK	4 607 ± 419	18 009 ± 789	3 669 ± 589
3 NPK+Se1	4 471 ± 341	15 955 ± 822	3 718 ± 1 035	3 NPK+Se1	4 262 ± 193	15 757 ± 609	3 601 ± 531
4 NPK+Se5	4 270 ± 585	17 458 ± 1 932	3 680 ± 255	4 NPK+Se5	4 229 ± 252	13 037 ± 1 109	3 489 ± 283
5 Fugát+ NPK+Se½	4 547 ± 297	23 069 ± 2 756	4 601 ± 106	5 Fugát+ NPK+Se½	3 514 ± 398	22 240 ± 456	4 402 ± 415

## 5.2.4 Obsah vápníku

Tabulka č. 12. znázorňuje obsah vápníku v biomase pšenice. Nejvyšší obsah vápníku byl zjištěn ve slámě variantě č. 4 Doudleby nad Orlicí (9 995 mg/kg). Naopak nejnižší obsah vápníku byl zjištěn v zrnu variantě č. 1 Doudleby nad Orlicí (306 mg/kg). Nejvíce vápníku v kořeni bylo zjištěno ve variantě č. 4 Doudleby nad Orlicí (8 487 mg/kg). Hnojení NPK a fugátem zvýšilo obsah vápníku ve slámě a zrnu pšenice pěstované na obou zeminách.

**Tabulka 12. Obsah vápníku v biomase pšenice (mg/kg sušiny)**

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Varianta	Kořen	Sláma	Zrno	Varianta	Kořen	Sláma	Zrno
1 Nehnojená	4 615 ± 405	4 123 ± 240	306 ± 22	1 Nehnojená	6 489 ± 665	4 213 ± 423	314 ± 24
2 NPK	6 620 ± 864	9 521 ± 925	489 ± 32	2 NPK	8 807 ± 671	7 373 ± 679	429 ± 66
3 NPK+Se1	6 508 ± 1 071	7 713 ± 1 134	443 ± 104	3 NPK+Se1	7 261 ± 614	7 818 ± 532	471 ± 25
4 NPK+Se5	8 487 ± 1 626	9 995 ± 640	505 ± 40	4 NPK+Se5	7 361 ± 735	8 177 ± 531	471 ± 46
5 Fugát+ NPK+Se½	8 480 ± 2 017	6 759 ± 1 558	550 ± 27	5 Fugát+ NPK+Se½	6 800 ± 1 357	6 339 ± 575	598 ± 42

## 5.2.5 Obsah hořčíku

Tabulka č. 13 znázorňuje obsah hořčíku v biomase pšenice. Nejvyšší obsah hořčíku byl zjištěn v kořeni varianta č. 1 Krásná Hora nad Vltavou (4 054 mg/kg). Naopak nejnižší obsah hořčíku byl zjištěn ve slámě varianta č. 1 Doudleby nad Orlicí (990 mg/kg). Kořeny Krásná Hora nad Vltavou vykazovaly ve všech variantách vyšší obsah draslíku než varianty Doudleby nad Orlicí. Aplikace selenu neměla vliv na obsah hořčíku v zrnu pšenice.

**Tabulka 13. Obsah hořčíku v biomase pšenice (mg/kg sušiny)**

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Varianta	Kořen	Sláma	Zrno	Varianta	Kořen	Sláma	Zrno
1 Nehnojená	2 604 ± 436	990 ± 121	1 137 ± 27	1 Nehnojená	4 054 ± 632	1 004 ± 89	1 201 ± 46
2 NPK	2 191 ± 550	1 367 ± 75	1 299 ± 70	2 NPK	3 720 ± 343	1 232 ± 116	1 182 ± 120
3 NPK+Se1	2 241 ± 406	1 322 ± 117	1 285 ± 197	3 NPK+Se1	3 713 ± 212	1 309 ± 57	1 298 ± 120
4 NPK+Se5	1 932 ± 160	1 520 ± 85	1 282 ± 29	4 NPK+Se5	3 603 ± 128	1 423 ± 76	1 184 ± 30
5 Fugát+ NPK+Se½	1 700 ± 388	1 242 ± 114	1 249 ± 12	5 Fugát+ NPK+Se½	2 303 ± 271	1 266 ± 69	1 201 ± 68

## 5.2.6 Obsah síry

Tabulka č. 14 znázorňuje obsahy síry v kořenech, slámě a zrna pšenice jarní. Nejvyšší obsah síry byl zjištěn v zrna variantě č. 1. Krásná Hora nad Vltavou (804 mg/kg). Naopak nejnižší obsah síry byl zjištěn ve slámě variantě č. 3 Doudleby nad Orlicí (336 mg/kg). Obsah síry v biomase pšenice byl nejnižší ze všech sledovaných makroprvků. Hnojením NPK došlo ke snížení obsahu síry ve slámě pšenice.

**Tabulka 14. Obsah síry v biomase pšenice (mg/kg sušiny)**

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Varianta	Kořen	Sláma	Zrno	Varianta	Kořen	Sláma	Zrno
1 Nehnojená	455 ± 91	513 ± 39	715 ± 20	1 Nehnojená	423 ± 75	756 ± 64	804 ± 24
2 NPK	658 ± 80	363 ± 34	596 ± 18	2 NPK	402 ± 34	396 ± 54	602 ± 80
3 NPK+Se1	706 ± 157	336 ± 42	586 ± 79	3 NPK+Se1	375 ± 29	397 ± 10	635 ± 76
4 NPK+Se5	780 ± 27	375 ± 27	590 ± 37	4 NPK+Se5	360 ± 47	454 ± 33	594 ± 18
5 Fugát+ NPK+Se½	574 ± 121	386 ± 20	660 ± 33	5 Fugát+ NPK+Se½	411 ± 80	510 ± 27	775 ± 31

### 5.2.7 Obsah selenu

Tabulka č. 15 znázorňuje obsahy selenu v biomase pšenice jarní. Nejvyšší obsah selenu byl zjištěn ve slámě variantě č. 4 Doudleby nad Orlicí (4,14 mg/kg). Naopak nejnižší obsah selenu byl zjištěn ve slámě variantě č. 2 Krásná Hora nad Vltavou (0,028 mg/kg). Obsah selenu v zrně ve variantě č. 2 (hnojena NPK) Doudleby nad Orlicí je vyšší než obsah v zrně ve variantě č. 1 (nehnojena) Doudleby nad Orlicí. Aplikace selenu měla vliv na koncentrace selenu v biomase, s rostoucí dávkou selenu se zvyšoval i jeho obsah ve všech sledovaných částech pšenice.

**Tabulka 15. Obsah selenu v biomase pšenice (mg/kg sušiny)**

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Varianta	Kořen	Sláma	Zrno	Varianta	Kořen	Sláma	Zrno
1 Nehnojena	0,725 ± 0,199	0,061 ± 0,021	0,056 ± 0,032	1 Nehnojena	0,705 ± 0,117	0,062 ± 0,038	0,091 ± 0,097
2 NPK	0,790 ± 0,083	0,042 ± 0,018	0,139 ± 0,093	2 NPK	0,649 ± 0,114	0,028 ± 0,008	0,170 ± 0,295
3 NPK+Se1	1,302 ± 0,088	0,683 ± 0,079	0,518 ± 0,044	3 NPK+Se1	0,739 ± 0,056	0,562 ± 0,103	0,541 ± 0,186
4 NPK+Se5	3,601 ± 0,4179	4,140 ± 0,418	3,080 ± 0,421	4 NPK+Se5	1,025 ± 0,114	3,056 ± 0,403	2,747 ± 0,309
5 Fugát+ NPK+Se½	0,901 ± 0,124	0,269 ± 0,002	0,400 ± 0,040	5 Fugát+ NPK+Se½	0,483 ± 0,095	0,172 ± 0,014	0,155 ± 0,017

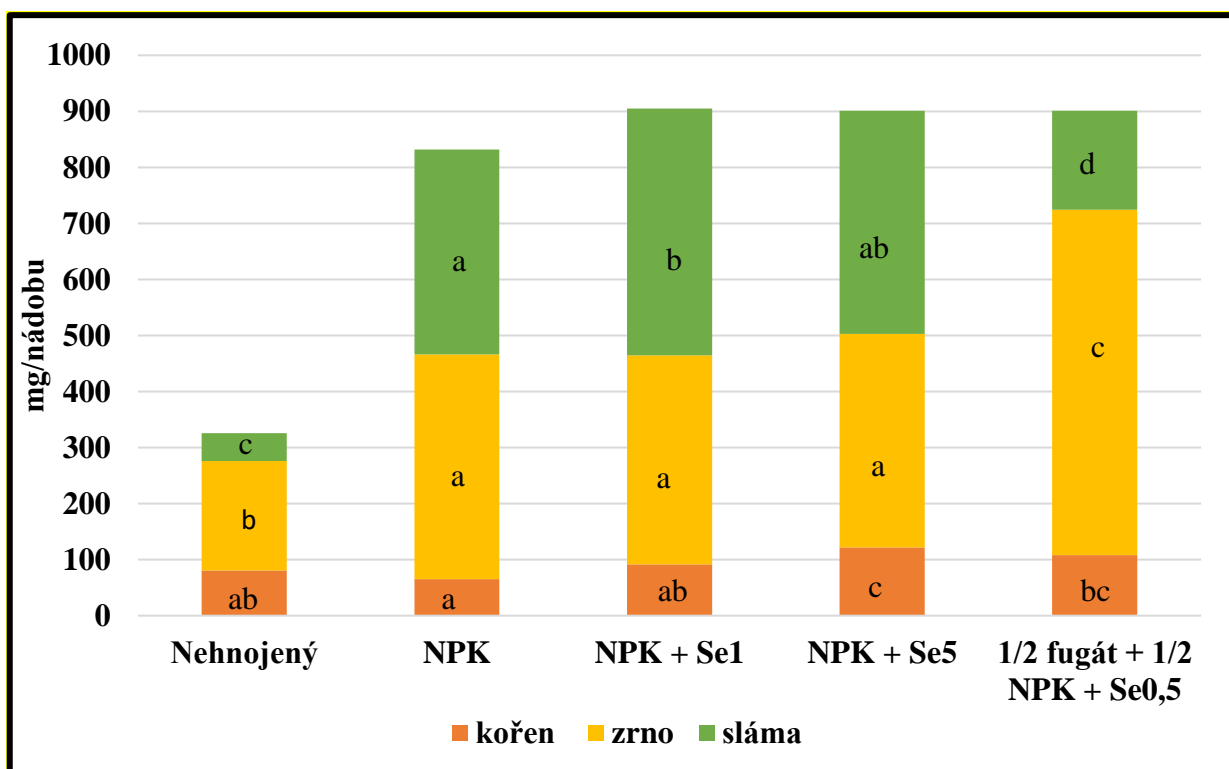
## 5.3 Celkové odběry živin

### 5.3.1 Odběry dusíku biomasou pšenice ze zeminy DNO

Graf č. 4 znázorňuje celkové odběry živin biomasou pšenice jarní ze zeminy Doudleby nad Orlicí. Nejvíce dusíku bylo akumulováno v zrně, ve variantě č. 5 (1/2 fugát+1/2 NPK+Se0,5) a to 616 mg/nádobu, dusík byl akumulován v zrně na úkor jeho obsahu ve slámě, tato varianta vykazovala nejnižší odběr dusíku slámou ze všech hnojených variant. Nejméně dusíku odebrala sláma ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola) a to pouze 49 mg/nádobu. Kořeny ve všech hnojených variantách odebraly nejméně.

Statisticky významný rozdíl v akumulaci dusíku v kořenech byl zjištěn ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola), která se lišila od varianty č. 4 (NPK+Se5). Statisticky průkazný rozdíl byl zaznamenán u odběru dusíku zrnem ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola), která se lišila od všech hnojených variant č. 2,3,4 a 5. Odběr dusíku slámou ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola) se statisticky lišil od variant č. 2,3,4 a 5.

**Graf 4. Celkové odběry dusíku rostlinami pšenice pěstované na půdě Doudleby nad Orlicí**

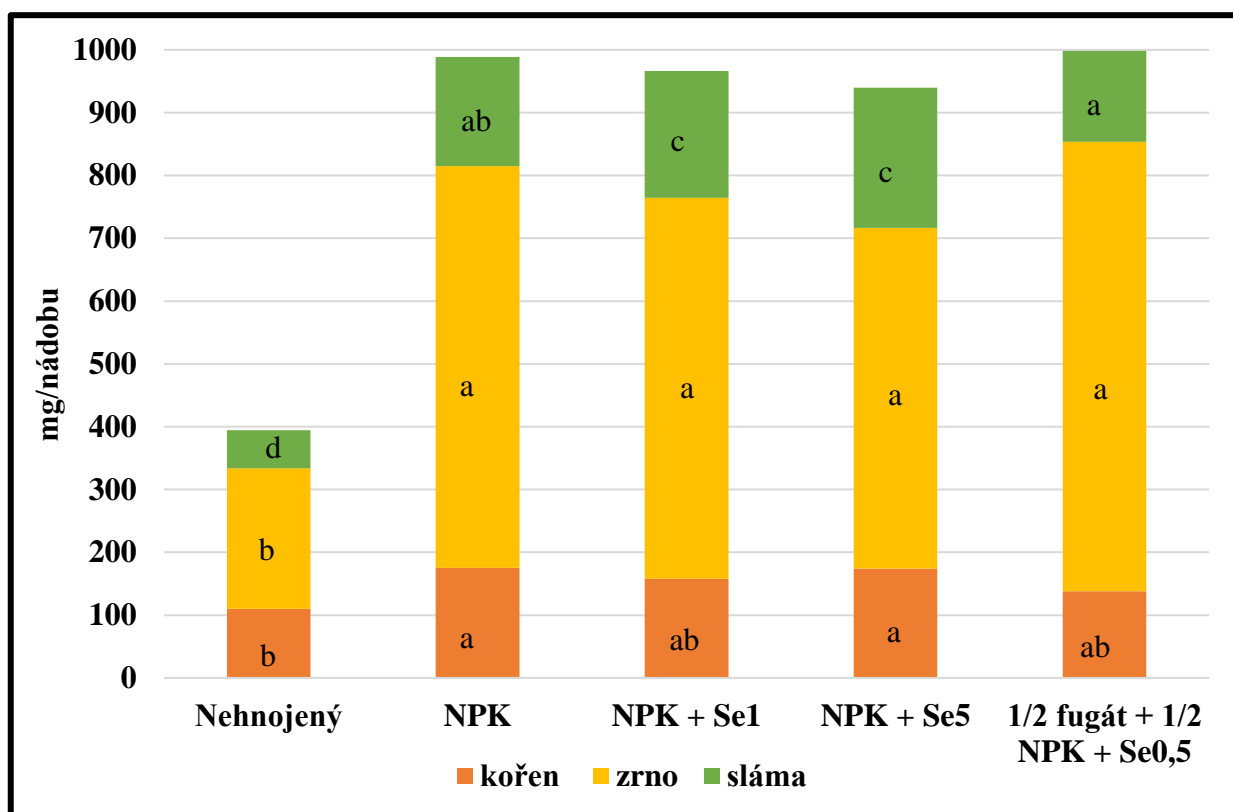




### 5.3.2 Odběry dusíku biomasou pšenice ze zeminy KH

Graf č. 5 znázorňuje odběry dusíku biomasou pšenice ve variantách pěstovaných na zemiň Krásná Hora nad Vltavou. Nejvíce dusíku bylo akumulováno v zrně ve variantách č. 2,3,4 a 5, (až 715 mg/nádobu), které se statisticky významně lišili od varianty č. 1 (nehnojená kontrola), hnojení dusíkem více než zdvojnásobilo jeho obsah v zrně. Obecně se nejvíce dusíku akumulovalo v zrně ve všech variantách. Nejméně dusíku odebrala sláma ve variantě č. 1. a to 60 mg/nádobu. Statisticky významný rozdíl byl zjištěn v odběru dusíku slámou ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola), která se lišila od ostatních variant č. 2,3,4 a 5, které byly hnojeny.

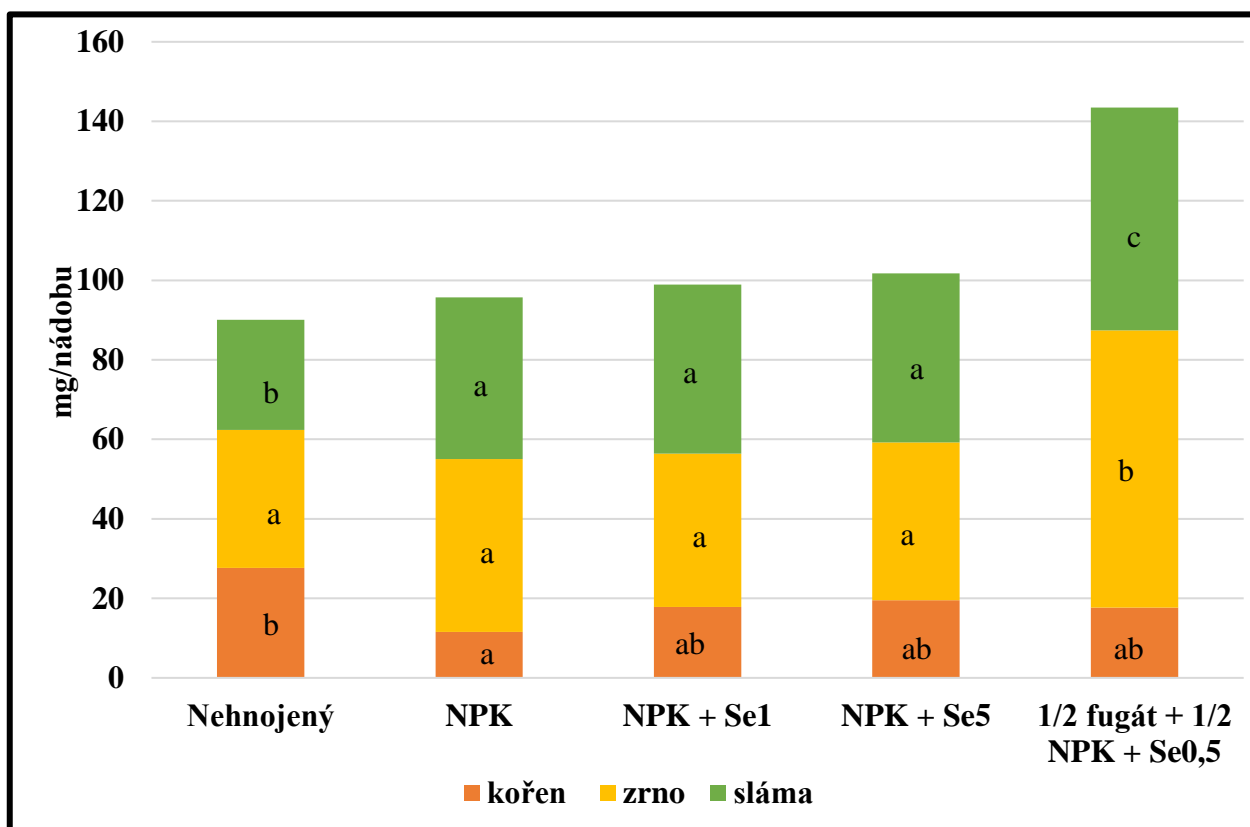
Graf 5. Celkové odběry dusíku variant Krásná Hora nad Vltavou



### 5.3.3 Odběry fosforu biomasou pšenice ze zemin Doudleby nad Orlicí

V grafu č. 6 je uveden odběr fosforu jednotlivých variant pšenice pěstovaných na půdě Doudleby nad Orlicí. Nejvíce fosforu odebralo zrna, téměř 70 mg/nádobu, ve variantě č. 5 (1/2 fugát + 1/2NPK+Se0,5), tato varianta se statisticky významně lišila od variant č. 1,2,3 a 4, kde nebyl použit fugát jako hnojivo. Nejméně fosforu odebraly kořeny ve variantě č. 2 (NPK) (11,5g/nádobu). Statisticky významný rozdíl v odběru fosforu slámou byl shledán u varianty č. 1 (nehnojená kontrola), která se lišila od variant č. 2,3,4 a 5, které byly na začátku experimentu hnojeny. Celkový nejvyšší odběr fosforu veškerou biomasou byl zjištěn ve variantě č. 5, kdy odběr dusíku činil 143 mg/nádobu).

Graf 6.Celkové odběry fosforu variant Doudleby nad Orlicí

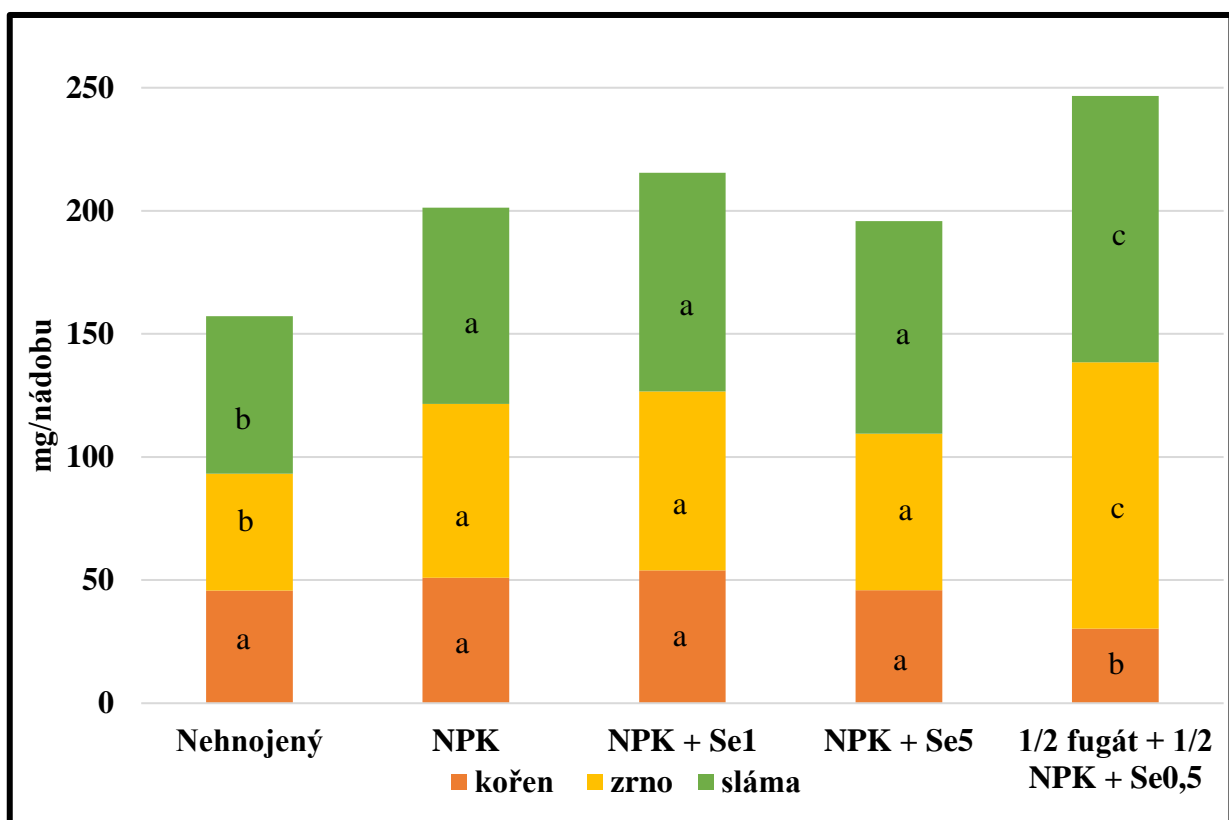


### 5.3.4 Odběr fosforu biomasou pšenice pěstované na zemině Krásná Hora nad Vltavou

Graf č. 7 znázorňuje celkové odběry fosforu biomasou pšenice jarní. Nejvíce fosforu odebrala sláma a zrno ve variantě č. 5, a to shodně 108 g/nádobu. Nejméně fosforu odebraly kořeny ve variantě č. 5 (30 mg/nádobu), fosfor byl v této variantě soustředěn do zrna a slámy.

Statisticky významný rozdíl v odběru dusíku zrnem a slámou byl zjištěn u varianty č. 1 (nehnojená kontrola), která je odlišná od variant č. 2,3,4 a 5. Odběr fosforu kořeny ve variantě č. 5 vykázal statistický rozdíl od všech ostatních variant.

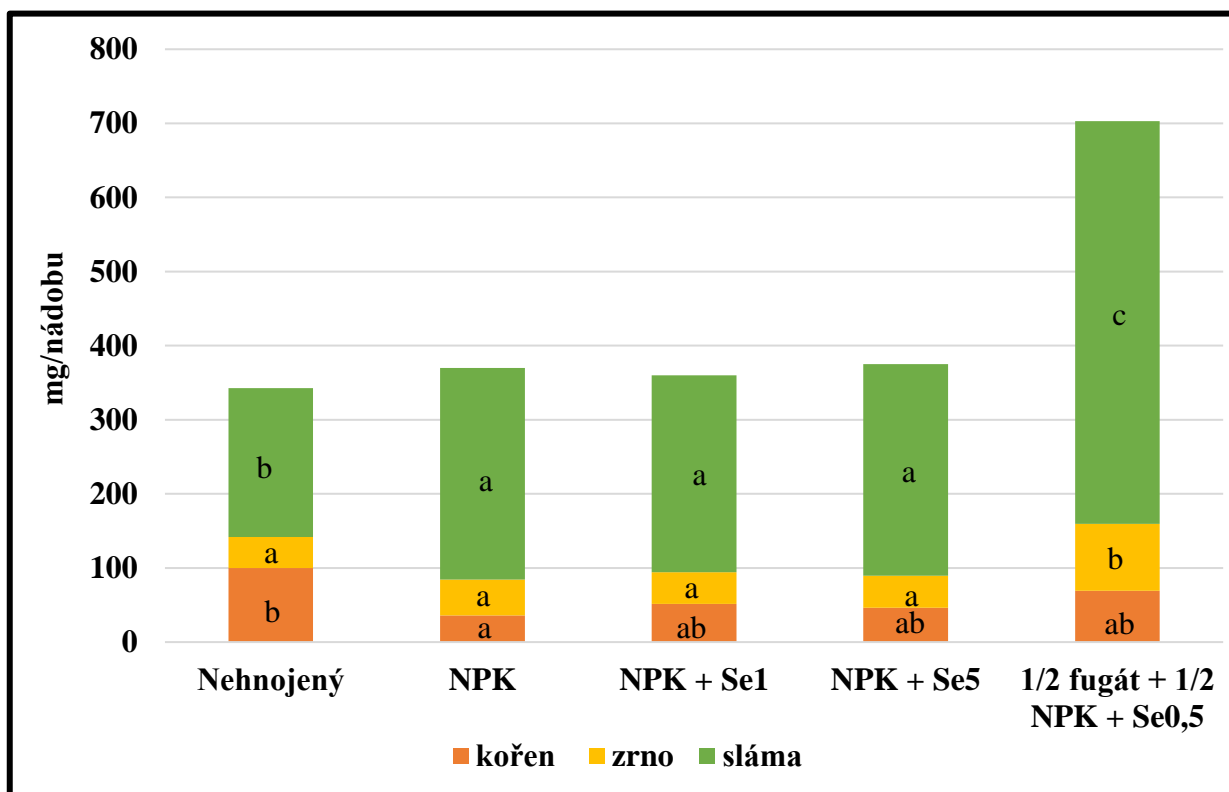
Graf 7. Celkové odběry fosforu variant Krásná Hora nad Vltavou



### 5.3.5 Odběry draslíku biomasou pšenice ze zemin Doudleby nad Orlicí

Graf č. 8 vykazuje odběry draslíku biomasou pšenice ze zemin Doudleby nad Orlicí. Nejvíce draslíku odebrala sláma ve variantě č. 5 (1/2 fugát+1/2 NPK+Se0,5) (543mg/nádobu), aplikace hnojiva ve složení (1/2fugát+1/2 NPK+Se0,5) tedy více než zdvojnásobila odběr draslíku slámou. Nejvyšší odběr draslíku zrnem byl zjištěn také u varianty č. 5 (90mg/nádobu). Statisticky významný rozdíl byl zjištěn v odběru draslíku slámou u varianty č. 1 (nehnojená kontrola), která se lišila od variant č. 2,3,4 a 5. Odběr draslíku kořeny ve variantě č. 1 se statisticky lišil od varianty č. 2 (NPK), kde většina draslíku byla akumulována v zrně.

Graf 8. Celkové odběry draslíku variant Doudleby nad Orlicí

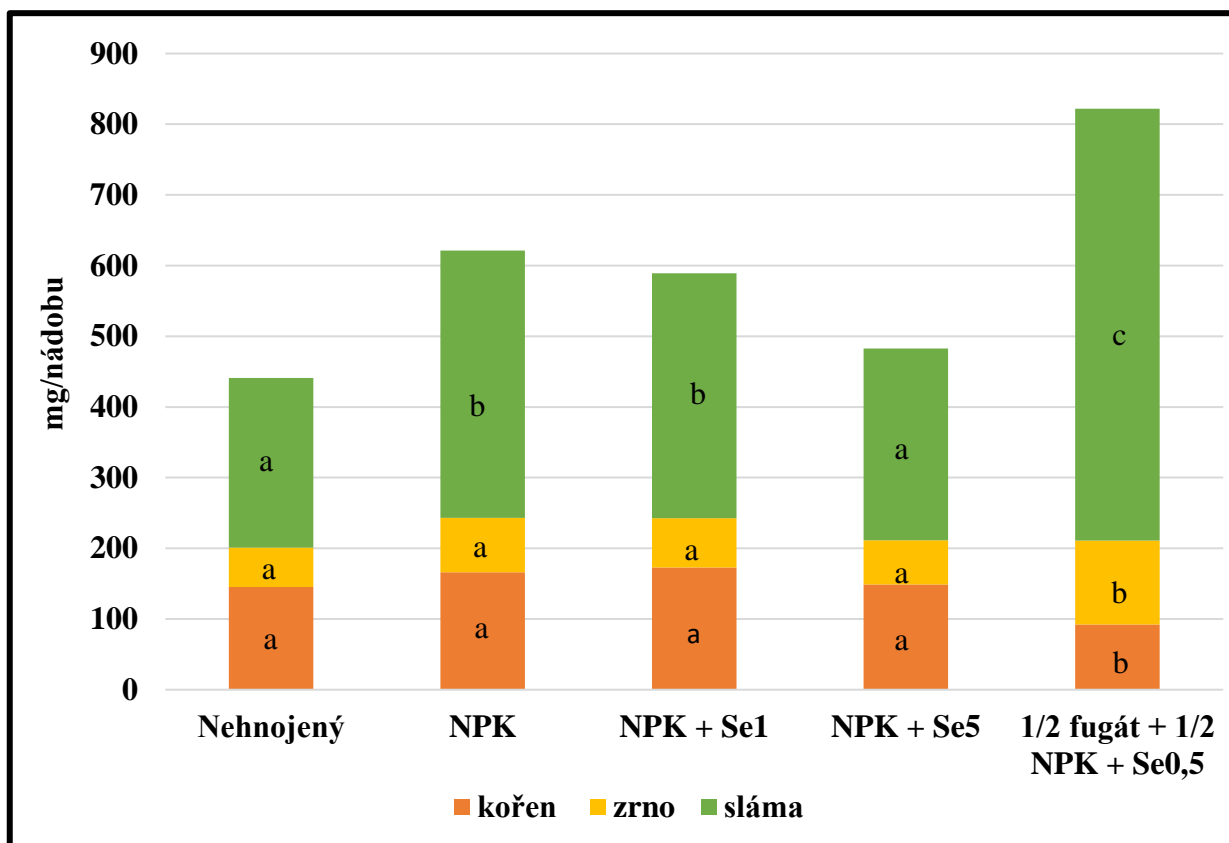


### 5.3.6 Odběry draslíku biomasou pšenice ze zemin Krásná Hora nad Vltavou

Graf č. 9 znázorňuje odběry draslíku biomasou pšenice ze zeminy Krásná hora nad Vltavou. Nejvíce draslíku odebrala sláma ve variantě č. 5 (610mg/nádobu). Varianta č. 5 odebrala také celkově nejvíce draslíku biomasou (820 mg/nádobu), což je téměř dvakrát více co odebrala varianta č. 1 (nehnojená kontrola).

Statisticky významný rozdíl byl zjištěn b odběru draslíku zrnem ve variantě č. 5, která se lišila od variant č. 1,2,3 a 4. Statisticky průkazný rozdíl byl zaznamenán v odběru draslíku slámou ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola), která se lišila od variant č. 2,3 a 5.

**Graf 9. Celkové odběry draslíku variant Krásná Hora nad Vltavou**

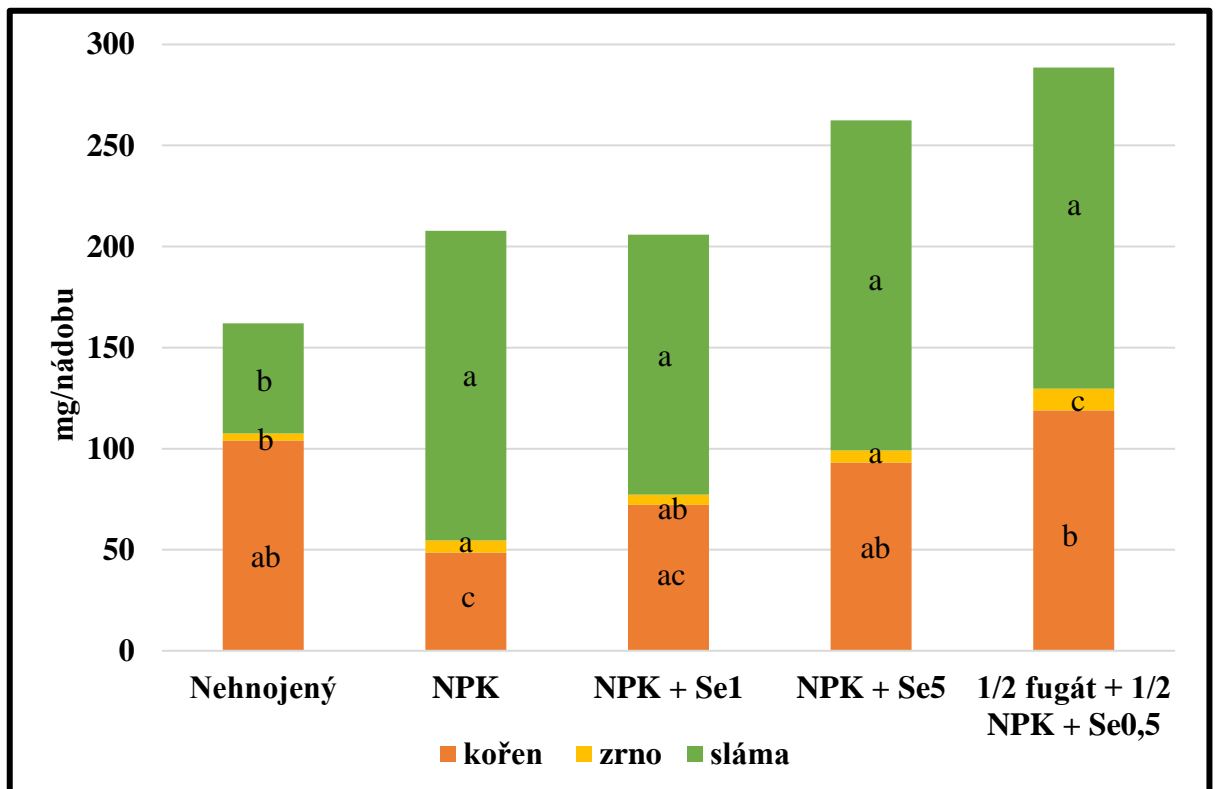


### 5.3.7 Odběry vápníku biomasou pšenice ze zemin DNO

Graf č. 10 obsahuje odběry vápníku biomasou pšenice pěstované na zemině Doudleby nad Orlicí. Nejvíce vápníku odebrala sláma ve variantě č. 4 (NPK+Se5).

Statisticky významný rozdíl byl zjištěn v odběru vápníku slámou ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola), která se lišila od ostatních hnojených variant. Odběr vápníku kořeny se ve variantě č. 1. statisticky významně lišil od variant č. 2 a 5.

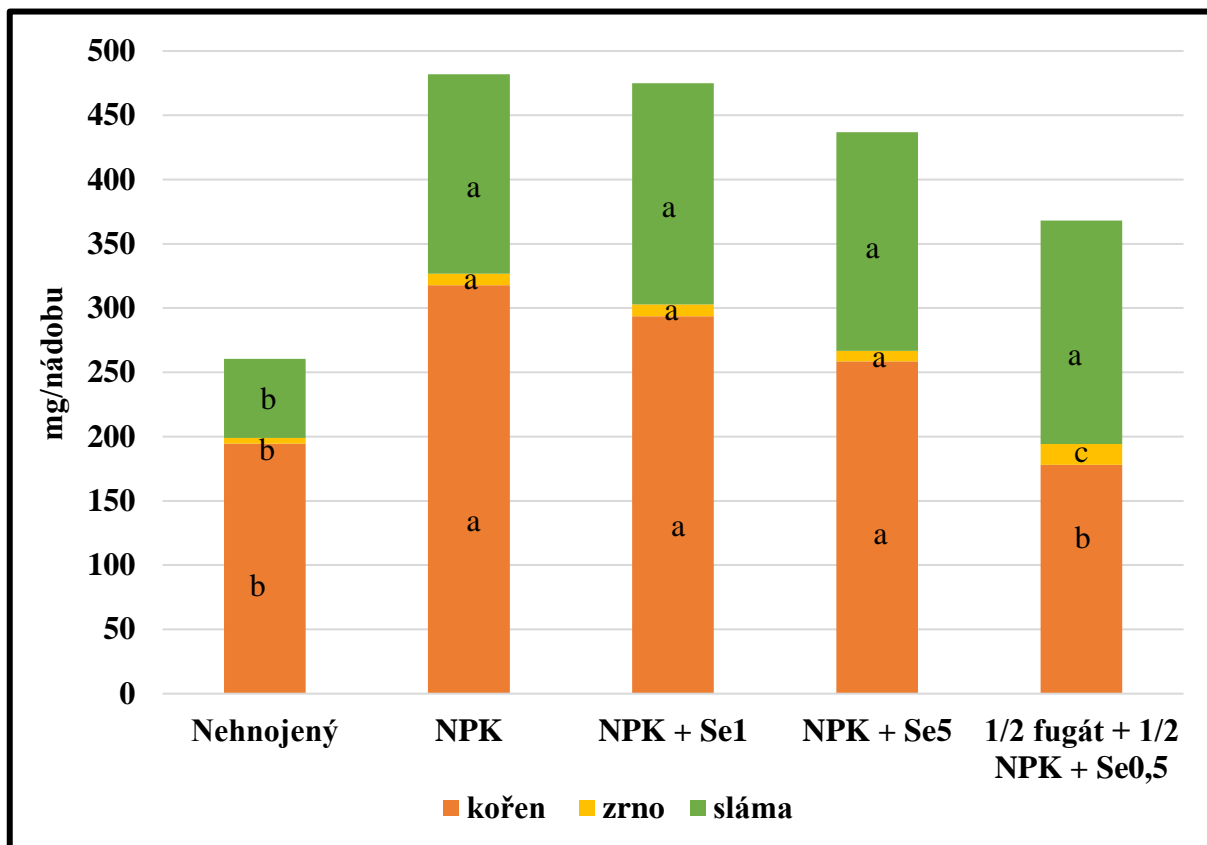
Graf 10. Celkové odběry vápníku variant Doudleby nad Orlicí



### 5.3.8 Odběry vápníku biomasou pšenice ze zemin Krásná Hora nad Vltavou

Graf č. 11 znázorňuje odběry vápníku biomasou pšenice ze zeminy Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr vápníku byl zjištěn u kořene ve variantě č. 2 (317 mg/nádobu). Statisticky významný rozdíl v odběru vápníku kořeny byl zjištěn ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola), která se statisticky lišila od variant č. 2,3 a 4. Statistický rozdíl byl sledován u odběru vápníku slámou ve variantě č. 1, která byla odlišná od variant č. 2,3,4 a 5.

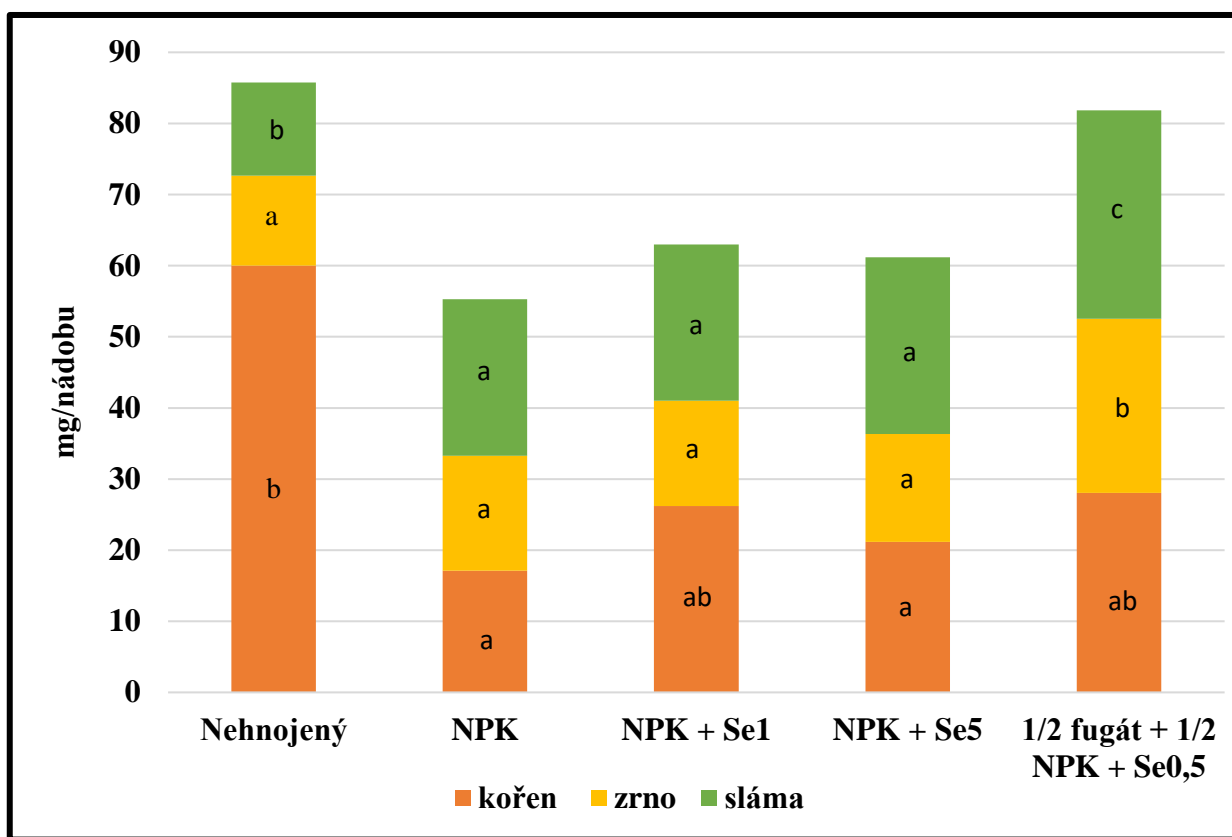
**Graf 11. Celkové odběry vápníku variant Krásná Hora nad Vltavou**



### 5.3.9 Odběry hořčíku biomasou pšenice ze zemín DNO

Graf č. 12 zobrazuje odběry hořčíku biomasou pšenice ze zeminy Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší odběr hořčíku byl zjištěn u kořenů ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola) (60mg/nádobu). Statisticky významný rozdíl byl zjištěn u kořenů ve variantě č. 1, která se významně lišila od varianty č. 2 a 4. Statisticky významný rozdíl byl sledován u zrna ve variantě č. 5, která se lišila od ostatních variant č. 1,2,3 a 4. Odběr hořčíku slámkou ve variantě č. 1 se statisticky lišil od ostatních hnojených variant.

Graf 12. Celkové odběry hořčíku variant Doudleby nad Orlicí

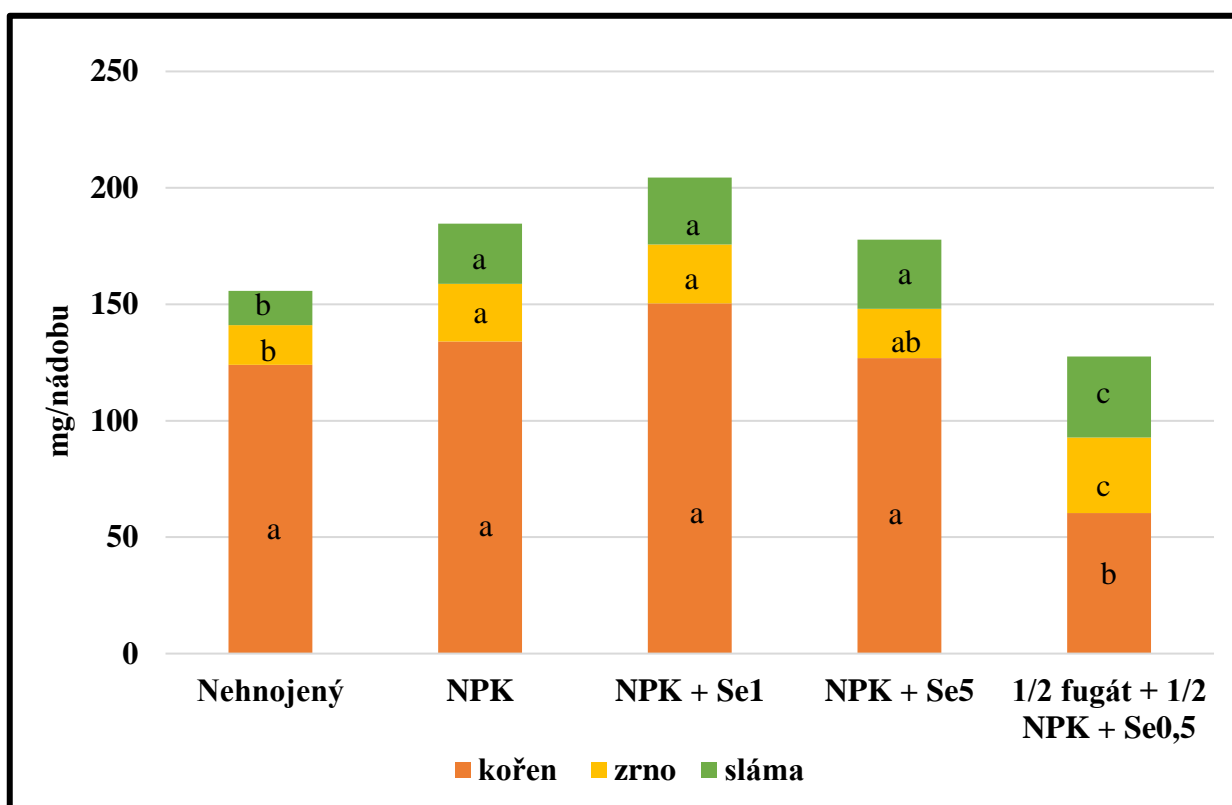




### 5.3.10 Odběr hořčíku biomasou ze zemín Krásná Hora nad Vltavou

Graf č. 13 znázorňuje odběry hořčíku biomasou pšenice jarní ze zeminy Krásná Hora nad Vltavou. Nejvíce hořčíku odebral kořen ve variantě č. 3. (150 mg/nádobu). Statisticky významný rozdíl byl zjištěn v odběru hořčíku kořenem ve variantě č. 5, která se lišila od variant č. 1,2,3 a 4. Další statisticky významný rozdíl byl shledán v odběru hořčíku zrnem ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola), která se lišila od variant č. 2,3 a 5.

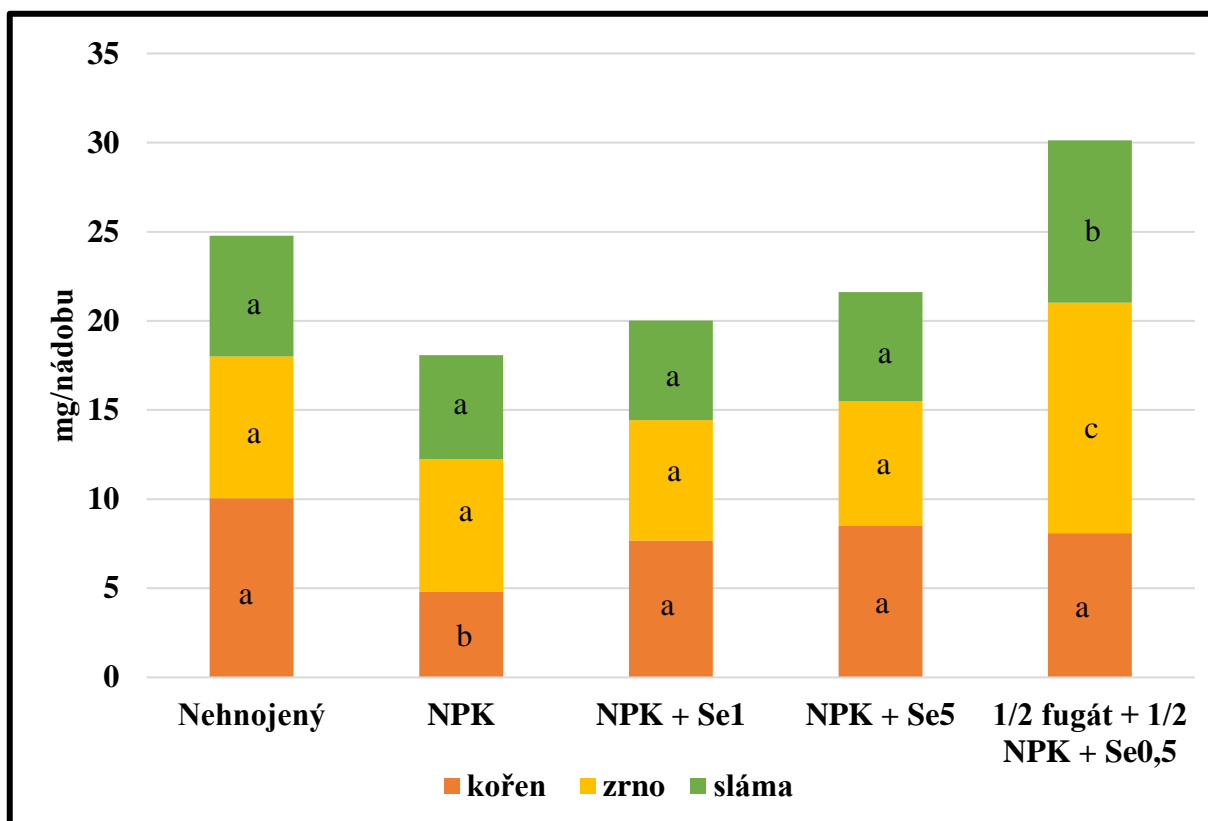
Graf 13. Celkové odběry hořčíku variant Krásná Hora nad Vltavou



### 5.3.11 Odběry síry biomasou pšenice ze zeminy Doudleby nad Orlicí

Z grafu č. 14 jsou patrné odběry síry biomasou pšenice ze zeminy Doudleby nad Orlicí. Nejvíce síry odebralo zrno ve variantě č. 5 (1/2fugát+1/2NPK+Se0,5), a to 13 mg/nádobu. Statisticky významný rozdíl byl zjištěn právě v odběru zrna ve variantě č. 5, která bylo odlišná od všech ostatních variant. Odběr síry slámou se ve variantě č. 5 průkazně lišil od odběru variant č. 1,2,3 a 4.

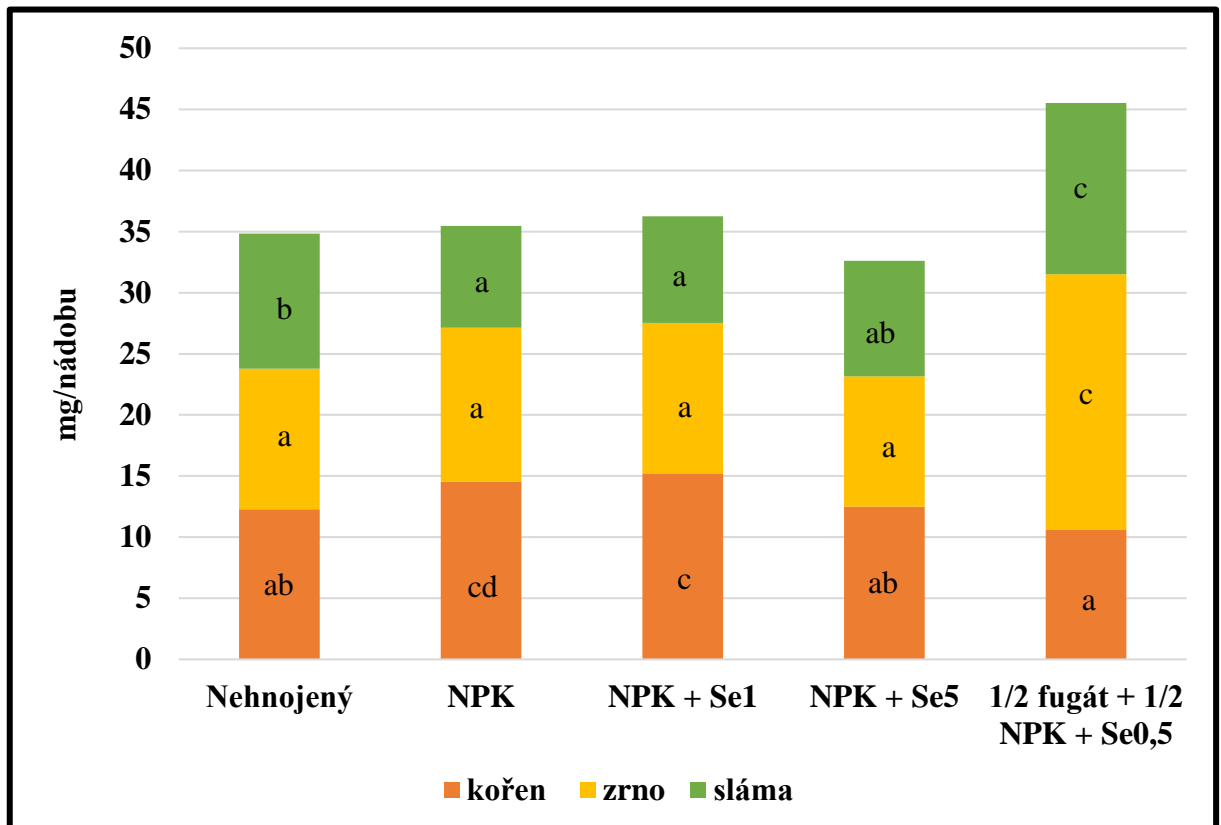
Graf 14. Celkové odběry síry variant Doudleby nad Orlicí



### 5.3.12 Odběr síry biomasou ze zemin Krásná Hora nad Vltavou

Graf č. 15 znázorňuje odběr síry biomasou pšenice ze zemin Krásná Hora nad Vltavou. Nejvíce síry odebralo zrno ve variantě č. 5 (20,8mg/nádobu). Statisticky významný rozdíl byl zjištěn v odběru síry zrnem ve variantě č. 5, která se významně lišila od variant č. 1,2,3 a 4. Odběr síry slámou ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola) se průkazně lišil od variant č. 2,3 a 5.

Graf 15. Celkové odběry síry variant Krásná Hora nad Vltavou

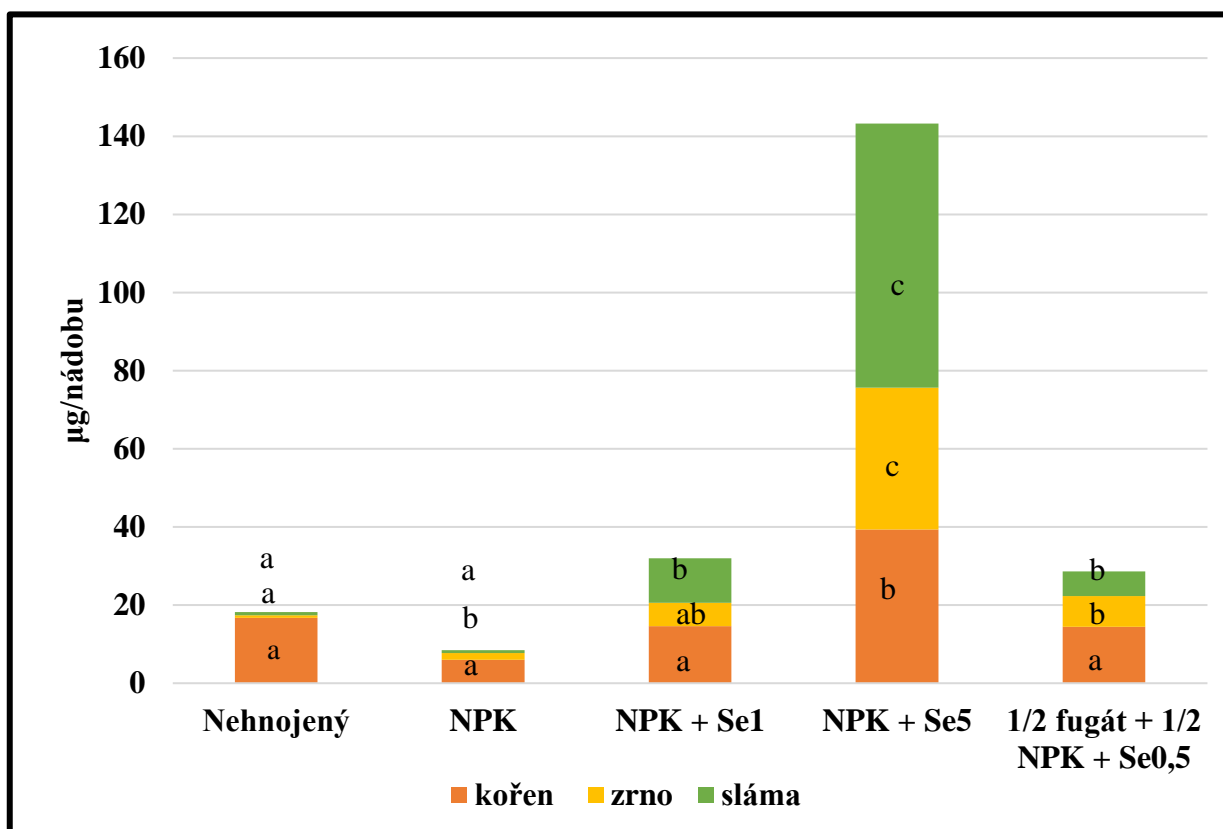


### 5.3.13 Odběry selenu biomasou pšenice ze zeminy Doudleby nad Orlicí

Graf č. 16 znázorňuje odběry selenu biomasou pšenice ze zeminy Doudleby nad Orlicí. Z grafu vyplývá že nejvyšší odběr selenu byl zaznamenán u slámy ve variantě č. 4 (NPK+Se5) a to 67 $\mu\text{g}$ /nádobu, tato varianta odebrala i nejvíce selenu v zrnu i kořenech. Důvodem tohoto vysokého odběru selenu je, že zde bylo na počátku experimentu dodáno vyšší množství než u ostatních variant.

Obsahy selenu v zrnu, slámě i kořenech ve 4. variantě jsou statisticky odlišné od všech ostatních variant. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán u obsahu selenu v zrnu ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola), která se lišila od variant č. 2,4 a 5.

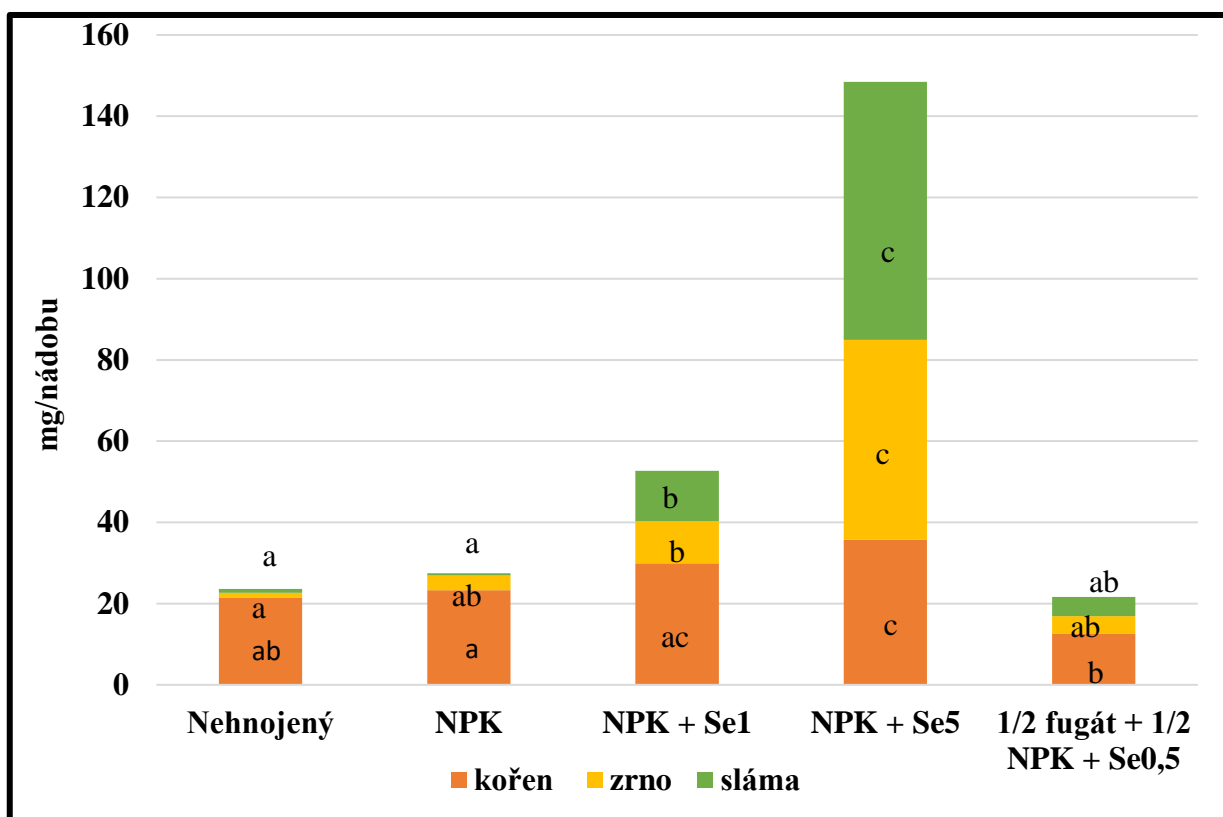
Graf 16. Celkové odběry selenu variant Doudleby nad Orlicí



### 5.3.14 Odběry selenu biomasou pšenice ze zeminy Krásná Hora nad Vltavou

Graf č. 17 znázorňuje odběry selenu biomasou ze zeminy Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr selenu byl zjištěn ve slámě u varianty č. 4 (NPK+Se5), (63 $\mu$ g nádobu). Tato varianta vykazovala i nejvyšší odběry selenu zrnem a kořeny. Statisticky významný rozdíl vykazoval odběr selenu zrnem ve variantě č.1 (nehnojená kontrola), která byla statisticky odlišná od variant č. 3,4 a 5. Statisticky významný rozdíl byl zjištěn i u obsahu selenu v slámě ve variantě č. 1. která se lišila od variant č. 3 a 4.

Graf 17. Celkové odběry selenu variant Krásná Hora nad Vltavou

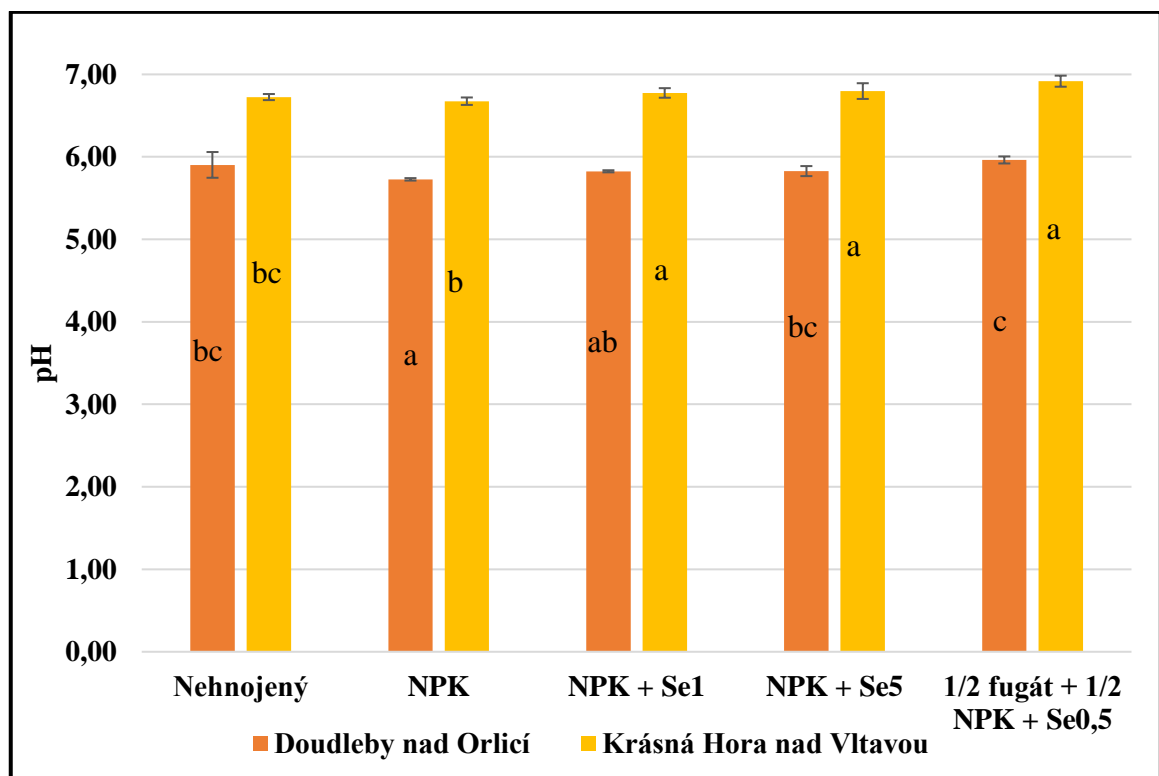


## 5.4 Fyzikálně chemické vlastnosti zemin po skončení experimentu

### 5.4.1 Hodnota pH zemin po skončení experimentu

Graf č. 18 znázorňuje hodnotu pH zemin po skončení experimentu. Z grafu je patrné že hodnota pH nevykazuje žádné extrémní rozdíly. Nejnižší hodnota pH 5,74 byla zjištěna ve variantě č. 2 Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší hodnotu pH 6,92 měla varianta č. 5 Krásná Hora nad Vltavou. Statisticky významný rozdíl byl zjištěn u varianty 1 (nehnojená kontrola) Doudleby nad Orlicí, která se lišila od variant č. 2 a 5.

**Graf 18. Hodnota pH po skončení experimentu**

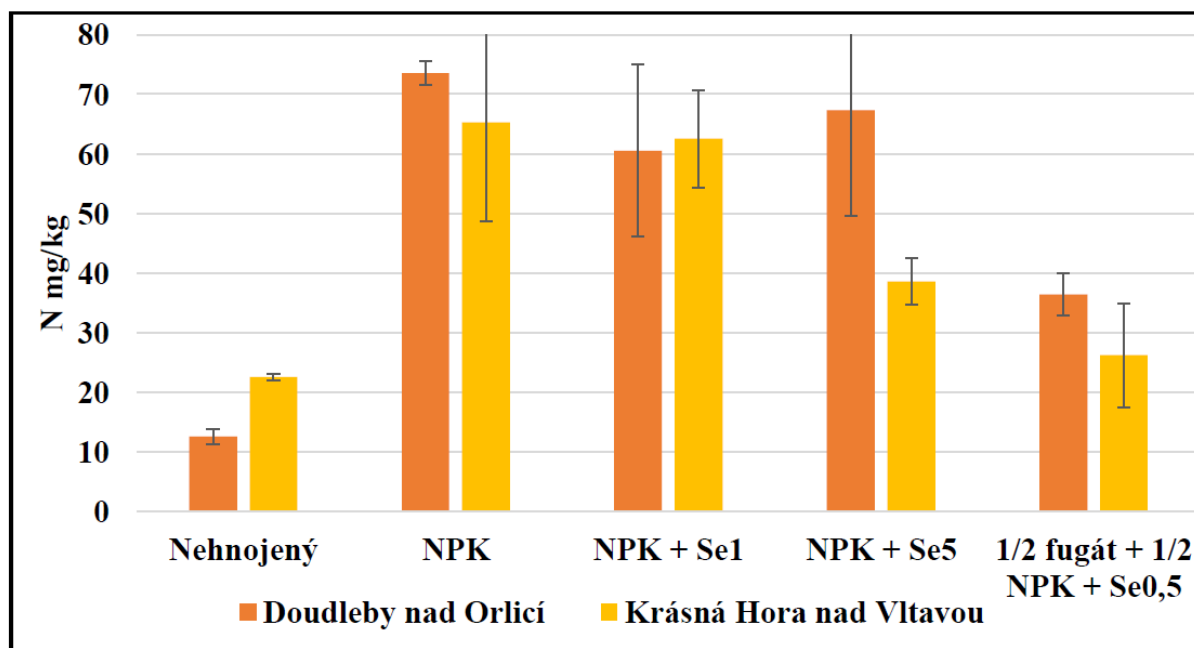


## 5.4.2 Obsah prvků v zeminách po skončení experimentu

### 5.4.2.1 Obsah minerálního dusíku v zemině

Graf č. 19 znázorňuje obsah dusíku v zeminách po skončení experimentu. Nejvyšší obsah dusíku byl zjištěn ve variantě č. 2 (NPK) Doudleby nad Orlicí (73,5 mg/kg). Nejméně dusíku bylo naopak zjištěno ve variantě č. 1 Doudleby nad Orlicí (12,5 mg/kg). Zeminy Doudleby nad Orlicí obsahovaly více dusíku ve variantách č. 2, 4 a 5.

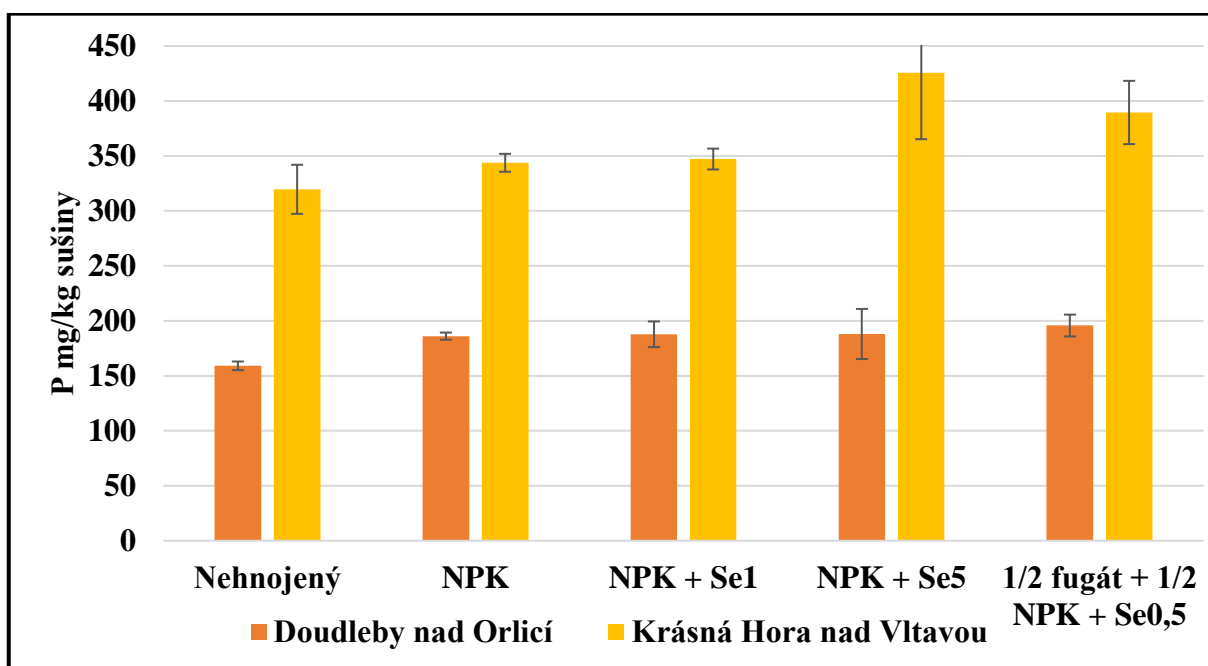
**Graf 19. Obsah minerálního dusíku v zeminách po skončení experimentu**



### 5.4.2.2 Obsah fosforu

Graf č. 20 znázorňuje obsah fosforu v zeminách po skončení experimentu. Nejvyšší obsah fosforu obsahovala varianta č. 4 (NPK + Se5) Krásná Hora nad Vltavou (425 mg/kg). Obecně všechny varianty zemin Krásná Hora nad Vltavou obsahovaly více fosforu než zeminy Doudleby nad Orlicí. Nejnižší obsah fosforu v zemině obsahovala varianta č. 1 (nehnojená) Doudleby nad Orlicí (159 mg/kg).

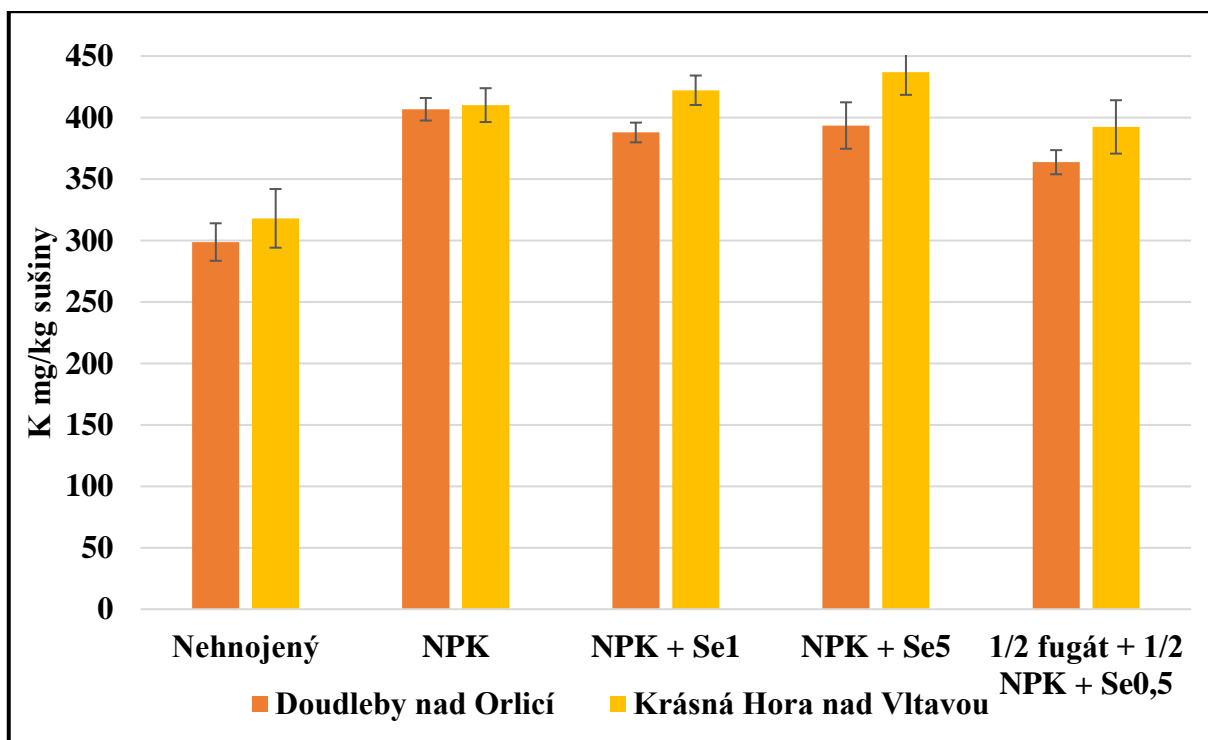
**Graf 20. Obsah fosforu v zeminách po skončení experimentu**



#### 5.4.2.3 Obsah draslíku

Graf č. 21 znázorňuje obsah draslíku v zeminách po skončení experimentu. Nejvyšší obsah draslíku byla zjištěna u varianty č. 4 (NPK + Se5) Krásná Hora nad Vltavou (436 mg/kg). Naopak nejnižší obsah draslíku byl zjištěn ve variantě č. 1 (nehnojený) Doudleby nad Orlicí.

**Graf 21. Obsah draslíku v zeminách po skončení experimentu**

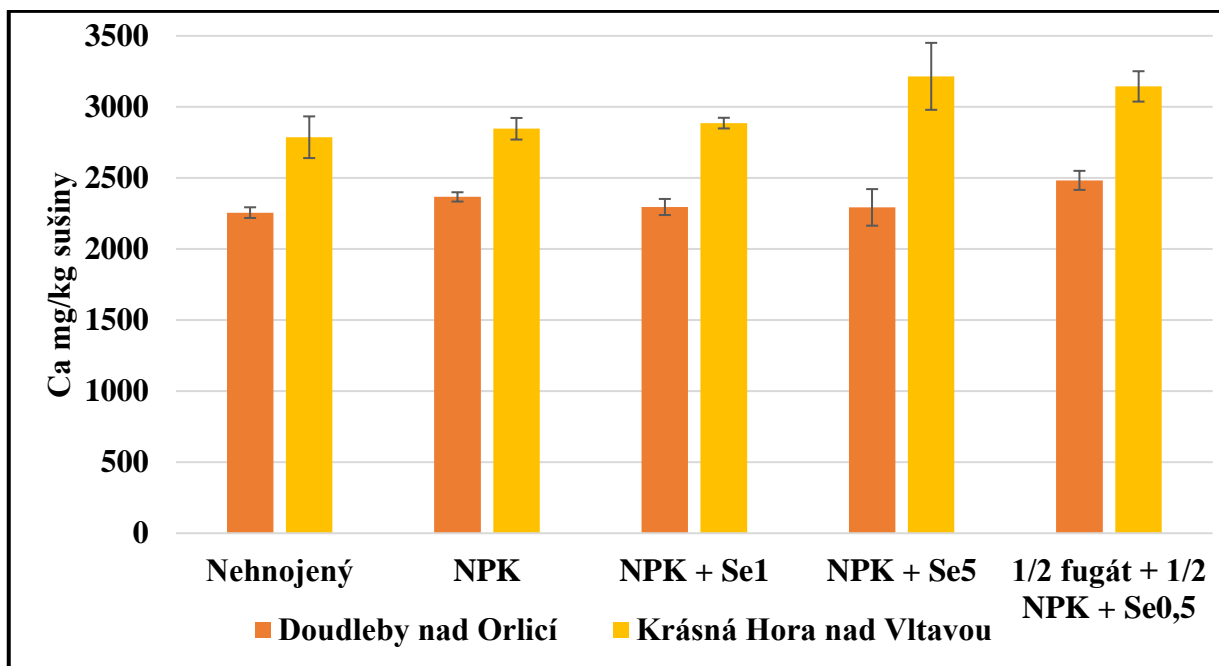




#### 5.4.2.4 Obsah vápníku

Graf č. 22 znázorňuje obsah vápníku v zeminách po skončení experimentu. Nejvyšší obsah vápníku byl zjištěn ve variantě č. 4 (NPK + Se5) Krásná Hora nad Vltavou (3 215 mg/kg). Naopak nejnižší obsah vápníku byl zjištěn ve variantě č. 1 (nehnojený) Doudleby nad Orlicí (2 255 mg/kg).

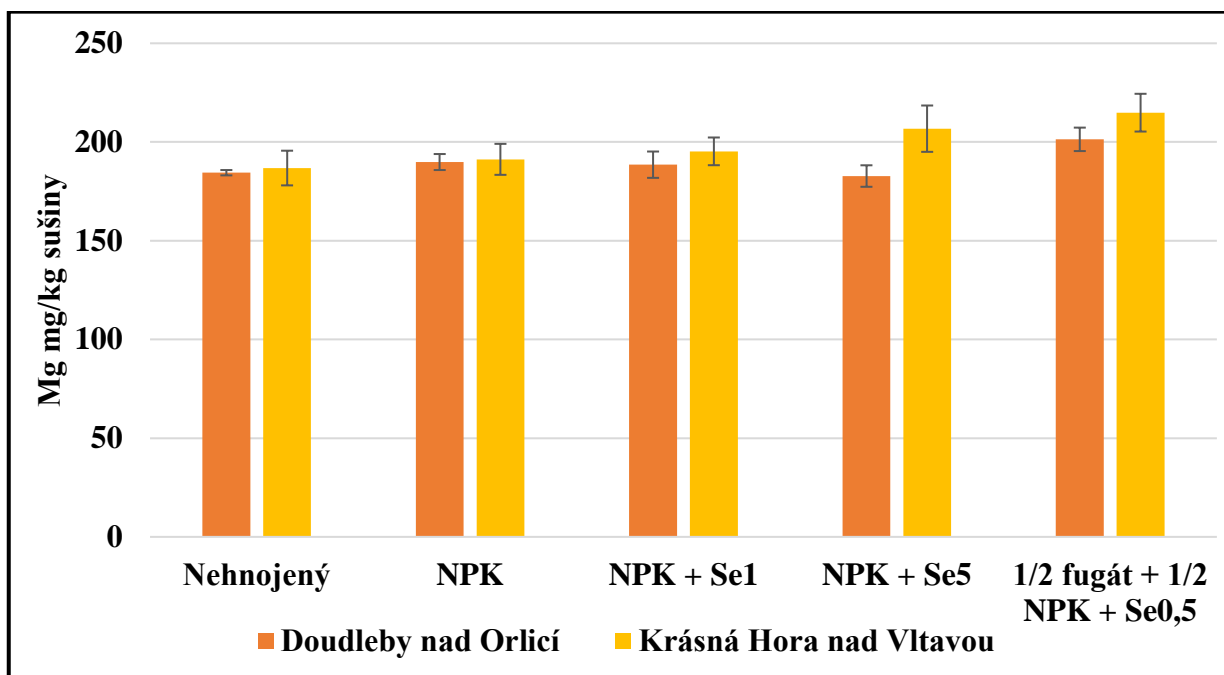
**Graf 22. Obsah vápníku v zeminách po skončení experimentu**



#### 5.4.2.5 Obsah hořčíku

Graf č. 23 znázorňuje obsah hořčíku v zeminách po skončení experimentu. Nejvyšší obsah hořčíku byl zjištěn ve variantě č. 5 (1/2 fugát + 1/2 NPK + Se0,5) Krásná Hora nad Vltavou (214 mg/kg). Naopak nejnižší obsah hořčíku byl zjištěn v zemině ve variantě č. 4 (NPK + Se5) Doudleby nad Orlicí (182 mg/kg).

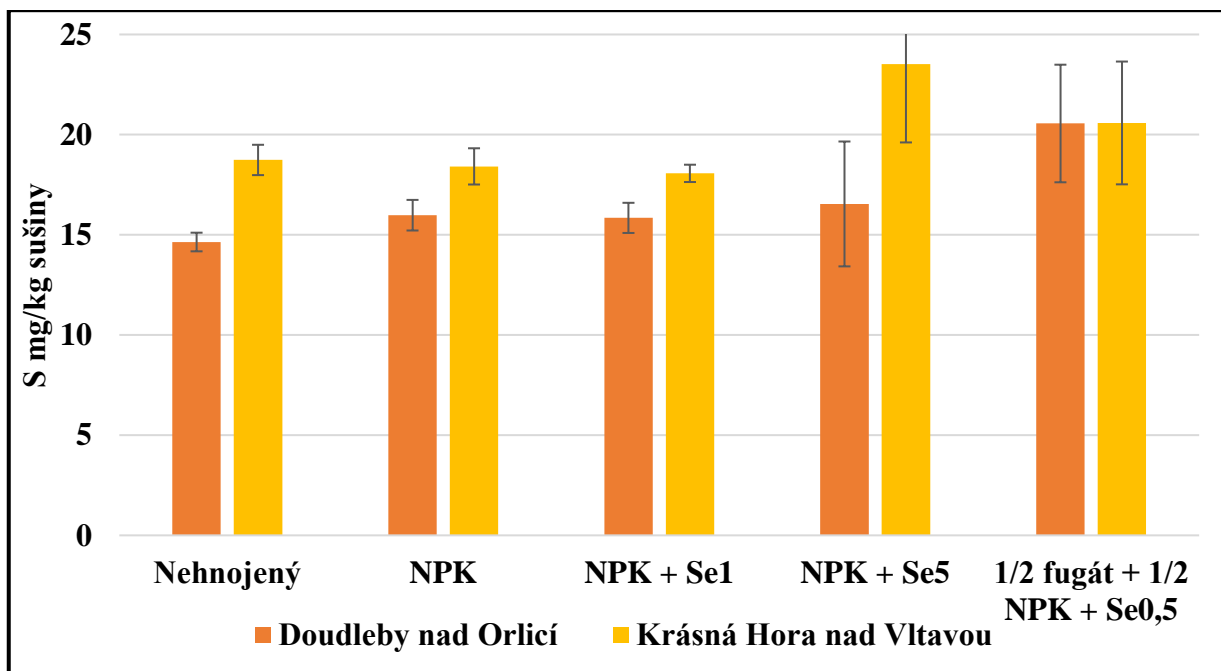
**Graf 23. Obsah hořčíku v zeminách po skončení experimentu**



#### 5.4.2.6 Obsah síry

Graf č. 24 znázorňuje obsah síry v zeminách po skončení experimentu. Nejvyšší obsah síry byl zjištěn ve variantě č. 4 (NPK + Se5) Krásná Hora nad Vltavou (23,5 mg/kg). Naopak nejnižší obsah síry byl zjištěn ve variantě č. 1 (nehnojený) Doudleby nad Orlicí (14,6 mg/kg).

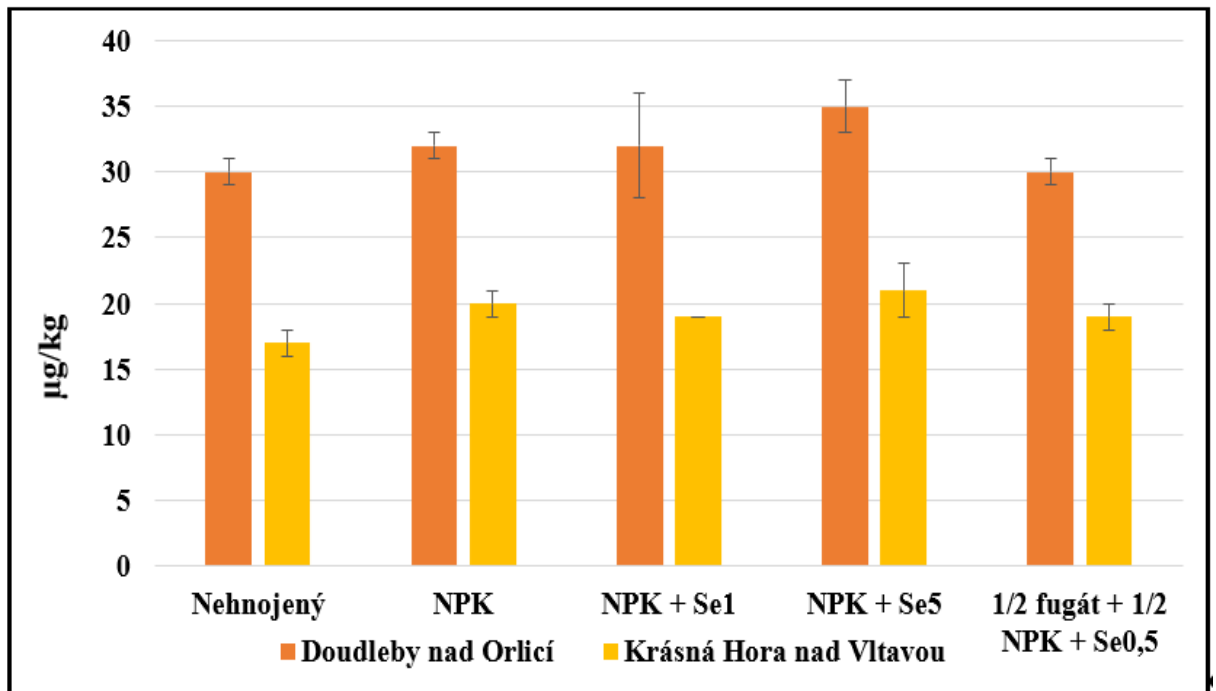
**Graf 24. Obsah síry v zeminách po skončení experimentu**



#### 5.4.2.7 Obsah selenu

Graf č. 25 znázorňuje obsah selenu v jednotlivých variantách zemin po skončení experimentu. Nejvyšší obsah byl zjištěn ve variantě č. 4 (NPK+ Se5) Doudleby nad Orlicí (35 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Nejnižší obsah byl zjištěn ve variantě č. 1 (nehnojený) Krásná Hora nad Vltavou (17 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Celkově obsahovaly varianty zeminy Doudleby nad Orlicí více selenu než varianty Krásná Hora nad Vltavou.

**Graf 25. Obsah selenu v zeminách po skončení experimentu**



## 6 Diskuze

Z výsledků vegetačního nádobového experimentu s pěstováním pšenice jarní, který byl proveden v roce 2019 je zřejmé, že hnojení pšenice má příznivý vliv na výnos pšeničného zrna a v některých případech i na výnos slámy. Dalším pozitivním výsledkem hnojení je zvýšení obsahu makroživin a selenu v pšeničném zrně, které je celosvětově významnou surovinou pro potravinářské i krmné využití. Právě obiloviny jsou podle López-Bellido et al. (2019) nákladově nejefektivnější cestou, jak zvýšit příjem selenu u lidské populace. Obiloviny vykazují relativně nízké koncentrace selenu, v závislosti na regionu pěstování, nabízí se tedy možnost hnojení rostlin pšenice selenem pro podpoření akumulace selenu do zrna. Dle Sager (2006) má pšenice výhodu v minimální ztrátě selenu při zpracování zrna, což potvrzuje i Lyons et al. (2006), kteří tvrdí, že 96 % selenu se hromadí v endospermu.

Nejvyšší výnos zrna vykázala varianta č. 5. pěstovaná na zemině Krásná Hora nad Vltavou, kde výnos zrna dosahoval 25 g zrna na nádobu. Stejná varianta pěstovaná na zemině Doudleby nad Orlicí dosáhla výnosu 17 g zrna na nádobu. Zde bylo aplikováno (1/2fugát+1/2NPK+Se0,5). Aplikace fugátu příznivě ovlivnila výnos pšeničného zrna na obou sledovaných zeminách, a to více než jeho 100 % zvýšením. To potvrzují Kolář et al. (2009), kteří tvrdí, že fugát obsahuje celé spektrum živin ve formě přijatelné pro rostliny. Aplikace selenu neměla žádný vliv na výnos zrna pšenice jarní ani na jedné zemině, tyto výsledky jsou shodné se studií Manojlović et al. (2019), kteří zjistili, že aplikace selenu neměla na výnos zrna vliv.

Nejvíce dusíku bylo obsaženo v zrně pšenice pěstované na obou zeminách, nejméně naopak v kořenech. Obsah dusíku ve slámě ve variantách č. 3 (26,5 g/kg sušiny) a 4 (24,4 g/kg sušiny) pěstovaných na zemině Doudleby nad Orlicí byl několikanásobně vyšší než ve stejné hnojených variantách pěstovaných na zemině Krásná Hora nad Vltavou, takto zvýšený obsah dusíku ve slámě pšenice jarní ve variantách č.3 (NPK+Se1) a č. 4 (NPK+Se5) by se mohl vysvětlit dle teorie Lara et al. (2019) kteří uvádí, že po přihnojení pšenice dávkou selenu ve formě selenanu ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) podpoří metabolismus dusíku, tedy i jeho příjem rostlinou pšenice a tím i jeho následné zvýšení celkového obsahu dusíku v biomase. Zimolka a kol. (2005) uvádí že střední odběr dusíku je 25 kg/t produkce zrna a slámy. Odběr dusíku je tedy u nehnojených variant obdobný.

Nejvíce fosforu obsahovala sláma pšenice pěstované na zemině Krásná Hora nad Vltavou. Nejnižší obsah fosforu byl zjištěn v kořenech ve variantě č. 5 Krásná Hora nad Vltavou

a to 1 151 mg/kg. Nižší obsah fosforu ve všech variantách Doudleby nad Orlicí oproti variantám Krásná Hora nad Vltavou je nejspíše způsoben jeho nižším obsahem v zemině Doudleby nad Orlicí oproti zemině Krásná Hora nad Vltavou. Dle Zimolky a kol. (2005) je střední odběr fosforu biomasou pšenice 5 kg/t produkce slámy a zrna. Při přepočtu bylo zjištěno, že tato hodnota odpovídá všem variantám pěstovaných na zemině Doudleby nad Orlicí. Odběr fosforu variant pěstovaných na zemině Krásná Hora nad Vltavou byl vyšší z důvodu jeho větší zásoby v zemině na začátku experimentu.

Nejvíce draslíku z pšeničné biomasy bylo obsaženo ve slámě. Ve variantě č. 5 Doudleby nad Orlicí vykazovala sláma nejvyšší obsah draslíku (23 069 mg/kg), podobně vysoký obsah byl ve stejně hnojené variantě č. 5 Krásná Hora nad Vltavou (22 240 mg/kg). Takto vysoká koncentrace je díky aplikaci fugátu na začátku experimentu, který je dle Kolář et al. (2010) dobrým hnojivem s obsahem draslíku. V biomase pšenice nebyl obsah draslíku ovlivněn žádnou dávkou selenu do půdy, což potvrzují i výsledky Guerrero et al. (2014), kteří tvrdí že příjem draslíku pšenicí není ovlivněn dávkou selenu. Odběr draslíku dle Zimolka et al. (2005) je 20 kg/t produkce, po přepočtu je u varianty č. 1,2,3 a 4 odběr obdobný.

Nejvyšší obsah hořčíku byl zjištěn v kořeni varianta č. 1 Krásná Hora nad Vltavou (4 054 mg/kg). Naopak nejnižší obsah hořčíku byl zjištěn ve slámě varianta č. 1 Doudleby nad Orlicí (990 mg/kg). Kořeny Krásná Hora nad Vltavou vykazovaly ve všech variantách vyšší obsah draslíku než varianty Doudleby nad Orlicí. Zimolka a kol. (2005) uvádí střední odběr hořčíku biomasou pšenice 2,4 kg/t produkce. Přepočtem bylo zjištěno že odběr hořčíku biomasou je v našem experimentu totožný.

Nejvíce vápníku bylo obsaženo v kořeni a slámě pšenice. Nejvyšší obsah síry byl zjištěn v zrně variantě č. 1. Krásná Hora nad Vltavou (804 mg/kg). Naopak nejnižší obsah síry byl zjištěn ve slámě variantě č. 3 Doudleby nad Orlicí (336 mg/kg). Obsah síry v biomase pšenice byl nejnižší ze všech sledovaných makroprvků. Přepočet odběru síry na biomasu se neshoduje s výsledky Zimolka a kol. (2005), kteří uvádí odběr síry biomasou pšenice 4 g/kg.

Dávky selenu do půdy zvyšovaly jeho obsah v biomase, což udává i Duscaj et al. (2009), kteří zjistili, že aplikace selenu do půdy způsobily jeho významné zvýšení v sušině celé biomasy pšenice. Obsah selenu se v biomase pšenice pohyboval od 0,028 mg/kg do 4,14 mg/kg. Jeho obsah v zrně v nehnojené variantě č. 1 Doudleby nad Orlicí (0,56 mg/kg) se shodují s výsledky Duscaj et al. (2009), kteří zjistili obsah selenu nehnojené varianty (0,6 mg/kg) Námí zjištěný obsah selenu ve variantě č. 4 ve slámě, zrně i kořenech je několikanásobně vyšší než v experimentu Duscaj et al. (2009). Nejvyšší obsah selenu v zrně byl zjištěn ve variantě

č. 4 Doudleby nad Orlicí (4,14 mg/kg), což je desetkrát více než zjistili Lyons et al. (2005). Takto vysoká koncentrace selenu v zrnu je patrně způsobena nižším výnosem zrna.

Obsah selenu v zrnu ve variantě č. 2 (NPK) Doudleby nad Orlicí je vyšší než obsah v zrnu ve variantě č. 1 (nehnojená kontrola) Doudleby nad Orlicí. Zde tedy neplatí teorie zřed'ovacího efektu dle Fan et al. (2008) ani Zhao et al. (2007), kteří tvrdí, že v důsledku vyššího výnosu oproti kontrole se selen přijatý rostlinou rozředí.

Celkové odběry selenu biomasou závisely na jeho dávce při samotném založení nádobového experimentu. U nehnojených variant se celkový odběr selenu pohyboval kolem 20 µg/nádobu u obou experimentálních zemin. U varianty č. 5 hnojené 160 µg se/nádobu byl celkový odběr selenu biomasou 150 µg/nádobu. To znamená, že rostlina přijmula a zabudovala do biomasy větší část selenu dodaného do půdy na začátku experimentu. Tyto výsledky se neshodují s Yli-Halla (2005), kteří tvrdí, že při hnojení selenem je rostlina schopná přijmout jen malou část aplikovaného selenu, obvykle méně než 10 % aplikovaného množství. Dle Lyons et al. (2004) je rostlina schopná přijmou až 18 % aplikovaného selenu.

Námi zvolený způsob hnojení pšenice selenem do půdy před setím se jeví jako účinné řešení, jak zvýšit jeho obsah v pšeničné biomase. Účinnější je dle Studie Curtin et al. (2006) aplikace selenu ve fázi intenzivního růstu rostlin.

Obsah minerálního dusíku v zeminách po skončení experimentu byl určen jeho dávkou na začátku experimentu. V nehnojené variantě se obsah dusíku pohyboval od 10 mg/kg do 20 mg/kg zeminy. Nejvyšší obsah dusíku byl zjištěn ve variantě č. 2. (NPK) pěstované na zemině Doudleby nad Orlicí, jehož obsah byl 73 mg/kg zeminy. Nejvíce fosforu v zemině obsahovala varianta č. 4 (NPK+Se5) Krásná Hora nad Vltavou (425mg/kg). Všechny varianty zeminy Krásná Hora nad Vltavou obsahovaly více fosforu než zeminy Doudleby nad Orlicí, tuto skutečnost přikládáme nízkému obsahu fosforu v zemině Doudleby nad Orlicí na začátku experimentu. Draslík v zeminách po skončení experimentu byl ve hnojených variantách na obou zeminách vyrovnaný (400 mg/kg), nižší obsah byl pouze na nehnojených kontrolních variantách.

Obsah selenu v půdě byl nejvyšší ve variantě č. 4 (NPK+Se5) Doudleby nad Orlicí (35µg/kg), kde byla aplikovaná dávka 160µg/selenu ve formě selenanu na nádobu. Naopak nejnižší obsah selenu byl zjištěn ve variantě č. 1(nehnojená kontrola) Krásná Hora nad Vltavou a to (17µg/kg). Celkově obsahovaly varianty zeminy Doudleby nad Orlicí více selenu než varianty Krásná Hora nad Vltavou.

## 7 Závěr

Vzhledem k nízkému obsahu selenu v lidské potravě na území České republiky by se obohacování pšeničného zrna selenem ve formě selenanu mohlo stát efektivním způsobem, jak tento esenciální prvek v lidské stravě ale i zvířecí potravě doplnit a zvýšit jeho příjem na zdraví prospěšnou hodnotu.

V našem vegetačním nádobovém experimentu byl hodnocen vliv aplikace hnojiva NPK, selenu ve formě selenanu ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) a fugátu na obsah selenu a makroprvků v zrna, slámě a kořenech pšenice jarní. Dále byl sledován výnos biomasy jednotlivých variant hnojení. Všechny varianty hnojení byly provedeny ve čtyřech opakováních na dvou zeminách – kyselá zemina Doudleby nad Orlicí, a neutrální zemina – Krásná Hora nad Vltavou.

Z výsledků této diplomové práce vyplývá, že obsah selenu v biomase pšenice se pohyboval v rozmezí 0,028 – 4,14 mg/kg sušiny. Nejvyšší obsah selenu byl zjištěn ve slámě u varianty hnojené 1 g N + 0,19 g P + 0,86 g K + 160  $\mu\text{g}$  Se/nádobu pěstované na zemině Doudleby nad Orlicí a to 4,14 mg/kg. Pro nás nejdůležitější je obsah selenu v zrna, z důvodu jeho možného potravinářského či krmného využití, nejvyšší obsah byl zjištěn ve variantě hnojené 1 g N + 0,19 g P + 0,86 g K + 160  $\mu\text{g}$  Se/nádobu, hodnota obsahu selenu byla 3,08 mg/kg, při výnosu zrna 9,52 g odebrala varianta zrnem celkem 0,036 mg Se/nádobu. Nejvyšší výnos zrna vykázala varianta hnojená 1/2 fugát + 1/2 NPK + 16  $\mu\text{g}$  Se/nádobu, pěstovaná na zemině Krásná Hora nad Vltavou (24,65 g zrna).

Ze zpracované literární rešerše je zřejmé, že se problematikou aplikace selenu na ornou půdu zabývá mnoho zahraničních i tuzemských autorů. Byla potvrzena hypotéza, že se s rostoucí dávkou selenu bude zvyšovat jeho příjem a obsah v biomase pšenice jarní. Rozdílný zdroj živin, minerální hnojivo NPK a fugát, ovlivnil příjem a akumulaci selenu v rostlinách pšenice jarní, čímž byla potvrzena i druhá hypotéza.

## 8 Seznam literatury

1. Ajwa HA, Bañuelos GS, Mayland HF. 1998. Selenium Uptake by Plants from Soils Amended with Inorganic and Organic Materials. *Journal of Environmental Quality* 27:1218-1227.
2. Allen RO, Steinnes E. 1980. Contribution from long-range atmospheric transport to the heavy metal pollution of surface soil. Ecological impact of acid precipitation. SNSF Project, 3-102.
3. Ambroziak U, Hybsier S, Shahnazaryan U, Krasnodębska-Kiljańska M, Rijntjes E, Bartoszewicz Z, Bednarczuk T, Schomburg L. 2017. Severe selenium deficits in pregnant women irrespective of autoimmune thyroid disease in an area with marginal selenium intake. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 44:186-191.
4. Haug A, Graham RD, Christophersen OA, Lyons GH. 2009. How to use the world's scarce selenium resources efficiently to increase the selenium concentration in food. *Microbial Ecology in Health and Disease* 19:209-228.
5. Aspila P. 2005. History of selenium supplemented fertilization in Finland. In: *Proceedings, Twenty Years of Selenium Fertilization*. Helsinki, Finland.
6. Avery J, Hoffmann P. 2018. Selenium, Selenoproteins, and Immunity. *Nutrients* 10:1-20.
7. Bañuelos GS, Arroyo I, Pickering IJ, Yang SI, Freeman JL. 2015. Selenium biofortification of broccoli and carrots grown in soil amended with Se-enriched hyperaccumulator *Stanleya pinnata*. *Food Chemistry* 166:603-608.
8. Broadley MR et al. 2006. Biofortification of UK food crops with selenium. *Proceedings of the Nutrition Society* 65:169-181.



9. Bryszewska MA, Ambroziak W, Diowksz A, Baxter MJ, Langford NJ, Lewis DJ. 2005. Changes in the chemical form of Se observed during the manufacture of a Se-enriched sourdough bread for use in a human nutrition study. *Food Addit Contam.* 22: 135–40.
10. Cakir O, Turgut-Kara N, Ari S. 2012. Selenium Metabolism in Plants: Molecular Approaches. *Advances in Selected Plant Physiology Aspects*:209-232.
11. Campa A, Shor-Posner G, Indacochea F, Zhang G, Lai H, Asthana D. 1999. Mortality risk in selenium-deficient HIV-positive children. *J Acquir Immune Defic Syndr Hum Retrovirol.* 20:508–13.
12. Campos MLAM, Nightingale PD, Jickells TD. 1996. A comparison of methyl iodide emissions from seawater and wet depositional fluxes of iodine over the southern North Sea. *Tellus.* 48B:106–14
13. Carvalho IS, Miranda I, Pereira H. 2006. Evaluation of oil composition of some crops suitable for human nutrition. *Industrial Crops and Products* 24:75-78.
14. Ceko MJ, Hummitzsch K, Hatzirodos N, Bonner WM, Aitken JB, Russell DL, Lane M, Rodgers RJ, Harris HH. 2015. X-Ray fluorescence imaging and other analyses identify selenium and GPX1 as important in female reproductive function. *Metallomics* 7:71-82.
15. Curtin D, Hanson R, Lindley TN, Butler RC. 2006. Selenium concentration in wheat ( *Triticum aestivum* ) grain as influenced by method, rate, and timing of sodium selenate application. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 34:329-339.
16. Dhillon KS, Dhillon SK, Dogra R. 2010. Selenium accumulation by forage and grain crops and volatilization from seleniferous soils amended with different organic materials. *Chemosphere* 78:548-556.

17. Dhillon KS, Dhillon SK. 2000. Selenium accumulation by sequentially grown wheat and rice as influenced by gypsum application in a seleniferous soil. *Plant and Soil* 227:243-248.
18. Dinh QT et al. 2018. Bioavailability of selenium in soil-plant system and a regulatory approach. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 49:443-517.
19. Divišová E. 2010. Situační a výhledová zpráva. Obiloviny. Ministerstvo zemědělství ČR. Praha.
20. Ducsay L, Ložek O, Varga L. 2009. The influence of selenium soil application on its content in spring wheat. *Plant Soil Environment* 55(2):80-84.
21. Dumont E, Vanhaecke F, Cornelis R. 2006. Selenium speciation from food source to metabolites: a critical review. *Anal. Bioanal. Chem.* 385:1304–1323.
22. Ducsay L, Ložek O, Varga L. 2009. The influence of selenium soil application on its content in spring wheat. *PLANT SOIL ENVIRON* 55:80-84.
23. Dworkin BM. 1994. Selenium deficiency in HIV infection and the acquired immunodeficiency syndrome (AIDS). *Chem Biol Interact* 91:181–186.
24. Fan M-S, Zhao F-J, Poulton PR, McGrath SP. 2008. Historical changes in the concentrations of selenium in soil and wheat grain from the Broadbalk experiment over the last 160 years. *Science of The Total Environment* 389:532-538.
25. Fernández-Martínez A, Charlet L. 2009. Selenium environmental cycling and bioavailability: a structural chemist point of view. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 8:81-110.
26. Floor GH, Calabrese S, Román-Ross G, D'Alessandro W, Aiuppa A. 2011. Selenium mobilization in soils due to volcanic derived acid rain: An example from Mt Etna volcano, Sicily. *Chemical Geology* 289:235-244.

27. Graham RD et al. 2007. Nutritious Subsistence Food Systems. *Advance in Agronomy* 2017:1-74.
28. Guerrero B, Llugany M, Palacios O, Valiente M. 2014. Dual effects of different selenium species on wheat. *Plant Physiology and Biochemistry* 83:300-307.
29. Gupta M, Gupta S. 2017. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. *Frontiers in Plant Science* 7.
30. Hart DJ et al. 2011. Selenium concentration and speciation in biofortified flour and bread: Retention of selenium during grain biofortification, processing and production of Se-enriched food. *Food Chemistry* 126:1771-1778.
31. Hartikainen H. 2005. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18:309-318.
32. Hawkesford MJ, Zhao F-J. 2007. Strategies for increasing the selenium content of wheat. *Journal of Cereal Science* 46:282-292.
33. Hawrylak-Nowak B, Matraszek R, Pogorzelec M. 2015. The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 37:1-13.
34. Kipp AP, Strohm D, Brigelius-Flohe R, Schomburg L, Bechthold A, Leschik-Bonnet E, Hesecker H. 2015. German Nutrition Society (DGE). Revised reference values for selenium intake. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 32:195–199.
35. Kocatürk-Schumacher NP, Zwart K, Bruun S, Stoumann Jensen L, Sørensen H, Brussaard L. 2019. Recovery of nutrients from the liquid fraction of digestate: Use of enriched zeolite and biochar as nitrogen fertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 182:187-195.

36. Krauskopf KB. 1982. Introduction to geochemistry, 2nd. edn. Singapore: McGraw-Hill Book Company, Appendix.
37. Kumar M. 2014. Crop Plants and Abiotic Stresses. *Biomolecular Research & Therapeutics* 03:125.
38. Kutcher HR, Warland JS, Brandt SA. 2010. Temperature and precipitation effects on canola yields in Saskatchewan, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology* 150:161-165.
39. Lara TS, Lessa JH de L, de Souza KRD, Corguinha APB, Martins FAD, Lopes G, Guilherme LRG. 2019. Selenium biofortification of wheat grain via foliar application and its effect on plant metabolism. *Journal of Food Composition and Analysis* 2019:10-18.
40. Li H-F, McGrath SP, Zhao F-J. 2008. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. *New Phytologist* 178:92-102.
41. Li Z, Liang D, Peng Q, Cui Z, Huang J, Lin Z. 2017. Interaction between selenium and soil organic matter and its impact on soil selenium bioavailability: A review. *Geoderma* 295:69-79.
42. Liu H, Shi Z, Li J, Zhao P, Qin S, Nie Z. 2018. The Impact of Phosphorus Supply on Selenium Uptake During Hydroponics Experiment of Winter Wheat (*Triticum aestivum*) in China. *Front. Plant Sci.* 9:373.
43. López-Bellido FJ, Sanchez V, Rivas I, López-Bellido RJ, López-Bellido L. 2019. Wheat grain selenium content as affected by year and tillage system in a rainfed Mediterranean Vertisol. *Field Crops Research* 2019:41-48.

44. Lyons G, Ortiz-Monasterio I, Stangoulis J, Graham R. 2005. Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding? *Plant and Soil* 269:369-380.
45. Lyons GH, Genc Y, Stangoulis JCR, Palmer LT, Graham RD. 2005. Selenium Distribution in Wheat Grain, and the Effect of Postharvest Processing on Wheat Selenium Content. *Biological Trace Element Research* 103:155-168.
46. Lyons GH, Lewis J, Lorimer MF, Holloway RE, Brace DM, Stangoulis JCR. 2004. High-selenium wheat: agronomic biofortification strategies to improve human nutrition. *Food Agric Environ* 2:171–178.
47. MacFarquhar JK. 2010. Acute Selenium Toxicity Associated With a Dietary Supplement. *Archives of Internal Medicine* 170:256-261.
48. Malat'ák J, Vaculík P. 2008. Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství. Zpracování biologicky rozložitelných odpadů. PowerPrint, Praha.
49. Manojlović MS, Lončarić Z, Cabilovski RR, Popović B, Karalić K, Ivezić V, Ademi A, Singh BR. 2019. Biofortification of wheat cultivars with selenium. *Soil & Plant Science* 69:715-724.
50. Mehdi Y, Dufrasne I. 2016. Selenium in Cattle: A Review. *Molecules* 21:1-14.
51. Nawaz F, Ashraf MY, Ahmed R, Waraich EA, Shabbir, RN. 2014. Selenium (Se) Regulates Seedling Growth in Wheat under Drought Stress. *Advances in Chemistry*.1-7.
52. Neumann K, Verburg PH, Stehfest E, Müller Ch. 2010. The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Agricultural Systems* 5(103):316-326.

53. Øgaard AF, Sogn TA, Eich-Greatorex S. 2006. Effect of cattle manure on selenate and selenite retention in soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76:39-48.
54. Pilon-Smits EAH, Quinn CF. 2010. Selenium metabolism in plants, in *Cell Biology of Metal and Nutrients*. Springer 225–241.
55. Pilon-Smits EAH, Quinn CF, Tapken W, Malagoli M, Schiavon M. 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology* 12:267-274.
56. Prugar, J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČZV, Praha.
57. Rayman MP. 2000. The importance of selenium to human health. *Lancet* 356:233–241.
58. Rayman MP. 2012. Selenium and human health. *Lancet* 379:1256–1268.
59. Reeves MA, Hoffman PR. 2009. The human selenoproteome: recent insights into functions and regulation. *Cellular and Molecular Life Sciences* 66:2457–2478.
60. Reimann C. 2003. Agricultural soils in Northern Europe: a geochemical atlas, 5. In *Kommission Schweizerbart'sche, Hannover*.
61. Ros M, Pernice M, Le Guillou S, Doblin MA, Schrameyer V, Laczka O. 2016. Colorimetric Detection of Caspase 3 Activity and Reactive Oxygen Derivatives: Potential Early Indicators of Thermal Stress in Corals. *Journal of Marine Biology* 2016:1-11.

62. Sager M. 2006. Selenium in agriculture, food, and nutrition. *Pure and Applied Chemistry* 78:111-133.
63. Lee S, Woodard HJ, Doolittle JJ. 2011. Effect of phosphate and sulfate fertilizers on selenium uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Soil Science and Plant Nutrition* 57:696-704.
64. Sharma VK, McDonald TJ, Sohn M, Anquandah GAK, Pettine M, Zboril R. 2015. Biogeochemistry of selenium. A review. *Environmental Chemistry Letters* 13:49-58.
65. Shreenath AP, Dooley J. Selenium Deficiency. 2019. Treasure Island : StatPearls Publishing, Island.
66. Schomburg L. 2019. Dietary Selenium and Human Health. *Nutrients* 30:9.
67. Singh BR. 1991. Selenium content of wheat as affected by selenate and selenite contained in a Cl- or SO<sub>4</sub>-based NPK fertilizer. *Fertilizer Research* 30:1-7.
68. Skalnaya MG et al. 2019. Selenium and Other Elements in Wheat (*Triticum aestivum*) and Wheat Bread from a Seleniferous Area. *Biological Trace Element Research* 192:10-17.
69. Song T, Su X, He J, Liang Y, Zhou T, Liu C. 2018. Selenium (Se) uptake and dynamic changes of Se content in soil–plant systems. *Environmental Science and Pollution Research* 25:34343-34350.
70. Suttle NF. 2010. Mineral nutrition of livestock 4th ed.. CABI, Cambridge, MA.
71. Száková J, Tremlová J, Pegová K, Najmanová J, Tlustoš P. 2015. Soil-to-plant transfer of native selenium for wild vegetation cover at selected locations of the Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment* 187:1-9.

72. Tamás M, Mándoki Z, Csapó J. 2010. The role of selenium content of wheat in the human nutrition. A literature review, *Alimentaria*.
73. Tan J'an, Zhu W, Wang W, Li R, Hou S, Wang D, Yang L. 2002. Selenium in soil and endemic diseases in China. *Science of The Total Environment* 284:227-235.
74. Tinggi U. 2003. Essentiality and toxicity of selenium and its status in Australia: a review. *Toxicology Letters* 137:103-110.
75. Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. *Výživa zahradních rostlin*. Academia, Praha.
76. Versini A, Di Tullo P, Aubry E, Bueno M, Thiry Y, Pannier F, Castrec-Rouelle M. 2016. Influence of Se concentrations and species in hydroponic cultures on Se uptake, translocation and assimilation in non-accumulator ryegrass. *Plant Physiology and Biochemistry* 108:372-380.
77. Vinceti M, Filippini T, Wise LA. 2018. Environmental Selenium and Human Health: an Update. *Current Environmental Health Reports* 5:464-485.
78. Wang Z, Gao Y. 2001. Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments. *Applied Geochemistry* 16:1345-1351.
79. Wallenberg M, Olm E, Hebert C, Björnstedt M, Fernandes A P. 2010. Selenium compounds are substrates for glutaredoxins: a novel pathway for selenium metabolism and a potential mechanism for selenium-mediated cytotoxicity. *Biochemical Journal* 429:85-93.
80. Whanger PD. 2002. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *J Am Coll Nutr* 21:223-32.



81. Wijnja H, Schulthess CP. 2000. Interaction of Carbonate and Organic Anions with Sulfate and Selenate Adsorption on an Aluminum Oxide. *Soil Science Society of America Journal* 64:898-908.
82. Winkel L, Vriens B, Jones G, Schneider L, Pilon-Smits E, Bañuelos G. 2015. Selenium Cycling Across Soil-Plant-Atmosphere Interfaces: A Critical Review. *Nutrients* 7:4199-4239.
83. Yli-Halla M. 2005. Influence of Se fertilization on soil Se status. In: *Proceedings, Twenty Years of Se Fertilization*. Helsinki.
84. Zhao C, Ren J, Xue C, Lin E. 2005. Study on the Relationship between Soil Selenium and Plant Selenium Uptake. *Plant and Soil* 277:197-206.
85. Zhao F, Lopezbellido F, Gray C, Whalley W, Clark L, Mchrath S. 2007. Effects of soil compaction and irrigation on the concentrations of selenium and arsenic in wheat grains. *Science of The Total Environment* 372:433-439.
86. Zimolka J. 2005. *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna*. Profi Press, Praha. 180s.
87. Zust J, Hrovatin B, Simundic B. 1996. Assessment of selenium and vitamin E deficiencies in dairy herds and clinical disease in calves. *Veterinary Record* 139:391-394.
88. Zwolak I, Zaporowska H. 2012. Selenium interactions and toxicity: a review. *Cell Biology and Toxicology* 28:31-46.

## 9 Seznam použitých zkratek a symbolů

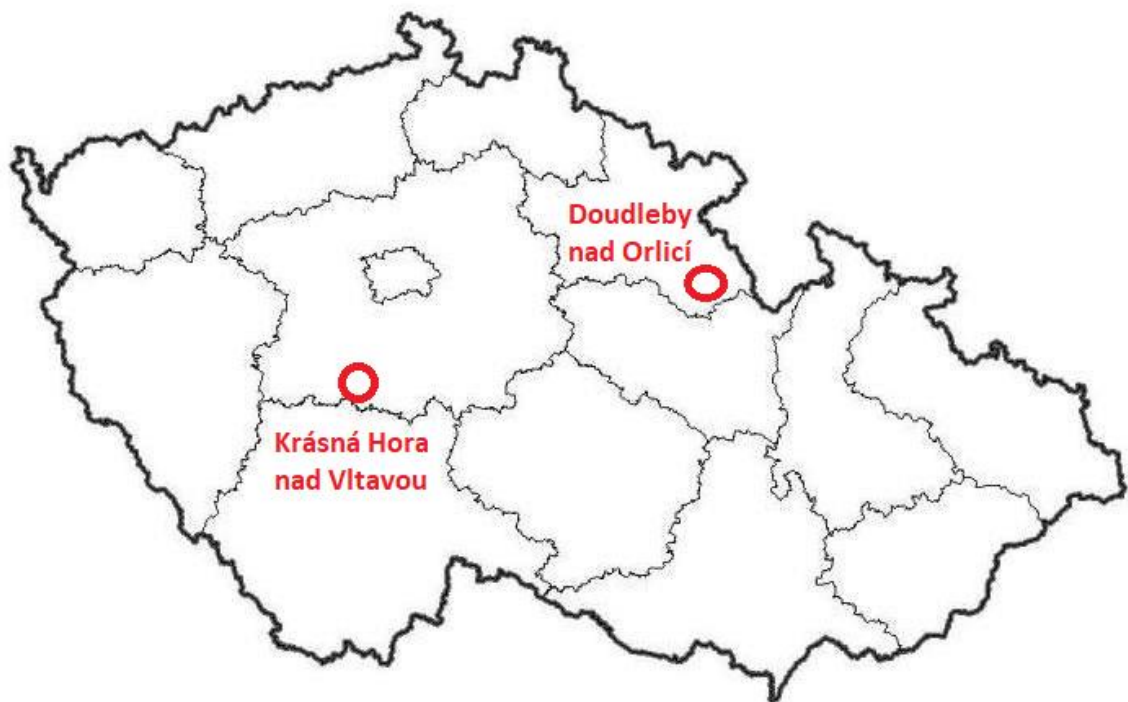
Se – selen  
NPK – hnojivo s obsahem dusíku, fosforu a draslíku  
N – dusík  
P – fosfor  
K – draslík  
Ca – vápník  
Mg – hořčík  
S – síra  
kg – kilogram  
t – tuna  
mg – miligram  
μg – mikrogram  
g – gram  
USA – Spojené státy americké  
RNA – ribonukleová kyselina  
Se-Cys – selenocystein  
Se-Met – selenomethionin  
KCl – chlorid draselný  
Al – hliník  
Fe – železo  
Mn – mangan  
Cd – kadmium  
ZD – zemědělské družstvo  
L – litr  
DNO – Doudleby nad Orlicí  
KH – Krásná hora nad Vltavou  
EDTA – kyselina edetová  
č – číslo  
ČZU – Česká zemědělská univerzita v Praze

## 10 Samostatné přílohy

### 10.1 Obrázky

#### 10.1.1 Fotografie z průběhu experimentu

Obrázek 5. Mapa odběrových stanovišť zemin



**Obrázek 6. Sušení zemin**



**Obrázek 7. Prosívání zemin**



**Obrázek 8. Zakládání experimentu, mísení komponent**



Obrázek 9. Nádoby před výsevem



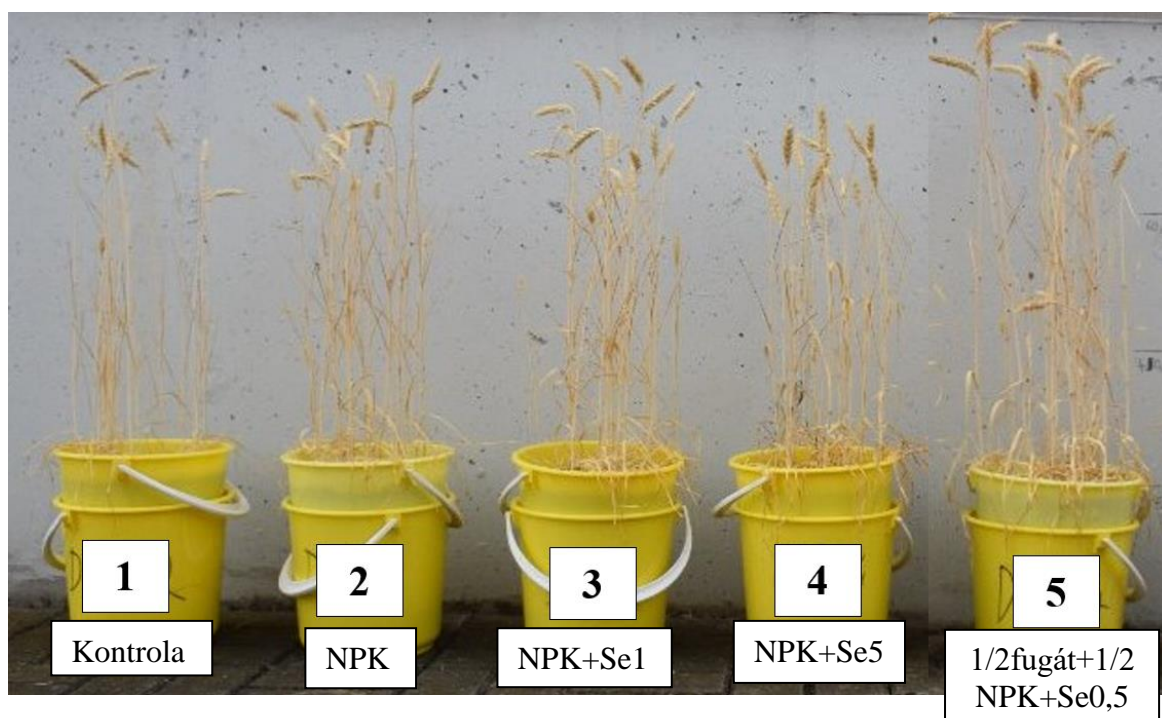
**Obrázek 10. Vzešlý porost pšenice v nádobách**



**Obrázek 11. Aplikace POR proti padlí**

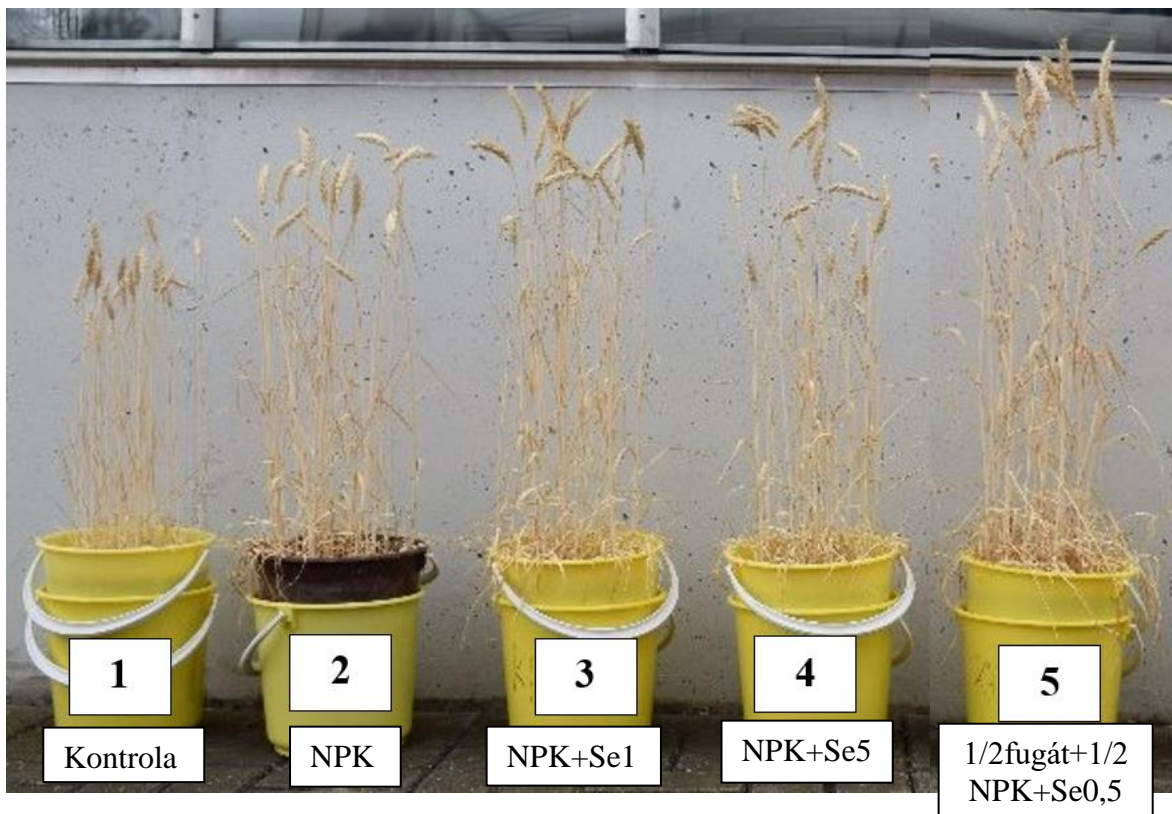


**Obrázek 12. Jednotlivé varianty Douhleby nad Orlicí před sklizní**

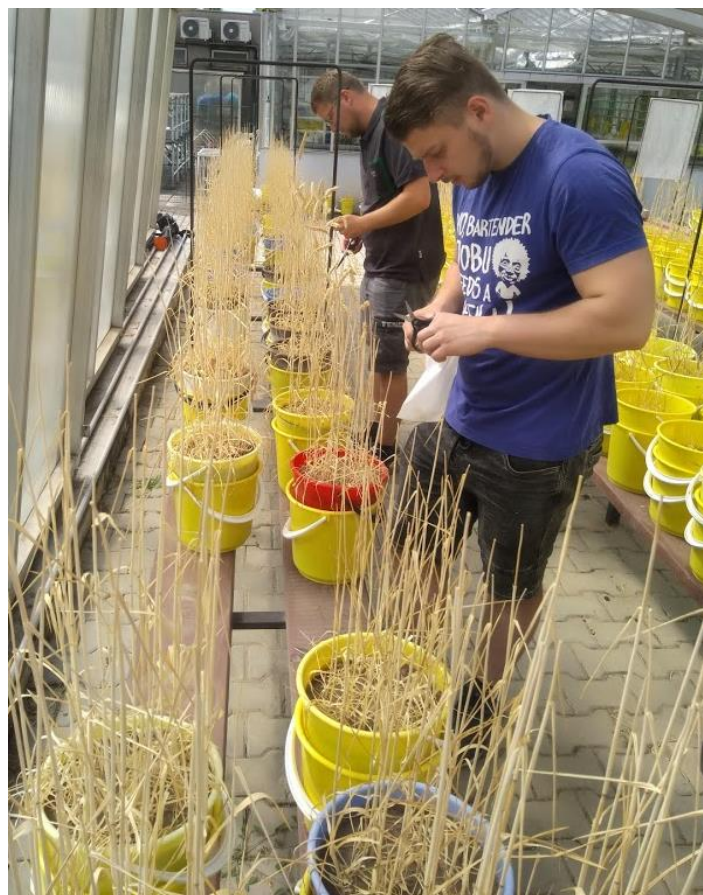




**Obrázek 13. Jednotlivé varianty Krásná Hora nad Vltavou před sklizní**



**Obrázek 14. Ruční sklizeň pšenice**



**Obrázek 15. Experimentální mlátičí buben**



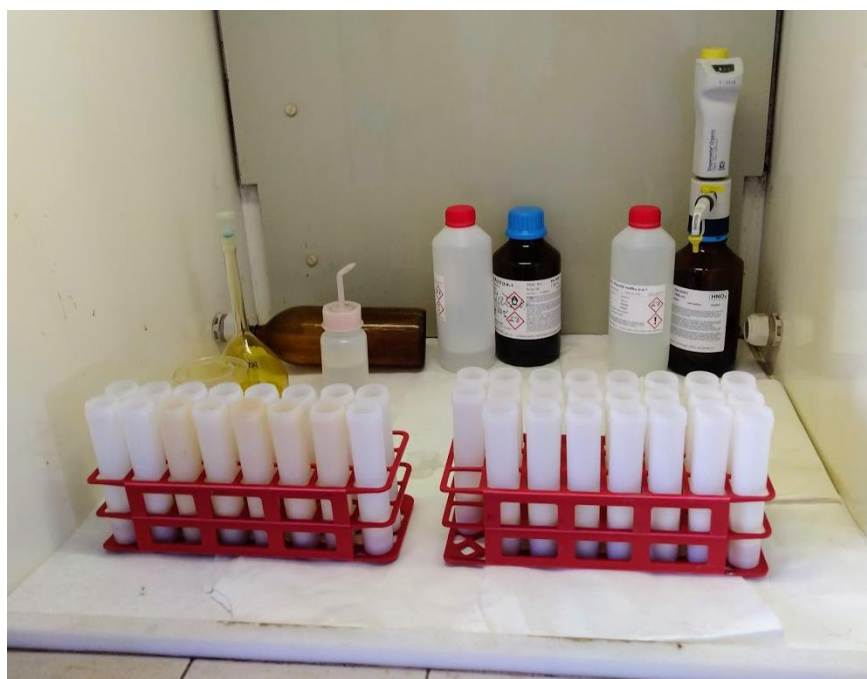
**Obrázek 16. Podtlaková čistička**



Obrázek 17. Navažování vzorků



Obrázek 18. Příprava kyvet na nízkotlaký rozklad



**Obrázek 19. Mikrovlnný rozklad**



**Obrázek 20. Filtrace Melich III**



## 11 Seznam příloh

Seznam grafů:

Graf 1. Výnosy kořene.....	31
Graf 2. Výnosy slámy.....	32
Graf 3. Výnosy zrna.....	33
Graf 4. Celkové odběry dusíku rostlinami pšenice pěstované na půdě Doudleby nad Orlicí .....	39
Graf 5. Celkové odběry dusíku variant Krásná Hora nad Vltavou.....	40
Graf 6. Celkové odběry fosforu variant Doudleby nad Orlicí.....	41
Graf 7. Celkové odběry fosforu variant Krásná Hora nad Vltavou .....	42
Graf 8. Celkové odběry draslíku variant Doudleby nad Orlicí.....	43
Graf 9. Celkové odběry draslíku variant Krásná Hora nad Vltavou .....	44
Graf 10. Celkové odběry vápníku variant Doudleby nad Orlicí.....	45
Graf 11. Celkové odběry vápníku variant Krásná Hora nad Vltavou .....	46
Graf 12. Celkové odběry hořčíku variant Doudleby nad Orlicí.....	47
Graf 13. Celkové odběry hořčíku variant Krásná Hora nad Vltavou.....	48
Graf 14. Celkové odběry síry variant Doudleby nad Orlicí.....	49
Graf 15. Celkové odběry síry variant Krásná Hora nad Vltavou .....	50
Graf 16. Celkové odběry selenu variant Doudleby nad Orlicí .....	51
Graf 17. Celkové odběry selenu variant Krásná Hora nad Vltavou.....	52
Graf 18. Hodnota pH po skončení experimentu .....	53
Graf 19. Obsah minerálního dusíku v zeminách po skončení experimentu.....	54
Graf 20. Obsah fosforu v zeminách po skončení experimentu .....	55
Graf 21. Obsah draslíku v zeminách po skončení experimentu .....	55
Graf 22. Obsah vápníku v zeminách po skončení experimentu .....	56
Graf 23. Obsah hořčíku v zeminách po skončení experimentu.....	57
Graf 24. Obsah síry v zeminách po skončení experimentu.....	57
Graf 25. Obsah selenu v zeminách po skončení experimentu.....	58

Seznam tabulek:

Tabulka 1. Obsah selenu v pšeničném zrně $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Lyons et al. 2005) .....	9
Tabulka 2. Obsah selenu v různých částech pšenice (Duscaý et al. 2009).....	10
Tabulka 3. Jednotlivé varianty hnojení v nádobovém experimentu (Duscaý et al. 2009).....	11
Tabulka 4. Jednotlivé varianty hnojení (Manojović et al. 2019).....	12
Tabulka 5. Odhadovaný denní příjem selenu člověkem .....	15
Tabulka 6. GPS odběrových lokalit .....	22
Tabulka 7. Obsah přístupných živin ve fugátu Krásná Hora nad Vltavou.....	25
Tabulka 8. Jednotlivé varianty hnojení .....	26
Tabulka 9. Obsah dusíku v biomase pšenice ( $\text{mg}/\text{kg}$ sušiny).....	34
Tabulka 10. Obsah fosforu v biomase pšenice ( $\text{mg}/\text{kg}$ sušiny) .....	35
Tabulka 11. Obsah draslíku v biomase pšenice ( $\text{mg}/\text{kg}$ sušiny) .....	35
Tabulka 12. Obsah vápníku v biomase pšenice ( $\text{mg}/\text{kg}$ sušiny) .....	36
Tabulka 13. Obsah hořčíku v biomase pšenice ( $\text{mg}/\text{kg}$ sušiny) .....	36
Tabulka 14. Obsah síry v biomase pšenice ( $\text{mg}/\text{kg}$ sušiny).....	37
Tabulka 15. Obsah selenu v biomase pšenice ( $\text{mg}/\text{kg}$ sušiny).....	38

Seznam obrázků:

<b>Obrázek 1</b>	<b>Příznivé účinky selenu na rostlinu (Gupta &amp; Gupta 2017)</b>	<b>8</b>
<b>Obrázek 2</b>	<b>Odběrové místo Doudleby nad Orlicí</b>	<b>23</b>
<b>Obrázek 3</b>	<b>Odběrové místo Krásná Hora nad Vltavou</b>	<b>24</b>
<b>Obrázek 4</b>	<b>Schéma experimentu</b>	<b>26</b>
<b>Obrázek 5</b>	<b>Mapa odběrových stanovišť zemin</b>	<b>I</b>
<b>Obrázek 6</b>	<b>Sušení zemin</b>	<b>II</b>
<b>Obrázek 7</b>	<b>Prosívání zemin</b>	<b>III</b>
<b>Obrázek 8</b>	<b>Zakládání experimentu, mísení komponent</b>	<b>III</b>
<b>Obrázek 9</b>	<b>Nádoby před výsevem</b>	<b>IV</b>
<b>Obrázek 10</b>	<b>Všešlý porost pšenice v nádobách</b>	<b>V</b>
<b>Obrázek 11</b>	<b>Aplikace POR proti padlí</b>	<b>VI</b>
<b>Obrázek 12</b>	<b>Jednotlivé varianty Doudleby nad Orlicí před sklizní</b>	<b>VI</b>
<b>Obrázek 13</b>	<b>Jednotlivé varianty Krásná Hora nad Vltavou před sklizní</b>	<b>VII</b>
<b>Obrázek 14</b>	<b>Ruční sklizeň pšenice</b>	<b>VII</b>
<b>Obrázek 15</b>	<b>Experimentální mláticí buben</b>	<b>VIII</b>
<b>Obrázek 16</b>	<b>Podtlaková čistička</b>	<b>VIII</b>
<b>Obrázek 17</b>	<b>Navažování vzorků</b>	<b>IX</b>
<b>Obrázek 18</b>	<b>Příprava kyvet na nízkotlaký rozklad</b>	<b>IX</b>
<b>Obrázek 19</b>	<b>Mikrovlnný rozklad</b>	<b>X</b>
<b>Obrázek 20</b>	<b>Filtrace Melich III</b>	<b>X</b>