

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Změna kvality rostlin a půdy hnojené kompostem a  
vermikompostem na bázi čistírenských kalů a slaměných  
pelet**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Ha My Nguyenová  
Obor studia: Technologie odpadů**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Hanč, Ph.D.**

**Konzultant: Bayu Dume**

**© 2023 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Změna kvality rostlin a půdy hnojené kompostem a vermikompostem na bázi čistírenských kalů a slaměných pelet" jsem vypracovala 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 autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.04.2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou od srdce poděkovala panu doc. Ing. Aleši Hančovi, PhD. za odborné vedení mé práce. Ale především bych chtěla poděkovat za fantastický lidský přístup, který zahrnoval vstřícnost, trpělivost a pochopení při mém psaní.

Dále bych chtěla poděkovat Dr. Bayu Dume Gari za velmi přínosné odborné konzultace, pozitivní přístup a ochotu okamžité pomoci za každých podmínek po celou dobu mé práce.

Tisíceré díky patří mé úžasné kolegyni Ing. Julie Dajčl za odbornou revizi, cenné rady a připomínky, které bezesporu přispěly ke zkvalitnění mé práce.

Velký díky náleží mé rodině za jejich podporu, úsilí a nemalé oběti, které museli vynaložit, abych dosáhla podle mě nesmírně cenného bohatství – vzdělání.

V neposlední řadě děkuji Ing. Adamovi Hlavinkovi, který je mým nevyčerpatelným zdrojem inspirací a hnací silou vpřed ale i oporou a pevným základem, od kterého se mohu dále rozvíjet.

Na závěr bych ráda poděkovala všem akademikům FŽP a FAPPZ, kterým jsem „prošla rukou“, a kteří sehráli důležitou roli v mé cestě za vzděláním na ČZU. Děkuji za cenné znalosti, které mi předali a výzvy, které mě posunuly dál.

Diplomová práce byla vytvořena v rámci projektu NAZV č. QK1910095 s názvem „Využití vermikompostování k eliminaci mikropolutantů za účelem bezpečné aplikace čistírenského kalu na zemědělskou půdu“.

# Změna kvality rostlin a půdy hnojené kompostem a vermikompostem na bázi čistírenských kalů a slaměných pelet

## Souhrn

V této diplomové práci byly hodnoceny účinky hnojení kompostem a vermikompostem z čistírenských kalů a slaměných pelet v různých poměrech na fyzikálně–chemické vlastnosti půdy a výnos konopí setého (*Cannabis sativa* var. *Kompolti*).

Diplomová práce začíná rešeršní částí, kde jsou shromážděné relevantní informace o rostlinné výživě a vlivu fyzikálně–chemických vlastností půdy, kompostů a vermikompostů na pěstování plodin. U rostlinné výživy jsou popsány mechanismy příjmu živin, vlivy vzájemného působení živin na příjem rostlinami a vliv deficiencie konkrétních živin na kvalitu rostlin. Další část rešerše se zabývá stručnou charakteristikou půdy a její klíčové vlastnosti ovlivňující výživu rostlin. Poslední část rešerše je věnována popisu kvalitativních vlastností kompostů a vermikompostů a jejich vliv na použití v systému půda–rostlina.

V druhé části práce je popsána praktická část práce. Pokus byl proveden v předem stanovených variantách se třemi opakováními. Komposty a vermikomposty s různými poměry čistírenských kalů a slaměných pelet (25, 50, 75 a 100 % hm.) byly použity pro hnojení konopí setého. Jednorázové hnojení bylo rovnoměrně smícháno s referenční zeminou. Sklizeň biomasy a odběry půdních vzorků po pěstování proběhly po třech měsících od setí. Vzorky byly následně upraveny a podrobeny příslušným analýzám. Výsledky byly posléze vyhodnoceny a porovnány s kontrolní variantou.

V části výsledků jsou graficky znázorněny změny sledovaných parametrů půdy i konopí po aplikaci hnojiv, dále výnos a odběry konopí. Výsledky ukázaly, že jednorázová aplikace kompostů a vermikompostů s vyšším podílem čistírenského kalu ve složení významně zvýšil ( $p < 0,05$ ) obsah celkového fosforu v půdě v porovnání s kontrolou. Půda ošetřená kompostem a vermikompostem měla ve srovnání s půdou bez hnojení nižší měrnou vodivost (EC). Přídavek kompostů a vermikompostů do půdy neměl vliv na změny pH půdy ani neprokázal zvýšení obsahu makroprvků v konopí po aplikaci kompostů a vermikompostů s vyšším podílem čistírenských kalů ve složení.

V diskusi jsou všechny sledované parametry – pH, obsah P, K, Ca, Mg v půdě a v konopí, dále výnosy čerstvé a suché hmoty a obsahy sušiny, porovnány s výsledky studií jiných autorů.

V závěru práce je poukázáno na fakt, že hnojením kompostem a vermikompostem s vyšším podílem čistírenského kalu ve složení má prokazatelný účinek na zvýšení výnosu čerstvé hmoty u konopí setého.

**Klíčová slova:** kompost, vermikompost, čistírenské kaly, slaměné pelety, *Cannabis sativa*

# Effect of sewage sludge and straw pellets based compost and vermicompost amendment on soil and plant quality

## Summary

In this diploma thesis, the effects of compost and vermicompost based on sewage sludge and straw pellets in different ratios on soil chemical and physical properties and yield of hemp (*Cannabis sativa* var. *Kompolti*) were evaluated.

The first part of the paper is devoted to the theoretical background such as plant nutrition and the influence of soil, composts and vermicomposts chemical and physical properties on crop production. The first chapter - Plant nutrition is described in terms of nutrient uptake mechanisms, the effects of nutrient interactions on plant uptake and the influence of specific nutrient deficiencies on plant quality. The next chapter provides a brief overview of soil and its key properties affecting plant nutrition. The final chapter of the theoretical part is devoted to the description of the qualitative properties of composts and vermicomposts on the end use in the soil-plant system.

The second part of the thesis presents the practical part of the work. The experiment was arranged in predetermined variants with three replications. Compost and vermicompost with different ratios of sewage sludge and straw pellets (25, 50, 75 and 100 wt%) were used for fertilization of hemp plants. The applied fertilizer was thoroughly mixed with the reference soil. Biomass harvesting and soil sampling after cultivation were carried out after three months of planting. The samples were subsequently processed and subjected to appropriate analyses. The results were consequently evaluated and compared with the control variant with no treatment.

In the results part, the changes in the monitored soil and hemp parameters after fertilizer application, as well as yield and hemp nutrient uptake are graphically illustrated. The results indicated that single application of composts and vermicomposts with higher content of sewage sludge significantly increased ( $p < 0.05$ ) the content of total phosphorus in soil compared to control treatment. Soil treated with compost and vermicompost had lower electrical conductivity (EC) compared to soil without any amendment. The application of composts and vermicomposts to the soil had no effect on changes in soil pH and did not prove an increase in the macronutrient content of hemp after application of composts and vermicomposts with a higher content of sewage sludge.

In the discussion part, all the analysed parameters - pH, P, K, Ca, Mg content in soil and hemp, as well as fresh and dry matter yields and dry matter contents - are compared with other authors' results.

In the conclusion part, it is emphasized that fertilization with compost and vermicompost with a higher content of sewage sludge in the composition has a significant effect on increasing the yield of fresh matter in hemp.

**Keywords:** compost, vermicompost, sewage sludge, straw pellets, *Canabis sativa*

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Rostlinná výživa .....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Chemické složení rostlin .....	10
3.1.2 Příjem živin rostlinami .....	10
3.1.3 Metabolismus makroelementů .....	11
3.1.4 Vliv pH na kondici a produktivitu půdy.....	15
3.1.5 Vliv elektrické vodivosti na půdní vlastnosti a příjem živin rostlinami.....	16
3.1.6 Vliv půdních organismů na půdní kondici a růst rostlin .....	16
<b>3.2 Kompost a vermikompost .....</b>	<b>17</b>
3.2.1 Vliv kompostování čistírenských kalů na výsledné vlastnosti kompostu .	18
3.2.2 Legislativa aplikace kompostu a vermikompostu.....	19
<b>3.3 Kvalitativní vlastnosti kompostů a vermikompostů .....</b>	<b>19</b>
3.3.1 Zralost a stabilita.....	20
3.3.2 pH.....	20
3.3.3 Organická hmota.....	20
3.3.4 Živiny.....	21
3.3.4.1 Poměr C/N .....	22
3.3.4.2 Rizikové látky a jejich dostupnost .....	23
3.3.4.3 Obsah rozpustných solí.....	24
3.3.5 Velikost částic .....	25
<b>3.4 Konopí seté (cannabis sativa) .....</b>	<b>25</b>
<b>4 Metodika.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Použité komponenty .....</b>	<b>27</b>
4.1.1 Zemina z pole u Brandejsova statku, Praha - Suchdol.....	27
4.1.2 Kompost.....	28
4.1.3 Vermikompost .....	30
4.1.4 Předkompostovaný vermikompost .....	32
4.1.5 Konopí seté .....	34
<b>4.2 Založení nádobového experimentu.....</b>	<b>35</b>
4.2.1 Pěstební substráty .....	35
4.2.2 Pěstební část a sklizeň .....	36
<b>4.3 Analýzy.....</b>	<b>38</b>
4.3.1 Analýzy zeminy a biomasy použité v rámci nádobového experimentu ...	38

4.3.1.1	Stanovení aktivního pH, výměnného pH a EC .....	38
4.3.1.2	Extrační metoda Mehlich 3 – půdní vzorky .....	38
4.3.1.3	Mineralizace mokrým rozkladem – rostlinná biomasa.....	39
<b>4.4</b>	<b>Základní a statistické vyhodnocení dat .....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1</b>	<b>Půda.....</b>	<b>43</b>
5.1.1	Aktivní acidita, výměnná acidita a elektrická vodivost.....	43
5.1.2	Obsahy vybraných prvků v půdě.....	45
<b>5.2</b>	<b>Výnos .....</b>	<b>49</b>
5.2.1	Podzemní biomasa .....	49
5.2.2	Nadzemní biomasa .....	52
<b>5.3</b>	<b>Obsahy prvků ve vypěstovaném konopí .....</b>	<b>55</b>
5.3.1	Podzemní biomasa .....	55
5.3.2	Nadzemní biomasa .....	59
<b>5.4</b>	<b>Odběry prvků vypěstovaným konopím.....</b>	<b>63</b>
5.4.1	Podzemní biomasa .....	63
5.4.2	Nadzemní biomasa .....	67
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>71</b>
6.1.1	Změny půdních parametrů .....	71
6.1.2	Změny v obsahu vybraných makronutrientů v půdě.....	72
6.1.3	Výnos čerstvé a suché hmoty .....	73
6.1.4	Změny v obsahu vybraných makronutrientů v pěstovaném konopí.....	74
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>76</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>83</b>
<b>10</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>

# 1 Úvod

Kvalita půdy a rostlin má zásadní význam pro zachování zdravého a produktivního ekosystému. Ke zlepšení úrodnosti půdy a růstu rostlin se konvenčně používají minerální hnojiva. Intenzivní zemědělská výroba s použitím minerálních hnojiv vedla ke zvýšení výnosů, ovšem na úkor špatné kvality výsledných produktů. Vedle minerálních hnojiv jsou komposty a vermikomposty vynikající alternativou nebo doplňkem disponující řadou živin a prospěšných vlastností. Jejich předností je možnost začlenění biologicky rozložitelných odpadů do surovinové skladby, což významně přispívá k cirkulární ekonomice.

Četné studie ukázaly, že komposty a vermikomposty mohou zvýšit obsah organické hmoty v půdě, který je klíčový pro udržitelnou produkci plodin s minimálním znečištěním životního prostředí.

Jedním z hlavních přínosů kompostu a vermikompostu je jejich schopnost dodávat půdě živiny. Při rozkladu organické hmoty se uvolňují živiny, které jsou nezbytné pro růst a zdraví rostlin. Další výhodou kompostu a vermikompostu je jejich schopnost zlepšovat strukturu půdy. Organické látky mají schopnost vázat půdní částice, čímž snižuje náchylnost k erozi. To může být obzvláště užitečné v případě lehkých písčitých půd, které jsou zranitelnější. Komposty a vermikomposty také pomáhají zlepšit schopnost půdy zadržovat vodu, což usnadňuje rostlinám přístup k potřebné vodě.

Kromě zmíněných výhod mohou komposty a vermikomposty také přispět ke zvýšení mikrobiální aktivity v půdě. Půdní mikroorganismy jsou důležité pro rozklad organické hmoty, koloběh živin a podporu růstu rostlin, což ve výsledku může vést k posílení zdraví rostlin a celkově lepšímu stavu půdy.

V důsledku rychlého růstu populace představují kaly z čistíren odpadních vod hrozbu pro životní prostředí na celém světě. Kompostování a vermikompostování jsou biologické technologie běžně používané ke stabilizaci čistírenských kalů. Cílem této studie je zhodnotit změny v kvalitě rostlin a půdy při hnojení kompostem a vermikompostem z čistírenských kalů a slaměných pelet. Analýzou výnosů a obsahu vybraných makroprvků v pěstovaných rostlinách a obsahu živin v půdě se práce snaží zjistit účinnost těchto hnojiv při podpoře růstu rostlin a zlepšování stavu půdy.



## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Cílem diplomové práce je posoudit vliv kompostu a vermikompostu vyprodukovaného z čistírenských kalů a slaměných pelet na změny základních agrochemických vlastností půdy a na výnos a kvalitu konopí setého.

Vědecké hypotézy:

1. vyšší výnos i obsah makroprvků v rostlině je zaznamenán po aplikaci kompostů a vermikompostů s vyšším podílem čistírenského kalu,
2. nejsou rozdíly v pH a obsazích makroprvků v půdě po aplikaci kompostů a vermikompostů stejného složení.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Rostlinná výživa

#### 3.1.1 Chemické složení rostlin

Chemické složení rostlin se liší v závislosti na druhu, stáří a podmínkách prostředí, ve kterém rostou. Hlavní skupiny látek obsažené v rostlinné biomase jsou obecně minerální látky, organické látky a voda (Taufarová et al. 2014). Zelené fotosyntetizující rostliny obsahují vysoký podíl vody, která se s rostoucím stářím snižuje (Connie et al. 2016).

Obecně se rostliny skládají ze čtyř hlavních typů organických sloučenin: sacharidů, lipidů, bílkovin a nukleových kyselin. Sacharidy jsou nejrozšířenější organické sloučeniny, které se v rostlinách nacházejí, a slouží jim jako primární zdroj energie. Patří mezi ně cukry, škroby a celulóza. Cukry jsou jednoduché sacharidy, které rostlina snadno rozkládá a získává z nich energii, zatímco škroby a celulóza jsou složité sacharidy, které rostlině poskytují dlouhodobé zásoby energie a strukturální podporu. Lipidy, známé také jako tuky, jsou základními složkami rostlinných membrán a slouží jako sekundární zdroj energie. Bílkoviny jsou stavebními kameny rostlin a podílejí se na mnoha fyziologických procesech včetně buněčné struktury, funkce enzymů a obranných mechanismů. Jsou složeny z aminokyselin a v případě potřeby mohou být rozloženy a použity jako zdroj energie. Nukleové kyseliny, jako jsou DNA a RNA, jsou zodpovědné za uchování a přenos genetické informace a jsou nezbytné pro růst a vývoj rostlin (Connie et al. 2016).

Kromě těchto organických sloučenin obsahují rostliny také různé anorganické prvky tzv. minerální látky jako je uhlík, kyslík, dusík, fosfor, draslík a vápník. Tyto prvky jsou nezbytné pro růst rostlin a hrají důležitou roli v procesech, jako je fotosyntéza, dýchání a příjem živin. Minerální a organické látky spolu tvoří rostlinnou sušinu, která je důležitým kritériem pro vyjadřování chemického složení rostlin (Connie et al. 2016).

#### 3.1.2 Příjem živin rostlinami

Rostlinné buňky potřebují k udržení životních pochodů základní chemické látky, souhrnně nazývané živiny. Základní živiny pro rostliny jsou chemické prvky, které jsou nezbytné pro správné fungování metabolismu a růstu rostlin. Příjem rostlinami označuje proces, při kterém rostliny přijímají živiny a vodu z půdy prostřednictvím svých kořenů. Tento proces je nezbytný pro růst a přežití rostlin, protože jim poskytuje zdroje potřebné k provádění různých biologických funkcí (Weil & Brady 2017).

Existují dva hlavní zdroje rostlinných živin: půda a vzduch. Většinu základních živin získávají rostliny z půdy, některé ze vzduchu. Primárním a majoritním zdrojem výživy pro rostliny je půda, ta se skládá z organických látek, minerálů a dalších živin, které jsou pro růst rostlin nezbytné. Prvky zastoupené v rostlinné výživě lze rozdělit mezi makroelementy a mikroelementy viz. Tabulka 1 (Weil & Brady 2017).

Makroelementy jsou živiny, které rostliny potřebují ve velkém množství. Tyto živiny hrají zásadní roli při růstu a vývoji rostlin. Například dusík je nezbytný pro tvorbu chlorofylu, který

je nutný pro fotosyntézu, zatímco fosfor je důležitý pro vývoj kořenového systému a produkci semen. Mikroelementy jsou naopak potřebné v menším množství. I přes jejich malé množství jsou mikroživiny nezbytné pro správné fungování metabolismu rostlin (Connie et al. 2016).

Rostliny si vyvinuly důmyslné mechanismy pro získávání živin z půdy (Tauferová et al. 2014). Rozpuštěné živiny získávají prostřednictvím svých kořenů ve formě roztoku. Kořeny rostlin mají jemné vlásky, které zvětšují povrch dostupný pro absorpci. Tyto vlásky vylučují chemické látky, které rozpouštějí minerální látky v půdě a zpřístupňují je pro příjem. Příjem těchto živin usnadňují specializované přenašeče v kořenových buňkách rostlin. Tyto přenašeče umožňují přesun živin z půdy do rostliny, kde jsou využívány pro různé funkce, jako je dělení buněk, růst a aktivita enzymů (Weil & Brady 2017).

Tabulka 1: Makroelementy a mikroelementy v rostlinné sušině (Tauferová et al. 2014)

<b>Makroelementy</b>	<b>Průměrný obsah v sušině (%)</b>
H	6
C	45
O	45
N	1,5
K	1,0
Ca	0,5
Mg	0,2
P	0,2
S	0,2
<b>Mikroelementy</b>	<b>Průměrný obsah v sušině (%)</b>
B	$20 \cdot 10^{-4}$
Fe	$100 \cdot 10^{-4}$
Mn	$50 \cdot 10^{-4}$
Zn	$20 \cdot 10^{-4}$
Cu	$6 \cdot 10^{-4}$
Mo	$0,1 \cdot 10^{-4}$

Příjem rostlinami je ovlivňován různými faktory, včetně pH půdy, vlhkosti a dostupnosti živin. Například kyselé půdy mohou omezit příjem některých živin, zatímco podmáčené půdy mohou snížit množství kyslíku dostupného pro kořeny rostlin, což omezuje jejich schopnost přijímat vodu a živiny. Přítomnost jiných rostlin a půdních mikroorganismů může navíc ovlivnit příjem rostlin, protože spolu soupeří o stejné zdroje (Weil & Brady 2017).

### 3.1.3 Metabolismus makroelementů

#### Uhlík (C)

Uhlík tvoří 45 až 50 % sušiny rostlin a je nezbytný pro syntézu organických sloučenin, včetně sacharidů, lipidů a bílkovin. Rostliny získávají uhlík z oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> přítomného v atmosféře procesem fotosyntézy (Tauferová et al. 2014).

Metabolismus uhlíku v rostlinách zahrnuje řadu složitých biochemických reakcí, které přeměňují CO<sub>2</sub> na organické sloučeniny. Dalším krokem v metabolismu uhlíku u rostlin je

dýchání. Během dýchání se organické sloučeniny vzniklé fotosyntézou rozkládají a uvolňují energii pro metabolické procesy v rostlině. Hlavními produkty dýchání jsou oxid uhličitý a voda, které se uvolňují zpět do atmosféry (Leegood 1993).

### **Kyslík (O<sub>2</sub>)**

Kyslík má zásadní význam pro disimilaci a spolu s uhlíkem tvoří část podílu organické hmoty v sušině (Tauferová et al. 2014).

### **Vodík (H<sub>2</sub>)**

Vodík je běžnou součástí organické hmoty, kde tvoří přibližně 6-8 % sušiny. Dostatek vodíku pro rostliny zajišťuje příjem vody. Metabolismus vodíku je v rostlinách klíčový proces, který zahrnuje produkci, spotřebu a přenos vodíkových iontů a elektronů. Tento proces je životně důležitý pro růst, vývoj a přežití rostlin a hraje klíčovou roli v různých fyziologických procesech (Tauferová et al. 2014).

### **Dusík (N<sub>2</sub>)**

Dusík je jedním ze základních prvků nezbytných pro růst a vývoj listů. Je považován za spolutvůrce biomasy a často řídí její výnos a kvalitu tím, že hraje zásadní roli v biochemických a fyziologických funkcích rostlin. Je nezbytný pro metabolismus několika biopolymerů, včetně bílkovin, aminů, amidů, pigmentů, růstových látek aj. Dusík však není v životním prostředí snadno dostupný ve své využitelné formě. Proces přeměny dusíku na využitelnou formu se nazývá fixace dusíku a podílí se na něm speciální mikroorganismy, které jsou schopny redukovat trojnou vazbu v molekule atmosférického dusíku a začlenit jej do organické formy (Leghari et al. 2016).

K fixaci dusíku může docházet přirozeně činností některých bakterií nebo lidskými zásahy, například aplikací hnojiv. Příznaky nedostatku jsou v první řadě chřadnutí rostlin, chloróza (blednutí) listů, retardace růstu, tenké stonky rostlin a snížení výnosů. Dalšími příznaky jsou zdlouhavý růst kořenů, drobné listy a předčasné opadání starších listů (Tauferová et al. 2014).

### **Fosfor (P)**

Fosfor je základní makroživinou pro přenos a uchování energie v rostlinách. Účastní se fotosyntézy i dýchání. Je hlavní složkou nukleových kyselin, fosfolipidů, ATP a dalších buněčných komponent. (Malhotra et al. 2018).

K příjmu rostlinami dochází především prostřednictvím kořenů, kde je přítomen ve formě anorganického fosfátu nebo organických sloučenin fosforu. Proces příjmu usnadňuje několik přenašečů. Rostliny využívají P k syntéze různých biomolekul, včetně nukleových kyselin, fosfolipidů, ATP a různých metabolických meziproductů. Využití P je regulováno několika faktory, včetně vnitřního stavu P v rostlině, dostupnosti dalších živin a podmínek prostředí, jako je teplota a světlo (Malhotra et al. 2018).

Nedostatek fosforu způsobuje zvýšení obsahu glycidů v listech, což v důsledku vyvolává zvýšenou koncentraci antokyanů. Snižuje se tvorba chlorofylu a s ním dochází i omezení fotosyntézy. Omezen je také vývoj kořenů, stonků a odnožování obilnin. Generativní vývoj se výrazně potlačí. Nedostatek může nastat zejména na jaře, kdy se vlivem nízkých teplot zpomaluje vstřebávání fosforu (Tauferová et al. 2014).

## **Draslík (K)**

Draslík je pro rostliny nezbytnou makroživinou, která hraje klíčovou roli v různých fyziologických procesech. Podílí se na regulaci vodního režimu rostlin, udržování turgorového tlaku, podpoře fotosyntézy, aktivaci enzymů a zlepšování odolnosti vůči stresu. Draslík je také nezbytný pro správnou funkci průduchů, které regulují výměnu plynů v listech (Hasanuzzaman et al. 2018).

Kořeny rostlin přijímají draslík z půdního roztoku ve formě iontů  $K^+$ , které jsou kořenovými buňkami přijímány prostřednictvím přenašečů. Po vstupu do rostlinné buňky jsou ionty  $K^+$  rozváděny do různých orgánů a tkání prostřednictvím xylémové mízy. V rostlině se ionty  $K^+$  ukládají ve vakuolách, které mohou sloužit jako zásobárna této živiny (Hasanuzzaman et al. 2018).

Příjem draslíku kořeny rostlin je ovlivněn řadou faktorů, jako je dostupnost  $K^+$  iontů v půdě, pH půdy, přítomnost konkurenčních iontů a architektura kořenů. Vysoké hladiny jiných kationtů, jako je sodík ( $Na^+$ ), mohou interferovat s příjmem  $K^+$ , což vede k příznakům nedostatku  $K^+$ . Naopak vysoké hladiny iontů  $K^+$  v půdě mohou vést ke sníženému příjmu jiných kationtů, například vápníku  $Ca^{2+}$  a hořčíku  $Mg^{2+}$  (Hasanuzzaman et al. 2018).

Rostliny jsou schopny v období nedostatku živin recyklovat ionty  $K^+$  ze stárnoucích listů nebo z jiných tkání. V případě poškození listů a jiných rostlinných orgánů či senescencí, ionty  $K^+$  se uvolňují z buněk a přenášejí se do potřebných částí rostliny k opětovnému využití (Hasanuzzaman et al. 2018).

Draslík reguluje biosyntézu, přeměnu a alokaci metabolitů, což v konečném důsledku zvyšuje výnos. Studie z Bangladéše ukazuje, že draslík pomáhá zvyšovat příjem i účinnost využití dusíku, které napomáhají zvyšovat výnos rýže (Islam a Muttaleb 2016). Další čínská studie prokázala, že výnos pšenice se zvýšil asi o 0 až 17,6 %, když použili hnojivo NPK ve srovnání s pouhým NP, a v případě rýže se výnos zvýšil asi o 1,7 až 9,8 % po použití hnojiva NPK oproti pouhému NP (DUAN et al. 2014).

Vážný nedostatek draslíku způsobuje narušení vodního režimu v listech nebo celé rostliny. Typickým příznakem nedostatku je okrajová nekróza (popálení listů), která se nejprve objevuje na starších listech. Žloutnutí a odumírání pletiv začíná v horní části listů a šíří se k jejich základně. Dále nedostatek draslíku v důsledku snížení listové plochy a také defektu průduchů způsobuje omezení fotosyntézy. Rostliny tak nevytvářejí dostatek podpůrných pletiv, což oslabuje odolnost vůči houbovým chorobám (Tauferová et al. 2014).

## **Vápník (Ca)**

Vápník se může vyskytovat jako dominantní prvek v půdním roztoku, např. ve formě uhličitanu vápenatého. V aridních oblastech se vyskytuje ve formě síranu vápenatého. Absolutní nedostatek vápníku je ojedinělý (Tauferová et al. 2014) Je málo pohyblivý a ve většině případů způsobuje nedostatek vápníku sekundární pokles pH, což omezuje vstřebávání ostatních živin. Další příznak nedostatku se projevuje na listech v podobě nekrózy špiček, okrajů a vrcholových pupenů. Mladé listy bývají při nedostatku vápníku postiženy chlorózou a ohýbání špiček listů, dále hnědnutím a zkracováním kořenů s tendencí silného větvení (Šetlík et al. 2004).

Vápník v rostlinách hraje důležitou roli v různých fyziologických procesech, jako je dělení buněk, prodloužení buněk, propustnost membrán a přenos signálů. Příjem vápníku v rostlinách

je pasivní proces, který probíhá prostřednictvím iontových kanálů v kořenové membráně. Příjem vápníku je ovlivňován různými faktory, jako je pH půdy, teplota kořenů a přítomnost dalších minerálních látek. Distribuce vápníku v rostlině je regulována koncentrací vápenatých iontů a aktivitou různých přenašečů. Koncentrace vápníku v cytoplazmě je přísně regulována, neboť nadměrné množství vápníku může vést k toxicitě (White & Broadley 2003)

V rostlinách je vápník uložen v různých buněčných kompartmentech, jako je vakuola, buněčná stěna a endoplazmatické retikulum. Vakuola je největší zásobárnou vápníku v rostlinách a může představovat až 80 % celkového obsahu vápníku v rostlině. Vápník uložený ve vakuole lze využít k regulaci koncentrace vápníku v cytoplazmě a jako zdroj vápníku pro různé fyziologické procesy (White & Broadley 2003)

### **Hořčík (Mg)**

Rostliny získávají hořčík z půdy prostřednictvím kořenů. Příjem hořčíku kořeny je aktivní proces, při kterém je přijímán jako  $Mg^{2+}$  ze sulfátů. Jelikož je hořčík antagonistou vápníku, rostliny si ho nárokují v určitém poměru k vápníku (Tauferová et al. 2014). V rostlinné buňce hraje hořčík zásadní roli při tvorbě chlorofylu, který je nezbytný pro fotosyntézu. Chlorofyl obsahuje ve svém středu atom hořčíku, který pomáhá absorbovat světelnou energii a přeměňovat ji na energii chemickou. Hořčík se také podílí na syntéze ATP, což je primární zdroj energie pro buněčné procesy (Kaiser & Rosen 2016).

Kromě toho je hořčík nezbytný pro syntézu bílkovin, nukleových kyselin a enzymů. Ionty hořčíku působí jako kofaktory mnoha enzymů a pomáhají jim účinně plnit jejich funkce. Hořčík se také podílí na regulaci reakce rostlin na stres, protože ovlivňuje produkci hormonů souvisejících se stresem a aktivaci genů souvisejících se stresem. (Kaiser & Rosen 2016).

Charakteristickým příznakem nedostatku hořčíku způsobuje snížení tvorby chlorofylu, to se projevuje žloutnutím listů, zpomalení růstu a snížení výnosu. V případě silném nedostatku může u rostliny dojít k chloróze, snížení výnosů nebo dokonce k úhynu rostlin (Tauferová et al. 2014).

### **Síra (S)**

Síra se v přírodě vyskytuje v mnoha sloučeninách. Rostliny přijímají síru z půdy ve formě síranových iontů ( $SO_4^{2-}$ ), kterou pak asimilují do organických sloučenin prostřednictvím složitě řady reakcí známých jako metabolismus síry (Tauferová et al. 2014). V rostlinách je součástí několika důležitých biomolekul, jako jsou bílkoviny, enzymy a další sloučeniny, které se podílejí na metabolismu rostlin (Stewart 2010).

Asimilace síry začíná redukcí síranů. První stabilní produkt, ve kterém je síra v redukované a organicky vázané formě, je cystein. Ve formě cysteinu vstupuje síra do proteinů, methioninu, glutathionu, derivátů síry, jako je allin a allicin, nebo je donorem SH skupiny pro další syntézu (Stewart 2010).

Glutathion je tripeptid složený z glutamátu, cysteinu a glycinu, hraje klíčovou roli v metabolismu rostlin tím, že chrání buňky před oxidačním stresem a reguluje buněčný redox potenciál. Methionin je aminokyselina obsahující síru a slouží jako prekurzor pro syntézu ethylenu – důležitého rostlinného hormonu, který se podílí na řadě fyziologických procesů (Stewart 2010).

Pokud obsah síry v rostlinách klesne pod kritickou mez, příznaky nedostatku se u rostlin přímo neprojevují, ale biosyntéza bílkovin klesá a rostliny si akumulují větší množství volných aminokyselin je složitá směs různých složek, které jsou základem pro růst rostlin a podporou mnoha dalších forem života. Složky půdy lze rozdělit na živou složku a neživou. Mezi základní neživé složky půdy patří minerální látky, organické látky, voda, vzduch. Mezi živé půdní mikroorganismy. Tyto složky společně vytvářejí jedinečné prostředí, které podporuje růst rostlin a poskytuje základní živiny pro udržení života (Weil & Brady 2017).

Minerální látky jsou anorganické složky půdy, které pocházejí ze zvětralých hornin a minerálů. Poskytují základní živiny, jako je vápník, hořčík, draslík a fosfor, které jsou nezbytné pro růst rostlin. Tyto minerály jsou nezbytné pro tvorbu struktury půdy a hrají zásadní roli v její úrodnosti (Šimek 2003).

Organické látky jsou tvořeny rozkládajícími se zbytky rostlin a živočichů v různém stádiu. Organická hmota pomáhá zlepšovat strukturu půdy a významně ovlivňuje vodní režim půdy. Rozkladem organické hmoty vzniká také oxid uhličitý, který pomáhá regulovat pH půdy. Humus je ta část organické hmoty v půdě, která prošla procesy přeměn zahrnující rozkladné i syntetické procesy. Humusové látky napomáhají tvorbě agregátů minerálních částic, jsou zdrojem mnoha živin, které rostliny potřebují k růstu, včetně dusíku, fosforu a draslíku (Weil & Brady 2017).

Půdní voda je kapalná fáze půdy. Je zásadní složkou půdy, protože pomáhá rozpouštět a přenášet minerály a další živiny ke kořenům rostlin. V praxi se jedná o vodný roztok nejrůznějších minerálních a organických látek, jejichž celková koncentrace látek většinou nepřesahuje 1 %, často je mnohem nižší (cca 0,05 %). Půdní voda je také nezbytná pro růst půdních mikroorganismů, které hrají zásadní roli v koloběhu živin v půdě (Šimek 2003).

Půdní vzduch je plynná fáze půdy. Společně s půdní vodou obsazuje půdní póry. Dostatečné množství půdního vzduchu umožňuje pohyb vody, živin a plynů mezi půdou a kořeny rostlin. Na rozdíl od atmosférického vzduchu, půdní vzduch obsahuje více CO<sub>2</sub> a méně O<sub>2</sub> a někdy značná množství dalších plynů jako např. oxidy dusíku a síry, sirovodík, metan a další uhlovodíky aj. (Weil & Brady 2017).

### **3.1.4 Vliv pH na kondici a produktivitu půdy**

Z fyzikálně–chemických vlastností půdy je hodnota pH pro rostlinnou produkci nesmírně důležitá, neboť má velký vliv na mnoho dalších půdních parametrů včetně dostupnosti makro a mikroživin, toxicity stopových prvků, složení a aktivity půdních mikroorganismů a kationtové výměnné kapacity. Většina prospěšných půdních mikroorganismů prosperuje v rozmezí pH 6–7, to rovněž platí pro většinu rostlinných druhů, poněvadž za těchto podmínek je většina živin pro rostliny dostupná (Stehouwer et al. 2022).

V kyselých půdách (pH nižší než 6,0) mohou být živiny, jako je fosfor, vápník a hořčík, pro rostliny méně dostupné, zatímco hliník a mangan mohou být dostupnější, což může být pro některé rostliny toxické. V alkalických půdách (pH nad 7,5) mohou být železo, mangan a zinek pro rostliny méně dostupné až mírně kyselých půdách, zatímco některé škodlivé mikroorganismy dávají přednost zásaditým půdám (Msimbira & Smith 2020).

Dále pH půdy může ovlivnit vývoj kořenů rostlin. V kyselých půdách může toxicita hliníku brzdit růst kořenů, což může vést ke špatnému růstu rostlin a jejich výnosu. V zásaditých

půdách může nadbytek vápníku způsobit špatný vývoj kořenů, což vede ke špatnému růstu rostlin. pH půdy může také ovlivnit fyziologii rostlin, včetně příjmu a transportu živin a vody, fotosyntézy a dýchání. V kyselých půdách může být snížen příjem živin, jako je dusík a draslík, což vede ke špatnému vývoji rostlin. V zásaditých půdách může být snížen příjem železa a manganu, což může vést k chloróze listů (Neina 2019).

### **3.1.5 Vliv elektrické vodivosti na půdní vlastnosti a příjem živin rostlinami**

Elektrická vodivost půdy (EC) je měřítkem schopnosti půdy vést elektrický proud. Je to důležitá vlastnost půdy, která je úzce spojena s růstem a vývojem u rostlin. EC souvisí s množstvím a druhy iontů přítomných v půdě, včetně živin a solí. Může být ovlivněna několika faktory, jako je struktura půdy, vlhkost půdy a typ a množství aplikovaných hnojiv (Smith & Doran 2015).

Vysoké hodnoty EC v půdě značí přesycenost živin a solí. Tento jev může mít negativní efekt na růst rostlin. V případě, že koncentrace solí v půdě překročí práh tolerance pro rostliny, může nastat vodní stres, nerovnováha živin a další fyziologické stresy rostlin, které vedou ke snížení růstu a výnosu. Kromě toho, vysoká hladina EC v půdě může vést ke snížení aktivity a diverzity půdních mikroorganismů, což může mít sekundární negativní dopad na růst rostlin. Mikroorganismy hrají důležitou roli v koloběhu živin v půdě a interakcích mezi rostlinami a sebou samými (Lund 2015).

Na druhou stranu nízké hodnoty EC v půdě mohou mít také negativní vliv na růst rostlin, poněvadž značí nedostatek základních živin jako je draslík a vápník. To může mít za následek inhibice růstu a snížení výnosu rostlin. Proto je důležité udržovat optimální úroveň EC v půdě, která se může lišit v závislosti na plodině a podmínkách pěstování (Lund 2015).

### **3.1.6 Vliv půdních organismů na půdní kondici a růst rostlin**

Půdní organismy zahrnují početný komplex od půdních mikroorganismů jako jsou viry a bakterie, mikromycety, sinice, řasy, prvoci až po nižší živočichy a drobné obratlovce. Půdní mikroorganismy v interakci s půdními živočichy zajišťují neustálý tok látek a energie v půdě zahrnující rozkladné a syntetické procesy, transformační procesy jednotlivých prvků a živin, interakce mezi půdou a jejím prostředím (Šimek 2003).

Jednou z hlavních úloh půdních mikroorganismů je rozklad organických látek. Rozkládají složité organické sloučeniny a uvolňují tak základní živiny k dispozici rostlinám a dalším organismům. Dále mikroorganismy hrají také zásadní roli v koloběhu živin. Přeměňují živiny z jedné formy na druhou, čímž je zpřístupňují rostlinám a dalším organismům. Například bakterie vázající dusík přeměňují atmosférický dusík na rostlinami přijatelnou formu a mykorhizní houby pomáhají rostlinám přijímat fosfor a další živiny (Egamberdieva 2011).

Mikroorganismy hrají také velmi důležitou roli ve struktuře půdy a tvorbě agregátů stejně jako ve funkcích souvisejících se zdravím rostlin a potlačováním patogenů. V půdním systému jsou půdní patogenní bakterie a houby udržovány pod kontrolou prostřednictvím konkurence, predace a parazitismu zdravých půdních mikrobiálních společenstev. Půdní mikroorganismy jsou schopny rozkládat některé znečišťující látky a pesticidy. Ve prospěch zdravě pěstovaných plodin hrají také zásadní roli při potlačování chorob rostlin. Některé mikroorganismy mohou



produkovat antibiotika a další sloučeniny, které potlačují růst škodlivých patogenů a chrání rostliny před infekcí. Například některé bakterie patřící do rodu *Pseudomonas* jsou schopny kontrolovat choroby rostlin jako jsou kořenové hniloby rychlou kolonizací kořenů, produkcí antimykotických antibiotik a vyvoláním systémové rezistence u rostlin (Głodowska & Wozniak 2019).

Ahmed et al. (2021) ve svém experimentu potvrdili přítomnost *Streptomyces lincolnensis* jako indikační druh spojený s kořeny konopí. Dále z druhů prospěšných hub identifikovali *Trichoderma hamatum* a *Metarhizium marquandii*.

U *Streptomyces sp.* jsou popsány schopnosti potlačovat rostlinné patogeny a stimulace rostlinného růstu díky syntéze regulátorů růstu rostlin, produkce sideroforů, produkce antibiotik, vylučování těkavých látek a konkurence o živiny (Olanrewaju & Babalola 2019).

U *Trichoderma. hamatum* bylo prokázáno, že má biokontrolní aktivitu a potenciál rozsáhle zvyšovat biomasu rostlin v zemědělské praxi například u salátu podporuje jeho růst v půdě s nízkým pH a chudé na živiny a chrání před chorobami způsobenými *Rhizoctonia solani* a *Sclerotinia sclerotiorum* (Ahmed et al. 2021). Podle zjištění některých výzkumníků mohou některé druhy *Trichoderma spp.* ničit rostlinné patogeny a zlepšovat růst rostlin. Kromě toho byla prokázána schopnost *Trichoderma spp.* detoxikovat toxické sloučeniny a urychlit rozklad organického materiálu (Zin & Badaluddin 2020).

U *Metarhizium marquandii* bylo upozorováno, že rozpouští fosfor a produkuje kyselinu indol-3-octovou, která patří mezi přirozeně vyskytující se fytohormon označovaný jako auxin. Ten přispívá k růstu rostlin (Baron et al. 2020).

### 3.2 Kompost a vermikompost

**Kompost** je výsledný produkt vzniklý řízeným aerobním rozkladem organických látek, při kterém vstupní organický materiál podléhá mikrobiálnímu působení při mezofilních i termofilních teplotách, což výrazně snižuje životaschopnost patogenů. Kompost má širokou škálu chemických vlastností, jež jsou výsledkem použité metody kompostování a složení a původu použitých biologicky rozložitelných materiálů. Tradičně se kompostovaly odpady rostlinného materiálu, v posledních dekádách se kompostuje i zemědělský odpad, odpad ze zahrad a z údržby zeleně, gastroodpad, biologicky rozložitelný komunální odpad, čistírenské kaly, a dokonce i pevná statková hnojiva. Začlenění těchto organických odpadů do kompostu umožňuje recyklovat a znovu využít prvky s agronomickou hodnotou, které by jinak skončily na skládkách. Recyklace těchto organických odpadů a výroba kompostu snižuje závislost na omezených zdrojích a podporuje udržitelné zemědělské postupy (Gondek et al. 2020).

**Vermikompost** je v podstatě kompost s rozdílem, že vstupní materiály jsou rozkládány s pomocí speciálních druhů žížal a bakteriálního společenstva v jejich trávicím traktu. Dalším rozdílem je, že by teplota vermikompostování neměla nepřekročit 35 °C, poněvadž v takovém případě žížaly hynou. Optimální teplota se pohybuje mezi 20 a 25 °C (Hanč et al. 2022). To znamená, že kvůli žížalám vermikompostování postrádá termofilní fázi kompostování. Nicméně tuto fázi lze kompenzovat předkompostováním (Rékási et al. 2019). Aeraci zajišťují přímo žížaly vytvářením průchodů ve vermikompostovaném materiálu. Tím dochází k rozrušování organické hmoty, u které se mění fyzikální a chemické vlastnosti, zejména postupným snižováním poměru C:N a zvětšováním plochy vystavené působení

mikroorganismů (Hanč et al. 2022). Vermikompostování lze použít jako alternativu nebo doplněk kompostování (Rékási et al. 2019).

Některé výzkumy ukazují, že vermikomposty obsahují více humifikovaných, stabilních organických látek než komposty. Mají delší hnojivý účinek díky pomalejšímu uvolňování živin a obsahují vyšší koncentrace regulátorů růstu rostlin, které mají pozitivní vliv na růst rostlin. Nicméně komposty a vermikomposty lze správně porovnat pouze tehdy, pokud jsou vyrobeny ze stejné směsi materiálů (Rékási et al. 2019).

Tabulka 2 ukazuje požadavky na minimální obsahy vybraných látek ve vermikompostu stanovené Vyhláškou Ministerstva zemědělství 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva.

Tabulka 2: požadavky na vermikompost podle vyhlášky 474/2000 Sb.

<b>požadovaná hodnota</b>	<b>forma</b>	<b>hodnocené součásti a další požadavky</b>
min. 35 %	spalitelné látky	spalitelné látky v sušině hodnocené jako ztráta žiháním
min. 1 %	celkový dusík	dusík hodnocený jako celkový v sušině
min. 0,7 %	celkový fosfor	fosfor hodnocený jako celkový oxid fosforečný v sušině
min. 1 %	celkový draslík	draslík hodnocený jako celkový oxid draselný v sušině

### 3.2.1 Vliv kompostování čistírenských kalů na výsledné vlastnosti kompostu

Chemické složení čistírenských kalů se liší v závislosti na několika faktorech, jako je původ odpadních vod, použité procesy čištění a způsoby post-úpravy. Obecně čistírenský kal je směs dvou nebo více nerozpuštěných odpadních látek organické a anorganické povahy ve vodě, které dohromady tvoří heterogenní suspenzi. Organické a anorganické látky v kalu tvoří kalovou sušinu, která po biologickém stupni čištění zřídka překročí 10 % (Černý et al. 2014).

Organický podíl v čistírenských kálech zahrnuje bílkoviny, sacharidy a lipidy. Organické látky v čistírenských kálech jsou biologicky rozložitelné, takže jsou potenciálním zdrojem živin a energie. Organické látky v čistírenském kalu lze dále rozdělit na těkavé a netěkavé frakce. Těkavá frakce je snadno biologicky rozložitelná a přispívá k produkci bioplynu během anaerobní digesce. Netěkavá frakce je odolnější vůči biologickému rozkladu a přispívá k výrobě kompostu (Usman et al. 2012)

Při kompostování čistírenských kalů dochází k jejich přeměně, která má za následek změny jejich chemického složení, včetně obsahu makroživin. Proces kompostování obecně vede k rozkladu organických látek, což vede ke snížení obsahu uhlíku. Uhlík je totiž primární složkou organické hmoty a při jejím rozkladu se uvolňuje do atmosféry ve formě oxidu uhličitého. Proto se čistírenské kaly nekompostují samostatně, nýbrž se do směsi často přidávají další objemové organicky rozložitelné komponenty s vyšším obsahem uhlíku v sušině, jimiž jsou např. sláma a různé traviny. Ty kromě uhlíku přinášejí do kompostovací směsi další důležité vlastnosti jako je nízká vlhkost, která ve výsledné směsi balancuje nežádoucí vysokou vlhkost čistírenských kalů a zároveň směs kypří (Zhao et al. 2016).

V kompostovací směsi se může snížit celkový obsah dusíku v důsledku uvolňování a volatilizace amoniaku během procesu kompostování. Pokud je však proces kompostování řízen správně, může se obsah dusíku zachovat, a dokonce zvýšit díky podpoře mikrobiální aktivity. Ztráta dusíku během kompostování nastává nejčastěji v důsledku nedostatečné činnosti nitrifikačních mikroorganismů. Nitrifikace je kritickým krokem k urychlení přeměny

amoniakálního dusíku na oxidované formy dusíku – dusitany a dusičnany, a dále ke snížení úniku amoniaku (Zhao et al. 2020).

V případě fosforu může proces kompostování čistírenských kalů zvýšit jeho obsah v důsledku rozkladu organických látek. Podobný efekt lze pozorovat i u obsahu draslíku (Zhao et al. 2016).

Zhao et al. (2016) ve své studii podrobili analýzám kompost z čistírenských kalů s přidavkem různých druhů slámy. Přičemž zjistili, že pH výsledného kompostu se pohybuje v rozmezí 6,93 – 7,82; obsah organické hmoty v jednom kilogramu kompostu se pohybovala mezi 364,82 – 415,41 g; obsah celkového dusíku byla naměřena v rozmezí 16,74 – 20,05 g/kg; obsah celkového fosforu 11,05 – 11,73 g/kg a obsah celkového draslíku kolem 19 – 31,64 g/kg viz. Tabulka 3.

Tabulka 3: Kvalita výsledného kompostu s přidavkem slámy (Zhao et al. 2016)

Přídavek	pH	OH	N-celk.	P-celk.	K-celk.
	-	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Řepková sláma	7,11	415,41	16,74	11,15	31,64
Obilná sláma	6,93	364,82	17,21	11,05	19
Kukuřičná sláma	7,03	412,04	20,05	11,73	22,93
Rýžová sláma	7,82	391,35	18,63	11,22	25,32

OH organická hmota  
N-celk. celkový obsah dusíku

P-celk. celkový obsah fosforu  
K-celk. celkový obsah draslíku

### 3.2.2 Legislativa aplikace kompostu a vermikompostu

Uvádění kompostu a vermikompostu do oběhu, jejich registrace a podrobnosti o nakládání s nimi podléhá Zákonu o hnojivech č. 156/1998 Sb. Tento zákon stanovuje maximální dobu uložení kompostu na zemědělské půdě na 24 měsíců na místech vhodných k jejich uložení schválených v havarijním plánu podle vodního zákona. Opakované uložení kompostu na stejném místě zákon povoluje nejdříve po 3 letech.

Aplikace kompostu a vermikompostu jako organického hnojiva na zemědělskou půdu v podmínkách ČR se řídí Vyhláškou Ministerstva zemědělství o stanovení požadavků na hnojiva č. 474/2000 Sb. Vyhláška stanovuje limitní hodnoty rizikových prvků obsažených v kompostu, přičemž podíl odpadů z čistíren odpadních vod v surovinové skladbě konečné šarže hnojiva při výrobě kompostů nesmí přesahovat 40 % hmoty.

### 3.3 Kvalitativní vlastnosti kompostů a vermikompostů

Komposty se používají především jako půdní přísady ke zlepšení kvality půdy pro různé zahradnické a zemědělské účely a k ochraně půdy před erozí. Existuje řada měřitelných parametrů kompostu, které souvisejí se schopností a kapacitou kompostu plnit tyto funkce, jimiž jsou pH, obsah rozpustných solí, zralost, stabilita, obsah organické hmoty, obsah a forma živin, poměr C/N, velikost částic, kationtová výměnná kapacita a přítomnost životaschopných semen plevelů. Tyto parametry jsou svázány s vlastnostmi a procesy půdy a pěstebního média, do kterých je kompost aplikován (Stehouwer et al. 2022).

### 3.3.1 Zralost a stabilita

Kvalitu výsledného kompostu z části ovlivňuje samotný proces kompostování, hlavním faktorem je však surovinová skladba vstupních materiálů. Vyzrálý kompost se vyznačuje tmavě hnědou hmotou a stabilitou – rozkladné děje již dále nepůsobí. Zralost označuje stupeň dokončení kompostovacího procesu. Kompost, který není plně vyzrálý, může obsahovat fytotoxické sloučeniny, jako je amoniak, organické kyseliny nebo jiné rozpustné sloučeniny v množství, které může nepříznivě ovlivnit klíčení semen, vývoj semenáčků a kořenů nebo způsobit zápach (Wichuk & McCartney 2010).

### 3.3.2 pH

Aplikací kompostu na zemědělskou půdu lze zvýšit výnos plodin a obsah organické hmoty v půdě díky širokému spektru živin v kompostovaných materiálech a přítomnosti prospěšných mikroorganismů podporujících růst rostlin. Zejména vhodná je jeho aplikace na chudých půdách, se slabým humusovým horizontem. Kompost lze považovat za užitečný materiál při zvyšování pH kyselých půd, dále zlepšuje fyzikální, chemické a biochemické vlastnosti zasolené půdy (Ho et al. 2022).

V kyselých půdách (pH <5) mívají kořeny rostlin omezený přístup k vodě a živinám z půdy. Aplikací kompostu na kyselé půdy lze dosáhnout zpřístupnění Ca, Mg, P, Mo a Si pro rostliny tím, že imobilizuje hliník a železo, čímž se půda stává méně toxickou pro rostliny (Foy 1992).

Hodnota pH kompostu je ovlivněna chemickými faktory. Většina kompostů má neutrální až mírně zásadité pH. Podle Nafez et al. (2015) se pH hodnota vyzrálého kompostu pohybuje v hodnotách kolem 6–8,5. Přičemž pH hodnota vyšší než 8 je často spojena s vysokým obsahem sodíku v kompostu (Stehouwer et al. 2022).

Stehouwer et al. (2022) zdůrazňuje, že pH je měřítkem aktivní kyselosti (kyselosti v roztoku) a neposkytuje žádné informace o pufrací kapacitě kompostu. Samotná hodnota pH tedy může pouze předpovědět směr změny pH půdy, která by mohla nastat v důsledku aplikace kompostu, ale ne to, jak velká tato změna bude. Půdy se navíc značně liší svou schopností pufrovat změny pH. Půdní pufrovací kapacita pH má tendenci se zvyšovat s rostoucím obsahem jílu a OH. Proto kompost s vysokým pH aplikovaný na písčitou půdu s nízkým pH pravděpodobně zvýší pH půdy, ale stejný kompost aplikovaný ve stejné míře na těžkou jílovitou půdu s nízkým pH může vést k malé nebo žádné změně pH půdy.

### 3.3.3 Organická hmota

Obsah organické hmoty je jeden z kritických kvalitativních parametrů kompostu a vermikompostu, jelikož tyto materiály se často používají ke zvýšení obsahu organické hmoty (OH) v půdě. Pro takové použití jsou žádoucí komposty se zvýšeným obsahem OH nebo organického uhlíku (OC) (Stehouwer et al. 2022).

### 3.3.4 Živiny

Co se týče obsahu živin, v porovnání se synteticky vyráběnými minerálními hnojivy mají komposty nižší obsah živin. Komposty a vermikomposty disponují rostlinnými makroživinami, kterými jsou dusík (N), fosfor (P) a draslík (K), vápník (Ca), hořčík (Mg) a síra (S), a zároveň také mnoha mikroživinami. Nicméně v kompostech jsou tyto živiny přítomny převážně v organických formách (zejména N, S a P) nebo jsou organicky vázány. Organické formy živin jsou pro rostliny dostupné až po jejich přeměně na anorganické formy během rozkladu OH (mineralizaci). Rychlost rozkladu je silně ovlivněna strukturou půdy a podmínkami prostředí (teplota, vlhkost, provzdušnění), v nichž je kompost používán, a také vlastnostmi kompostu (stabilita, zralost, poměr C/N/P) (Stehouwer et al. 2022).

Fornes et al. (2012) ve svém studii porovnali obsah živin v kompostech a vermikompostech o stejném složení (směs rostlinných zbytků rajčat a mandlových skořápek v poměru 75:25). Výsledky studie ukázaly, že komposty byly nutričně bohatší než vermikomposty.

#### Dusík

Dusík ve většině kompostů a vermikompostů je přítomen ve formě organického dusíku (1–3 % sušiny) a velmi malé množství (do 500 mg/kg sušiny) je přítomno v anorganických formách amonného kationtu ( $\text{NH}_4^+$ ) a dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ) (Stehouwer et al. 2022). Rostliny mohou dusičnany snadno přijímat. Amonný kationt je rovněž pro rostliny dostupný, ale ne všechny druhy rostlin mají k amonnému kationtu afinitu. Nicméně vysoká koncentrace amoniakálního dusíku jakožto důsledek nezralosti kompostu už může být pro rostliny toxická (Rapisarda et al. 2022).

Aby rostliny mohly organické formy dusíku využít, musí být mineralizovány na anorganické formy. Ve vyzrálých kompostech je až 10 % celkového dusíku přítomno v minerální formě a je okamžitě k dispozici rostlinám. Další 5-10 % organického dusíku je mineralizováno během prvního roku (Stehouwer et al. 2022). Míra mineralizace v následujících letech klesá, pokud se kompost každoročně neaplikuje. Jednorázové aplikace kompostu a vermikompostu vykazují obvykle nízkou míru mineralizace a účinnost využití dusíku, která se výrazně zlepšuje při opakovaných aplikacích kompostu (Amlinger et al. 2003). Míra mineralizace dusíku může být vyšší u kompostů a vermikompostů vyrobených ze surovin bohatých na dusík, jako je hnůj a čistírenské kaly, a nižší u kompostů získaných ze surovin bohatých na uhlík, jako je zelený odpad z údržby zeleně nebo dřevěné hobliny. Rychlost mineralizace dána také faktory půdního prostředí. Probíhá rychleji za teplých a vlhkých podmínek a pomaleji za horkých a suchých nebo chladných a vlhkých podmínek (Ozores-Hampton et al. 2022).

Výsledky studie, kterou provedli Hanč a Drešlová (2016) ukazuje, že čistírenské kaly zpracované vermikompostováním mají vyšší koncentrace celkového a přístupného dusíku a fosforu než po kompostování.

#### Fosfor

Podobně jako v případě dusíku není velká část fosforu ve vyzrálých kompostech a vermikompostech snadno dostupná pro rostliny, protože je obsažena v organické hmotě. Ne všechny fosfor mineralizovaný z organické hmoty je však dostupný pro příjem rostlinami,

neboť část fosforu uvolněného z organické hmoty mikrobiálním a chemickým působením je rychle znepřístupněna vazbou s jinými prvky v půdě (Mangan et al. 2013). Dle Stehouwer et al. (2022) u většiny kompostů je během prvního roku po aplikaci pro rostliny k dispozici maximálně 50 % celkového fosforu, přičemž mnohem větší podíl se stane dostupným až v průběhu tří let.

### **Draslík**

Draslík ve vyzralých kompostech a vermikompostech je pro rostliny mnohem dostupnější než dusík a fosfor, protože není vázán na organickou hmotu. Nicméně velká část draslíku se však může kvůli dobré rozpustnosti z kompostů a vermikompostů vyplavit. Obecně se předpokládá, že veškerý obsah draslíku v těchto materiálech se stane dostupným pro příjem rostlinami během tří let (Mangan et al. 2013).

Ve studii, kterou provedli Hanc & Vasak (2015), bylo zjištěno, že obsah přístupného draslíku a fosforu se vermikompostováním anaerobně stabilizovaných čistírenských kalu zvyšuje.

#### **3.3.4.1 Poměr C/N**

Hmotnostní poměr organického uhlíku a dusíku v kompostech a vermikompostech je důležitý především proto, že podle něj lze předpovědět, zda organický dusík v těchto materiálech bude mineralizován na anorganické formy dostupné rostlinám a zda hrozí riziko jeho imobilizace (Janssen 1996).

Obecné pravidlo říká, že pokud je poměr C/N menší než 20:1, kompost a vermikompost jsou považovány za vysoce kvalitní, protože jejich rozklad vede k mineralizování organického dusíku a tím se zvýší obsah dostupných živin pro rostliny. Kompost a vermikompost s vysokým poměrem C/N nad 30:1 je obecně považován za méně kvalitní, protože jeho rozklad může být pomalejší, což vede k menšímu uvolnění množství živin pro rostliny. S rostoucím poměrem nad 25 roste pravděpodobnost, že kompost a vermikompost budou imobilizovat anorganický dusík v půdě. V podstatě se jedná o to, že mikrobiální společenstva potřebují zabudovat do svých tkání vlastní dusík, což může způsobit, že po určitou dobu nebude pro rostliny dostupný, dokud neodumřou a nerozloží se. K imobilizaci dusíku dochází tam, kde je dostatek uhlíku, ale nedostatek dusíku pro mikrobiální i rostlinné populace. Mikroorganismy jsou obvykle mnohem lepší v soutěži o dostupný dusík než rostliny, což má významné důsledky pro produkci plodin (Hamilton & Anderson 2015).

Zatímco mnoho kompostů má poměr C/N v rozmezí 10 až 20:1, některé komposty a vermikomposty vyrobené ze zahradních odřezků mají poměr C/N vyšší než 20. Obecně platí, že se snižujícím se poměrem C/N se zvyšuje využitelnost N při aplikaci kompostu. Skutečné množství a rychlost uvolňování anorganického dusíku z kompostu však závisí také na celkovém obsahu N a stabilitě kompostu. Tento poměr platí i pro organický uhlík, který je náchylný k mikrobiálnímu rozkladu (Stehouwer et al. 2022).

Assirelli et al. (2023) ve svém dvouletém experimentu, kde aplikovali kompost z odpadu z údržby zeleně a zemědělských zbytků na kambizemní typ půdy, zaznamenali významný nárůst prospěšné mikrobiální biomasy a celkového uhlíku v těchto půdách. Zvýšení prospěšné

mikrobiální aktivity mělo za následek snížení vlivu přirozených kořenových patogenů, a tedy zvýšení supresivity půdy.

### 3.3.4.2 Rizikové látky a jejich dostupnost

Procesy kompostování a vermikompostování se odstraňuje mnoho rizik spojených se vstupními substráty. Rizikové látky disponují schopností negativně ovlivňovat kvalitu výsledného kompostu. S tím souvisí potenciální kontaminace půd, posléze snížení výnosnosti a kvality hnojených rostlin. Dlouhodobá akumulace rizikových látek v půdním prostředí je nebezpečné, protože mohou mít významné důsledky pro půdní mikrobiální procesy a po aplikaci mají velmi dlouhou dobu setrvání v půdě (Smith 2009).

Rostliny mohou rizikové látky hromadit v pletivech. To pro konečné konzumenty tak představuje zdravotní riziko. Mezi rizikové látky se řadí patogeny, organické kontaminanty a anorganické kontaminanty. Pokud je dodržena termofilní fáze, patogeny se v kompostovací směsi účinně eliminují. Mnoho organických kontaminantů, jako jsou antibiotika, se během kompostování podstatně rozkládá. Anorganické kontaminanty jako např. rizikové stopové prvky, sklo, plasty však v konečném produktu zůstávají, protože se nerozkládají (Stehouwer et al. 2022).

Dle Smith (2009) nebezpečí rizikových prvků v některých kompostech je věnována velká pozornost. Některé prvky ve vyšší koncentraci mohou vykazovat toxicitu. Hlavní prvky, které obecně vzbuzují obavy v souvislosti s aplikací kompostů do půdy jsou Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr a Hg. Tabulka 4 ukazuje hlavní „end-points“ pro výše uvedené prvky ve všech organických zbytkových materiálech včetně kompostu aplikovaných do půdy.

Tabulka 4: end-point rizikových prvků v kompostech (Smith 2009)

Inhibice růstu rostlin – akumulace v pletivech nad tolerovatelné prahové hodnoty	Zn, Cu, Ni, Cr
Lidské zdraví – konzumace plodin	Cd
Lidské zdraví – přímé požití kompostu dětmi, např. na domácích zahrádkách	Cd, Pb, Hg
Lidské zdraví – konzumace vnitřností zvířat, která požila půdu ošetřenou kompostem	Cd, Pb
Zdraví zvířat	Cu, Pb
Půdní mikrobiální procesy	Zn

Některé komposty a vermikomposty mohou obsahovat zvýšené hodnoty některých rizikových prvků. To vše záleží na vstupním materiálu. Například prasečí hnůj má často vysoký obsah mědi kvůli doplňkům stravy prasat. Rostlinné materiály mají obvykle velmi nízké koncentrace rizikových prvků. Velmi vysoké obsahy mědi má však ošetřené dřevo (Stehouwer et al. 2022).

Obecně se uvádí, že dlouhodobou aplikací kompostů se v půdě zvyšuje koncentrace prvků a změny v jejich distribuci. Tím se zároveň zvyšuje koncentrace prvků v tkáních rostlin rostoucích na dané půdě. Byly zdokumentovány případy, kdy se při opakovaných aplikacích kompostu zvýšil obsah prvků jako je například bór na toxické hodnoty (Mangan et al. 2013). Dostupnost v půdě závisí na fyzikálně-chemických vlastnostech půdy (např. hodnotě pH), povaze chemické vazby kovu s organickou hmotou a půdní maticí, koncentraci kovů v kompostu a půdě a schopnosti rostlin regulovat jejich příjem. Například zinek relativně labilní

a snadno se přenáší do rostlinných tkání. Měď má naopak tendenci být v půdě silněji sorbována a rostliny regulují příjem tohoto prvku účinněji než Zn. Proto jsou koncentrace a dostupnost Cu v rostlinných tkáních obvykle mnohem nižší (Smith 2009).

Maximální možné koncentrace vybraných rizikových prvků v podmínkách ČR jsou stanoveny Vyhláškou Ministerstva zemědělství 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva (Tabulka 5).

Tabulka 5: maximální limity vybraných rizikových prvků pro organická a statková hnojiva se sušinou  $\geq 13$  %

prvek	množství
-	mg/kg sušiny
kadmium	2
olovo	100
rtuť	1
arsen	30
chrom	100
měď	150
nikl	50
zinek	600

### 3.3.4.3 Obsah rozpustných solí

"Rozpustné soli" označují koncentraci rozpuštěných iontů. Tyto rozpuštěné ionty jsou zdrojem živin pro příjem kořeny rostlin. Příliš vysoká koncentrace rozpustných solí může bránit rostlinám v příjmu vody kvůli velkému osmotickému potenciálu. Rozpuštěné ionty, jako je  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  ionty mohou být pro rostliny přímo toxické. Druhy rostlin se značně liší v toleranci vůči zasolení (Mořková et al. 2013).

Vysoká salinita půdy může být škodlivá pro růst a vývoj rostlin kvůli toxicitě soli a nedostatku organických a minerálních živin v těchto půdách. Solný stres může narušit růst rostlin prostřednictvím osmotického stresu a toxicity solných iontů. Pro zmírnění tohoto jevu lze do půdy přidávat kompost a vermikompost, které zvyšují retenční vodní kapacitu, kationtovou výměnnou kapacitu a dostupnost makro- a mikroživin. Vysoký obsah organických látek v kompostu navíc zvyšuje mikrobiální aktivitu v půdách s vysokou salinitou. Pro rostliny je tak k dispozici více živin, což v konečném důsledku zlepšuje růst a výnos plodin (Ho et al. 2022)

Zdrojem solí v kompostu jsou vstupní suroviny, přičemž hnůj a gastroodpad obecně obsahují více solí než listí a odpad z údržby zeleně. Rozpustné soli v konečných kompostech a vermikompostech jsou však také ovlivněny například poměrem vstupních surovin, rozsahem vyluhování a zda se výluhy vrací zpět do kompostu (Gondek et al. 2020).

Půdy a jiné pěstební substráty, do kterých se komposty a vermikomposty přidávají, mají obvykle nižší obsah rozpustných solí a často ředí nebo zmírňují obsah solí v kompostech a vermikompostech. Je velmi důležité, aby kombinovaný obsah rozpustných solí ve směsi kompostu/vermikompostu a půdy nebo pěstební substrátu zůstal po aplikaci kompostu nízký.



Rozpustné soli lze z půdy nebo pěstebního substrátu často odstranit vyluhováním vodou (Stehouwer et al. 2022).

### 3.3.5 Velikost částic

Velikost částic je jednou z dalších vlastností kompostů a vermikompostů, která ovlivňuje jejich kvalitu pro další využití. Pro většinu použití jako půdní aditivum je vyhovující maximální velikost částic 13 mm. Pro většinu použití ve směsi zahradnických substrátů je zapotřebí jemnější materiál s maximální velikostí částic 7 až 10 mm. Pro protierozní aplikace a použití jako mulč při pěstování vinné révy a stromů je žádoucí mnohem hrubší materiál. Obvykle jsou přijatelné částice o velikosti až 25 mm (Stehouwer et al. 2022).

## 3.4 Konopí seté (*cannabis sativa*)

Konopí seté je jednoletá dvoudomá rostlina z čeledi konopovité (*Cannabaceae*) pocházející ze střední Asie. Konopí se tradičně pěstuje pro svá semena a vlákno a uplatnění nachází v textilním průmyslu, potravinářství a při výrobě esenciálních olejů (Rehman et al. 2013). Potenciální uplatnění nalézá konopí i v bioremediaci kontaminovaných půd. Jako bioakumulátor váže z půdy těžké kovy jako např. měď, kadmium, olovo a zinek. Tento proces je ovlivněn několika faktory včetně pH půdy, obsahu jílu a bilance živin (Wielgusz et al. 2022).

Konopí poskytuje vysoký výnos biomasy na plochu a jeho obsah celulózy je vyšší než u mnoha jiných lignocelulóзовých plodin. Vlákna obsahují celulózu (55 %), hemicelulózu (16 %), pektinové polysacharidy (18 %) a lignin (4 %). Vysoký obsah sacharidů v konopné biomase z něho činí potenciálního kandidáta na bioenergetickou plodinu pro výrobu lignocelulóзовých biopaliv (Rehman et al. 2013).

Sezóna setí technického konopí v zeměpisných podmínkách ČR je optimální v druhé polovině května. Toto období výsevu umožňuje, aby se období vegetativního růstu shodovalo s optimálními teplotami a nejdelšími dny potřebnými k oddálení kvetení a maximalizaci růstu stonků. Dřívější nebo pozdější setí omezuje růst a výnosy, kvůli nízkým teplotám nebo nedostatečnému slunečnímu svitu. Předčasné kvetení může vést ke snížení konečného výnosu, protože rostlina potlačuje vegetativní vývoj, čímž předčasně ukončí prodlužování stonků. Dalšími faktory podílející se na konečném výnosu a kvalitě konopí jsou hustota osázení, minerální výživa a zavlažovací režim. (Tsaliki et al. 2021).

Nejvhodnější půda pro pěstování konopí by měla mít pH 6,0 – 7,5. Půda by měla být hluboká, provzdušněná, bohatá na organickou hmotu a mít dobrou schopnost zadržovat vodu. Ideální půdní typy jsou tedy hlinité a písčitohlinité půdy (Adesina et al. 2020).

Teplota hraje u konopí zásadní roli v různých fázích růstu. Nejlépe roste v průměrných denních teplotách vzduchu mezi 16 a 27 °C, snáší ale i chladnější a teplejší podmínky. Například při nízkých teplotách 8 – 10 °C trvá klíčení semen 8 – 10 dní. Mladé semenáčky s 8 – 10 listy snášejí určité vystavení mrazu, obvykle do -5 °C (Adesina et al. 2020).

Konopí vyžaduje vydatou závlahu po celé vegetační období. Kritické je především období prvních šesti týdnů, kdy se mladé rostlinky zakořeňují. Po úspěšném zakořenění rostliny snesou i sušší podmínky. Velké sucho však může negativně uspišit dozrávání a způsobit produkci

rostlin menšího vzrůstu. V ideálním případě konopí vyžaduje 630 až 750 mm srážek ročně. Potřeba vody a její příjem plodinami se liší v závislosti na druhu odrůdy, typu půdy, klimatických podmínkách a způsobu hospodaření. Kořeny konopí jsou schopny pronikat až do 2 až 3 m hloubky půdy, aby získaly vláhu. Studie provedená v Evropě uvádí, že výnos konopí silně závisí na množství srážek mezi červnem a červencem (Adesina et al. 2020).

Konopí si žádá značné množství živin. Náročnost na živiny roste se vzrůstem odrůdy. Kára et al. (2005) uvádí, že sklizní 10 t/ha stonků a 0,9 t/ha semen se odejme cca 114 kg/ha dusíku, 86 kg/ha fosforu, 123 kg/ha draslíku a 245 kg/ha vápníku. Konopí pěstované na vlákno nepotřebuje tolik fosforu jako konopí pěstované na semeno. (Kára et al. 2005). Tabulka 6 ukazuje výnosy konopí setého na 1 hektar v podmínkách ČR podle Kára et al. (2005)

Tabulka 6: Výnosy konopí setého v podmínkách ČR (Kára et al. 2005)

Rostlinná část*	Množství t/ha	*Z toho -	Množství t/ha
Stonky	5 – 7 t (až 13)	Pazdeří	1,5 – 4,0
		Vlákná	0,5 – 1,2
		Semena	0,8 – 1,4

V následující tabulce (Tabulka 7) jsou údaje o průměrném odběru základních živin v nadzemní biomase podle metodiky pěstování konopí setého v podmínkách ČR podle Bjelkové et al. (2017).

Tabulka 7: Průměrný odběr živin

Rostlinná část	N	P	K	CaO
-	kg	kg	kg	kg
1 t suchých stonků	19	5	12	15
1 t semene	64	17	42	62

Bjelková et al. (2017) dále zdůrazňují, že hořčík je také důležitým prvkem ve výživě konopí, který ovlivňuje jeho konečný výnos. Podle autorů má konopí seté na něj mimořádně vysoké nároky a na jeho nedostatek reaguje chlorózou listů. Nedostatek hořčíku se nejpravděpodobněji vyskytuje v období silných dešťů a v písčitéch půdách.

## 4 Metodika

### 4.1 Použité komponenty

Pro účel diplomové práce byly založeny nádobové vegetační experimenty v zastřešené hale. Do nádob byla použita půda - černozem a jako testované hnojivo komposty, vermikomposty a předkompostované vermikomposty s různým podílem čistírenských kalů a slaměných pelet (100 %, 75 %, 50 %, 25 % hm.) spolu s kontrolou (zemina bez přídavku kompostu). Nádoby byly osety konopím setým. Na konci vegetace byly rostliny sklizeny a připraveny k analýzám. Byla odebrána i zemina, ve které se analyzovaly základní agrochemické parametry.

#### 4.1.1 Zemina z pole u Brandejsova statku, Praha - Suchdol

Použitá zemina pro účely této práce má původ v Praze – Suchdole - pole u Brandejsova statku označená jako černozem. V závislosti na geologickém složení horninového podloží je v oblasti odběru nejčastější půdní typ černozem, což koresponduje s avizovaným tvrzením (Ministerstvo životního prostředí 2023).

Černozem je definována jako půda tmavě hnědého nebo černého zbarvení, bohatá na organické látky. Hlavním rysem černozemě je hluboký organický horizont (nejméně 40 cm) s aktivním edafonem a bohatou zásobou živin. Černozemě mají vysokou sorpční kapacitu a nasycenost bázemi, zejména  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  je vysoká. Hodnota  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  černozemí se pohybuje kolem 7 a struktura agregátů je stabilní. Černozemě se vyvíjejí na karbonátovém podloží, nejčastěji na spraši. Výskyt černozemí souvisí s dlouhodobým vlivem mírného kontinentálního klimatu, kde je roční úhrn srážek 250 – 600 mm. Roční srážky jsou o něco menší než výpar, což zajišťuje malé vyplavování živin (Strouhalová et al. 2019). Černozem je velmi úrodná a ceněná pro svůj vysoký zemědělský potenciál (Vysloužilová et al. 2016).

Černozemě jsou převážně hlinité půdy, což z nich činí středně těžké půdy. Obsah jílu v černozemi se pohybuje mezi 15 a 20 %. Zdrojem humusu jsou rostlinné zbytky bohaté na dusík. Poměr C/N v černozemi je přibližně 10:1 (Vysloužilová et al. 2016). V následujících tabulkách jsou uvedeny naměřené základní charakteristiky použité zeminy.

Tabulka 8: Základní charakteristika použité zeminy

půdní typ	půdní druh	hmotnost	sušina	průměrná $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	průměrná $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$	průměrná EC
-	-	g	%	-	-	$\mu\text{s}/\text{cm}$
černozem	středně těžká	5361	92,76	8,14	7,37	0,11

$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$       aktivní pH  
 $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$      výměnné pH  
EC              elektrická vodivost

Tabulka 9: Průměrný obsah vybraných sledovaných živin v použité zemině

<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
5754,0	193,4	54,2	369,8

#### 4.1.2 Kompost

Při pokusu, kterým se zabývá tato diplomová práce, bylo použito celkem 5 variant kompostů, které byly vyrobeny v roce 2020. Surovinová skladba byla tvořena čistírenským kalem a slaměnými peletami v různých poměrech (100, 75, 50 a 25 % hm.). Čerstvý nesteabilizovaný čistírenský kal použitý v pokusech pocházel z čistírny odpadních vod v České republice, kde žijí tisíce lidí, a měl obsah sušiny 13,3 %. Sušenou peletovanou pšeničnou slámu o průměru 10 mm poskytla společnost Granofyt s.r.o., která ji vyrobila v roce 2003 (Chrástky, Česko). Slaměné pelety byly předupravené navlhčení vodou (Dume et al. 2021). Poměry surovin a označení variant znázorňuje následující tabulka (Tabulka 10) (Picková 2021).

Tabulka 10: Varianty kompostů (Picková 2021)

<b>Varianta</b>	<b>Suroviny</b>
K1	kal 100 % hm.
K2	kal 75 % hm. + pelety 25 % hm.
K3	kal 50 % hm. + pelety 50 % hm.
K4	kal 25 % hm. + pelety 75 % hm.
K5	pelety 100 % hm.

K kompost

Suroviny byly zhomogenizovány v různých poměrech, celkem 5 variant. Následně byly na 4 měsíce podrobeny mikrobiálnímu rozkladu za přítomnosti vzduchu v aerobních fermentorech. Fermentory byly v prvních 14 dnech každých 30 minut provzdušňovány rychlostí 4 l/min po dobu 5 minut a od 15. dne každé 3 minuty při stejné intenzitě. Zralé varianty kompostů byly podrobeny analýzám, při kterých byly zjištěny celkové obsahy vybraných prvků v sušině (Tabulka 11), obsahy vybraných přístupných prvků (Tabulka 12), poměr C/N (Tabulka 13), elektrická vodivost a hodnoty pH (Tabulka 14) (Picková 2021).

Tabulka 11: Průměrný celkový obsah prvků v sušině v jednotlivých variantách kompostů (Picková 2021)

Varianta	Mg	K	P
-	mg/kg	mg/kg	mg/kg
K1	6627	6239	28953
K2	6000	8151	24127
K3	4635	10972	17327
K4	3705	13293	11179
K5	1704	16611	1931

Tabulka 12: Průměrný obsah přístupných prvků v sušině v jednotlivých variantách kompostů (Picková 2021)

Varianta	Mg	K	P
-	mg/kg	mg/kg	mg/kg
K1	417	2287	1422
K2	831	3942	1008
K3	692	5193	1158
K4	811	7847	816
K5	320	12200	116

Tabulka 13: Průměrný poměr C/N v jednotlivých variantách kompostů (Picková 2021)

Varianta	poměr C/N
-	-
K1	6,5
K2	8,7
K3	9,7
K4	11,6
K5	23,7

Tabulka 14: Průměrné hodnoty elektrické vodivosti a pH v jednotlivých variantách kompostů (Picková 2021)

Varianta	EC	pH
-	μs/cm	-
K1	2137	8,5
K2	1296	8,4
K3	1202	8,2
K4	678	7,7
K5	958	8,3

### 4.1.3 Vermikompost

V rámci pokusu, kterým se zabývá tato diplomová práce bylo použito 5 rozdílných variant verмикompostů z čistírenských kalů a slaměných pelet v různém poměru (100, 75, 50 a 25 % hm.). Vermikomposty byly vyrobeny v roce 2020. Čerstvý nestabilizovaný čistírenský kal použitý v pokusech pocházel z čistírny odpadních vod v České republice, kde žijí tisíce lidí, a měl obsah sušiny 13,3 %. Sušenou peletovanou pšeničnou slámu o průměru 10 mm poskytla společnost Granofyt s.r.o., která ji vyrobila v roce 2003 (Chrást'any, Česko). Slaměné pelety byly předupravené navlhčení vodou (Dume et al. 2021). Poměry surovin a označení variant znázorňuje Tabulka 15 (Kozlíková 2021).

Tabulka 15: Vermikompost – varianty a poměry surovin (Kozlíková 2021)

Varianta	Suroviny
VK1	kal 100 % hm.
VK2	kal 75 % hm. + pelety 25 % hm.
VK3	kal 50 % hm. + pelety 50 % hm.
VK4	kal 25 % hm. + pelety 75 % hm.
VK5	pelety 100 % hm.

VK                      verмикompost

Homogenizované čistírenské kaly a slaměné pelety v 5 poměrech byly v laboratorních verмикompostovány pomocí žížal *Eisenia andrei*. Směsi po celou dobu verмикompostování byly vystaveny konstantní teplotě 23 °C, stálému osvětlení a vzdušné vlhkosti cca 80 %. Vermikomposty po ukončení procesu byly podrobeny analýzám, při kterých byly zjištěny celkové obsahy vybraných prvků v sušině (Tabulka 16), obsahy vybraných přístupných prvků (Tabulka 17), poměr C/N (Tabulka 18), elektrická vodivost a hodnoty pH (Tabulka 19) (Kozlíková 2021).

Tabulka 16: Průměrný celkový obsah prvků v sušině v jednotlivých variantách verмикompostu (Kozlíková 2021)

Varianta	Mg	K	P	Ca
-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
VK1	6006	10975	21465	19955
VK2	5284	10475	18984	16864
VK3	4033	12958	13678	13372
VK4	3795	16701	8457	12811
VK5	2479	17787	2622	10394

Tabulka 17: Průměrný obsah přístupných prvků v sušině v jednotlivých variantách vermikompostu (Kozlíková 2021)

<b>Varianta</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>P</b>
-	mg/kg	mg/kg	mg/kg
VK1	199	525	100
VK2	226	672	87
VK3	157	927	100
VK4	179	1346	135
VK5	122	1280	44

Tabulka 18: Průměrný poměr C/N v jednotlivých variantách vermikompostu (Kozlíková 2021)

<b>Varianta</b>	<b>poměr C/N</b>
-	-
VK1	9
VK2	9
VK3	11
VK4	11
VK5	23

Tabulka 19: Průměrné hodnoty elektrické vodivosti a pH v jednotlivých variantách vermikompostu (Kozlíková 2021)

<b>Varianta</b>	<b>EC</b>	<b>pH</b>
-	μs/cm	-
VK1	3705	5,35
VK2	3645	5,01
VK3	2940	4,57
VK4	2595	5,68
VK5	870	7,36

#### 4.1.4 Předkompostovaný vermikompost

Vermikomposty použité v rámci pokusu této diplomové práce byly vyrobeny předkompostovaných čistírenských kalů a slaměných pelet v 5 různých poměrech (100, 75, 50 a 25 % hm.). Vermikomposty byly produkovány v roce 2020. Čerstvý nestabilizovaný čistírenský kal použitý v pokusech pocházel z čistírny odpadních vod v České republice, kde žijí tisíce lidí, a měl obsah sušiny 13,3 %. Sušenou peletovanou pšeničnou slámu o průměru 10 mm poskytla společnost Granofyt s.r.o., která ji vyrobila v roce 2003 (Chrást'any, Česko). Slaměné pelety byly předupravené navlhčení vodou (Dume et al. 2021). Poměry surovin a označení variant zobrazuje následující tabulka (Tabulka 20).

Tabulka 20: Předkompostovaný vermikompost – varianty (Říhová 2021)

Varianta	Suroviny
PVK1	kal 100 % hm.
PVK2	kal 75 % hm. + pelety 25 % hm.
PVK3	kal 50 % hm. + pelety 50 % hm.
PVK4	kal 25 % hm. + pelety 75 % hm.
PVK5	pelety 100 % hm.

PVK předkompostovaný vermikompost

Suroviny byly zhomogenizovány a na 14 dní předkompostovány v aerobních fermentorech. Fermentory byly každých 30 minut provzdušňovány rychlostí 4 l/min po dobu 5 minut. Následně byly vermikompostovány pomocí žížal *Eisenia andrei* po dobu 4 měsíců za stálé teploty 23 °C. Zralé varianty vermikompostů byly podrobeny analýzám, při kterých byly zjištěny celkové obsahy vybraných prvků v sušině (Tabulka 21), obsahy vybraných přístupných prvků (

Tabulka 22), poměr C/N (Tabulka 23), elektrická vodivost a hodnoty pH (Tabulka 24) (Říhová 2021).

Tabulka 21: Průměrný celkový obsah prvků v sušině v jednotlivých variantách předkompostovaného vermikompostu (Říhová 2021)

Varianta	Mg	K	P	Ca
-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
PVK1	6279	11564	924	21208
PVK2	5518	12322	851	17336
PVK3	4785	14889	1153	16134
PVK4	4084	21748	1426	16770
PVK5	3037	24778	513	12711



Tabulka 22: Průměrný obsah přístupných prvků v sušině v jednotlivých variantách předkompostovaného vermikompostu (Říhová 2021)

Varianta	Mg	K	P	Ca
-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
PVK1	2306	6466	5,44	23331
PVK2	1813	8496	5,18	21265
PVK3	1764	10160	5,79	14306
PVK4	1246	11971	5,75	10342
PVK5	452	12200	8,34	3534

Tabulka 23: Průměrný poměr C/N v jednotlivých variantách předkompostovaného vermikompostu (Říhová 2021)

Varianta	poměr C/N
-	-
PVK1	8,1
PVK2	9,96
PVK3	11,32
PVK4	11,34
PVK5	18,3

Tabulka 24: Průměrné hodnoty elektrické vodivosti a pH v jednotlivých variantách předkompostovaného vermikompostu (Říhová 2021)


Varianta	EC	pH
-	μs/cm	-
PVK1	2136	5,44
PVK2	2104	5,18
PVK3	2254	5,79
PVK4	2283	5,75
PVK5	1152	8,34

#### 4.1.5 Konopí seté

Jako pokusná odrůda konopí setého byla použita odrůda Kompolti (Obrázek 1). Kompolti patří do nejrozšířenějších maďarských odrůd. Je výsledkem více než 20 let šlechtitelské práce. Odrůda vznikla křížením čínského, maďarského a pravděpodobně i italského genetického materiálu. Rostlina se vyznačuje vysokou vitalitou a odolností vůči různým podmínkám prostředí (Canapuglia 2023).

Jedná se o odrůdu vyvinutou pro produkci vláken, ale v posledních letech je hojně pěstovaná pro produkci květenství a extrahovaných olejů (Canapuglia 2023). Níže je uveden výčet hlavních vlastností:

- Klima: severní, střední a jižní Evropa
- Vegetační cyklus: 140-160 dní
- Výška: 2,5 - 3,5 m
- Plný květenství: srpen
- Průměrný výnos semen: 500 – 800 kg/ha
- Průměrný výnos biomasy (suchá biomasa): 8 – 12 t/ha
- Průměrný výnos v květenstvích (suchá biomasa): 600 – 1500 kg/ha

ÚSTŘEDNÍ KONTROLNÍ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝ - odbor osiv a sadby CZ - 150 06 Praha 5, Za Opravnou 4		
Pravidla a normy EU EU rules and standards		
Species	Konopí seté Cannabis sativa	
Odrůda Variety	Kompolti	
Kategorie, generace Category, generation	Z/E	
Číslo partie Lot reference No.	1-2434-69002/01	
Hmotnost nebo počet kusů Weight or number of pieces	1kg	
Měsíc a rok vzorkování Month and year of sampling	3/21	
Země výroby Country of production	H	
Číslo návěsky Label number	8 0367899	
Neúřední část / Non - official space	Dodavatel Hempoint s.r.o. Brtnická 108, 586 01 Jihlava	
H-21-096/0171		
Další údaje / Other information přebaleno, přenávěskováno Repacked, relabeled, chemicky neošetřeno		

Obrázek 1: Registrační léták osiva

## 4.2 Založení nádobového experimentu

### 4.2.1 Pěstební substráty

V praktické části byl porovnáván vliv hnojení kompostem, vermikompostem a překompostovaným vermikompostem z čistírenských kalů a slaměných pelet v různých poměrech (100, 75, 50, 25 a 0 % hm.) na výnos konopí setého. Bylo předpokladem, že tyto aditiva zvýší nárůst biomasy a výnos rostlin.

Pro pokus byly použity dvojité kbelíky o objemu 10 kg. Jako základ pro pěstování konopí byla použita zemina z pole u Brandejsova statku v Praze-Suchdol. Navážka vlhké zeminy při sušině 92,76 % hm. byla 5361 g, což odpovídá 5000 g suchého materiálu při sušině 100 % hm. Jako jednorázové hnojení do směsi k zemině byly přimíchány vlhké komposty, vermikomposty a vermikomposty z předkompostovaných surovin o různých hodnotách sušiny, přičemž výsledná hodnota 100% sušiny vždy odpovídala množství 40 g. Celkem bylo založených 16 variant, z nichž první varianta byla kontrolní, kde základ tvořila čistá zemina. Dále bylo založeno 5 variant, kde jako základ byla zemina a jako jednorázové hnojivo byl kompost z čistírenských kalů a slaměných pelet v definovaných poměrech. Další 5 variant obsahovala též zeminu a jako jednorázové hnojivo byl tentokrát použit vermikompost z čistírenských kalů a slaměných pelet v definovaných variantách. Posledních 5 variant se skládalo ze zeminy a předkompostovaného vermikompostu z čistírenských kalů a slaměných pelet opět v definovaných poměrech (Tabulka 25). Každá varianta byla provedena ve třech opakováních. Celkem tedy bylo 48 kbelíků. Detailní schéma pokusu je k vidění v samostatných přílohách (Kapitola 10).

Tabulka 25: Schéma pokusu

	Nádoby	Základ	Hnojivo	Surovinová skladba hnojiv
<b>Kontrola</b>	1, 2, 3	Zemina	-	-
	4, 5, 6	Zemina	K1	100 % kal
	7, 8, 9	Zemina	K2	kal 75 % hm. + pelety 25 % hm.
<b>Kompost</b>	10, 11, 12	Zemina	K3	kal 50 % hm. + pelety 50 % hm.
	13, 14, 15	Zemina	K4	kal 25 % hm. + pelety 75 % hm.
	16, 17, 18	Zemina	K5	pelety 100 % hm.
	22, 23, 24	Zemina	VK1	100 % kal
	25, 26, 27	Zemina	VK2	kal 75 % hm. + pelety 25 % hm.
<b>Vermikompost</b>	28, 29, 30	Zemina	VK3	kal 50 % hm. + pelety 50 % hm.
	31, 32, 33	Zemina	VK4	kal 25 % hm. + pelety 75 % hm.
	34, 35, 36	Zemina	VK5	pelety 100 % hm.
	43, 44, 45	Zemina	VPK1	100 % kal
	46, 47, 48	Zemina	PVK2	kal 75 % hm. + pelety 25 % hm.
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	49, 50, 51	Zemina	PVK3	kal 50 % hm. + pelety 50 % hm.
	52, 53, 54	Zemina	VPK4	kal 25 % hm. + pelety 75 % hm.
	55, 56, 57	Zemina	PVK5	pelety 100 % hm.

K

kompost

#### 4.2.2 Pěstební část a sklizeň

Pěstování konopí probíhalo v pokusných sklenících ČZU v Praze - Suchdole (Demonstrační a experimentální pracoviště – Demonstrační a pokusné skleníky) od 6. května do 11. srpna roku 2021.

Do každého z dvojitých kbelíků o objemu 10 l bylo zaseto 7 semen konopí setého do předpřipravených substrátů. Kbelíky byly opatřeny štítkem s popisem varianty substrátů, celkem 48 kbelíků (Obrázek 2).

Zálivka byla po celé pěstební období aplikována dvakrát denně – ráno a večer, a byla užita demineralizovaná voda. Časový interval od výsevu po sklizeň tvořil 14 týdnů a sklizeň proběhla v příslušných termínech ručně během jednoho dne jak u nadzemní, tak podzemní biomasy (Obrázek 3).

Vzorky byly při sklizni rozděleny na nadzemní biomasu (stonek a list) a podzemní biomasu (kořenový systém). U podzemní biomasy byla provedena manuální separace kořenového systému od substrátu a následně 3× proprána v demineralizované vodě, aby se předešlo možné kontaminaci zeminou a zkreslení pozdějších výsledků analýz (Obrázek 4).

Během sklizně byla u každé části rostlin zaznamenána hmotnost čerstvé biomasy.



Obrázek 2: Nádobový pokus po zasetí konopí



*Obrázek 3: Vzrostlé rostliny před sklizní*



*Obrázek 4: Umyté kořeny připravené k sušení za standardních teplot*

## 4.3 Analýzy

### 4.3.1 Analýzy zeminy a biomasy použité v rámci nádobového experimentu

Podzemní části rostlin byly volně usušeny ve skleníku při konstantní teplotě 25 °C a nadzemní části rostlin byly usušeny při 30 °C. Usušené vzorky byly následně zváženy pro obsah sušiny a poté rozemlety na nerezovém mlýnku Retsch SM100 tak, aby prošly 1 mm sítí. Rozemleté vzorky byly před analýzami skladovány při pokojové teplotě. V části analýzy byly vzorky biomasy nejprve mineralizovány mokřím rozkladem a následně se stanovily obsahy prvků pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, VARIAN VistaPro, Varian, Austrálie). Výstupní hodnoty byly v mg/l sušiny. U vzorků půd z pěstování bylo hodnoceno  $pH_{H_2O}$ ,  $pH_{CaCl_2}$ , měrná vodivost (EC) ( $\mu S/cm$ ), celkový obsah fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku v mg/l sušiny. Pro stanovení celkového obsahu prvků u půdních vzorků byly v analytické části nejprve vzorky převedeny do roztoku Mehlich 3 a poté měřeny pomocí optického emisního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, VARIAN VistaPro, Varian, Austrálie). Naměřené hodnoty byly v mg/L.

#### 4.3.1.1 Stanovení aktivního pH, výměnného pH a EC

Výměnná půdní acidita ( $pH_{CaCl_2}$ ) označuje množství  $H^+$  iontů, které jsou sorbovány na záporně nabitě jílové a organické půdní frakce. Za určitých podmínek se tyto ionty mohou uvolnit do půdního roz(Pansu & Gautheyrou 2006)ní aciditu půdy (Pansu & Gautheyrou 2006).

Půdní vzorky byly naváženy (5 g/vzorek) a vloženy do plastové uzavíratelné zkumavky s kuželovitým dnem a poté zality 25 mL roztokem 0,01  $CaCl_2$ . Poté byly uzavřené zkumavky protřepány na třepacím zařízení po dobu 10 minut. Následně ve vzorcích bylo změřeno pH za pomoci pH metru WTW pH 340i. Ten byl podle potřeby zkalibrován.

Po měření pH se zkumavky opět uzavřely a po šesti kusech byly umístěny do odstředivky. Ta byla nastavena na 5000 ot/min po dobu pěti minut, aby se pevný podíl se odstředivou silou oddělil od kapalného podílu. Následně byl obsah zkumavek přefiltrován přes filtrační papír. V přefiltrovaném roztoku se měřila EC pomocí konduktometru WTW cond 730. Naměřené hodnoty vycházely v  $\mu S/cm$ .

#### 4.3.1.2 Extrační metoda Mehlich 3 – půdní vzorky

Před stanovením obsahu Mg, Ca, P a K v půdě pomocí ICP-OES byly vzorky extrahovány pomocí extračního roztoku Mehlich 3, který měl  $pH 2,5 \pm 0,05$ .

Extračního roztok obsahuje 0,013 mol/l kyseliny dusičné ( $HNO_3$ ), 0,015M fluoridu amonného ( $NH_4F$ ), 0,001M kyseliny ethylendiamino-tetraoctovou (EDTA), 0,25 M dusičnanu amonného ( $NH_4NO_3$ ) a 0,2M koncentrované kyseliny octové ( $CH_3COOH$ ).

Principem extrakce metodou Mehlich 3 je uvolnění prvků v matrici. Kyselá reakce vyluhovacího roztoku je zajištěna kyselinou octovou a kyselinou dusičnou. Fluorid amonný obsažený v extračním roztoku Mehlich 3 zvyšuje rozpustnost hlíníkem vázaných forem fosforu. Dusičnan amonný přítomný v roztoku umocňuje desorpci draslíku, hořčíku a vápníku. Kyselina

ethylendiaminotetraoctová v extrakčním roztoku zajišťuje dobrou uvolnitelnost nutričně významných mikroelementů. Jde tedy o metodu, která umožňuje z jednoho vzorku analyzovat všechny základní prvky.

Postup: Do uzavíratelného plastového kelímku o objemu 200 mL se navážily 4 g půdního vzorku. Poté se odměrným válcem přidaly  $40 \pm 0,5$  ml extrakčního roztoku podle Mehlicha 3. Poměr vzorku vůči extrakčnímu činidlu je tedy 1:10 (4 g + 40 mL). Kelímky se zašroubovali a následně byly protřepány na třepacím zařízení po dobu 10 minut. Po extrakci se suspenze filtrovala přes filtrační papír.

#### 4.3.1.3 Mineralizace mokrým rozkladem – rostlinná biomasa

Před stanovením obsahu Mg, Ca, P a K v nadzemní i podzemní biomase pomocí ICP-OES byly vzorky nejprve mineralizovány mokrým rozkladem v uzavřeném systému Ethos 1 (MLS GmbH, Německo).

System měl kapacitu 6 patron. Vzorky byly postupně rozkládány po pěti, přičemž 6. patrona sloužila jako slepý pokus. Mineralizační směs do patron se skládala z 65% HNO<sub>3</sub> a 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Suprapure, Merck).

Postup: V prázdném pokusu byla rozkládána směs demineralizované vody, 65% HNO<sub>3</sub> a 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Suprapure, Merck). Ve standardním vzorku pokusu byla ke směsi 65% HNO<sub>3</sub> a 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Suprapure, Merck) rozkládána  $0,5 \pm 0,1$  g vzorků biomasy. Na celkový počet vzorků byl rozkládán jeden referenční vzorek ze špenátu jakožto certifikovaného materiálu používaného pro kontrolu jakosti.

Mineralizace probíhala za nízkého tlaku s teplotou do 180 °C při výkonu 1200 W podle nastaveného programu, kde byly vzorky ohřívány na 120, 160, 180 a 180 °C po 10 minutách, celkem 40 minut. Následně byly mineralizované roztoky převedeny do 20 mL zkumavek.

## 4.4 Základní a statistické vyhodnocení dat

K přepočtu naměřených dat na požadované jednotky byl použit program Microsoft office Excel (verze 16.71). U naměřených hodnot suché hmoty v gramech byly data dále přepočítány na sušinu (%) ze 100 % čerstvé hmoty. Naměřená data prvků v půdě a v rostlinách v mg/L se přepočítaly na mg/kg (Rovnice 1) a v případě odběru konopím dále přepočítány na mg/nádoba (Rovnice 2).

Rovnice 1: Výpočet obsahu prvků v biomase/půdě

$$OP \left[ \frac{mg}{kg} \right] = \frac{c \left[ \frac{mg}{L} \right] * V [mL]}{m [g]}$$

<i>OP</i>	<i>obsah prvku</i>
<i>c</i>	<i>naměřená koncentrace prvku v roztoku</i>
<i>V</i>	<i>objem mineralizačního/extrakčního roztoku</i>
<i>m</i>	<i>hmotnost navážky suchého materiálu</i>

Rovnice 2: Výpočet odběru prvku vypěstovaným konopím

$$o [mg/nádoba] = \frac{m [g] * OP \left[ \frac{mg}{kg} \right]}{1\ 000}$$

<i>m</i>	<i>hmotnost suché hmoty</i>
<i>OP</i>	<i>obsah prvku</i>
<i>o</i>	<i>odběr prvku konopím</i>

Základní vyhodnocení převedených a vypočítaných dat jako průměr a směrodatná odchylka bylo rovněž provedeno v programu Microsoft office Excel (verze 16.71).

Průměr byl spočítán ze tří opakování dané varianty pro všechny naměřené údaje jako obsah a odběr prvků, pH<sub>CaCl</sub>, EC a sušinu pomocí funkce =PRŮMĚR.

Směrodatné odchylky byly spočítané pomocí funkce =SMODCH.VÝBĚR.S. Výsledné průměry společně se směrodatnými odchylkami byly zapracovány do výsledků a jsou k dispozici v samostatných přílohách této diplomové práce (Kapitola 10).



Statistické analýzy byly provedeny pomocí programu STATISTICA 12. Konkrétně byla použita jednofaktorová ANOVA k testování rozptylu. Nulové hypotézy u sledovaných parametrů zněla následovně:

1.  $pH_{H_2O}$ ,  $pH_{CaCl_2}$ , EC – neexistuje statisticky významný rozdíl mezi varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů stejného složení. Závislou proměnnou byl určen  $pH_{H_2O}$ ,  $pH_{CaCl_2}$  či EC a nezávislou proměnnou varianta.
2. Prvky v půdě – neexistuje statisticky významný rozdíl mezi varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů a stejného složení. Závislou proměnnou byl určen obsah prvků ve variantě a nezávislou proměnnou varianta.
3. Prvky v konopí – neexistuje statisticky významný rozdíl mezi varianty s aplikací kompostů a vermikompostů a kontrolní variantou. Závislou proměnnou byl určen obsah prvků ve variantě a nezávislou proměnnou varianta.
4. Odběr prvků konopím – neexistuje statisticky významný rozdíl mezi varianty s aplikací kompostů a vermikompostů a kontrolní variantou. Závislou proměnnou byl určen odběr prvků a nezávislou proměnnou varianta.
5. Výnos čerstvé hmoty a sušiny – neexistuje statisticky významný rozdíl mezi varianty s aplikací kompostů a vermikompostů a kontrolní variantou. Závislou proměnnou byl určen výnos čerstvé hmoty a sušiny a nezávislou proměnnou varianta.

Analýza proběhla na hladině významnosti  $p < 0,05$ . Hodnoty pod touto hranicí byly statisticky rozdílné. Tabulkové výstupy jsou k dispozici v samostatných přílohách (Kapitola 10) a grafické výstupy jsou ilustrovány do výsledků (Kapitola 5) této diplomové práce.

### Značení statistických dat

Značení	Význam varianty
Kontrola	zemina bez aditiv
K1	zemina + kompost ( 100 % hm. čistírenský kal)
K2	zemina + kompost (75 % hm. čistírenský kal + 25 % hm. slaměné pelety)
K3	zemina + kompost (50 % hm. čistírenský kal + 50 % hm. slaměné pelety)
K4	zemina + kompost (25 % hm. čistírenský kal + 75 % hm. slaměné pelety)
K5	zemina + kompost (100 % hm. slaměné pelety)
VK1	zemina + vermikompost (100 % hm. čistírenský kal)
VK2	zemina + vermikompost (75 % hm. čistírenský kal + 25 % hm. slaměné pelety)
VK3	zemina + vermikompost (50 % hm. čistírenský kal + 50 % hm. slaměné pelety)
VK4	zemina + vermikompost (25 % hm. čistírenský kal + 75 % hm. slaměné pelety)
VK5	zemina + vermikompost (100 % hm. slaměné pelety)
PVK1	zemina + předkompostovaný vermikompost (100 % hm. čistírenský kal)
PVK2	zemina + předkompostovaný vermikompost (75 % hm. čistírenský kal + 25 % hm. slaměné pelety)
PVK3	zemina + předkompostovaný vermikompost (50 % hm. čistírenský kal + 50 % hm. slaměné pelety)
PVK4	zemina + předkompostovaný vermikompost (25 % hm. čistírenský kal + 75 % hm. slaměné pelety)
PVK5	zemina + předkompostovaný vermikompost (100 % hm. slaměné pelety)

## 5 Výsledky

Tato kapitola je rozdělena do čtyř dílčích částí. První část obsahuje výsledky analýzy půdy, která se skládá z rozborů  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  a obsahy vybraných prvků.

Druhá část zahrnuje popis výsledku analýz sklizeného konopí, u kterého byly hodnoceny celkové výnosy čerstvé a suché hmoty a obsahy vybraných prvků.

Ve třetí části jsou graficky porovnány změny v obsahu prvků vypěstovaným konopím.

Čtvrtá část se věnuje odběru prvků vypěstovaným konopím.

Základní statistické šetření výsledků měření jsou prezentována u každého sledovaného parametru celkem v jednom grafickém výstupu. Ten znázorňuje statistické rozdíly ve variantách. Hodnoty v kontrolním vzorku byl považován za srovnávací hodnotu, ke které byl vztážen obsah prvků změřených v dalších variantách (100, 75, 50, 25 % K, VK a PVK) po ukončení nádobového experimentu.

U kapitoly 5.1.2 a 5.2 je navíc u každého sledovaného parametru druhý graf. Ten slouží k porovnávání aritmetických průměrů každých variant hnojení s kontrolní variantou, která je vždy označena jako 100 %.

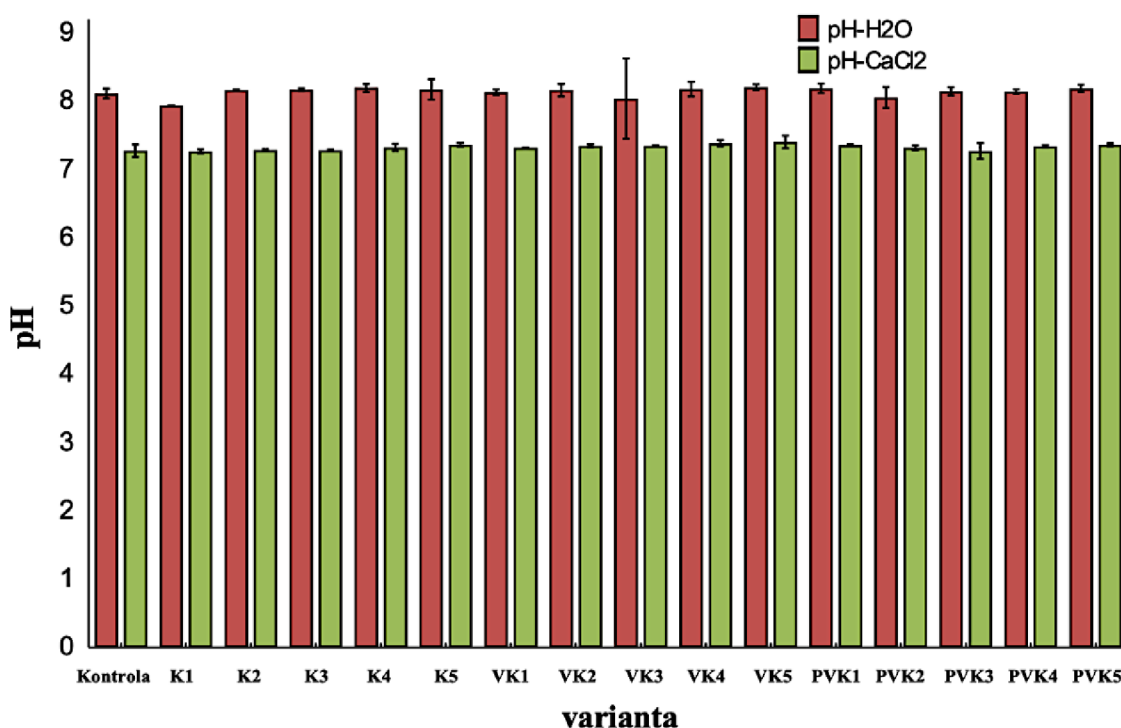
## 5.1 Půda

### 5.1.1 Aktivní acidita, výměnná acidita a elektrická vodivost

Graf 1 znázorňuje změny pH hodnot v jednotlivých variantách pokusu. U  $pH_{H_2O}$  byl zjištěn statisticky významný rozdíl ve 3 z 16 hnojených variantách. Kontrolní varianta měla  $pH_{H_2O}$   $8,11 \pm 0,04$ . Statisticky významný rozdíl oproti kontrolní variantě byl zjištěn v případě variant s přidavkem K1, K4 a VK5. Mezi variantami K2:VK2:PVK2 a K3:VK3:PVK3, tedy s přidavkem kompostu a vermikompostu o stejném složení nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v hodnotách  $pH_{H_2O}$ .

Co se týče  $pH_{CaCl_2}$ , kontrolní varianta měla hodnotu  $7,28 \pm 0,05$ . Nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů a kontrolní variantou. To stejné platí i mezi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů o stejném složení.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 27).



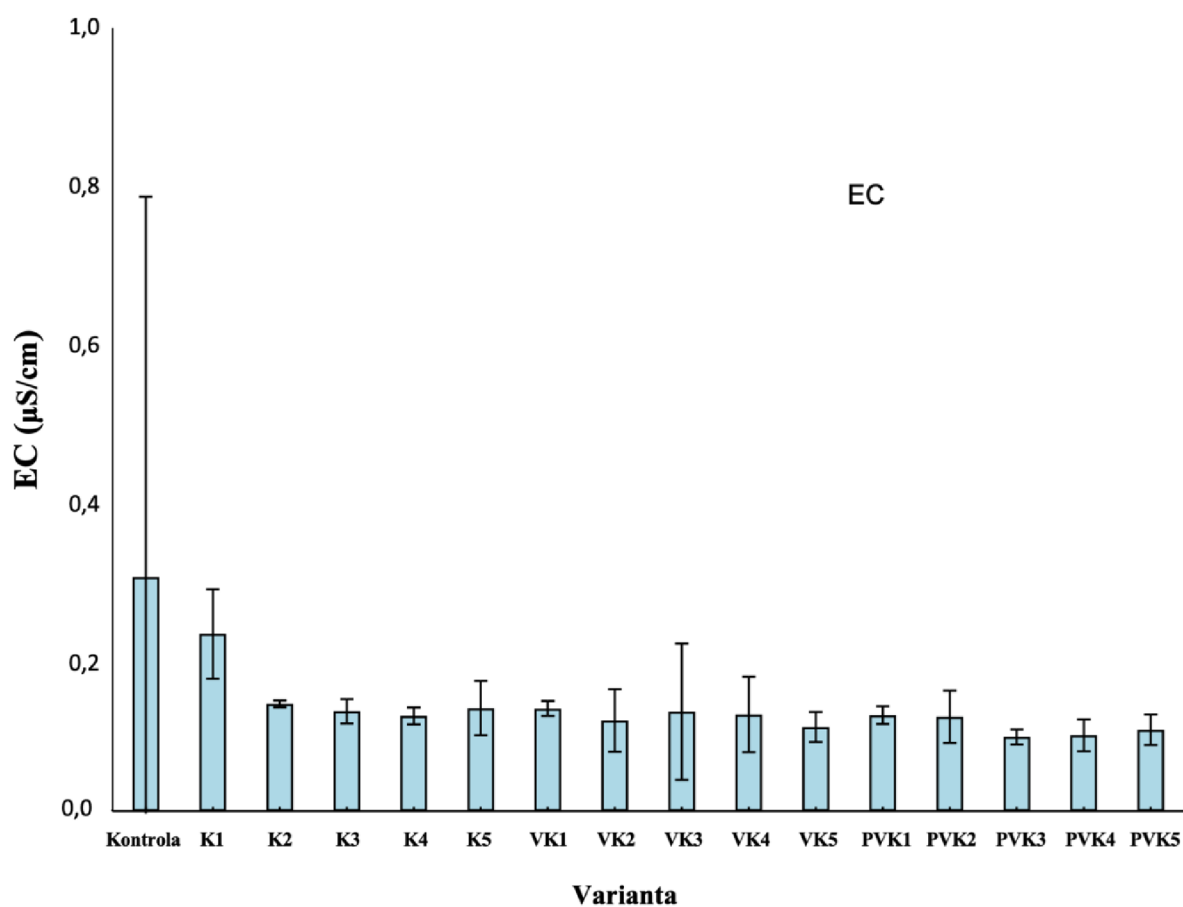
Graf 1: Statistické šetření -  $pH_{H_2O}$  a  $pH_{CaCl_2}$

Hodnoty elektrické vodivosti se ve všech variantách s přidavkem kompostovaných a vermikompostovaných materiálů statisticky lišila od kontrolní varianty, která měla průměrnou hodnotu  $0,299 \pm 0,243 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Graf 2).

Konkrétně po ukončení nádobového pokusu ve všech variantách s přidavkem kompostovaných a vermikompostovaných materiálů byly hodnoty elektrické vodivosti nižší ve srovnání s kontrolní variantou.

Mezi variantami K1:VK1:PVK1 a K2:VK2:PVK2, tedy s přidavkem kompostovaných a vermikompostovaných materiálů o stejném složení nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly.

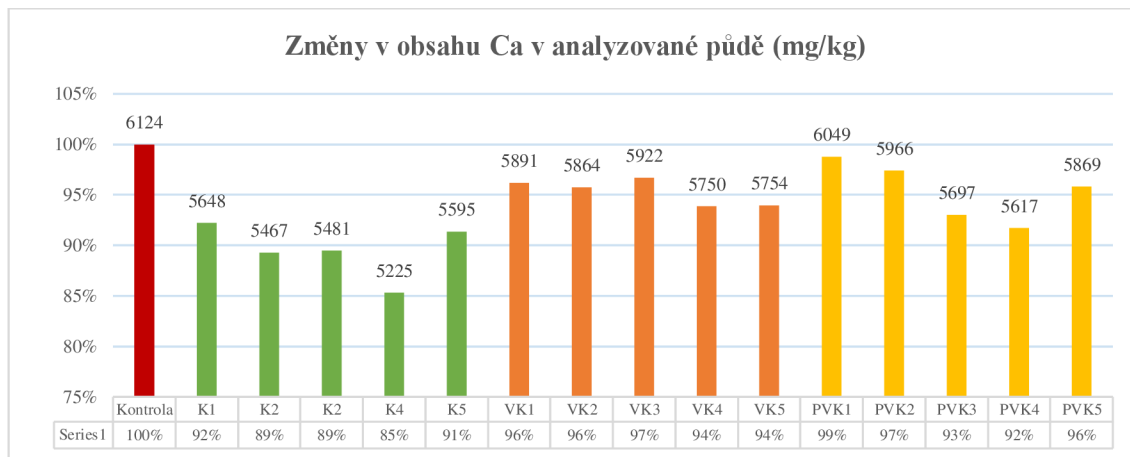
Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 27).



Graf 2: Statistické šetření - měrná vodivost EC

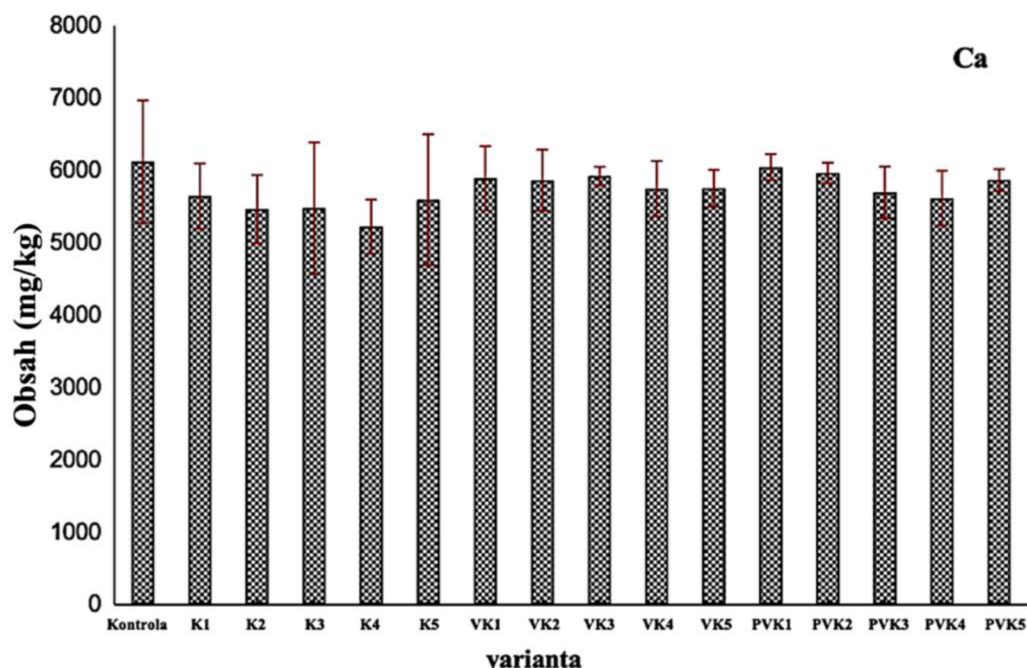
### 5.1.2 Obsahy vybraných prvků v půdě

Dle výsledků měření obsahu Ca v půdě (Graf 3) je zřejmé, že obsahy Ca v půdě po ukončení nádobového pokusu ve všech variantách s přidavkem kompostovaných a vermikompostovaných materiálů byly nižší v porovnání s kontrolní variantou.



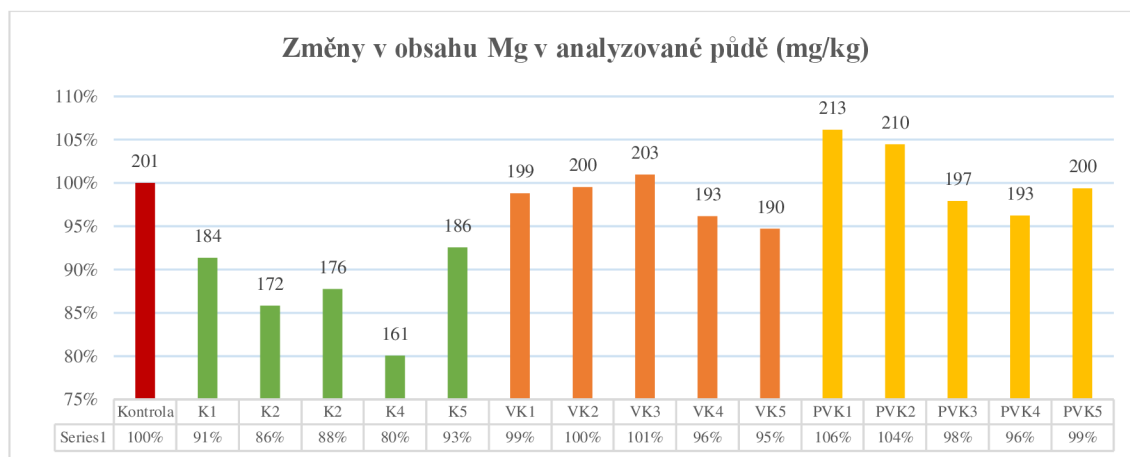
Graf 3: Změny v obsahu Ca v analyzované půdě

Výsledky ze statistické analýzy (Příloha 28) jsou ilustrovány v následujícím grafickém výstupu (Graf 4). Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantami s přidavkem kompostovaných a vermikompostovaných materiálů a kontrolní variantou. Kromě varianty s přidavkem K4, mezi všemi variantami s přidavkem kompostovaných a vermikompostovaných materiálů o stejném složení nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu Ca. Měli průměrnou hodnotu 5755 mg/kg, což je o 369 mg/kg méně než v kontrolní variantě. Nejmenší obsah Ca byla zaznamenána u varianty s přidavkem K4, kde hodnota činila průměrně o 900 mg/kg méně než v kontrolní variantě.



Graf 4: Statistické šetření - obsah Ca v půdě po pěstování konopí (mg/kg)

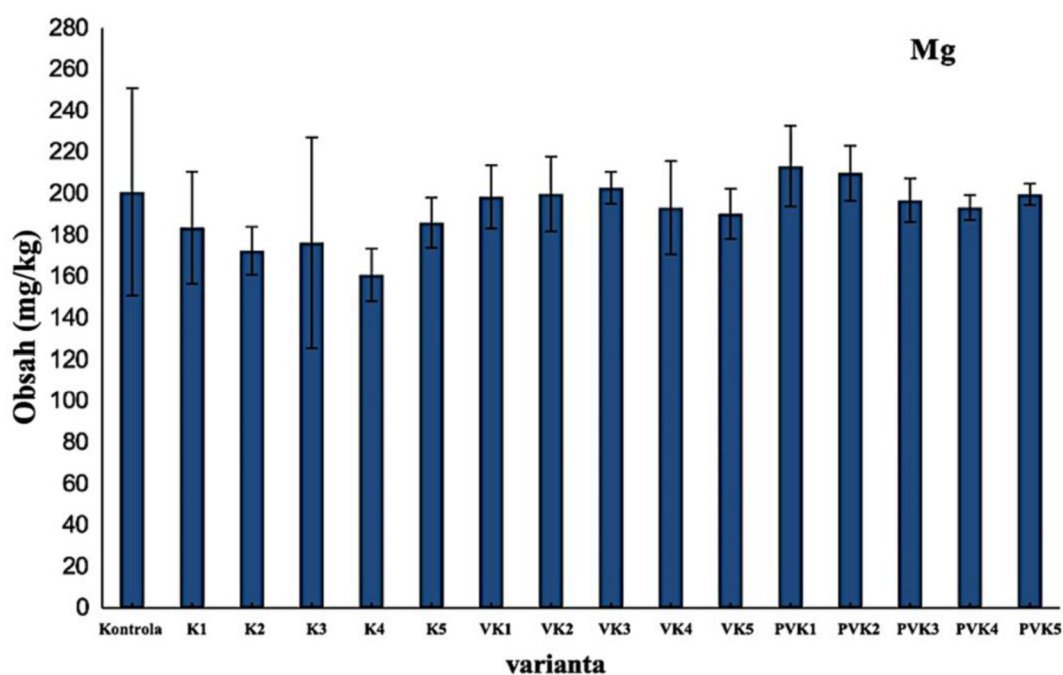
Graf 5 ukazuje změny v průměrném obsahu Mg v půdách po ukončení nádobového pokusu. Nejmenší obsahy byly zaznamenány v případě variant s přidavkem kompostu ve všech poměrech kalu a pelet ve složení. U varianty hnojení vermikompostem a předkompostovaným vermikompostem jsou hodnoty víceméně podobné s těmi v kontrolní variantě.



Graf 5: Změny v obsahu Mg v analyzované půdě

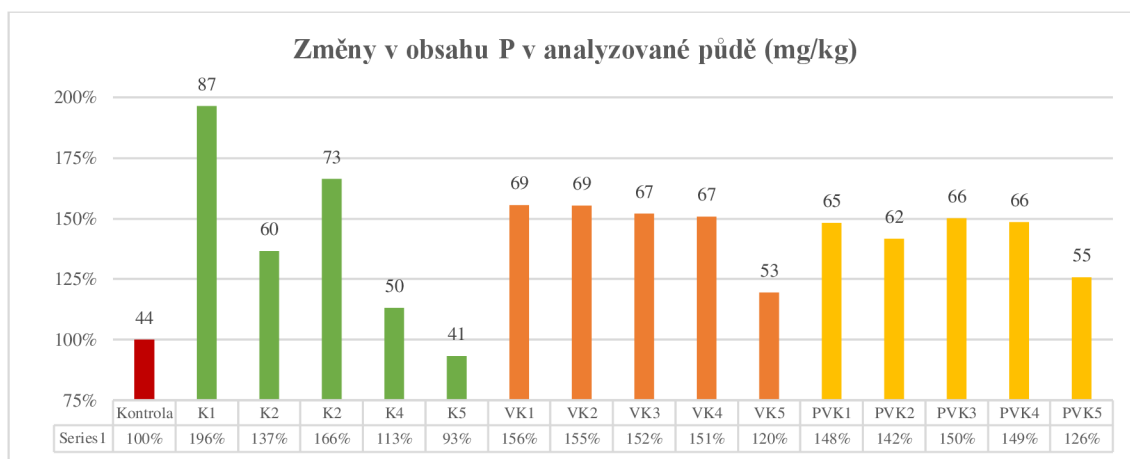
Výstup statistické analýzy obsahu Mg v půdě (Příloha 28) je znázorněn v následujícím grafu (Graf 6). Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi kontrolní variantou a variantou s přidavkem K4 a PVK1. V případě varianty s přidavkem K4 byl zaznamenán velký úbytek hořčiku a v případě varianty s přidavkem PVK1 naopak jeho nárůst.

Mezi variantami K2:VK2:PVK2; K3:VK3:PVK3 a K5:VK5:PVK5, tedy s přidavkem kompostovaných a vermikompostovaných materiálů o stejném složení, nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu Mg.



Graf 6: Statistické šetření - obsah Mg v půdě po pěstování konopí (mg/kg)

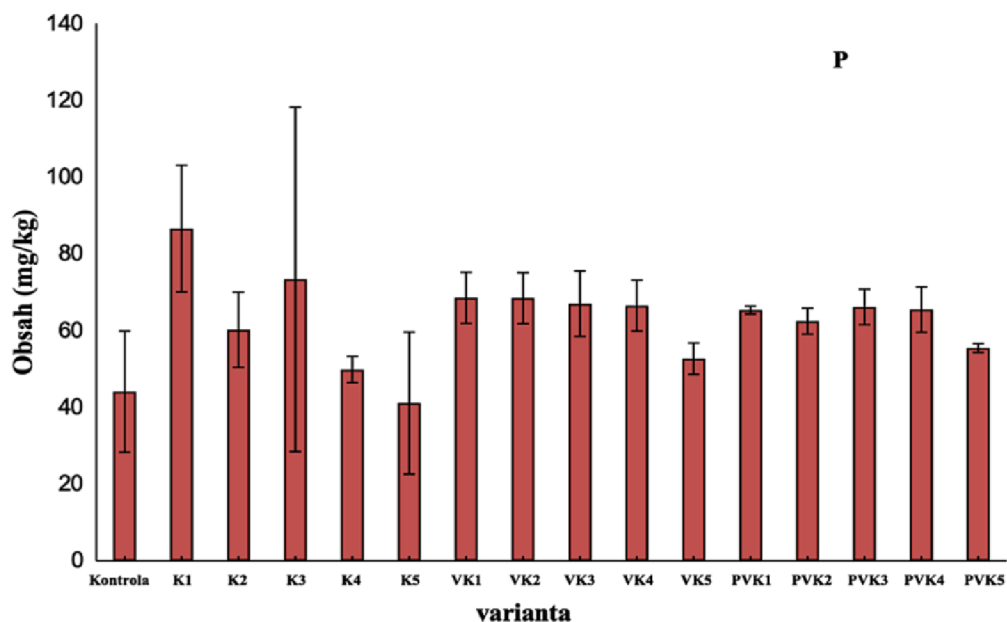
Dle následujícího grafu (Graf 7) je patrné, že kromě varianty s přidavkem kompostu ze 100 % slaměných pelet, všechny ostatní varianty přidavkem kompostů a vermikompostů zvýšily obsah P v půdě oproti kontrolní variantě. Tento obsah se u všech variant pohyboval v rozmezí 41–87 mg/kg. Kontrolní varianta po ukončení nádobového pokusu obsahovala 44 mg/kg fosforu. Průměrně se ve všech variantách přidavkem kompostovaných a vermikompostovaných materiálů zvýšilo 19 mg/kg P, což odpovídá 44% nárůst oproti kontrolní variantě.



*Graf 7: Změny v obsahu P v analyzované půdě*

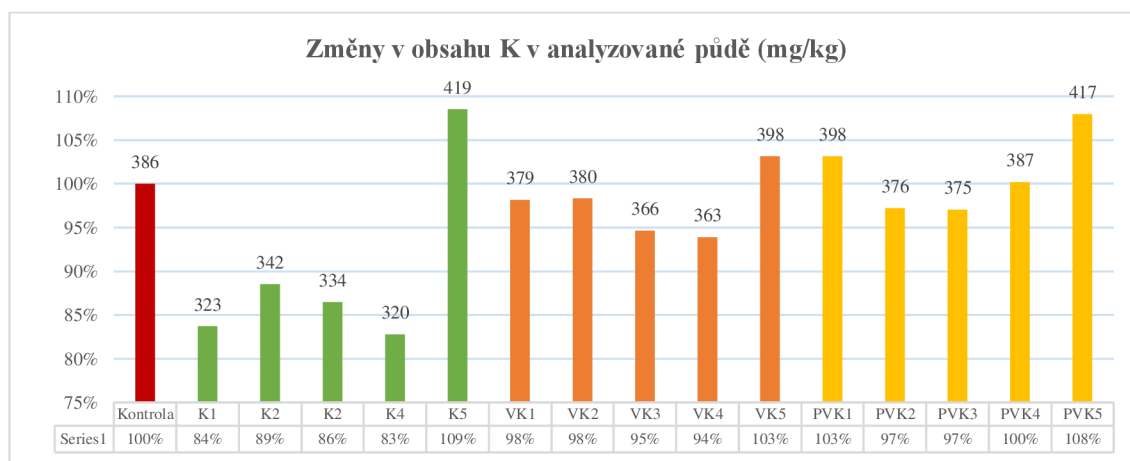
Následující grafický výstup (Graf 8) znázorňuje výsledky statistické analýzy obsahu P v půdě (Příloha 28). Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi kontrolní variantou a variantami s přidavkem K1–K3, VK1–VK4 a PVK1–PVK4, které odpovídá kompostovaným a vermikompostovaným materiálům se složením kal + pelety v různých poměrech.

Mezi variantami K2:VK2:PVK2; K3:VK3:PVK3 a K5:VK5:PVK5, tedy s přidavkem s přidavkem kompostů a vermikompostů o stejném složení, nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu P.



Graf 8: Statistické šetření - obsah P v půdě po pěstování konopí (mg/kg)

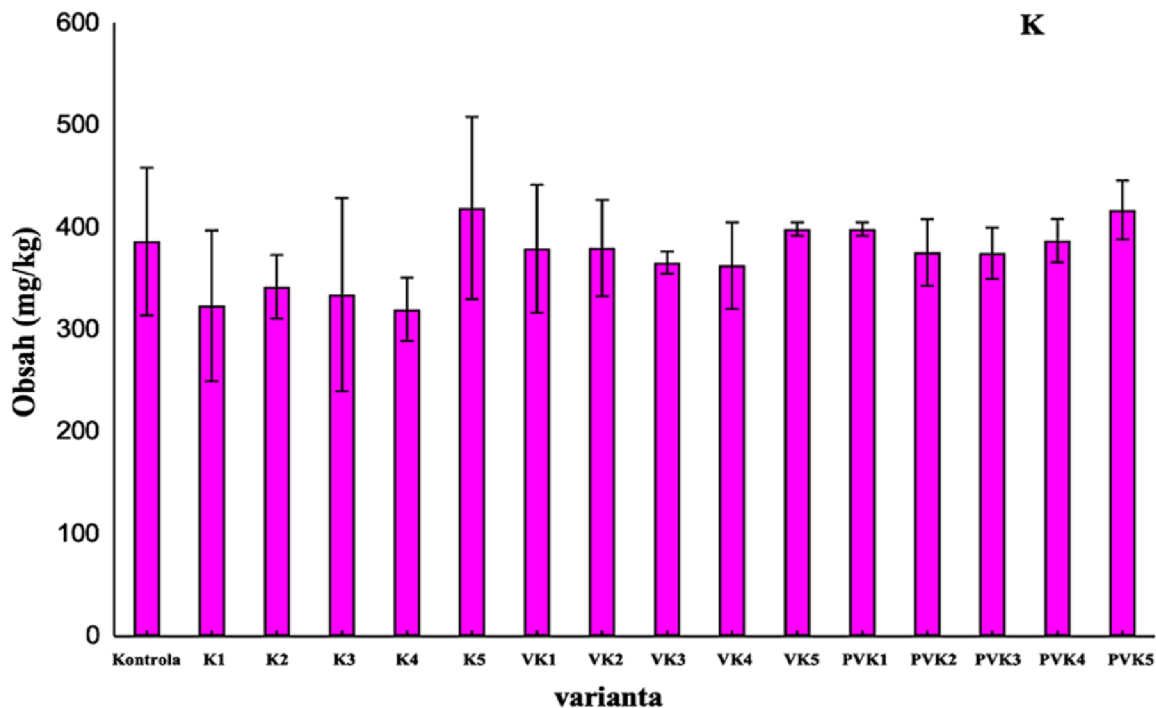
V kontrolní variantě se průměrně naměřila hodnota 386 mg/kg K. Obsah K se v půdě s přidavkem K1–K5 pohyboval průměrně 348 mg/kg. U půdy s přidavkem VK1–VK5 se naměřila průměrně okolo 377 mg/kg a v případě půd s přidavkem PVK1–PVK5 byla tato průměrná hodnota nejvyšší, a to 391 mg/kg (Graf 9). Největší zvýšení obsahu K v půdě byl zaznamenán u všech variant s přidavkem K5, VK5 a PVK5, tedy komposty a vermikomposty se složením 100 % hm. slaměné pelety.



Graf 9: Změny v obsahu K v analyzované půdě

Následující grafický výstup (Graf 10) znázorňuje výsledky statistické analýzy obsahu K v půdě (Příloha 28). Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi kontrolní variantou a variantami s přidavkem kompostovaných a vermikompostovaných materiálů K1–K5, VK5 a PVK5. Mezi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů se složením 100 % hm. slaměné pelety, tedy K5:VK5:PVK5 nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsahu K.





Graf 10: Statistické šetření - obsah K v půdě po pěstování konopí (mg/kg)

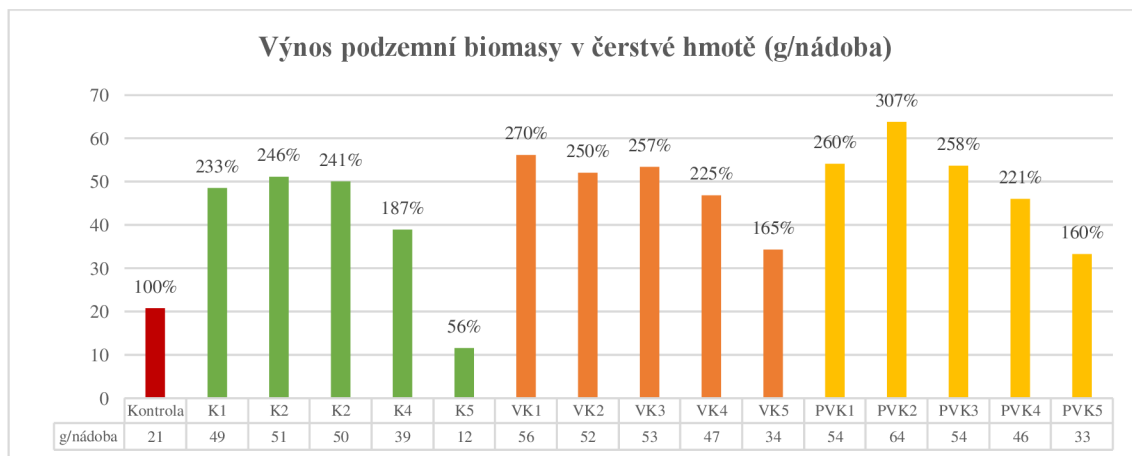
## 5.2 Výnos

### 5.2.1 Podzemní biomasa

Z následujícího grafu (Graf 11) lze vyčíst zvýšení výnosu čerstvé podzemní biomasy (kořenech) u všech variant s přidavkem kompostů a vermikompostů kromě varianty s přidavkem K5, která měla ve složení 100 % hm. slaměné pelety.

Lze také konstatovat, že u variant, kde byl aplikován K1–K3, VK1–VK3 a PVK1–PVK3 byl oproti kontrolní variantě vyšší výnos čerstvé hmoty kořenů v průměru o 2,5x.

Naopak u variant, kde byly aplikovány kompost a vermikomposty se složením 100 % hm. slaměné pelety, byl zaznamenán nejslabší výnos.



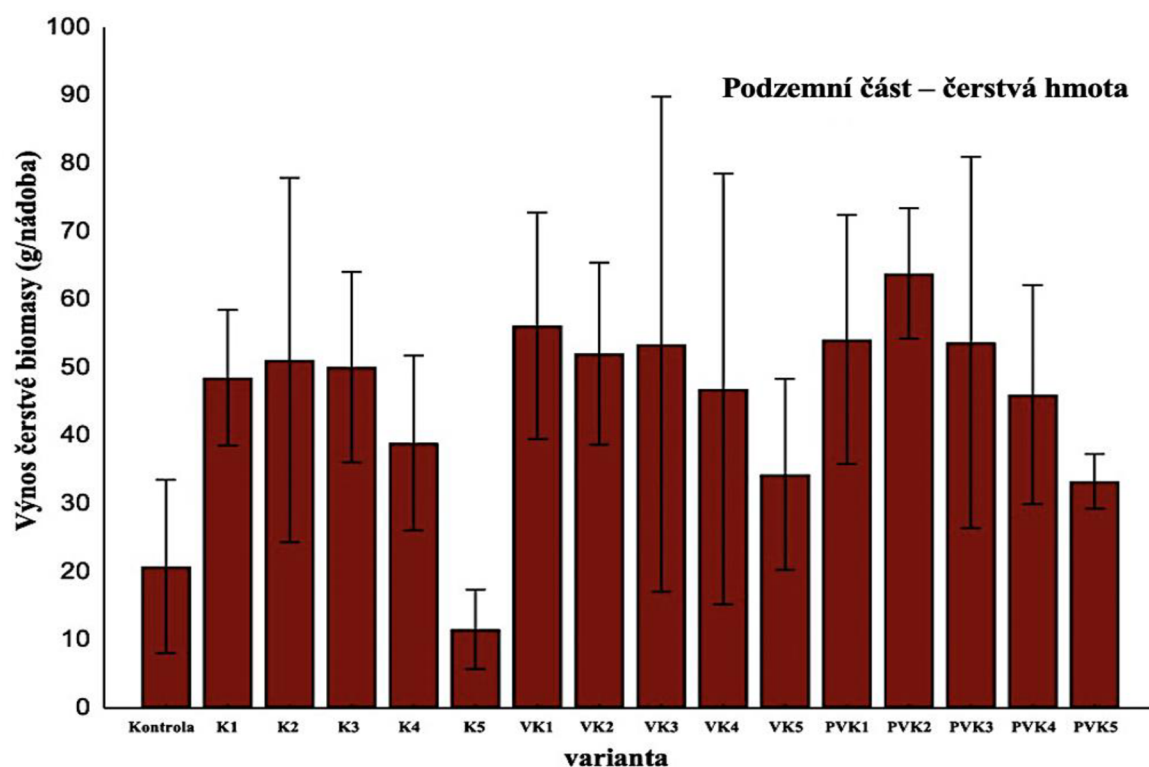
Graf 11: Výnos podzemní biomasy v čerstvé hmotě (g/nádoba)

Grafický výstup (Graf 12) ze statistického šetření jednofaktorové ANOVA (Příloha 29) ukazuje vysoké výnosy u všech variant s přidavkem kompostů a vermikompostů kromě varianty K5.

Byly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi kontrolní variantou a všemi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů.

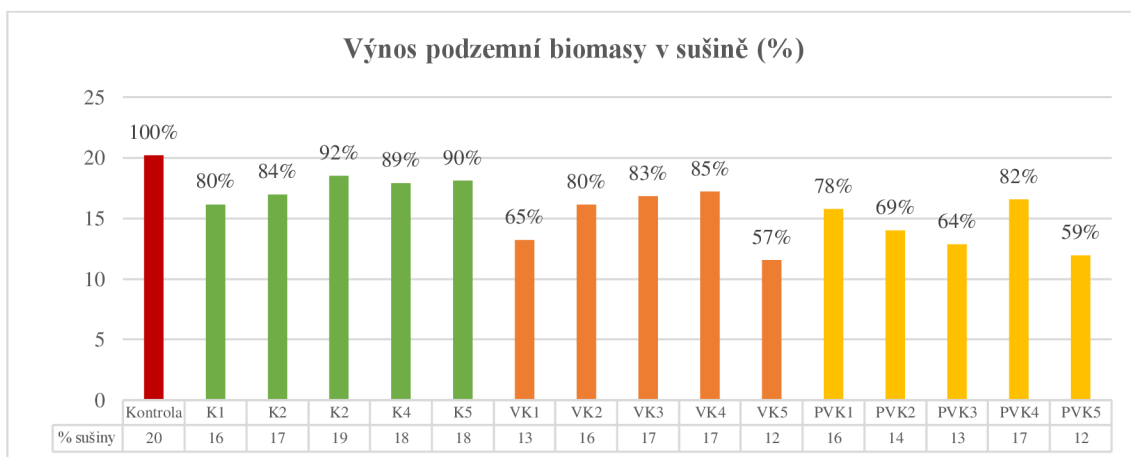
Největší výnos čerstvé hmoty kořenu byl zjištěn u varianty s přidavkem PVK2, který byl oproti kontrolní variantě trojnásobný.

Nejmenší výnos čerstvé hmoty kořenu byl zaznamenán u varianty s přidavkem K5, kde hodnoty výnosu nedosahovaly kontrolní variantě.



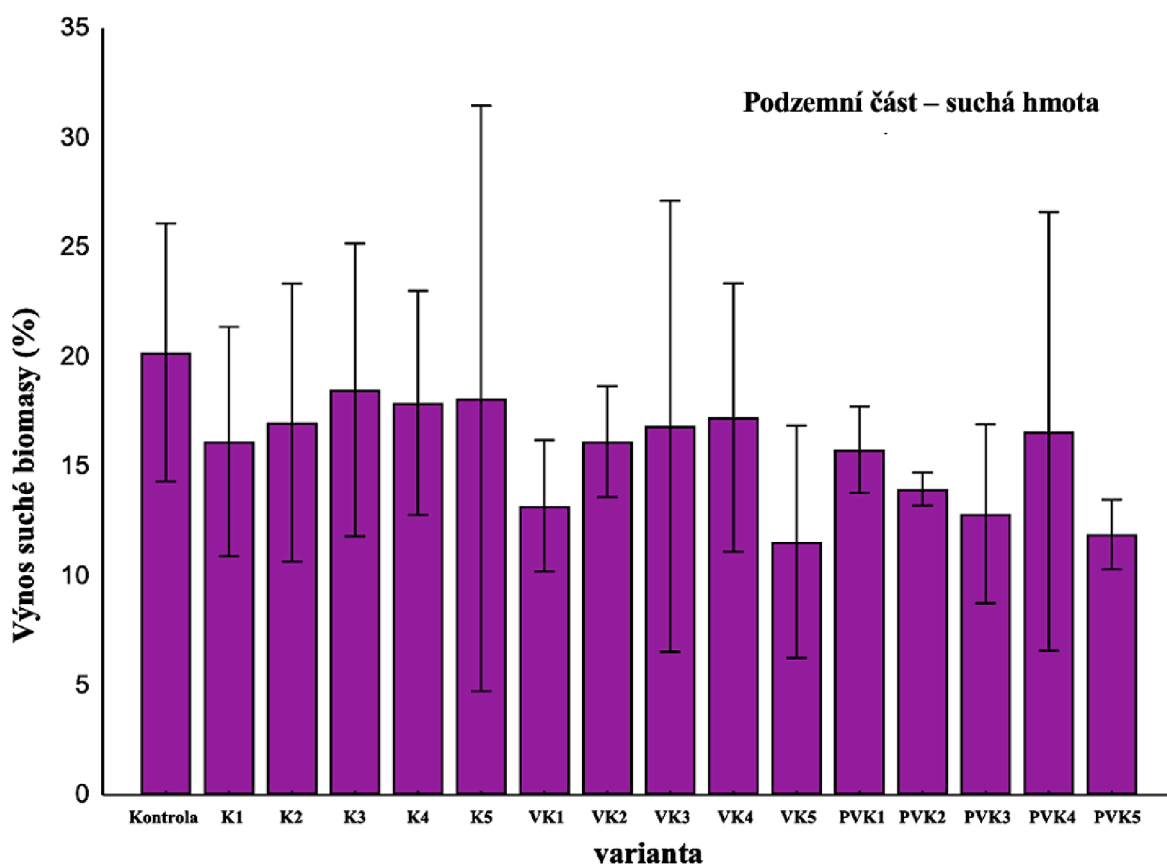
Graf 12: Statistické šetření - Výnos podzemní biomasy v čerstvé hmotě (g/nádoba)

Po vysušení čerstvé hmoty došlo k průměrně 85% poklesu celkového výnosu kořenů pěstovaného konopí. Ve všech variantách s přidavkem kompostů a vermikompostů výnos suché biomasy nedosahoval hodnot výnosu kontrolní varianty (Graf 13).



Graf 13: Výnos podzemní biomasy v sušině (%)

Výsledky statistického šetření (Příloha 30) ukazují, že nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl ve výnosu suché hmoty kořenů mezi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů a kontrolní variantou. To stejné platí také mezi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů o stejném složení.

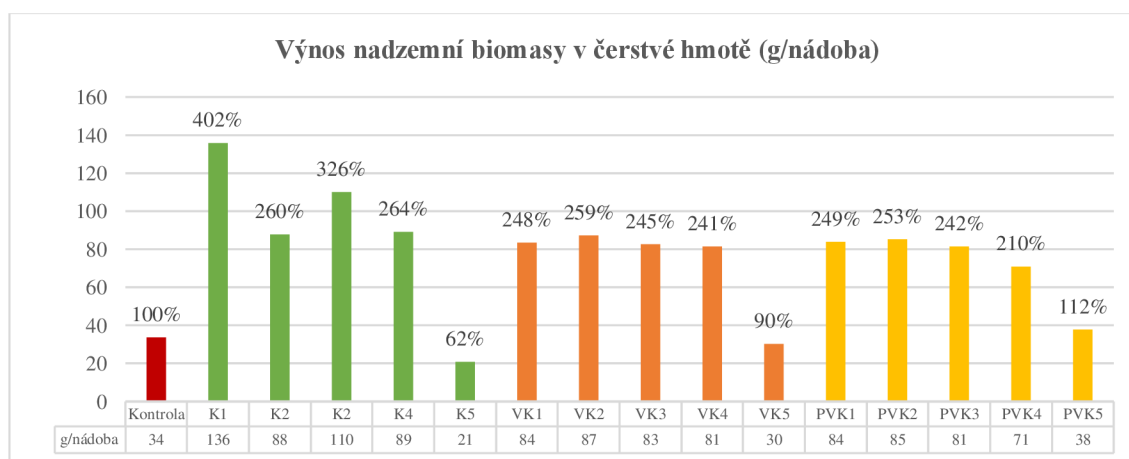


Graf 14: Statistické šetření - Výnos podzemní biomasy v sušině (%)

## 5.2.2 Nadzemní biomasa

Výnos čerstvé hmoty (Graf 15) byl v průměru nejnižší u všech variant s přidavkem kompostu a vermikompostů se složením 100 % hm. slaměné pelety.

Vyšší výnosy oproti kontrolní nehnojené variantě byl zaznamenán u aplikace kompostů a vermikompostů se složením kal + pelety v různých poměrech.



Graf 15: Výnos nadzemní biomasy v čerstvé hmotě (g/nádoba)

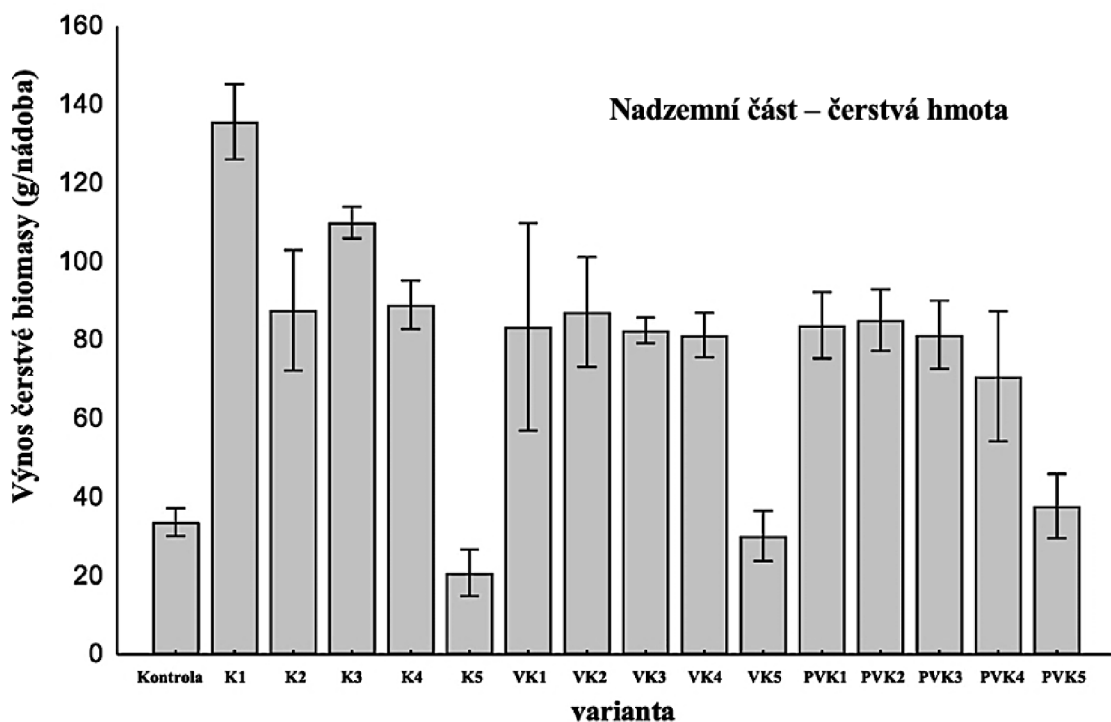
Grafický výstup (Graf 16) ze statistické analýzy jednofaktorové ANOVA (Příloha 31) ukazuje, že všechny varianty, u kterých byl aplikován komposty a vermikomposty s podílem čistírenských kalů ve složení byl vyšší výnos čerstvé hmoty nadzemní biomasy, a naopak nejmenší výnosy byly zaznamenány u variant s přidavkem kompostu a vermikompostů se složením 100 % hm. slaměné pelety.

Byl zjištěn statisticky významné rozdíly ve výnosu čerstvé biomasy mezi kontrolní nehnojenou variantou a všemi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů.

Největší výnos čerstvé hmoty byl zjištěn u varianty s přidavkem K1, tedy kompost se složením 100 % hm. čistírenské kaly. Tento nárůst je oproti kontrolní variantě je zhruba čtyřnásobný.

Nejmenší výnos, čerstvé hmoty byl zpozorován u varianty s přidavkem K5, tedy kompost se složením 100 % hm. slaměné pelety. Zde hodnoty nedosahovaly ani výnosu v kontrolní variantě.

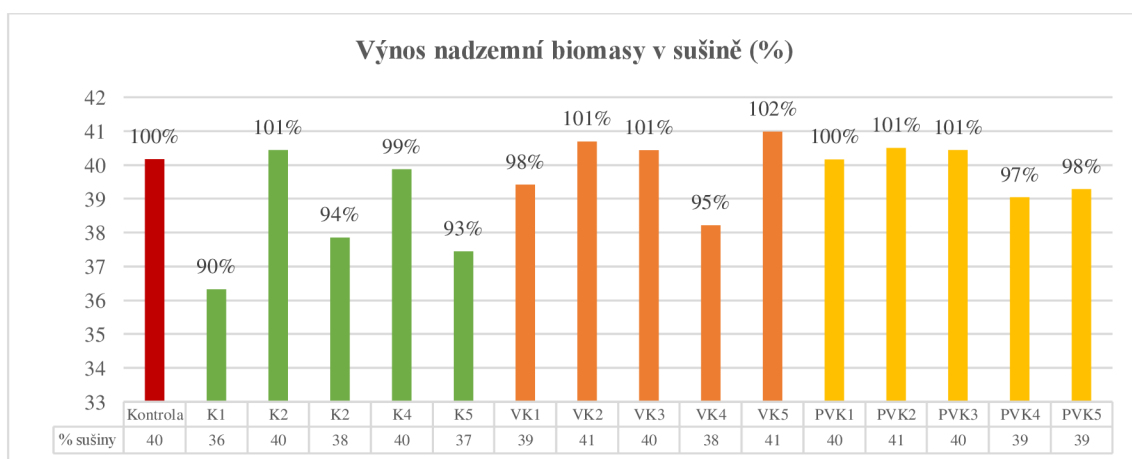
Výnosy čerstvé hmoty nadzemní biomasy v jednotlivých variantách s přidavkem kompostů a vermikompostů o stejném složení byly rozdílné.



Graf 16: Statistické šetření - Výnos nadzemní biomasy v čerstvé hmotě (g/nádoba)

Po vysušení čerstvé hmoty nadzemní biomasy ve variantách s přidavkem kompostů a vermikompostů došlo k průměrnému poklesu celkového výnosu konopí o 48 %. V 8 z 15 variant s přidavkem kompostů a vermikompostů výnos suché biomasy nedosahoval hodnot kontrolní varianty.

Lze také povšimnout, že u variant s aplikací kompostů, které dosahovaly největšího výnosu čerstvé hmoty po vysušení ve 3 ze 4 variant nedosahuje hodnoty výnosu suché hmoty kontrolní varianty.

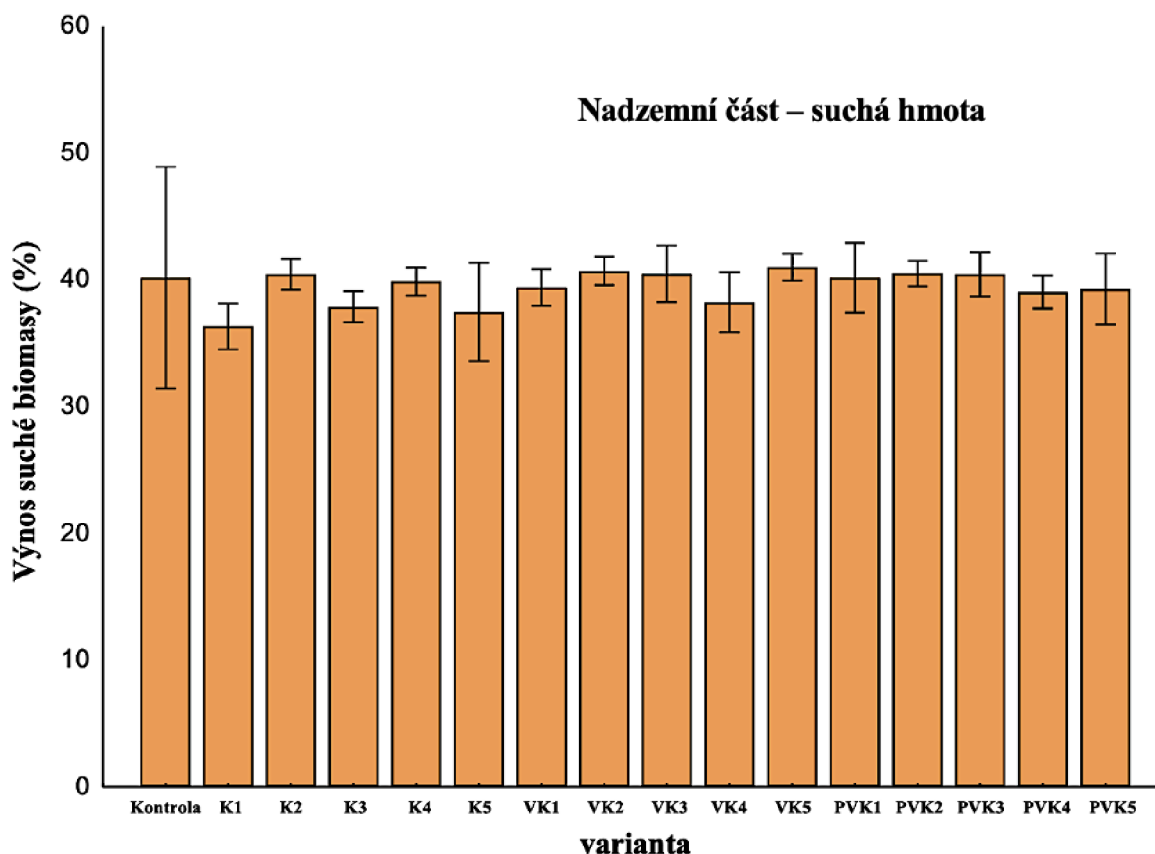


Graf 17: Výnos nadzemní biomasy v sušině (%)

Podrobnější přehled nabízí grafický výstup (Graf 18) ze statistického šetření jednofaktorové ANOVA (Příloha 32). Ten poukazuje na statisticky významné rozdíly u varianty s přidavkem K1 a VK5 ve srovnání s kontrolní variantou.

Konkrétně u varianty s přidavkem K1 byl zaznamenán nejmenší a zároveň menší výnos suché hmoty nadzemní biomasy než u kontrolní varianty, což je silně v kontrastu s výsledkami měření u čerstvé hmoty.

U varianty s přidavkem VK5 se po vysušení čerstvé biomasy zvýšil výnos.



Graf 18: Statistické šetření - Výnos nadzemní biomasy v sušině (%)

## 5.3 Obsahy prvků ve vypěstovaném konopí

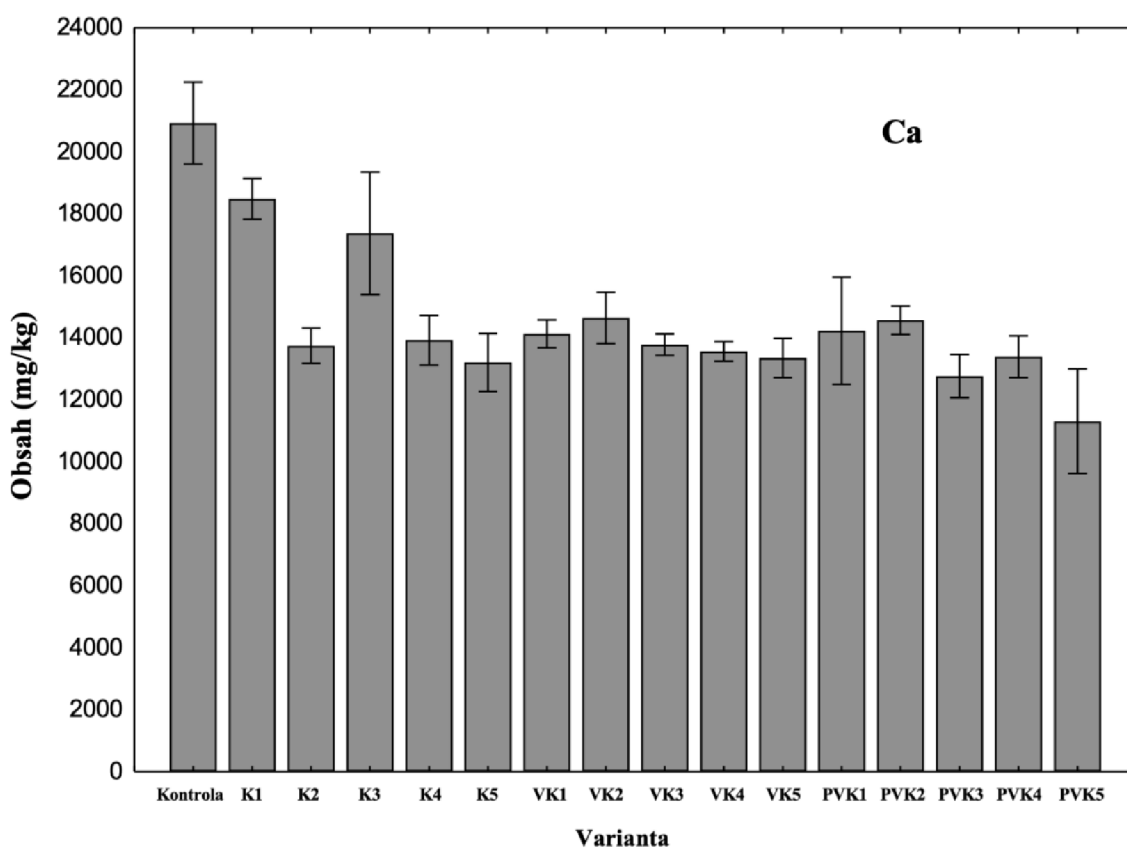
### 5.3.1 Podzemní biomasa

Z následujícího grafu (Graf 19) je patrné, že všechny varianty, u kterých byly aplikovány komposty a vermikomposty mají ve srovnání s kontrolní variantou nižší obsah Ca v kořenech. Výsledky ze statistické analýzy (Příloha 33) indikují, že všechny varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů v porovnání s kontrolní variantou se statisticky významně lišily v obsazích Ca.

Nejvyšší obsah Ca byl naměřen právě v kontrolní variantě.

Naopak nejnižší obsah Ca byl naměřen ve variantě s přidavkem PVK5, tedy předkompostovaný vermikompost ze 100 % hm. slaměných pelet.

Mezi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů se složením 75 % hm. čistírenské kaly + 25 % hm. slaměné pelety (K2:VK2:PVK2) a dále mezi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů se složením 25 % hm. čistírenské kaly + 75 % hm. slaměné pelety (K4:VK4:PVK4) nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsahu Ca.



Graf 19: Obsah Ca v podzemní biomase vypěstovaného konopí (mg/kg)

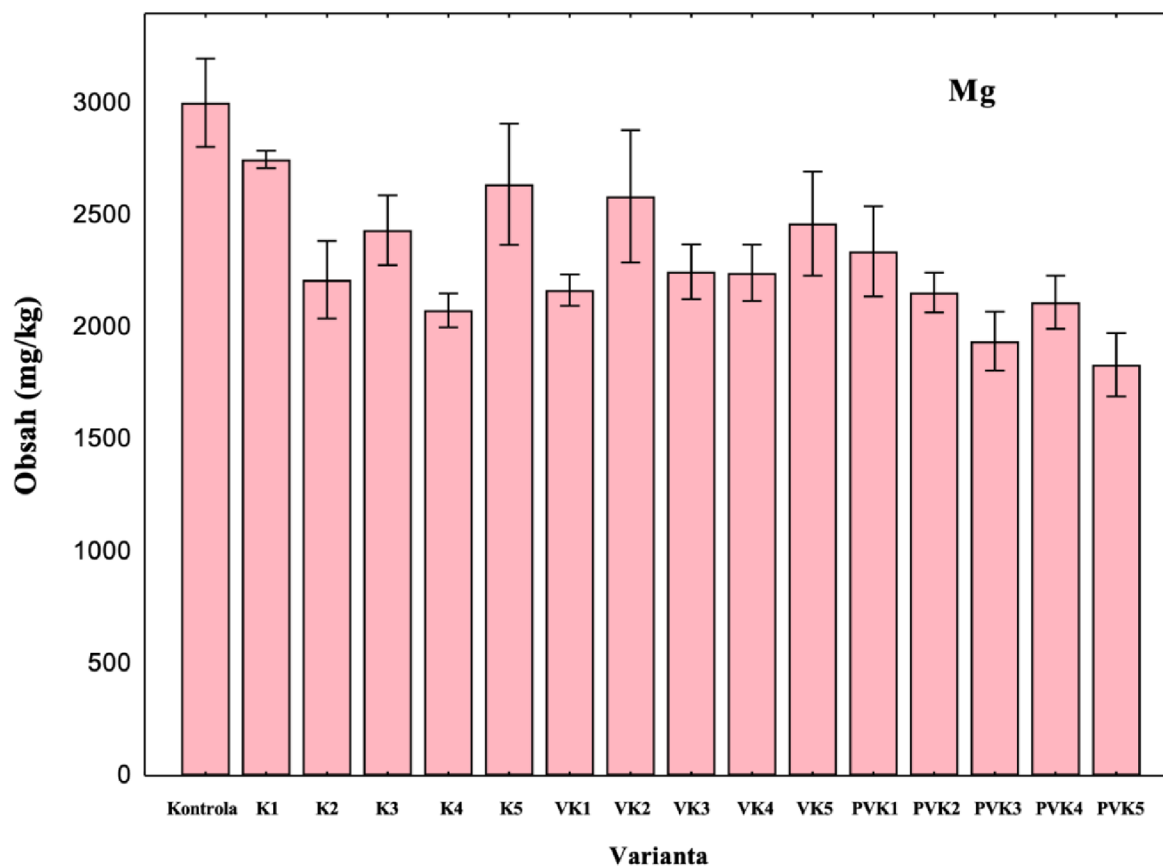
Výsledky statistické analýzy obsahu Mg v kořenech pěstovaného konopí (Graf 20) ukazují, že statisticky významný rozdíl v porovnání s kontrolní variantou byl zjištěn ve všech variantách s přidavkem kompostů a vermikompostů.

Největší obsah Mg v kořenech byl podobně jako u obsahu Ca zaznamenán v kontrolní variantě.

Naopak nejmenší obsah Mg v kořenech byl zjištěn u varianty s přidavkem PVK5.

Mezi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů K2:VK2:PVK2, tedy o stejném složení (75 % hm. čistírenské kaly + 25 % hm. slaměné pelety) nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsazích Mg v kořenech.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 33).



Graf 20: Obsah Mg v podzemní biomase vypěstovaného konopí (mg/kg)



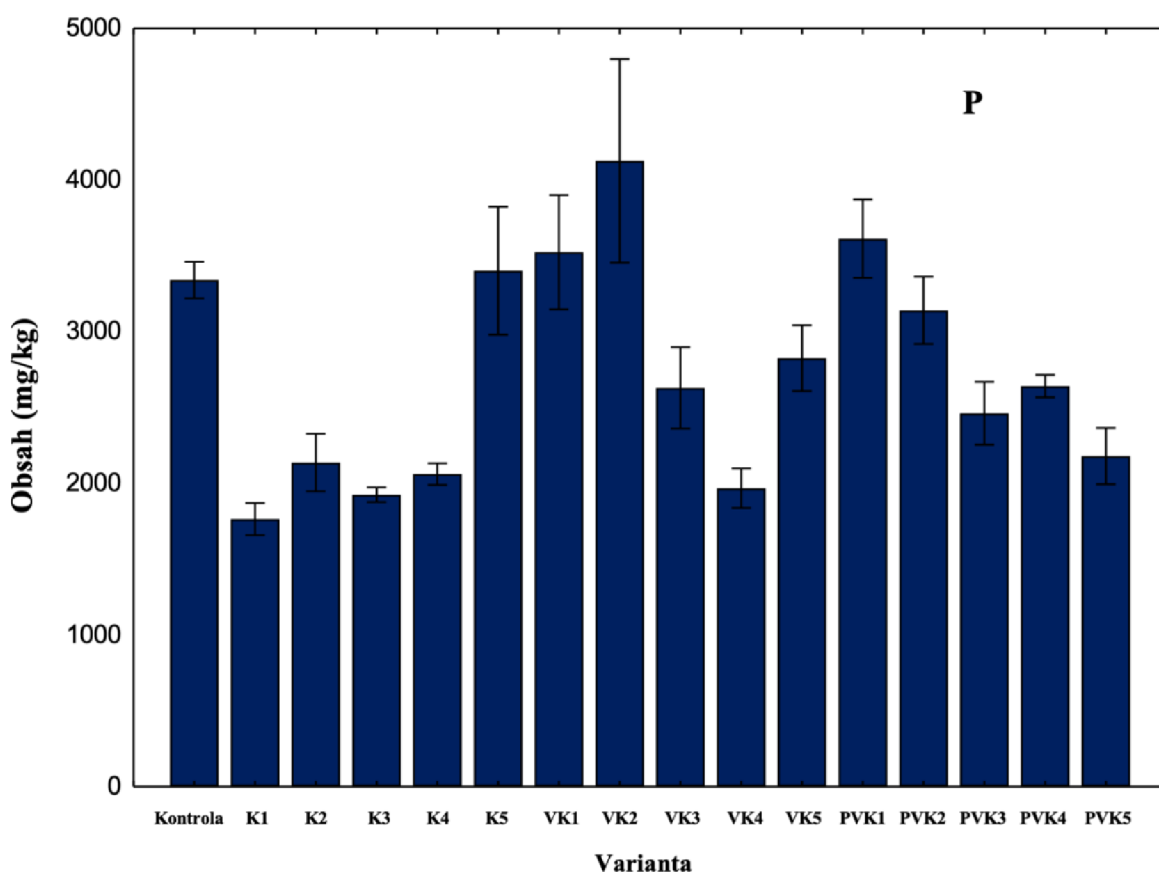
Výsledky statistické analýzy obsahu P v kořenech pěstovaného konopí je znázorněn v následujícím grafu (Graf 21). Kromě varianty s přidavkem PVK3, statisticky významný rozdíl ve srovnání s kontrolní variantou vykazovaly všechny varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů.

Vyšší obsah P ve srovnání s kontrolní variantou bez aditiv měly varianty s přidavkem K5, VK1, VK2 a PVK1. Nejvyšší obsah P byl zaznamenán u varianty s přidavkem VK2, tedy varianta s přidavkem vermikompostu se složením 75 % hm. čistírenský kal + 25 % hm. slaměné pelety.

Nižší obsah P ve srovnání s kontrolní variantou měly varianty s přidavkem K1–4, VK3–5 a PVK3–5. U varianty s přidavkem K1 (100 % hm. čistírenský kal) byl zjištěn nejmenší obsah P v kořenech pěstovaného konopí.

Mezi všemi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů stejného složení se obsahy P statisticky významně lišily.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 33).



Graf 21: Obsah P v podzemní biomase vypěstovaného konopí (mg/kg)

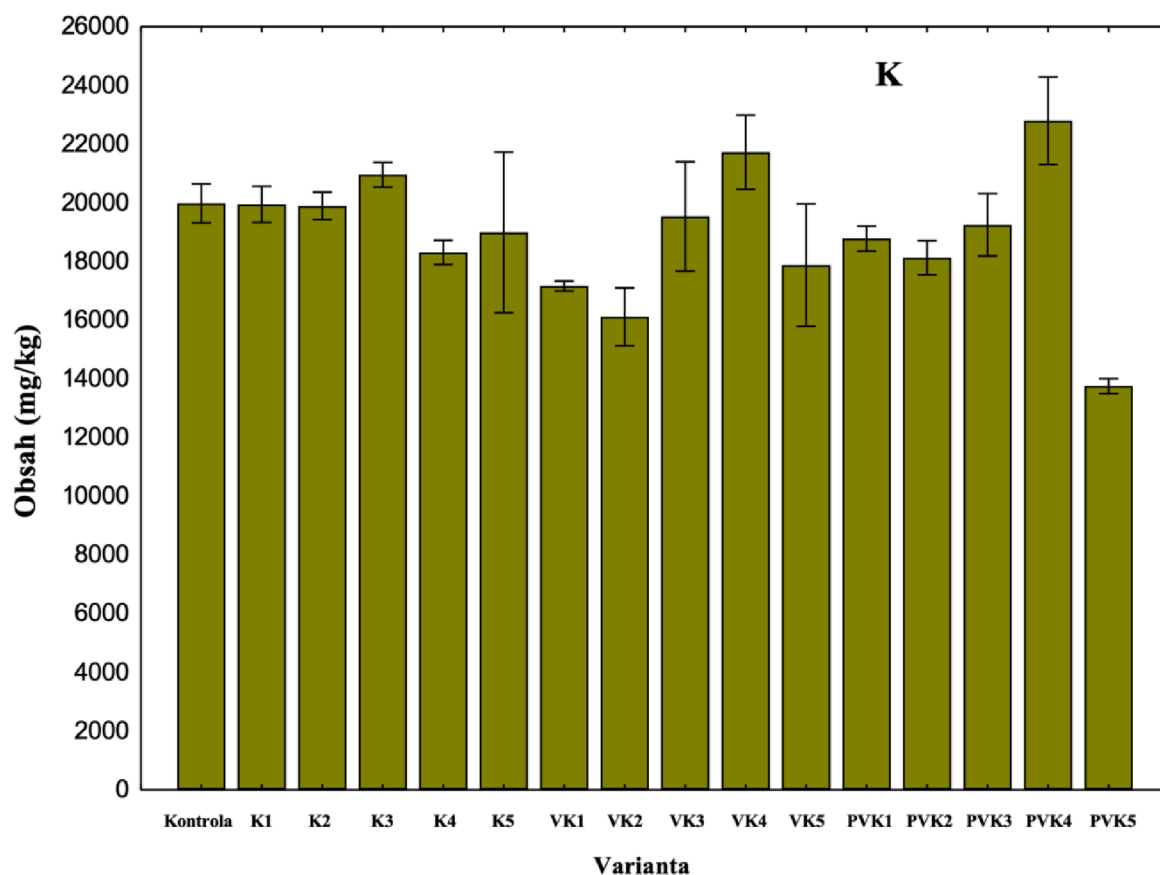
Co se týče obsahu K v kořenech pěstovaného konopí, z následujícího grafu (Graf 22) lze jednoznačně detekovat jeho nejnižší obsah ve variantě s přidavkem PVK5, tedy varianta s přidavkem předkompostovaného vermikompostu se složením 100 % hm. slaměné pelety.

Nejvyšší obsah K v kořenech pěstovaného konopí byl zaznamenán u varianty s přidavkem PVK4.

Statisticky významně se od kontrolní varianty lišily varianty K2, VK2, VK4 a PVK4–5.

Mezi variantami s přidavkem kompostu a vermikompostů K1:VK1:PVK1, tedy o stejném složení (100 % hm. čistírenský kal) nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsazích K v kořenech.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 33).



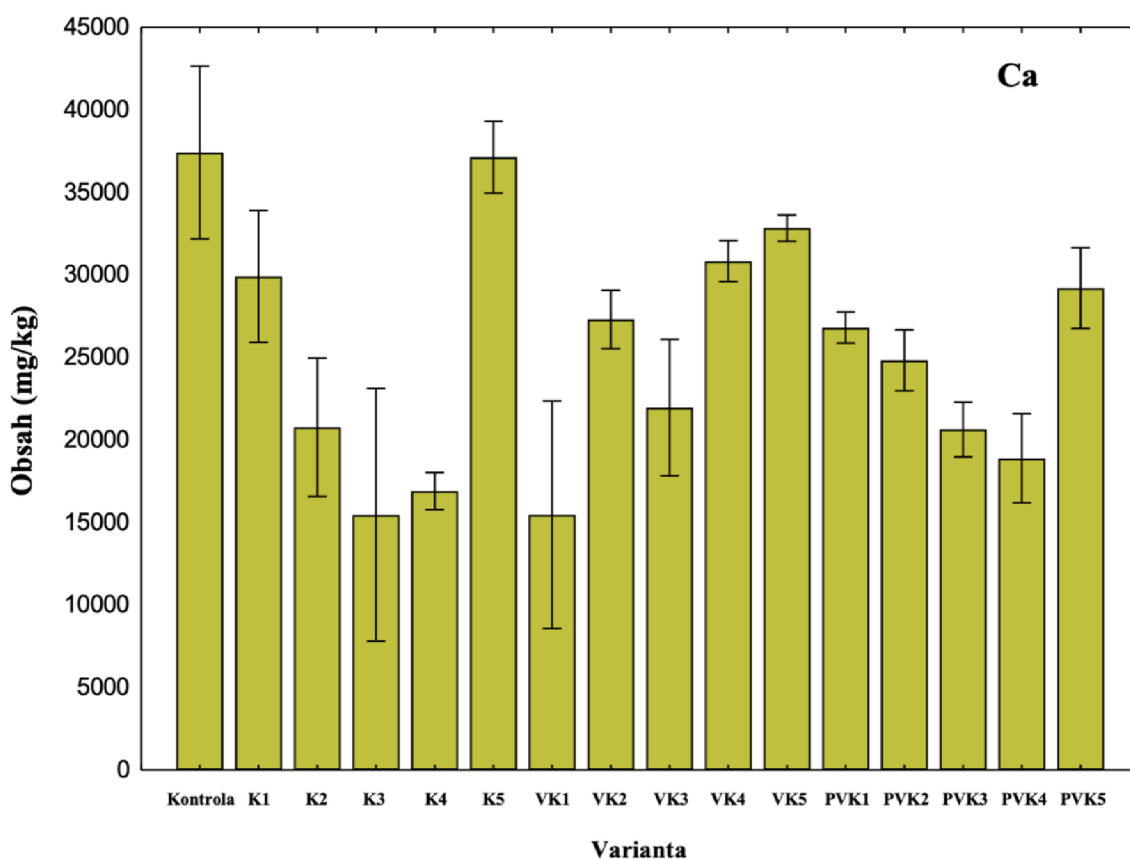
Graf 22: Obsah K v podzemní biomase vypěstovaného konopí (mg/kg)

### 5.3.2 Nadzemní biomasa

Výsledky statistické analýzy obsahu Ca v nadzemní biomase (Příloha 34) ukazují, že jeho nejvyšší obsah byl zaznamenán u kontrolní varianty bez aditiv a dále ve variantě s přidavkem K5 (100 % hm. čistírenský kal), který se od kontrolní varianty statisticky neliší.

Všechny ostatní varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů od kontrolní varianty významně lišily. Obecně v nich naměřen nižší obsah Ca v nadzemní biomase po skončení nádobového pokusu.

Mezi variantami K2:VK2:PVK2 o stejném složení (75 % hm. čistírenský kal + 25 % hm. slaměné pelety) nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsazích Ca v nadzemní biomase.



Graf 23: Obsah Ca v nadzemní biomase vypěstovaného konopí (mg/kg)

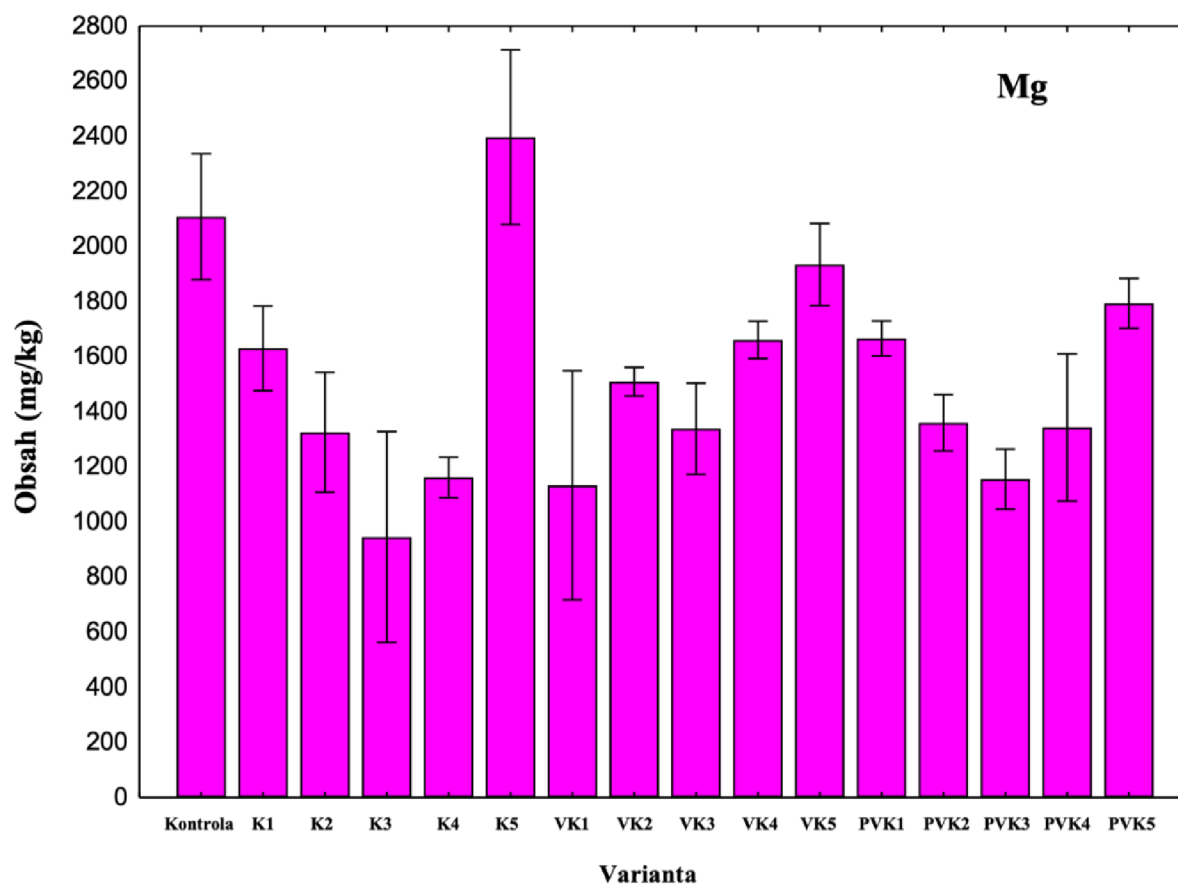
Výsledky statistické analýzy obsahu Mg v nadzemní biomase pěstovaného konopí (Graf 24) ukazují, že statisticky významný rozdíl v porovnání s kontrolní variantou byl zjištěn podobně jako u obsahu Mg v kořenech ve všech variantách s přidavkem kompostů a vermikompostů.

Nejvyšší obsah Mg v kořenech byl podobně jako u obsahu Ca zaznamenán ve variantě s přidavkem kompostu ze 100 % hm. slaměných pelet (K5).

Naopak nejnižší obsah Mg v nadzemní biomase byl zjištěn u varianty s přidavkem K2.

Mezi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů K2:VK2:PVK2, tedy o stejném složení (75 % hm. čistírenské kaly + 25 % hm. slaměné pelety) nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsazích Mg v nadzemní biomase pěstovaného konopí.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 34).



Graf 24: Obsah Mg v nadzemní biomase vypěstovaného konopí (mg/kg)

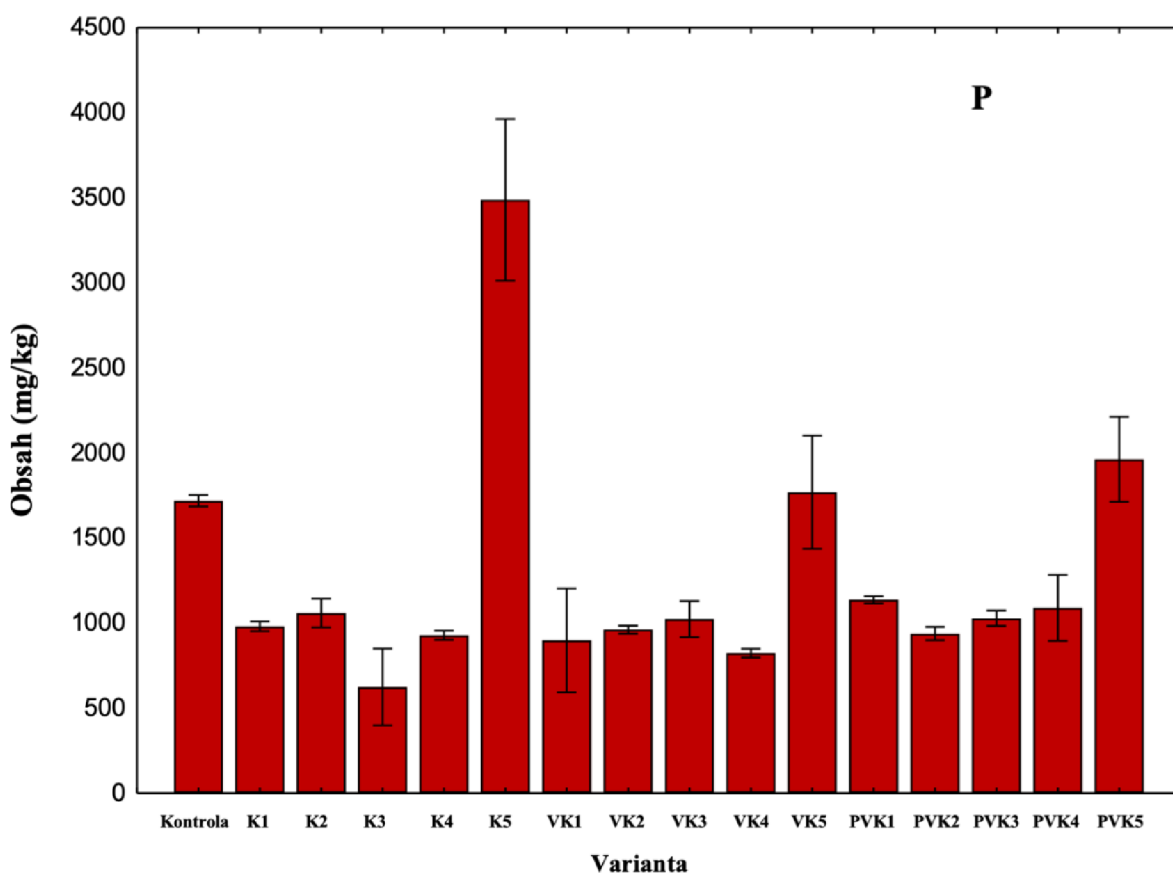
Výsledky statistické analýzy obsahu P v nadzemní biomase pěstovaného konopí je znázorněn v následujícím grafu (Graf 25). Kromě varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů VK5, statisticky významný rozdíl ve srovnání s kontrolní variantou vykazovaly všechny varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů.

Statisticky významně vyšší obsah P ve srovnání s kontrolní variantou bez aditiv měly varianty s přidavkem K5 a PVK5. Nejvyšší obsah P v nadzemní biomase byl zaznamenán u varianty s přidavkem K5, tedy varianta s přidavkem kompostu se složením 100 % hm. slaměné pelety.

Statisticky významně nižší obsah P ve srovnání s kontrolní variantou měly varianty s přidavkem K1–4, VK1–4 a PVK1–4. U varianty s přidavkem K2 (50 % hm. čistírenský kal + 50 % hm. slaměné pelety) byl zjištěn nejmenší obsah P v nadzemní biomase pěstovaného konopí.

Mezi všemi variantami s přidavkem kompostů a vermikompostů stejného složení se obsahy P statisticky významně lišily.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 34).



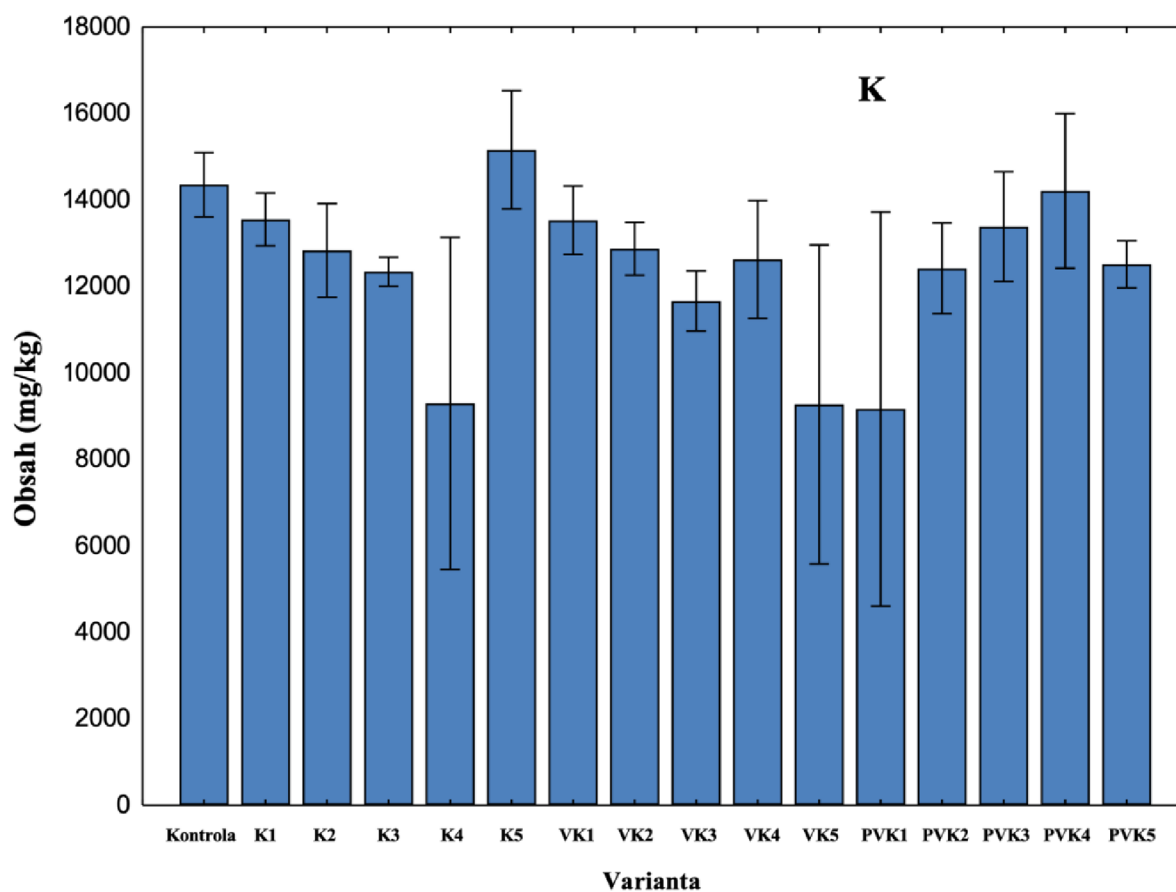
Graf 25: Obsah P v nadzemní biomase vypěstovaného konopí (mg/kg)

Grafický výstup (Graf 26) ze statistické analýzy jednofaktorové ANOVA (Příloha 33) ukazuje, že byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi kontrolní variantou a variantami s přidavkem K4, VK5 a PVK1. Konkrétně ve zmíněných variantách byl nižší obsah K. Ostatní varianty se od kontrolní varianty bez aditiv statisticky nelišily.

Statisticky nejnižší obsah K v nadzemní biomase pěstovaného konopí byl zaznamenán ve variantě s přidavkem PVK1, tedy varianta s přidavkem předkompostovaného vermikompostu se složením 100 % hm. čistírenský kal.

Nejvyšší obsah K v kořenech pěstovaného konopí byl zaznamenán u varianty s přidavkem K5.

Mezi variantami s přidavkem kompostu a vermikompostů K2:VK2:PVK2 a K3:VK3:PVK3, tedy o stejném složení nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsazích K v nadzemní biomase pěstovaného konopí.



Graf 26: Obsah K v nadzemní biomase vypěstovaného konopí (mg/kg)

## 5.4 Odběry prvků vypěstovaným konopím

### 5.4.1 Podzemní biomasa

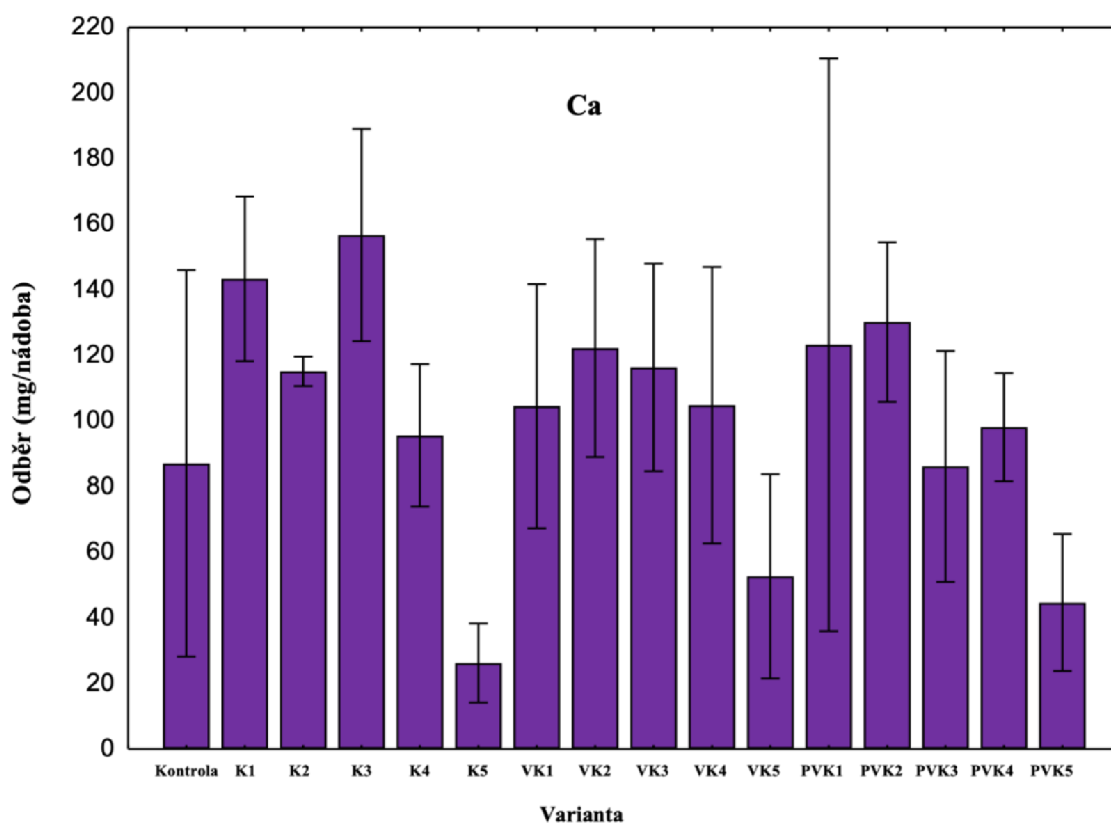
Výsledky odběrů Ca v podzemní biomase pěstovaného konopí (kořenech) (Graf 27) ukazují, že statisticky významný rozdíl v porovnání s kontrolní variantou byl zjištěn ve variantách s přidavkem K1–K3, VK1–VK4 a PVK1–PVK2.

Největší odběr Ca v kořenech byl zaznamenán u varianty s přidavkem K3, kde byl o zhruba 2x více oproti kontrolní variantě.

Naopak nejmenší odběr Ca v kořenech byl zjištěn u varianty s přidavkem K5. Všechny varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů se složením 100 % hm. slaměné pelety vykazovaly malý odběr Ca.

Mezi variantami K1:VK1:VK1, dále K2:VK2:PVK2 a K5:VK5:PVK5, tedy s přidavkem kompostů a vermikompostů o stejném složení nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v odběrech Ca v kořenech.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 35).



Graf 27: Statistické šetření - odběr Ca v podzemní části konopí (mg/nádoba)

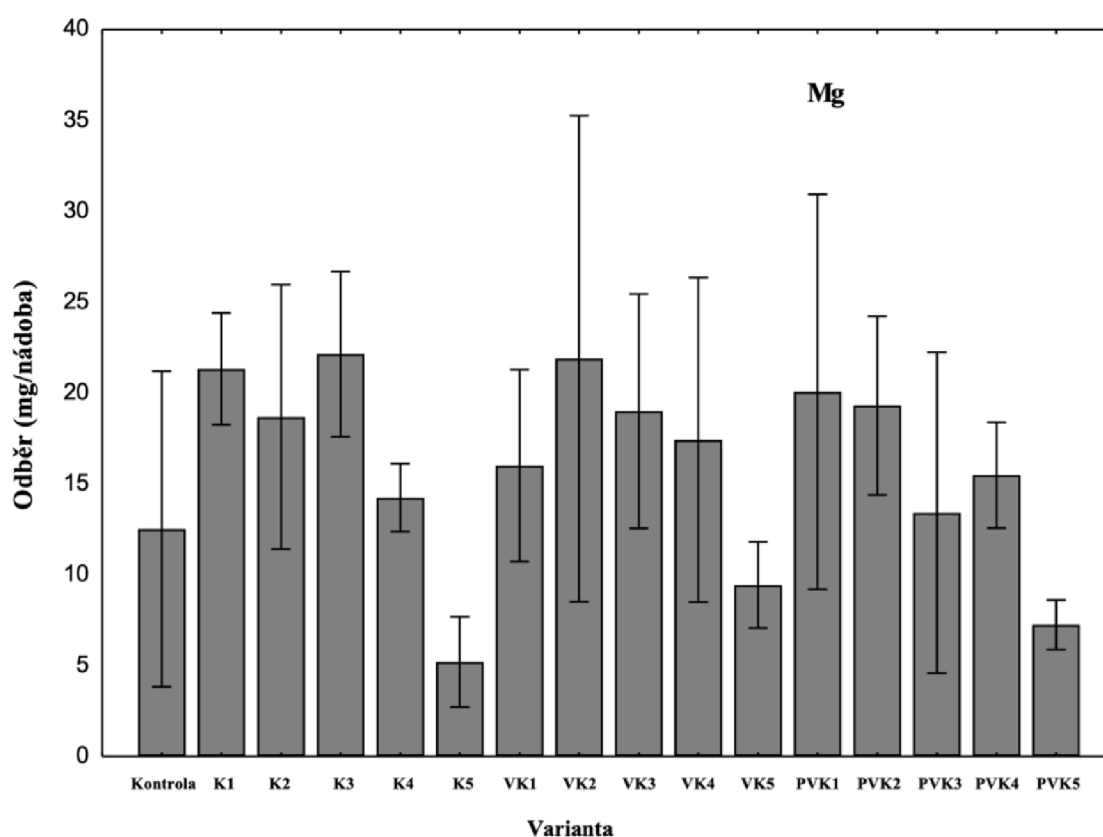
Následující grafický výstup ukazuje odběry Mg v kořenech pěstovaného konopí (Graf 28). Již od pohledu je patrné, že výsledky jsou opět podobné výsledkům oběru Ca.

U variant s přidavkem K1, K3, K5, VK2 a PVK1 byl v porovnání kontrolní variantou zjištěn statisticky významný rozdíl.

Největší odběr Mg je zaznamenán u varianty s přidavkem VK3, tedy se složením 50 % hm. čistírenské kaly + 50 % hm. slaměné pelety. Nejmenší odběr Mg byl zpozorován u varianty s přidavkem K5 se složením 100 % hm. slaměné pelety.

Mezi variantami K4:VK4:VK4, tedy s přidavkem kompostu a vermikompostů o stejném složení 50 % hm. čistírenský kal + 50% hm. slaměné pelety nebyl v kořenech zjištěn statisticky významný rozdíl v odběrech Mg.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 35).



Graf 28: Statistické šetření - odběr Mg v podzemní části konopí (mg/nádoba)



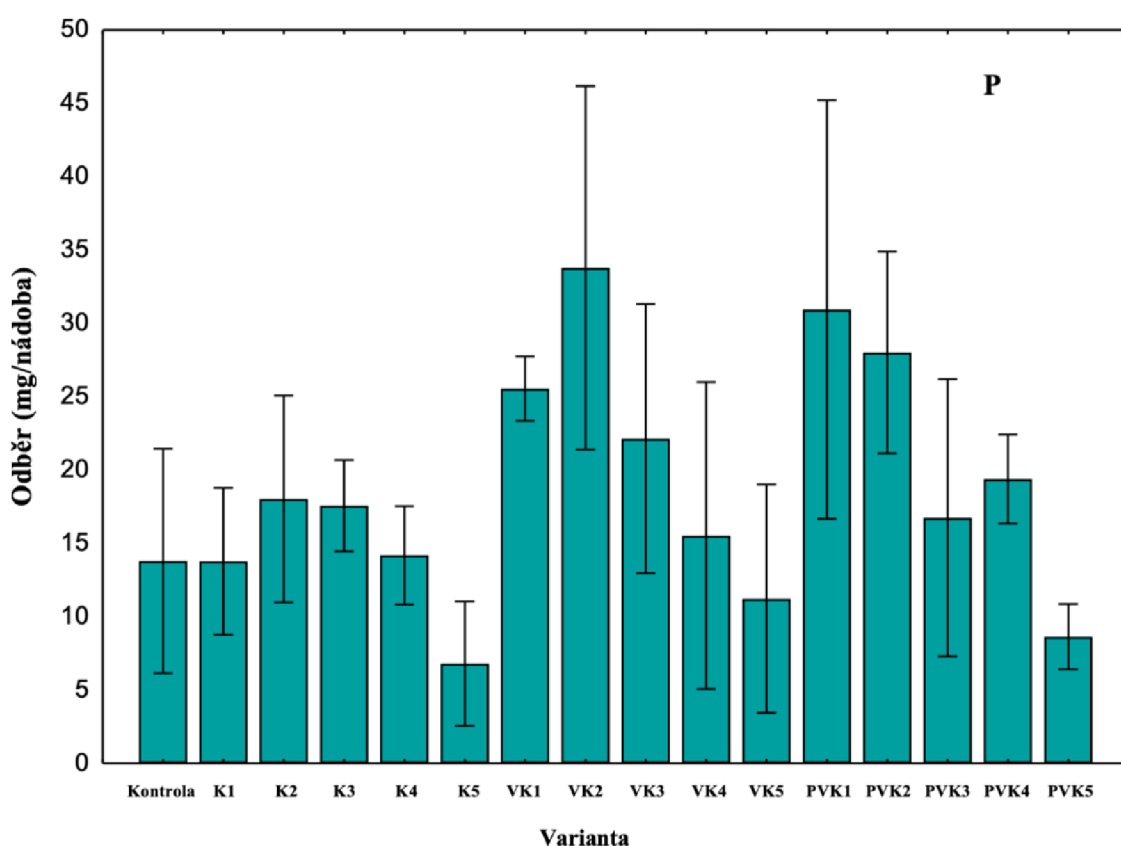
Výsledky měření odběrů P v kořenech pěstovaného konopí je znázorněn v následujícím grafu (Graf 29). Statisticky významný rozdíl ve srovnání s kontrolní variantou vykazovaly varianty s přidavkem K5 a VK2.

Nejvyšší odběr P byl zaznamenán u varianty s přidavkem VK2, tedy varianta s přidavkem vermikompostu se složením 75 % čistírenské kaly + 25 % slaměné pelety.

U varianty s přidavkem VK5 (100 % slaměné pelety) byl zjištěn nejmenší odběr P v kořenech pěstovaného konopí. Dokonce méně než v kontrolní variantě.

Kromě variant s přidavkem kompostu a vermikompostů se složením 100 % hm. slaměné pelety a variant s přidavkem kompostu a vermikompostů se složením 75 % hm. čistírenský kal + 25 % hm. slaměné pelety nejsou statisticky významné rozdíly v odběru P v kořenech po aplikaci kompostů a vermikompostů stejného složení.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 35).



Graf 29: Statistické šetření - odběr P v podzemní části konopí (mg/nádoba)

Co se týče odběrů K v kořenech pěstovaného konopí, jednoznačně nejmenší odběr K byl zaznamenán ve variantách s přidavkem K5, VK5 a PVK5, tedy varianty s přidavkem kompostu a vermikompostů se složením 100 % hm. slaměné pelety. Ty se statisticky významně nelišily od kontrolní varianty.

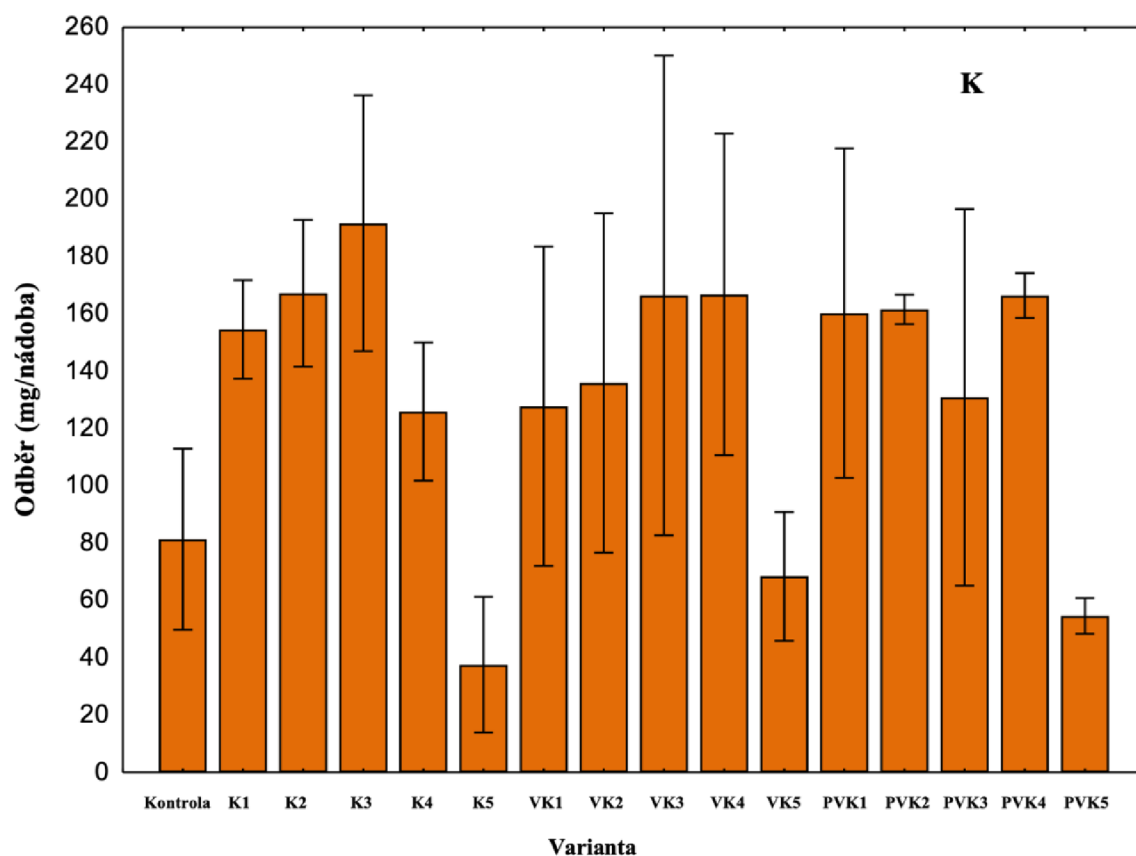
Naopak všechny ostatní varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů se od kontrolní statisticky významně lišily. I zde lze bezpečně říct, že přidavkem kompostu a vermikompostů s podílem čistírenských kalů ve složení významně zvýšil odběr K v kořenech pěstovaného konopí.

Největší odběr K v kořenech pěstovaného konopí obdobně jak tomu bylo u Ca byl zaznamenán u varianty s přidavkem K3.

Naopak nejmenší odběr K v kořenech pěstovaného konopí byl zjištěn u varianty s přidavkem K5.

Kromě varianty s přidavkem kompostu a vermikompostů se složením 25 % hm. čistírenské kaly + 75 % hm. slaměné pelety, nejsou statisticky významné rozdíly v odběrech K v kořenech po aplikaci kompostů a vermikompostů stejného složení.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 35).



Graf 30: Statistické šetření - odběr Ca v podzemní části konopí (mg/nádoba)

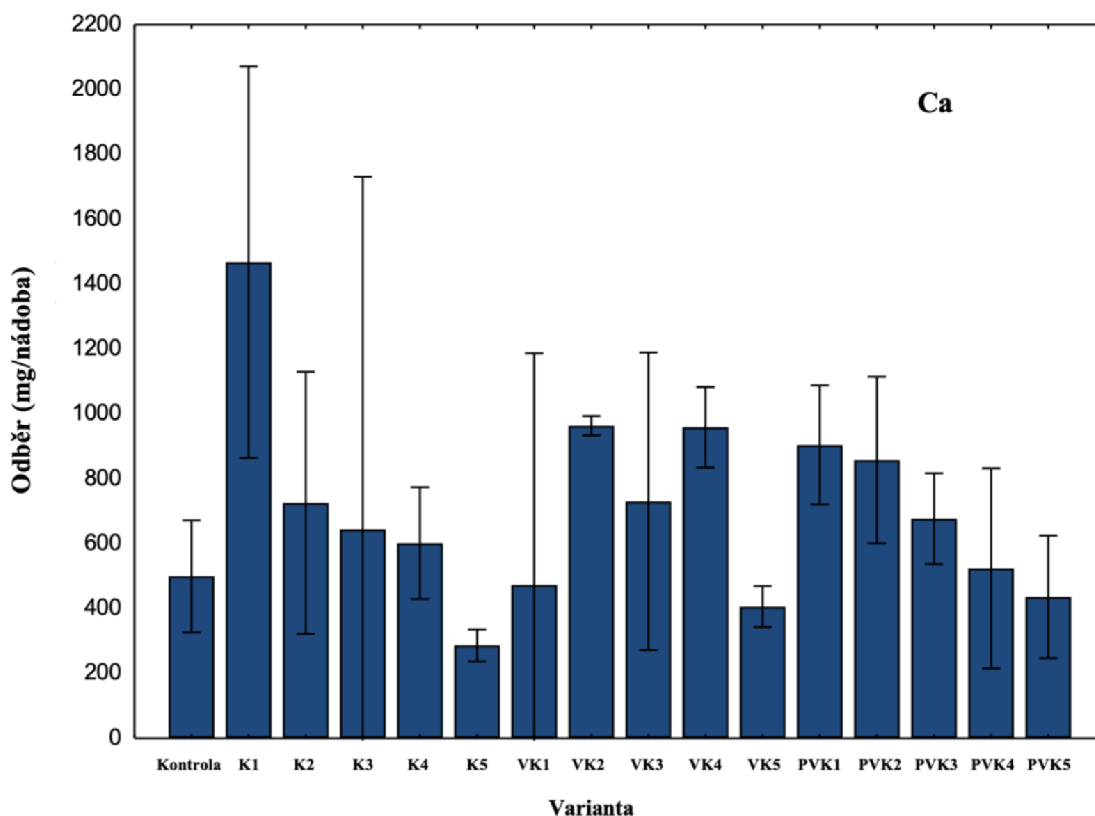
### 5.4.2 Nadzemní biomasa

Výsledky ukazují, že odběry Ca v nadzemní biomase pěstovaného konopí byl vyšší ve variantách s přidavkem kompostů a vermikompostů, které měly ve složení podíl čistírenského kalu, což znázorňuje následující statistický výstup. Rozdíl je přisuzován vyššímu odběru Ca rostlinou v případě přidavku kompostovaných a vermikompostovaných materiálů v průběhu experimentu, než k jakému dochází bez aplikace těchto hnojiv.

Ve srovnání s kontrolní variantou byl zjištěn statisticky významný rozdíl v odběru Ca u variant s přidavkem K1, K5, VK2, VK4 a PVK1–PVK2. Největší odběr Ca byl zaznamenán u varianty s přidavkem K1, tedy kompost se složením 100 % hm. čistírenské kaly. Lze také povšimnout, že u všech variant kde byl přidavek kompostovaných a vermikompostovaných materiálů se složením 100 % hm. slaměné pelety, vykazovaly nízký odběr Ca v nadzemní biomase pěstovaného konopí.

Mezi variantami K3:VK3:VK3, tedy komposty a vermikomposty o stejném složení 50 % hm. čistírenský kal + 50 % hm. slaměné pelety nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v odběru Ca.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 36).



Graf 31: Statistické šetření - odběr Ca v nadzemní části konopí (mg/nádoba)

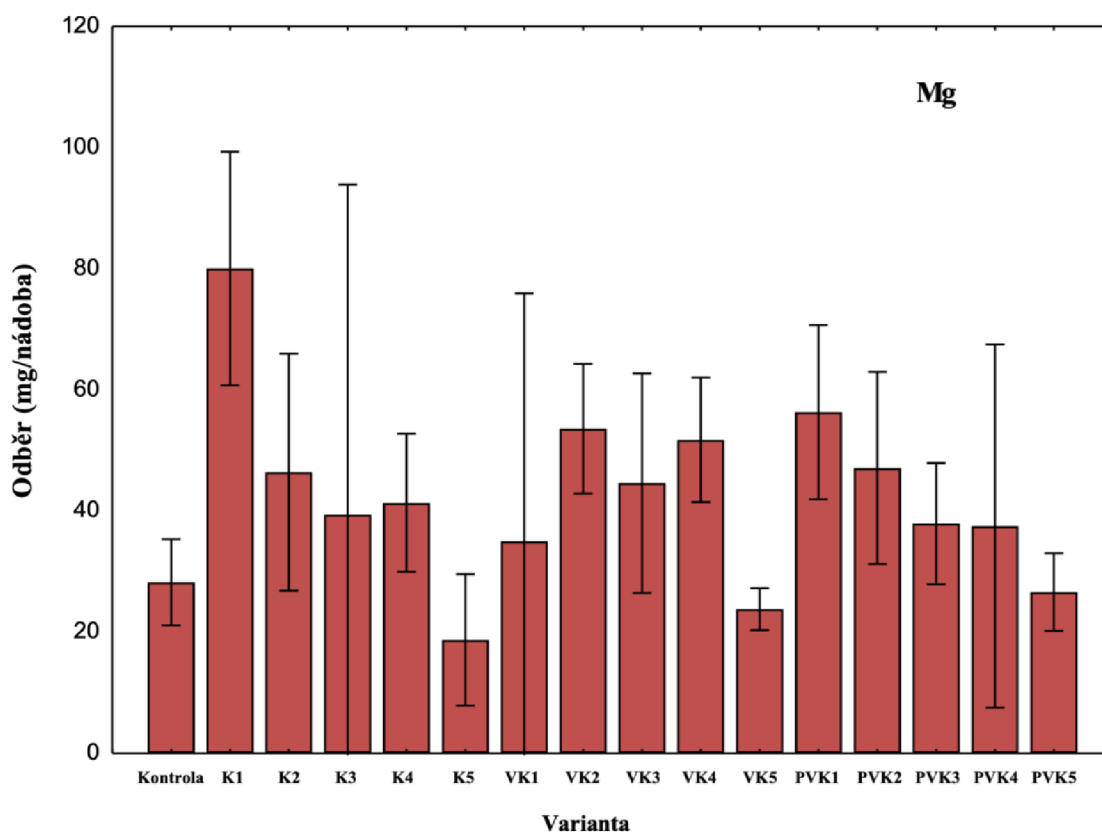
V následujícím grafickém výstupu je znázorněn odběr Mg v nadzemní biomase pěstovaného konopí (Graf 32). Již od pohledu je patrné, že výsledky jsou nápadně podobné výsledkům oběru Ca. Ve všech variantách hnojení kompostem a vermikompostem s podílem čistírenských kalů ve složení byl zpozorován vyšší odběr Mg oproti kontrolní variantě.

V porovnání kontrolní variantou byl statisticky významně rozdílné varianty s přidavkem K1, K5, VK2, VK4 a PVK1–PVK2.

Největší odběr Mg je opět zaznamenán u varianty s přidavkem K1, tedy kompost se složením 100 % hm. čistírenský kal. Nejmenší odběry Mg byl zpozorován u variant s přidavkem kompostů a vermikompostů se složením 100 % hm. slaměné pelety.

Mezi variantami K3:VK3:PVK3, tedy s přidavkem kompostů a vermikompostů o stejném složení 50 % hm. čistírenský kal + 50 % hm. slaměné pelety nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v odběru Mg.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 36).



Graf 32: Statistické šetření - odběr Mg v nadzemní části konopí (mg/nádoba)

Výsledky (Graf 33) ukazují vyšší odběr P v nadzemní biomase pěstovaného konopí po přidavku kompostů a vermikompostů.

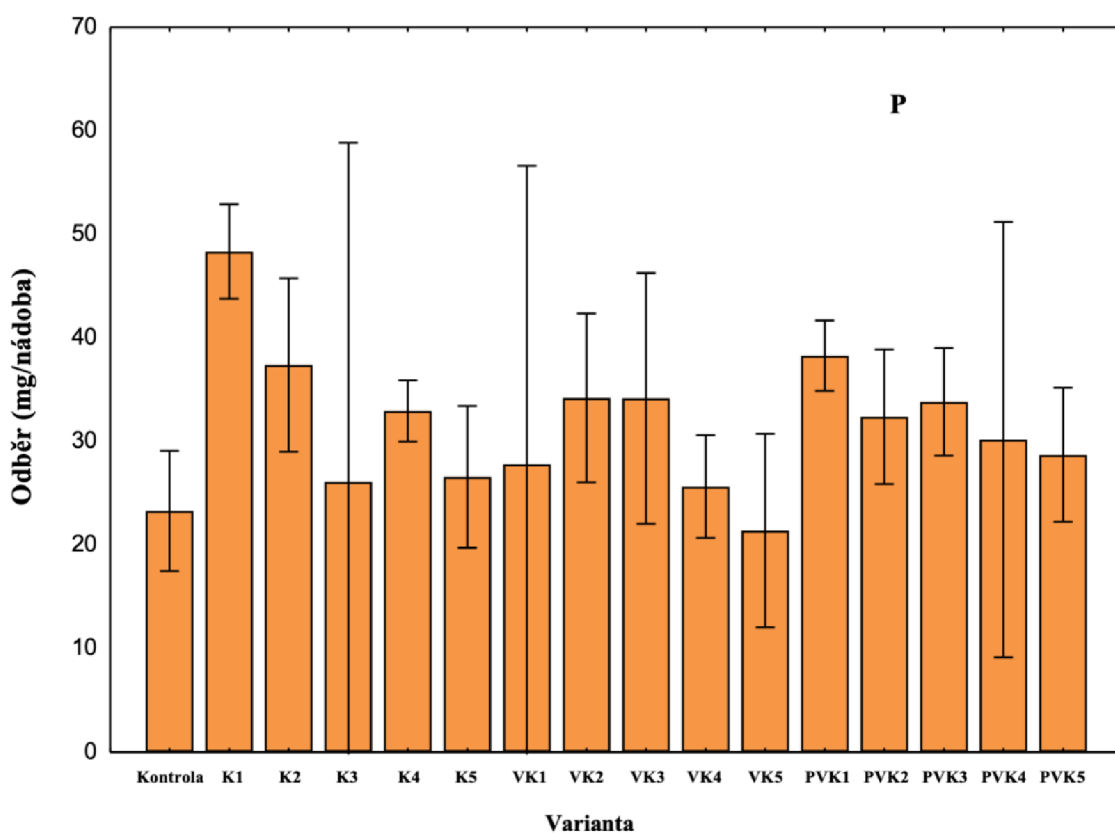
Statisticky významné rozdíly ve srovnání s kontrolní variantou vykazovaly varianty s přidavkem K1–K4, VK2–VK3 a PVK1–PVK5.

Nejvyšší odběr P byl zaznamenán u varianty s přidavkem K1, tedy varianta s přidavkem kompostu se složením 100 % čistírenské kaly.

Varianta s přidavkem VK5 (100 % hm. slaměné pelety) vykazovala nejmenší obsah P v nadzemní biomase pěstovaného konopí, který je srovnatelný s kontrolní variantou.

Mezi variantami K2:VK2:PVK2, tedy s přidavkem kompostů a vermikompostů o stejném složení 75 % hm. čistírenský kal + 25 % hm. slaměné pelety nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v odběru P.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 36).



Graf 33: Statistické šetření - odběr P v nadzemní části konopí (mg/nádoba)

Co se týče odběru K v nadzemní biomase, následující graf (Graf 34) jednoznačně ukazuje nejmenší odběry ve všech variantách s přidavkem K5, VK5 a PVK5, tedy kompost a vermikomposty se složením 100 % hm. slaměné pelety. Ty se statisticky významně nelišily od kontrolní varianty.

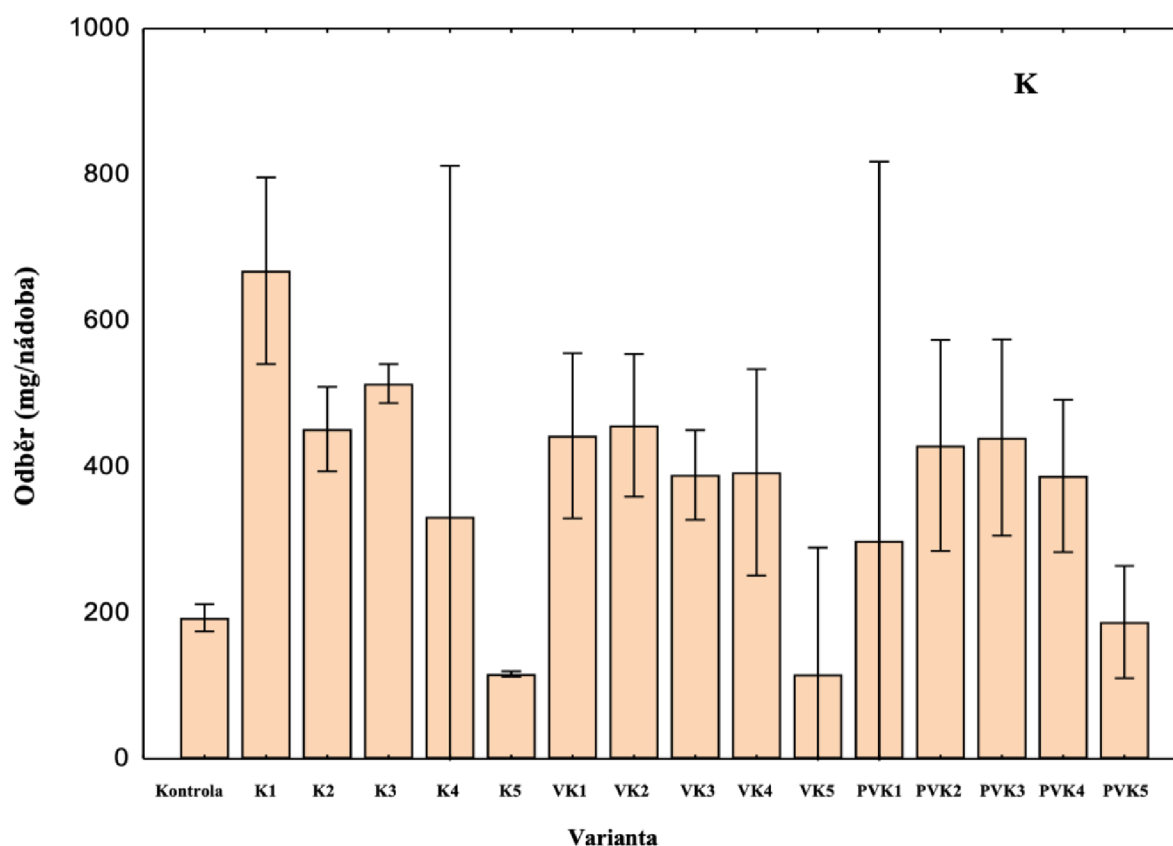
Naopak všechny ostatní varianty s přidavkem kompostů a vermikompostů se od kontrolní statisticky významně lišily. V průměru v nich bylo o zhruba 2,2x vyšší odběr draslíku. Z toho lze usoudit, že přidavkem kompostů a vermikompostů s podílem čistírenských kalů ve složení významně zvýšil odběr K v nadzemní biomase pěstovaného konopí.

Největší odběr K v nadzemní biomase pěstovaného konopí obdobně jak tomu bylo u všech předchozích prvků byl zaznamenán u varianty s přidavkem K1.

Nejmenší odběr K v nadzemní biomase pěstovaného konopí byl zjištěn u varianty s přidavkem K5.

Kromě variant, kde byl přidavek kompostu a vermikompostů se složením 100 % hm. čistírenský kal, nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v odběrech K v nadzemní biomase ve variantách s přidavkem kompostů, vermikompostů a předkompostovaných vermikompostů stejného složení.

Podrobné výsledky ze statistické analýzy lze najít v přílohách (Příloha 36).



Graf 34: Statistické šetření - odběr K v nadzemní části konopí (mg/nádoba)

## 6 Diskuze

### 6.1.1 Změny půdních parametrů

Azarmi et al. (2008) ve svém výzkumu zkoumali vliv aplikace vermikompostu z ovčího hnoje na půdu a rostliny. Experiment byl proveden na lilku rajče (*Lycopersicon esculentum* L. odrůda *Super Beta*) na pokusné farmě v Moghan Agricultural Research Center, Irán v roce 2007. Půdní druh pokusného pole byla hlinitá. Aplikační dávka činila 0, 5, 10, 15 t/ha. V tomto pokusu byl zjištěn pokles  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  půdy. Autoři přisuzovali tento pokles okyseličujícím efektem  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CO}_2$  a organických kyselin, které vznikají během postupné mineralizaci vermikompostu mikroorganismy po jeho aplikaci. Dalším zjištěním bylo, že elektrická vodivost (EC) u půdy hnojené vermikompostem byla významně vyšší než v neošetřené půdě. Hodnota EC půdy se zvyšovala se zvyšující se aplikační dávkou vermikompostu v půdě. Autoři studie zdůrazňovali, že EC vermikompostu závisí na surovinové skladbě vermikompostu a s tím související koncentraci iontů.

Ve studii, kterou provedli Musaida et al. (2013) zkoumali vliv vermikompostu na aplikovanou půdu. Surovinová skladba vermikompostu tvořila odpadní kukuřičná drť, kravský hnůj, zbytky zeleniny a odpadní kancelářský papír. Půda, na kterou byl aplikován vermikompost byla hlinito-jílovitá. Aplikační dávka byla 750 g čerstvého vermikompostu konstantně na 4 kg půdy po dobu 25 dní. Odběry vzorku pro analýzy proběhly každý den před další aplikací. Studie přinesla zjištění, že aplikací vermikompostu se v půdě snížilo  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  a elektrická vodivost. Zajímavým zjištěním je, že s rostoucí dobou aplikace vermikompostu naopak vedla ke zvýšení  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  půdy a elektrické vodivosti.

Výsledky této diplomové práce ukazují, že jednorázová aplikace kompostů a vermikompostů měla prokazatelně vliv na snížení elektrické vodivosti půdy, což je v rozporu se zjištěním Azarmi et al. 2010. Pravděpodobné vysvětlení tohoto jevu lze najít ve studii Musaida et al. (2013), kde autoři zjistili, že EC půdy se zvyšuje se zvyšováním doby aplikace, což v případě této diplomové práce nebylo zkoumáno a aplikace byla pouze jednorázová.

Výsledky měření v této diplomové práci na rozdíl od zjištění Azarmi et al. (2010) potvrdily snížení hodnoty  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  pouze v jedné variantě, a to v případě, kde byl aplikován kompost se složením 100 % hm. čistírenské kaly. Naopak u varianty, kde byl aplikován kompost se složením 25 % hm. čistírenský kal + 75 % slaměné pelety a dále u varianty, kde byl aplikován vermikompost se složením 100 % hm. slaměné pelety bylo zjištěno zvýšení  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ . U ostatních variant s jednorázovou aplikací kompostů a vermikompostů nebyly zjištěny změny v  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ . Pravděpodobné vysvětlení tohoto jevu lze opět najít ve studii, kterou provedli Azarmi et al. (2010) a Musaida et al. (2013), kde autoři přisuzovali snížení  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  vyšší aplikační dávce a delší době aplikace.

Co se týče hodnot  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  půdy po skončení nádobového pokusu, v rámci této diplomové práce nebyly zpozorovány žádné významné změny po aplikaci kompostů a vermikompostů.

## 6.1.2 Změny v obsahu vybraných makronutrientů v půdě

Výzkum Azarmi et al. (2010) navíc kromě změny pH a elektrické vodivosti ve hnojené půdě (kapitola 6.1.1) přinesla zjištění, že vermikompost z ovčího hnoje v dávce 15 t/ha významně zvýšil obsah přístupného P (+13,1 mg/kg) ve hnojené půdě ve srovnání s kontrolními plochami. Zvýšení zaznamenali i u přístupného K v půdě s rostoucí dávkou vermikompostu. Aplikace vermikompostu v dávce 15, 10 a 5 t/ha zvýšila obsah přístupného K o 58, 46 a 34 % ve srovnání s kontrolními variantami. Konkrétně u dávky 15 t/ha byl zaznamenán zvýšení obsahu K v půdě o 220,7 mg/kg.

Dvouletý výzkum, který provedl Epstein et al. (1976), posuzoval vliv různých dávek hnojení kompostem z čistírenských kalů (0, 40, 80, 120 a 240 t/ha) na fyzikální a chemické vlastnosti jílovité půdy. Ve výzkumu zaznamenali zvýšení obsahu dostupného P o 20 mg/kg v jílovité půdě již při malých aplikačních dávkách (40 t/ha). Jeho obsah v půdě dokonce převyšoval množství potřebné pro dobrý růst plodin.

Heisey et al. (2022) v rámci studie zkoumali vliv jednorázové aplikace kompostu na půdu a pěstované ředkve ohnice (*Raphanus raphanistrum subsp. sativus*). Kompost se skládal ze směsi lidských exkrementů a výlisků z cukrové třtiny kompostované v kompostovacích toaletách. Použitá půda v nádobovém pokusu byl chudý oxisol. Aplikační dávka kompostu v 7,5 l nádobě byl 215,4 g (100 % hm. sušiny), což odpovídá dávkě 47,6 t/ha. Studie přinesla zjištění, že obsah Ca v půdě byl aplikací kompostu zvýšen. Dále se významně zvýšily koncentrace K a Mg.

Tharmaraj et al. (2011) ve své studii dospěli k výsledkům, že se významně zvýšil obsah Ca (+5 mg/kg) a Mg (+4 mg/kg) v půdě po pěstování rýže seté (*Oryza sativa*). Aplikovaný aditivum byl vermikompost z kravského hnoje a kompost z výlisků z cukrové třtiny. Obsah Mg a P v půdě ve srovnání s kontrolní variantou zůstal zhruba stejný.

V rámci této diplomové práce bylo zjištěno, že došlo k poklesu obsahu Ca v půdě po ukončení nádobového pokusu. V průměru se jednalo o 369,4 mg/kg méně než v kontrolní variantě bez aditiv. Pravděpodobné vysvětlení nižšího obsahu Ca v půdě je jeho vyšší odběr pěstovaným konopím, což lze vidět ve výsledcích odběru Ca (Graf 27, Graf 31).

U obsahu Mg v půdě po ukončení nádobového pokusu byl jeho lehký nárůst (12 mg/kg) zaznamenán pouze ve variantě aplikace předkompostovaného vermikompostu se složením 100 % hm. čistírenský kal. V ostatních variantách s přidavkem kompostů a vermikompostů o různém poměru čistírenský kal + pelety ve složení nebyl zaznamenán významný nárůst Mg v půdě. V případě aplikace kompostu se složením 25 % hm. čistírenský kal + 75 % hm. slaměné pelety došlo k významnému úbytku Mg (-40 mg/kg) ve srovnání s kontrolní variantou bez aditiv.

Co se týče obsahu P v půdě bylo v této diplomové práci zjištěno, že již při jednorázové aplikaci kompostů a vermikompostů u všech variant kromě varianty kompostu ze 100 % hm. slaměných pelet se zvýšil obsah P v průměru o 20,8 mg/kg ve srovnání s kontrolní variantou, což koresponduje se zjištěním Epstein et al. (1976). Kompost se složením 100 % hm. slaměné pelety v této diplomové práci měl nejnižší obsah P oproti ostatním variantám (Tabulka 11, Tabulka 12). Dále bylo také zaznamenáno u variant s přidavkem kompostů a vermikompostů s vyšším podílem čistírenských kalů ve složení vyšší obsah P v půdě. To odpovídá známé



skutečnosti, že čistírenské kaly jsou významným zdrojem P (Cyzdik-Kwiatkowska & Nosek 2020; Lanno et al. 2021; Sichler et al. 2022).

Aplikace kompostu a vermikompostu ze 100 % hm. slaměných pelet udržely anebo zvýšily obsah K v půdě v porovnání s kontrolní variantou a původní zeminou. Pravděpodobné vysvětlení vyššího obsahu K v půdě pouze v těchto variantách je vyšší odběr K pěstovaným konopím u variant s přidavkem kompostů a vermikompostů s podílem čistírenských kalů ve složení, což bylo také potvrzeno.

### 6.1.3 Výnos čerstvé a suché hmoty

Wei & Liu (2005) ve své tříleté polní studii z roku 2005 hodnotili vliv aplikace kompostu z čistírenských kalů na plodiny a ornou půdu. Experiment proběhl ve vesnici poblíž města Taiyuan v provincii Shanxi, v Číně. Půda v této oblasti byla charakterizována jako málo úrodná bez bližších informací. Jako hnojivo byl použit kompost z čistírenských kalů z čistírny odpadních vod ve městě Taiyuan a dřevního odpadu s 26,8 % obsahu vody a 78,6 % organických látek v sušině. Bylo založeno 7 experimentálních polí, kde první pole byla kontrolní bez aditiv a na zbývajících 6 polí činily aplikační dávky kompostů 25, 50, 100, 150, 200 a 400 t/ha.

Studie prokázala zvýšení výnosu u ječmene při aplikační dávce kompostu 150 t/ha, konkrétně o 33 % vyšší hmotnost klásku a o 28 % vyšší hmotnost zrna. Dále byl prokázán jednoznačně vyšší výnos u čínského zelí, u kterého došlo k 50% zvýšení průměrné hmotnosti. Tento přínos připsali vyššímu obsahu N, na který jsou čistírenské kaly bohaté. U řepky kompost z čistírenských kalů stimuloval její další vývoj a růst již při nižších dávkách, proto na závěr bylo připojeno doporučení aplikace pouze v dávkách do 150 t/ha kvůli riziku vyšší kumulace Zn a Cu v půdách. (Wei & Liu, 2005)

Kompost obecně je známý jako skvělé organické hnojivo pro chudé půdy. Ve studii, kterou provedli výzkumníci Debrecínské univerzity, pozorovali pozitivní účinky aplikace kompostu z čistírenských kalů na výnos tritikale, pěstovaného na acidické písčité půdě (86,01 % písek, 4,08 % siltové frakce, 9,64 % jílu). Charakteristikou písčitých půd je nízká úrodnost a malý obsah minerálních a organických koloidů. To v takových půdách způsobuje nízkou retenci vody a nedostatek makro a mikroživin. Aplikovaný kompost byl složen ze 40 % hm. čistírenských kalů, 25 % hm. slámy, 30 % hm. ryolitu a 5 % hm. bentonitu. Aplikační dávka činila 0,9; 18 a 27 t/ha. Výnosy ošetřených rostlin byly ve tříleté studii v průměru o 0,64 t/ha vyšší než kontrolní. Nejvyšší výnos tritikale byl zpozorován u dávky 27 t/ha. Porosty se vyznačovaly výraznější zelenou barvou a lepší vitalitou (Tomócsik et al. 2016).

Výzkumníci z Ghany zkoumali vliv kompostu z biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO), prasečího a kozího hnoje na výnos kukuřice seté (*Zea mays*) pěstované na ferrickém acrisolu. Ten se vyznačuje mírně kyselým pH a převážně písčitohlinitou zrnitostí. Výsledky experimentu jednoznačně ukazují zvýšení výnosů u variant ošetřených kompostem oproti neošetřeným variantám. Průměrně byl zvýšení výnosu biomasy kukuřice o 1,6 t/ha. Autoři odůvodňují vyšší výnosy vyšším obsahem uvolněných živin z kompostu (Boakye et al. 2023).

Ke stejnému závěru dospěli i Reimer et al. (2023) po 21 letech hnojení kompostem na experimentálním poli, kde je půdním typem luvizem (30 % jílu, 68 % hlíny a 2 % písku). Hodnota pH půdy byla blízká neutrálnímu a pohybovala se v rozmezí 6,0–7,5.

Wang et al. (2017) ve své studii potvrdili zjištění Hanč & Vašák (2015), že vermikomposty jsou bohaté na přístupný K. Právě vyššímu obsahu K ve vermikompostech přisuzovali zlepšení výnosu a kvality plodů rajčat. Aplikovaný vermikompost podle autorů zvýšil výnos plodů o průměrně 74 % u rajčat na půdách, kde nebyla historicky pěstovaná rajčata.

V případě této práce nebylo potvrzeno, že by aplikované vermikomposty obsahovaly více přístupného K než komposty a předkompostované vermikomposty stejného složení, naopak vermikomposty ze surovin byly ze všech variant hnojení nejméně bohaté na přístupný draslík.

V rámci této diplomové práce byl prokázán vyšší výnos čerstvé hmoty (+56,2 g/nádoba) pěstovaného konopí po aplikaci kompostů a vermikompostů s podílem čistírenských kalů (K1–4, VK1–4, PVK1–4) což koresponduje se zjištěním výše zmíněných autorů. Nicméně nebyly prokázány statisticky významné rozdíly ve výnosu suché hmoty pěstovaného konopí po aplikaci těchto materiálů ve srovnání s kontrolní variantou bez aditiv.

#### 6.1.4 Změny v obsahu vybraných makronutrientů v pěstovaném konopí

Řecká studie z roku 2019 zkoumala vliv aplikací NPK hnojiva (84 kg N/ha, 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha a 60 kg K<sub>2</sub>O/ha) na konopí seté (*Cannabis sativa*). Výsledky analýz ukazují, že průměrně bylo v biomase pěstovaného konopí 21200 mg/kg Ca, 8840 mg/kg Mg, 3696 mg/kg P a 25647 mg/kg K (Wogiatzi et al. 2019).

Wen et al. (1999) ve svém výzkumu, kde aplikovali kompost z čistírenských kalů na písčitohlinitou půdou a sledovali změny v obsahu Ca a Mg v hlávkovém salátu (*Lactuca sativa*), fazolu obecném (*Phaseolus vulgaris*) a petúnií zahradní (*Petunia hybrida*), přinesl zjištění, že se zvyšující se aplikační dávkou kompostu se snižovala koncentrace Ca a Mg v plodinách.

Warman & Termeer (2005) ve své dvouleté polní studii sledovali vliv kompostu na obsah a příjem vybraných prvků v kukuřici seté (*Zea mays*). Kompost byl složen ze směsi čistírenských kalů a koňské podestýlky. Aplikační dávka kompostu činila 25,7 sušiny t/ha. Kompost měl malý vliv na zvýšení obsahu Ca a Mg v kukuřičných pletivech.

Studie, kterou provedli Karlsons et al. (2016) přinesla zjištění, že aplikace vermikompostu ze směsi čistírenských kalů, dřevěných pilin a listí ovlivnila minerální výživu žita setého (*Secale cereale*), což se projevilo změnami v obsahu minerálních živin v nadzemní biomase a kořenech. Aplikace vermikompostu do písčité půdy v podměru 1:1 vedla k významnému zvýšení obsahu P, K v nadzemní biomase žita setého. Podobný, ale výraznější účinek, byl zaznamenán také u obsahu Ca. Naopak aplikace vermikompostu neměla žádný významný vliv na zvýšení obsahu Mg v nadzemní biomase žita.

Bar-Tal et al. (2004) hodnotili ve své studii vliv hnojení kompostem z čistírenských kalů na pšenici setou (*Triticum aestivum*). Kompost byl každoročně po dobu tří let aplikován na písčitou půdu v dávkách odpovídajících 3, 6 a 12 kg/m<sup>2</sup>. Celkový výnos sušiny, produkce zrna a množství N, P a K přijímané rostlinami se zvyšovaly se zvyšující se dávkou kompostu. Příjem P a K rostlinami u dávky kompostu 12 kg/m<sup>2</sup> byl mnohem vyšší (3–13x) než u rostlin

v nehnojené variantě. Postupná aplikace vysokých dávek kompostů vedla k akumulaci P a K v půdním profilu.

V rámci této diplomové práce bylo zjištěno, že obsah Ca v nadzemní i podzemní biomase pěstovaného konopí, v porovnání s kontrolní variantou bez aditiv, nebyl vyšší ve variantách, kde došlo k aplikaci kompostů a vermikompostů. Nicméně výsledky odběru Ca v nadzemní i podzemní části konopí po ukončení nádobového pokusu byl celkově vyšší po jednorázové aplikaci kompostů a vermikompostů, kde byl ve složení podíl čistírenského kalu, než k jakému dochází bez aplikace těchto hnojiv. Statisticky významný rozdíl ve srovnání s kontrolní variantou byl zaznamenán u nadzemní biomasy u variant aplikace K1, VK2, VK4, PVK1 a PVK2, přičemž K1 (+969 mg/nádoba); VK2 a VK4 (+442 mg/nádoba) a PVK1 a PVK2 (+382 mg/nádoba). V případě podzemní biomasy byl statisticky významný rozdíl zjištěn u variant aplikace K1–3, VK1–4 a PVK1–2. Přičemž u aplikace K3 (+70 mg/nádoba) a aplikace K1–2, VK1–4 a PVK1–2 byl průměrný přírůstek 33 mg Ca/nádoba.

Výsledky ukazují, že aplikace kompostů a vermikompostů nezvýšil obsah Mg v kořenech pěstovaného konopí a u nadzemní biomasy byl obsah Mg vyšší pouze ve variantě s přidavkem K5 (kompost ze 100 % hm. slaměných pelet). Statisticky významně zvýšila v rámci této diplomové práce odběr Mg u 5 z 15 variant (K1, VK2, VK4, PVK1–2) u nadzemní biomasy a u podzemní biomasy pouze u 4 ze 15 variant (K1, K3, VK2 a PVK1), tudíž jde o varianty aplikace kompostů a vermikompostů s podílem čistírenských kalů ve složení.

Po aplikaci kompostů a vermikompostů se v jednotlivých variantách byl v rámci této diplomové práce zaznamenán v kořenech vyšší obsah P u varianty s přidavkem K5, VK1, VK2 a PVK1 ve srovnání s kontrolní variantou, což je u 4 z 15 variant. U nadzemní biomasy byl vyšší obsah P zaznamenán pouze u varianty s přidavkem K5 a PVK5 (kompost a překompostovaný vermikompost ze 100 % hm. slaměných pelet). Co se týče odběru P v pěstovaném konopí, u nadzemní biomasy bylo zjištěno jeho zvýšení v 10 z 15 variant s přidavkem kompostů a vermikompostů (K1, K2, K4, VK2, VK3, PVK1–5). U podzemní biomasy byl zjištěn zvýšení odběru P pouze u 1 varianty z 15 (VK2). Nelze tedy potvrdit, že by složení kompostů a vermikompostů by měl vliv na přestup P do konopí.

Obsah K v kořenech byl vyšší v porovnání s kontrolní variantou pouze ve 3 variantách z 15 aplikace kompostů a vermikompostů. V nadzemní biomase nebyl jeho obsah statisticky vyšší v žádné variantě s přidavkem kompostů a vermikompostů v porovnání s kontrolní variantou bez aditiv. Byl zaznamenán vyšší odběr K v nadzemní (+240 mg/nádoba) i podzemní biomase (+77 mg/nádoba) pěstovaného konopí ve všech variantách s přidavkem kompostů a vermikompostů s podílem čistírenských kalů ve složení, což koresponduje s výsledky autorů Bar-Tal et al. (2004) a Karlsons et al. (2016). Přestože v samotných aplikovaných kompostech a vermikompostech ze 100 % hm. slaměných pelet byl K jak v celkové, tak v dostupné formě naměřen v největším množství ve srovnání s ostatními komposty a vermikomposty s poměrem složení čistírenský kal + slaměné pelety, výsledky odběru K v nadzemní i podzemní biomase konopí ukazují jeho nejmenší odběr ve variantách, kde byl aplikován kompost a vermikompost právě ze 100 % hm. slaměných pelet. Výrazné antagonismus s Ca či Mg nebyl pozorován.

Pravděpodobné vysvětlení tohoto jevu je, že K v kompotu a vermikompostů ze 100 % hm. slaměné pelet měl jinou přístupnou forma K, než jakou umí konopí čerpat. To potvrzuje fakt, že jeho obsah v těchto variantách v půdě po ukončení nádobového pokusu byl naměřen nejvíce.

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv kompostu a vermikompostu vyrobených z čistírenských kalů a slaměných pelet jakožto hnojiva, na změny základních agrochemických vlastností půdy a na výnos a kvalitu konopí setého.

První hypotéza vycházela z předpokladu, že hnojení kompostem a vermikompostem s vyšším podílem čistírenských kalů zvýší výnos i obsah makroprvků v rostlinné biomase.

V práci se potvrdila hypotéza u výnosu čerstvé hmoty konopí, ale u suché hmoty nikoliv.

Vyhláška č. 474/2000 Sb. stanovuje maximální podíl čistírenských kalů v surovinové skladbě kompostů 40 % hmoty. V rámci této diplomové práce byl prokázán vyšší výnos čerstvé hmoty konopí již při aplikaci kompostu s podílem 25 % hm. čistírenského kalu ve složení.

Co se týče obsahu makroprvků v pěstovaném konopí, hypotéza vyššího obsahu živin v konopí po aplikaci kompostů a vermikompostů s vyšším podílem čistírenského kalu se nepotvrdila.

Aplikací kompostů a vermikompostů s podílem čistírenských kalů ve složení prokázaly značný vliv na odběr živin v rostlinách. Pouze slaměné pelety 100 % hm. v aplikovaných kompostech a vermikompostech často vykazovaly horší hodnoty než kontrola. Výsledky tedy ukazují, že odběr živin v pěstovaném konopí se snižuje s rostoucím podílem slaměných pelet ve složení aplikovaných kompostů a vermikompostů.

Druhou hypotézou byl předpoklad, že nejsou statisticky významné rozdíly v pH a obsazích makroprvků v půdě po aplikaci kompostů a vermikompostů stejného složení. U  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  se hypotéza potvrdila u 2 z 5 případů, tudíž lze usoudit, že se zde hypotéza nepotvrdila. Hypotéza se potvrdila v celém rozsahu v případě  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ .

V obsazích prvků v půdě po hnojení výsledky nebyly jednoznačné. U Ca se hypotéza potvrdila u 4 z 5 případů kompostů a vermikompostů stejného složení, Co se týče Mg a P, hypotéza se potvrdila ve 3 z 5 případů. V případě K se hypotéza nepotvrdila. Celkově nelze prohlásit, že by hnojením kompostem a vermikompostem stejného složení mělo jednoznačně stejný účinek na obsahy makroprvků v půdě.

## 8 Literatura

- Adesina I, Bhowmik A, Sharma H, Shahbazi A. 2020. A Review on the Current State of Knowledge of Growing Conditions, Agronomic Soil Health Practices and Utilities of Hemp in the United States. *Agriculture* **10**:129.
- Ahmed B, Smart LB, Hijri M. 2021. Microbiome of Field Grown Hemp Reveals Potential Microbial Interactions With Root and Rhizosphere Soil. *Frontiers in Microbiology* **12**. Available from <https://frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2021.741597/full> (accessed March 11, 2023).
- Amlinger F, Götz B, Dreher P, Geszti J, Weissteiner C. 2003. Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability—a review. *European Journal of Soil Biology* **39**:107–116.
- Assirelli A, Fornasier F, Caputo F, Manici LM. 2023. Locally available compost application in organic farms: 2-year effect on biological soil properties. *Renewable Agriculture and Food Systems* **38**:16.
- Azarmi R, Torabi Giglou M, Didar R. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. *African Journal of Biotechnology* **7**:2397–2401.
- Azarmi R, Torabi Giglou M, Didar R. 2010. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field **7**.
- Baron NC, Souza Pollo A de, Rigobelo EC. 2020. *Purpureocillium lilacinum* and *Metarhizium marquandii* as plant growth-promoting fungi. *PeerJ* **8**:9005.
- Bar-Tal A, Yermiyahu U, Beraud J, Keinan M, Rosenberg R, Zohar D, Rosen V, Fine P. 2004. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Uptake by Wheat and Their Distribution in Soil following Successive, Annual Compost Applications. *Journal of Environmental Quality* **33**:1855–1865.
- Bjelková M, Šmirous P, Vrbová M, Vaculík A. 2017. Výživa a hnojení. Pages 15–16 *Komplexní metodika pěstování konopí setého*. Šumperk.
- Boakye A, Miezah K, Tuffour H, Bessah E, Kemausour F. 2023. Comparative effect of five compost types on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) on a Ferric Acrisol in Ghana. *Research square*:1–19.
- Canapuglia. 2023. Kompolti. Available from <https://canapuglia.it/en/products/kompolti> (accessed March 17, 2023).
- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Vašák F. 2014. Využití kalů z čistíren odpadních vod. Pages 29–36 in *Racionální využití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita v Praze, katedra agrochemie a výživy rostlin, Praha.
- Connie R, Robert W, Vladimír J, Jean D, Jung C, Yael A. 2016. *Biology*. OpenStax, Houston, Texas. Available from <https://openstax.org/books/biology/pages/31-1-nutritional-requirements-of-plants> (accessed February 27, 2023).
- Cydzik-Kwiatkowska A, Nosek D. 2020. Biological release of phosphorus is more efficient from activated than from aerobic granular sludge. *Scientific Reports* **10**:11076.
- Duan Y, Shi X, Li S, Sun X, He X. 2014. Nitrogen Use Efficiency as Affected by Phosphorus and Potassium in Long-Term Rice and Wheat Experiments. *Journal of Integrative Agriculture* **13**:588–596. Available from <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311913607169> (accessed April 18, 2022).
- Dume B, Hanč A, Švehla P, Michal P, Chane AD, Nigussie A. 2021. Carbon Dioxide and Methane Emissions during the Composting and Vermicomposting of Sewage Sludge under the Effect of Different Proportions of Straw Pellets. *Atmosphere* **12**:1380.

- Egamberdieva D. 2011. Role of Microorganisms in Nitrogen Cycling in Soils. Pages 159–176 Soil Nutrients.
- Epstein E, Taylor JM, Chaney RL. 1976. Effects of Sewage Sludge and Sludge Compost Applied to Soil on some Soil Physical and Chemical Properties. *Journal of Environmental Quality* **5**:422–426.
- Fornes F, Mendoza-Hernández D, García-de-la-Fuente R, Abad M, Belda RM. 2012. Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresource Technology* **118**:296–305.
- Foy CD. 1992. Soil Chemical Factors Limiting Plant Root Growth. Pages 97–149 Limitations to Plant Root Growth. Springer, New York.
- Głodowska M, Wozniak M. 2019. Changes in Soil Microbial Activity and Community Composition as a Result of Selected Agricultural Practices. *Agricultural Sciences* **10**:330–351.
- Gondek M, Weindorf DC, Thiel C, Kleinheinz G. 2020. Soluble Salts in Compost and Their Effects on Soil and Plants: A Review. *Compost Science & Utilization* **28**:59–75.
- Hamilton L, Anderson G. 2015. Soil Carbon Snapshot. Fertcare®. Available from [https://agriculture.vic.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/857607/Soil-Carbon-Snapshot-updated-May-2022.pdf](https://agriculture.vic.gov.au/__data/assets/pdf_file/0006/857607/Soil-Carbon-Snapshot-updated-May-2022.pdf) (accessed March 8, 2023).
- Hanč A, Drešlova M. 2016. Effect of composting and vermicomposting on properties of particle size fractions. *Bioresource Technology* **217**:186–189. Available from <https://.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416301912> (accessed January 19, 2023).
- Hanč A, Dume B, Hřebečková T. 2022. Differences of Enzymatic Activity During Composting and Vermicomposting of Sewage Sludge Mixed With Straw Pellets. *Frontiers in Microbiology* **12**:1–13.
- Hanč A, Vašák F. 2015. Processing separated digestate by vermicomposting technology using earthworms of the genus *Eisenia*. *International Journal of Environmental Science and Technology* **12**:1183–1190.
- Hasanuzzaman M, Bhuyan MHM, Nahar K, Hossain MdS, Mahmud J Al, Hossen M, Fujita M. 2018. Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. *Agronomy* **8**:31.
- Heisey S, Ryals R, Maaz TM, Nguyen NH. 2022. A Single Application of Compost Can Leave Lasting Impacts on Soil Microbial Community Structure and Alter Cross-Domain Interaction Networks. *Frontiers in Soil Science* **2**.
- Ho TTK, Tra VT, Le TH, Nguyen N-K-Q, Tran C-S, Nguyen P-T, Vo T-D-H, Thai V-N, Bui X-T. 2022. Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* **6**:100–211.
- Janssen BH. 1996. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* **181**:39–45.
- Kaiser D, Rosen C. 2016. University of Minnesota extension. University Of Minnesota Extension. Available from <https://extension.umn.edu/micro-and-secondary-macronutrients/magnesium-crop-production> (accessed July 17, 2022).
- Kára J, Stražil Z, Hutla P, Ušřak S. 2005. Energetické rostliny Technologie pro pěstování a využití. Praha. Available from <https://adoc.pub/vyzkumny-ustav-zemdske-techniky-praha-energeticke-rostliny-.html> (accessed March 1, 2023).
- Karlsons A, Osvalde A, Andersone-Ozola U, Ievinsh G. 2016. Vermicompost from municipal sewage sludge affects growth and mineral nutrition of winter rye (*Secale cereale*) plants. *Journal of Plant Nutrition* **39**:765–780.
- Kozlíková N. 2021. Vermikompostování čistírenského kalu s přidavkem slaměných pelet. [MSc. Thesis]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

- Lanno M, Kriipsalu M, Shanskiy M, Silm M, Kisand A. 2021. Distribution of Phosphorus Forms Depends on Compost Source Material. *Resources* **10**:102.
- Leegood RC. 1993. Carbon metabolism. Pages 247–267 in Hall DO, Scurlock JMO, Bolhàr-Nordenkampf HR, Leegood RC, Long SP, editors. *Photosynthesis and Production in a Changing Environment: A field and laboratory manual*. Springer Netherlands, Dordrecht. Available from [https://doi.org/10.1007/978-94-011-1566-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-011-1566-7_16).
- Laghari SJ, Wahocho N, Laghari G, Laghari A, Bhabhan G, Hussain Talpur K, Ahmed T, Wahocho S, Lashari A. 2016. Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A review. *Advances in Environmental Biology* **10**:209–218.
- Lund ED. 2015. Soil Electrical Conductivity. Pages 137–146 *Soil Science Step-by-Step Field Analysis*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Malhotra H, Vandana, Sharma S, Pandey R. 2018. Phosphorus Nutrition: Plant Growth in Response to Deficiency and Excess. Pages 171–190 *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*.
- Mangan F, Barker A, Bodine S, Borten P. 2013. *Compost Use and Soil Fertility*. University of Massachusetts Extension. Available from <https://ag.umass.edu/vegetable/fact-sheets/compost-use-soil-fertility> (accessed October 30, 2021).
- Ministerstvo životního prostředí. 2023. *Mapy půdních typů v jednotlivých krajích ČR*. Available from [https://mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pudni\\_mapy/\\$FILE/OOOPK-Stredocesky\\_%20kraj%20a%20Praha-20131128.gif](https://mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pudni_mapy/$FILE/OOOPK-Stredocesky_%20kraj%20a%20Praha-20131128.gif) (accessed February 1, 2022).
- Ministerstvo životního prostředí. 2000. Vyhláška č. 474 ze dne 13. prosince 2000 o stanovení požadavků na hnojiva. Available from <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-474> (accessed October 30, 2022).
- Ministerstvo životního prostředí. 1998. Zákon č. 156 ze dne 12. června 1998 o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). Available from <https://zakonyprolidi.cz/cs/1998-156> (accessed October 30, 2022).
- Motřková K, Podlipná R, Vaněk T, Kafka Z. 2013. Halofytní rostliny a jejich možné využití ve fytoremediacích. *Chemické listy*:586–591. Praha. Available from [http://chemicke-listy.cz/docs/full/2014\\_06\\_586-591.pdf](http://chemicke-listy.cz/docs/full/2014_06_586-591.pdf) (accessed February 17, 2022).
- Msimbira LA, Smith DL. 2020. The Roles of Plant Growth Promoting Microbes in Enhancing Plant Tolerance to Acidity and Alkalinity Stresses. *Frontiers in Sustainable Food Systems* **4**:106. Available from <https://frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.00106/full> (accessed February 10, 2023).
- Musaida M, Manyuchi M, Chitambwe T, Phiri A, Muredzi P, Kanhukamwe Q. 2013. Effect of Vermicompost, Vermiwash and Application Time on Soil Physicochemical Properties. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering* **4**. Available from [https://researchgate.net/publication/264806048\\_Effect\\_of\\_Vermicompost\\_Vermiwash\\_and\\_Application\\_Time\\_on\\_Soil\\_Physicochemical\\_Properties](https://researchgate.net/publication/264806048_Effect_of_Vermicompost_Vermiwash_and_Application_Time_on_Soil_Physicochemical_Properties) (accessed November 2, 2022).
- Neina D. 2019. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science* **2019**:5794869. Hindawi. Available from <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>.
- Olanrewaju OS, Babalola OO. 2019. Streptomyces: implications and interactions in plant growth promotion. *Applied Microbiology and Biotechnology* **103**:1179–1188.
- Ozores-Hampton M, Biala J, Evanylo G, Faucette B, Cooperband L, Roe N, Creque JA, Sullivan D. 2022. Compost use. Pages 777–846 *The Composting Handbook*. Elsevier.

- Pansu M, Gautheyrou J. 2006. Exchangeable Acidity. Pages 677–686 Handbook of Soil Analysis. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Picková B. 2021. Změny fyzikálních a chemických parametrů během kompostování čistírenských kalů. [MSc. Thesis]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Rapisarda S, di Biase G, Mazzon M, Ciavatta C, Cavani L. 2022. Nitrogen Availability in Organic Fertilizers from Tannery and Slaughterhouse By-Products. Sustainability **14**:12921.
- Rehman MSU, Rashid N, Saif A, Mahmood T, Han J-I. 2013. Potential of bioenergy production from industrial hemp (*Cannabis sativa*): Pakistan perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews **18**:154–164. Available from <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112005618> (accessed March 10, 2023).
- Reimer M, Kopp C, Hartmann T, Zimmermann H, Ruser R, Schulz R, Müller T, Möller K. 2023. Assessing long term effects of compost fertilization on soil fertility and nitrogen mineralization rate. Journal of Plant Nutrition and Soil Science:1–17. Available from <https://doi.org/10.1002/jpln.202200270> (accessed September 15, 2022).
- Rékási M et al. 2019. Comparing the agrochemical properties of compost and vermicomposts produced from municipal sewage sludge digestate. Bioresource Technology **291**:121861. Available from <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419310910> (accessed August 15, 2022).
- Říhová B. 2021. Vermikompostování předkompostovaného čistírenského kalu. [MSc. Thesis]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Šetlík I, Seidlová F, Šantrůček J. 2004. Minerální a organická výživa rostlin. Pages 1–32 Fyziologie rostlin. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Česká Budějovice. Available from <https://web.natur.cuni.cz/biochem/kucera/rostliny/is/kap10.pdf> (accessed December 9, 2022).
- Sichler TC, Becker R, Sauer A, Barjenbruch M, Ostermann M, Adam C. 2022. Determination of the phosphorus content in sewage sludge: comparison of different aqua regia digestion methods and ICP-OES, ICP-MS, and photometric determination. Environmental Sciences Europe **34**:99.
- Šimek M. 2003. Půda 1: neživé složky půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, Česká Budějovice.
- Smith JL, Doran JW. 2015. Measurement and Use of pH and Electrical Conductivity for Soil Quality Analysis. Pages 169–185 Methods for Assessing Soil Quality.
- Smith S. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. Environment International **35**:142–156.
- Stehouwer R, Cooperband L, Rynk R, Biala J, Bonhotal J, Antler S, Lewandowski T, Nichols H. 2022. Compost characteristics and quality. Pages 737–775 in Rynk R, editor. The Composting Handbook. Academic Press. Available from <https://sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323856027000121> (accessed August 25, 2022).
- Stewart M. 2010. Sulfur-The 4th Major Nutrient. Plant Nutrition TODAY. Available from <https://nutrientstewardship.org/implementation/sulfur-the-4th-major-nutrient/> (accessed December 9, 2022).
- Strouhalová B, Ertlen D, Šefrna L, Novák TJ, Virágh K, Schwartz D. 2019. Assessing the vegetation history of european chernozems through qualitative near infrared spectroscopy. Quaternaire:227–241.
- Tauferová A, Petrášová M, Pokorná J, Tremlová B, Bartl P. 2014. Rostlinná Produkce, 1st edition. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Brno.



- Tharmaraj K, Ganesh P, Kolanjinathan K, Sureshkumar R, Anandan A. 2011. Influence of vermicompost and vermiwash on physico chemical properties of rice cultivated soil. *Current Botany* **2**:18–21.
- Tomócsik A, Makádi M, Orosz V, Aranyos T, Demeter I, Mészáros J, Füleký G. 2016. Effect of sewage sludge treatment on crop yield. *Agrofor International Journal* **1**:5–12.
- Tsaliki E, Kalivas A, Jankauskiene Z, Irakli M, Cook C, Grigoriadis I, Panoras I, Vasilakoglou I, Dhima K. 2021. Fibre and Seed Productivity of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Varieties under Mediterranean Conditions. *Agronomy* **11**:171.
- Usman K, Marwat S, Ghulam S, Umar Khan M, Khan N, Anwar Khan M, Khalil S. 2012. Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications. *American Journal of Plant Sciences* **03**:1708–1721.
- Vysloužilová B, Ertlen D, Schwartz D, Šefrna L. 2016. Chernozem. From concept to classification: a review. *Auc Geographica* **51**:85–95.
- Wang X-X, Zhao F, Zhang G, Zhang Y, Yang L. 2017. Vermicompost Improves Tomato Yield and Quality and the Biochemical Properties of Soils with Different Tomato Planting History in a Greenhouse Study. *Frontiers in Plant Science* **8**:1978.
- Warman PR, Termeer WC. 2005. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn and B content of crops and soils. *Bioresource Technology* **96**:1029–1038.
- Wei Y, Liu Y. 2005. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. *Chemosphere* **59**:1257–1265. Available from <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653504011270> (accessed April 10, 2023).
- Weil R, Brady N. 2017. The Soils Around Us. Pages 1–32 *The Nature and Properties of Soils*.
- Wen G, Bates TE, Voroney RP, Winter JP, Schellenberg MP. 1999. Influence of application of sewage sludges, and sludge and manure composts on plant Ca and Mg concentration and soil extractability in field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **55**:51–61.
- White P, Broadley M. 2003. Calcium in Plants. *Annals of botany* **92**:487–511.
- Wichuk KM, McCartney D. 2010. Compost stability and maturity evaluation — a literature review. *Journal of Environmental Engineering and Science*. *Canadian Journal of Civil Engineering* **37**:1505–1523.
- Wielgusz K, Praczyk M, Irzykowska L, Świerk D. 2022. Fertilization and soil pH affect seed and biomass yield, plant morphology, and cadmium uptake in hemp (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products* **175**:114–245. Available from <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669021010104> (accessed April 10, 2023).
- Wogiatzi E, Gougoulas N, Giannoulis KD, Kamvoukou C-A. 2019. Effect of Irrigation and Fertilization Levels on Mineral Composition of *Cannabis sativa* L. Leaves. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* **47**:1073–1080.
- Zhao X, Li B, Ni J, Xie D. 2016. Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. *Journal of Integrative Agriculture* **15**:232–240. Available from <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311914609540> (accessed November 7, 2022).
- Zhao Y, Li W, Chen L, Meng L, Zheng Z. 2020. Effect of enriched thermotolerant nitrifying bacteria inoculation on reducing nitrogen loss during sewage sludge composting. *Bioresource Technology* **311**:123461. Available from <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852420307331> (accessed November 7, 2022).

Zin NA, Badaluddin NA. 2020. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences* **65**:168–178.

## 9 Seznam použitých zkratk a symbolů

ČOV	Čistírna odpadních vod
OH	Organická hmota
OC	Organický uhlík
ČH	Čerstvá hmota
BRKO	Biologický rozložitelný komunální odpad
EC	Elektrická vodivost
pH <sub>CaCl2</sub>	Výměnná půdní reakce (pH)
pH <sub>H2O</sub>	Aktivní půdní reakce (pH)



# 10 Samostatné přílohy

Příloha 1: Detailní schéma pokusu

	Nádoby	Složení pěstebního média	Navážka vlhkého materiálu	Navážka suchých materiálů 100% sušina
Kontrola	1, 2, 3	zemina z pole u Brand. Statku, Suchdol 5 kg suché 100 % sušina	5361 g při suš. 92,76 %	5000 g
	Kompost	4, 5, 6	zemina + kompost (kal 100 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 337 g
7, 8, 9		zemina + kompost (kal 75 % hm. + pelety 25 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 322 g	5000 g + 40 g
10, 11, 12		zemina + kompost (kal 50 % hm. + pelety 50 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 320 g	5000 g + 40 g
13, 14, 15		zemina + kompost (kal 25 % hm. + pelety 75 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 312 g	5000 g + 40 g
16, 17, 18		zemina + kompost (pelety 100 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 264 g	5000 g + 40 g
Vermikompost	22, 23, 24	zemina + vermikompost (kal 100 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 139 g	5000 g + 40 g
	25, 26, 27	zemina + vermikompost (kal 75 % hm.+ pelety 25 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 161 g	5000 g + 40 g
	28, 29, 30	zemina + vermikompost (kal 50 % hm. + pelety 50 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 199 g	5000 g + 40 g
	31, 32, 33	zemina + vermikompost (kal 25 % hm. + pelety 75 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 207 g	5000 g + 40 g
	34, 35, 36	zemina + vermikompost (pelety 100 % hm. (9 kg)	5361 g při suš. 92,76 % + 255 g	5000 g + 40 g
Vermikompost z předkompostovaných surovin	43, 44, 45	zemina + překompostovaný vermikompost (kal 100 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 175 g	5000 g + 40 g
	46, 47, 48	zemina + překompostovaný vermikompost (kal 75 % hm. + pelety 25 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 188 g	5000 g + 40 g
	49, 50, 51	zemina + překompostovaný vermikompost (kal 50 % hm. + pelety 50 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 185 g	5000 g + 40 g
	52, 53, 54	zemina + překompostovaný vermikompost (kal 25 % hm. + pelety 75 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 168 g	5000 g + 40 g
	55, 56, 57	zemina + překompostovaný vermikompost (pelety 100 % hm.)	5361 g při suš. 92,76 % + 119 g	5000 g + 40 g

Příloha 2: Aktivní pH ve variantách po ukončení nádobového pokusu

	Varianta	1. opakování	2. opakování	3. opakování	průměr	Směrodatná odchylka
<b>Kontrola</b>	Zemina	8,110	8,080	8,150	8,113	0,029
	Zemina + K1	7,940	7,940	7,940	7,940	0,000
	Zemina + K2	8,160	8,160	8,170	8,163	0,005
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	8,180	8,160	8,170	8,170	0,008
	Zemina + K4	8,180	8,180	8,230	8,197	0,024
	Zemina + K5	8,260	8,130	8,130	8,173	0,061
	Zemina + VK1	8,140	8,110	8,150	8,133	0,017
	Zemina + VK2	8,120	8,160	8,210	8,163	0,037
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	7,700	8,200	8,220	8,040	0,241
	Zemina + VK4	8,200	8,120	8,220	8,180	0,043
	Zemina + VK5	8,200	8,190	8,230	8,207	0,017
	Zemina + PVK1	8,210	8,210	8,150	8,190	0,028
	Zemina + PVK2	8,140	7,990	8,040	8,057	0,062
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	8,120	8,140	8,180	8,147	0,025
	Zemina + PVK4	8,160	8,140	8,130	8,143	0,012
	Zemina + PVK5	8,160	8,210	8,200	8,190	0,022

Příloha 3: Výměnné pH ve variantách po ukončení nádobového pokusu

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	7,230	7,280	7,320	7,277	0,037
	Zemina + K1	7,280	7,270	7,250	7,267	0,012
	Zemina + K2	7,280	7,290	7,290	7,287	0,005
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	7,280	7,280	7,290	7,283	0,005
	Zemina + K4	7,300	7,320	7,350	7,323	0,021
	Zemina + K5	7,350	7,360	7,380	7,363	0,012
	Zemina + VK1	7,320	7,320	7,320	7,320	0,000
	Zemina + VK2	7,360	7,340	7,340	7,347	0,009
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	7,340	7,350	7,350	7,347	0,005
	Zemina + VK4	7,360	7,400	7,400	7,387	0,019
	Zemina + VK5	7,420	7,440	7,350	7,403	0,039
	Zemina + PVK1	7,360	7,360	7,350	7,357	0,005
	Zemina + PVK2	7,310	7,340	7,310	7,320	0,014
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	7,240	7,240	7,340	7,273	0,047
	Zemina + PVK4	7,350	7,330	7,340	7,340	0,008
	Zemina + PVK5	7,370	7,360	7,350	7,360	0,008

Příloha 4: Měrná vodivost ve variantách po ukončení nádobového pokusu ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

	Varianta	1. opakování	2. opakování	3. opakování	průměr	Směrodatná odchylka
<b>Kontrola</b>	Zemina	0,579	0,170	0,148	0,299	0,198
	Zemina + K1	0,194	0,242	0,244	0,227	0,023
	Zemina + K2	0,140	0,136	0,136	0,137	0,002
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	0,130	0,134	0,119	0,128	0,006
	Zemina + K4	0,116	0,126	0,124	0,122	0,004
	Zemina + K5	0,118	0,151	0,127	0,132	0,014
	Zemina + VK1	0,126	0,132	0,136	0,131	0,004
	Zemina + VK2	0,139	0,104	0,105	0,116	0,016
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	0,177	0,102	0,102	0,127	0,036
	Zemina + VK4	0,124	0,148	0,100	0,124	0,020
	Zemina + VK5	0,118	0,107	0,099	0,108	0,008
	Zemina + PVK1	0,120	0,129	0,119	0,123	0,005
	Zemina + PVK2	0,102	0,125	0,135	0,121	0,014
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	0,091	0,100	0,094	0,095	0,004
	Zemina + PVK4	0,108	0,089	0,095	0,097	0,008
	Zemina + PVK5	0,102	0,115	0,096	0,104	0,008



Příloha 5: Obsah Ca v půdě po pěstování konopí (mg/kg)

	Varianta	1. opakování	2. opakování	3. opakování	Průměr	Směrodatná odchylka
<b>Kontrola</b>	Zemina	6547,6	6124,3	5701,1	6124,3	345,6
	Zemina + K1	5436,5	5886,2	5621,7	5648,1	184,6
	Zemina + K2	5211,6	5515,9	5674,6	5467,4	192,1
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	5410,1	5965,6	5066,1	5480,6	370,6
	Zemina + K4	5396,8	5251,3	5026,5	5224,9	152,4
	Zemina + K5	5079,4	5780,4	5925,9	5595,2	369,6
	Zemina + VK1	5634,9	6045,0	5992,1	5890,7	182,1
	Zemina + VK2	5648,1	6071,4	5873,0	5864,2	172,9
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	5952,4	5965,6	5846,6	5921,5	53,3
	Zemina + VK4	5555,6	5939,2	5754,0	5749,6	156,6
	Zemina + VK5	5899,5	5674,6	5687,8	5754,0	103,0
	Zemina + PVK1	6018,5	5978,8	6150,8	6049,4	73,5
	Zemina + PVK2	6018,5	5886,2	5992,1	5965,6	57,1
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	5529,1	5674,6	5886,2	5696,6	146,6
	Zemina + PVK4	5833,3	5476,2	5542,3	5617,3	155,1
	Zemina + PVK5	5806,9	5846,6	5952,4	5868,6	61,4

Příloha 6: Obsah Mg v půdě po pěstování konopí (mg/kg)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	223,2	205,8	173,9	201,0	20,4
	Zemina + K1	172,5	198,6	179,7	183,6	11,0
	Zemina + K2	166,7	172,5	178,3	172,5	4,7
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	173,9	202,9	152,2	176,3	20,8
	Zemina + K4	163,8	165,2	153,6	160,9	5,2
	Zemina + K5	184,1	181,2	192,8	186,0	4,9
	Zemina + VK1	189,9	201,4	204,3	198,6	6,3
	Zemina + VK2	189,9	207,2	202,9	200,0	7,4
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	205,8	204,3	198,6	202,9	3,1
	Zemina + VK4	184,1	205,8	189,9	193,2	9,2
	Zemina + VK5	197,1	185,5	188,4	190,3	4,9
	Zemina + PVK1	207,0	208,5	224,5	213,3	7,9
	Zemina + PVK2	217,2	204,1	208,5	209,9	5,5
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	198,3	191,0	201,2	196,8	4,3
	Zemina + PVK4	191,0	192,4	196,8	193,4	2,5
	Zemina + PVK5	196,8	201,2	201,2	199,7	2,1

Příloha 7: Obsah P v půdě po pěstování konopí (mg/kg)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	48,1	49,2	35,0	44,1	6,5
	Zemina + K1	91,9	90,8	77,1	86,6	6,7
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	56,0	65,6	59,1	60,2	4,0
	Zemina + K3	70,5	97,1	52,5	73,4	18,3
	Zemina + K4	49,4	48,5	51,8	49,9	1,4
	Zemina + K5	35,2	36,4	51,8	41,1	7,6
	Zemina + VK1	72,3	65,9	67,6	68,6	2,7
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	72,0	68,1	65,4	68,5	2,7
	Zemina + VK3	62,7	67,2	71,2	67,0	3,5
	Zemina + VK4	63,6	70,1	65,8	66,5	2,7
	Zemina + VK5	52,0	55,0	51,1	52,7	1,7
	Zemina + PVK1	65,9	64,9	65,3	65,4	0,4
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	64,4	61,7	61,3	62,5	1,4
	Zemina + PVK3	68,0	63,6	67,0	66,2	1,9
	Zemina + PVK4	67,2	67,2	62,1	65,5	2,4
	Zemina + PVK5	55,0	56,1	55,3	55,5	0,5

Příloha 8: Obsah K v půdě po pěstování konopí (mg/kg)

	Varianta	1. opakování	2. opakování	3. opakování	Průměr	Směrodatná odchylka
<b>Kontrola</b>	Zemina	414,2	399,1	345,5	386,3	29,5
	Zemina + K1	289,7	362,7	317,6	323,3	30,1
	Zemina + K2	324,0	349,8	351,9	341,9	12,7
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	336,9	379,8	285,4	334,0	38,6
	Zemina + K4	324,0	332,6	302,6	319,7	12,6
	Zemina + K5	371,2	427,0	459,2	419,2	36,3
	Zemina + VK1	343,3	392,7	401,3	379,1	25,5
	Zemina + VK2	356,2	403,4	379,8	379,8	19,3
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	371,2	364,8	360,5	365,5	4,4
	Zemina + VK4	345,5	386,3	356,2	362,7	17,3
	Zemina + VK5	401,3	399,1	394,8	398,4	2,7
	Zemina + PVK1	399,1	401,3	394,8	398,4	2,7
	Zemina + PVK2	390,6	358,4	377,7	375,5	13,2
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	379,8	360,5	384,1	374,8	10,3
	Zemina + PVK4	399,1	379,8	382,0	387,0	8,6
	Zemina + PVK5	401,3	420,6	429,2	417,0	11,7

Příloha 9: Výnos podzemní biomasy

	Varianta	1. opakování		2. opakování		3. opakování		Průměr		Směrodatná odchylka	
		ČH g/nádoba	sušina %	ČH g/nádoba	sušina %	ČH g/nádoba	sušina %	ČH g/nádoba	sušina %	ČH g/nádoba	sušina %
<b>Kontrola</b>	Zemina	26,0	19,6	13,7	23,4	22,7	17,6	20,8	20,2	5,2	2,4
<b>Kompost</b>	Zemina + K1	51,8	15,8	51,0	13,7	42,8	18,9	48,5	16,2	4,1	2,1
	Zemina + K2	43,4	18,2	66,6	13,4	43,4	19,4	51,1	17,0	10,9	2,6
	Zemina + K3	55,2	17,9	42,1	22,1	52,9	15,5	50,1	18,5	5,7	2,7
	Zemina + K4	32,3	20,1	39,4	18,5	45,1	15,1	38,9	17,9	5,2	2,1
	Zemina + K5	13,2	15,9	8,2	25,6	13,3	12,8	11,6	18,1	2,4	5,5
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK1	62,7	14,7	46,8	13,2	59,0	11,7	56,2	13,2	6,8	1,2
	Zemina + VK2	57,2	14,7	44,5	16,6	54,5	17,1	52,1	16,1	5,5	1,0
	Zemina + VK3	44,0	16,8	74,4	11,7	41,9	22,0	53,4	16,8	14,9	4,2
	Zemina + VK4	59,1	16,1	29,0	20,7	52,5	14,9	46,9	17,2	12,9	2,5
	Zemina + VK5	27,6	11,6	41,6	8,9	33,8	14,2	34,3	11,6	5,7	2,2
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK1	64,7	15,1	49,1	15,3	48,6	16,9	54,1	15,8	7,5	0,8
	Zemina + PVK2	60,0	13,8	62,3	14,4	69,2	13,7	63,8	14,0	3,9	0,3
	Zemina + PVK3	39,0	13,3	56,2	14,6	65,9	10,6	53,7	12,8	11,1	1,7
	Zemina + PVK4	51,5	14,6	36,8	22,3	49,8	12,9	46,0	16,6	6,6	4,1
	Zemina + PVK5	31,2	12,8	33,5	11,3	35,2	11,6	33,3	11,9	1,6	0,6

ČH čerstvá hmota

Příloha 10: Výnos nadzemní biomasy

	Varianta	1. opakování		2. opakování		3. opakování		Průměr		Směrodatná odchylka	
		ČH	sušina	ČH	sušina	ČH	sušina	ČH	sušina	ČH	sušina
	-	g/nádoba	%	g/nádoba	%	g/nádoba	%	g/nádoba	%	g/nádoba	%
<b>Kontrola</b>	Zemina	34,1	35,2	31,8	43,4	35,3	41,9	33,7	40,2	1,5	3,6
<b>Kompost</b>	Zemina + K1	130,6	35,5	140,0	36,2	136,7	37,3	135,8	36,3	3,9	0,8
	Zemina + K2	95,9	39,9	86,6	41,1	80,7	40,3	87,7	40,4	6,3	0,5
	Zemina + K3	110,0	37,2	112,1	38,4	108,1	38,0	110,1	37,9	1,6	0,5
	Zemina + K4	87,4	40,5	92,7	39,5	87,3	39,6	89,1	39,9	2,5	0,5
	Zemina + K5	20,7	39,6	23,8	37,0	17,9	35,8	20,8	37,4	2,4	1,6
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK1	83,1	38,6	70,5	40,0	96,9	39,6	83,5	39,4	10,8	0,6
	Zemina + VK2	92,4	40,8	79,3	40,1	90,1	41,2	87,3	40,7	5,7	0,4
	Zemina + VK3	84,4	40,9	82,2	39,2	81,2	41,3	82,6	40,4	1,3	0,9
	Zemina + VK4	83,4	39,6	78,2	37,6	82,7	37,5	81,4	38,2	2,3	1,0
	Zemina + VK5	26,6	40,6	31,4	40,8	32,7	41,6	30,2	41,0	2,6	0,4
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK1	88,6	40,7	80,4	38,6	82,8	41,2	83,9	40,2	3,4	1,1
	Zemina + PVK2	80,8	41,0	86,5	40,0	88,3	40,5	85,2	40,5	3,2	0,4
	Zemina + PVK3	79,8	39,7	78,2	41,4	86,4	40,2	81,5	40,4	3,5	0,7
	Zemina + PVK4	61,4	39,7	74,4	39,0	76,8	38,4	70,9	39,0	6,8	0,5
	Zemina + PVK5	42,5	40,7	34,8	37,9	36,2	39,2	37,8	39,3	3,3	1,1

ČH

čerstvá hmota

Příloha 11: Obsah Ca v podzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	23551,3	19863,2	19374,1	20929,5	1864,6
	Zemina + K1	17210,4	18871,0	19369,7	18483,7	923,1
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	14603,4	12674,0	13959,0	13745,4	802,0
	Zemina + K3	14078,6	17125,5	20911,9	17372,0	2795,1
	Zemina + K4	12914,2	13349,1	15505,1	13922,8	1132,8
	Zemina + K5	14202,8	14084,5	11332,2	13206,5	1326,2
	Zemina + VK1	13440,0	13949,8	14990,0	14126,6	645,0
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	13012,4	15749,2	15161,1	14640,9	1176,3
	Zemina + VK3	13668,7	13245,6	14424,6	13779,6	487,7
	Zemina + VK4	13370,6	14174,5	13140,5	13561,9	443,2
	Zemina + VK5	12658,2	12764,2	14620,3	13347,6	901,0
	Zemina + PVK1	17585,1	11829,4	13261,1	14225,2	2446,6
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	14025,6	15488,9	14188,5	14567,7	654,8
	Zemina + PVK3	13884,4	12917,9	11487,6	12763,3	984,6
	Zemina + PVK4	14138,4	12032,5	13997,4	13389,4	961,2
	Zemina + PVK5	8330,6	14174,5	11412,9	11306,0	2386,9

Příloha 12: Obsah Mg v podzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	Varianta	1. opakování	2. opakování	3. opakování	Průměr	Směrodatná odchylka
<b>Kontrola</b>	Zemina	3395,3	2772,7	2839,8	3002,6	279,0
	Zemina + K1	2765,1	2806,5	2675,6	2749,1	54,6
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	1941,6	2534,8	2160,9	2212,4	244,9
	Zemina + K3	2474,2	2144,7	2680,8	2433,2	220,8
	Zemina + K4	2038,7	1966,8	2221,9	2075,8	107,4
	Zemina + K5	2236,3	3153,0	2526,0	2638,4	382,6
	Zemina + VK1	2040,0	2178,7	2281,8	2166,8	99,1
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	2277,2	2301,2	3174,4	2584,2	417,4
	Zemina + VK3	2240,4	2041,0	2463,5	2248,3	172,6
	Zemina + VK4	2371,0	2367,6	1991,7	2243,4	178,0
	Zemina + VK5	2540,0	2821,1	2028,5	2463,2	328,1
	Zemina + PVK1	2682,3	2349,2	1985,2	2338,9	284,7
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	1984,9	2283,0	2198,8	2155,6	125,5
	Zemina + PVK3	1698,8	2150,5	1966,9	1938,7	185,5
	Zemina + PVK4	2262,1	1878,0	2197,3	2112,5	167,9
	Zemina + PVK5	1772,3	2102,8	1624,5	1833,2	200,0



Příloha 13: Obsah P v podzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	3447,7	3101,6	3472,4	3340,6	169,3
	Zemina + K1	1949,4	1580,6	1764,6	1764,9	150,6
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	1767,3	2244,9	2397,5	2136,6	268,4
	Zemina + K3	1841,1	2008,6	1926,1	1925,3	68,4
	Zemina + K4	1933,1	2180,1	2070,0	2061,1	101,0
	Zemina + K5	3648,8	3977,3	2577,9	3401,3	597,5
	Zemina + VK1	2872,0	4177,1	3522,7	3523,9	532,8
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	4326,6	5175,8	2874,3	4125,6	950,3
	Zemina + VK3	2830,8	2099,3	2957,9	2629,3	378,4
	Zemina + VK4	2215,5	1775,7	1909,1	1966,8	184,1
	Zemina + VK5	2498,3	2739,8	3237,9	2825,4	307,9
	Zemina + PVK1	3808,8	3099,0	3931,3	3613,0	366,9
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	3084,0	3549,5	2787,9	3140,5	313,5
	Zemina + PVK3	2629,9	2705,2	2049,6	2461,5	292,9
	Zemina + PVK4	2661,3	2504,1	2758,8	2641,4	104,9
	Zemina + PVK5	1837,6	2476,6	2224,3	2179,5	262,8

Příloha 14: Obsah K v podzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	19391,4	21308,2	19254,8	19984,8	937,4
	Zemina + K1	19987,8	21000,0	18865,7	19951,2	871,7
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	19288,9	19589,1	20816,2	19898,1	660,7
	Zemina + K3	21738,6	20310,5	20829,4	20959,5	590,2
	Zemina + K4	18008,4	19127,2	17802,1	18312,6	582,1
	Zemina + K5	15390,0	24363,8	17230,1	18994,6	3870,2
	Zemina + VK1	17242,4	16847,2	17420,1	17169,9	239,4
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	15582,3	14740,8	18029,8	16117,7	1395,1
	Zemina + VK3	15982,7	22278,4	20348,5	19536,5	2633,6
	Zemina + VK4	20895,5	24217,3	20074,4	21729,1	1791,1
	Zemina + VK5	17850,6	21504,1	14287,4	17880,7	2946,3
	Zemina + PVK1	19643,4	18298,1	18428,3	18789,9	605,9
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	19258,5	17814,6	17320,8	18131,3	822,2
	Zemina + PVK3	20172,3	20465,0	17137,2	19258,2	1504,5
	Zemina + PVK4	22729,5	20248,0	25419,1	22798,9	2111,7
	Zemina + PVK5	13309,4	13792,8	14178,6	13760,3	355,6

Příloha 15: Obsah Ca v nadzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	44180,3	40965,0	27117,0	37420,8	7403,2
	Zemina + K1	35232,4	22076,0	32408,9	29905,8	5655,2
	Zemina + K2	18082,3	15234,8	29000,0	20772,3	5932,8
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	28378,8	16155,9	1889,9	15474,9	10824,8
	Zemina + K4	17121,2	18743,8	14846,2	16903,7	1598,6
	Zemina + K5	37636,9	33131,6	40640,0	37136,2	3085,7
	Zemina + VK1	23009,6	21698,1	1726,0	15477,9	9738,8
	Zemina + VK2	25263,2	30830,3	25825,1	27306,2	2502,5
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	14143,7	23556,2	28190,6	21963,5	5844,2
	Zemina + VK4	28789,4	30661,9	33061,3	30837,5	1748,4
	Zemina + VK5	34405,1	32246,4	31862,7	32838,1	1119,1
	Zemina + PVK1	27988,3	27496,7	24939,0	26808,0	1336,8
	Zemina + PVK2	25195,5	21453,7	27828,7	24826,0	2615,7
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	21566,5	22948,4	17406,0	20640,3	2355,5
	Zemina + PVK4	17217,4	24173,6	15267,8	18886,3	3822,5
	Zemina + PVK5	30909,1	32312,4	24390,2	29203,9	3451,7

Příloha 16: Obsah Mg v nadzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	2383,3	2286,7	1655,0	2108,3	323,0
	Zemina + K1	1899,4	1366,8	1624,1	1630,1	217,5
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	1153,0	1065,6	1757,3	1325,3	307,6
	Zemina + K3	1564,6	1024,3	246,2	945,0	541,1
	Zemina + K4	1100,1	1307,9	1076,9	1161,6	103,9
	Zemina + K5	3014,5	1964,3	2211,8	2396,9	448,3
	Zemina + VK1	1546,1	1551,1	302,2	1133,1	587,6
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	1413,2	1521,5	1592,4	1509,0	73,7
	Zemina + VK3	1039,8	1365,1	1610,5	1338,4	233,8
	Zemina + VK4	1632,2	1560,5	1790,5	1661,1	96,1
	Zemina + VK5	2218,6	1715,7	1869,1	1934,5	210,5
	Zemina + PVK1	1786,2	1643,7	1568,1	1666,0	90,4
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	1187,1	1352,9	1540,2	1360,1	144,2
	Zemina + PVK3	1374,4	1052,6	1039,7	1155,6	154,8
	Zemina + PVK4	1058,3	1876,7	1094,1	1343,0	377,6
	Zemina + PVK5	1738,6	1970,6	1672,3	1793,8	127,9

Příloha 17: Obsah P v nadzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	Varianta	1. opakování	2. opakování	3. opakování	Průměr	Směrodatná odchylka
<b>Kontrola</b>	Zemina	1663,9	1781,1	1712,7	1719,2	48,1
	Zemina + K1	1019,5	924,7	999,7	981,3	40,8
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	1053,4	915,8	1207,7	1059,0	119,2
	Zemina + K3	898,8	798,6	176,6	624,7	319,5
	Zemina + K4	883,2	924,7	976,9	928,3	38,4
	Zemina + K5	3622,8	2605,5	4236,8	3488,4	672,7
	Zemina + VK1	1146,5	1257,9	291,8	898,7	431,6
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	947,4	931,0	1006,6	961,7	32,5
	Zemina + VK3	871,6	972,6	1227,8	1024,0	149,9
	Zemina + VK4	828,4	776,3	866,1	823,6	36,8
	Zemina + VK5	2347,3	1768,1	1194,9	1770,1	470,5
	Zemina + PVK1	1100,6	1174,9	1136,4	1137,3	30,4
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	932,6	872,6	1009,2	938,1	55,9
	Zemina + PVK3	981,0	1119,0	985,8	1028,6	64,0
	Zemina + PVK4	1003,7	1459,7	805,8	1089,7	273,8
	Zemina + PVK5	1613,6	2447,2	1829,3	1963,4	353,3

Příloha 18: Obsah K v nadzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	Varianta	1. opakování	2. opakování	3. opakování	Průměr	Směrodatná odchylka
<b>Kontrola</b>	Zemina	15832,0	13471,5	13760,7	14354,7	1051,2
	Zemina + K1	13654,4	12443,4	14551,8	13549,8	863,9
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	11259,1	12333,5	14915,4	12836,0	1534,4
	Zemina + K3	12941,1	11783,8	12301,1	12342,0	473,3
	Zemina + K4	1702,8	14132,8	12053,8	9296,5	5436,2
	Zemina + K5	14315,3	13330,4	17839,6	15161,8	1935,7
	Zemina + VK1	14964,2	13392,3	12240,7	13532,4	1116,3
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	13605,3	13362,3	11651,8	12873,1	869,3
	Zemina + VK3	10275,2	12374,6	12346,5	11665,5	983,1
	Zemina + VK4	10794,8	11803,6	15284,0	12627,5	1923,1
	Zemina + VK5	10429,3	2378,6	15000,8	9269,5	5217,8
	Zemina + PVK1	67,1	13230,3	14196,9	9164,7	6445,1
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	12563,9	10533,9	14162,8	12420,2	1485,0
	Zemina + PVK3	12215,8	15913,9	12018,6	13382,8	1791,6
	Zemina + PVK4	17298,5	14237,7	11100,6	14212,3	2530,3
	Zemina + PVK5	13151,5	11430,2	12957,3	12513,0	769,7

Příloha 19: Odběr Ca v podzemní biomase (mg/nádoba)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	120,1	63,6	77,5	87,1	24,1
	Zemina + K1	141,1	132,1	156,9	143,4	10,2
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	115,4	112,8	117,3	115,1	1,8
	Zemina + K3	139,4	159,3	171,5	156,7	13,2
	Zemina + K4	83,9	97,4	105,4	95,6	8,9
	Zemina + K5	29,8	29,6	19,3	26,2	4,9
	Zemina + VK1	123,6	86,5	103,4	104,5	15,2
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	109,3	116,5	141,0	122,3	13,6
	Zemina + VK3	101,1	115,2	132,7	116,4	12,9
	Zemina + VK4	127,0	85,0	102,5	104,9	17,2
	Zemina + VK5	40,5	47,2	70,2	52,6	12,7
	Zemina + PVK1	172,3	88,7	108,7	123,3	35,6
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	116,4	139,4	134,8	130,2	9,9
	Zemina + PVK3	72,2	105,9	80,4	86,2	14,4
	Zemina + PVK4	106,0	98,7	89,6	98,1	6,7
	Zemina + PVK5	33,3	53,9	46,8	44,7	8,5

Příloha 20: Odběr Mg v podzemní biomase (mg/nádoba)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	17316,0	8872,7	11359,2	12516,0	3542,7
	Zemina + K1	22673,7	19645,2	21672,7	21330,5	1259,9
	Zemina + K2	15338,5	22559,6	18151,4	18683,2	2971,9
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	24494,3	19945,6	21982,7	22140,9	1860,4
	Zemina + K4	13251,3	14357,8	15108,7	14239,3	762,9
	Zemina + K5	4696,3	6621,3	4294,1	5203,9	1015,6
	Zemina + VK1	18768,0	13507,8	15744,5	16006,8	2155,4
	Zemina + VK2	19128,2	17029,1	29521,5	21892,9	5461,9
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	16578,8	17756,6	22664,5	19000,0	2635,5
	Zemina + VK4	22524,1	14205,6	15535,5	17421,7	3648,5
	Zemina + VK5	8127,9	10438,2	9736,7	9434,3	967,1
	Zemina + PVK1	26286,9	17619,1	16279,0	20061,7	4435,7
	Zemina + PVK2	16474,7	20547,0	20888,6	19303,4	2005,1
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	8833,7	17633,7	13768,6	13412,0	3601,4
	Zemina + PVK4	16966,1	15400,0	14062,5	15476,2	1186,6
	Zemina + PVK5	7089,2	7990,7	6660,3	7246,7	554,4



Příloha 21: Odběr P v podzemní biomase (mg/nádoba)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	17,6	9,9	13,9	13,8	3,1
	Zemina + K1	16,0	11,1	14,3	13,8	2,0
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	14,0	20,0	20,1	18,0	2,9
	Zemina + K3	18,2	18,7	15,8	17,6	1,3
	Zemina + K4	12,6	15,9	14,1	14,2	1,4
	Zemina + K5	7,7	8,4	4,4	6,8	1,7
	Zemina + VK1	26,4	25,9	24,3	25,5	0,9
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	36,3	38,3	26,7	33,8	5,1
	Zemina + VK3	20,9	18,3	27,2	22,1	3,7
	Zemina + VK4	21,0	10,7	14,9	15,5	4,3
	Zemina + VK5	8,0	10,1	15,5	11,2	3,2
	Zemina + PVK1	37,3	23,2	32,2	30,9	5,8
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	25,6	31,9	26,5	28,0	2,8
	Zemina + PVK3	13,7	22,2	14,3	16,7	3,9
	Zemina + PVK4	20,0	20,5	17,7	19,4	1,2
	Zemina + PVK5	7,4	9,4	9,1	8,6	0,9

Příloha 22: Odběr K v podzemní biomase (mg/nádoba)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	98,9	68,2	77,0	81,4	12,9
	Zemina + K1	163,9	147,0	152,8	154,6	7,0
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	152,4	174,3	174,9	167,2	10,5
	Zemina + K3	215,2	188,9	170,8	191,6	18,2
	Zemina + K4	117,1	139,6	121,1	125,9	9,8
	Zemina + K5	32,3	51,2	29,3	37,6	9,7
	Zemina + VK1	158,6	104,5	120,2	127,8	22,8
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	130,9	109,1	167,7	135,9	24,2
	Zemina + VK3	118,3	193,8	187,2	166,4	34,2
	Zemina + VK4	198,5	145,3	156,6	166,8	22,9
	Zemina + VK5	57,1	79,6	68,6	68,4	9,2
	Zemina + PVK1	192,5	137,2	151,1	160,3	23,5
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	159,8	160,3	164,5	161,6	2,1
	Zemina + PVK3	104,9	167,8	120,0	130,9	26,8
	Zemina + PVK4	170,5	166,0	162,7	166,4	3,2
	Zemina + PVK5	53,2	52,4	58,1	54,6	2,5

Příloha 23: Odběr Ca v nadzemní biomase (mg/nádoba)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	530,2	565,3	401,3	498,9	70,5
	Zemina + K1	1631,3	1119,3	1652,9	1467,8	246,6
	Zemina + K2	692,6	542,4	942,5	725,8	165,0
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	1160,7	694,7	77,7	644,4	443,6
	Zemina + K4	606,1	686,0	513,7	601,9	70,4
	Zemina + K5	308,6	291,6	260,1	286,8	20,1
	Zemina + VK1	738,6	611,9	66,3	472,3	291,7
	Zemina + VK2	952,4	980,4	958,1	963,6	12,1
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	488,0	758,5	944,4	730,3	187,4
	Zemina + VK4	950,0	901,5	1024,9	958,8	50,8
	Zemina + VK5	371,6	412,8	433,3	405,9	25,7
	Zemina + PVK1	1010,4	852,4	850,4	904,4	74,9
	Zemina + PVK2	834,0	742,3	996,3	857,5	105,0
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	683,7	743,5	604,0	677,1	57,2
	Zemina + PVK4	420,1	701,0	450,4	523,8	125,9
	Zemina + PVK5	534,7	426,5	346,3	435,9	77,2

Příloha 24: Odběr Mg v nadzemní biomase (mg/nádoba)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	28,6	31,6	24,5	28,2	2,9
	Zemina + K1	87,9	69,3	82,8	80,0	7,9
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	44,2	37,9	57,1	46,4	8,0
	Zemina + K3	64,0	44,0	10,1	39,4	22,2
	Zemina + K4	38,9	47,9	37,3	41,4	4,7
	Zemina + K5	24,7	17,3	14,2	18,7	4,4
	Zemina + VK1	49,6	43,7	11,6	35,0	16,7
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	53,3	48,4	59,1	53,6	4,4
	Zemina + VK3	35,9	44,0	54,0	44,6	7,4
	Zemina + VK4	53,9	45,9	55,5	51,7	4,2
	Zemina + VK5	24,0	22,0	25,4	23,8	1,4
	Zemina + PVK1	64,5	51,0	53,5	56,3	5,9
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	39,3	46,8	55,1	47,1	6,5
	Zemina + PVK3	43,6	34,1	36,1	37,9	4,1
	Zemina + PVK4	25,8	54,4	32,3	37,5	12,2
	Zemina + PVK5	30,1	26,0	23,7	26,6	2,6

Příloha 25: Odběr P v nadzemní biomase (mg/nádoba)

	Varianta	1. opakování	2. opakování	3. opakování	Průměr	Směrodatná odchylka
<b>Kontrola</b>	Zemina	20,0	24,6	25,3	23,3	2,4
	Zemina + K1	47,2	46,9	51,0	48,4	1,9
	Zemina + K2	40,3	32,6	39,3	37,4	3,4
<b>Kompost</b>	Zemina + K3	36,8	34,3	7,3	26,1	13,4
	Zemina + K4	31,3	33,8	33,8	33,0	1,2
	Zemina + K5	29,7	22,9	27,1	26,6	2,8
	Zemina + VK1	36,8	35,5	11,2	27,8	11,8
	Zemina + VK2	35,7	29,6	37,3	34,2	3,3
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK3	30,1	31,3	41,1	34,2	4,9
	Zemina + VK4	27,3	22,8	26,8	25,7	2,0
	Zemina + VK5	25,4	22,6	16,3	21,4	3,8
	Zemina + PVK1	39,7	36,4	38,8	38,3	1,4
	Zemina + PVK2	30,9	30,2	36,1	32,4	2,7
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK3	31,1	36,3	34,2	33,9	2,1
	Zemina + PVK4	24,5	42,3	23,8	30,2	8,6
	Zemina + PVK5	27,9	32,3	26,0	28,7	2,6

Příloha 26: Odběr K v nadzemní biomase (mg/nádoba)

	<b>Varianta</b>	<b>1. opakování</b>	<b>2. opakování</b>	<b>3. opakování</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Kontrola</b>	Zemina	190,0	185,9	203,7	193,2	7,6
	Zemina + K1	632,2	630,9	742,1	668,4	52,1
<b>Kompost</b>	Zemina + K2	431,2	439,1	484,8	451,7	23,6
	Zemina + K3	529,3	506,7	505,6	513,9	10,9
	Zemina + K4	60,3	517,3	417,1	331,5	196,1
	Zemina + K5	117,4	117,3	114,2	116,3	1,5
	Zemina + VK1	480,3	377,7	470,0	442,7	46,2
<b>Vermikompost</b>	Zemina + VK2	512,9	424,9	432,3	456,7	39,9
	Zemina + VK3	354,5	398,5	413,6	388,9	25,1
	Zemina + VK4	356,2	347,0	473,8	392,4	57,7
	Zemina + VK5	112,6	30,4	204,0	115,7	70,9
	Zemina + PVK1	2,4	410,1	484,1	298,9	211,8
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	Zemina + PVK2	415,9	364,5	507,0	429,1	58,9
	Zemina + PVK3	387,2	515,6	417,0	440,0	54,9
	Zemina + PVK4	422,1	412,9	327,5	387,5	42,6
	Zemina + PVK5	227,5	150,9	184,0	187,5	31,4

Příloha 27: Statistická analýza - pH a EC v půdě

	Varianty	pH-H <sub>2</sub> O	pH-CaCl <sub>2</sub>	EC(μS/cm)
<b>Kontrola</b>	Kontrola	8,11±0,04 <sup>ab</sup>	7,28±0,05 <sup>a</sup>	0,299±0,243 <sup>a</sup>
	K1	7,94±0,00 <sup>b</sup>	7,27±0,02 <sup>a</sup>	0,227±0,029 <sup>ab</sup>
	K2	8,16±0,01 <sup>ab</sup>	7,29±0,01 <sup>a</sup>	0,137±0,002 <sup>ab</sup>
<b>Kompost</b>	K3	8,17±0,01 <sup>ab</sup>	7,28±0,01 <sup>a</sup>	0,128±0,008 <sup>ab</sup>
	K4	8,20±0,03 <sup>a</sup>	7,32±0,03 <sup>a</sup>	0,122±0,005 <sup>ab</sup>
	K5	8,17±0,08 <sup>ab</sup>	7,36±0,02 <sup>a</sup>	0,132±0,017 <sup>ab</sup>
	VK1	8,13±0,02 <sup>ab</sup>	7,32±0,00 <sup>a</sup>	0,131±0,005 <sup>ab</sup>
	VK2	8,16±0,05 <sup>ab</sup>	7,35±0,01 <sup>a</sup>	0,116±0,020 <sup>ab</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK3	8,04±0,29 <sup>ab</sup>	7,35±0,01 <sup>a</sup>	0,127±0,044 <sup>ab</sup>
	VK4	8,18±0,05 <sup>ab</sup>	7,39±0,02 <sup>a</sup>	0,124±0,024 <sup>ab</sup>
	VK5	8,21±0,02 <sup>a</sup>	7,40±0,05 <sup>a</sup>	0,108±0,010 <sup>b</sup>
	PVK1	8,19±0,03 <sup>ab</sup>	7,36±0,01 <sup>a</sup>	0,123±0,006 <sup>ab</sup>
	PVK2	8,06±0,08 <sup>ab</sup>	7,32±0,02 <sup>a</sup>	0,121±0,017 <sup>ab</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK3	8,15±0,03 <sup>ab</sup>	7,27±0,06 <sup>a</sup>	0,095±0,005 <sup>b</sup>
	PVK4	8,14±0,02 <sup>ab</sup>	7,34±0,01 <sup>a</sup>	0,097±0,010 <sup>b</sup>
	PVK5	8,19±0,03 <sup>ab</sup>	7,36±0,01 <sup>a</sup>	0,104±0,010 <sup>b</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).

Příloha 28: Statistická analýza - prvky v půdě

	Varianty	Ca	Mg	P	K
<b>Kontrola</b>	Kontrola	6124,3±423,3 <sup>a</sup>	201,0±25,0 <sup>ab</sup>	44,1±7,9 <sup>b</sup>	386,3±36,1 <sup>ab</sup>
	K1	5648,1±226,0 <sup>ab</sup>	183,6±13,5 <sup>ab</sup>	86,6±8,2 <sup>a</sup>	323,3±36,8 <sup>b</sup>
	K2	5467,4±235,3 <sup>ab</sup>	172,5±5,8 <sup>ab</sup>	60,2±4,9 <sup>ab</sup>	341,9±15,5 <sup>b</sup>
<b>Kompost</b>	K3	5480,6±453,9 <sup>ab</sup>	176,3±25,4 <sup>ab</sup>	73,4±22,4 <sup>ab</sup>	334,0±47,3 <sup>b</sup>
	K4	5224,9±186,6 <sup>b</sup>	160,9±6,3 <sup>b</sup>	49,9±1,7 <sup>b</sup>	319,7±15,5 <sup>b</sup>
	K5	5595,2±452,6 <sup>ab</sup>	186,0±6,0 <sup>ab</sup>	41,1±9,3 <sup>b</sup>	419,2±44,5 <sup>a</sup>
	VK1	5890,7±223,0 <sup>ab</sup>	198,6±7,7 <sup>ab</sup>	68,6±3,3 <sup>ab</sup>	379,1±31,3 <sup>ab</sup>
	VK2	5864,2±211,8 <sup>ab</sup>	200,0±9,1 <sup>ab</sup>	68,5±3,3 <sup>ab</sup>	379,8±23,6 <sup>ab</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK3	5921,5±65,2 <sup>ab</sup>	202,9±3,8 <sup>ab</sup>	67,0±4,3 <sup>ab</sup>	365,5±5,4 <sup>ab</sup>
	VK4	5749,6±191,8 <sup>ab</sup>	193,2±11,3 <sup>ab</sup>	66,5±3,3 <sup>ab</sup>	362,7±21,1 <sup>ab</sup>
	VK5	5754,0±126,2 <sup>ab</sup>	190,3±6,0 <sup>ab</sup>	52,7±2,0 <sup>b</sup>	398,4±3,3 <sup>a</sup>
	PVK1	6049,4±90,0 <sup>ab</sup>	213,3±9,7 <sup>a</sup>	65,4±0,5 <sup>ab</sup>	398,4±3,3 <sup>a</sup>
	PVK2	5965,6±70,0 <sup>ab</sup>	209,9±6,7 <sup>ab</sup>	62,5±1,7 <sup>ab</sup>	375,5±16,2 <sup>ab</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK3	5696,6±179,6 <sup>ab</sup>	196,8±5,3 <sup>ab</sup>	66,2±2,3 <sup>ab</sup>	374,8±12,6 <sup>ab</sup>
	PVK4	5617,3±190,0 <sup>ab</sup>	193,4±3,0 <sup>ab</sup>	65,5±2,9 <sup>ab</sup>	387,0±10,6 <sup>ab</sup>
	PVK5	5868,6±75,2 <sup>ab</sup>	199,7±2,5 <sup>ab</sup>	55,5±0,6 <sup>b</sup>	417,0±14,3 <sup>a</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).

Příloha 29: Statistická analýza - Výnos čerstvé hmoty podzemní biomasy (g/nádoba)

	Varianty	Čerstvá hmota (g/nádoba)
<b>Kontrola</b>	Kontrola	20,80±6,37 <sup>bc</sup>
	K1	48,23±4,98 <sup>ab</sup>
<b>Kompost</b>	K2	51,13±13,39 <sup>ab</sup>
	K3	50,07±6,99 <sup>ab</sup>
	K4	38,93±6,41 <sup>ab</sup>
	K5	11,57±2,92 <sup>c</sup>
	VK1	56,17±8,32 <sup>ab</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK2	52,07±6,69 <sup>ab</sup>
	VK3	53,43±18,19 <sup>ab</sup>
	VK4	46,87±15,82 <sup>ab</sup>
	VK5	34,33±7,02 <sup>b</sup>
	PVK1	54,13±9,15 <sup>ab</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK2	63,83±4,79 <sup>a</sup>
	PVK3	53,70±13,62 <sup>ab</sup>
	PVK4	46,03±8,04 <sup>ab</sup>
	PVK5	33,30±2,01 <sup>b</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).

Příloha 30: Statistická analýza - Výnos suché hmoty podzemní biomasy (%)

	Varianty	Suchá hmota (%)
<b>Kontrola</b>	Kontrola	20,20±2,91 <sup>a</sup>
	K1	16,13±2,62 <sup>a</sup>
<b>Kompost</b>	K2	17,00±3,18 <sup>a</sup>
	K3	18,50±3,33 <sup>a</sup>
	K4	17,90±2,58 <sup>a</sup>
	K5	18,10±6,69 <sup>a</sup>
	VK1	13,20±1,49 <sup>a</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK2	16,13±1,27 <sup>a</sup>
	VK3	16,83±5,13 <sup>a</sup>
	VK4	17,23±3,08 <sup>a</sup>
	VK5	11,57±2,65 <sup>a</sup>
	PVK1	15,77±0,96 <sup>a</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK2	13,97±0,39 <sup>a</sup>
	PVK3	12,83±2,03 <sup>a</sup>
	PVK4	16,60±5,02 <sup>a</sup>
	PVK5	11,90±0,78 <sup>a</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).



Příloha 31: Statistická analýza - Výnos čerstvé hmoty nadzemní biomasy (g/nádoba)

	Varianty	Čerstvá hmota (g/nádoba)
<b>Kontrola</b>	Kontrola	33,73±1,78 <sup>de</sup>
	K1	135,77±4,77 <sup>a</sup>
<b>Kompost</b>	K2	87,73±7,66 <sup>cd</sup>
	K3	110,06±2,00 <sup>b</sup>
	K4	89,13±3,09 <sup>c</sup>
	K5	20,80±2,95 <sup>e</sup>
	VK1	83,50±13,20 <sup>cd</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK2	87,27±6,99 <sup>c</sup>
	VK3	82,60±1,64 <sup>cd</sup>
	VK4	81,43±2,82 <sup>cd</sup>
	VK5	30,23±3,21 <sup>de</sup>
	PVK1	83,93±4,22 <sup>cd</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK2	85,20±3,92 <sup>cd</sup>
	PVK3	81,47±4,35 <sup>cd</sup>
	PVK4	70,87±8,29 <sup>d</sup>
	PVK5	37,83±4,10 <sup>d</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).

Příloha 32: Statistická analýza - Výnos suché hmoty nadzemní biomasy (%)

	Varianty	Suchá hmota (%)
<b>Kontrola</b>	Kontrola	40,17±4,38 <sup>ab</sup>
	K1	36,33±0,93 <sup>b</sup>
<b>Kompost</b>	K2	40,43±0,60 <sup>ab</sup>
	K3	37,87±0,61 <sup>ab</sup>
	K4	39,87±0,55 <sup>ab</sup>
	K5	37,47±1,97 <sup>ab</sup>
	VK1	39,40±0,71 <sup>ab</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK2	40,70±0,55 <sup>ab</sup>
	VK3	40,47±1,11 <sup>ab</sup>
	VK4	38,23±1,17 <sup>ab</sup>
	VK5	41,00±0,53 <sup>a</sup>
	PVK1	40,17±1,41 <sup>ab</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK2	40,50±0,48 <sup>ab</sup>
	PVK3	40,43±0,89 <sup>ab</sup>
	PVK4	39,03±0,67 <sup>ab</sup>
	PVK5	39,27±1,39 <sup>ab</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).

Příloha 33: Statistická analýza – Obsah prvků v podzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	Varianty	Ca	Mg	P	K
<b>Kontrola</b>	Kontrola	20930±1319 <sup>a</sup>	3003±197 <sup>a</sup>	3341±120 <sup>b</sup>	19985±663 <sup>abc</sup>
	K1	18484±653 <sup>ab</sup>	2749±39 <sup>ab</sup>	1765±106 <sup>d</sup>	19951±616 <sup>abc</sup>
<b>Kompost</b>	K2	13745±567 <sup>bcd</sup>	2212±173 <sup>abc</sup>	2137±190 <sup>cd</sup>	19898±467 <sup>abc</sup>
	K3	17372±1977 <sup>abc</sup>	2433±156 <sup>abc</sup>	1925±48 <sup>d</sup>	20959±417 <sup>ab</sup>
	K4	13923±801 <sup>bcd</sup>	2076±76 <sup>bc</sup>	2061±71 <sup>d</sup>	18313±412 <sup>abc</sup>
	K5	13206±938 <sup>bcd</sup>	2638±271 <sup>abc</sup>	3401±423 <sup>ab</sup>	18995±2737 <sup>abc</sup>
	VK1	14127±456 <sup>bcd</sup>	2167±70 <sup>abc</sup>	3524±377 <sup>ab</sup>	17170±169 <sup>abc</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK2	14641±832 <sup>bcd</sup>	2584±295 <sup>abc</sup>	4126±672 <sup>a</sup>	16118±986 <sup>bc</sup>
	VK3	13780±345 <sup>bcd</sup>	2248±122 <sup>abc</sup>	2629±268 <sup>bc</sup>	19537±1862 <sup>abc</sup>
	VK4	13562±313 <sup>bcd</sup>	2243±126 <sup>abc</sup>	1967±130 <sup>d</sup>	21729±1267 <sup>ab</sup>
	VK5	13348±637 <sup>bcd</sup>	2463±232 <sup>abc</sup>	2825±218 <sup>bc</sup>	17881±2083 <sup>abc</sup>
	PVK1	14225±1730 <sup>bcd</sup>	2339±201 <sup>abc</sup>	3613±259 <sup>ab</sup>	18790±428 <sup>abc</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK2	14568±463 <sup>bcd</sup>	2156±89 <sup>abc</sup>	3140±222 <sup>b</sup>	18131±581 <sup>abc</sup>
	PVK3	12763±696 <sup>cd</sup>	1939±131 <sup>bc</sup>	2462±207 <sup>c</sup>	19258±1064 <sup>abc</sup>
	PVK4	13389±680 <sup>bcd</sup>	2112±119 <sup>bc</sup>	2641±74 <sup>bc</sup>	22799±1493 <sup>a</sup>
	PVK5	11306±1688 <sup>d</sup>	1833±141 <sup>c</sup>	2180±186 <sup>cd</sup>	13760±251 <sup>c</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).

Příloha 34: Statistická analýza – Obsah prvků v nadzemní biomase sklizeného konopí (mg/kg)

	Varianty	Ca	Mg	P	K
<b>Kontrola</b>	Kontrola	37421±5235 <sup>a</sup>	2108±228 <sup>ab</sup>	1719±34 <sup>bc</sup>	14355±743 <sup>a</sup>
	K1	29906±3999 <sup>ab</sup>	1630±154 <sup>abc</sup>	981±29 <sup>bcd</sup>	13550±611 <sup>a</sup>
<b>Kompost</b>	K2	20772±4195 <sup>ab</sup>	1325±217 <sup>abc</sup>	1059±84 <sup>bcd</sup>	12836±1085 <sup>a</sup>
	K3	15475±7654 <sup>b</sup>	945±383 <sup>c</sup>	625±226 <sup>d</sup>	12342±335 <sup>a</sup>
	K4	16904±1130 <sup>b</sup>	1162±73 <sup>bc</sup>	928±27 <sup>cd</sup>	9296±3844 <sup>b</sup>
	K5	37136±2182 <sup>a</sup>	2397±317 <sup>a</sup>	3488±476 <sup>a</sup>	15162±1369 <sup>a</sup>
	VK1	15478±6887 <sup>b</sup>	1133±415 <sup>bc</sup>	899±305 <sup>cd</sup>	13532±789 <sup>a</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK2	27306±1770 <sup>ab</sup>	1509±52 <sup>abc</sup>	962±23 <sup>bcd</sup>	12873±615 <sup>a</sup>
	VK3	21964±4133 <sup>ab</sup>	1338±165 <sup>abc</sup>	1024±106 <sup>bcd</sup>	11665±695 <sup>a</sup>
	VK4	30838±1236 <sup>ab</sup>	1661±68 <sup>abc</sup>	824±26 <sup>cd</sup>	12627±1360 <sup>a</sup>
	VK5	32838±791 <sup>ab</sup>	1934±149 <sup>abc</sup>	1770±333 <sup>bc</sup>	9270±3690 <sup>b</sup>
	PVK1	26808±945 <sup>ab</sup>	1666±64 <sup>abc</sup>	1137±21 <sup>bcd</sup>	9165±4558 <sup>b</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK2	24826±1850 <sup>ab</sup>	1360±102 <sup>abc</sup>	938±40 <sup>cd</sup>	12420±1050 <sup>a</sup>
	PVK3	20640±1666 <sup>ab</sup>	1156±109 <sup>bc</sup>	1029±45 <sup>bcd</sup>	13383±1267 <sup>a</sup>
	PVK4	18886±2703 <sup>ab</sup>	1343±267 <sup>abc</sup>	1090±194 <sup>bcd</sup>	14212±1789 <sup>a</sup>
	PVK5	29204±2441 <sup>ab</sup>	1794±90 <sup>abc</sup>	1963±250 <sup>b</sup>	12513±544 <sup>a</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).

Příloha 35: Statistická analýza – Odběr prvků v podzemní biomase (mg/nádoba)

	Varianty	Ca	Mg	P	K
<b>Kontrola</b>	Kontrola	87,1±29,5 <sup>b</sup>	12,5±4,3 <sup>ab</sup>	13,8±3,8 <sup>ab</sup>	81,4±15,8 <sup>b</sup>
	K1	143,4±12,6 <sup>ab</sup>	21,3±1,5 <sup>a</sup>	13,8±2,5 <sup>ab</sup>	154,6±8,6 <sup>ab</sup>
<b>Kompost</b>	K2	115,1±2,2 <sup>ab</sup>	18,7±3,6 <sup>ab</sup>	18,0±3,5 <sup>ab</sup>	167,2±12,8 <sup>ab</sup>
	K3	156,7±16,2 <sup>a</sup>	22,1±2,3 <sup>a</sup>	17,6±1,6 <sup>ab</sup>	191,6±22,3 <sup>a</sup>
	K4	95,6±10,9 <sup>b</sup>	14,2±0,9 <sup>ab</sup>	14,2±1,7 <sup>ab</sup>	125,9±12,0 <sup>ab</sup>
	K5	26,2±6,0 <sup>b</sup>	5,2±1,2 <sup>b</sup>	6,8±2,1 <sup>b</sup>	37,6±11,9 <sup>b</sup>
	VK1	104,5±18,6 <sup>ab</sup>	16,0±2,6 <sup>ab</sup>	25,5±1,1 <sup>ab</sup>	127,8±27,9 <sup>ab</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK2	122,3±16,6 <sup>ab</sup>	21,9±6,7	33,8±6,2 <sup>a</sup>	135,9±29,6 <sup>ab</sup>
	VK3	116,4±15,8 <sup>ab</sup>	19,0±3,2 <sup>ab</sup>	22,1±4,6 <sup>ab</sup>	166,4±41,8 <sup>ab</sup>
	VK4	104,9±21,1 <sup>ab</sup>	17,4±4,5 <sup>ab</sup>	15,5±5,2 <sup>ab</sup>	166,8±28,0 <sup>ab</sup>
	VK5	52,6±15,6 <sup>b</sup>	9,4±1,2 <sup>ab</sup>	11,2±3,9 <sup>ab</sup>	68,4±11,2 <sup>b</sup>
	PVK1	123,3±43,74 <sup>ab</sup>	20,1±5,4 <sup>a</sup>	30,9±7,1 <sup>ab</sup>	160,3±28,8 <sup>ab</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK2	130,2±12,2 <sup>ab</sup>	19,3±2,5 <sup>ab</sup>	28,0±3,4 <sup>ab</sup>	161,6±2,6 <sup>ab</sup>
	PVK3	86,2±17,6 <sup>b</sup>	13,4±4,4 <sup>ab</sup>	16,7±4,7 <sup>ab</sup>	130,9±32,9 <sup>ab</sup>
	PVK4	98,1±8,2 <sup>b</sup>	15,5±1,5 <sup>ab</sup>	19,4±1,5 <sup>ab</sup>	166,4±3,9 <sup>ab</sup>
	PVK5	44,5±10,4 <sup>b</sup>	7,2±0,7 <sup>ab</sup>	8,6±1,1 <sup>ab</sup>	54,6±3,1 <sup>b</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).

Příloha 36: Statistická analýza – Odběr prvků v nadzemní biomase (mg/nádoba)

	Varianty	Ca	Mg	P	K
<b>Kontrola</b>	Kontrola	498,9±86,3 <sup>bc</sup>	28,2±3,6 <sup>bc</sup>	23,3±2,9 <sup>b</sup>	193,2±9,3 <sup>b</sup>
	K1	1467,8±302,0 <sup>a</sup>	80,0±9,6 <sup>a</sup>	48,4±2,3 <sup>a</sup>	668,4±63,9 <sup>a</sup>
<b>Kompost</b>	K2	725,8±202,1 <sup>bc</sup>	46,4±9,8 <sup>bc</sup>	37,4±4,2 <sup>ab</sup>	451,7±28,9 <sup>ab</sup>
	K3	644,4±543,3 <sup>bc</sup>	39,4±27,2 <sup>bc</sup>	26,1±16,4 <sup>b</sup>	513,9±13,4 <sup>ab</sup>
	K4	601,9±86,25 <sup>bc</sup>	41,4±5,7 <sup>bc</sup>	32,9±1,5 <sup>ab</sup>	331,5±240,2 <sup>ab</sup>
	K5	286,8±24,6 <sup>c</sup>	18,7±5,4 <sup>c</sup>	26,6±3,4 <sup>b</sup>	116,3±1,8 <sup>b</sup>
	VK1	472,3±357,2 <sup>bc</sup>	34,9±20,5 <sup>bc</sup>	27,8±14,4 <sup>b</sup>	442,7±56,6 <sup>ab</sup>
<b>Vermikompost</b>	VK2	963,6±14,8 <sup>ab</sup>	53,6±5,4 <sup>ab</sup>	34,2±4,1 <sup>ab</sup>	456,7±48,8 <sup>ab</sup>
	VK3	730,3±229,5 <sup>bc</sup>	44,6±9,1 <sup>bc</sup>	34,2±6,1 <sup>ab</sup>	388,9±30,7 <sup>ab</sup>
	VK4	958,8±62,2 <sup>ab</sup>	51,8±5,2 <sup>abc</sup>	25,7±2,5 <sup>b</sup>	392,4±70,7 <sup>ab</sup>
	VK5	405,9±31,5 <sup>bc</sup>	23,8±1,7 <sup>bc</sup>	21,4±4,7 <sup>b</sup>	115,7±86,8 <sup>b</sup>
	PVK1	904,4±91,8 <sup>abc</sup>	56,3±7,2 <sup>ab</sup>	38,3±1,7 <sup>ab</sup>	298,9±259,4 <sup>ab</sup>
<b>Předkompostovaný vermikompost</b>	PVK2	857,5±128,6 <sup>abc</sup>	47,1±7,9 <sup>abc</sup>	32,4±3,3 <sup>ab</sup>	429,1±72,2 <sup>ab</sup>
	PVK3	677,0±70,0 <sup>bc</sup>	37,9±4,9 <sup>bc</sup>	33,9±2,6 <sup>ab</sup>	439,9±67,2 <sup>ab</sup>
	PVK4	523,9±154,2 <sup>bc</sup>	37,5±15,0 <sup>bc</sup>	30,2±10,5 <sup>ab</sup>	387,5±52,2 <sup>ab</sup>
	PVK5	435,9±94,5 <sup>bc</sup>	26,6±3,2 <sup>bc</sup>	28,7±3,2 <sup>ab</sup>	187,5±38,4 <sup>b</sup>

Střední hodnota následovaná různými písmeny je statisticky odlišná ( $p < 0,05$ ). Hodnoty udávají průměr±standardní odchylka ( $n = 3$ ).