Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

Vliv aplikace fugátu na příjem a akumulaci selenu a vybraných mikroživin v rostlinách pšenice jarní

Diplomová práce

Autor práce
Bc. Radek Havlíček

Obor studia
Rostlinná produkce (AMRR)

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 fugátu na příjem a akumulaci selenu a vybraných mikroživin v rostlinách 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 poskytování cenných rad při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Lukáši Kaplanovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost a pomoc při realizaci experimentu. Také bych chtěl poděkovat pracovníkům Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin za pomoc při zpracování analýz vzorků. V neposlední řadě bych rád poděkoval také Bc. Filipu Hlaváčkovi, Bc. Tomáši Mrštinovi a Bc. Patriku Mokošínovi za pomoc při přípravě, založení a ukončení experimentu.

Vliv aplikace fugátu na přijem a akumulaci selenu a vybraných mikroživin v rostlinách pšenice jarní

Souhrn

Fugát je získáván mechanickou separací digestátu, obsahuje makroživiny, mikroživiny a také rizikové prvky. Fugát je v zemědělství využíván především pro hnojení, je aplikován na zemědělskou půdu s následným zapravením do půdy. Selen (Se) je významným stopovým prvkem pro živé organismy. V rostlinách dokáže částečně regulovat vodní status, zejména v suchých podmínkách. Pšenice je charakterizována jako jedna z účinných akumulátorů Se mezi obilninami.

Cíle literární části jsou zaměřeny na zhodnocení jednotlivých poznatků zahraničních a tuzemských autorů zabývajících se problematikou aplikace fugátu a vlivem hnojení na kumulaci Se, mikroživin a rizikových prvků v jednotlivých částech vybraných zemědělských plodin.

Ve své experimentální části diplomové práce uvádím výsledky jednoletého nádobového pokusu s pěstováním pšenice jarní (odrůda *´Scirocco´*) ve dvou zeminách s odlišnou hodnotou pH. První zemina (hlinito-písčitá, pH 6,9) byla odebrána v lokalitě ZD Krásná Hora nad Vltavou a druhá zemina (hlinitá, pH 5,8) byla odebrána v lokalitě Doudleby nad Orlicí. Vegetační experiment byl založen v pěti variantách se čtyřmi opakováními. První varianta byla kontrolní (nehnojená). Druhá varianta byla hnojená minerálním NPK. Ve třetí variantě byl aplikován fugát z bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou. Čtvrtá varianta byla hnojená dělenou dávkou fugátu a dělenou dávkou NPK s obohacením Se ve formě selenanu. V poslední páté variantě byla aplikována plná dávka fugátu a dvojnásobná dávka selenanu. Ve všech hnojených variantách byla aplikována shodná dávka N, P, K živin. Po ukončení nádobového experimentu byly jednotlivé části pšenice analyzovány. U pšenice byly hodnoceny výnosy suché biomasy kořenů, slámy a zrna. Dále byl stanoven obsah Se v jednotlivých částech pšenice. Také byl zjištěn obsah a odběr mikroživin i rizikových prvků. Zeminy byly analyzovány na hodnotu pH, obsahy přístupných mikroživin a rizikových prvků.

V rámci experimentu bylo zjištěno, že ve variantách hnojených minerálním hnojivem NPK a fugátem obohaceným o selen lze docílit podobného výnosu biomasy pšenice jarní.

Nejvyšší obsah Se v zrnu pšenice byl zjištěn ve variantě hnojené fugátem s dvojnásobnou dávkou selenanu. Obsahy Se v zrnu byly podobné při pěstování v obou experimentálních půdách.

V nádobovém experimentu bylo zjištěno, že ve variantách hnojených fugátem a minerálním hnojivem NPK byla akumulace mikroživin a rizikových prvků podobná.

Z odběrů mikroživin rostlinami pšenice v obou půdách lze uvést následující zajímavé výsledky. Odběr železa kořeny ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou ve variantě hnojené fugátem byl o 35 % vyšší oproti vzorkům z Doudleb nad Orlicí. Z odběrů manganu, v porovnání obou zemin, byl zjištěn vyšší odběr slámou ve variantě hnojené minerálním hnojivem NPK v zemině Doudleby nad Orlicí, a to o 9,7 %. Z odběrů molybdenu byl zjištěn vyšší odběr zrnem ve variantě hnojené poloviční dávkou NPK, poloviční dávkou fugátu a základní dávkou selenanu v zemině Doudleby nad Orlicí, a to o 14,9 %.

Z odběrů rizikových prvků rostlinami pšenice byl zjištěn u zinku ve variantě hnojené minerálním hnojivem NPK o 27,7 % vyšší odběr v kořenech ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou oproti vzorkům z Doudleb nad Orlicí. Z odběrů mědi, v porovnání obou zemin, byl zjištěn vyšší odběr slámou ve variantě hnojené fugátem a dvojnásobnou dávkou selenanu v zemině Krásná Hora nad Vltavou, a to o 65 %. Z odběrů niklu, v porovnání obou zemin, byl zjištěn vyšší odběr zrnem ve variantě hnojené fugátem a dvojnásobnou dávkou selenanu v zemině z Doudleb nad Orlicí, a to o 44,5 %.

Klíčová slova: pšenice, fugát, mikroživiny, rizikové prvky, odběr rostlinami

Influence of liquid digestate application on the uptake and accumulation of selenium and selected micronutrients wheat plants (*Triticum Aestivum L.)*

Summary

Fugate (a liquid phase of a digestate) is obtained by mechanical separation of digestate. It contains macronutrients, micronutrients and also risk elements. Fugate is used in agriculture mainly for fertilization, it is applied to agricultural land with subsequent incorporation into the soil. Selenium (Se) is an important trace element for living organisms. In plants, Se may partly regulate the water status, especially under conditions of drought. Wheat is characterized as an effective Se accumulator among cereals.

The aims of the literature review section are focused on the evaluation of individual findings of foreign and domestic authors dealing with the application of fugate and the effect of fertilization on the accumulation of Se, micronutrients and risk elements in individual parts of selected agricultural crops.

In my experimental part of the diploma thesis I present the results of a one-year pot experiment with cultivation of spring wheat ("*Scirocco*" variety) in two soils with different pH values. The first soil (loam-sandy, pH 6.9) was collected in the area of ZD Krásná Hora nad Vltavou and the second soil (loam, pH 5.8) was sampled in the locality of Doudleby nad Orlicí. The experimental design included five treatments, each with four repetitions. The first treatment was unfertilized control treatment. The second treatment was fertilized with mineral NPK. In the third treatment, the fugate from the biogas station ZD Krásná Hora nad Vltavou was applied. The fourth treatment was fertilized with a divided dose of fugate and NPK with selenate enrichment. In the last fifth treatment, a full dose of fugate and a double dose of selenate were applied. The same dose of N, P, K nutrients was applied in all fertilized treatments. After termination of the pot experiment, the individual parts of wheat were analyzed. For wheat, the yields of dry biomass of roots, straw and grain were evaluated. Furthermore, the selenium content in individual parts of wheat was determined. The content and total uptake of micronutrients and risk elements were also determined. Soils were analyzed for pH value, contents of available micronutrients and risk elements.

In the experiment, it was found that in the treatments fertilized with NPK mineral fertilizer and Se-enriched fugate a comparable yield of spring wheat biomass can be achieved.

The highest Se content in wheat grain was found in the treatment fertilized with fugate with a double dose of selenate. The contents of Se in the grain harvested from both experimental soils were similar to each other.

In the pot experiment, it was found that in the treatments fertilized with fugate and NPK mineral fertilizer the accumulation of micronutrients and risk elements was comparable.

From the results of micronutrient uptake by wheat plants in both soils, we noticed the following interesting facts. When the soils were fertilized with fugate, the uptake of iron by roots grown in the Krásná Hora nad Vltavou soil was higher by 35 % compared to the Doudleby nad Orlicí samples. The uptake of manganese by straw in the treatment fertilized with mineral fertilizer NPK was higher by 9.7 % at Doudleby nad Orlicí site compared to Krásná Hora nad Vltavou. The uptake of molybdenum by grain in the treatment fertilized with half dose of NPK, half dose of fugate and basic dose of selenate was higher by 14,9 % at Doudleby nad Orlicí site compared to Krásná Hora nad Vltavou.

As for the uptake of risk elements by wheat plants, it was found that when the soils were fertilized with NPK mineral fertilizer, the uptake of zinc by roots grown in the Krásná Hora nad Vltavou soil was higher by 27.7 % compared to the Doudleby nad Orlicí samples. The uptake of copper by straw in the treatment fertilized with fugate and double dose of selenate was higher by 65 % at Krásná Hora nad Vltavou site compared to Doudleby nad Orlicí. The uptake of nickel by grain in the treatment fertilized with fugate and double dose of selenate was higher at Doudleby nad Orlicí site compared to Krásná Hora nad Vltavou, namely by 44.5 %.

Keywords: wheat, fugate, micronutrients, risk elements, plant uptake

Obsah

1 Úvod **1**

2 Vědecká hypotéza a cíle práce **2**

3 Přehled literatury **3**

3.1 Obecná charakteristika digestátu **3**

3.1.1 Fugát 5

3.2 Živiny v digestátu a fugátu **7**

3.2.1 Makroživiny 7

3.2.2 Mikroživiny 8

3.2.3 Rizikové prvky 9

3.3 Význam selenu **11**

3.4 Aplikace fugátu na zemědělskou půdu **13**

3.5 Riziko aplikace fugátu při pěstování zemědělských plodin **15**

3.6 Možnost úpravy fugátu s dalším využitím v zemědělství **16**

3.7 Pšenice **18**

3.8 Hnojení obilovin **18**

4 Materiál a metody **21**

4.1 Odběr zemin experimentu a jeho založení **21**

4.2 Charakteristika použité odrůdy experimentu **22**

4.3 Charakteristika zemin **22**

4.4 Charakteristika fugátu **23**

4.5 Založení a schéma experimentu **23**

4.5.1 Příprava hnojení a jeho aplikace 23

4.5.2 Schéma experimentu 23

4.5.3 Založení experimentu 24

4.6 Ošetřování experimentu **24**

4.7 Ukončení experimentu **25**

4.8 Statistické vyhodnocení **25**

4.9 Metody stanovení chemických parametrů **25**

4.9.1 Stanovení přijatelných prvků podle Mehlicha III 25

4.9.2 Stanovení hodnoty pH a obsahu rozpuštěných solí v zeminách 26

4.9.3 Stanovení chemických vlastností fugátu 26

4.9.4 Stanovení mikroživin a rizikových prvků pomocí mikrovlnného rozkladu rostlinného materiálu 26

5 Výsledky **27**

5.1 Výnos kořene, slámy a zrna jarní pšenice **27**

5.2 Celkový obsah selenu v jednotlivých částech pšenice jarní **28**

5.3 Obsah mikroživin v kořenech, slámě a zrnu pšenice jarní **29**

5.4 Obsah rizikových prvků v kořenech, slámě a zrnu pšenice jarní.....31
5.5 Odběr mikroživin kořeny, slámou a zrnem pšenice jarní.....34
5.6 Odběr rizikových prvků kořeny, slámou a zrnem pšenice jarní 40
5.7 Celkové obsahy mikroživin v zeminách.....50
5.8 Obsahy rizikových prvků v zeminách 52
5.9 Hodnota pH zemin 57
6 Diskuze 58
7 Závěr 62
8 Seznam literatury.....63
9 Samostatné přílohy I
10 Seznam použitých zkratek..... IX
11 Seznam příloh X

1 Úvod

Produkce bioplynu v ČR je stále aktuální téma. Zemědělské bioplynové stanice produkují značné množství vedlejších produktů – digestátu a jeho kapalné složky fugátu. Z dostupné literatury je digestát charakterizován jako bohatý zdroj přístupných živin, zejména dusíku, fosforu, draslíku a mikroživin. Aplikací digestátu na ornou půdu může docházet ke zvyšování výnosů zemědělských plodin v porovnání s konvenčním hnojením NPK.

Pří mechanické separaci digestátu vzniká jeho kapalná forma fugát, který je charakteristický vysokým procentem amonné formy dusíku, vyšší hodnotou pH pohybující se v rozmezí hodnot 8 – 9. Fugát obsahuje dusík snadno přijatelný rostlinám. Svým charakterem ho lze považovat, díky svým hnojivým účinkům, jako minerální hnojivo. Z mikroživin obsahuje vyšší množství železa, zinku a manganu. Z dostupné litaretury je uváděno, že fugát ve značné míře neobsahuje limitní hodnoty rizikových prvků, zejména arsenu, olova a kadmia. V současné době se řeší aktuální téma možností modifikace fugátu a jeho dalších využití. V úvahu připadá mimo jiné jeho biologická úprava za vzniku čiré tekutiny, která by se mohla používat jako koncentrované kaplané hnojivo.

S nárustem environmentálních rizik představuje selen nezbytnou živinu pro lidský organismus, zvířata a rostliny. Svým působením může docílit zvýšení tolerance roslin vůči rostoucímu suchu. S globálním nárustem lidské populace se zvyšuje poptávka po zemědělských komoditách – obiloviny. Hlavní pěstovanou obilninou je pšenice, která je považována za jednu z nejúčinnějších akumulátorů selenu. Různé studie uvádějí, že účinnějším využití selenu rostlinám je foliární aplikace oproti aplikaci hnojiv s obsahem selenu do orné půdy. Případnou aplikací selenu do půdy, může docházet ke sníženému příjmu selenu konzumními částmi rostlin, zejména zrna.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

V rámci diplomové práce byly vytyčeny následující vědecké hypotézy:

1) Předpokládáme, že aplikací fugátu obohaceného o selen zajístíme obdobný výnos biomasy pšenice jarní v porovnání s aplikací minerálního hnojiva NPK.
2) Předpokládáme, že námi aplikovaný fugát nezvýší riziko akumulace mikroživin a rizikových látek v zrnu pšenice jarní.

Cílem diplomové práce bude zhodnotit v literární části poznatky jednotlivých zahraničních i tuzemských autorů zabývajících se zejména problematikou aplikace fugátu na ornou půdu a vliv jeho hnojení na kumulaci selenu, mikroživin a rizikových látek v jednotlivých částech tkání vybraných zemědělských plodin.

Cílem experimentální části nádobového vegetačního experimentu práce bude verifikovat a zhodnotit vliv hnojivého účinku vedlejší suroviny ze zemědělské bioplynové stanice (fugátu obohacený o selen) na výnos biomasy pšenice jarní, obsah mikroživin a rizikových prvků v jednotlivých částech rostlin (kořen, sláma, zrno) a jejich odběr rostlinami pšenice. Dále bude cílem vyhodnotit obsah přístupných mikroživin a rizikových látek ve vzorcích zemin odebraných na konci vegetačního experimentu.

3 Přehled literatury

3.1 Obecná charakteristika digestátu

Široce používanou technologií pří výrobě bioplynu je proces anaerobní fermentace, při kterém se organický materiál přeměňuje zejména na bioplyn a digestát. Digestát představuje naštěpený substrát, který je vyprázdněn z reaktoru anaerobní digescí (Risberg et al. 2017). Digestát vzniklý anaerobní fermentací po výrobě bioplynu je nazýván jako tekutý či polotekutý zbytek (Goméz-Brandón et al. 2016). Digestát z bioplynových stanic výhradně vzniká ze statkových hnojiv a objemných krmiv, jako například kukuřice, vojtěška, hrách a podobně (Weiland 2010).

Při anaerobní digesci vzniká fermentační produkt, který je používán jako organického hnojivo. Z porovnání digestátu a statkových hnojiv (především kejdy) vyplývá několik výhod jeho využití: dochází ke snížení zápachu při hnojení, ale také manipulaci a dále k redukci patogenů. Je redukován obsah rozložitelného uhlíku, ale v digestátu zůstávají potřebné formy organického uhlíku. Obsah žádoucích makroživin (dusík - N, fosfor - P, draslík - K) je zachován. A v neposlední řadě dochází ke zlepšení odolnosti plodin a tím k menší spotřebě pesticidů (Weiland 2010).

Digestát je charakterizován jako bohatý zdroj přístupných živin rostlinám, zejména dusíku, fosforu a draslíku (Kolář et al. 2010). V procesu anaerobní fermentace jsou složité organické sloučeniny celkového dusíku přeměňovány na formu NH_4^+, která je využívána mikroorganismy, zajišťující jejich růst. Další část z celkového dusíku je mineralizována (Möller & Müller 2012).

Pří procesu anaerobní digescí dochází k redukci obsahu sušiny organické hmoty, organického uhlíku a dále také spotřeby obsahu kyslíku ze vstupních surovin. Charakteristický je především fermentační zbytek, který obsahuje vyšší podíl amonné formy dusíku, nižší poměr C:N, a také vyšší hodnotu pH (Möller 2009).

Produkcí bioplynu anaerobní digescí vznikají digestáty, které jsou bohaté na živiny. Pokud budou tyto digestáty využívány v rostlinné výrobě, mohly by se potenciálně využívat jako organická hnojiva v zemědělství, a tudíž poskytnout udržitelnou náhradu za syntetická hnojiva (Vaneeckhaute et al. 2013).

Hlavními surovinami pro zakládku anaerobní digesce v bioplynových stanicích jsou organické materiály ze stájí, odpady vzniklé z potravinářského průmyslu, posklizňové zbytky,

komunální odpady a plodiny pěstované pro energetické účely (například kukuřice). V průběhu anaerobní digesce dochází k úbytku organických látek zhruba asi z 20 - 95 % vstupních surovin. Digestát lze charakterizovat jako = zbytek při výrobě bioplynu nebo jako tzv. „bioplynová kaše“ (Möller & Müller 2012).

Digestát obsahuje vysoký podíl dusíku, zejména v amonné formě. Tato forma dusíku je pro rostliny dobře přijatelná (Makádi et al. 2012).

Termofilní anaerobní digesce velmi často zvyšuje rychlost eliminace patogenních bakterií, tedy koliformních bakterií a bakterií *Enterococcus* na kvalitu hygienických ukazatelů (Paavola & Rintala 2008).

Aplikací digestátu na zemědělskou půdu může docházet ke zvýšení výnosů zemědělských plodin. (Shi et al. 2018).

Digestát obsahuje vysoký podíl pevné organické frakce. Hodnota v suché hmotě se pohybuje v rozmezí 60 – 80 %. V digestátu se sušina pohybuje v rozmezí 7 – 12 %. Využití digestátu je srovnatelné s aplikací statkových hnojiv (kejda). Hodnota pH u digestátů je vyšší oproti statkových hnojiv, pohybuje se v rozmezí pH 7 – 8 (Dostál et al. 2014).

Aplikace digestátu na zemědělskou půdu je považována za standardní způsob jeho použití. Aplikace digestátu zahrnuje důležité eutrofizační a okyselující emise (Lijó et al. 2015).

Podle studie Mahnmoud et al. (2009) vyplývá, že digestát lze aplikovat na zemědělskou půdu i s dalšími minerálními hnojivy. Digestát příznivě ovlivňuje výnos, fyzikálně-chemické vlastnosti půd a odolnost vůči abiotickým a biotickým stresům podle typu a druhu půdy. Al Seadi & Lukehurst (2012) ve své studii uvádí, že digestát může obsahovat těžké kovy. Digestát může být hodnocen z několika pohledů, mezi ty nejdůležitější patří ovlivnění biologických, fyzikálních a chemických vlastností, díky kterým je následně používán v zemědělství (Tambone et al. 2010).

Galvez et al. (2010) ve své studii uvádějí, že digestát obsahuje vysoké množství přijatelného dusíku zajišťující optimální výživu rostlin, ale kromě toho obsahuje také oxidovatelný uhlík důležitý pro zachování organických procesů v půdě. Podle Wentzel et al. (2015) je možné digestát aplikovat na zemědělskou půdu, jako organické hnojivo. Digestátem je do zemědělské půdy dodávána organická hmota, čímž dochází k úpravě vlastností půdy, hodnoty pH, půdního sorpčního komplexu a celkové struktuře půdy. Dále zvyšuje retenční schopnost půdy, zvyšuje se mikrobiální aktivita a přijatelnost živin.

Digestát, který prochází procesem anaerobní fermentace, lze používat jako hnojivo anebo jako peletizované palivo po procesu jeho separace. Digestát a jeho odseparovaná složka separát je možné dále zpracovávat například v kompostárnách (Kothari et al. 2014).

3.1.1 Fugát

Mechanickou separací digestátu je získáván tekutý fugát (Nkoa 2014), který je charakterizován jako minerální hnojivo se snadno přístupným dusíkem využitelný pro rostliny (Kolář et al. 2009).

Kaplaná fáze digestátu, fugát je bohatý zdroj přístupných živin pro rostliny, jako je dusík, fosfor a draslík (Sogn et al. 2018).

Kapalná fáze digestátu - fugát je produktem procesu anaerobní digesce, charakteristický také vyšším množstvím mikroživin, zejména železa (Garg et al. 2005).

Fugát obsahuje vysoký obsah přístupných živin, které jsou pro rostliny v dostupné formě s potenciálem podporovat růst rostlin a zvýšit toleranci vůči biotickému a abiotickému stresu (Xin et al. 2016).

Tekutý digestát je používán především k aplikaci na zemědělskou půdu, ale je možné fugát používat i k foliární aplikaci, úpravě fyzikálních a chemických vlastností půd či k hnojení na ornou půdu anebo během vegetace k přihnojování (Oh et al. 2014; Ledda et al. 2013).

Fugát vzniklý mechanickou separací digestátu může obsahovat vysoký podíl amonné formy dusíku (Xia & Murphy 2016).

Sigurnjak et al. (2017) ve své studii porovnával vliv aplikace fugátu s minerálním hnojivem NPK při pěstování kukuřice v poloprovozním experimentu na písčitých půdách. V prvním roce experimentu bylo dodáno živin v čisté formě 150 kg/N, 150 kg/K a 18 kg/Mg na hektar. V následujícím roce činily dávky 135 kg/N, 210 kg/K a 36 kg/Mg. Výsledky experimentu této studie ukázaly pozitivní efekt fugátu, který může nahradit hnojení minerálními hnojivy.

Fugát jako kapalná frakce digestátu se ukládá ve skladovacích jímkách a na zemědělskou půdu se aplikuje jako kejda. Fugát je charakteristický obsahem sušiny pohybující se v rozmezí 2 – 4 % (Pawlica 2010).

Studie Möller & Müller (2012) udává, že obsah dusíku v amonné formě se pohybuje v rozmezí hodnot mezi 1185 – 1379 mg/l. Zatímco obsah dusíku v nitrátové formě se pohybuje v rozmezí 23 – 25 mg/l.

Kolář et al. (2010) ve své práci uvádí, že obsah dusíku obsažený ve fugátu je ve formě minerální a tím pádem pro rostliny dobře přístupný. Ve fugátu se obsah dusíku pohybuje v rozmezí 0,15 – 0,30 % v čerstvé hmotě. V případě aplikace fugátu na zemědělskou půdu s dávkou 200 kg N/ha, je potřeba aplikovat na 1 hektar zemědělské půdy 100 m^3 fugátu.

Fugát obsahuje 4-5 % organicky vázaného dusíku, který je z převážné míry tvořen hlavně metanogenními bakteriemi. V tomto případě dochází v pomalejší mineralizaci v půdě. Obsahy dalších prvků – fosforu, draslíku a vápníků jsou obsaženy v optimálních hodnotách. Při aplikaci může docházet k vyplavování dusičnanů, a to z půdy do povrchových nebo spodních vod. Rostliny jsou tolerantní k fugátu i digestátu poměrně dobře, jelikož fugát i degistát uvolňuje živiny velmi rychle a dusík je v tomto případě z větší části vstřebán rostlinami a jen jeho část může být vyplavena do půdy a následně do podzemních vod (Schulz & Eder 2001).

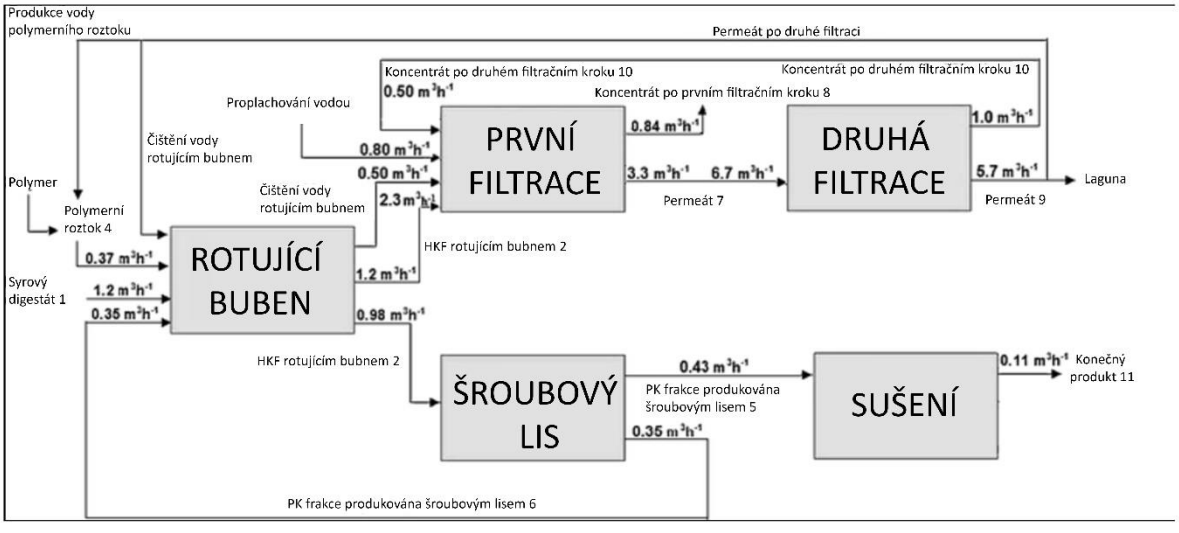
Lošák (2014) ve svém výzkumu uvádí, že fugát je organické hnojivo. Fugát se však svým působením blíží spíše účinkům minerálních hnojiv kombinovaných s nejvyšším zastoupením dusíku, a to v rozmezí 0,25 - 0,75 % jeho obsahu v čerstvé hmotě. Fugát obsahuje dále draslík a další makroživiny, ale také mikroživiny. Jedná se o hnojivo s rychle uvolnitelným dusíkem a poměrem C:N nižší než 10.

Aplikací fugátu na zemědělskou půdu se zvyšuje dostupnost dusíku rostlinám, z důvodů faktu, že dusík je obsažen v minerální formě. Celkové množství dusíku je tvořeno z 60 – 80 %, ve formě $N\text{-}NH_4$ (Loria et al. 2007).

Walsh et al. (2012) ve studii uvádí, že aplikací fugátu došlo ke zvýšení výnosů biomasy trvalých travních porostů oproti aplikaci minerálního hnojiva ledku amonného. Fugát obsahuje i další makroživiny – zejména fosfor a draslík, proto byl po jeho aplikaci výnos biomasy srovnatelný s minerálním hnojivem.

Vaneeckhaute et al. (2012), prováděl technické možnosti úpravy kapalné části digestátu – fugátu (obrázek č. 1) na opětovné využití nově vzniklé koncentrované tekutiny bohaté na živiny.

Obrázek 1. Technické řešení možnosti úpravy fugátu (Vaneeckhaute et al. 2012)



1) Surový digestát

2, 3) Hustá a kapalná frakce, vzniklá rotujícím bubnem

4) Roztok polymeru

5, 6) Pevná a kapalná frakce produkovaná šroubovým lisem

7) Permeát

8) Koncentrát vyrobený v prvním filtračním kroku

9) Permeát

10) Koncentrát vytvořený ve druhém filtračním kroku

11) Exportovatelný konečný produkt

Závěrem této studie bylo zjišťěno, že takto navržené technické řešení úpravy kapalné části digestátu – fugátu se pro nepřetržitý provoz, zda jako neuspokojivý. V rámci optimalizace parametrů jednotlivých procesů (typ membrán, hodnoty pH, teplota), ale poskytuje snížení obsahů rozpustných solí, což naznačuje, že tzv. vzniklá koncentrovaná tekutina, může být opětovně recyklována například v zemědělství.

3.2 Živiny v digestátu a fugátu

3.2.1 Makroživiny

Bachmann et al. (2016) zkoumali účinky dvou různých digestátů s vysokým obsahem fosforu v porovnání s TSP – trojitý superfosfát. Vzniklý digestát A byl výsledným produktem při výrobě bioplynu ze surovin kukuřičné siláže (43 % objemových) a hovězí kejdou (57 % objemových). Digestát B byl složen z kukuřičné siláže (87 % objemových), siláže z obilnin (9 % objemových) a travní siláže (4 % objemových). V experimnetu byly použity nádoby, do kterých byla aplikována dávka zeminy 6 kg na nádobu. Dávka u digestátu a trojitého superfosfátu byla schodná (200 mg P). Výsledkem této studie bylo zjištěno, že příjem fosforu rostlinami (kukuřice, čirok, laskavec) byl vyšší.

Pančíková (2016) uvádí, že fugát obsahuje 0,1 – 0,3 % celkového dusíku, 0,05 – 0,1 % celkového fosforu, 0,3 – 0,6 % celkového draslíku, hodnotu pH 7 – 9 a obsah sušiny pohybující se v rozmezí 20 – 30 %. Jedná se o organické hnojivo s pomalu uvolnitelným dusíkem. Dále ve své práci uvádí poměr C:N ≥ 10.

Klír (2013) ve své studii uvádí, že fugát se vyznačuje obsahem sušiny okolo 4 % a přístupností živin rostlinám ve fugátu: N 5,1 kg/t, P 1,4 kg/t a K 3,4 kg/t.

Gong et al. (2010) se ve své práci zabývali obsahem makroživin obsažených ve fugátu. V této studii byly zjištěny obsahy přijatelných živin v sušině: P 11280 – 12370 mg/kg, K 41382 – 45829 mg/kg, Mg 6566 – 8237 mg/kg a S 5929 – 8336 mg/kg.

Mehta & Batstone (2013) ve své studii studovali obsahy přístupných živin N, P, K, Ca a Mg během anaerobní digesce. Výsledný digestát byl charakteristický hodnotou pH pohybující se v rozmezí 7,0 - 7,2. Výsledný digestát obsahoval méně než 10 % z celkových obsahů P, Ca a Mg. Zatím co obsahy dusíku a draslíku byly v digestátu obsaženy v rozpustných formách. V této studii byla použita extrakce kyselinou citronovou digestátu, při které se nerozpustné formy P, Ca a Mg transformovaly na formy rozsputné, tudíž pro rostliny snadno přijatelné.

3.2.2 Mikroživiny

Bischofsberger et al. (2005) ve své studii uvádějí koncentraci manganu v digestátech 50–55 mg/kg sušiny. Při dlouhodobější aplikaci digestátu s vyšším obsahem manganu, může vést k jeho toxicitě, zejména v půdách s nízkou sorpční kapacitou.

Při anaerobní digesci se zvyšuje hodnota pH. Srážením látek, zejména sulfidů, uhličitanů a fosfátů hraje významnou roli při přeměně v makro a mikro živinách. Tím pravděpodobně existuje silná interakce se zvýšeným obsahem železa spolu s již zmíněnými sulfidy a tím dochází k uvolnění Fe^{2+}. Tato forma železa může tvořit sraženiny ve formě hydroxidu $Fe(OH)_2$, anebo ve formě uhličitanu ($FeCO_3$). Tyto sloučeniny mohou v důsledku hrát významnou roli při uvolňování přístupného Fe^{2+} při procesu anaerobní digesce. Tím se může i snížit obsahem těžkých kovů v digestátu. Přístupné formy kationtu železa vytváří další rozpustné anionty hydrogenuhličitanu, uhličitanu, hydroxidu, síranu, sulfidu a selenu s oxidačním číslem 2 (Christensen et al. 2009).

Studie Andruschkewitsch et al. (2013), se zabývala obsahem mikroživin ve fugátech. Zjišťovali tyto obsahy mikroživin: železo, mangan, bór a zinek. Výsledkem této studie byly zjištěny následující obsahy v sušině: Fe 2311–2924 mg/kg, Mn 192–283 mg/kg, B 38–46 mg/kg a Zn 234–377 mg/kg.

Tabulka 1. Obsah mikroživin ve fugátu Krásná Hora nad Vltavou (Tlustoš et al. 2014)

Látka	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)	B (mg/kg)
Fugát	1411±916	223±14	1,34±0,94	37,2±1,2

Tlustoš et al. (2014) se zabývali celkovým obsahem mikroživin v sušině fugátu. V tabulce č. 1 jsou uvedeny hodnoty zjištěných mikroživin. Z mikroživin byl zjištěn nejvyšší

obsah železa (1411 mg/kg v sušině), naopak nejnižší obsah z mikroživin byl zjištěn u molybdenu (1,34 mg/kg v sušině).

Tabulka 2. Obsah mikroživin ve fugátu Petrovice (Tlustoš et al. 2016)

Látka	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)	B (mg/kg)
Fugát	2547±222	353±25,8	2,235±0,143	23,64±0,25

Tlustoš et al. (2016) ve studii zjišťovali obsahy mikroživin ve fugátu z bioplynové stanice Petrovice. V porovnání s předešlou tabulkou je zřetelný nárůst obsahu železa (0,25 % v sušině), což je nárůst o 0,11 %, zatímco obsah bóru je nižší. Ze zjištěných mikroživin nejnižší obsah byl zjištěn jako v předešlé tabulce u molybdenu (2,235 mg/kg v sušině).

V porovnání obsahů mikroživin ve fugátu z Krásné Hory nad Vltavou (Tabulka č. 1) a Petrovic (Tabulka č. 2) vyplývá, že obsah železa, manganu a molybdenu byl vyšší ve fugátu ze zemědělské bioplynové stanice Petrovice. Zatímco fugát z Krásné Hory nad Vltavou měl vyšší hodnotu u bóru.

3.2.3 Rizikové prvky

Při dlouhodobé aplikaci některých digestátů na zemědělskou půdu, může hrozit riziko kumulace těžkých kovů. Některé prvky díky svým vysokým koncentracím v některých digestátech mohou způsobit narušení metabolických aktivit rostlin (Alburquerque et al. 2012).

Jedním z těchto prvků je zinek, který při jeho nadměrné koncentraci v rostlinách způsobuje stimulaci buněčného růstu a působí jako kofaktor polymerázy RNA a DNA (Nkoa 2014).

Vyhláška č. 131/2014 Sb., která se zabývá požadavky na hnojiva a ve znění dalších předpisů je digestát organické hnojivo, které musí splňovat limitní hodnoty rizikových prvků (Ministerstvo zemědělství 2014).

Tabulka 3. Hodnoty rizikových prvků organických a statkových hnojiv se sušinou nad a nejvýše 13 % (Ministerstvo zemědělství 2014)

	mg/kg sušiny								
Sušina hnojiva	Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
Nad 13 %	2	100	1	20	100	150	20	50	600
Max. 13 %	2	100	1	20	100	250	20	50	1200

Studie Bonetta et al. (2011) se zabývala stanovením obsahů rizikových prvků ve fugátu. Stanoveny a zhodnoceny byly následující prvky: As 0,2 – 0,3 mg/kg, Pb 0,9 – 1,5 mg/kg a Cd 0,1 – 0,2 mg/kg v sušině.

Tabulka 4. Obsah rizikových prvků ve fugátu Krásná Hora nad Vltavou (Tlustoš et al. 2014)

Látka	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)
Fugát	277±15	1,99±0	3,22±0	0,09±0,04	2,33±1,98

Látka	Mo (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)
Fugát	1,34±0,94	0,023±0,004	42,8±25	5,55±0,63

V tabulce č. 4 jsou uvedeny obsahy rizikových prvků v sušině fugátu. Z rizikových prvků byla nejvyšší hodnota zjištěna u zinku (277 mg/kg v sušině), nejmenší obsah z rizikových prvků byl zjištěn u rtuti (0,023 mg/kg v sušině). Obsahy zjištěných rizikových prvků ve fugátu splňují podmínky limitních hodnot rizikových prvků v organických hnojivech. Zjištěné obsahy rizikových látek ve fugátu nepředstavují riziko aplikace na zemědělskou půdu (Tlustoš et al. 2014).

Tabulka 5. Obsah rizikových prvků ve fugátu Petrovice (Tlustoš et al. 2016)

Látka	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Fugát	307±18,5	0,642±0,097	1,193±0	0,158±0,019

Látka	Mo (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Fugát	2,235±0,143	0,023±0	2,601±0,179	64,2±2,8

Ve studii Tlustoš et al. (2016) byly zjišťovány obsahy rizikových prvků v sušině fugátu. Z tabulky č. 5 vyplývá, že nejvyšší hodnota byla zjištěna u zinku (307 mg/kg v sušině). Oproti předešlé tabulce nebyl zjištěn obsah rizikového prvku u niklu. V porovnání s tabulkou č. 4 došlo k nárůstu obsahu těchto rizikových prvků (Zn, Cr, Cu, Mo), zatímco tyto prvky (Pb, As, Cd) měly nižší hodnoty. U rtuti byly zjištěny stejného hodnoty obsahu u obou typů fugátu.

Makádi et al. (2012) se ve své studii zabývali vlivem aplikace digestátu na obsah rizikových prvků v půdě. Byly aplikovány dvě dávky digestátu, a to 5 m^3/ha a druhá dávka byla

10 m^3/ha. Poté byly zjišťovány rizikové prvky v půdě (Cd, Co, Cu, Ni a Zn). Po aplikaci digestátu se obsahy rizikových prvků nijak nezměnily, což vyplývá z tabulky č. 6. Z tabulky je také patrné, že došlo k významnému snížení zinku, což bylo následkem zvyšujícího se obsahu rozpustného fosforu v půdě a tím pádem docházelo ke snižování dostupného obsahu zinku v půdním roztoku.

Tabulka 6. Vliv aplikace digestátu na obsah rizikových látek v půdních vzorcích (Makádi et al. 2012)

Rizikový prvek	Kontrola	5 m^3/ha digestátu	10 m^3/ha digestátu
Cd (mg/kg)	0,063	0,067	0,055
Co (mg/kg)	0,064	0,071	0,057
Cu (mg/kg)	0,089	0,122	0,118
Ni (mg/kg)	0,50	0,52	0,35
Zn (mg/kg)	1,40	0,98	0,062

3.3 Význam selenu

Selen je významným stopovým prvkem, který v živém organismu plní řadu významných funkcí, přispívá ke zlepšení zdraví, a to zejména ve formě seleničitanu (SeO_4^{2-}) (Praus et al. 2018).

Selen může být nezbytným stopovým prvkem pro lidský organismus, zvířata, ale také může být toxický pro životní prostředí. Při vysokých koncentracích je toxický pro rostliny, ale při nízkých koncentracích mohou být účinky příznivé. Selen svým působením může docílit zvýšení tolerance rostlin proti oxidačnímu stresu, který je způsoben UV zářením a dále podpořit růst stárnutí sazenic. Další schopností selenu je, že dokáže v rostlinách regulovat stav vody v suchých podmínkách (Germ et al. 2007).

Gupta & Gupta (2017) ve své studii uvádějí, že rostliny jsou jedním zdrojem v potravním řetězci, ale také stále existuje kontroverzní nezbytnost selenu pro rostliny. V případě používání nízkých dávek selenu dochází k ochranně rostlin před abiotickými stresy – sucho, vysychání a napětí. Selen je velmi podobný chemicky síře, proto dochází k absorbci uvnitř rostlin, a to pomocí transportérů síry, které jsou přítomné uvnitř membrány kořenové plazmy. Selen u zvířat působí jako antioxidant a napomáhá při reprodukci, metabolismu štítné žlázy a imunitních reakcích.

Dumont et at. (2006) ve své studii uvádějí, že v obilovinách se obsah selenu pohybuje v rozmezí 0,01 – 0,55 mg/kg a v mléčných výrobcích a mléku se pohybuje v rozmezí 0,001 – 0,17 mg/kg.

S nárustem poptávky po celém světě po zemědělských produktech s vysokým obsahem selenu, je pšenice (*Triticum aestivum*) považována za jednu z nejúčinnějších akumulátorů selenu mezi obilninami (Sanghun et al. 2011).

Selen v přírodě existuje ve dvou formách – organická forma a anorganická forma. Mezi hlavní formy organického selenu patří selenomethionin a selenocystein. Mezi anorganické formy selenu patří selenit, selenid a selenát (Wu et al. 2015).

Missane et al. (2009) ve své studii uvádějí, že nejrozšířenější formou biologicky dostupného selenu v zemědělských půdách je sůl seleničnanu, který je dále ve vodě rozpustnější než selenit.

Ve dvouletém polním experimentu se Sanghun et al. (2011) zabývali koncentrací selenu v zrně. Celkem zjišťovali a porovnávali 280 vzorků, přičemž analyzovali deset odrůd pšenice jarní a osm odrůd pšenice ozimé. Pšenice byla vyseta v polních pokusech na ploše 4 x 1,5 m se třemi opakováními a rozdělena do pěti lokalit se stejnou zeminou. Tři lokality byly hnojeny dusíkem v rozmezí 90 - 112 kg/N ha (močovina) a fosforem 19 kg/P ha (TSP). Čtvrtá lokalita byla hnojena dusíkem 127 kg/N ha a 17 kg/P ha. Poslední pátá byla hnojena dusíkem 20 kg/N ha a fosforem 3 kg/P ha. Z výsledku této studie vyplývá, že koncentrace selenu v zrně byla zavislá na roce a místě. V roce 2005 byla průměrná koncentrace selenu v zrně 0,55 μg Se g. V roce 2006 byla průměrná koncentrace selenu v zrně 0,69 μg Se g.

Ve studii, kterou uvádí Lyons et al. (2005) bylo prokázáno, že hnojení obilí hnojivy s obsahem selenu je efektivní metodou pro zlepšení koncentrace selenu v obilí. Selen byl přidán ve formě selenanu, a to při hnojení až 120 g na ha v polních pokusech, 500 g na ha v pokusech. Dále bylo přidáno 330 g na ha listového selenu, který byl aplikován s nízkými koncentracemi síry 2 - 5 mg/S na kg půdy. Závěrem této studie nebyly zjištěny žádné přiznaky toxicity v plodině, i přesto že byla aplikace mnohonásobně vyšší. Dále bylo zjištěno, že aplikací 10 g/Se ha do půdy je zcela bezpečné pro zvýšení obsahu selenu v plodinách.

Winkel et al. (2015) ve své studii uvádí, že účinnějším obohacením o selenan je foliární aplikace oproti aplikaci hnojiv s obsahem selenu do půdy, a to z důvodu vyhnutí se translokace selenu kořenem. V případě aplikace hnojiv s obsahem selenu na půdu dochází k nízké míře obohacení konzumních částí rostlin.

3.4 Aplikace fugátu na zemědělskou půdu

Fugát se vyznačuje obsahem sušiny vyšší než 2 % je charakterizován jako velmi kvalitní hnojivo pro udržení půdní úrodnosti a zabezpečení výživy rostlin. Důležitá opatření ke zvýšení hnojivé hodnoty fugátu a omezení těkání, zejména amoniaku, je:

- používat zakryté dohnívací nádrže
- vlévat fugát do skladovacích jímek pod hladinou tekutiny
- nerozrušovat přirozeně plovoucí vrstvy ve skladovacích nádržích
- u otevřených (polních) jímek zamezit přímému účinku větru na hladinu fugátu, např. ochranným prostorem u jímky
- ke kvalitnímu odvodnění s možností recyklace fugátu, lze využít vhodné separátory
- při aplikaci fugátu na půdu jako hnojivo se doporučuje využívání hadicových aplikátorů s dosahem až k zemi, neboť tento způsob aplikace zaručuje lepší a rychlejší vsakování fugátu do půdy a tím výrazně snižuje emise dusíku a případného zápachu do ovzduší (Marada et al. 2008).

Digestát či fugát je možné aplikovat k meziplodině, která je určena na zelené hnojení a následnému zapravení do půdy. Jedním z hlavních důvodů je ten, že meziplodina využije dusík a dochází k zabránění jeho ztrátám a je uvolněn až následnou mineralizací zapraveného zeleného hnojení a využíván následnou zemědělskou plodinou. Digestát a fugát se využívají:

- k dodání dusíku při podpoře rozkladu slámy (úprava poměru C:N)
- ke hnojení polních plodin (ideálně podle aktuálního obsahu N_{min})
    1. regenerační hnojení ozimých obilnin a olejnin
    2. silážní kukuřice na zrno – před setím s jeho zapravením do půdy, dále během vegetace hadicovými aplikátory při výšce porostu 30 - 70 centimetrů
    3. cukrovka, brambory – při předseťové přípravě půdy a před sázením brambor
- u trvalých travních porostů je možné digestát použít jako kejdu
- k meziplodinám na zelené hnojení pro využití dusíku a zabránění jeho ztrátám (ÚKZUZ 2016).

Podle studie Váňa (2008) vyplývá, že aplikací tekutého digestátu tedy fugátu do zemědělských porostů se sklonitostí půdy nad 7° je zapotřebí neaplikovat fugát ve vzdálenitosti minimálně 0 - 25 metrů od břehu, potoku, vodoteče a dalších vodních zdrojů.

Dobrý zemědělský a environmentální stav půdy (DZES 1) je zaměřen na dodržování ochranných pásem podél vodních toků. Podle tohoto opatření je nutné neaplikovat hnojiva od

břehové čáry v ochranném pásmu, a to o šířce nejméně 3 m. V případě dalších dílčích půdních bloků s průměrnou sklonitostí, která převyšuje 7° je nutné nechat ochranný pás od břehové čáry široký nejmeně 25 m. V tomto případě v ochranném pásu nesmějí být použita tekutá hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem a dále stavenou ochranou vzdálenost dodržet při aplikaci přípravku na ochranu rostlin, jak vyplývá z vyhlášky č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí (Ministerstvo zemědělství 2017).

Obrázek 2. Hadicová aplikace fugátu (Zunhamercz 2020)

Fugát či digestát je možné aplikovat taktéž na povrch orné půdy. Při tomto zpracování je nutné zapravit fugát nebo digestát do 24 hodin do půdy, aby se zabránilo úniku amoniaku, což se nevstahuje na řádkové přihnojení porostů. V případě aplikace tuhých digestátů na ornou půdu je doba zapravení 48 hodin (Makada et al. 2008).

Tekutý digestát neboli fugát, jelikož má vyšší obsah amonného dusíku než kejda, může po její aplikaci na zemědělskou půdu se zvýšit riziko volatizace amoniaku (Lukehurst et al. 2010).

Ve své studii Lošák et al. (2011) zjistil, že při aplikaci digestátu na zemědělskou půdu došlo k nárůstu obsahu uhlíku, který byl dále využíván půdními organismy a tím se zvýšil obsah organických látek v půdě.

Fuchs et al. (2008) uvádějí, že digestáty aplikované na ornou půdu, mohou ovlivnit růst rostlin, zdravotní stav, vývoj rostlin ale také půdní vlastnosti, a to pozitivně či negativně, což je zavislé na kvalitě vzniklých digestátů v BPS.

Aplikací digestátu na zemědělskou půdu, může docházet ke zvýšení výnosů rosltin, v rozmezí 2,5 - 17 %, což je závislé na podmínkách aplikace (Kapuinen & Regina 2010).

3.5 Riziko aplikace fugátu při pěstování zemědělských plodin

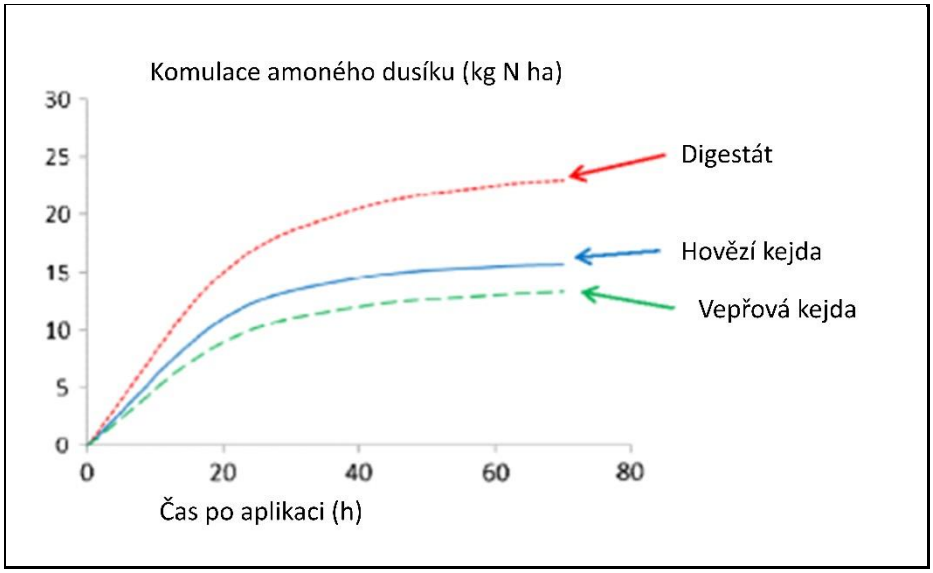
V posledních několika desetiletích, nejen v Evropě, významně vzrostla produkce bioplynu, a tím i jeho vedlejšího produkt digestát, používaný zejména jako hnojivo. S tím je spojeno, díky odlišnými vstupnými surovinami procesu anaerobní digesce, riziko zdroje toxických látek, například těžkých kovů. Studie Dragicevic et al. (2018) zjišťovala aplikaci digestátu na ornou půdu se zaměřením na možnost riziko kontaminace těžkými kovy samotným digestátem.

Podle studie Haraldsen et al. (2011) může aplikace digestátu na ornou půdu představovat environmentální riziko v důsledku vysokých obsahů dusíku a fosforu. S tím je spojeno jejich vysoce pravděpodobné vyplavování těchto živin do podzemních a povrchových vod.

Jedním z rizik při aplikaci digestátu na ornou půdu může představovat těkání čpavku. S tím souvisí ovlivnění několika dalších parametrů (podmínky skladování, druhy aplikace, koncentrace amoniaku v digestátu, hodnota pH, teplota prostředí (Holm-Nielsen et al. 2009).

Ni et al. (2012) se ve své studii zabývali porovnáním dvou odlišných dávek digestátu (1. dávka 120 kg N-NH_4^+ ha a 2. dávka 80 kg N-NH_4^+ ha) ve srovnání s kejdou skotu a prasat. V grafu je znázorňena ztráta amonné formy dusíku při aplikaci kejdy skotu, prasat a digestátu na ornou půdu. Z grafu č. 1 je patrná nejvyšší ztráta dusíku při aplikaci digestátu, která se pohybovala v rozmezí 20 - 25 kg/N na hektar, při aplikaci hovězí kejdy ztráta amonného dusíku činila 15 kg/N na hektar a při aplikaci prasečí kejdy byla ztráta 12 kg/N na hektar. Zjištěné hodnoty při aplikaci všech organických hnojiv byly zjištěny po třech dnech jejich aplikace na ornou půdu.

Graf 1. Kumulace amonné formy dusíku (Ni et al. 2012)



Při dávce digestátu, která byla 80 kg $N\text{-}NH_4^+$ ha^{-1}, byla nejvyšší patrná ztráta amonného dusíku při aplikace digestátu, která činila 15 kg/N na hektar, při aplikaci kejdy skotu hodnota ztráty amonného dusíku byla 10 kg/N na hektar a při aplikaci prasečí kejdy ztráta amonné fromy dusíku činila 8 kg/N na hektar.

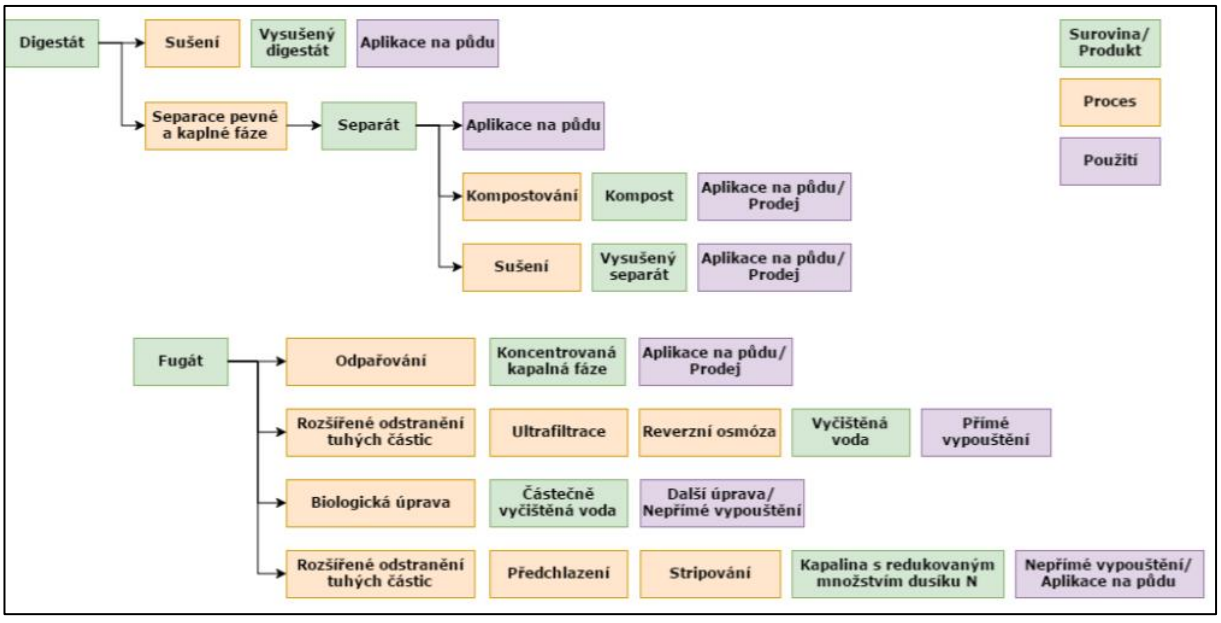
3.6 Možnost úpravy fugátu s dalším využitím v zemědělství

Jedním z několika možností úprav fugátu představují membránové filtrační systémy (ultrafiltrace a osmóza). Vzniklý produkt těchto úprav je označován jako permeát, charakteristický jako „koncentrovaná tekutina“ (Chiumenti et al. 2013).

Ve své studii Kertezs et al. (2010) uvádí jako potencionální metodu úpravy digestátu tzv. membránovou filtraci, která je založena na oddělení živin kapalné složky digestátu-fugátu. Tato metoda zajišťuje vznik koncentrované tekutiny, kterou lze recyklovat jako organické hnojivo s vysokou dostupností živin.

Podle Shi et al. (2018) byly porovnávány různé úpravy digestátu k odstranění pevných částic. Bylo porovnáváno několik variant: membránová filtrace, ultrafiltrace. Tyto úpravy byly použity jako předpříprava digestátu. Mezi další varianty byly zvoleny nanofiltrace, reverzní osmóza, elektrodifúze a membránová destilace, jako možnost využití živin z odpadního produktu pro další využití v zemědělském provozu. Závěrem této studie vyplývá, že je třeba hledat další možnosti ekonomicky úspornější technologii úpravy digestátu.

Obrázek 3. Úprava a zpracování digestátu a fugátu (Drosg et al. 2015)



Drosg et al. (2015) se ve své studii zabývali úpravou a zpracováním digestátu a fugátu. Z obrázku č. 3 je patrné široké spektrum technologií k možné a vhodné úpravě digestátu a fugátu pro jejich další využití. Odseparováním digestátu lze získat pevnou frakci separát, který může být aplikovatelný na zemědělskou půdu anebo může být využit ke kompostování a sušení. Z obrázku č. 3 vyplývá, že fugát může být upraven čtyřmi procesy. Prvním krokem technologie je odpařování (zahušťování), při kterém vzniká koncetrovaná kapalná fáze, která je buď aplikována na zemědělskou půdu nebo komerčně využívána. Druhým krokem je odstranění tuhých částic, při které probíhá proces ultrafiltrace (tlaková membránová metoda), dále reverzní osmóza (polopropustná membrána, kterou prochází voda) a produktem je vyčištěná voda, která může být použita k přímému vypouštění. Třetím krokem je biologická úprava. Výsledným produktem je částečně vyčištěná voda, kterou lze dále upravit nebo jí dále využít k nepřímému vypouštění. A posledním čtvrtým krokem je rozšířené odstranění tuhých částic. Probíhá přechlazení poté stripování (proces, při němž těkavé látky jsou unášeny z kapaliny pomocí vzduchu nebo páry). Vzniká kapalina s redukovaným množstvím dusíku a může docházet k nepřímému vypouštění nebo aplikaci na zemědělskou půdu.

Membránová filtrace je vhodná technologie k oddělování cenných živin ve snadno přepravitelných koncentrátech, které by se mohly znovu použít jako hnojiva, a mezitím produkovat čirou tekutinu. Tradiční membránové filtrační systémy jsou však často omezeny technickými problémy při zpracování vedlejších produktů výroby bioplynu. Cílem této studie bylo zhodnotit výkonnost vibračního střihu se zvýšeným zpracováním (VSEP) při odstraňování makronutrientů (N, P, K, Na, Ca, Mg) z kapalné frakce digestátů, čímž se jejich koncentrace sníží. Kromě toho byl zhodnocen potenciál opětovného použití koncentrátů jako udržitelných náhrad minerálních hnojiv. Účinnost odstraňování N a P dvěma filtračními kroky byla vysoká, i když nestačila k nepřetržitému dosažení legislativních kritérií pro vypouštění do povrchových vod. Další čištění může nastat v následující laguně, přesto se doporučuje další optimalizace filtračního systému. Koncentráty produkované jedním krokem membránové filtrace navíc vykazovaly potenciál jako hnojivo N, K s ekonomickou hodnotou $6{,}3 \pm 1{,}1\ t^{-1}$ čerstvé hmotnosti (FW). Vyžaduje se však další výzkum k posouzení dopadu na rostlinnou výrobu a kvalitu půdy použitím těchto nových potenciálních hnojiv (Vaneeckhaute et al. 2012).

3.7 Pšenice

Pšenice je potravinářsky nejrozšířenější zemědělskou plodinou. Dost často se využívá v nejrůznějších potravinách. Má schopnost přizpůsobit se různým podmínkám prostředí (Gao et al. 2014). Z botanického hlediska patří do čeledi lipnicovité (Muhammad et al. 2017).
Pšenice obecná (*Triticum aestivum L.)* ve výživě světové populace hraje velmi důležitou roli. Pro zhruba 40 % světové populace tvoří pšenice základ jídelníčku, která především slouží jako zdroj sacharidů a potravinových kalorií (Bockus et al. 2010).

Ve světě je pšenice pěstována v rozdílných klimatických podmínkách, nadmořských výškách a pěstuje se v několika formách – ozimá, jarní a přesívková (Horčička 2014).
V České republice je pšenice nejrozšířenější pěstovanou plodinou, která se pěstuje na více jak čtvrtině orné půdy. Výhodou pěstování pšenice je následná jednoduchá skladovatelnost a dost dlouhá trvanlivost (Pulkrábek et al. 2003).

Základem pro pěstování pšenice jarní je kvalitní podzimní orba, která by měla být prováděna do hloubky 18–22 cm. Čímž předseťové zpracování půdy na jaře je mnohem snažší. Předseťovou operací dochází k provzdušnění povrchu půdy a k vytvoření lůžka pro výsev zrna do hloubky 3–5 cm. Pšenice jarní je v osevních postupech zařazována po předplodinách (brambory, cukrovka, kukuřice na siláž). V některých případech je mnohdy zařazována i po pšenici ozimé, proto jsou využívány i meziplodiny. Hnojení pšenice jarní je často rozdělenou do dvou částí, a to základní neboli předseťové a produkční (Horčička 2014).

3.8 Hnojení obilovin

Garg et al. (2005) ve své studii ověřovali aplikaci kapalné části digestátu, jako zdroje živin na ornou půdu (typ hlinitá, hodnota pH 7) při pěstování pšenice jarní. Jako kontrolní varianta bylo zvoleno minerální hnojení při dávkách 120 kg N/ha ve formě močoviny, 26 kg P/ha ve formě jednoduchého superfosfátu a 50 kg K/ha ve formě draselné soli. Ve své studi ověřoval vliv aplikace digestátu na výnos zrna a růst pšenice a jeho vliv na fyzikální vlastnsoti půdy. Z výsledků této studie vyplynulo, že při sklizni pšenice po aplikaci digestátu byla zjištěna nejvyšší koncentrace kořenových tkání v horní vrstvě půdy (0 – 15 cm). Poté jejich koncentrace klesala, nejnižší pak byla zjištěna ve vrstvě půdy (75 – 90 cm). Při aplikaci digestátu, byl zjištěn nejvyšší výnos zrna (6,21 t/ha) oproti minerálnímu hnojení (4,4 t/ha). Dále byl zjištěn vliv aplikace digestátu, díky jeho nízkému obsahu sušiny pozitivní vliv na fyzikální vlastnosti půdy. Celkově z této studie vyplývá, že aplikace digestátu je použitelná při pěstování pšenice jarní.

Tiwari et al. (2000) v polním experimentu porovnávali účinek minerálního hnojiva NPK a kapalné části digestátu při pěstování pšenice. Dále byl porovnáván účinek těchto hnojiv při aplikaci odstupňovaných dávek pšeničné slámy (0, 2,5 5,0 a 7,5 t/ha). Ve variantě NPK byl aplikován dusík při dávce 120 kg/ha, fosfor 60 kg/ha a draslík 60 kg/ha. Při aplikaci digestátu byl aplikován dusík v dávce 100 kg/ha. Závěrem tohoto dvouletého experimentu bylo dosaženo nejvyššího výnosu zrna při aplikaci 7,5 t/ha pšeničné slámy a 30 t digestátu na hektar.

Haraldsen et al. (2017) ve své studii porovnával různé účinky surovin organického původu s porovnáním minerálního hnojiva NPK (ledek vápenatý a NPK 21-4-10) při pěstování ječmene v nádobách. Jako nosné medium byl použit křemičitý písek. Jako suroviny organického původu byl použit digestát, jeho odseparovaná složka fugát, masokostní moučka, výlisky při zpracování ryb, kompost vzniklý z gastroproduktů a hnůj. Závěrem této studie bylo zjištěno, že aplikací digestátu a minerálního hnojiva NPK lze dosáhnout stejného výnosu zrna při aplikaci stejné dávky dusíku při pěstování ječmene.

Ve studii Dragicevic et al. (2018) byla porovnávána v polním experimentu aplikace digestátu a minerálního hnojiva NPK při pěstování ječmene a ovsa. Minerální hnojivo NPK bylo aplikováno v dávce 100 kg N/ha, 14 kg P/ha a 45 kg K/ha. Dávka dusíku digestátem odpovídala stejné dávce hnojiva NPK. Z výsledku studie byly zjištěny odlišné koncentrace rizikových látek v zrnu obilovin. U kadmia byla zjištěna koncentrace v zrnu pod hladinou 0,1 mg/kg v sušině, oproti zinku byla jeho koncentrace 0,2 mg/kg. U mědi byl zjištěn jeho obsah 0,2 mg/kg. Závěrem této studie bylo zjištění, že aplikace digestátu neohrozilo riziko pěstování ječmene a ovsa v rámci rizika kontaminace těžkými kovy. Celkové koncentrace niklu, kadmia, zinku a chrómu vykázaly vyšší hodnoty v půdě, ale jejich naměřené hodnoty výrazně nepřesahovaly limity dané WHO - Světovou zdravotnickou organizací.

Sogn et al. (2018) ve své studii při pěstování pšenice v nádobových experimentech (*Triticum aestivum L.* var. Zebra) porovnávali vliv hnojení digestátu v porovnání v minerálním hnojivem NPK na různých typech půd (jílovitá, hlinitá a písek). Z výsledků této studie vyplynul vysoký obsah formy amonného dusíku v digestátu. Dávka minerálního hnojiva NPK činila 120 kg/N, 20 kg/P a 180 kg/K na hektar, tak aby odpovídala optimálnímu růstu pšenice. V této studii bylo prokázáno pozvolné uvolňování minerální formy dusíku obsažený v digestátu v rané fázi vegetace.

Ve studii, kterou uvádí Odlare et al. (2008) byla zjišťována vhodnost aplikace různých materiálu organického původu (kompost z rostlinných zbytků, digestát, čistírenský kal, prasečí hnůj, kravský hnůj v porovnání s minerálním hnojivem NP s podílem síry. V experimentu byla zvolena schodná dávka dusíku, která činila 100 kg/N na hektar. Z výsledku vyplynulo, že

aplikovaný kompost z rostlinných zbytků vykázal zvýšenou hodnotu pH. Ve vzorcích zemin dále byl zjištěn zvýšený obsah fosforu v rostlinách při aplikace kompostu z rostlinných zbytků a čistírenského kalu. Z dalších výsledků bylo zjištěno, že aplikace digestátu zvýšila přeměnu formy NH_4^+ na minerální formu N.

Podle Nkoa (2014), který porovnával vliv hnojení digestátem na dvou odlišných zeminách (písčitá a jílovitá půda). Z výsledků vyplynulo, že došlo k vyluhování živin. Jedním z možných opatření ke snížení vyluhování živin je kultivace proti svahu a doba aplikace digestátu na ornou půdu a setí plodiny.

Ve čtyřletém polním experimentu při pěstování pšenice a ječmene, který uvádí Barlog et al. (2019), aplikovali digestát se slámou, nehnojená varianta a hnojená varianta minerálním hnojivem NPK. V jednotlivých letech byla jednotlivá hnojiva dávkována následovně. Ve variantě při aplikaci digestátu bylo aplikováno v letech 2013 - 2016 dávka 20 t/ha, dále stejná dávka digestátu společně se slámou množství šest tun na hektar s obsahem sušiny 85 %, oproti tomu dávky minerálního hnojiva NPK byly v jednotlivých letech rozděleny následovně – 2013 (120-30-90), 2014 (140-30-90), 2015 (90-30-90) a 2016 (140-30-90). Z výsledků této studie vyplynulo, že digestát významně ovlivnil vyšší výnosy zrna oproti minerálnímu hnojivu NPK. To bylo způsobeno vysokým obsahem zinku a mědi. V této studii byla prokázána pozitivní korelace vysoké hladiny dusíku v zrnu, která měla za následek vyšší obsahy mikroživin (Fe, Zn, Cu a Mn).

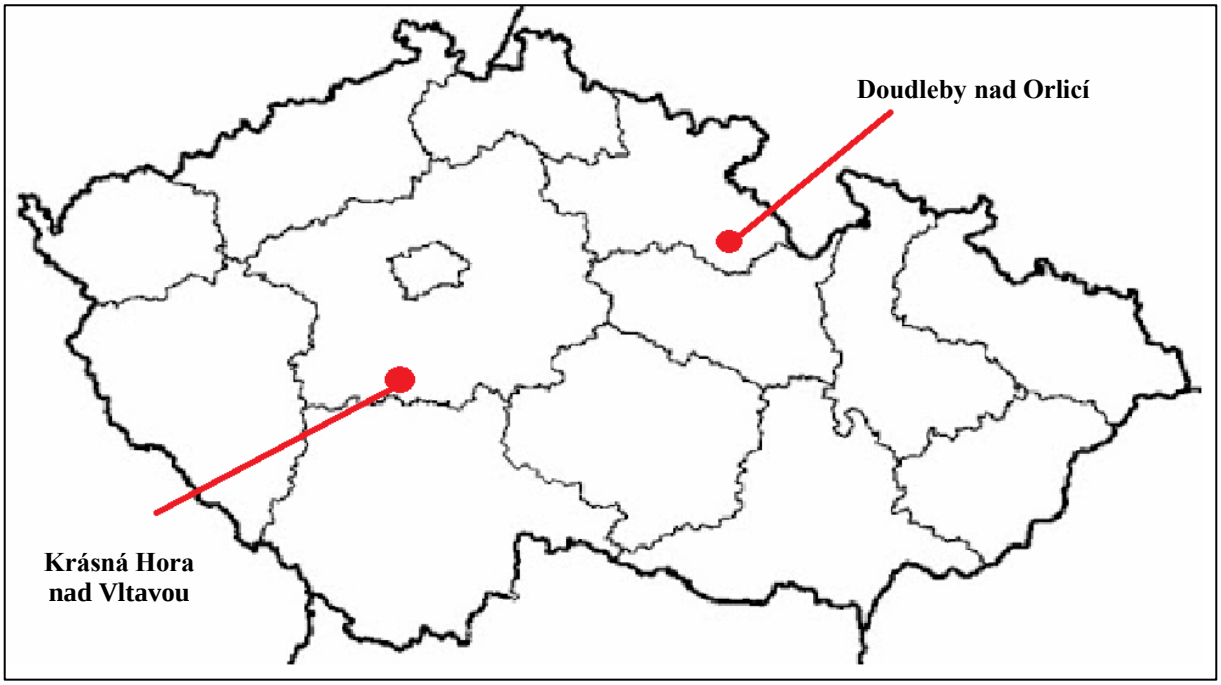
4 Materiál a metody

4.1 Odběr zemin experimentu a jeho založení

Nádobový experiment s pšenicí jarní byl založen v prostorách pokusných skleníků Katedry agroenvironmentální chemie a výživy roslin FAPPZ ČZU v Praze v roce 2019.

První odběrové místo bylo provedeno na poli (dne 15.2. 2019) podniku ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s., která se nachází v okrese Příbram s nadmořskou výškou 430 m n. m., s ročním úhrnem srážek okolo 500 mm a průměrnou roční teplotou 6,7 °C (GPS souřadnice - 49.6046058N, 14.2774189E). Druhé odběrové místo bylo provedeno na poli (dne 23.2. 2019) rodinné farmy Ing. Ivo Hlaváček v Doudlebech nad Orlicí, které se nachází v okrese Rychnov nad Kněžnou, s nadmořskou výškou 280 m n. m., s ročním úhrnem srážek okolo 600 mm a průměrnou roční teplotou 8 °C (GPS souřadnice - 50.1074192N, 16.2613144E). Z odběrových míst byla odebrána zemina z profilu 20 cm. Zemina byla z odběrového stanoviště vždy homogenizována sítem o velikosti ok 2 cm a bylo odebráno zhruba 200 kg zeminy v čerstvé hmotě. Obě zeminy byly vždy dovezeny do prostor skleníku a byly ponechány na volné ploše k dosušení. Obě zeminy byly po vysušení přesáty přes velikost ok 5 mm a bylo vždy odváženo 5 kg suché zeminy a naplněno do 5 litrových nádob.

Obrázek 4. Mapa odběrových míst



4.2 Charakteristika použité odrůdy experimentu

V nádobovém vegetačním experimentu byla použita pšenice jarní (odrůda *´Scirocco´*). Tato odrůda je charakteristická jako poloraná odrůda s elitní jakostí a nízkým až středně vysokým výnosem zrna. Rostliny se vyznačují středně vysokým až vysokým vzůstem, středně odnožujícím charakterem. Předností této odrůdy je vysoký obsah dusíkatých látek v zrnu. Pěstování odrůdy *´Scirocco´* má také svá rizika. Jedním z rizik je nízká odolnost vůči napadení pšeničnou rzí. Může docházet k výskytu padlí na listech a nižší stabilitě čísla poklesu.

4.3 Charakteristika zemin

Před založením experimentu byly v laboratoři KAVR FAPPZ ČZU provedeny rozbory zemin z Krásné Hory nad Vltavou (typ hlinito-písčitáú a Doudleb nad Orlicí (typ hlinitá). V rámci stanovení rozborů vzorků zemin byly použity metody Mehlich III a dále byla stanovena hodnota pH zemin.

Tabulka 7. Hodnota pH zemin, obsah sušiny a makroživin Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí (mg/kg v sušině)

Zemina	pH (H_2O)	Sušina (%)	$N\text{-}NO_3^-$ (mg/kg)	$N\text{-}NH_4^+$ (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
K.H.	6,90±0,02	83,1±0,01	8,41±0,01	0,89±0,01	254±2,1	328±0,8
DNO	5,84±0,01	81,1±0,02	3,55±0,01	0,84±0,01	20,8±1,7	184±3,2

Tabulka 8. Obsah mikroživin (mg/kg v sušině) v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí (výluh)

Zemina	Al (mg/kg)	B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)
K.H.	77±0,22	0,886±0,001	0,42±0,003	18,1±0,07	<0,005±0
DNO	110±0,21	0,482±0	1,93±0,001	13,4±0,02	<0,005±0

Tabulka 9. Obsah rizikových prvků (mg/kg v sušině) v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí (výluh)

Zemina	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)
K.H.	0,05±0	0,42±0,003	0,26±0	6,19±0,005	0,68±0,005	0,08±0,001
DNO	0,07±0	0,37±0,001	0,47±0,004	2,26±0,001	<0,03±0	0,04±0

4.4 Charakteristika fugátu

V laboratoři KAVR FAPPZ ČZU bylo ověřeno stanovení obsahů mikroživin a rizikových prvků ve vzorcích fugátu různých BPS. Vzorky byly usušeny při 45 °C do konstantní sušiny a poté zhomogenizovány na střižném mlýnku Fritsch na jemnost částic < 2 mm. Výluh v destilované vodě v poměru 1:10 byl třepán 5 minut, dalších 5 minut ponechán sedimentaci. Poté byly měřeny obsahy mikroživin Fe, Mn, Cu, B a Mo. Zemědělské BPS recyklují digestáty, separáty a fugáty zpět do biologického procesu, proto byly stanoveny i obsahy celkových rizikových prvků Pb, Cd, Zn, Cu a Ni. Pro určení obsahu mikroživin byly vzorky převedeny do roztoku pomocí mikrovlnného procesu.

Tabulka 10. Celkový obsah mikroživin ve fugátu (mg/kg v sušině)

BPS	Al (mg/kg)	B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)
K.H.	1342±71	32±1,79	5220±93	466±19	2,48±0,08

Tabulka 11. Celkový obsah rizikových prvků ve fugátu (mg/kg v sušině)

BPS	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)
K.H.	0,68±0,44	101±3,01	4,27±0,55	11± 8,66	460±30	3,53±1,54	7,41±0,25

4.5 Založení a schéma experimentu

4.5.1 Příprava hnojení a jeho aplikace

Pro hnojení nádobového experimentu ve vybraných variantách byl připraven roztok minerálního hnojiva NPK. Bylo naváženo 111,3 g KNO_3, 36,12 g $NH_4H_2PO_4$ a 86,19 g NH_4NO_3. Vše bylo rozpuštěno v 500 mL odměrné baňce a poté doplněno demineralizovanou vodou na 500 ml. Bylo naváženo 766 mg Na_2SeO_4, následně došlo k rozpuštění v 100 ml odměrné baňce s demineralizovanou vodou a poté připraven roztok o objemu 1000 ml.

4.5.2 Schéma experimentu

Tabulka č. 12 znázorňuje schéma jednotlivých variant hnojení nádobového experimentu. Každá varianta byla zastoupena ve čtyřech opakováních. Ve variantě č. 1 nebylo aplikováno žádné hnojení (kontrolní varianta). Ve variantě č. 2 bylo aplikováno minerálního

hnojivo NPK v roztoku (10 ml) na každou nádobu. Ve variantě č. 3 byl aplikován fugát s dávkou 263 g na každou nádobu. Varianta č. 4 byla hnojena dělenou dávkou fugátu, dělenou dávkou NPK a snižší dávkou selenanu. Dávka fugátu činila 131 g, NPK 5 ml roztoku a 5 ml selenanu. Ve variantě č. 5 byla aplikována plná dávka fugátu 263 g a dvojnásobná dávka selenanu v množství 8 ml na nádobu. Ve všech hnojených variantách experimentu byla aplikována totožná dávka živin N, P a K.

Tabulka 12. Varianty hnojení experimentu

Varianta	Nádoby	Hnojení
1	1, 2, 3, 4	kontrola (bez hnojení)
2	5, 6, 7, 8	NPK (1 g N, 0,19 g P, 0,86 g K)
3	9, 10, 11, 12	fugát
4	13, 14, 15, 16	1/2 fugát +1/2 NPK + Se+
5	17, 18, 19, 20	fugát + Se++

Se+ - základní dávka selenanu (0,016 mg/nádoba)

Se++ - dvojnásobná dávka selenanu (0,128 mg/nádoba)

4.5.3 Založení experimentu

Nádobový vegetační experiment s pšenicí jární byl založen v 5 variantách dne 6.3. 2019. Nadobový experiment byl umístěn pod krytou vegetační halou z důvodů možných ztrát vyplavování živin. V den založení experimentu byly připraveny roztoky. Varianty byly hnojeny podle schématu (viz. tab. 12). Každá varianta byla hnojená zvlášť z důvodu, aby nedošlo ke kontaminaci s dalšímy prvky. Zeminy byly ve sterilní nádobě vždy smíchány s požadovanou dávkou hnojiva a následně byly přesypány. Míchání selenanu do varianty č. 4 a 5 probíhalo mimo sterilní nádobu. Do každé nádoby bylo zaseto přesně definované množství semen a to (30 semen osiva) pšenice jarní do hloubky 3 cm. Experiment byl po celou dobu zaléván demineralizovanou vodou. V době dozrávání zrna byl experiment ošetřen ochrannou sítí.

4.6 Ošetřování experimentu

Tabulka č. 14 znázorňuje ošetřování nádobového experimentu během vegetace. Ve fázi vzcházení byly jednotlivé nádoby ručně odpleveleny. Po šesti týdnech byly jednotlivé nádoby vyjednoceny v počtu 20-ti jedinců na nádobu ve všech variantách. V tentýž den byl aplikován chemický postřik přípravkem Nurell D o koncentraci 0,2 % z důvodů zabránění šíření nežádoucích škůdců (kohoutek). Zhruba po měsicí (21.5. 2019) byl aplikován insekticidní přípravek Atlas o koncetraci 0,1 % z důvodů napadení porostu padlí.

Tabulka 13. Ošetřování experimentu

Termín	Ošetřování
8.4.2019	odplevelení všech variant
24.4.2019	vyjednocení
24.4.2019	postřik Nurell D
21.5.2019	postřik Atlas

4.7 Ukončení experimentu

Nádobový experiment pšenice jarní byl ukončen sklizní ve fázi plné zralosti dne 15.7. 2019. Ve všech variantách byla sklizena zvlášť nadzemní biomasa a biomasa kořenů rostlin v čerstvé hmotě. Nejprve byly sklizeny klasy se zrnem a následně byla sklizena sláma. Poté byly ve všech variantách z jednotlivých nádob odebrány vzorky půdní sondýrkou. Následně byly odebrány kořeny rostlin, které byly vymyty demineralizovanou vodou. Všechny vzorky byly zváženy. Po zvážení byly vzorky upraveny sušením při teplotě 35 °C. Usušené vzorky byly poté zhomogenizovány na střižném mlýnku. Takto připravené vzorky byly v laboratořích KAVR analyzovány na zjištění obsahů mikroživin a rizikových prvků.

4.8 Statistické vyhodnocení

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 Tukey´s HSD test ($P \leq 0,05$).

4.9 Metody stanovení chemických parametrů

4.9.1 Stanovení přijatelných prvků podle Mehlicha III

Vzorky byly extrahovány kyselým roztokem, který obsahoval fluorid amonný, čímž došlo ke zvyšení rozpustnosti různých forem prvků. Díky kyselině dusičné a octové je nastavena kyselá reakce roztoku. Dobrou uvolnitelnost významných mikroelemntů zajišťuje přitomnost EDTA. Do plastových PE lahviček s víkem bylo naváženo 5 g zeminy vzorku a přelito 50 ml extrakčního činidla. Následně probíhalo 10 minut třepání. Suspenze byla zfiltrována přes papírový filtr. Výluhy jednotlivých variant byly analyzovány na atomovém a emisním spektrometru.

4.9.2 Stanovení hodnoty pH a obsahu rozpuštěných solí v zeminách

Ze základních chemických vlastností byla stanovena hodnota pH a obsah rozpuštěných solí ve vodném roztoku a demineralizované vodě, a to v poměru 1:10. Do plastových PE lahviček s víkem bylo naváženo 10 g vzorku a následně zalito 100 ml destilované vody. Měření bylo realizováno pomocí kalibrovaného pH metru a kalibrovaného konduktometru typu HANNA HI 991300.

4.9.3 Stanovení chemických vlastností fugátu

Vzorky byly naváženy do teflonových kyvet mikrovlnného systému ETHOS 1 o objemu 90 ml (navážka cca 0,5 g), poté zality 10 ml lučavky královské. Rozklady probíhaly metodou vysokotlakého mikrovlnného rozkladu, tzn. postupného zvyšování vnitřní teploty (160, 190, 210 °C), vnější (90, 110, 120 °C) a za výkonu 800 – 1000 W. Celkový rozklad probíhal 30 minut, poté následovalo chlazení 60 minut. Po vychlazení rozloženého vzorku následoval odpar kyselin ve speciálním rotoru. Po odpaření byl vzniklý mineralizát doředěn demineralizovanou vodou do objemu 25 ml, uzavřen a promíchán. Obsahy prvků byly stanoveny atomovou absorpční spektrometrií s plamenovou atomizací na přístroji Varian 280FS a optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji Varian VistaPro, oba firma Varian, Austrálie.

4.9.4 Stanovení mikroživin a rizikových prvků pomocí mikrovlnného rozkladu rostlinného materiálu

Mikrovlnný rozklad byl proveden v kyvetách, do kterých bylo poté naváženo 0,5 kg vzorku. Následně byly vzorky zality 8 ml HNO_3 (kyselina dusičná) a 2 ml H_2O_2 (peroxid vodíku), podrobeny mikrovlnnému rozkladu za zvýšenné teploty a tlaku. Vzniklý mineralizát byl následně odpařen.

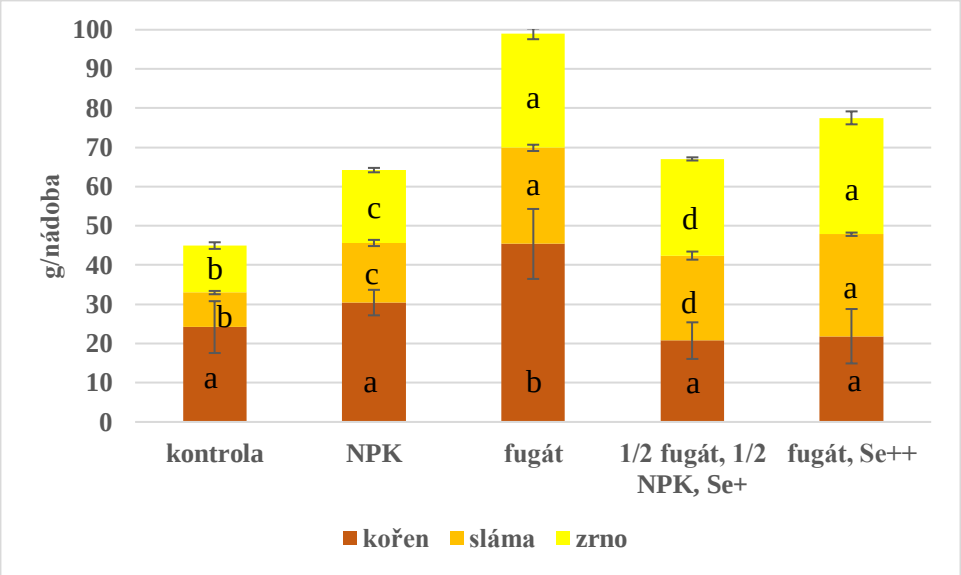
Obsahy celkových mikroživin a rizikových prvků (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) byly stanoveny pomocí atomové absorpční spektrometrie s plamenou atomizací na přístroji Varian 280FS (Varian, Austrálie) a optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem, a to na přístroji Agilent 720 (Agilent Technologies Inc., USA).

5 Výsledky

5.1 Výnos kořene, slámy a zrna jarní pšenice

Z grafu č. 2 je patrný nejvyšší výnos kořene ve variantě 3, které byla hnojena fugátem bez přídavku selenanu s výnosem kořene 45,38 g v zemině Krásná Hora nad Vltavou. Naopak nejnižší výnos kořene byl zjištěn u varianty 4 (1/2 NPK, 1/2 fugát a selenan) a 5 (fugát s dvojnásobnou dávkou selenanu). Nejvyššího výnosu slámy dosáhla varianta 5, kde byl aplikován fugát s dvojnásobnou dávkou selenanu (26 g). Nejnižší výnos slámy pšenice byl u varianty 1. Nejvyšší výnos zrna byl zjištěn u varianty 5 s výnosem 29,68 g a nejnižší u varianty 1 s výnosem 11,98 g. U kořene byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantami 1, 2, 4 a 5 od varianty 3. Také se varianta 3 statisticky liší od variant 1, 2, 4 a 5. U slámy a zrna varianta 3 (fugát) a 5 (fugát s dvojnásobnou dávkou selenanu) se statisticky liší s variantami 1, 2 a 4. Dále mezi variantou 1 a variantami 2, 3, 4 a 5 je statisticky významný rozdíl, ale také mezi variantou 2 (NPK) a variantami 1, 3, 4 a 5. Varianta 4 (1/2 NPK, 1/2 fugát a selenan) se statisticky liší s variantami 1, 2, 3 a 5.

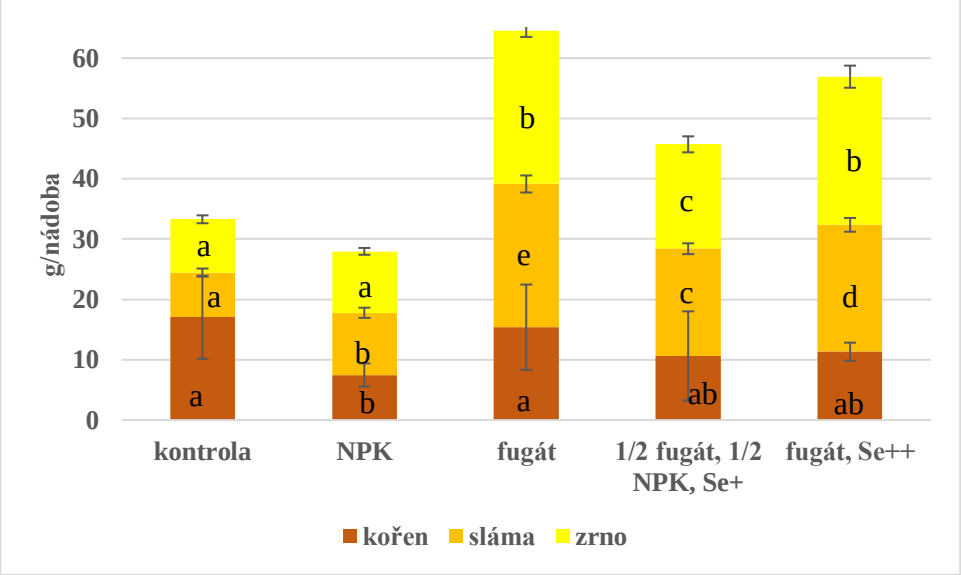
Graf 2. Výnos kořene, slámy a zrna v suché hmotě Krásná Hora nad Vltavou



V porovnání grafů č. 2 a 3 bylo zjištěno, že nejvyšší výnos suché hmoty kořenů, slámy a zrna byly ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou ve variantě 3, která byly hnojena fugátem bez přídavku selenanu. Naopak nejnižší výnosy suché hmoty byly zjištěny ve vzorcích Doudleby nad Orlicí ve variantě 2, kde bylo aplikováno minerální hnojivo NPK. Graf č. 3 dokumentuje výnos suché biomasy u kořene, slámy a zrna ve variantě Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší výnos

kořene byl dosažen u varianty 1 s výnosem 17,05 g. Naopak nejnižší výnos byl zjištěn u varianty 2 s minerálním hnojivem NPK (7,48 g). Nejvyšší výnos slámy byl zjištěn u varianty 3 s dosaženým výnosem 23,73 g. Naopak nejnižší výnos slámy byl u varianty 1 (7,4 g). Nejvyšší výnos zrna byl zjištěn u varianty 3 s výnosem 25,38 g a nejnižší u varianty 1 (8,83 g). U kořene lze pozorovat statisticky významný rozdíl mezi variantami 1 a 3 od varianty 2. Také se varianta 2 statisticky liší od variant 1 a 3. U slámy byl zaznamenán statisticky významný rozdíl ve všech variantách. U zrna se varianty 1 a 2 statisticky liší od variant 3, 4 a 5. Varianta 4 se statisticky výrazně lišila od variant 1, 2, 3 a 5. Varianty 3 (fugát) a 5 (fugát s dvojnásobnou dávkou selenanu) se statisticky liší s variantami 1, 2 a 4.

Graf 3. Výnos kořene, slámy a zrna v suché hmotě Doudleby nad Orlicí



5.2 Celkový obsah selenu v jednotlivých částech pšenice jarní

Tabulka č. 14 znázorňuje obsah selenu v kořenech, slámy a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad orlicí. Z výsledků jednotlivých variant Krásná Hora nad Vltavou je patrné, že nejvyšší obsah selenu v kořenech byl zjištěn s hladinou 0,75 mg/kg a nejnižší byla u varianty 4 s hodnotou 0,48 mg/kg. U slámy byla nejvyšší hladina selenu 1,21 mg/kg, naopak nejnižší 0,02 mg/kg. Zrno s nejvyšší hladinou obsahů mělo obsahovalo 1,67 mg/kg, zatímco nejnižší 0,02 mg/kg. Ve vzorcích Doudleby nad Orlicí byly nejvyšší hodnoty obsahu selenu v jednotlivých částech rostlin zjištěny shodně u varianty 5, která byla hnojena fugátem a byla přídána dvojnásobná dávka selenanu. Nejvyšší obsah v kořenech byl 1,33 mg/kg a nejnižší byl zjištěn u varianty 3 s hladinou 0,68 mg/kg. U slámy byla zjištěna nejvyšší hodnota selenu v

hodnotě 1,58 mg/kg, naopak nejnižší 0,04 mg/kg. Zrno s nejvyšší zjištěnou hladinou obsahu selenu (1,61 mg/kg) a nejnižší (0,05 mg/kg). Ve variantách 4 (1/2 NPK, 1/2 fugát a selenan) a 5 (fugát s dvojnásobnou dávkou selenanu) byl zjištěn nárůst hladiny obsahu selenu v kořenech, slámy a zrnu u obou zemin.

Tabulka 14. Obsah selenu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah selenu (Se) mg/kg sušiny

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	0,72±0,19	0,06±0,02	0,05±0,03	**1**	0,70±0,11	0,06±0,03	0,09±0,09
2	0,79±0,08	0,04±0,01	0,13±0,09	**2**	0,64±0,11	0,02±0,01	0,17±0,29
3	0,68±0,09	0,05±0,02	0,08±0,04	**3**	0,61±0,07	0,04±0,01	0,02±0,03
4	0,90±0,12	0,26±0,01	0,40±0,04	**4**	0,48±0,09	0,17±0,01	0,15±0,01
5	1,33±0,14	1,58±0,05	1,61±0,16	**5**	0,75±0,06	1,21±0,21	1,61±0,18

5.3 Obsah mikroživin v kořenech, slámě a zrnu pšenice jarní

V tabulce č. 15 je dokumentován obsah železa v kořenech, slámy a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Ze zjištěných výsledků, byl nejvyšší obsah železa v kořeni u kontrolní varianty 1 s obsahem 15 639 mg/kg, naopak nízká mobilita Fe u varianty 4 (8 213 mg). U varianty 3, byl zjištěn nejvyšší obsah železa ve slámě s hodnotou 401 mg/kg a nejnižší u varianty 1 (127 mg/kg). Tyto hodnoty byly zjištěny ve variantách Doudleby nad Orlicí. Nejnižší obsah železa v zrnu, byl zjištěn u varianty 4 (31 mg/kg) ve variantě Krásná Hora nad Vltavou, zatímco nejvyšší byl zjištěn u varianty 2 (55 mg/kg) ve variantě Doudleby nad Orlicí.

Tabulka 15. Obsah železa v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah železa (Fe) mg/kg sušiny

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	15639±1664	127±15	39±3,48	**1**	13531±1899	174±42	35±11
2	11664±3217	157±41	55±7,41	**2**	12744±867	167±56	32±6,95
3	11045±3128	401±287	34±1,52	**3**	12515±1401	170±25	35±4,43
4	8213±2429	336±252	36±2,10	**4**	8744±607	140±42	31±3,83
5	9167±625	239±99	40±13	**5**	10894±2371	130±43	33±3,48

Tabulka č. 16 uvádí, že nejvyšší obsah manganu v kořenech byl u varianty 1. Nejnižší hodnota magnanu ve slámě byla zjištěna u varianty 4, nejnižší obsah manganu v zrně byl zjištěn u varianty 1. Tyto výsledky byly zjištěny ve variantách Krásná Hora nad Vltavou. Ve vzorcích

variant Doudleby nad Orlicí byl nejvyšší obsah manganu ve slámě naměřen u varianty 2, u této varianty byl také zjištěn nejvyšší obsah v zrnu. Zatímco nejnižší hodnota byla zjištěna v kořenech u varianty 3.

Tabulka 16. Obsah manganu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah manganu (Mn) mg/kg sušiny

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	526±47	89±11	40±2,84	**1**	601±41	13±2,34	13±1,24
2	409±145	249±16	64±6,24	**2**	539±31	18±5,50	18±1,59
3	344±105	58±10	43±3,05	**3**	516±58	9,75±1,04	16±1,01
4	353±127	98±19	55±2,72	**4**	403±29	9,61±1,91	17±1,83
5	343±33	63±10	54±19	**5**	424±104	10±1,91	18±1,47

Tabulka č. 17 znázorňuje výsledky obsahu bóru v kořenech, slámy a zrnu. Ve variantách Doudleby nad Orlicí byl zjištěn obsah bóru nejvyšší v kořenech (varianta 1), u této varianty byl také zjištěn nejvyšší obsah ve slámě. Ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou byl nejnižší obsah bóru v kořenech u varianty 4 a ve slámě u varianty 2. Zatímco obsah bóru v zrně byl ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí pod detekcí hodnoty <0,001 mg/kg.

Tabulka 17. Obsah bóru v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah bóru (B) mg/kg sušiny

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	9,58±0,64	27±3,14	<0,001±0	**1**	4,66±0,75	11±2,28	<0,001±0
2	8,02±1,91	15±0,57	<0,001±0	**2**	4,33±0,43	6,19±1,08	<0,001±0
3	8,53±0,95	13±2,38	<0,001±0	**3**	3,07±0,46	7,33±1,19	<0,001±0
4	8,66±1,39	14±1,45	<0,001±0	**4**	1,96±0,45	7,81±0,84	<0,001±0
5	8,37±0,63	15±2,36	<0,001±0	**5**	2,37±0,37	8,98±1,69	<0,001±0

Tabulka č. 18 dokumentuje nejvyšší obsah molybdenu v kořenech u varianty 3, která byla hnojená fugátem. Nejvyšší hodnota molybdenu ve slámě byla zjištěna u kontrolní varianty 1, nejvyšší obsah molybdenu v zrně byl zaznamenán u varianty 2 hnojenou minerálním hnojivem NPK. Tyto výsledky byly zjištěny ve variantách Krásná Hora nad Vltavou. Nejnižší obsah molybdenu v kořenech, slámy a zrnu byl zjištěn ve vzorcích Doudleby nad Orlicí. U zrna ve variantách 3 a 4, u slámy i v kořenech ve variantách 2 – 5 byly zjištěny obsahy molybdenu <0,005 mg/kg.

Tabulka 18. Obsah molybdenu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah molybdenu (Mo) mg/kg sušiny

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	0,53±0,15	1,12±0,38	0,50±0,09	**1**	0,74±0,12	4,10±0,33	1,00±0,08
2	<0,005±0	<0,005±0	0,52±0,05	**2**	0,80±0,06	3,60±0,45	1,33±0,39
3	<0,005±0	<0,005±0	<0,005±0	**3**	0,95±0,19	2,30±0,40	1,09±0,15
4	<0,005±0	<0,005±0	<0,005±0	**4**	0,75±0,12	2,53±0,17	1,31±0,17
5	<0,005±0	<0,005±0	0,64±0,14	**5**	0,61±0,09	2,64±0,24	1,13±0,10

5.4 Obsah rizikových prvků v kořenech, slámě a zrnu pšenice jarní

Tabulka č. 19 znázorňuje obsah olova v kořenech, slámy a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Ze zjištěných výsledků, byl nejvyšší obsah olova v kořenech u kontrolní varianty 1 s obsahem 16,47 mg/kg, naopak nejnižší u varianty 4 (9,70 mg/kg), která byla hnojená dělenou dávkou fugátu, dělenou dávkou hnojiva NPK a selenanu. Tyto hodnoty byly zjištěny ve variantách Krásná Hora nad Vltavou. Ze zjištěných výsledků obsahu olova ve slámě a zrnu ve všech variantách byly hodnoty <0,02 mg/kg ve vzorcích Doudleby nad Orlicí a Krásná Hora nad Vltavou.

Tabulka 19. Obsah olova v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah olova (Pb) mg/kg sušiny

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	15,90±1,20	<0,02±0	<0,02±0	**1**	16,47±2,91	<0,02±0	<0,02±0
2	12,37±4,65	<0,02±0	<0,02±0	**2**	15,23±0,86	<0,02±0	<0,02±0
3	12,19±2,84	<0,02±0	<0,02±0	**3**	14,63±1,12	<0,02±0	<0,02±0
4	10,61±4,67	<0,02±0	<0,02±0	**4**	9,70±0,70	<0,02±0	<0,02±0
5	12,35±2,30	<0,02±0	<0,02±0	**5**	13,09±2,47	<0,02±0	<0,02±0

Tabulka č. 20 uvádí, že nejvyšší obsah zinku v kořenech byl u varianty 4, ve slámě byla zjištěna u varianty 2, nejvyšší obsah molybdenu v zrně byl zjištěn u varianty 2. Nejnižší obsah zinku ve slámě byl u varianty 1. Tyto zjištěné výsledky byly ve vzorcích Doudleby nad Orlicí. Nejnižší obsah zinku v kořenech byl u varianty 4 a u zrna varianta 1 ve variantách Krásná Hora nad Vltavou

Tabulka 20. Obsah zinku v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah zinku (Zn) mg/kg sušiny

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	58±3,48	10±0,86	31±1,29	**1**	53±4,62	12±1,61	9,42±0,77
2	64±4,08	56±3,36	58±5,50	**2**	48±3,90	28±1,42	15±1,68
3	62±7,01	17±1,99	41±4,33	**3**	39±5,56	16±0,77	31±2,76
4	65±9,72	31±5,90	50±1,84	**4**	31±3,82	16±0,70	35±3,27
5	59±6,10	22±2,81	51±17	**5**	42±15	13±2,08	30±2,25

V tabulce č. 21 jsou dokumentovány výsledky obsahy niklu v kořenech, slámě a zrnu. Ve variantách Doudleby nad Orlicí je patrné, že obsah niklu byl ve slámě nejvyšší u varianty 5 a u varianty 1 byl zjištěn nejvyšší obsah v zrnu. Ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou, byl zjištěn nejnižší obsah niklu v kořenech u varianty 4, naopak nejvyšší u varianty 1. Ve slámě byla nejnižší hodnota zjištěna u varianty 5. Zatímco hladina obsahu niklu v zrně byla nejnižší u varianty 2 s hodnotou <0,005 mg/kg.

Tabulka 21. Obsah niklu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah niklu (Ni) mg/kg sušiny

Doudleby nad Orlicí				Krásná Hora nad Vltavou			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	14±1,08	1,26±0,39	1,75±0,14	**1**	15±2,05	2,24±1,00	0,67±0,12
2	14±1,40	1,01±0,58	1,49±0,19	**2**	14±0,67	0,80±0,08	<0,005±0
3	11±1,36	1,01±0,21	1,27±0,22	**3**	14±0,56	0,89±0,62	0,54±0,06
4	11±1,52	2,67±2,78	1,30±0,17	**4**	9,5±0,86	0,67±0,25	0,57±0,02
5	12±0,60	2,72±1,07	1,59±0,64	**5**	12±2,89	0,61±0,09	0,58±0,09

Tabulka č. 22 znázorňuje porovnání obsahu mědi v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší obsah mědi v kořenech byl u varianty 1, nejnižší u varianty 4. Nejvyšší obsah mědi v zrně byl zjištěn u varianty 5 a nejnižší u varianty 2. U slámy byl nejvyšší obsah u varianty 2.Tyto výsledky byly zjištěny ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou. Ve variantách Doudleby nad Orlicí byl zjištěn nejnižší obsah mědí ve slámě u varianty 1.

Tabulka 22. Obsah mědi v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah mědi (Cu) mg/kg sušiny							
Doudleby nad Orlicí				**Krásná Hora nad Vltavou**			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	6,21±0,60	0,53±0,07	0,68±0,10	**1**	7,63±0,49	0,68±0,16	0,81±0,19
2	5,44±0,55	0,72±0,02	0,52±0,05	**2**	6,74±0,63	0,90±0,06	0,42±0,03
3	5,74±0,42	0,56±0,12	0,57±0,07	**3**	5,77±0,62	0,72±0,05	1,01±0,09
4	5,24±0,53	0,57±0,30	0,58±0,03	**4**	4,79±0,67	0,73±0,06	0,86±0,12
5	5,24±0,21	0,55±0,04	0,76±0,44	**5**	5,39±0,89	0,72±0,05	1,13±0,15

Tabulka č. 23 uvádí, že nejvyšší obsah kadmia v kořenech byl u varianty 2, která byla hnojená hnojivem NPK. U této varianty byla zjištěna také nejvyšší hodnota kadmia ve slámě a zrnu. Tyto výsledky byly zjištěny ve variantách Doudleby nad Orlicí. Nejnižší obsah kadmia v kořenech, slámě a zrnu byl zjištěn ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou. U kořenu varianta 3, u slámy varianty 1, 3 a 5. Naměřené hodnoty u těchto variant byly <0,001 mg. Nejnižší obsahy kadmia v zrnu byly zjištěny ve všech variantách Krásná Hora nad Vltavou a ve variantách 3 a 5 Doudleby nad Orlicí.

Tabulka 23. Obsah kadmia v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah kadmia (Cd) mg/kg sušiny							
Doudleby nad Orlicí				**Krásná Hora nad Vltavou**			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	0,24±0,06	0,04±0,01	0,04±0,01	**1**	0,09±0,02	<0,001±0	<0,001±0
2	0,39±0,10	0,19±0,01	0,07±0,01	**2**	0,11±0,01	0,07±0,01	<0,001±0
3	0,21±0,04	0,07±0,01	<0,001±0	**3**	0,06±0,01	<0,001±0	<0,001±0
4	0,30±0,08	0,09±0,03	0,04±0,04	**4**	0,10±0,02	0,04±0,05	<0,001±0
5	0,21±0,01	0,07±0,01	<0,001±0	**5**	0,09±0,01	<0,001±0	<0,001±0

V tabulce č. 24 jsou dokumentovány obsahy arsenu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Ze zjištěných výsledků, byl nejvyšší obsah kadmia v kořenech u varianty 3 s obsahem 16,47 mg/kg, která byla hnojena fugátem ve variantě Krásná Hora nad Vltavou. Nejnižší obsah arsenu v kořenech byl zjištěn ve vzorcích Doudleby nad Orlicí ve variantě 5 s obsahem 6,60 mg/kg, která byla hnojená fugátem s dvojnásobnou dávkou selenanu. Obsahy arsenu ve slámě a zrnu ve všech variantách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí byly <0,03 mg/kg.

Tabulka 24. Obsah arsenu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Obsah arsen (As) mg/kg sušiny							
Doudleby nad Orlicí				**Krásná Hora nad Vltavou**			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	8,29±1,21	<0,03±0	<0,03±0	**1**	18±2,18	<0,03±0	<0,03±0
2	7,14±2,31	<0,03±0	<0,03±0	**2**	22±10	<0,03±0	<0,03±0
3	6,68±2,09	<0,03±0	<0,03±0	**3**	25±14	<0,03±0	<0,03±0
4	8,06±3,67	<0,03±0	<0,03±0	**4**	13±1,80	<0,03±0	<0,03±0
5	6,60±1,60	<0,03±0	<0,03±0	**5**	14±3,57	<0,03±0	<0,03±0

Tabulka č. 25 znázorňuje obsahy chromu v kořenech, slámě a zrnu. Ve vzorcích Doudleby nad Orlicí byl obsah chromu ve slámě nejvyšší u varianty 1, u varianty 4 byl zjištěn nejnižší obsah v kořenech. U zrna ve variantách 1 - 4 byly hodnoty pod hranicí <0,005 mg. Ve variantách Krásná Hora nad Vltavou byl zjištěn nejvyšší obsah chromu v kořenech u varianty 1, naopak nejnižší u varianty 4 ve slámě. Zatímco obsah chromu v zrně byl nejvyšší u varianty 1. Ve variantách 2 - 5 byly hodnoty <0,005 mg.

Tabulka 25. Obsah chromu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

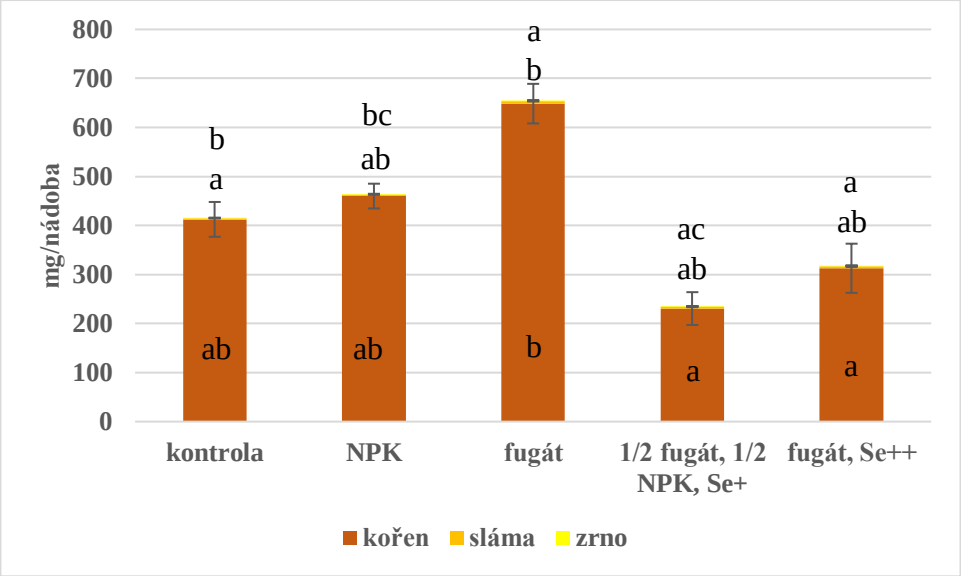
Obsah chrom (Cr) mg/kg sušiny							
Doudleby nad Orlicí				**Krásná Hora nad Vltavou**			
Var.	Kořen	Sláma	Zrno	**Var.**	Kořen	Sláma	Zrno
1	23±5,25	2,34±0,75	<0,005±0	**1**	37±5,74	1,77±0,32	0,97±0,20
2	19±5,78	1,52±0,14	<0,005±0	**2**	35±2,43	1,76±0,29	<0,005±0
3	16±4,94	2,31±0,32	<0,005±0	**3**	35±2,94	1,74±0,94	<0,005±0
4	14±4,95	2,02±0,96	<0,005±0	**4**	22±2,79	1,40±0,37	<0,005±0
5	15±1,53	2,01±0,37	0,61±0,09	**5**	29±8,49	1,44±0,18	<0,005±0

5.5 Odběr mikroživin kořeny, slámou a zrnem pšenice jarní

Graf č. 4 dokumentuje odběr železa kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr železa kořeny byl u varianty 3 s odběrem (648 mg/nádoba) a nejnižší u varianty 4 (230 mg/nádoba). Nejvyšší odběr železa slámou byl u varianty 3 (5,18 mg/nádoba) a nejnižší u varianty 1 (2,55 mg/nádoba). Nejvyšší odběr železa zrnem byl zaznamenán u varianty 3 (1,12 mg/nádoba), naopak nejnižší u varianty 1 (0,50 mg/nádoba). U všech variant byl největší odběr železa kořeny (přibližně 99 %) a pouze nepatrné množství bylo odebráno slámou (přibližně 0,6 %) a zrnem (přibližně 0,4 %). U kořenů byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 3 od variant 4 a 5. U slámy byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantou 1 a 3.

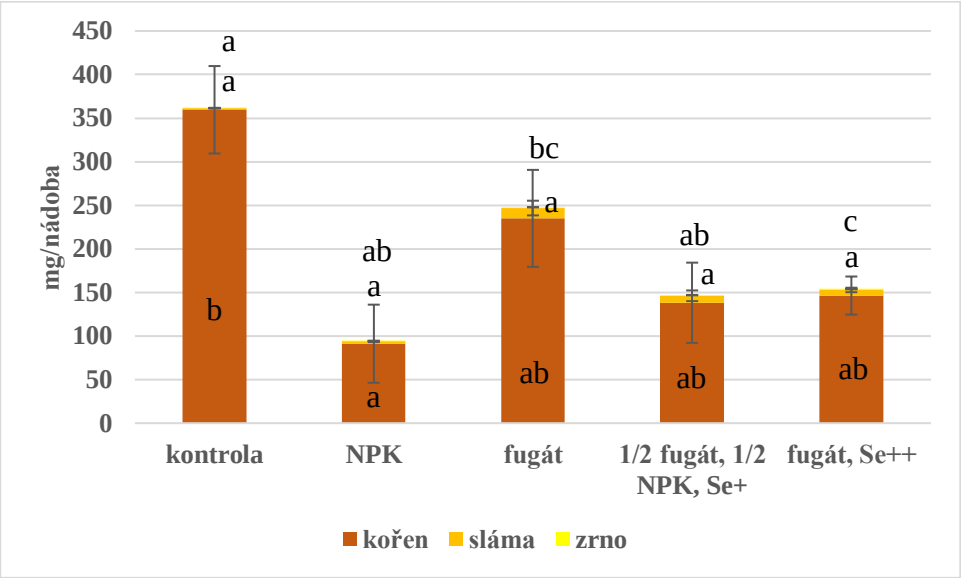
Odběry zrna se statisticky lišily mezi variantou 1 a variantami 3, 4 a 5. Dále se varianty 3 (fugát) a 5 (fugát s dvojnásobnou dávkou selenanu) statisticky lišily od variant 1 (kontrola) a 2 (NPK).

Graf 4. Odběr železa kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



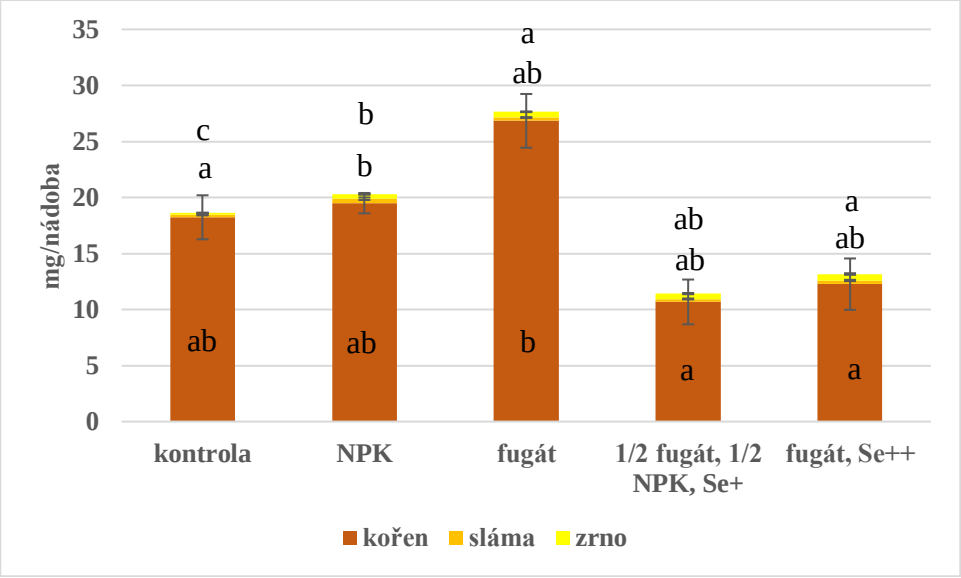
V porovnání grafů č. 4 a 5 bylo zjištěno, že odběr kořeny a zrnem byl ve všech variantách Krásná Hora nad Vltavou vyšší. U slámy ve variantách 3 (fugát), 4 (1/2 NPK, 1/2 fugát a selenan) a 5 (fugát s dvojnásobnou dávkou selenanu) byl vyšší odběr ve vzorcích Doudleby nad Orlicí. Graf č. 5 znázorňuje odběr železa kořeny, slámou a zrnem pšenice pěstované na půdě Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší odběr železa kořeny byl variantou 1 s odběrem 359 mg/nádoba a nejnižší u varianty 2 (91 mg/nádoba). Nejvyšší odběr slámou byl zaznamenán variantou 3 (11,84 mg/nádoba) a nejnižší variantou 1 (1,69 mg/nádoba). Nejnižší odběr zrnem byl kontrolní variantou, naopak nejvyšší variantou 5, která byla hnojena fugátem a dvojnásobnou dávkou selenanu. U kořenů lze pozorovat statisticky významný rozdíl mezi variantou 1 a variantou 2. U slámy nebyl v žádné variantě zjištěn statisticky prokazatelný rozdíl. Odběry zrna se statisticky lišily mezi variantou 1 a variantami 3 a 5. Varianta 5 se statisticky významně lišila od variant 1, 2 a 4.

Graf 5. Odběr železa kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



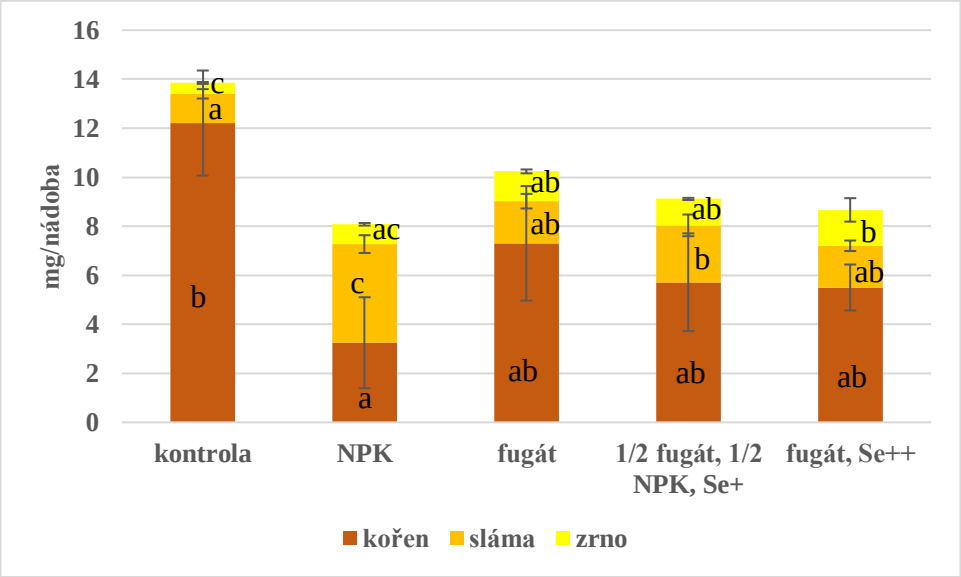
Graf č. 6 uvádí odběr manganu kořenem, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr manganu kořeny byl zjištěn u varianty 3 se zjištěnou hodnotou 26,8 mg/nádoba a nejnižší odběr u varianty 4 (10,6 mg/nádoba). Odběr manganu slámou byl u variant 2 nejvyšší, naopak nejnižší u variant 1. Nejvyšší odběr manganu zrnem byl zjištěn u varianty 5 (0,57 mg/nádoba) a nejnižší u varianty 1 (0,19 mg/nádoba). Odběr manganu kořeny (zhruba 96 – 97 %) byl u všech variant největší a pouze nízké množství bylo odebráno slámou (zhruba 1 – 3 %) a zrnem (zhruba 1 – 3 %). U kořenů byl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi variantou 3 a variantami 4 a 5. U slámy kontrolní varianta se statisticky lišila s variantou NPK. Statisticky průkazný rozdíl byl zjištěn u zrna mezi variantami 3 a 5 od variant 1 a 2. Dále je statisticky významný rozdíl mezi variantou 1 a variantami 2, 3, 4 a 5.

Graf 6. Odběr manganu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



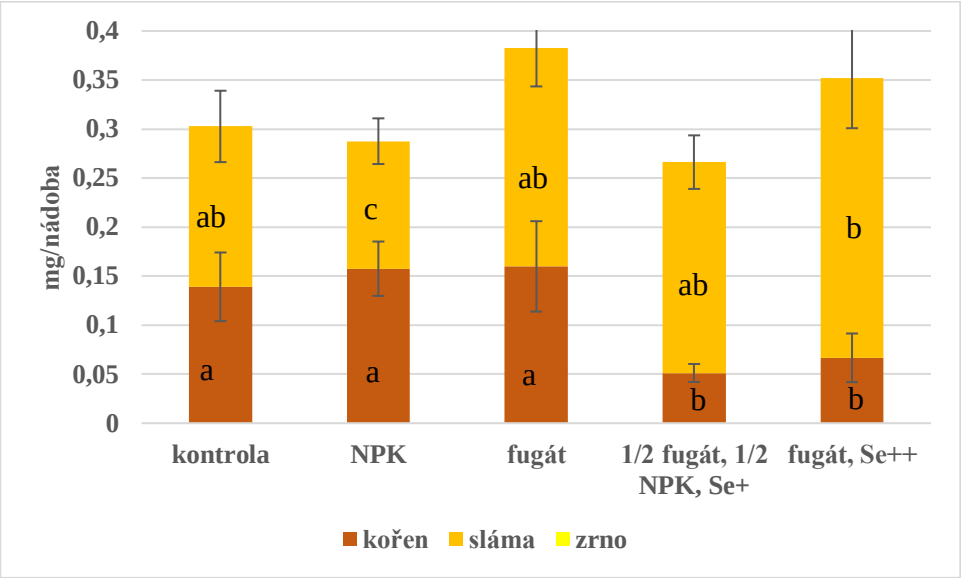
Graf č. 7 dokumentuje odběr manganu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší odběr kořeny byl u varianty 1 s hodnotou 12,2 mg/nádoba, naopak nejnižší u varianty 2 (3,24 mg/nádoba). Z výsledků je patrné, že nejvyšší odběr manganu byl u variant 2, naopak nejnižší u variant 1. Z grafu je patrný také odběr manganu zrnem. Nejvyšší zjištěná hodnota byla u varianty 5 a nejnižší u varianty 1. U kořenů lze pozorovat statisticky významný rozdíl mezi variantou 1 a variantou 2. U slámy byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantou 1 a variantami 2 a 4. Dále mezi variantami 3 a 5 od varianty 2. Varianta 2 se statisticky liší s variantami 1, 3, 4 a 5. Odběry zrna se statisticky lišily mezi variantou 1 a variantami 3, 4 a 5. Varianta 5 se statisticky významně lišila od variant 1 a 2.

Graf 7. Odběr manganu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



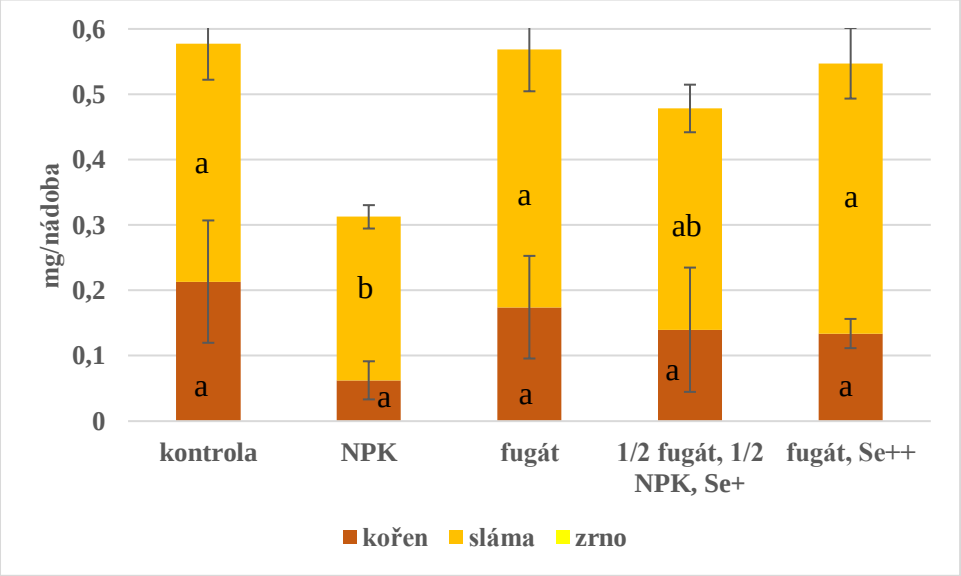
Graf č. 8 znázorňuje odběr bóru kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Odběr bóru u kořenů se pohyboval v rozmezí 0,05 - 0,15 mg/nádoba. Nejnižší hodnota byla zjištěna u varianty 4 a nejvyšší u varianty 3. U slámy byla zjištěna nejvyšší hodnota u varianty 5 a nejnižší u variant 2. Odběr bóru zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnoty <0,01 mg/nádoba. U kořenů byl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi variantami 1, 2 a 3 od variant 4 a 5. Odběry slámy se statisticky lišily mezi variantou 2 a variantami 3, 4 a 5, dále se varianta 5 statisticky významně lišila od variant 1 a 2.

Graf 8. Odběr bóru kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



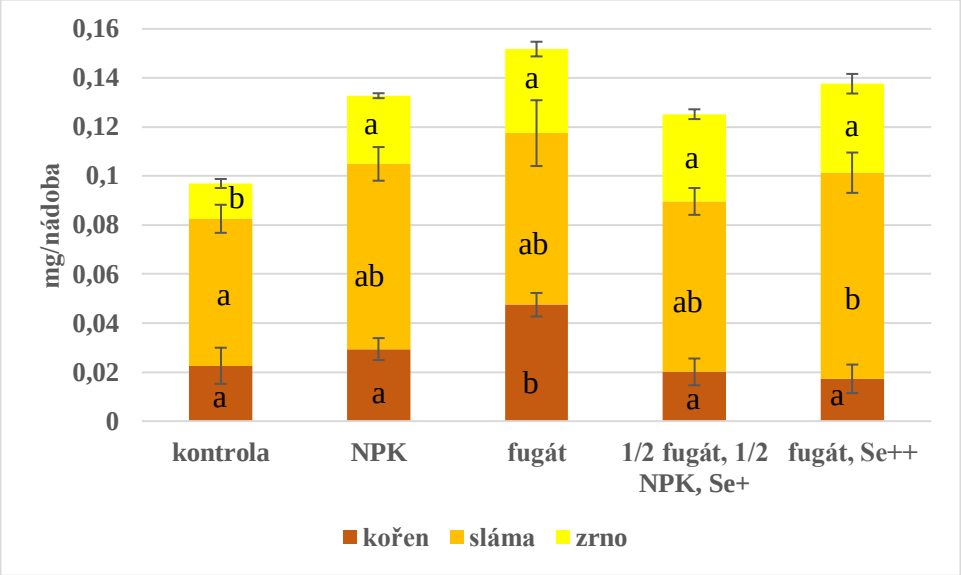
Graf č. 9 uvádí odběr bóru kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí. Odběr bóru kořeny byl v rozmezí 0,06 - 0,21 mg/nádoba. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u varianty 1 a nejnižší u varianty 2. U slámy byla zjištěna nejvyšší hodnota u varianty 5 a nejnižší u variant 2. Odběr bóru zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnoty <0,01 mg/nádoba. U kořenů nebyl v žádné variantě zjištěn statisticky prokazatelný rozdíl. U slámy byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantami 1, 3 a 5 od varianty 2.

Graf 9. Odběr bóru kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



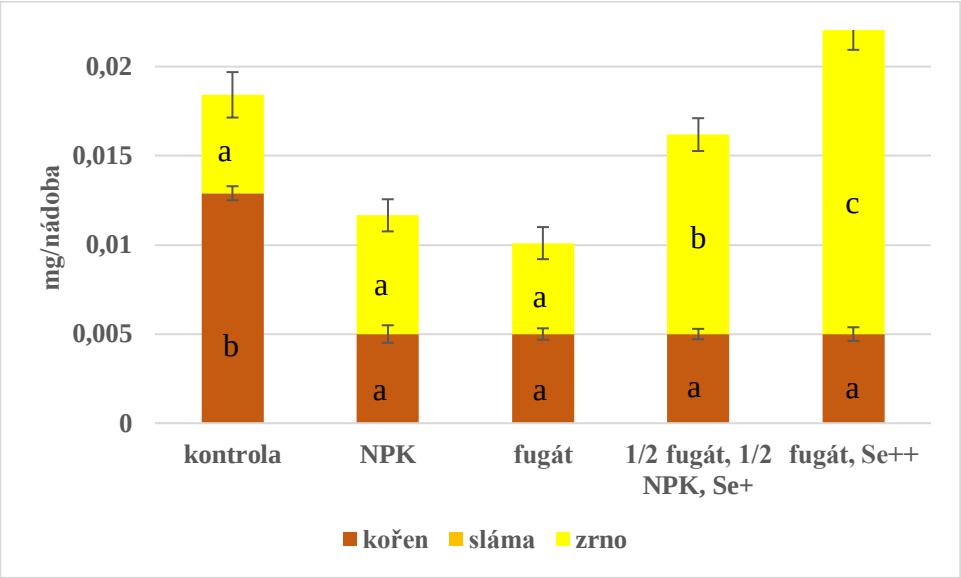
Graf č. 10 dokumentuje odběr molybdenu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr molybdenu kořeny byl u varianty 3 (0,04 mg/nádoba). Nejnižší hodnota byla zjištěna u varianty 5 (0,01 mg/nádoba). Odběr molybdenu slámou byl u všech variant přibližně stejný (0,05 – 0,08 mg/nádoba). Nejvyšší odběr zrnem byl variantou 5 (0,036 mg/nádoba), která měla relativně podobné hodnoty jako varianty 4 a 3. Nejnižší odběr byl u varianty 1 (0,014 mg/nádoba). U kořenů lze pozorovat statisticky významný rozdíl mezi variantami 1, 2, 3 a 5 a variantou 2. Odběry slámy se statisticky lišily mezi variantou 1 a variantou 5. Statisticky průkazně se lišily odběry zrna mezi variantou 1 a variantami 2, 3, 4 a 5.

Graf 10. Odběr molybdenu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



Graf č. 11 znázorňuje odběr molybdenu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí Nejvyšší odběr kořeny byl variantou 1 (0,01 mg/nádoba). U variant 2, 3, 4 a 5 byly zjištěné výsledky přibližně shodné 0,005 mg/nádoba. Odběr molybdenu slámou ve všech variantách byl pod hranicí hodnoty <0,005 mg/nádoba. Nejvyšší odběr zrnem byl zaznamenán u varianty 5 (0,017 mg/nádoba). Nejnižší hodnota byla zjištěna u varianty 3 (0,005 mg/nádoba). Varianta kontrolní u kořenů se statisticky lišila od variant 2, 3, 4 a 5. U zrna byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantami 1, 2 a 3 od variant 4 a 5. Varianta 4 se statisticky významně lišila od variant 1, 2, 3 a 5. Varianta 5 se statisticky výrazně lišila od variant 1, 2, 3 a 4.

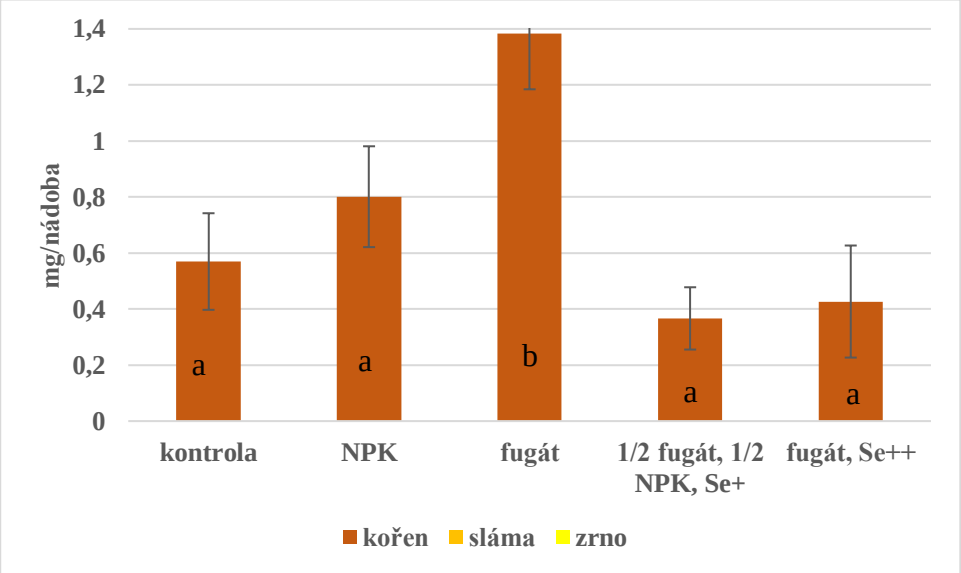
Graf 11. Odběr molybdenu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



5.6 Odběr rizikových prvků kořeny, slámou a zrnem pšenice jarní

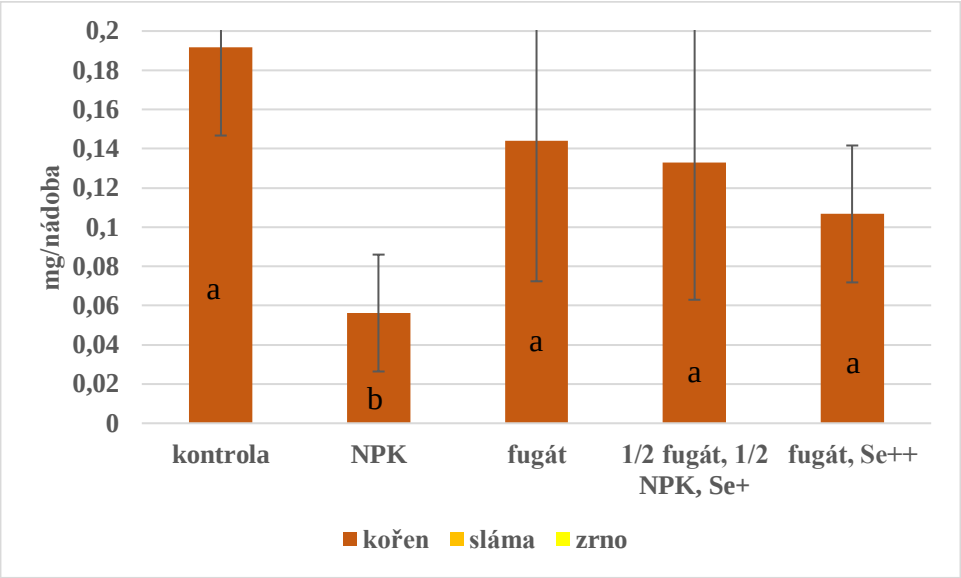
Graf č. 12 dokumentuje odběr arsenu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr arsenu kořeny (1,38 mg/nádoba), nejnižší hodnota arsenu (0,36 mg/nádoba). Odběr arsenu slámou a zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnot <0,03 mg/nádoba. U kořenů byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 3 (fugát) a ostatními variantami.

Graf 12. Odběr arsenu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



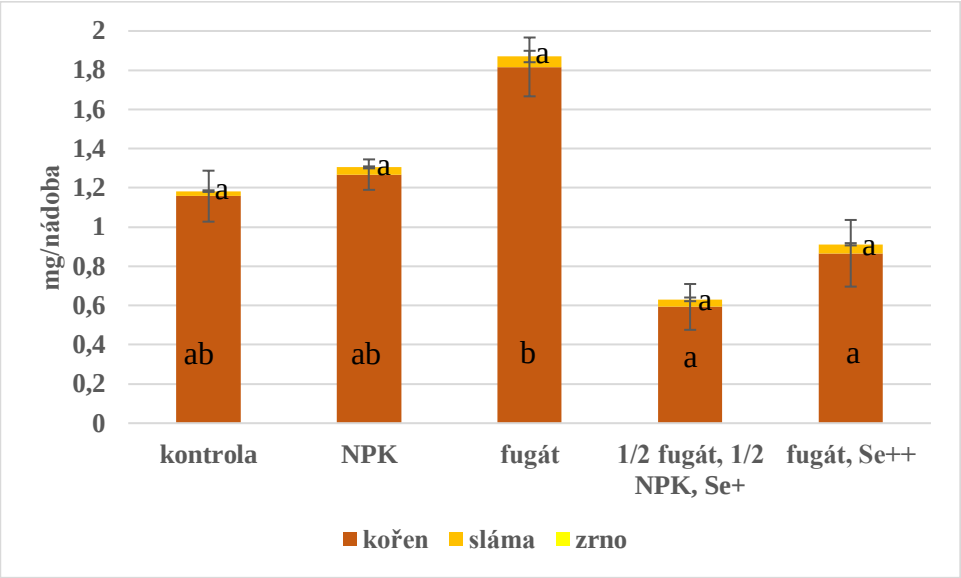
Graf č. 13 uvádí odběr arsenu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší odběr arsenu kořenem (0,19 mg/nádoba), nejnižší (0,05 mg/nádoba). Odběr arsenu slámou a zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnot <0,03 mg/nádoba. U kořenů byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 2 (minerální hnojivo NPK) a ostatními variantami.

Graf 13. Odběr arsenu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



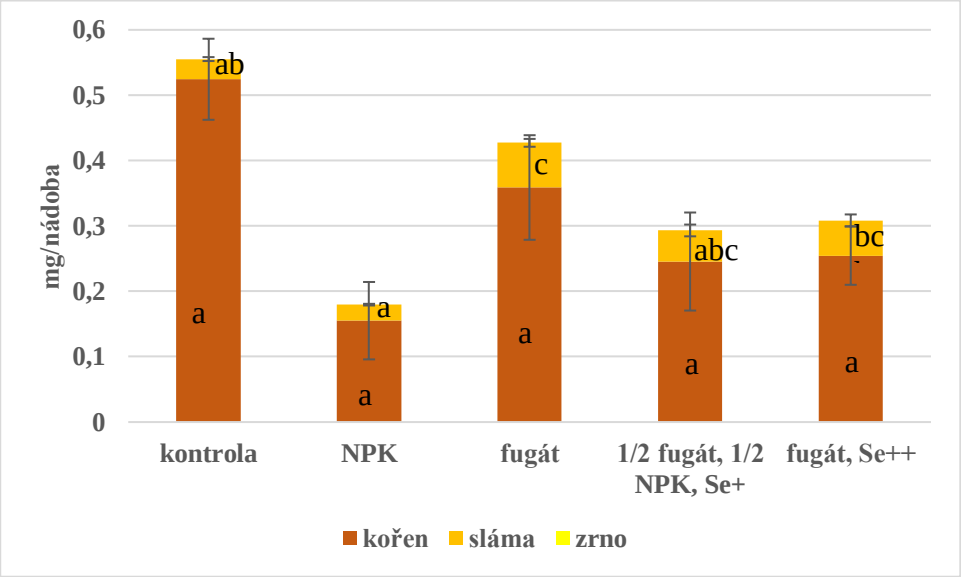
Graf č. 14 znázorňuje odběr chromu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr chromu kořenem (1,81 mg/nádoba), nejnižší hodnota chromu (0,59 mg/nádoba). Nejvyšší odběr chromu slámou byl zjištěn u varianty 3 (fugát), naopak nejnižší u varianty 1 (kontrola). Odběr chromu zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnoty <0,005 mg/nádoba. U kořenů byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 3, kde byl aplikován fugát, a variantou 4 (1/2 NPK, 1/2 fugát a selenan) a 5 (fugát a dvojnásobný selenan). Varianty 4 a 5 se významně lišily od varianty 3. U slámy nebyl v žádné variantě zjištěn statisticky významný rozdíl.

Graf 14. Odběr chromu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



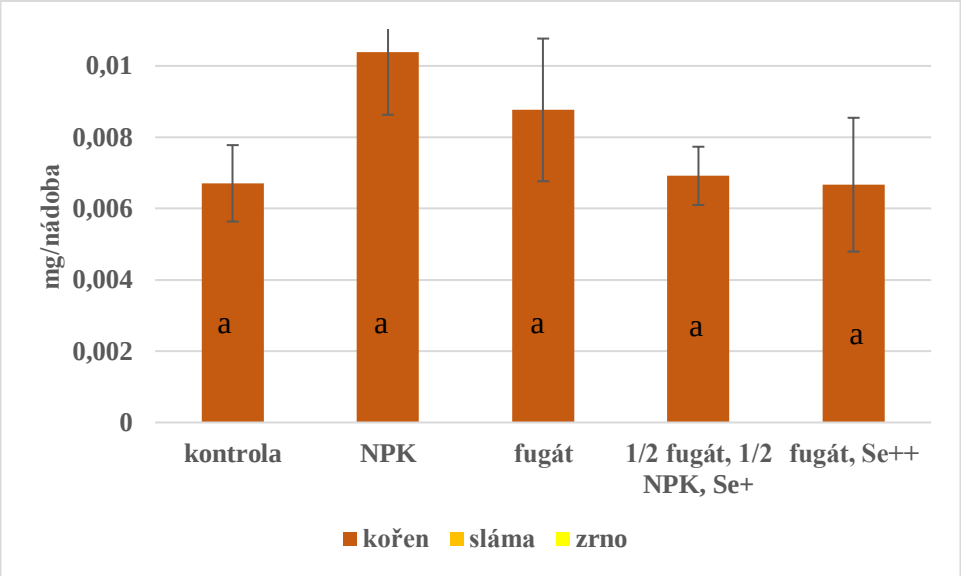
Graf č. 15 dokumentuje odběr chromu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší odběr kořenem chromu byl (0,52 mg/nádoba), naopak nejnižší hodnota chromu (0,15 mg/nádoba). Nejvyšší odběr u slámy byl zjištěn u varianty 3 (fugát) a nejnižší u varianty 2 (NPK). Odběr chromu zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnoty <0,005 mg/nádoba. U kořenů nebyl v žádné variantě zjištěn statisticky významný rozdíl. U odběrů slámy byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantou 2 (NPK) a variantami 3 (fugát) a 5 (fugát a dvojnásobná dávka selenanu). Dále se varianta 3 statisticky liší od variant 1 (kontrola) a 2. Také byl zjištěn významný rozdíl mezi variant 5 a variantou 2.

Graf 15. Odběr chromu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



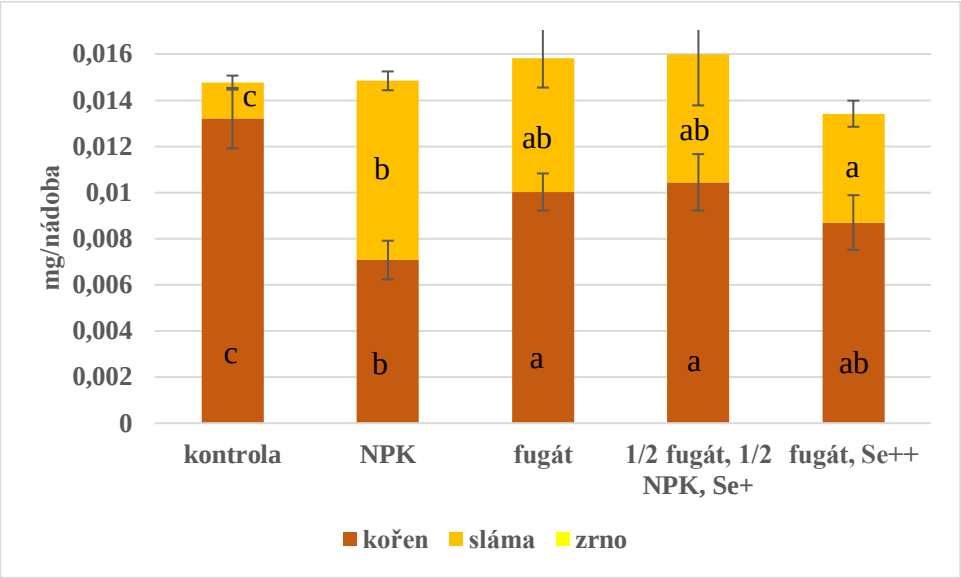
Graf č. 16 uvádí odběr kadmia kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Z grafu je patrné, že nejvyšší odběr kadmia v kořenech byl zjištěn u varianty 2 (0,01 mg/nádoba) a nejnižší u varianty 5 (0,006 mg/nádoba). U variant 1, 4 a 5 byly odběry realtivně podobné. Odběr kadmia slámou a zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnoty <0,001 mg/nádoba. U kořenů nebyl v žádné variantě zjištěn statisticky významný rozdíl.

Graf 16. Odběr kadmia kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



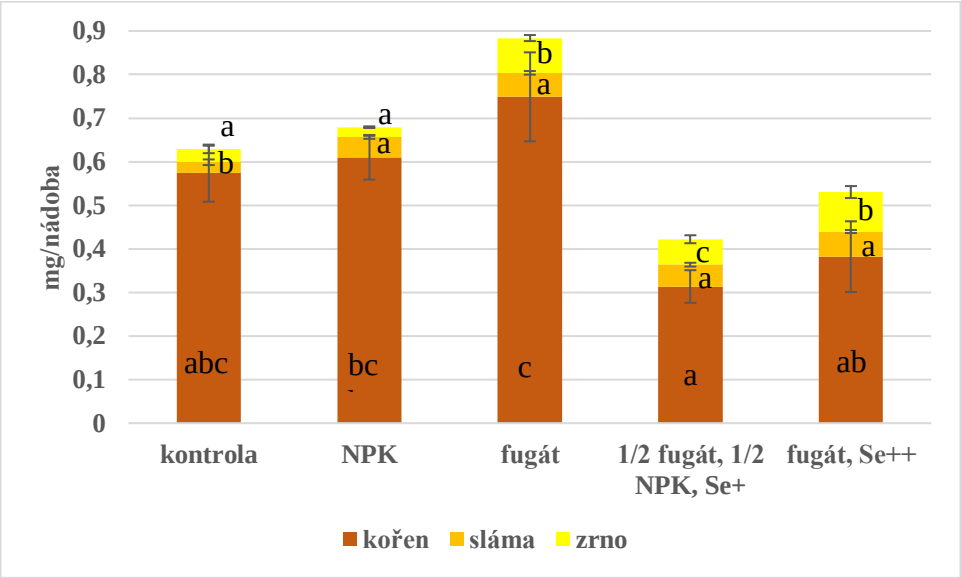
Graf č. 17 znázorňuje odběr kadmia kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí. U varianty 1 (0,013 mg/nádoba) byl zjištěn nejvyšší odběr kadmia kořeny, naopak nejnižší u varianty 2 (0,007 mg/nádoba). Nejvyšší hodnota kadmia u slámy byla zaznamenána u varianty 2 a nejnižší u varianty 1. Odběr kadmia zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnoty <0,001 mg/nádoba. Statisticky průkazný rozdíl byl zjištěn u kořenů mezi variantami 3 a 4 od variant 1 a 2. Dále je statisticky významný rozdíl mezi variantou 1 a variantami 2, 3, 4 a 5. Varianta 2 se statisticky liší od variant 1, 3 a 4. U slámy byl zaznamenán významný rozdíl mezi variantou 1 a variantami 2, 3, 4 a 5. Varianta 2 se statisticky liší s variantami 1 a 5. Dále je statistický rozdíl mezi variantami 3 a 4 od varianty 1.

Graf 17. Odběr kadmia kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



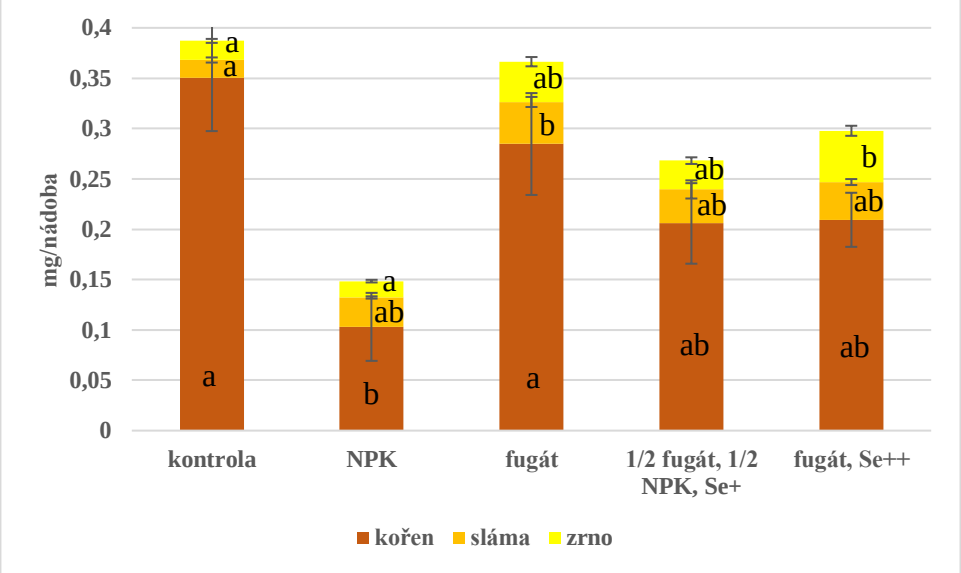
Graf č. 18 dokumentuje odběr mědi kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr mědi kořenem (0,74 mg/nádoba), naopak nejnižší hodnota mědi (0,31 mg/nádoba). Nejvyšší hodnota u slámy byla zjištěna u varianty 5 (fugát a dvojnásobná dávka selenanu) a nejnižší u varianty 1 (kontrola). Nejvyšší hodnota zrnem byla zjištěna u varianty 5 (0,09 mg/nádoba) a nejnižší u varianty hnojené NPK (0,02 mg/nádoba). U odběrů kořeny byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantou 4 (1/2 NPK, 1/2 fugát a selenan) a variantami 2 (NPK) a 3 (fugát). Dále se varianta 3 statisticky liší od variant 4 a 5. Také byl zjištěn významný rozdíl mezi variantou 2 a variantou 4. Varianta kontrolní u slámy se statisticky lišila od variant 2, 3, 4 a 5. U zrna byl prokázán statistický rozdíl mezi variantami 1 a 2 od variant 3, 4 a 5. Varianta 4 se statisticky významně lišila od variant 1, 2, 3 a 5. Varianty 3 a 5 se statisticky výrazně lišily od variant 1, 2 a 4.

Graf 18. Odběr mědi kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



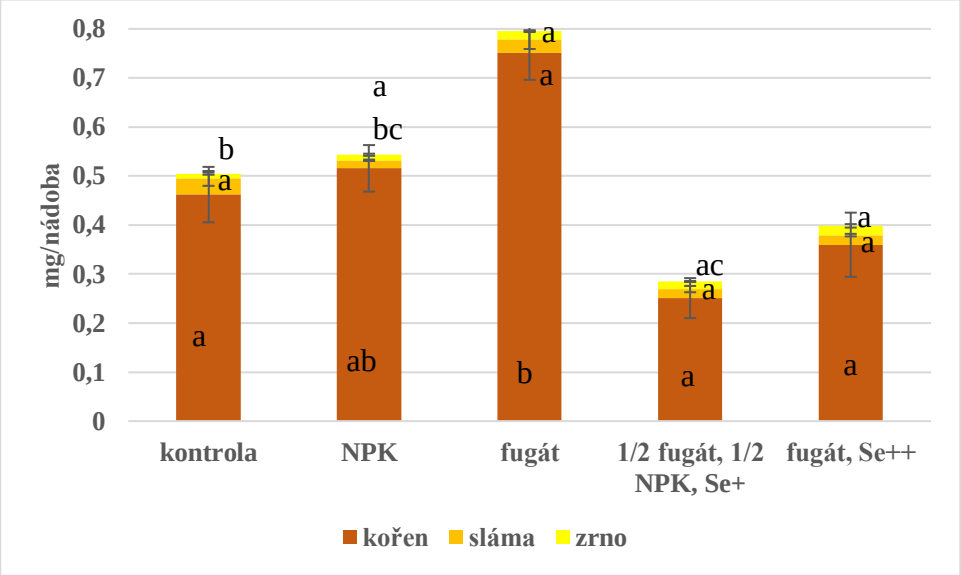
Graf č. 19 uvádí odběr mědi kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší odběr kořeny u mědi (0,35 mg/nádoba), naopak nejnižší hodnota mědi (0,10 mg/nádoba). Nejnižší zjištěný odběr mědi slámou byl u varianty 1, naopak nejvyšší u varianty 3. Nejvyšší odběr mědi zrnem byl zjištěn u varianty 5 (0,05 mg/nádoba), naopak nejnižší odběr mědi byl u varianty 2 (0,016 mg/nádoba). U kořenů byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 2 od variant 1 a 3. Varianty 1 a 3 se statisticky liší od varianty 2. U slámy byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantou 1 a 3 a naopak. U zrna byl zaznamenán statistický rozdíl mezi variantou 5 a variantami 1 a 2. Varianty 1 a 2 se významně lišily od varianty 5.

Graf 19. Odběr mědi kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



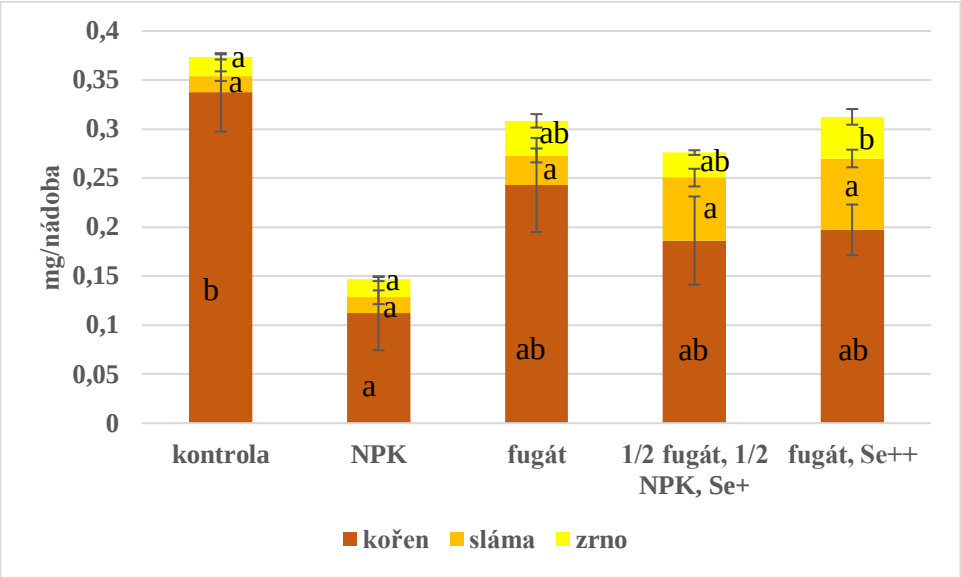
Graf č. 20 znázorňuje odběr niklu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr niklu kořeny byl (0,75 mg/nádoba), nejnižší hodnota niklu (0,25 mg/nádoba). Nejnižší zjištěný odběr slámou byl u varianty 2, naopak nejvyšší u varianty 1. U niklu byl zjištěn nejvyšší odběr zrnem u varianty 5 (0,018 mg/nádoba) a nejnižší u varianty 1 (0,009 mg/nádoba). U kořenů byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantami 1, 4 a 5 od varianty 3. U slámy nebyl v žádné variantě zjištěn statisticky významný rozdíl. Odběry zrna se statisticky lišily mezi variantou 1 a variantami 3, 4 a 5. Varianty 3 a 5 se statisticky významně lišily od variant 1 a 2.

Graf 20. Odběr niklu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



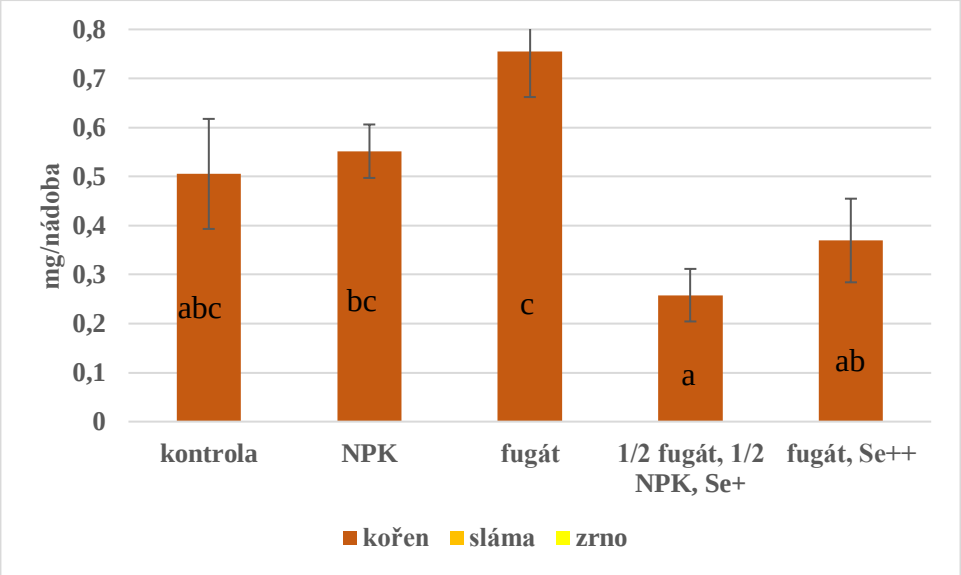
Graf č. 21 dokumentuje odběr niklu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší zaznamenaný odběr niklu kořeny (0,33 mg/nádoba), naopak nejnižší hodnota niklu (0,11 mg/nádoba). Nejvyšší odběr niklu slámou byl zjištěn u varianty 5, naopak nejnižší u varianty 2. Nejvyšší odběr niklu zrnem byl zjištěn u varianty 5 (0,04 mg/nádoba), která byla hnojená fugátem a dvojnásobnou dávku selenanu. Nejnižší hodnota niklu byla zjištěna u varianty 2 (0,019 mg/nádoba) hnojenou minerálním hnojivem NPK. U kořenů lze pozorovat statisticky významný rozdíl mezi variantou 1 a variantou 2. U slámy nebyl v žádné variantě zjištěn statisticky prokazatelný rozdíl. U zrna byl zaznamenán statistický rozdíl mezi variantou 5 a variantami 1 a 2. Varianty 1 a 2 se významně lišily od varianty 5.

Graf 21. Odběr niklu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



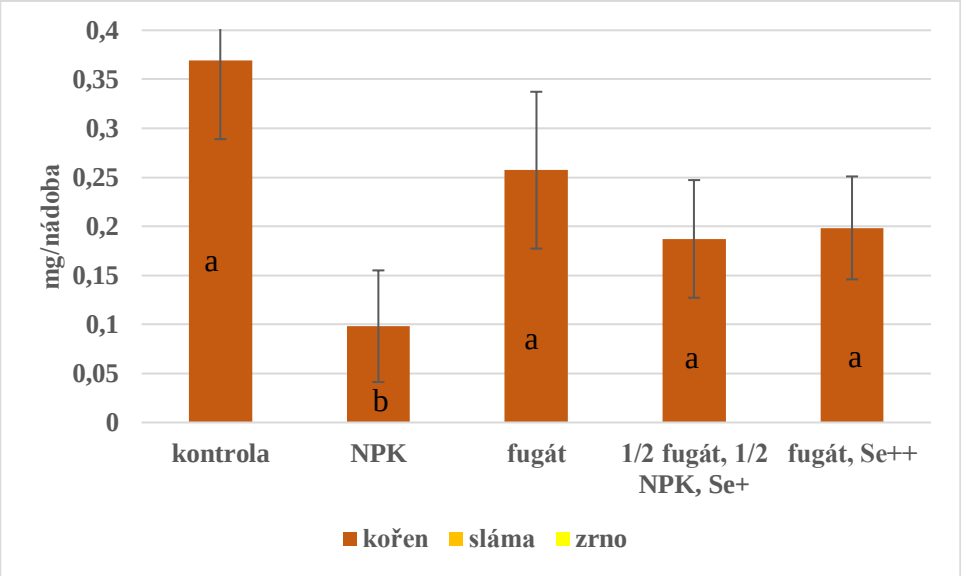
Graf č. 22 uvádí odběr olova kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr olova kořeny byl (0,75 mg/nádoba), nejnižší hodnota olova (0,25 mg/nádoba). Odběr olova slámou a zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnoty <0,02 mg/nádoba. U odběrů kořeny byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantou 4 (1/2 NPK, 1/2 fugát a selenan) a variantami 2 (NPK) a 3 (fugát). Dále se varianta 3 statisticky liší od variant 4 a 5. Také byl zjištěn významný rozdíl mezi variantou 2 a variantou 4.

Graf 22. Odběr olova kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



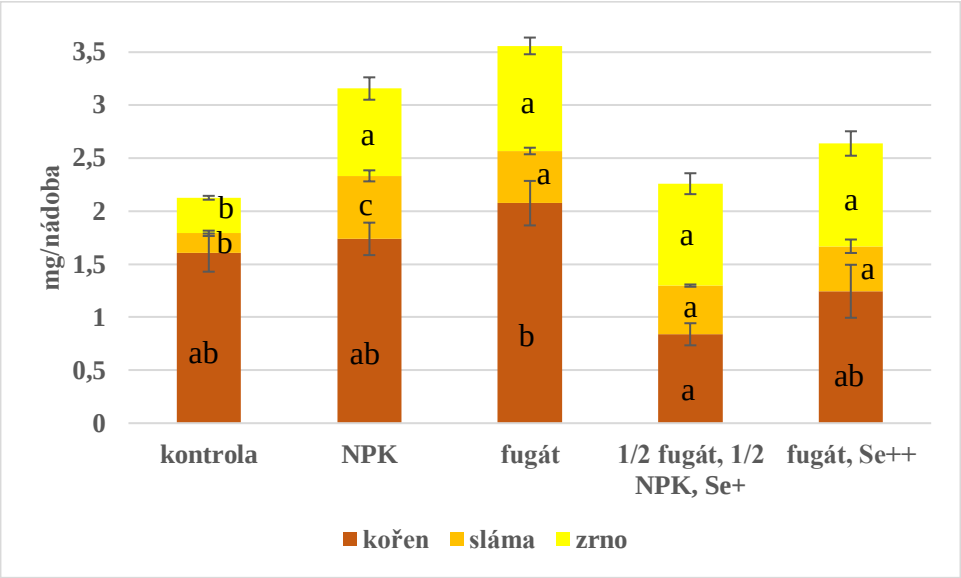
Graf č. 23 znázorňuje odběr olova kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší odběr olova kořeny byl (0,36 mg/nádoba), naopak nejnižší hodnota olova (0,09 mg/nádoba). Odběr olova slámou a zrnem byl u všech variant pod hranicí hodnoty <0,02 mg/nádoba. U kořenů byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 2 (minerání hnojivo NPK) a ostatními variantami.

Graf 23. Odběr olova kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



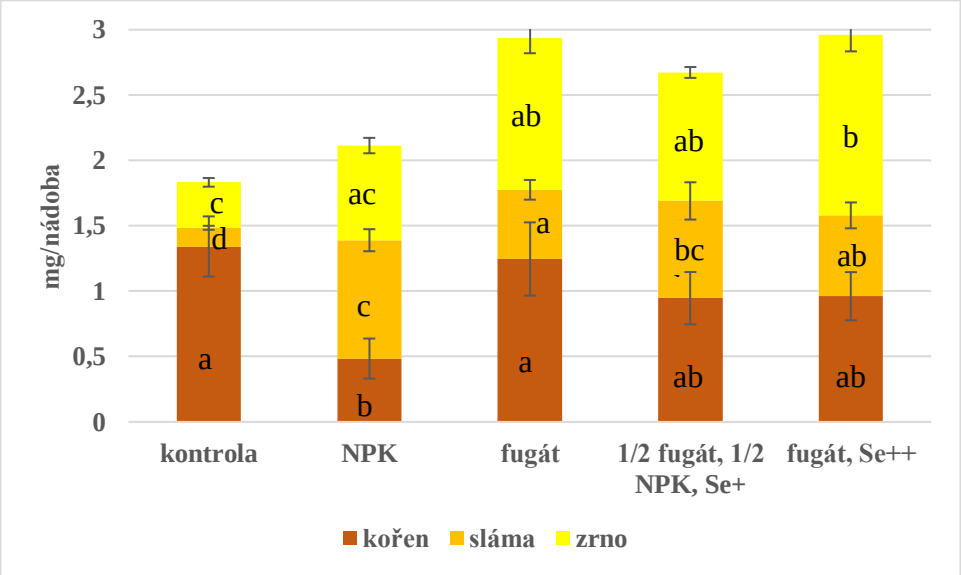
Graf č. 24 dokumentuje odběr zinku kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší odběr zinku kořeny byl (2,07 mg/nádoba), nejnižší hodnota zinku (0,83 mg/nádoba). Nejvyšší odběr zinku slámou byl zjištěn u varianty 2 (0,59 mg/nádoba) a nejnižší u varianty 1 (0,18 mg/nádoba). Odběr zrnem byl nejvyšší variantou 3 hnojenou fugátem (0,99 mg/nádoba). Nejnižší odběr byl u kontrolní varianty (0,33 mg/nádoba). Odběry kořenů se statisticky významně lišily mezi variantou 4, kde byla aplikována dělená dávka NPK, dělená dávka fugátu a selenan od varianty 3, kde se aplikoval pouze fugát. U slámy byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi variantami 3, 4 a 5 od variant 1 (kontrola) a 2 (NPK). Varianta 1 se statisticky významně lišila od variant 2, 3, 4 a 5. Varianta 2 se statisticky výrazně lišila od variant 1, 3, 4 a 5. Varianta kontrolní u zrna se statisticky lišila od variant 2, 3, 4 a 5.

Graf 24. Odběr zinku kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou



Graf č. 25 uvádí odběr zinku kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí. Nejvyšší odběr zinku kořeny byl (1,34 mg/nádoba), naopak nejnižší hodnota zinku (0,48 mg/nádoba). Byl zjištěn nejvyšší odběr slámou variantou 2 (0,90 mg/nádoba) a nejnižší variantou 1 (0,14 mg/kg). Nejnižší hodnota zinku u zrnu byla zjištěna u varianty 1 (0,34 mg/nádoba) a nejvyšší u varianty 5 (1,38 mg/nádoba), která byla hnojená fugátem a dvojnásobnou dávkou selenanu. U kořenů byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou 2 od variant 1 a 3. Varianty 1 a 3 se statisticky liší od varianty 2. U slámy byl zaznamenán statistický rozdíl mezi variantou 1 a variantami 2, 3, 4 a 5. Dále se varianta 2 statisticky liší od variant 1, 3 a 5. Také byl zjištěn významný rozdíl mezi variantou 3 od variant 1, 2 a 4. Odběry zrna se statisticky lišily mezi variantou 1 a variantami 3, 4 a 5. Varianta 5 se statisticky významně lišila od variant 1 a 2.

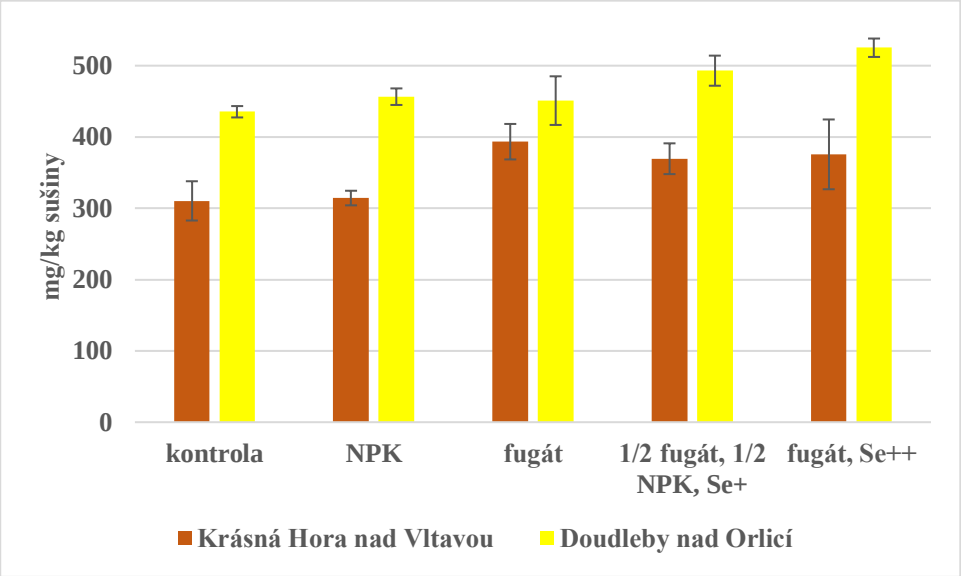
Graf 25. Odběr zinku kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí



5.7 Celkové obsahy mikroživin v zeminách

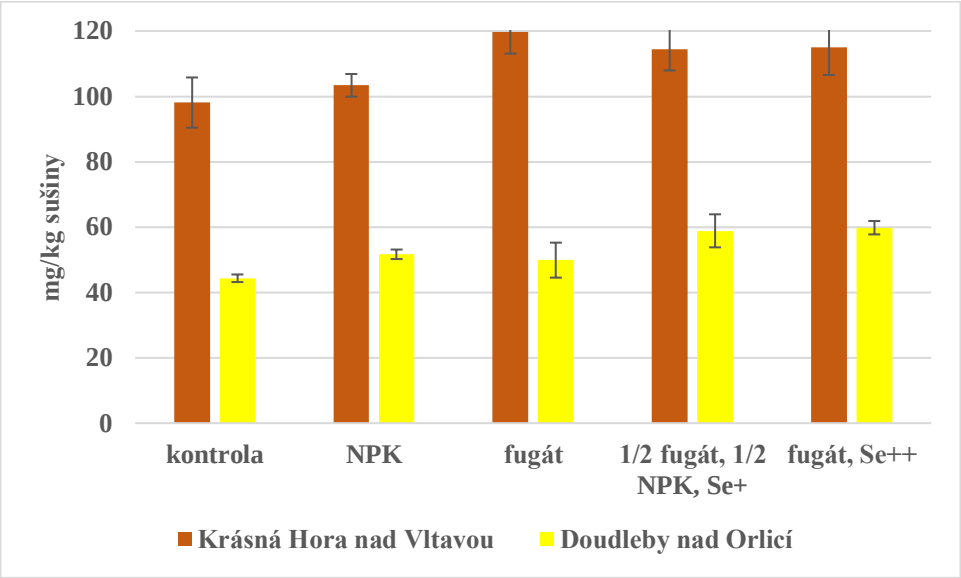
V grafu č. 26 byly porovnány obsahy železa v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Z grafu je patrné, že zjištěné hodnoty železa byly u všech variant vyšší ve vzorcích zemin Doudleby nad Orlicí. Ve variantách Doudleby nad Orlicí se obsah železa pohyboval v rozmezí 435 - 525 mg/kg v sušině. Nejnižší hodnota byla zjištěna u varianty 1 a nejvyšší u varianty 5. Naopak obsah železa v zeminách Krásná Hora nad Vltavou se pohyboval v rozmezí 310 - 393 mg/kg v sušině, nejvyšší hodnota byla zjištěna ve variantě 3 a nejnižší ve variantě 1.

Graf 26. Obsah železa v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



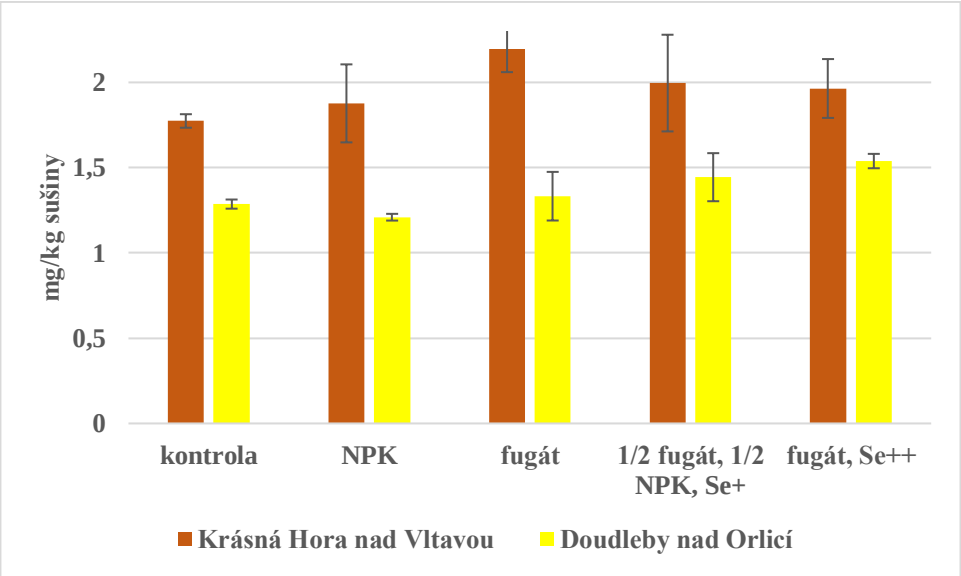
Graf č. 27 znázorňuje porovnání obsahů manganu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Z grafu je patrné, že nejvyšší obsah manganu ve vzorcích zemi Krásná Hora nad Vltavou byl zjištěn u varianty 3 s hodnotou 119 mg/kg a nejnižší obsah u varianty 1 (98 mg/kg). Naopak ve variantách Doudleby nad Orlicí byl nejvyšší obsah u varianty 5 s hodnotou 59,8 mg/kg, naopak nejnižší u varianty 1 (44,3 mg/kg). V porovnání obou zemin je patrné, že obsah manganu v zemině Krásná Hora nad Vltavou byl dvojnásobně vyšší u všech variant experimentu.

Graf 27. Obsah manganu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



Graf č. 28 dokumentuje porovnání obsahu bóru v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Z grafu je patrné, že nejvyšší obsah bóru ve vzorcích zemin Krásná Hora nad Vltavou byl zjištěn u varianty 3, která byla hnojena fugátem s hodnotou 2,19 mg/kg a nejnižší obsah byl zjištěn u kontrolní varianty 1 (1,77 mg/kg). Ve variantách Doudleby nad Orlicí byl zjištěn nejvyšší obsah u varianty 5, která byla hnojena fugátem a dvojnásobnou dávkou selenanu s hodnotou 1,53 mg/kg, naopak nejnižší u varianty 2 (1,20 mg/kg), která byla hnojena minerálním hnojivem NPK. V porovnání obou zemin ve všech variantách vyplynulo, že obsah bóru v zemině Krásná Hora nad Vltavou byl ve všech variantách vyšší.

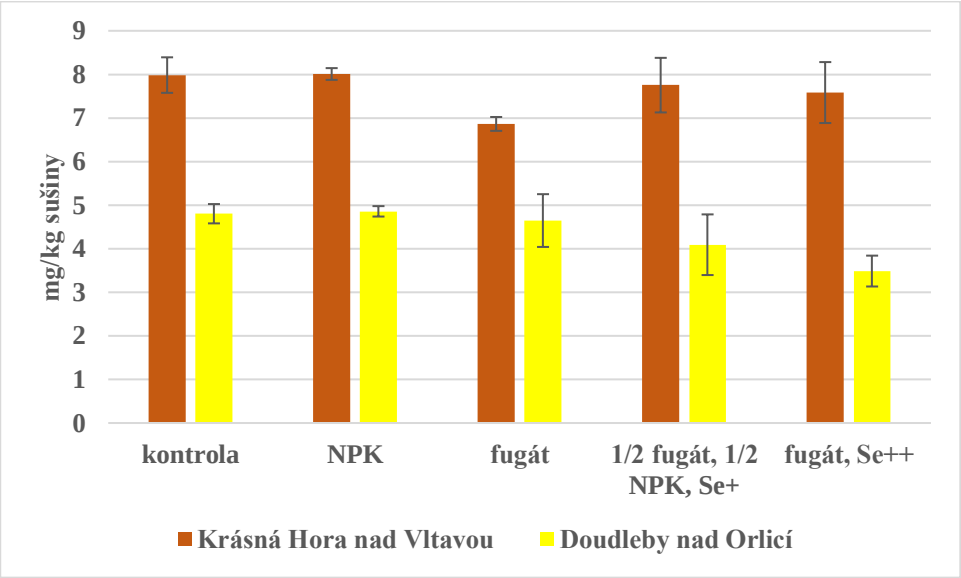
Graf 28. Obsah bóru v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



5.8 Obsahy rizikových prvků v zeminách

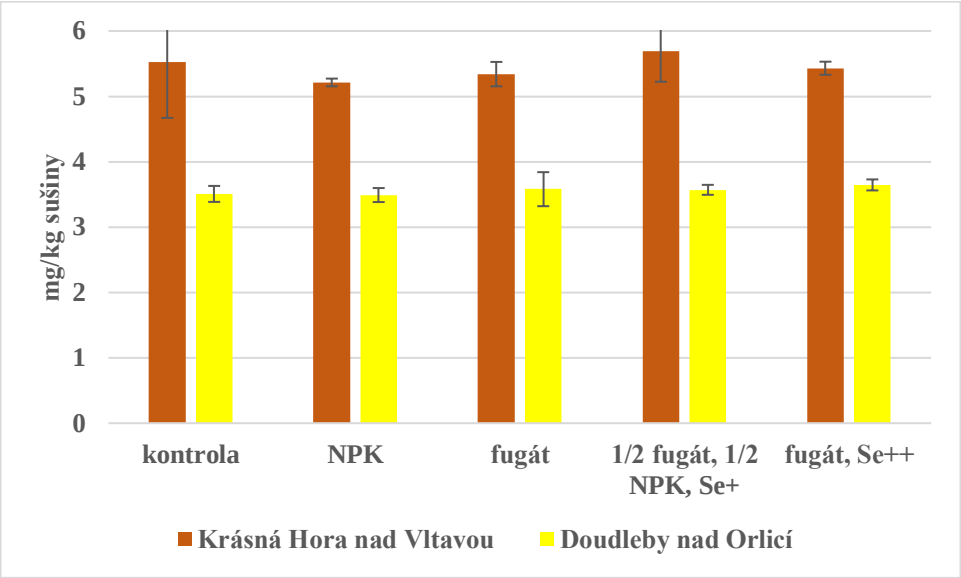
Graf č. 30 dokumentuje obsahy olova v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Z grafu je patrné, že zjištěné hodnoty olova byly u všech variant vyšší ve vzorcích zemin Krásná Hora nad Vltavou s obsahem pohybující se v rozmezí 6,86 - 8,01 mg/kg, nejvyšší hodnota byla zjištěna u varianty 2 a nejnižší u varianty 3. Ve variantách Doudleby nad Orlicí se obsah olova pohyboval v rozmezí 3,48 - 4,85 mg/kg. Nejnižší hodnota byla naměřena u varianty 5 a nejvyšší u varianty 2.

Graf 29. Obsah olova v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



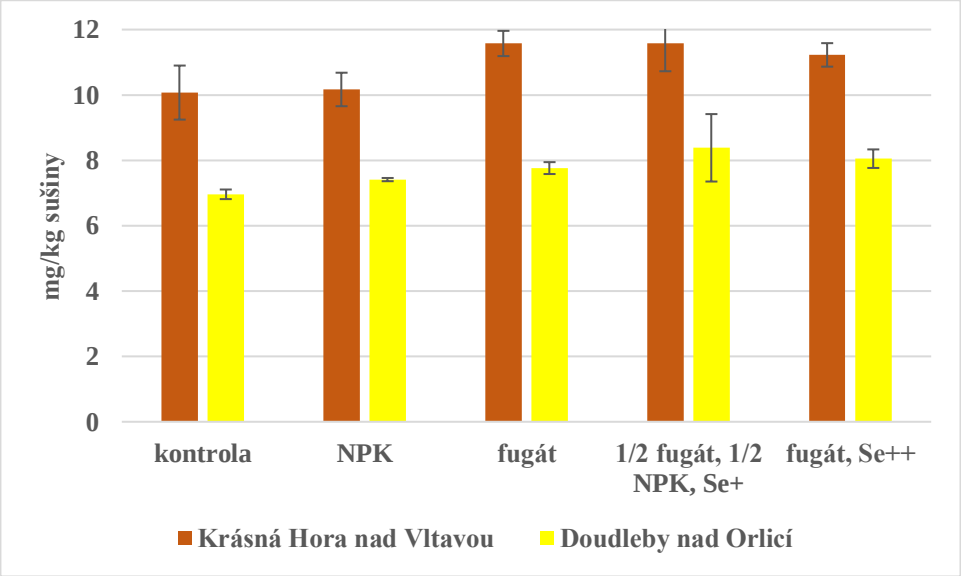
Graf č. 31 znázorňuje obsah mědi v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Zjištěné hodnoty byly v případě všech variant vyšší v zemině Krásná Hora nad Vltavou a pohybovaly v rozmezí 5,21 - 5,69 mg/kg. Nejnižší hodnota byla zjištěna u varianty 2, naopak nejvyšší byla u varianty 4. V zemině Doudleby nad Orlicí se obsah mědi pohyboval v rozmezí 3,49 - 3,64 mg/kg. Nejnižší hodnota byla zjištěna u varianty 2 a nejvyšší u varianty 5.

Graf 30. Obsah mědi v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



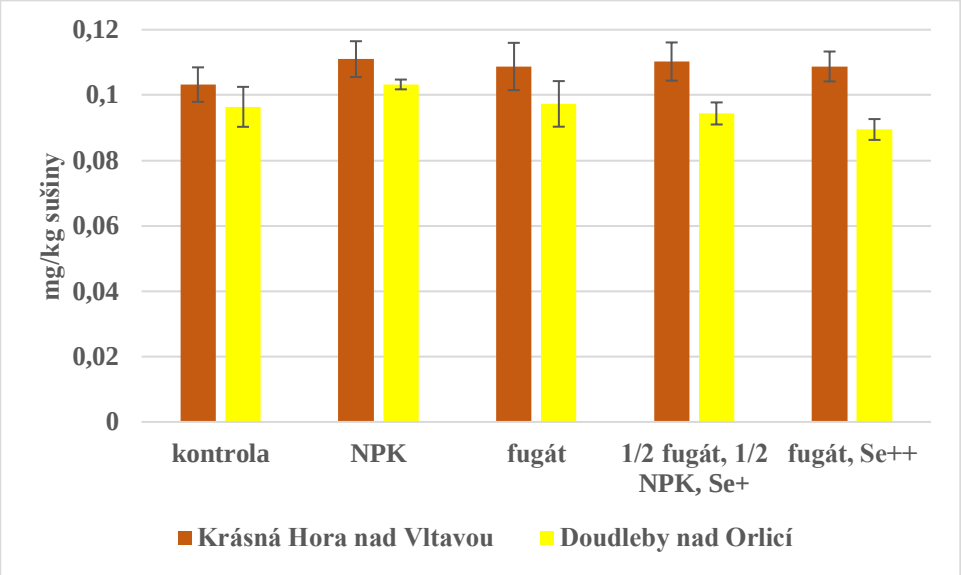
V grafu č. 32 byl porovnán obsah zinku v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Z grafu je patrné, že zjištěné hodnoty zinku byly ve všech variantách vyšší ve vzorcích zemin Krásná Hora nad Vltavou. Obsah zinku v zeminách Krásná Hora nad Vltavou se pohyboval v rozmezí 10,07 - 11,57 mg/kg, nejvyšší hodnoty byly zjištěny u variant 3 a 4. Nejnižší hodnota u varianty 1. Ve variantách Doudleby nad Orlicí se obsah zinku pohyboval v rozmezí 6,96 - 8,38 mg/kg. Nejnižší hodnota byla zjištěna u varianty 1 a nejvyšší u varianty 4.

Graf 31. Obsah zinku v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



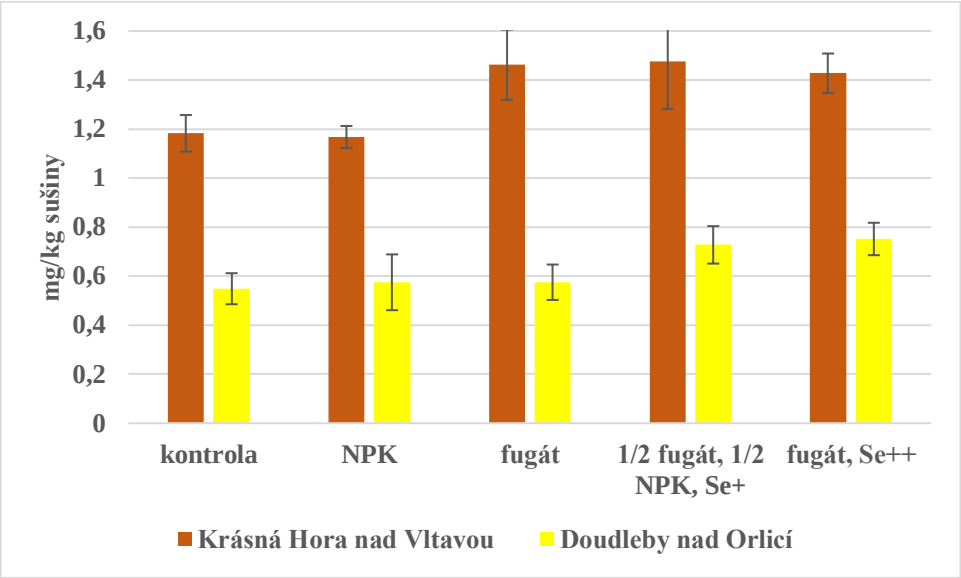
Graf č. 33 dokumentuje obsahy kadmia v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Z grafu je patrné, že zjištěné hodnoty byly ve všech variantách relativně podobné. Nejvyšší obsah kadmia v zemině Krásná Hora nad Vltavou byl zjištěn u varianty 2 s hodnotou 0,11 mg/kg a nejnižší obsah u varianty 1 (0,10 mg/kg). Ve variantách Doudleby nad Orlicí byl nejvyšší obsah zjištěn u varianty 2 s hodnotou 0,10 mg/kg, naopak nejnižší u varianty 5 (0,08 mg/kg). V porovnání obou zemin je patrné, že obsah kadmia ve vzorcích zemin Krásná Hora nad Vltavou byl vyšší ve všech variantách experimentu.

Graf 32. Obsah kadmia v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



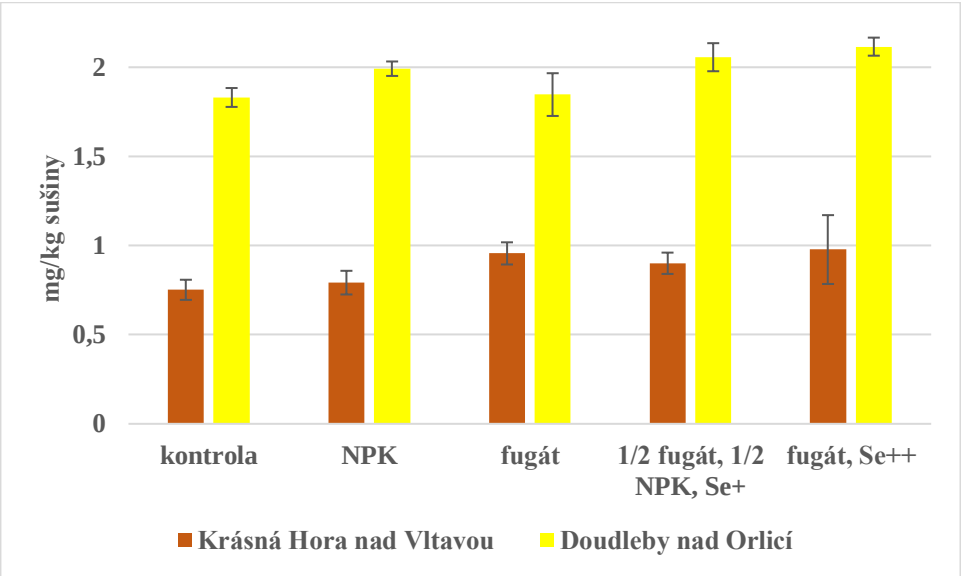
Graf č. 34 znázorňuje porovnání obsahu arsenu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Z grafu je patrné, že nejvyšší obsah arsenu v zemině Krásná Hora nad Vltavou byl zjištěn u varianty 4 s hodnotou 1,47 mg/kg a nejnižší u varianty 2 (1,16 mg/kg). Ve vzorcích variant Doudleby nad Orlicí byl nejvyšší obsah u varianty 5 s hodnotou 0,75 mg/kg, naopak nejnižší u varianty 1 (0,54 mg/kg). V porovnání obou zemin je patrné, že obsah arsenu v zemině Krásná Hora nad Vltavou byl dvojnásobně vyšší u všech variant experimentu.

Graf 33. Obsah arsenu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



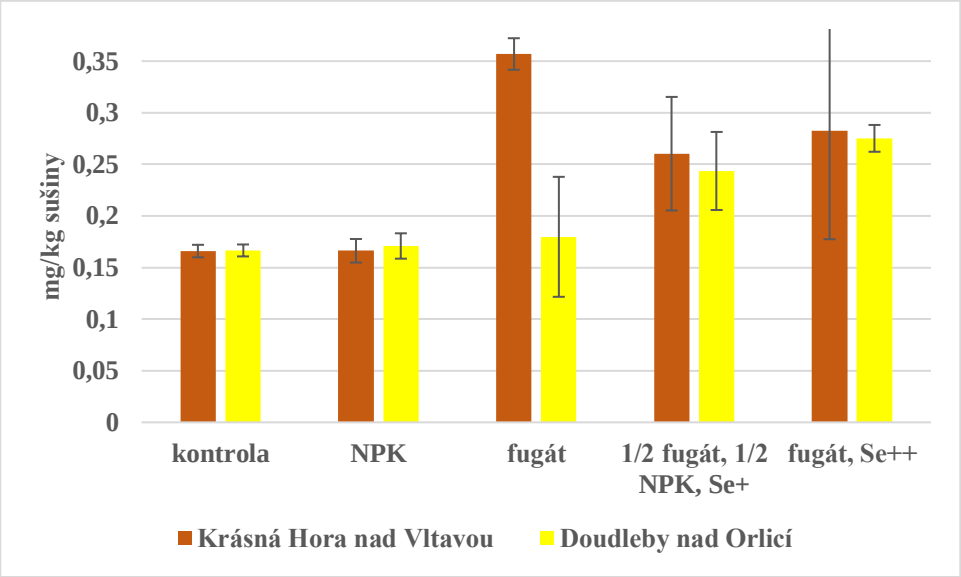
Graf č. 35 dokumentuje obsahy niklu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Z grafu je patrné, že zjištěné hodnoty obsahu niklu byly u všech variant dvojnásobně vyšší v zemině Doudleby nad Orlicí. Obsah niklu byl v rozmezí 1,83 - 2,11 mg/kg, nejvyšší hodnota byla zjištěna u varianty 5 a nejnižší u varianty 1. Naopak ve variantách Krásná Hora nad Vltavou byl zjištěn obsah niklu v rozmezí 0,75 - 0,97 mg/kg. Nejnižší hodnota byla zjištěna u varianty 1 a nejvyšší u varianty 5.

Graf 34. Obsah niklu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



V grafu č. 36 byl porovnáván obsah chromu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad orlicí. U kontrolní varianty 1 a varianty 2, která byla hnojena minerálním hnojivem NPK, byly v obou zeminách zjištěné hodnoty ±0,16 mg/kg. U varianty 3 hnojenou fugátem byla zjištěná hodnota v zemině Krásná Hora nad Vltavou dvojnásobně vyšší (0,35 mg) oproti zemině Doudleby nad Orlicí (0,17 mg). U varianty 4 hnojenou dělenou dávkou fugátu, dělenou dávkou hnojiva NPK a selenanu, byly hodnoty obsahu arsenu v rozmezí 0,24 - 0,26 mg/kg. Ve variantě 5, která byla hnojená fugátem a dvojnásobnou dávkou selenanu, byl obsah arsenu v obou zeminách srovnatelný. V zemině Doudleby nad orlicí (0,27 mg/kg) a v zemině Krásná Hora nad Vltavou (0,28 mg/kg).

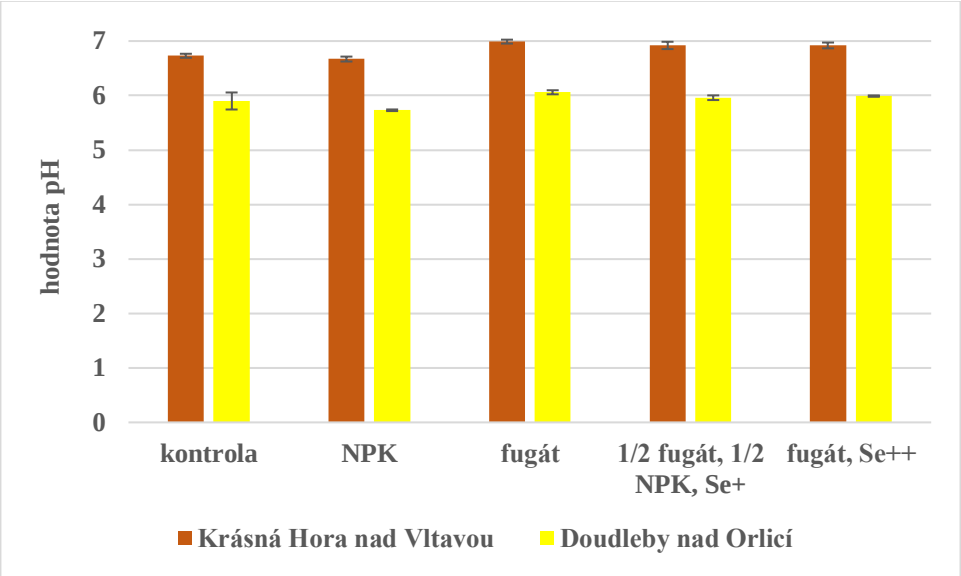
Graf 35. Obsah chromu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



5.9 Hodnota pH zemin

Graf č. 37 znázorňuje zjištěné hodnoty pH ve vzorcích zemin Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Ve všech variantách byly hodnoty pH vyšší ve vzorcích zemin Krásná Hora nad Vltavou. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u varianty 3 (pH 6,9). Relativně podobné hodnoty byly dosaženy u variant 4 a 5. Naopak nejnižší hodnota byla u varianty 2. Ve vzorcích zemin Doudleby nad Orlicí se hodnota pH pohybovala v rozmezí 5,7 až 6,1.

Graf 36. Hodnoty pH zemin Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí



6 Diskuze

Nádobový experiment byl realizován v roce 2019. Byly hodnoceny výsledky výnosu kořenů, slámy a zrna pšenice jarní pěstované na půdách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Výsledky byly ovlivněny aplikací přesně stanovených dávek hnojiv (minerálním hnojivem NPK, fugátu a selenanu). To potvrzují i Garg et al. (2005), kteří se zabývali porovnáním účinku hnojiv při pěstování pšenice a potvrzoval jejich účinek při výnosech. Tatáž studie potvrzuje i naše zjištění, že aplikace hnojiv neohrožuje riziko pěstování a výnos pšenice.

Na základě experimentu bylo zjištěno, že nejvyšší výnos kořene, slámy a zrna z oblasti Krásná Hora nad Vltavou byl u varianty hnojené fugátem. Výnos zrna u varianty, kde byl aplikován fugát činil 29,70 g a u minerálního hnojiva NPK byl výnos 11,98 g. Garg et al. (2005) též potvrzuje pozitivní vliv při aplikaci těchto hnojiv, kde vyzkoumal vyšší výnos zrna u varianty hnojené fugátem oproti minerálnímu hnojivu NPK. U kořene, kde byl aplikován fugát, byl výnos nejvyšší (45,38 g). Zjištěné hodnoty lze porovnat se studií Xin et al. (2016). Můžeme tedy říct, že fugát, který má vysoký podíl přístupných živin má pozitivní vliv na růst kořenů. Na zemině Doudleby nad Orlicí byl nejvyšší výnos kořene zjištěn u varianty kontrolní, dále byl nejvyšší výnos zrna u varianty hnojené fugátem, což ve svých studiích potvzují Shi et al. (2018), Ledda et al. (2013) a Oh et al. (2014). Shodně uvádějí, že dodáním fugátu pravděpodobně dochází ke zvyšování výnosu u zemědělských plodin. Kapuinen & Regina (2010) zjistili, že může docházet ke zvýšení výnosů rostlin v rozmezí 2,5 – 17 %. Dále Haraldsen et al. (2017) potvrzuje, že aplikací fugátu a minerálního hnojiva NPK lze docílit obdobného či stejného výnosu zrna.

Praus et al. (2018) uvádějí, že významným stopovým prvkem u rostlin je selen. Z výsledků našeho experimentu lze potvrdit, že ve všech vzorcích Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí, byly vyšší obsahy selenu potvrzeny u varianty hnojené fugátem s dvojnásobnou dávkou selenanu. Naše výsledky se velmi přibližují k výzkumu Dumont et al. (2006) a Sanghun et al (2011), kteří uvádí vyšší obsah selenu v obilninách 0,01 – 0,55 mg/kg. Dále Gupta & Gupta (2017), však upozorňuje na fakt, že při nízkých dávkách selenu dochází k ochranně rostlin v nepříznivých podmínkách, jako je sucho. Studie Lyons et al. (2005) prokázala, že hnojení obilí hnojivy s obsahem selenu je efektivní metodou pro zvýšení koncentrace selenu u obilí, kdy selen byl přídán ve formě selenanu, což se shoduje s naším realitovaným pokusem. Dle Winkel et al. (2015) je účinnějším obohacením o selenan foliární aplikace oproti aplikaci hnojiv s obsahem selenu do půdy, a to z důvodu vyhnutí se translokace

selenu kořenem. V případě aplikace hnojiv s obsahem selenu na půdu dochází ke zvýšení obohacení konzumních částí rostlin, což se dokázalo potvrdit i v námi prováděném pokusu.

Ze získaných výsledků nádobového experimentu byl zjištěn nejvyšší výnos železa v kořenech v zemině Krásná Hora nad Vltavou oproti zemině Doudleby nad Orlicí. Dále byl zjištěn nejvyšší obsah manganu, který byl taktéž zjištěn u kořenů. Dále Andruschkewitsch et al. (2013) uvádí obsah železa (2311 – 2924 mg/kg) a manganu ve fugátu (192 – 283 mg/kg). V průběhu experimentu byly zjištěny obsahy bóru a molybdenu v jednotlivých částech pšenice jarní. Dle Tlustoš et al. (2014) lze potvrdit přítomnost těchto prvků ve fugátu, které mohou být přijaty rostlinou.

Optimálně hnojené zemědělské plodiny fugátem, mohou přijímat též i rizikové prvky, které mohou představovat riziko kumulace jejich prvků do jednotlivých rostlinných tkání. Nebezpečnou hrozbou pro narušení metabolických aktiv rostlin je přítomnost těžkých kovů. Mezi rizikové prvky, které jsou přítomny ve fugátu řadíme zinek, olovo, chrom a další. Alburquerque et al. (2012) přítomnost těchto prvků potvrdil a my je následně nalezly i v našem nádobovém experimentu. Námi zjištěné rizikové prvky byly v limitních hodnotách. V našem experimentu byl zjištěn celkový obsah olova, niklu a arsenu. Tyto prvky byly nejspíše dodány aplikovaným fugátem. Bonetta et al. (2011) a Tlustoš et al. (2014) uvádí množství těchto prvků ve fugátu, které mohou růst rostlin ovlivnit.

V nádobovém experimentu byl zaznamenán nejvyšší obsah zinku v zrně u varianty hnojené minerálním hnojivem NPK (58 mg/kg), naopak nejnižší u kontrolní varianty (9,42 mg/kg). Zatímco Dragicevic et al. (2018) uvádí, že v jeho experimentu byla koncentrace zinku a mědi v zrně 0,2 mg/kg v sušině. V případě obsahu mědi byla zjištěna nejvyšší hodnota u varianty, kde byl aplikován fugát a dvojnásobná dávka selenanu (1,13 mg/kg) a nejnižší u varianty hnojené minerálním hnojivem NPK (0,42 mg/kg). U kadmia Dragicevic et al. (2018) uvádí, koncentraci v zrně pod hladinou 0,1 mg/kg v sušině, což se shoduje i s výsledky našeho experimentu (<0,001 mg/kg v sušině). Dále ve své studii uvádí, že aplikací fugátu nebylo ohroženo riziko pěstování rostlin v rámci rizika kontaminace těžkými kovy, a to bylo potvrzeno i naším nádobovým pokusem.

V rámci hodnocení byly zjištěny také odběry mikroživin a rizikových prvků. Odběr železa kořenem, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou (viz. graf č. 4) byl nejvyšší u varianty hnojené fugátem, jelikož fugát obsahuje vysoké množství přijatelného dusíku zajišťujícího optimální výživu rostlin, jak uvádí (Galvez et al. 2010). Garg et al. (2005) dále uvádí, že fugát je charakteristický vyšším množstvím mikroživin, a to především železa. V případě odběrů železa kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí (viz. graf č. 5) byl

nejvyšší odběr slámou variantou hnojenou fugátem. V tomto případě byl potvrzen pozitivní efekt fugátu, který by mohl nahradit hnojení minerálními hnojivy, jak uvádí (Sigurnjak et al. 2017). Pšenice jarní nejspíše jednotlivými částmy rostlin přijala mikroživiny, které byly dodány námi aplikovaným fugátem, kdy Tlustoš et al. (2016) uvádí možné obsahy mikroživin obsažených ve fugátu z bioplynové stanice. U odběru bóru rostlinami pšenice jarní byl u variant Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí nejvyšší odběr u slámy varianty hnojené fugátem s dvojnásobnou dávkou selenanu, což je možné vysvětlit tím, že fugát je bohatým zdrojem přístupných živin pro rostliny, a to zejména dusíku, fosforu a draslíku, jak uvádí Kolář et al. (2010). Tento výzkum také zjistil, že dusík obsažený ve fugátu je ve formě minerální, kdy se obsah dusíku pohybuje v rozmezí 0,15 – 0,30 % v čerstvé hmotě, ale podle Xia & Murphy (2016) fugát získaný mechanickou separací obsahuje i vysoký podíl amonné formy dusíku. Obsahu dusíku se v amonné formě pohybuje v rozmezí hodnot 1185 – 1379 mg/l, jak uvádí Möller & Müller (2012).

Poté byly vyhodnoceny odběry některých rizikových prvků. U arsenu ve vzorcích Doudleby nad Orlicí a Krásná Hora nad Vltavou byly hodnoceny odběry kořenů (viz. graf č. 12 a 13). Ve variantě Krásná Hora nad Vltavou byl nejvyšší odběr variantou, kde byl aplikován fugát (1,4 mg/kg), který se podle Lošák (2014) řadí mezi organické hnojivo blížící se spíše účinkům minerálních hnojiv kombinovaných s nejvyšším zastoupením dusíku. U mědi a zinku byly zjištěny nejvyšší odběry kořeny, slámou a zrnem ve variantách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí především u variant, které byly hnojeny fugátem nebo fugátem s dvojnásobnou dávkou selenanu. Rizikové prvky byly rostlině dodány aplikací fugátu, který tyto prvky obsahuje, jak uvádí Tlustoš et al. (2014).

V tomto experimentálním pokusu byl zjištěn také obsah mikroživin v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí. Obsah železa v zeminách (viz. graf č.7) byl nejvyšší u varianty 3 (fugát) a 5 (fugát a dvojnásobná dávka selenanu), což by se mohlo pravděpodobně shodovat s tvrzením Christensen et al. (2009), který uvádí, že při procesu anaerobní digesce se z těžko rozpustných forem železa přeměňují na snadno přijatelné formy rostlinám. Obsah manganu (viz. graf. č 8) v zeminách byl nejvyšší u stejných variant, jako obsah železa. Ve variantě 3 (119 mg/kg) a u varianty 5 (59,8 mg/kg). Vysoký obsah manganu ve vzorcích zemin byl pravděpodobně zapříčiněn vysokým obsahem ve fugátu, což uvádí studie (Bischofsberger et al. 2005). Dle Marada et al. (2008) se fugát vyznačuje obsahem sušiny vyšší než 2 % a je charakterizován jako velmi kvalitní hnojivo pro udržení půdní úrodnosti.

Byly zjištěny také rizikové prvky v zeminách obou zemin. U olova (viz. graf č. 11) byla nejvyšší hodnota zaznamenána u varianty hnojené minerálním hnojivem NPK. Vyšší hodnoty

byly ale také u variant, kde byl aplikován fugát, což mohlo být pravděpodobně zapříčiněno vyšším obsahem olova ve fugátu, jak uvádí (Bonetta et al. 2011). Obsah zinku v zemině Krásná Hora nad Vltavou byl nejvyšší ve variantě hnojené fugátem a 1/2 dávka NPK, 1/2 dávka fugátu a selenan. Obsah v těchto vzorcích byl shodný (11,575 mg/kg). V zemině Doudleby nad Orlicí byl nejvyšší obsah u varianty hnojené 1/2 dávka NPK, 1/2 dávka fugátu a selenan (8,38 mg/kg). Z výzkumu Makádi et al. (2012) vychází, že aplikací fugátu docházelo k významnému snížení hladiny obsahu zinku, který byl translokován obsahem rozpustného fosforu v půdě. V rámci našeho experimentu nejde tento výrok potvrdit ani vyvrátit. Obsah niklu se v zemině Krásná Hora nad Vltavou v rozmezí hodnot 0,75 – 0,97 mg/kg. Nejnižší hodnota byla zjištěna u varianty kontrolní (0,75 mg/kg), což se přibližně shoduje se studii Makádi et al. (2012), která uvádí v kontrolní variantě obsah niklu (0,50 mg/kg).

Ve variantách Krásná Hora nad Vltavou byla zjištěna hodnota pH nejvyšší u varianty hnojené fugátem (6,9), kdy fugát má vyšší hodnotu pH pohybující se v rozmezí 7 - 8 oproti statkovým hnojivům, jak uvádí (Dostál et al. 2014 a Pančíková 2016). Ve vzorcích Doudleby nad Orlicí se hodnota pH pohybovala v rozmezí 5,7 – 6,1. Wentzel et al. (2015) ve studii uvádí, že aplikací fugátu do půdy během vegetace může docházet ke zvýšení hodnoty pH, struktury půdy a ke zvýšení retenční schopnosti, což v našem nádobovém experimentu nelze potvrdit. Dále Holm-Nielsen et al. 2009 představuje, že jedním z rizik při aplikaci fugátu na ornou půdu může být těkání čpavku, které může ovlivnit hodnotu pH.

Pro další výzkum tohoto experimentu lze doporučit provedení v polním pokusu na parcelách a provedení chemických rozborů u většího počtů rostlin – na výnos biomasy, odběr a obsah prvků.

7 Závěr

V České republice zemědělské bioplynové stanice produkují značné množství digestátu a jeho separovaných složek. Fugát je podle tuzemských i zahraničních autorů bohatým zdrojem přístupných živin rostlinám. Řada zahraničních autorů uvádí možnosti jeho prespektivního využití nejen v zemědělství – kompostování, biologická úprava pro jeho následné využití jako kapalné hnojivo. Vzhledem ke globální potravinové poptávce obilovin vzrůstá význam selenu v potravinovém řetězci. Selen jako stopový prvek hraje významnou roli pro lidský organismus, ale i zvířata. Jedním z možných akumulátorů selenu je pšenice a její schopnost kumulovat tento prvek v zrnu.

Námi stanovené vědecké hypotézy potvrdily, že aplikací fugátu obohaceného selenem lze zajistit obdobný výnos biomasy pšenice v porovnání s minerálním hnojivem NPK. Při pěstování pšenice jarní v nádobovém experimentu byl zjištěn nejvyšší výnos ve variantě hnojené fugátem, který byl zhruba o 35 % vyšší oproti variantě hnojené minerálním hnojivem NPK. V rámci experimentu bylo jednoznačně prokázáno, že aplikovaný fugát nezvýšil riziko kumulace rizikových látek v jednotlivých částech rostlin pšenice, zejména v zrnu.

Nejvyšší obsah selenu byl zjištěn ve variantě hnojené fugátem s dvojnásobnou dávkou selenanu v zrnu. Obsah selenu v zrnu byl relativně totožný ve variantách, kde byla v experimentu použita zemina Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí.

Z výsledků celkových odběrů mikroživin rostlinami pšenice jarní byl zjištěn u železa ve variantě hnojené fugátem o 35 % vyšší odběr v kořenech ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou oproti vzorkům Doudleby nad Orlicí. Z celkových odběru manganu, v porovnání obou zemin, byl zjištěn nejvyšší odběr slámou variantou hnojenou minerálním hnojivem NPK v zemině Doudleby nad Orlicí, a to o 9,7 %. Z celkových odběrů molybdenu, v porovnání obou zemin, byl zjištěn nejvyšší odběr zrnem variantou hnojenou poloviční dávkou NPK, poloviční dávkou fugátu a základní dávkou selenanu v zemině Doudleby nad Orlicí, a to o 14,9 % vyšší.

Z celkových odběrů rizikových prvků rostlinami pšenice jarní byl zjištěn u zinku ve variantě hnojené minerálním hnojivem NPK o 27,7 % vyšší odběr v kořenech ve vzorcích Krásná Hora nad Vltavou oproti vzorkům Doudleby nad Orlicí. Z celkových odběru mědi, v porovnání obou zemin, byl zjištěn nejvyšší odběr slámou variantou hnojenou fugátem a dvojnásobnou dávkou selenanu v zemině Krásná Hora nad Vltavou, a to o 65 %. Z celkových odběrů niklu, v porovnání obou zemin, byl zjištěn nejvyšší odběr zrnem variantou hnojenou fugátem a dvojnásobnou dávkou selenanu u pšenice pěstované na zemině Doudleby nad Orlicí, a to o 44,5 % vyšší.

8 Seznam literatury

1. Alburquerque JA, de la Fuente C, Ferre-Costa A, Carrasco L, Cegarra J, Abad M, Bernal MP. 2012. Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agro-industrial residues. Biomass Bioenergy **40**:181-189.

2. Al Seadi T, Lukehurst C. 2012. Quality management of digestate from biogas plants used as fertiliser. IEA Bioenergy, United Kingdom.

3. Andruschkewitsch M, Wachendorf C, Wachendorf M. 2013. Effects of digestates from different biogas production systems on above and belowgroun grass growth and the nitrogen status of the plant-soil-system. Soil Biology and Plant Nutrition **4**:183-195.

4. Bachmann S, Uptmoor R, Eichler-Lobermann B. 2016. Phosporus distribution and availability in untreated and mechanically separated biogas digestate. Scientia Agricola **73**:9-17.

5. Barlog P, Hlisnikovsky L, Kunzova E. 2019. Yield, content and nutrient uptake by winter wheat and spring barely in response to applications of digestate, cattle slurry and NPK mineral fertilizers. Archives of Agronomy and Soil Science. **10**:1-6

6. CZ Biom. 2015. Nakládání s digestátem, možnost využití jako kvalitního hnojiva. CZ Biom, Praha. Available from https://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-digestatem-moznost-vyuziti-jako-kvalitni-hnojivo.

7. Bischofsberger W, Dichtl N, Rosenwinkel KH, Seyfried CF, Böhnke B. 2005. Anaerobtechnik. Springer, Berlín.

8. Bockus WW, Bowden RL, Hunger RM, Morrill WL, Murray TD, Smiley RW. 2010. Compendium of wheat diseases and pests. American Phytopathological Society. Saint Paul.

9. Bonetta S, Ferretti E, Bonetta S, Fezia G, Carraro E. 2011. Microbiological contamination of digested products from anaerobic co-digestion of bovine manure and agricultural by-products. Environmental and Life Science **53**:552–557.

10. Dostál J, Lošák T, Javor T, Hajzlerová L, Hlušek J, Linhrat M. 2014. Dosavadní zkušenosti s aplikací digestátu z bioplynových stanic na zemědělskou půdu. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

11. Dragicevic I, Sogn TA, Eich-Greatorex S. 2018. Recycling of biogas digestates in crop production – soil and plant trace metal content and variability. Frontiers in Sustainable Food Systems **2**:1-14.

12. Drosg B, Fuchs W, Al Seadi T, Madsen M, Linke B. 2015. Nutrient recovery by biogas digestate processing. IEA Bioenergy, United Kingdom.

13. Dumont E, Vanhaecke F, Cornelis R. 2006. Selenium speciation from food source to metabolites: a critical review. Analytical and Bioanalytical Chemistry **385**:1304-1323.

14. Fuchs JG, Berner A, Mayer J, Smidt E, Schleiss K. 2008. Influence of compost and digesattes on plant growth and health: potentials and limits. Proceedings of the International Congress CODIS **12**:101-110.

15. Galvez A, Sinicco T, Cayuela ML, Mingorance MD, Fornasier F, Mondini C. 2012. Short term effects of bioenergy by-products on soil C and N dynamics, nutrient availability and biochemical properties. Agriculture, Ecosystems & Environment **160**:3-14.

16. Gao Y, Wu P, Zhao X, Wang Z. 2014. Growth, yield, and nitrogen use in the wheat/maize intercropping systém in an arid region of northwestern China. Field Crops Research **167**:19-30.

17. Garg RN, Pathak H, Das DK, Tomar RK. 2005. Use of flyash and biogas slurry of omproving wheat yield and physical properties of soil. Environmental Monitoring and Assessment **107**:1-9.

18. Germ M, Stibilj V, Kreft I. 2007. Metabolic importance of selenium for plants. The European Journal of Plant Science and Biotechnology **1**:91-97.

19. Gong W, Li W, Liang H. 2010. Application of A/O-MBR for treatment of digestate from anaerobic digestion of cow manure. Journal of Chemical Technology & Biotechnology **85**:1334–1339.

20. Gómez-Brandón M, Fernández-Delgado Juárez M, Zangerle M, Insam H. 2016. Efffects of digestate on soil and microbiological properties: Acomparative study with compost and vermicompost. Journal of Hazardous Materials **302**:267-274.

21. Gupta M, Gupta S. 2017. An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plant. Frontiers in Plant Science **7**:1-14.

22. Haraldsen TK, Andersen U, Krogstad T, Sørheim R. 2017. Liquid digestate from anaerobic treatment of source-separated household waste as fertilizers to barely. Waste Management & Research **29**:1271-1276.

23. Holm-Nielsen JB, Al Seadi T, Oleskowicz-Popiel P. 2009. The future of anaerobic and biogas utilization. Bioresour Technology **100**:5478-5480.

24. Horčička P. 2014. Rukověť pěstitele jarní pšenice: tradice, kvalita, budoucnost. Kurent, České Budějovice.

25. Chiumenti A, da Borso F, Teri F, Chiumenti R, Piaia B. 2013. Full-scale membrane filtration systém for the treatment of digestate from a co-digestion plant. Applied Engineering in Agriculture **29**:985-990.

26. Christensen ML, Hjorth M, Keiding K. 2009. Characterizion of pig slurry with reference to flocculation and separation. Water Research **43**:773-783.

27. Kapuinen P, Regina K. 2010. The effect of anaerobic digestion on fertilizing properties of pig slurry. Plant Production Research **1**:1-4.

28. Kertesz S, Beszedes S, Laszlo Z, Szabo G, Hodur C. 2010. Nanofiltration and reverse osmosis of pig manure: comparsion of results from vibrátory and classical modules. Desalination and Water Treatment **14**:233-238.

29. Klír J. 2013. Průměrný přívod živin ve statkových a organických hnojivech. Praha. Available from file:///C:/Users/havli/Downloads/rpttab2030001%20(3).pdf.

30. Kolář L, Vaněk V, Kužel S, Štindl P. 2009. Využití odpadů z bioplynových stanic. Racionální použití hnojiv zaměřené na půdní úrodnost, organickou hmotu v půdě a použití statkových a minerálních hnojiv. Česká zemědělská uuniverzita v Praze, Praha.

31. Kolář L, Kužel S, Peterka J, Borová-Batt J. 2010. Agrochemical value of the liguid phase of wastes from fermenters during biogas production. Plant, Soil and Environment **56**:23-27.

32. Kothari R, Pandey KA, Kumar S, Tyagi VV, Tyagi KS. 2014. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. Renewable and Sustainable Energy **39**:174-195.

33. Ledda C, Schievano A, Salati S, Adani F. 2013. Nitrogen and water recovery from animal slurries by a new integrated ultrafiltration, reverse osmosis and cold stripping process: a case study. Water Research **47**:6165-6166.

34. Lijó L, Gonzáles-García S, Bacenetti J, Negri M, Fiala M, Feijoo G, Moreira TM. 2015. Environmental assessment of farm-scaled anaerobic co-digestion for bioenergy production. Waste Management **41**:50-59.

35. Loria ER, Sawyer EJ, Barker WD, Lundvall PJ, Lorimor CJ. 2007. Use og anaerobically digested swine manure as a nitrogen source in corn production. Agronomy Journal **99**:1119-1129.

36. Lošák T, Hlušek J, Zatloukalová A, Tůmová D, Tůma I, Szostková M, Pospíšilová L, Martensson A. 2011. Influencing of soil properties, yield and chemical composition of kohlrabi after application of mineral fertilisers and digestate. Soil, Plant and Food Interactions **6**:274-278.

37. Lošák T. 2014. Využívat digestát jako hnojivo – ano, nebo ne?. Úroda. Available from https://www.uroda.cz/je-digestat-organicke-hnojivo-ano-nebo-ne/.

38. Lukehurst CT, Frost P, Al Seadi T. 2010. Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. IEA Bioenergy **37**:1-22.

39. Lyons GH, Stangoulis JCR, Graham RD. 2005. "Tolerance of wheat (Triticum aestivum L.) to high soil and solution selenium levels." Plant and Soil **270**:179-188

40. Mahmoud E, Abd El Kader N, Robin P, Ak Kal Corfini N, Abd El Rahman L. 2009. Effects of different organic an inorganic fertilizers on cucumber yield and some soil properties. World Journal of Agricultureal Sciences **5**:408-414.

41. Makádi M, Tomócsik A, Orosz V. 2012. Digestate: A New Nutrient Source – Review. Biogas **14**:296-310.

42. Marada P, Večeřová V, Kamarád L, Dundálková P, Mareček J. 2008. Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem. Mendelova univerzita, Brno. Available from http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf

43. Mehta CM, Batstone DJ. 2013. Nutrient solubilization and its availability following anaerobic digestion. Water Science Technology **67**:756-763.

44. Möller K. 2009. Influence of different manuring systems with and without biogas digestion on soil organic matter and nitrogen inputs, flows and budgets in organic croppung systems. Nutrient Cycling in Agroecosystems **84**:179-202.

45. Möller K, Müller T. 2012. Effects of anaerobic digestion of digestate nutrient availability and crop growth: A review. Engineering in Life Sciences **12**:242-257.

46. Muhammad I, Muhammad F, Muhammad S, Quamruz Z. 2017. Determinants of various factors for wheat production. Journal of Agricultural Research **55**:379-385.

47. Nedělník J, Mrůzek M, Ditl P, Šulc P, Nápravník J, Vyškovský K, Vičíková M, Kubáňková M. 2016. Nová technologie a zařízení na chemickou úpravu kapalné frakce digestátu a rozšíření jeho využití. Avalaible from https://c.vupt.cz/files/metodiky/Metodika_35-161kor.pdf.

48. Ni K, Pacholski A, Gericke D, Kage H. 2012. Analysis of ammonia losses after application of biogas slurries by an empirical model. Journal of Plant Nutrition and Soil Science **175**:253-264.

49. Nkoa R. 2014. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. Sustainable Development **34**:473-480.

50. Odlare M, Pell M, Svensson K. 2008. Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. Waste Management **28**:1246-1253.

51. Oh TK, Shinogi Y, Lee SJ, Choi B. 2014. Utilization of biochar imprehnated with anaerobically digested slurry as slow-release fertilizer. Journal of Plant Nutrition and Soil Science **177**:97-103.

52. Paavola T, Rintala J. 2008. Effects of storage on characteristics and hygienic quality of digeastates from co-digestion concepts of manura nad biowaste. Bioresource technology **99**:7041-7050

53. Pančíková J. 2016. Digestáty a jejich využití v zemědělství. Úroda. Available from https://www.uroda.cz/digestaty-a-jejich-vyuziti-vzemedelstvi/.

54. Pawlica P. 2010. Sušení odpadním teplem z bioplynové stanice. CZ Biom, Praha. Available from https://biom.cz/cz/odborne-clanky/suseni-odpadnim-teplem-z-bioplynove-stanice.

55. Praus L, Száková J, Tremlová J. 2018. Fast abiotic sorption os selenates ($SeO4^{2-}$) in soils: pitfalls of batch sorption data acquired by inductively coupled plasma quadrupole mass spektrometry (ICP-QMS). View Journal Impact **65**:566-580.

56. Pulkrábek J, Capouchová I, Hamouz K. 2003. Speciální fytotechnika. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.

57. Risberg K, Cederlund H, Pell M, Arthurson V, Schnürer A. 2017. Comparative characterization of digestate versus pig slurry and cow manure – Chemical composition and effects on soil microbial aktivity. Waste Management **61**:529-538.

58. Sanghun L, Howard J, Woodard & James J, Doolittle JJ. 2011. Effect of phosphate and sulfate fertilizers on selenium uptake by wheat (Triticum aestivum). Soil Science and Plant Nutrition **57**:696-704.

59. Sanghun L, Howard J, Woodard & James J, Doolittle JJ. 2011. Selenium uptake response among selected wheat (Triticum aestivum) varieties and relationship with soil selenium fractions. Soil Science and Plant Nutrition **57**:823-832.

60. Shi L, Simplicio WS, Wu G, Hu Z, Hu H, Zhan X. 2018. Nutrient recovery from digestate of anaerobic digestion of livestock manure: A Review. Water Pollution **4**:74-83.

61. Schulz H, Eder B. 2001. Biogas in practive. Fundamentals, projecting, plan construction: Biogas in praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. Germany.

62. Sigurnjak I, Vaneeckhaute C, Michels E, Ryckaert B, Ghekiere G, Tack FMG, Meers E. 2017. Fertilizer performance of liquid fraction og digestate as synthetic nitrogen substitute in silage maize cultivation for three consecutive years. Science of The Total Environment **600**:1885-1894.

63. Sogn TA, Dragicevic I, Linjordet R, Krogstad T, Eijsink VGH. 2018. Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizers value and risk of leaching. Springer Berlin Heidelberg **7**:49-58.

64. Tambone F, Scaglia B, D´Imporzano G, Schievano A, Orzi V, Salati S, Adani F. 2010. Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. Chemosphere **81**:577-583.

65. Tiwari TN, Tiwari KN, Upadhyay RM. 2000. Effect of crop residues and biogas slurry incorporation in wheat on yield and soil fertility. Journal of the Indian Society of Soil Science **48**:515-520.

66. Tlustoš P, Kaplan L, Dubský M, Bazalová M, Száková J. 2014. Stanovení fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu bioplynových stanic. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

67. Tlustoš P, Kaplan L, Jablonský I, Jelínek F, Koudela M, Bazalová M. 2016. Zhodnocení fyzikálně-chemických a biologických vlastností substrátů založených na bázi separátů upravených fermentací. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

68. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2016. Digestáty a jejich využití v zemědělství. ÚKZUZ, Praha. Available from http://eagri.cz/public/web/file/458518/Digestaty_final2_WEB_optim.pdf

69. Xia A, Murphy DJ. 2016. Microalgal cultivation in treating liquid digestate from biogas systems. Trend in Biotechnology **34**:264-275.

70. Xin L, Jianbin G, Renije D, Birgitte KA, Wangin Z. 2016. Properties of plant nutrient: Comparison of two nutrient recovery techniques using liquid fraction of digestate from anaerobic digester treating pig manure. Science of The Total Environment **544**:774-781.

71. Vaneeckhaute C, Meers E, Michels E, Christiaens P, Tack FMG. 2012. Fate of macronutrients in water treatment of digestate using vibrating reversed osmosis. Springer Netherlands **223**:1593-1603.

72. Vaneeckhaute C, Meers E, Michels E, Ghekiere G, Accore F, Tack FMG. 2013. Closing the nutrient cycle by using bio-digestion waste derivatives as synthetic fertilizer substitutes: A field experiment. Biomass & Bioenergy **55**:175-189.

73. Váňa J. 2008. Nakládání s digestátem rozhoduje o trvalé udržitelnosti bioplynové stanice. Bioplyn, České Budějovice.

74. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 131/2014 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Available from https://www.zakony.cz/zakony/2014/101/zakon-131-2014-Sb-SB2014131

75. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí. Available from http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/dobry-zemedelsky-a-environmentalni-stav/shrnuti-informaci-k-podminkam-standardu.html

76. Walsh JJ, Jones DL, Edwards-Jones G, Williams APOD. 2012. Replacing inorganic fertilizer with anaerobic digestate may maintain agricultural productivity at less environmental cost. Journal of Plant Nutrition and Soil Science **175**:840-845.

77. Weiland P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology **85**:849-860.

78. Wentzel S, Schmidt R, Piepho H, Semmler-Busch U, Joergensen RG. 2015. Response of soil fertility indices to long-term application of biogas and raw slurry under organic farming. Applied Soil Ecology **96**:99-107.

79. Winkel LH, Vriens B, Jones GD, Schneider LS, Pilon-Smith E, Bañuelos GS. 2015. Selenium cycling across soil-plant-atmosphere interfaces: a critical review. Nutrients **7**:4199-4239.

9 Samostatné přílohy

Tabulka 26. Celkový odběr železa, manganu a bóru rostlinou Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Celkový odběr živin rostlinou (mg/kg) v sušině

	Fe		Mn		B	
Var.	**K.H.**	**DNO**	**K.H.**	**DNO**	**K.H.**	**DNO**
1	415±126	361±131	18±5,01	13±4,68	0,31±0,07	0,58±0,14
2	464±26	94±45	20±1,05	8,07±2,27	0,29±0,05	0,32±0,04
3	654±167	247±164	27±7,26	10±5,18	0,39±0,08	0,57±0,14
4	235±34	146±118	11±2,09	9,11±4,45	0,27±0,03	0,48±0,13
5	317±141	153±24	13±5,91	8,66±1,63	0,36±0,07	0,55±0,07

Tabulka 27. Celkový odběr molybdenu, olova a zinku rostlinou Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Celkový odběr živin rostlinou (mg/kg) v sušině

	Mo		Pb		Zn	
Var.	**K.H.**	**DNO**	**K.H.**	**DNO**	**K.H.**	**DNO**
1	0,09±0,01	<0,005±0	0,54±0,16	0,40±0,13	2,12±0,38	1,83±0,45
2	0,13±0,01	<0,005±0	0,59±0,05	0,09±0,05	3,15±0,31	2,11±0,29
3	0,15±0,02	<0,005±0	0,79±0,17	0,29±0,15	3,55±0,68	2,93±0,60
4	0,12±0,01	<0,005±0	0,29±0,05	0,22±0,17	2,25±0,21	2,67±0,48
5	0,13±0,01	<0,005±0	0,40±0,14	0,23±0,05	2,63±0,88	2,96±0,71

Tabulka 28. Celkový odběr niklu, mědi a chromu rostlinou Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Celkový odběr živin rostlinou (mg/kg) v sušině

	Ni		Cu		Cr	
Var.	**K.H.**	**DNO**	**K.H.**	**DNO**	**K.H.**	**DNO**
1	0,50±0,16	0,37±0,11	0,62±0,14	0,38±0,09	1,19±0,37	0,56±0,22
2	0,53±0,04	0,14±0,04	0,67±0,05	0,14±0,03	1,31±0,08	0,18±0,08
3	0,79±0,16	0,30±0,13	0,88±0,20	0,36±0,10	1,87±0,44	0,43±0,25
4	0,28±0,33	0,27±0,18	0,42±0,05	0,26±0,13	0,63±0,12	0,29±0,23
5	0,39±0,17	0,31±0,06	0,53±0,16	0,29±0,05	0,91±0,44	0,32±0,05

Tabulka 29. Celkový odběr kadmia a arsenu rostlinou Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Celkový odběr živin rostlinou (mg/kg) v sušině

	Cd		As	
Var.	**K.H.**	**DNO**	**K.H.**	**DNO**
1	0,008±0,001	0,015±0,001	0,62±0,17	0,25±0,07
2	0,015±0,002	0,017±0,001	0,86±0,33	0,11±0,02
3	0,010±0,003	0,016±0,002	1,44±0,96	0,20±0,10
4	0,011±0,001	0,018±0,003	0,42±0,11	0,19±0,09
5	0,008±0,001	0,014±0,001	0,48±0,20	0,16±0,03

Obrázek 5. Přesévání zeminy přes 5 mm síto

Obrázek 6. Nádoby naplněné 5 kg zeminy

Obrázek 7. Hnojení variant pokusu

Obrázek 8. Založený experiment

Obrázek 9. Experiment po měsíci

Obrázek 10. Experiment po měsíci a půl

Obrázek 11. Varianta kontrola K.H.

Obrázek 12. Varianta NPK K.H.

Obrázek 13. Varianta fugát K.H.

Obrázek 14. Varianta 1/2 fugát, 1/2 NPK, Se+ K.H.

Obrázek 15. Varianta fugát, Se++ K.H.

Obrázek 16. Varianta kontrola DNO

Obrázek 17. Varianta NPK DNO

Obrázek 18. Varianta fugát DNO

Obrázek 19. Varianta 1/2 fugát, 1/2 NPK, Se+ DNO

Obrázek 20. Varianta fugát, Se++ DNO

Obrázek 21. Porovnání variant kontrola, NPK a fugát Krásná Hora nad Vltavou

Obrázek 22. Porovnání variant kontrola, NPK a fugát Doudleby nad Orlicí

Obrázek 23. Varianty před sklizní Krásná Hora nad Vltavou

Obrázek 24. Varianty před sklizní Doudleby nad Orlicí

Obrázek 25. Sklizeň experimentu

Obrázek 26. Odebraná zemina a kořeny

10 Seznam použitých zkratek

BPS – Bioplynová stanice

K.H. – Krásná Hora nad Vltavou

DNO – Doudleby nad Orlicí

Var. - Varianta

11 Seznam příloh

Seznam tabulek:

- Tabulka 1. Obsah mikroživin ve fugátu Krásná Hora nad Vltavou (Tlustoš et al. 2014)
- Tabulka 2. Obsah mikroživin ve fugátu Petrovice (Tlustoš et al. 2016)
- Tabulka 3. Hodnoty rizikových prvků organických a statkových hnojiv se sušinou nad a nejvýše 13 % (Ministerstvo zemědělství 2014)
- Tabulka 4. Obsah rizikových prvků ve fugátu Krásná Hora nad Vltavou (Tlustoš et al. 2014)
- Tabulka 5. Obsah rizikových prvků ve fugátu Petrovice (Tlustoš et al. 2016)
- Tabulka 6. Vliv aplikace digestátu na obsah rizikových látek v půdních vzorcích (Makádi et al. 2012)
- Tabulka 7. Hodnota pH zemin, obsah sušiny a makroživin Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí (mg/kg v sušině)
- Tabulka 8. Obsah mikroživin (mg/kg v sušině) v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí (výluh)
- Tabulka 9. Obsah rizikových prvků (mg/kg v sušině) v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí (výluh)
- Tabulka 10. Celkový obsah mikroživin ve fugátu (mg/kg v sušině)
- Tabulka 11. Celkový obsah rizikových prvků ve fugátu (mg/kg v sušině)
- Tabulka 12. Varianty hnojení experimentu
- Tabulka 13. Ošetřování experimentu
- Tabulka 14. Obsah selenu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 15. Obsah železa v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 16. Obsah manganu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 17. Obsah bóru v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 18. Obsah molybdenu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 19. Obsah olova v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

- Tabulka 20. Obsah zinku v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 21. Obsah niklu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 22. Obsah mědi v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 23. Obsah kadmia v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 24. Obsah arsenu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 25. Obsah chromu v kořenech, slámě a zrnu Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 26. Celkový odběr železa, manganu a bóru rostlinou Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 27. Celkový odběr molybdenu, olova a zinku rostlinou Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 28. Celkový odběr niklu, mědi a chromu rostlinou Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Tabulka 29. Celkový odběr kadmia a arsenu rostlinou Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí

Seznam obrázků:

- Obrázek 1. Technické řešení možnosti úpravy fugátu (Vaneeckhaute et al. 2012)
- Obrázek 2. Hadicová aplikace fugátu (Zunhamercz 2020)
- Obrázek 3. Úprava a zpracování digestátu a fugátu (Drosg et al. 2015)
- Obrázek 4. Mapa odběrových míst
- Obrázek 5. Přesévání zeminy přes 5 mm síto
- Obrázek 6. Nádoby naplněné 5 kg zeminy
- Obrázek 7. Hnojení variant pokusu
- Obrázek 8. Založený experiment
- Obrázek 9. Experiment po měsíci
- Obrázek 10. Experiment po měsíci a půl
- Obrázek 11. Varianta kontrola K.H.
- Obrázek 12. Varianta NPK K.H.

- Obrázek 13. Varianta fugát K.H.
- Obrázek 14. Varianta 1/2 fugát, 1/2 NPK, Se+ K.H.
- Obrázek 15. Varianta fugát, Se++ K.H.
- Obrázek 16. Varianta kontrola DNO
- Obrázek 17. Varianta NPK DNO
- Obrázek 18. Varianta fugát DNO
- Obrázek 19. Varianta 1/2 fugát, 1/2 NPK, Se+ DNO
- Obrázek 20. Varianta fugát, Se++ DNO
- Obrázek 21. Porovnání variant kontrola, NPK a fugát Krásná Hora nad Vltavou
- Obrázek 22. Porovnání variant kontrola, NPK a fugát Doudleby nad Orlicí
- Obrázek 23. Varianty před sklizní Krásná Hora nad Vltavou
- Obrázek 24. Varianty před sklizní Doudleby nad Orlicí
- Obrázek 25. Sklizeň experimentu
- Obrázek 26. Odebraná zemina a kořeny

Seznam grafů:

- Graf 1. Kumulace amonné formy dusíku (Ni et al. 2012)
- Graf 2. Výnos kořene, slámy a zrna v suché hmotě Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 3. Výnos kořene, slámy a zrna v suché hmotě Doudleby nad Orlicí
- Graf 4. Odběr železa kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 5. Odběr železa kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 6. Odběr manganu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 7. Odběr manganu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 8. Odběr bóru kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 9. Odběr bóru kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 10. Odběr molybdenu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 11. Odběr molybdenu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 12. Odběr arsenu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 13. Odběr arsenu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 14. Odběr chromu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 15. Odběr chromu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 16. Odběr kadmia kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 17. Odběr kadmia kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 18. Odběr mědi kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou

- Graf 19. Odběr mědi kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 20. Odběr niklu kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 21. Odběr niklu kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 22. Odběr olova kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 23. Odběr olova kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 24. Odběr zinku kořeny, slámou a zrnem Krásná Hora nad Vltavou
- Graf 25. Odběr zinku kořeny, slámou a zrnem Doudleby nad Orlicí
- Graf 26. Obsah železa v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 27. Obsah manganu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 28. Obsah bóru v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 29. Obsah olova v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 30. Obsah mědi v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 31. Obsah zinku v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 32. Obsah kadmia v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 33. Obsah arsenu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 34. Obsah niklu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 35. Obsah chromu v zeminách Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí
- Graf 36. Hodnoty pH zemin Krásná Hora nad Vltavou a Doudleby nad Orlicí