

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv aplikace vermikompostu z kalu a nasávané kartonáže
na parametry půdy a rostlin**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Nikola Třeská

Program nebo obor studia: Technologie odpadů

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

Konzultant: Ing. Milan Hřčka

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv aplikace vermikompostu z kalu a nasávané kartonáže na parametry půdy a rostlin" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing, Alešovi Hančovi, Ph.D., Ing. Milanovi Hřčkoví, Ing. Kateřině Pazderů a Ph.D., Ing. Tereze Hřebečkové za jejich profesionální přístup, pomoc, čas, který mi věnovali a cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

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“.

Na závěr chci poděkovat svým rodičům, kteří při mně stáli po celou dobu mého studia na vysoké škole. Vždy mě podporovali a nepřestávali ve mě věřit. Poděkování patří i mojí starší sestře, která mi je v životě velkým vzorem.

Vliv aplikace vermikompostu z kalu a nasávané kartonáže na parametry půdy a rostlin

Souhrn

Diplomová práce „Vliv aplikace vermikompostu z kalu a nasávané kartonáže na parametry půdy a rostlin“ byl zkoumán na jarní pšenici (*Triticum aestivum* L.) odrůdy Pexeso.

Vermikomposty patří mezi cenné organické hnojivo, které obsahuje velké množství živin a podporuje růst rostlin. Dále obsahuje mikroorganismy a mnoho dalších látek, které zlepšují vlastnosti půdy, jako je její struktura nebo třeba zadržování vlhkosti. Tyto faktory mohou vést ke zlepšení růstu rostlin a dosažení vyššího výnosu zrna.

V této práci byly použity vermikomposty (V) a komposty (K) z nasávané kartonáže a čistírenského kalu I a II typu dle příslušné lokality, ze které pocházel čistírenský kal. Aplikace těchto hnojiv proběhla na orné půdě v areálu kompostárny ZERS v obci Neškaredice nedaleko města Kutná Hory dne 25. 3. 2022. K pokusu byla využita pouze liniová okrajová část pole, která byla rozdělena na 15 menších čtvercových parcel o rozměrech 6 m² (3x2 m). Na každou menší parcelu byly aplikována hnojiva v tomto pořadí: kontrolní varianta bez hnojení s označením O, K II, K I, V II, V I ve 3 opakování.

Po zhruba 5 měsících (v srpnu) proběhla sklizeň již zralých klasů jarní pšenice. Během sklizně byly odebrány vzorky kořenů, slámy, klasů včetně zrna jarní pšenice k laboratornímu rozboru na České zemědělské univerzitě v Praze. V prostorách laboratoře docházelo k vyhodnocování hlavních výnosových prvků – počet zrn v klasu, hmotnost tisíce semen a délky klasu. Společně se vzorky jarní pšenice byly odebrány i jednotlivé vzorky půdy pro stanovení hodnoty pH, měrné vodivosti (EC) a přístupných živin dle metody Melicha III. Nakonec byl proveden suchý rozklad kořenů, slámy a zrna pšenice jarní za účelu stanovení obsahu živin v rostlině.

Průměrná délka klasů ze všech 5 variant se pohybovala kolem 7,5 cm. Počet zrna v klasu u jednotlivých variant dosahoval hodnot od 40ks (kontrolní varianta) do 45ks (K II). Průměrná HTZ ze všech variant byla 41,29-42,35 g.

Výsledky potvrzují, že aplikace vermikompostu a kompostu zlepšila agrochemické vlastnosti půdy a zvýšila výnos zrn i slámy jarní pšenice. Nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi variantami hnojenými vermikompostem a kompostem. Byly zjištěny rozdíly ve výnosu pšenice hnojené vermikomposty a komposty s rozdílným původem čistírenského kalu, který byl využit pro jejich produkci.

Klíčová slova: agrochemické vlastnosti půdy, pšenice jarní, výnos, kompost, vermikompost

Influence of application of vermicompost based on sewage sludge and moulded pulp on soil and plants properites

Summary

The diploma thesis "The effect of application of vermicompost from sludge and sucked cardboard on soil and plant parameters" was investigated on spring wheat (*Triticum aestivum* L.) variety Pexeso.

Vermicompost is a valuable organic fertilizer that contains a large amount of nutrients and promotes plant growth. It also contains micro-organisms and many other substances that improve soil properties such as soil structure and moisture retention. These factors can lead to improved plant growth and higher grain yields.

In this work, vermicomposts (V) and composts (K) from sucked cardboard and type I and II sewage sludge were used according to the respective location from which the sewage sludge originated. The application of these fertilizers took place on arable land in the area of the ZERS composting plant in the village of Neškaredice near the town of Kutná Hora on 25 March 2022. Only the linear marginal part of the field was used for the experiment, which was divided into 15 smaller square plots of 6 m² (3x2 m). Fertilizers were applied to each smaller plot in the following order: no fertilizer control with O, K II, K I, V II, V I in 3 replications.

After about 5 months (in August), the already mature ears of spring wheat were harvested. During the harvest, samples of roots, straw, ears including grains of spring wheat were taken for laboratory analysis at the Czech University of Agriculture in Prague. The main yield elements - number of grains per ear, thousand seed weight and ear length - were evaluated in the laboratory. Together with the spring wheat samples, individual soil samples were taken for determination of pH, specific conductivity (EC) and available nutrients according to the Melich III method. Finally, dry decomposition of roots, straw and grain of spring wheat was carried out to determine the nutrient content of the plant.

The average ear length of all 5 variants was around 7.5 cm. The number of grains per ear in each variant ranged from 40 (control variant) to 45 (K II). The average HTZ of all variants was 41.29-42.35 g.

The results confirm that the application of vermicompost and compost improved soil agrochemical properties and increased grain and straw yield of spring wheat. No statistically significant differences were found between the variants fertilized with vermicompost and compost. Differences were found in the yield of wheat fertilized with vermicomposts and composts with different origin of the sewage sludge used for their production.

Keywords: agrochemical properties of soil, spring wheat, yield, compost, vermicompost

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Vědecká hypotéza a cíle práce.....	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Indikátory kvality půdy.....	12
3.1.1 Fyzikální vlastnosti	12
3.1.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti.....	13
3.1.3 Biologické vlastnosti	15
3.2 Pšenice jarní.....	15
3.2.1 Morfologický popis	16
3.2.2 Růst a vývoj	19
3.2.3 Fenologická fáze	20
3.2.4 Podmínky pěstování pšenice.....	20
3.2.5 Historie pěstování pšenice	21
3.2.6 Současné oseední postupy	21
3.2.7 Sklizeň pšenice	21
3.3 Tvorba výnosu obilnin	21
3.3.1 Biologický výnos	22
3.3.2 Hospodářský výnos.....	23
3.3.3 Kompenzační schopnost obilnin při tvorbě výnosu.....	25
3.4 Vermikompostování.....	26
3.4.1 Vermikompost a jeho využití.....	26
3.4.2 Vermikompostování čistírenských kalů	27
3.4.3 Aplikace vermikompostu z čistírenského kalu na rostliny	28
3.5 Odpadní papír	29
3.5.1 Rozdělení papírových obalů	29
3.5.2 Nasávaná kartonáž	29
4 Metodika	30
4.1 Založení pokusu.....	30
4.1.1 Charakteristika půdních podmínek	30
4.1.2 Meteorologická charakteristika roku 2022	31
4.2 Zapravení hnojiv do půdy	31
4.2.1 Typy hnojiv.....	32
4.2.2 Úprava hnojiv	34
4.3 Odběr vzorků rostlin	35
4.4 Úprava rostlinných vzorků	38
4.5 Vzorky půdy	39
4.5.1 Hodnota pH.....	39
4.5.2 Měrná elektrická vodivost	40

4.5.3	Stanovení obsahu přístupných živin dle Mehliche III.	40
4.6	Vzorky rostlin	40
4.6.1	Počet zrn v klasu	40
4.6.2	Hmotnost tisíce zrn	41
4.6.3	Délka klasu	42
4.6.4	Suchý rozklad	42
4.7	Zpracování dat	43
5	Výsledky	44
5.1	Vzorky půdy	44
5.1.1	Hodnota pH.....	44
5.1.2	Měrná elektrická vodivost	44
5.1.3	Stanovení obsahu přístupných živin dle Mehliche III.	46
5.1.4	Obsah draslíku v půdách.....	47
5.1.5	Obsah fosforu v půdách	48
5.1.6	Obsah vápníku v půdách.....	49
5.1.7	Obsah hořčíku v půdách	50
5.2	Vzorky rostlin	51
5.2.1	Počet zrn v klasu	51
5.2.2	Hmotnost tisíce zrn (HTZ).....	52
5.2.3	Délka klasu	53
5.2.4	Suchý rozklad	54
5.2.5	Draslík.....	54
5.2.6	Hořčík	55
5.2.7	Fosfor	56
5.2.8	Síra	57
6	Diskuse	58
7	Závěr	60
8	Literatura	61
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	67
10	Samostatné přílohy	I

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1: Stavba stébla obilovin (Zdroj: Mendelu) a 2: Ouško listu u obilovin (Zdroj: Mendelu).....	16
Obrázek 3: Schéma kořenů a podzemních orgánů obilovin (Zdroj: Mendelu)	17
Obrázek 4: Klásky na větenu klasu pšenice (Zdroj: Mendelu)	18
Obrázek 5: Stavba obilky pšenice (Zdroj: Mendelu).....	18
Obrázek 6: Mezinárodní stupnice fází růstu pro obiloviny s desetinným kódem - DC dle Zadokse (Richter, 2004)	20
Obrázek 7: Založený pokus s pšenicí jarní v areálu kompostárny ZERS v Kutné Hoře (vlastní zdroj).....	32
Obrázek 8: Nadrcená kartonové obaly (autor Ing. Milan Hrčka)	34
Obrázek 9: Předkompostovaná směs čistírenského kalu I. (vlevo) a čistírenského kalu II. s nasávanou kartonáží (vpravo) (autor Ing. Milan Hrčka)	34
Obrázek 10: Sklizeň zralých klasů pšenice jarní v areálu kompostárny ZERS (vlastní zdroj)	35
Obrázek 11: Dřevěná forma pro vymezení čtverce 1 x 1 m ² (vlastní zdroj).....	36
Obrázek 12: Sklizeň pšenice do označených plastových pytlů (vlastní zdroj).....	36
Obrázek 13: Získávání zrna z klasů pšenice jarní (vlastní zdroj)	37
Obrázek 14: Připravené klasy pšenice jarní k analýze v laboratoři (vlastní zdroj)	37
Obrázek 15: Mikrojemný mlýnek IKA - MF 10 basic a 16: Střížný mlýn Retsch – 100 (vlastní zdroj).....	38
Obrázek 17: Síto do malého mlýnu IKA – F 10 basic o velikosti průlin 1 mm (vlastní zdroj).....	38
Obrázek 18: Laboratorní třepačka LAUDA (vlastní zdroj).....	39
Obrázek 19: Přístroj WTW pH 340i k měření hodnoty pH (vlastní zdroj)	39
Obrázek 20: Konduktometr WTW cond 730 k měření měrné vodivosti (vlastní zdroj)	40
Obrázek 21: Příprava vzorků a pomůcek pro sčítání zrn pšenice jarní (vlastní zdroj)	41
Obrázek 22: Elektronické počítadlo semen C 21(vlastní zdroj)	41
Obrázek 23: Metodika měření délky klasu pomocí pravítka na kontrolním pokusu č. 1 (vlastní zdroj).....	42
Obrázek 24: Topná deska Ceran 500/44A (vlastní zdroj)	43
Obrázek 25: Laboratorní pec Martínek (vlastní zdroj)	43
Tabulka 1: Kritéria pro hodnocení výměnné reakce podle vyhlášky č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů (Sánka et al. 2018)	14
Tabulka 2: Základní hodnocení měrné elektrické vodivosti EC (Gardner et al. 1999).	15
Tabulka 3: Výnosy hlavních druhů obilovin (Diviš et al. 2010)	26
Tabulka 4: Charakteristika půdy v obci Neškaredice (Zdroj: BPEJ; Situační a výhledová zpráva Půda, 2009)	30
Tabulka 5: Meteorologické podmínky v roce 2022 pro Středočeský kraj – období březen - srpen (Zdroj: ČHMÚ 2022)	31
Tabulka 6: Rozdělení typů hnojiv s jejich značení (vlastní zdroj)	32
Tabulka 7: Plánek rozdělení malých parcel v řadě dle typu hnojení (vlastní zdroj).....	33
Tabulka 8: Stanovení hodnoty pH před založením pokusu (autor Ing. Milan Hrčka).....	44
Tabulka 9: Naměřené hodnoty pH (H ₂ O), pH (CaCl ₂), EC – Měrná vodivost [μS/cm] (vlastní zdroj).....	45
Tabulka 10: Obsahy živin v půdě na začátku pokusu.....	46
Tabulka 11: Obsahy živin v půdě na konci pokusu	46
Tabulka 12: Obsah draslíku v půdách	47
Tabulka 13: Hodnocení obsahu přístupného K v orné půdě [mg.kg ⁻¹].....	47

Tabulka 14: Obsah fosforu v půdách	48
Tabulka 15: Hodnocení obsahu přístupného P v orné půdě [mg.kg ⁻¹]	48
Tabulka 16: Obsah vápníku v půdách.....	49
Tabulka 17: Hodnocení obsahu přístupného Ca v orné půdě [mg.kg ⁻¹]	49
Tabulka 18: Obsah hořčíku v půdách	50
Tabulka 19: Hodnocení obsahu přístupného Mg v orné půdě [mg.kg ⁻¹]	50
 Graf 1: Průměrný obsah živin před začátkem pokusu (ZP) ve srovnání s kontrolou po sklizni (KP).....	46
Graf 2: Počet zrn v klasu.....	51
Graf 3: Hmotnost tisíce zrn [HTZ]	52
Graf 4: Délka klasu	53
Graf 5: Podíl přístupného draslíku – K [mg/kg]	54
Graf 6: Podíl přístupného hořčíku – Mg [mg/kg]	55
Graf 7: Podíl přístupného fosforu – P [mg/kg]	56
Graf 8: Podíl přístupné síry – S [mg/kg].....	57

1 Úvod

V současné době je kladen vyšší důraz na udržitelné zemědělství, které souvisí s využíváním šetrných metod k životnímu prostředí. Aplikace vermikompostu z kalu a nasávané kartonáže se jeví jako efektivní prostředek pro zlepšení kvality půdy a růstu rostlin. Vermikompost obsahuje organické látky a živiny potřebné pro ideální růst rostlin, mimo jiné pomáhá vytvářet zdravou půdní strukturu. Ve vermikompostu se nachází mikroorganismy a enzymy, které podporují rozklad organických látek v půdním prostředí, a tím zlepšují jeho kvalitu. Použití vermikompostu z kalu a nasávané kartonáže je efektivní řešení zpracování odpadů, které by jinak neměly jiné využití.

Při zkoumání vlivu aplikace vermikompostu z kalu a nasávané kartonáže na parametry půdy a rostlin se bude analyzovat, jak se změní fyzikálně-chemické vlastnosti půdy, jako je hodnota pH, měrná elektrická vodivost (electric conductivity - EC) a obsah přístupných živin. Bude porovnána účinnost vermikompostu z čistírenského kalu a nasávané kartonáže s komposty se stejným složením včetně kontrolní nehnojené varianty.

Pokus bude probíhat na pozemku orné půdy kompostárny ZERS v obci Neškaredice u Kutné Hory. Malé parcely budou rozděleny podle typu hnojení na varianty s komposty, vermikomposty a bez přidaného hnojiva. Na parcely bude zaseta pšenice jarní.

Obiloviny jsou jednou z nejdůležitějších plodin pěstovaných na světě, které mají zásadní postavení ve výživě lidí i zvířat. Pšenice jarní (*Triticum aestivum*) se většinou pěstuje jako doplňková forma pšenice seté. Základními faktory, které ovlivňují výnos zrna pšenice, jsou počet klasů, počet zrn v klasu a hmotnost jednotlivých zrn. Tyto faktory jsou vzájemně provázány a každá odrůda vytváří výnos v závislosti na svých specifických vlastnostech, jako je například schopnost odnožování, hmotnost jednotlivých zrn, délka klasu s počtem zrn v klasu.

Přidávání vermikompostu z čistírenského kalu může ovlivnit růst a vývoj rostlin jarní pšenice. Může se projevit zlepšením agrochemických vlastností půdy a zvýšení výnosových prvků u zrna a slámy jarní pšenice.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem diplomové práce bude porovnat agrochemické parametry půdy a výnos pšenice seté na parcelách hnojených vermikomposty a komposty na bázi čistírenských kalů a nasávané kartonáže.

1. Vermikomposty a komposty zlepší agrochemické vlastnosti půdy a zvýší výnos zrna i slámy pšenice.
2. Nebudou nalezeny statisticky významné rozdíly ve výnosech mezi variantami hnojenými vermikompostem a kompostem.
3. Budou zjištěny rozdíly ve výnosu pšenice hnojené vermikomposty (a podobně i komposty) s rozdílným původem čistírenského kalu použitého pro jejich produkci.

3 Literární rešerše

3.1 Indikátory kvality půdy

Kvalita půdy se posuzuje podle 3 hlavních skupin vlastností: fyzikální, fyzikálně chemické a biologické. Hodnocení kvality půdy pomocí těchto indikátorů je důležité pro zachování a zlepšování půdních podmínek.

3.1.1 Fyzikální vlastnosti

Barva, má významnou roli, zejména při určování jednotlivých diagnostických horizontů. V povrchových horizontech je barva ovlivňována hlavně obsahem organické hmoty, zatímco v podpovrchových a substrátových horizontech je důležité minerální složení a podmínky oxidačně-redukčního prostředí.

Struktura, při hodnocení půdního profilu se posuzuje velikost, tvar, stav a poměr rozměrů půdních agregátů. Tyto charakteristiky jsou ovlivněny fyzikálními faktory, jako je sušení, zvlhčování, mrznutí a tání, chemickými faktory, jako je minerální složení a chemické vazby, a biologickými faktory, jako je působení kořenů, živočichů a mikroorganismů a jejich výměšků. Hodnocení se provádí pro jednotlivé horizonty půdního profilu.

Textura půdy označuje velikost a podíl jednotlivých částic v půdě. Je to velmi důležitá charakteristika půdy, která ovlivňuje pedogenetické procesy, agronomické a ekologické vlastnosti půdy. Existují různé klasifikace textury, ale v České republice se nejčastěji používá Novákova klasifikace. Přesné zařazení půdy do určité kategorie textury je možné určit pomocí laboratorních rozborů. V terénu se textura odhaduje prstovou zkouškou a používá se klasifikační stupnice. Podle textury se dá určit půdní druh.

Množství vody v půdě je klíčovým faktorem pro růst rostlin. Toto množství závisí na srážkách a hladině podzemní vody, ale také na schopnosti půdy zadržovat vodu, která je ovlivněna zejména texturou a strukturou. Pro popis této vlastnosti se používají půdní hydrolimity, včetně nasycené půdní kapacity, retenční vodní kapacity (tj. kapilárně zadržené vody), bodu vadnutí a maximální kapilární vodní kapacity (pro potřeby rostlin). V terénu lze vlhkost půdy odhadovat stiskem v dlani.

Konzistence půdy popisuje, jak jsou částice půdy navzájem spojeny a jak se půda přichytává na cizí předměty. Lepivost se dělí na několik stupňů od nelepivé až po silně lepivou. Plasticita půdy udává, do jaké míry se půda dokáže deformovat bez trhání, a také se dělí na stupně od neplastické po silně plastickou. Pevnost půdy určuje, jak dobře si udrží svůj tvar, a rozděluje se na kyprou a velmi tuhou.

Novotvary se vyskytují v půdě důsledkem chemických, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Na písčitéch substrátech se vyskytuje stmelenec, který vzniká při podzolizaci. Železité a manganové konkréce jsou typické pro semihydromorfní a hydromorfní půdy. Na půdách na spraších se často nacházejí konkréce uhličitanu vápenatého, které jsou důležitým diagnostickým znakem pro kalciový horizont a pro posouzení eroze na černozemích. Pokud jsou cicváry v menší hloubce, znamená to, že se povrch půdy erodoval, pokud jsou větší, znamená to, že se horní vrstvy nahromadily.

Měrná hmotnost půdy je vlastnost, která vyjadřuje, kolik váží daný objem půdy, když v něm není žádný vzduch. Tuto vlastnost lze vypočítat jako poměr hmotnosti půdy k objemu, který zabírá. Výsledek se obvykle udává v jednotkách gramů na krychlový centimetr.

Objemová hmotnost půdy vyjadřuje poměr hmotnosti půdy k jejímu objemu v neporušeném stavu, zahrnuje póry, mezery a dutiny. U půdy se objemová hmotnost měří jako poměr hmotnosti půdy k jejímu objemu v původním stavu, zahrnujícím i póry a dutiny. Obvykle se udává v g/cm^3 nebo v t/m^3 . Půdy jsou obvykle porézní, a proto je jejich objemová hmotnost vždy nižší než měrná hmotnost.

Pórovitost je označení pro celkový objem všech mezer a dutin mezi jednotlivými pevnými částicemi půdy. Uvádí se v procentech a obvykle se pohybuje v rozmezí 40-60 %. Tyto prostory se dělí do tří skupin: nekapilární, které jsou vyplněny vzduchem a z nich se voda odtéká gravitací; semikapilární, které jsou naplněny jak vodou, tak vzduchem; a kapilární, které jsou zaplněny vodou, která zde zůstává díky kapilárnímu efektu (Sáňka et al, 2018).

3.1.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti

Zahrnují níže zmíněné: obsah organické hmoty, půdní reakci, sorpční vlastnosti, oxidačně-redukční potenciál půdy a obsah živin.

Půdní reakce

Označuje se číslem pH a prakticky se stanovuje jako výměnné nebo aktivní pH půdy (Sáňka a Materna, 2004). Půdní reakce má značný vliv na rozpustnost chemických sloučenin v půdním roztoku a na schopnost rostlin přijímat živiny z půdy. V lesních půdách má tato vlastnost vliv na biochemické procesy v půdě a na schopnost autotrofních organismů přijímat živiny. Hodnota pH neboli *pondus Hydrogenii*, je jedním z ukazatelů půdní reakce a vyjadřuje se jako záporný logaritmus aktivity vodíkových iontů ve vodných roztocích. Podle pH se půdy dělí na kyselé, neutrální a zásadité (Sáňka et al. 2018).

Stanovení půdní reakce

1. aktivní ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), měří aktuální obsah vodíkových iontů ve vodném roztoku neboli v suspenzi.
2. výměnná (pH_{KCl} , $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$), měří schopnost půdy měnit pH neutrálních solí, přičemž vodíkové ionty jsou vyměňovány za ionty solí. Proto má výměnná reakce obvykle nižší hodnotu než aktivní reakce. Pro měření výměnné reakce se obvykle používají roztoky 1 mol/l KCl nebo 0,01 mol/l CaCl_2 . Hodnocení probíhá podle přiložené tabulky č.1.
3. hydrolytická, udává schopnost půdy měnit reakci hydrolyticky štěpitelných solí, ale tato metoda se v praxi používá jen zřídka a vyjadřuje se v mmol/100 g (Sáňka et al. 2018).

Existují 2 základní způsoby stanovení pH půdy. Kolorimetrická metoda stanovení pH využívá acidobazické indikátory, které mění své zbarvení v závislosti na pH. Tento typ měření se může provádět vizuálně nebo pomocí fotometrických metod. Tato metoda se často využívá přímo v terénu, ale dnes je stále více nahrazována přenosnými pH metry. Tyto pH metry umožňují snadné a rychlé měření pH v různých typech půd pomocí elektrod a digitálního displeje. Metoda potenciometrického stanovení využívá měření rozdílu potenciálu mezi

indikační a srovnávací elektrodou. Při této metodě je důležitá kalibrace pomocí standardů, která umožňuje přesné stanovení hodnoty pH (Sáňka et al. 2018).

Způsob stanovení se řídí technickou normou „*ISO DIS 10390 (1992): Soil Quality – Determination of pH. International Organization for Standardization*“ (Sáňka et al. 2018).

V České republice je zakotveno v právních předpisech vyhláškou „*MZe č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů*“ (Sáňka et al. 2018).

Tabulka 1: Kritéria pro hodnocení výměnné reakce podle vyhlášky č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů (Sáňka et al. 2018)

hodnota pH	půdní reakce
< 4,5	extrémně kyselá
4,6–5,0	silně kyselá
5,1–5,5	kyselá
5,6–6,5	slabě kyselá
6,6–7,2	neutrální
7,3–7,7	alkalická
> 7,7	silně alkalická

Hodnota pH půdy ovlivňuje biochemické procesy a příjem živin rostlinami. Navíc má vliv na mobilizaci rizikových prvků v půdách, kde v oblasti kyselé reakce mobilita rizikových prvků obvykle roste. Existují výjimky, například u arsenu - As, jehož mobilita roste v oblasti neutrální až mírně zásadité. Regulace pH půdy může tedy ovlivnit nejen živinový příjem rostlin, ale také přenos rizikových prvků do rostlin. V případech vysokého obsahu kadmia - Cd v půdě je nutné věnovat zvýšenou pozornost hodnotě pH. V lesních půdách s kyselou reakcí dochází k mobilizaci hliníku - Al, který může být toxický pro růst rostlin (blokuje příjem Fosforu - P).

Průměrná hodnota pH zemědělských půd ve Středočeském kraji je 6,4. Podíl půd je 20,51 % u kyselé reakce do pH 5,5, 19,29 % u alkalické reakce s pH nad 7,2 (Sáňka et al. 2018).

Měrná elektrická vodivost

Lze označit také pojmem „konduktivita“ neboli vodivost vodního výluhu. Charakterizuje míru zatížení půd solemi, která je ovlivněna ekologickými podmínkami stanovišť a hnojením (Sáňka et al. 2004). Ze zemědělského hlediska se pojmem salinizace označuje chemická degradace půdy. K této degradaci dochází obzvláště v okolí přirozených zdrojů solí a v suchých oblastech, kde výpar převažuje nad úhrnem srážek. V takových případech převažuje vztlínání nad vsakováním. Výsledkem je hromadění solí v půdním horizontu a v důsledku toho i zasolování (salinizaci) půdy. Zasolení může být způsobeno různými druhy solí, jako jsou chloridové soli (např. NaCl, MgCl₂, CaCl₂), síranové soli (např. Na₂SO₄), uhličitánové soli (např. Na₂CO₃) a jejich kombinace. K určení salinity půdy se používá měření vodivosti vodního výluhu a salinita se vyjadřuje jako měrná elektrická vodivost v S/m (Pokorný, Šarapatka, Hejátková, 2007; Litschmann, 2010).

Elektrická vodivost půdy je hodnota, která se dá dobře měřit v terénu a odráží vztah mezi obsahem jílu, kationtovou výměnnou kapacitou a obsahem organické hmoty. Salinita půdy je silně závislá na elektrické vodivosti, jak je znázorněno v tabulce č.2. Pro posouzení zasolení půdy, se lze řídit podílem solí v suchém odparku a koncentrací solí ve vodním výluhu (Sáňka et al. 2004).

Tabulka 2: Základní hodnocení měrné elektrické vodivosti EC (Gardner et al. 1999).

skupina podle USDA	hodnocení	EC _{SE} (dS/m)	Celková koncentrace soli v %	Reakce plodin
0	nezasolené	0 – 2	<0.15	Dopady salinity jsou zanedbatelné s výjimkou nejvíce citlivých rostlin
1	slabě zasolené	4 – 8	0.15 – 0.35	Úrodnost většiny plodin je omezena
2	středně zasolené	8 – 15	0.35 – 0.65	Dostatečně plodí jen odolné rostliny
3	silně zasolené	>15	>0.65	Dostatečně plodí jen velmi odolné rostliny

3.1.3 Biologické vlastnosti

Obsah organických látek v půdách se obvykle pohybuje v rozmezí mezi 1 a 6 % z celkové hmotnosti půdy, přičemž většinu z toho tvoří mrtvá organická hmota. Živá složka organických látek tvoří pouze asi 15 % celkové organické hmoty v půdě, přičemž více než polovinu z toho tvoří kořeny rostlin a zbytek jsou půdní organismy. Půdní organismy se vyskytují v půdě nerovnoměrně a jejich počet se může pohybovat od několika milionů do stovky miliard jedinců na 1 m² v závislosti na skupině organismů a půdních podmínkách. Nejvíce organismů se obvykle nachází v horní vrstvě půdy do hloubky 10-30 cm, kde se nachází asi 75-90 % veškeré biomasy organismů v půdě (Sáňka et al. 2018).

3.2 Pšenice jarní

Podle botanické charakteristiky patří pšenice do čeledi rostlin lipnicovitých, latinským názvem *Poaceae* (trav *Graminae*) rodu *Triticum*. Rostlina je samosprašná, tudíž má vyrovnané vlastnosti a odrůdové znaky (Sobotka, 1958).

Jarní pšenice má podobné požadavky na půdu a klima jako pšenice ozimá, ale na vlhkých a úrodných půdách může být výnosnější než pšenice ozimá, zejména pokud je pšenice ozimá pěstována po pozdě sklizených předplodinách nebo při chybějící péči v podzimní agrotechnice. V teplejších oblastech je naopak pšenice ozimá výnosnější. Jarní pšenice je méně náchylná k chorobám a lze ji použít jako náhradní plodinu po pšenici ozimé. Kromě toho se často seje po vyzimované pšenici ozimé. Hlavní stéblo má největší podíl na tvorbě výnosu, méně významné jsou odnože. Pro tvorbu výnosových prvků je klíčový průběh počasí v době intenzivního růstu, tvorby klasů a zrna. Chladnější počasí a dešťové přehánky podporují vyšší produktivitu klasů, zatímco teplo a sucho redukuje produktivitu klasů (Zimolka et al. 2005).

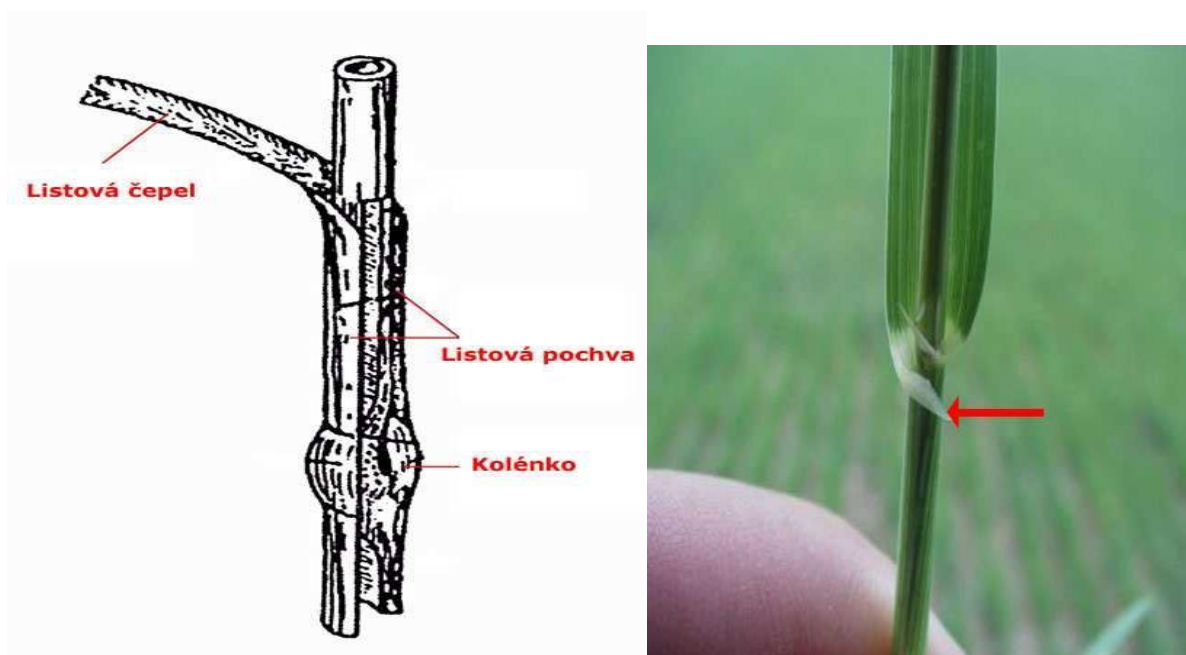
3.2.1 Morfologický popis

Vegetativní orgány (klíčení, vzcházení, odnožování)

Chráněný zárodek oplodím a osemením se nachází na hřbetní straně obilky, kde štítkem přiléhá k endospermu. Vegetační vrchol s listy se nachází na aplikální straně, naopak hypokotyl a základy kořínků jsou na opačné straně. První internodium, jinak zvané mezokotyl se vytváří mezi bází koleptile a hypokotylem. V zárodku vyrůstá 3 - 5 kořínků, z nichž prostřední označujeme pojmem radícula, je základem primárního kořínku. Koleptila kryje vegetační (vzrostlý) vrchol a koleorhyza (čepička) chrání radículus.

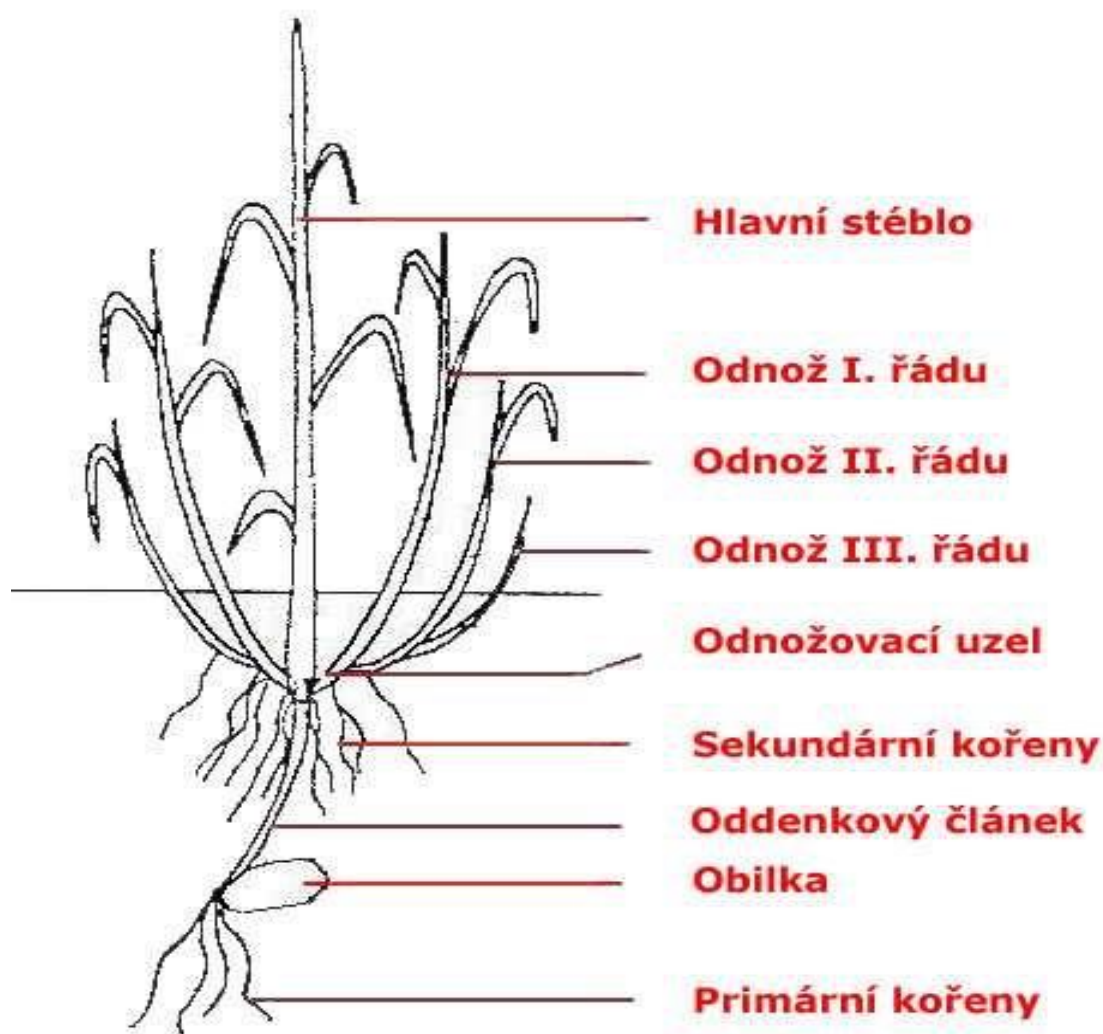
Primární kořínek se vytváří při klíčení obilky ve chvíli, kdy pronikne radícula, krytá koleorhizou oplodím (perikarpem). Zároveň se vyvíjí adventní kořeny neboli vedlejší podle svého umístění (uložené vedle radículus v embryu). Ostatní vedlejší kořeny vyrůstají z odnožovacího uzlu nebo nadzemního kolénka. Vlivem slunečního záření dojde k pozastavení růstu, při výskytu koleoptile nad půdním povrchem, opačně dosáhne rostlina intenzivního růstu prvního zeleného listu. Ze spodní báze vzrostlého vrcholu se následně tvoří další listy. Při vytvoření prvních listů se zakládá odnožovací uzel pod povrchem půdy. V horní části se nachází vzrostlý vrchol, který je základem dalšího klasu, místem tvorby listů a v úžlabí budoucích listů. Každá z později vytvořených odnoží tvoří další kořeny, které vyrůstají ze sekundárního meristému. Tyto kořeny jsou nazývány sekundární, adventivní nebo korunkové a představují hlavní podíl svazčitého kořenového systému pšenice. Celé schéma kořenového systému je zobrazené na obrázku č.3.

Pšenice má listy s pevným spojením k rostlině, které jsou složeny z čepele a pochvy. Na místě přechodu pochvy a čepele se nachází krátký jazýček a na jeho stranách jsou malé ouška viz obrázek č.2., která mohou být pokryta řídkými chloupky nebo jsou lysá. U prvních a posledních listů jsou ouška často nedokonale vyvinutá nebo zaschlá, takže se sledují až od druhého listu shora (Zimolka et al. 2005).



Obrázek 1: Stavba stébla obilovin (Zdroj: Mendelu) a 2: Ouško listu u obilovin (Zdroj: Mendelu)

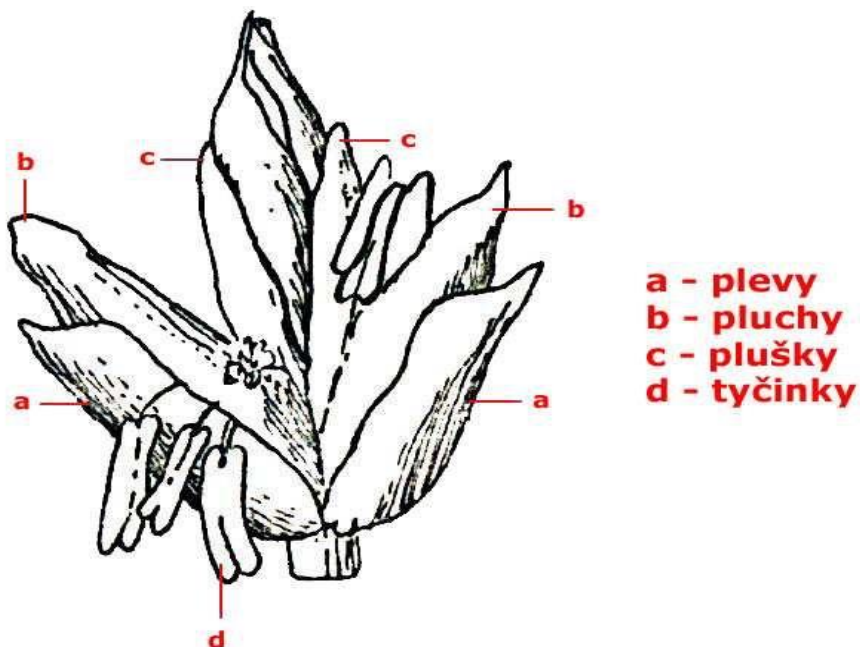
Objevení vzrostlého stébła znamená, že rostlina, přechází z fáze růstu do fáze reprodukce. V této fázi se na vrcholu stonku tvoří květní lůžka, v důsledku intenzivního buněčného dělení v subapikálním meristému, způsobující samotnýrůst vzhůru. Zároveň se právě vytvořené listy začínají prodlužovat. Jakmile se objeví první kolénko (obrázek č.1.), znamená to, že začíná fáze sloupkování. Stébła rostliny se směrem od báze k vrcholu (klasu) zužují a jsou uvnitř prázdná (Hamouz et al. 1993). Obvykle se skládají z pěti oddělených článků, které jsou nazývány internodia a jsou odděleny kolénky. Nejkratší internodium se nachází u základny stonku a nejdelší je umístěn pod klasem. Listy rostou z kolének a jejich pochvy se vinou kolem stonku, to mu pomáhá se částečně zpevnit. Při tvorbě stébła se vytváří mechanismus, který pomáhá rostlině odolávat proti poléhání. Kolénka reagují na gravitaci, takže pokud rostlina při poléhání nezemře, stéblo se může částečně vzpřímit díky pokračujícímu růstu. To vše přispívá k celkové stabilitě rostliny (Zimolka et al. 2005).



Obrázek 2: Schéma kořenů a podzemních orgánů obilovin (Zdroj: Mendelu)

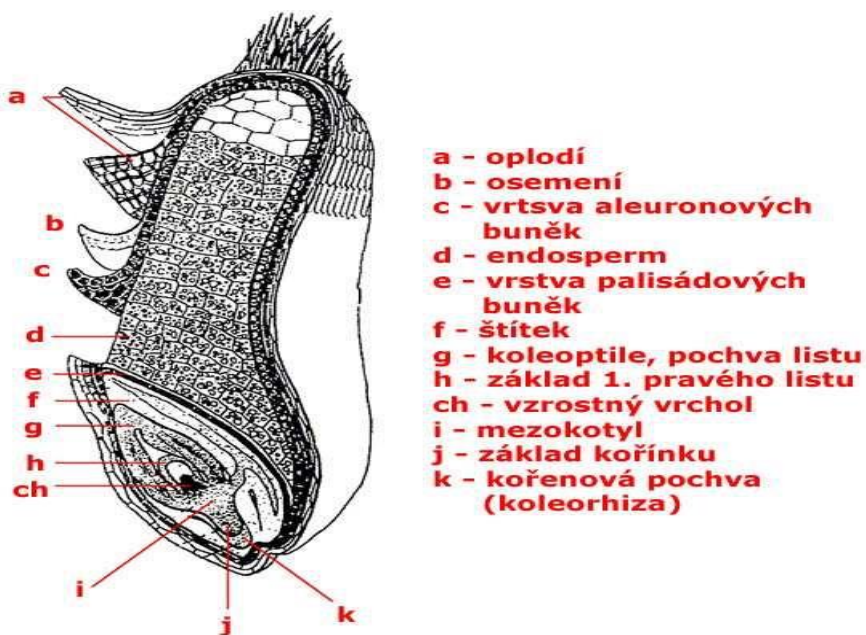
Generativní orgány (sloupkování, metání, kvetení, zrání)

Pšeničné květenství je složené z klasu, obsahujícího větveno a na něm přisedají klásky. Každý klásek má několik květů obalených pluchami, které obsahují pestíky a tyčinky na obrázku č.4. (Zimolka et al. 2005).



Obrázek 3: Klásky na větenu klasu pšenice (Zdroj: Mendelu)

Když se květ otevře, lodikuly umístěné na semeníku ho otevrou pro opylení. Plodem je obilka, která se skládá z oplodí a osemení, endospermu (jádra) a embrya (zárodku). Endosperm obsahuje škrobová zrna různých velikostí, soustředěně vrstevnatá a tvoří většinu objemu obilky (Zimolka et al. 2005). Stavba obilky je na níže uvedeném obrázku č.5.



Obrázek 4: Stavba obilky pšenice (Zdroj: Mendelu)

3.2.2 Růst a vývoj

Pšenice **klíčí a vzchází** za určitých podmínek. Klíčení začíná při teplotě 3-4 °C, ale optimální vlhkost (60-70 % polní vodní kapacity) a teplota 14-18 °C zajišťují rovnoměrné klíčení. Zrna začínají klíčit poté, co nabobtnají. Nejprve rostou kořínky a poté stéblový výhonek.

Vzcházení začíná, když koleoptile prorazí obal a první list se objevuje. Rychlost vzcházení závisí na teplotě, množství vody v půdě, struktuře půdy, termínu a kvalitě setí. První rostlinky se objevují obvykle 7-10 dní po setí.

Odnožování nastává několik dní po vzcházení, když se z podzemních stéblových kolének tvoří odnože. Délka období od vzcházení do odnožování závisí na různých faktorech. Pokud je podzim suchý a setí opožděné, může se odnožování přesunout až do jara.

Sloupkování začíná na konci fáze odnožování, kdy se uvnitř listové pochvy hlavního stébela objevují stéblová kolénka. Délka období od počátku vegetace do sloupkování závisí na různých faktorech.

Metání je fáze, kdy se v pochvách horních listů objevují květenství. Formování klasu závisí na mnoha faktorech a může se lišit v různých ročnících.

Kvetení může následovat hned po metání. Pšenice se opyluje sama, ale za příznivých podmínek může dojít i k opylení cizím pylem. Kvetení trvá 24 hodin a je intenzivnější ve dne než v noci. Každá třída rostlin kvete po dobu 3-5 dní, ale celý porost kvete po dobu 6-9 dní. Délka kvetení závisí na typu rostliny a počasí v té době.

Dozrávání zrna nastává po opálení květů a oplodnění vaječné buňky v semeníku. Během tohoto období se růst stonků zastaví a živiny z listů a stonků proudí do vznikajících zrn. Zrna dosahují mléčné zralosti během 12-16 dní a získávají konečnou podobu a délku. Poté následuje období nalévání zrna, kdy se zrna zvětšují a nabývají svou typickou barvu. Obsah vody v zrně se snižuje z počátečních 70-65 % na 42-38 % na konci nalévání. Počasí během dozrávání zrna má velký vliv na přesun plastických látek do zrna a tím i na hmotnost tisíce zrn. Mírně chladné a vlhké počasí zlepšuje proces nalévání zrna a má pozitivní vliv na hmotnost zrna.

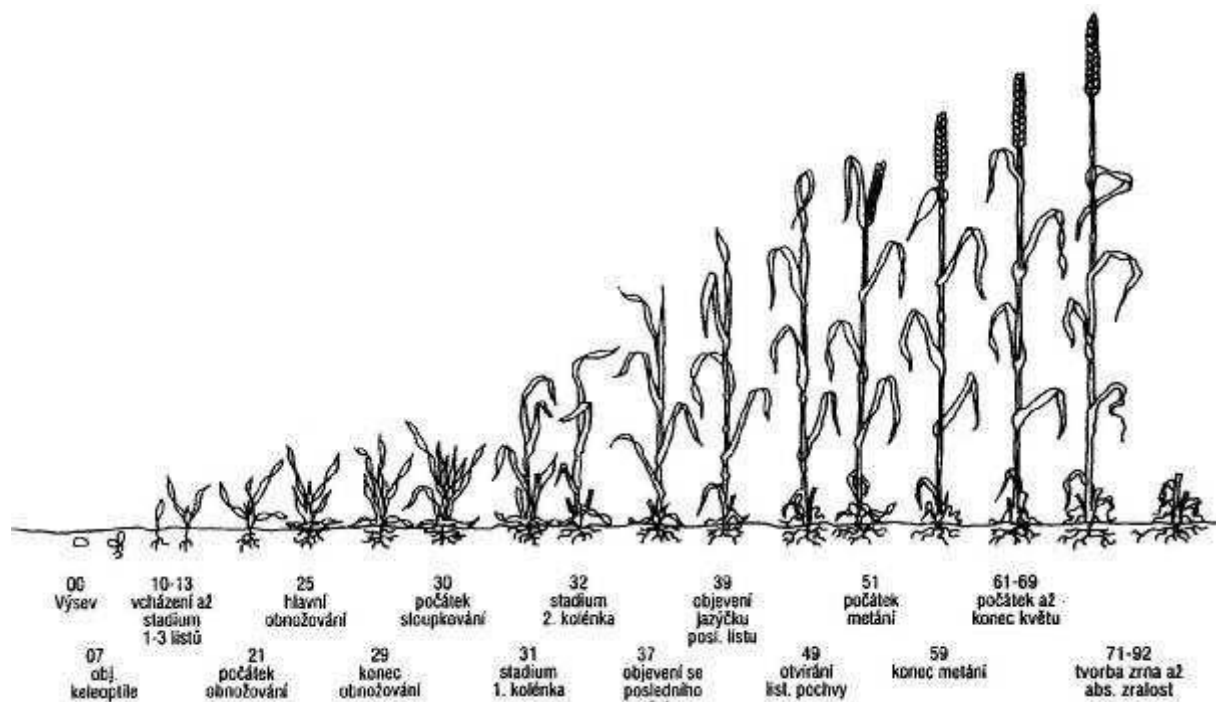
Vosková zralost nastává několik dní po mléčné zralosti a je charakterizována žloutnutím zrna. Obsah vody klesá na 40-35 % a následuje žlutá zralost, kdy stonky a listy rostlin žloutnou a odumírají. Zrna dále vysychají a následuje plná zralost, kdy obsah vody v zrně klesne na 20-16 %.

Formování, nalévání a dozrávání zrna trvá asi 30 dní koncem června a v červenci za příznivých vlhkostních podmínek a průběhu počasí.

Nástup jednotlivých fází zralosti závisí nejen na oblasti pěstování pšenice, ale také na počasí, agrotechnice, výživě a odrůdě (Špaldon et al. 1982).

3.2.3 Fenologická fáze

V praxi se běžně sledování růstu a vývoje rostlin zabývá obor fenologie. Zkoumání jednotlivých fází u pšenice zahrnuje sledování fází růstu jako je: vzcházení, odnožování, sloupkování, metání, kvetení a zrání. Tyto fáze jsou charakterizovány významnými morfologickými změnami a jsou uvedeny v různých stupnicích, jako je makrofenologická stupnice dle Feekese (12 fází), mikrofenologická stupnice podle Kupermanové (XII etap) a mezinárodní stupnice dle Zadokse s desetinným kódem – DC na obrázku č.6. V současné době se nejvíce využívá právě zmiňovaná stupnice dle Zadokse, protože vyhovuje registraci moderní výpočetní techniky (Foltýn et al. 1970; Zimolka et al. 2005).



Obrázek 5: Mezinárodní stupnice fází růstu pro obiloviny s desetinným kódem - DC dle Zadokse (Richter, 2004)

3.2.4 Podmínky pěstování pšenice

Mezi nejnáročnější obilniny na pěstování patří pšenice setá, která je ideální pro teplé a suché oblasti. V ekologickém zemědělství je pšenice reaktivní na příznivé podmínky prostředí a vykazuje vysoký výnos ve srovnání s ostatními obilnými druhy. Kvalita a množství výnosu jsou ovlivněny počasím během intenzivního růstu, tvorby klasu a zrna. Chladnější počasí s dešťovými přeháňkami v těchto fázích podporuje tvorbu produktivních prvků (Konvalina a Moudrý, 2008). Pšenice ozimá se pěstuje ve všech výrobních oblastech, ale výnosy zrna a kvalita jsou závislé na podmínkách stanoviště a použité agrotechnice. Teplotní nároky se liší podle fáze růstu pšenice, ale pro přežití rostlin je důležité teplotní přezimování porostu. Rostliny jsou geneticky odolné vůči nízkým teplotám, ale momentální mrazuvzdornost porostu závisí na dalších faktorech. Chladnější a vlhčí počasí v době tvorby odnoží a na začátku sloupkování zlepšuje tvorbu klasů a zrn. Vysoké teploty a nedostatek vody během dozrávání mohou ovlivnit kvalitu potravinářské pšenice. Pšenice ozimá je náročná na půdní podmínky a živiny, preferuje úrodné půdy s neutrální reakcí, ale má slabě rozvinutý kořenový systém a je náročná na výživu a agrotechnická opatření (Diviš et al. 2010).

3.2.5 Historie pěstování pšenice

Většina pšenice pěstované v České republice je ozimá a tvoří až 94 % produkce obilovin. V průběhu druhé poloviny 19. století došlo k mnoha změnám v způsobu pěstování plodin, včetně přechodu od úhorového hospodaření k trojpolnímu systému. Tato změna vedla k využití všech dostupných polí a výraznému zvýšení výnosů pomocí nových agrotechnických postupů, jako je zahrnutí podmiťáčů do přípravy půdy. Kvalita půdy a výnos byly dále ovlivněny zavedením nových plodin, zejména předplodin jako jsou okopaniny a jeteloviny. (Kulovaná, 2001; Kopáčová, 2007).

3.2.6 Současné osevní postupy

Pšenice setá je nejčastěji pěstovanou obilninou, jak na celosvětové úrovni, tak i v České republice. Existují dva základní typy pšenice – ozimá a jarní, které jsou podmíněné geneticky (Hanišová a Horčíčka, 2002). Pšenice má významné postavení mezi zemědělskými plodinami, pěstuje se v zemích jako je Čína, Indie, Spojené státy, Rusko a Francie (Martin, Waldren, Stamp, 2006). Ve světě se v roce 2009 pěstovalo na 225,26 mil. ha, z toho v zemích Evropské unie na 26,67 mil. ha (Janotová a Boudný, 2011). V České republice představuje pšenice nejdůležitější obilniny, s výměrou přes 50% plochy obilnin na 30% orné půdy. Nejčastěji se pěstuje ozimá pšenice, zatímco jarní pšenice se pěstuje jen v menší míře nebo jako náhrada po vymrznutí ozimé pšenice (Poláčeková, 2011).

Jarní pšenice se obvykle seje po sklizni pozdních předplodin (cukrovka, brambory a silážní kukuřice), ale v praxi se často pěstuje po obilninách. V takových případech je doporučeno použít meziploidy jako strnisko. Pokud je ozimá pšenice včas zaorána, je možné jarní pšenici zasít i po ní. Největší vliv na výnos má však správná agrotechnika, včetně volby vhodné předplodiny a přípravy půdy, zejména v horských oblastech a na méně úrodných půdách (Zimolka et al. 2005; Horčíčka, 2002).

3.2.7 Sklizeň pšenice

Sklizeň pšenice probíhá jednofázově v období žní, kdy se k samotné sklizni využívají žací mlátičky. Porosty jsou často heterogenní, proto je potřeba posoudit zralost pole na více částech pole. Pro zachování kvality zrna a minimalizování ztrát je nejlepší vhodnou dobou pro sklizeň období, ve kterém se vlhkost zrna pohybuje kolem 15 %. Důkladné seřízení žací mlátičky pomáhá k předcházení ztrát a mechanickému poškození zrna. Při nastavování stroje je nutné brát v úvahu vlhkost zrna a způsob jeho využití (Zimolka et al. 2005).

3.3 Tvorba výnosu obilnin

Fotosyntéza je základem pro rostlinnou výrobu, při které umožňuje přeměnu slunečního záření na energii pro tvorbu organických sloučenin a vytvoření biomasy. Produkce biomasy rostlinného porostu se nazývá biologický výnos, zatímco hospodářsky využitelná biomasa se označuje jako hospodářský výnos. U obilnin je produkce zrna na ploše považována za hospodářský výnos, protože jsou pěstovány zejména pro výrobu potravin, krmiv a průmyslových produktů (Diviš et al. 2010).

3.3.1 Biologický výnos

Biologický výnos rostlin závisí na množství absorbovaného slunečního záření, účinnosti využití záření pro tvorbu biomasy a schopnosti rostlin distribuovat asimiláty do orgánů (Diviš et al. 2010). Většina biomasy rostlin (v rozmezí 85 až 90 %) je syntetizována v důsledku fotosyntetického procesu. Optimální podmínky pro intenzitu fotosyntézy jsou klíčové pro efektivní pěstování a šlechtění rostlin (Striegl, 1987).

Velikost asimilační plochy, značené LAI, je důležitým faktorem pro tvorbu biomasy a udává množství asimilační plochy na jednotku půdy. U obilnin je běžná hodnota LAI 5-8 $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ a závisí na genetických faktorech a vnějších vlivech, jako jsou podmínky počasí, hustota porostu, doba setí a výživa rostlin.

Pro produkci jedné tuny zrna u obilnin je potřeba 0,8–1,4 metrů čtverečních asimilační plochy rostliny. I když je velikost asimilační plochy důležitá pro tvorbu sušiny, maximální LAI nemusí vést ke maximálnímu výnosu zrna. Pro produkci zrna jsou klíčové asimiláty vytvořené v době plnění obilek, které převážně pocházejí z horní části rostliny. Proto je důležité, aby tyto části rostliny byly velké, zelené co nejdéle, a schopné efektivně využívat sluneční záření. Toho lze dosáhnout pomocí šlechtění, výživy, a správného postavení listů a rychlosti fotosyntézy.

Tvorba asimilačního aparátu a tvorba sušiny biomasy jsou silně propojeny a mají podobný průběh v první části růstu rostlin. V druhé části růstu stonků a listy postupně vysychají, to vede k poklesu hodnot LAI. Nicméně, díky plnění obilek stále narůstá celková sušina biomasy (W) a běžné maximální hodnoty před sklizní jsou u obilnin 0,8–1,5 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$. Jarní odrůdy mají rychlý nárůst sušiny biomasy, zvláště ty ranější, s denním přírůstkem až 400 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ za den. Starší odrůdy mají větší počáteční nárůst sušiny, ale v době tvorby klasu a zrn ukládají méně asimilátů a vytvářejí hodně slámy a málo zrna. Šlechtěním se změnil habitus rostlin, dynamika tvorby sušiny a distribuce asimilátů do obilek, to má za následek vyšší podíl zrna na celkové nadzemní biomase obilnin. To je vyjádřeno sklizňovým indexem (HI), který je u současných odrůd 40–50 %. Před 150 lety vytvářely obilniny 2,5krát více slámy než zrna, ale dnes se poměr mezi zrnem a slámou téměř vyrovnal (Diviš et al. 2010).

3.3.2 Hospodářský výnos

Hospodářský výnos u obilnin je definován jako množství zrna, které lze získat z jednotky plochy pole a je považován za klíčový faktor v hospodářském zhodnocení obilných plodin (Diviš et al. 2010).

Část produkce rostlin, kterou využíváme pro různé účely v lidské činnosti, jako je například výživa, krmení zvířat, průmyslové zpracování nebo výroba energie je nazývána hospodářským výnosem. Poměr mezi biologickým a hospodářským výnosem se liší v závislosti na tom, jak velkou část biomasy rostlin využíváme pro hospodářské účely (Petr a Húska, 1997). Tento výnos se skládá ze tří základních výnosových prvků:

1. Počet plodných stébel
2. Počet zrn v klasu
3. Hmotnost obilek

1) Počet plodných stébel

První výnosový prvek při pěstování obilí je počet plodných stébel, který závisí na počtu rostlin na ploše a na schopnosti rostlin vytvářet plodné odnože. Počet rostlin na jednotce plochy (m^2 , ha) závisí na množství semen vysazených na danou plochu. Doporučené množství semen se uvádí v počtu semen na jednotku plochy nebo v hmotnosti na hektar. Skutečný výsevek závisí na kvalitě osiva a podmínkách setí, bývá často o 10-15 % vyšší než doporučené množství. Počet rostlin na dané ploše v počátku vegetace závisí na kvalitě vysévaných semen a na množství semen, které vyklíčí a začnou růst. Vzcházivost semen závisí na kvalitě osiva, okolních podmínkách a vlivu různých faktorů jako je vlhkost, teplota půdy, dostupnost živin, předchozí pěstované plodiny, množství plevelů a škůdců v půdě.

Na počátku vegetace je běžné, že počet rostlin v porostu je o 10-15 % nižší než počet zasetych semen. Za nepříznivých podmínek může být počet rostlin snížen o 40 % a více. Hustota porostu ozimých obilnin se posuzuje před začátkem období zimy. Počet rostlin se ve vegetaci neustále snižuje vlivem různých faktorů, jako jsou škůdci, konkurenční plevely, choroby, výkyvy v počasí, mechanické nebo chemické poškození způsobené při ošetřování rostlin.

Obilniny radíme mezi trávy, které mají schopnost odnožování, tedy vytváří pod povrchem půdy odnožovací uzel s úžlabními pupeny. Během vegetační fáze se z odnožovacích uzlů vytvářejí vedlejší stébla nasávané jako odnože. Množství odnoží ovlivňuje výběr odrůdy a podmínky okolního prostředí (světlo, teplo, vlhkost, hustota porostu). Obvykle se vytvoří 5-7 odnoží na jednu rostlinu, ale to se může lišit až od 0 do 15. Během odnožování dochází k redukci počtu odnoží, v závislosti na dostupnosti vody, živin, chorobách, škůdcích a konkurenci mezi rostlinami. Odnože vytvoří později, mají tendenci zaostávat, a potom nemusí být plodné. Počet plodných odnoží se vyjadřuje koeficientem produktivního odnožení a závisí na počtu klasů a rostlin na jednotku plochy. Rostliny obilnin obvykle mají jednu nebo dvě plodné odnože vedle hlavního stébla (Diviš et al. 2010).

2) Počet zrn v klasu

Délka klasu nebo laty, počet klásků v květenství a počet plodných kvítků v jednom klásku jsou faktory, které ovlivňují počet zrn v klasu. Nicméně, skutečný výsledek závisí na genetických charakteristikách odrůdy, procesu opylení květů, povětrnostních podmínkách během kvetení obilí a také na výskytu a závažnosti chorob a škůdců. Celková úroda je tedy důsledkem komplexní interakce mezi růstem a vývojem rostlin (Striegl, 1987).

Genetické informace a vnější podmínky prostředí společně ovlivňují růst a vývoj generativních orgánů (klasu a laty). V průběhu let se druhy adaptovaly na specifické klimatické podmínky, to vedlo ke genetické fixaci požadavků na určité vnější faktory, především teplotu a délku dne. Požadavky na nízké teploty v počátcích růstu vegetace vykazují odrůdy ozimých obilnin. Nároky na klimatické podmínky zejména teplotu pro přechod rostlin z vegetativní fáze do generativní se označuje jako „jarovizace“. Rozsah jarovizačních teplot a délka jarovizace se liší u podle odrůd, ale obecně platí, že čím jsou odrůdy ozimější, tím vyžadují delší jarovizaci a nižší teploty. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, rostliny nevytvářejí generativní orgány a pouze odnožují. Jarní obilniny nemají příliš specifické jarovizační požadavky nebo jsou stimulovány nižšími teplotami.

Přechod obilnin do generativního období závisí na délce dne, která je fylogeneticky daná. 13-14 hodinový den pro vytváření generativních orgánů potřebují obilniny – pšenice, ječmen, žito, oves a další. Naopak obilniny jako jsou proso, rýže, čirok nebo kukuřice vyžadují pro vytvoření laty délku dne 12 hodin, protože při delším dni nevymetají.

Tvorba generativních orgánů probíhá ve vzrostrném vrcholu v několika etapách, kde je počet založených kvítků klíčový pro výnos. Genetika a prostředí ovlivňují počet klásků a kvítků, přičemž delší trvání počátečních etap organogeneze vede ke zvýšení počtu založených kvítků.

Pro přechod do další vývojové fáze je nutná určitá akumulace rostliny na teploty, která může být zpomalená v chladnějším počasí. V důsledku toho se prodlužuje dobu trvání vývojové fáze a zvyšuje se počet vytvořených reprodukčních orgánů. Krátký den také pozitivně ovlivňuje vytváření generativních orgánů. Vývoj těchto orgánů závisí na faktorech jako je vlhkost, výživa, hormony, velikost asimilačního orgánu a konkurence o asimiláty. Kvůli apikální dominanci je hlavní stéblo preferováno při přidělování asimilátů a další odnože jsou méně zásobeny. V latě jsou nejvíce zásobovány vrcholové a obvodové klásky, zatímco distribuce asimilátů ke středu laty slábne. V klasu, zejména u pšenice, se preferuje centrální dominance a nejvíce živin proudí směrem k vrcholu a středu klasu, zatímco báze a spodní kvítky jsou méně zásobené.

Obilné klasy mají obvykle 15-40 klásků, zatímco u ovsa může být až více než 50. Počet kvítků v každém klasu je určen geneticky a je odlišný pro různé druhy obilovin (např. pšenice má 3-5, ječmen a žito mají 2, a oves může mít až 2-7 kvítků v každém klasu).

Každý klas má potenciál produkovat 100-150 zrn, ale ve skutečnosti se sklízí jen 15-40 zrn v každém klasu. To je způsobeno vysokou citlivostí generativních orgánů na podmínky v prostředí. Během vývoje dochází k redukci počtu zárodků kvítků, protože některé kvítky nedokončí svůj vývoj a neprodukují obilky, zatímco jiné nejsou opyleny nebo vytvářejí nevyvinutá zrna. Celková redukce počtu zárodků zrn může být až 20-60 % a je způsobena vysokými teplotami, nedostatkem vláhy a živin (Diviš et al. 2010).

3) Hmotnost obilek

Proces vývoje obilek trvá 35–45 dní a je ovlivněn genetikou a prostředím. Po opylení se rychle diferencují buňky obilky a vytvářejí se úložné prostory pro zásobní látky. Během fáze rychlého růstu obilky se nejvíce zvětšuje její objem a hmotnost, díky asimilátům uloženým v horním internodiu a nově vytvářeným v asimilačním aparátu. Proces ukládání asimilátů je rychlejší a objemnější u nových, výkonných odrůd. Hmotnost obilek se zvyšuje při delším období plnění a je ovlivněna vysokými teplotami, chorobami, nedostatkem vláhy a živin. Hmotnost obilek se nejčastěji udává jako HTZ (hmotnost tisíce zrn) a pohybuje se u obilovin mezi 30 až 50 gramy. Označení HTZ se používá jako společné označení pro zrniny – obilniny a luskoviny (Striega, 1987; Diviš et al. 2010).

Hospodářský výnos zrna (HTZ) v t. ha⁻¹ lze vyjádřit podle Striega (1987) pomocí vztahu:

$$V = \frac{K \cdot Z \cdot A}{100000}$$

K – počet klasů na 1 m²

Z – průměrný počet zrn v klasu

A – hmotnost 1000 zrn v gramech

Dynamika tvorby výnosu

Rostliny obilovin procházejí vývojem, který se skládá z vegetativního a generativního období. Během vegetativní fáze rostlina roste a zakládá plodná stébla, která přecházejí do generativní fáze, kdy se vytváří klasy a zrna v klasu. Během této fáze rostlina ztrácí schopnost odnožovat, slabší odnože se redukují a konstituují se skutečný počet klasů. Po opylení dochází k redukci kvítků a utváření hmotnosti tisíce zrn během dozrávání. Každý krok má svoji fázi zakládání, maximální úroveň a redukci (Diviš et al. 2010).

3.3.3 Kompenzační schopnost obilnin při tvorbě výnosu

Závislost na čase při vytváření a snižování výnosových prvků a genetické predispozice obilnin umožňují vzájemné vyrovnání mezi těmito prvky. Toto vyrovnání se nazývá kompenzace, která spočívá v tom, že když jedna vlastnost obilí je silná, druhá může být slabší, a přesto může být dosaženo optimálního výnosu. Například řídké porosty produkují více odnoží a menší počet zrn v klasu, zatímco hustší porosty produkují méně odnoží, ale více zrn v klasu. Obilí má schopnost se regulovat tak, aby dosáhlo optimálního výkonu, ale tato schopnost má své meze. Pěstitel musí usilovat o optimální úroveň každého výnosového prvku od počátku a využívat schopností rostlin jako doplněk k jeho pěstování. Všechny pěstelské praktiky jsou zaměřeny na podporu optimální tvorby výnosových prvků a omezení redukce již vytvořených prvků, přičemž každý obilní druh má své specifické vlastnosti (Diviš et al. 2010).

Genetické vlastnosti různých obilnin mají vliv na to, jak nejlépe zvýšit jejich výnos. Dvouřadý ječmen má fixován počet zrn v klasu a hmotnost tisíce zrn, takže počet plodných stébel na ploše má největší vliv na jeho výnos. Naopak oves má malou schopnost produktivního odnožení a stabilní hmotnost tisíce zrn, takže nejvíce může být výnos ovlivněn počtem zrn

v latě. Situace u žita je podobná jako u ječmene, kde počet zrn v klasu má největší vliv na výnos. U pšenice jsou rozdíly mezi genotypy, a proto některé druhy pšenice mohou zvýšit výnos nejvíce počtem zrn v klasu, zatímco jiné druhy mohou mít větší přínos z produktivního odnožení. Obecně platí, že více odnoživé druhy obilí mají podobné výnosové prvky jako ozimý ječmen, kde jsou proporce mezi všemi výnosovými prvky vyrovnané (Diviš et al. 2010). Zde je přiložena tabulka č.3. pro představu výnosů u různých druhů obilovin.

Tabulka 3: Výnosy hlavních druhů obilovin (Diviš et al. 2010)

druh	Výnos (t.ha ⁻¹)	PPS (ks.m ⁻³)	HTZ (g.khs ⁻¹)	HZ	PZK	PZ (m ⁻²)
Žito	5,68	479	34,9	1,21	34	16,3
Pšenice	6,54	631	43,2	1,08	24	15,1
Ječmen oz.	6,04	594	40,7	1,03	25	14,9
Ječmen j.	5,66	812	43,6	0,74	16	13,0
Oves	5,73	513	32,9	1,13	34	17,4

PPS – počet plodných stébel

HZ – hmotnost zrn v klasu

HTZ – hmotnost tisíce zrn

PZ – počet zrn

PZK – počet zrn v klasu

3.4 Vermikompostování

V současné době se stává oblíbeným způsobem zpracování organického odpadu vermikompostování. Je to specifický proces výroby vermikompostu pomocí hybridních kalifornských žízal *Eisenia andrei*. Tento druh kompostování produkuje materiál s vyšším stupněm rozkladu než běžné domácí kompostování. Jedním z unikátních rysů těchto žízal je schopnost rychle se množit a zdvojnásobit svou biomasu každých 60 dní. Žízaly jsou velmi podobné běžným žízálám, které žijí v našem okolí, ale liší se velikostí a podmínkami pro život. Proces výroby vermikompostu spočívá v produkci velkého množství odpadních materiálů, které jsou následně spotřebovány žízalami a přeměněny na kvalitní hnojivo. Nicméně, tento proces má své vlastní podmínky a limity, jako je optimální teplota, vlhkost substrátu a hodnota pH. Pokud jsou tyto podmínky narušeny, mohou žízaly uhynout. Důležité je také vybírat vhodné krmivo pro žízaly, neboť jsou velmi citlivé na pesticidy a velké množství čpavku (Munroe, 2007).

3.4.1 Vermikompost a jeho využití

Během procesu vermikompostování vzniká cenný produkt ve formě vermikompostu, který je vysoce ceněnou surovinou, kvůli svému složení a vlastnostem. Metabolické procesy žízal při trávení potravy vytvářejí výkaly, které jsou základní složkou vermikompostu a obohacují produkt o užitečné látky (např. huminové kyseliny) v porovnání s klasickým kompostováním. Výsledkem je nižší poměr C:N a přeměna látek na formy, které jsou pro rostliny snadno dostupné, tím se zvyšuje příjem dusíku, draslíku, hořčíku a dalších živin.

Vermikompost obsahuje také velké množství růstových látek a fytohormonů, které podporují růst rostlin a tvorbu kořenových systémů, obohacují půdu o užitečné mikroorganismy a bakterie a zvyšují účinnost květu o více než 50 % oproti klasickému kompostu. Vermikompost se využívá v různých oblastech zemědělství a zahrádkářství, jako jsou pěstitelské a rekultivační substráty, hnojivo pro chudé zeminy, keře, stromy, pokojové a balkonové květiny a jako přídatek pro urychlení kompostování. Vermikompost nabízí velmi široké spektrum využití (Vermicomposting, 2013).

3.4.2 Vermikompostování čistírenských kalů

Kaly obsahují následující živiny prospěšné pro hnojení: organickou hmotu, prvky vhodné k hnojení (dusík, draslík, fosfor) a mikroprvky jak jsou železo, mangan, měď, molybden (Edwards, Arancon, Sherman, 2010). potřebné pro rostliny, které mohou pomoci zvýšit výnosy plodin a zlepšit kvalitu půdy (Tu et al. 2012; Latore et al. 2014; Bouriou et al. 2014). Obsahuje také toxické kovy, perzistentní organické sloučeniny, patogenní bakterie a vajíčka parazitů, které mohou znečišťovat půdu a podzemní vody (Dume, 2022).

Vermikompostování čistírenských kalů žížalami *Eisenia fetida* je ekologická metoda nakládání s ČK, ve které žížaly rozkládají organickou hmotu. Žížaly mimo jiné upravují ČK biologicky, fyzikálně i chemicky, snižují poměr C:N, zvyšují obsah N a P, snižují patogenní zátěž různých odpadů, získávají kvalitní hnojivo pro půdu (Li, Yang, Huang, 2011). Patogenní typy agens, bakterie salmonely, viry a parazitičtí červi *Ascaris spp.* V neposlední řadě dochází k eliminaci nepříjemného zápachu (Dume, 2022).

Žížaly přeměňují, požírají, rozmělnují a tráví organický odpad pomocí mikroflóry ve střevě a mění jej na jemný, zvlhčený vermikompost. V některých organických odpadech mohou být přítomny patogeny (bakterie, viry, houby a paraziti). Tyto patogeny mohou mít při vstupu do půdy, vody nebo vzduchu negativní vliv na zdraví (Yadav, Tare, Ahammed, 2010).

Podle výzkumu Adhikaryho (2012) se při vermikompostování patogeny dostávají do trofického řetězce žížal, čímž se dosáhne rychlé hygienizace odpadu a objem odpadu se sníží o 40-60 %. Žížaly se živí hnojem skotu, prasečím hnojem, houbami, prvky, čerstvým potravinářským odpadem a kaly z papírenského a koželužského průmyslu (Yadav, Tare, Ahammed, 2012). Vermikompostování musí probíhat v prostorách chráněných před deštěm a sluncem (Andersen, 2001; Lalander, Komakech, Vinneras, 2015; Swati a Hait 2018). Nejčastěji používanou žížalou pro vermikompostování je *Eisenia fetida* (Yadav, Tare, Ahammed, 2012).

Jedna tuna vermikompostu (biohumusu) obsahuje 35-40 kg NPK (dusík, fosfor, draslík), tedy kvalitního organického hnojiva. Doporučené množství vermikompostu je: pro hnojení jednoletých plodin (0,2-0,3 kg/m²), 0,5-1,5 kg pro každý strom a vinnou révu a 3,5-5,0 t/ha při hnojení půdy ve sklenících (El Jawaher a Dohaish, 2020).

3.4.3 Aplikace vermikompostu z čistírenského kalu na rostliny

Vermikompostování může mít mnoho pozitivních účinků na rostliny, které se projevují okamžitě i dlouhodobě. Pokud jde o minerální výživu, může vermikompost působit jako zdroj minerálních živin a aplikace vermikompostu může stimulovat příjem některých živin. Koncentrace anorganických živin ve zralých vermikompostových preparátech do značné míry závisí na počátečním obsahu minerálních látek ve vstupní surovině a také na intenzitě mineralizace v důsledku fází před kompostováním a vermikompostováním (Domínguez, 2004; Pattnaik a Reddy, 2010). V případě optimálního zásobení minerálními látkami se u rostlin objevuje stimulační účinek podobný hormonům. Rovněž případná inhibiční aktivita látek získaných z vermikompostu byla prokázána u klíčení a růstu rostlin (Dume et al. 2022).

Vysoký obsah živin ve vermikompostu dokáže stimulovat růst kukuřice, čínské zeli, hlávkového salátu, špenátu a mnoha dalších (Peyvast et al 2008; Lazcano et al. 2009; Wang et al. 2010). U rostlin podporuje růst květů chryzantém, měsíčku lékařského, petúnie a stimuluje vývoj eukalyptu, akátu nebo borovic (Lazcano et Domínguez, 2011). Vermikompost obsahuje makroživiny a mikroživiny, které zlepšují biologickou funkci půdy, ale i rostlin (povrch listů, velikost a větvení kořenů).

Zapravením vermikompostu do půdy lze dosáhnout zlepšení půdní pórovitosti nebo růstu rostlin. Využití vermikompostu jako hnojiva má výhody jako je snížení zamoření rostlin, které bylo způsobeno patogeny, zúrodnění půdy a zlepšení půdní struktury (Dume et al. 2022).

Ve studii Kizilkaya et al. (2012) byl zaznamenán pozitivní efekt přidávání vermikompostu z organického odpadu, směsi čistírenských kalů, slupek od lískových ořechů a kravského hnoje na parametry půdy a rostlin. Půdy obohacené o důkladně promíchanou směs vermikompostu vykazovaly ve skleníkovém pokusu vyšší výnos zrna a slámy pšenice jarní (*Triticum aestivum*) než organické odpady s čistírenskými kaly, které nebyly aplikovány ve formě vermikompostu.

Mezi nepřímé příznivé účinky aplikace vermikompostu na rostliny patří dodání organické hmoty, ovlivnění půdních mikrobiálních společenstev vedoucích k akumulaci látek podporujících růst rostlin, zvýšení mineralizační aktivity zároveň s akumulací anorganických živin. Kromě toho může vermikompost pozitivně ovlivňovat fyzikální vlastnosti půdy, včetně agregace, pórovitosti a schopnosti zadržování vody (Ferrerias et al. 2006).

Většina dosavadních studií se zaměřovala na obecné účinky vermikompostu na rostliny a neprováděla rozlišení mezi jednotlivými přímými účinky. Experimentální uspořádání používaná ve výzkumech neposkytují dostatečné podmínky pro rozlišení jednotlivých faktorů ovlivňujících růst rostlin (Ali et al. 2007).

Cílem studie Karlsonse et al. (2016) bylo fytoцентриckým přístupem zjistit, jak různé dávky aplikovaného vermikompostu mohou ovlivnit růst a minerální výživu ozimého žita ve srovnání s dvěma výchozími úrovněmi dostupnosti minerálních živin. Především se snažili o rozlišení dvou přímých účinků na rostliny a to, aktivity podporující růst a účinků na minerální výživu. Vstupní materiál tvořil vermikompost z čistírenských kalů vytvořený za pomoci *Eisenia fetida*. Z čistírenského kalu kompostovaného po dobu 1 roku s přidáním listím a pilinami jako zdrojem uhlíku byl vyroben vermikompost v laboratoři dle standardní metody. Zjištěné výsledky v této práci vypovídaly o lepším růstu pěstovaného žita ozimého v podmínkách s přidáním vermikompostem než bez něj.

3.5 Odpadní papír

3.5.1 Rozdělení papírových obalů

Papírové obaly se dají rozdělit do tří hlavních kategorií podle jejich plošné hmotnosti: papír, karton a lepenka. Papír je tenká vrstva vláken s hmotností do 150 g/m^2 . Karton je tvrdší než papír a skládá se obvykle z více vrstev papíru s hmotností přibližně od 150 g/m^2 do 250 g/m^2 . Lepenka je ještě silnější než karton a skládá se z více vrstev papíru s hmotností přibližně od 250 g/m^2 do 4000 g/m^2 . Existují hladké i vlnité varianty lepenky. Hladká lepenka se často používá pro knihařské vazby, krabice na obuv a jiné krabice s víkem. Vlnitá lepenka se využívá jako hlavní obal při přepravě zboží, protože lépe odolává nárazům a ochrání zboží před poškozením. Kromě obalů se vlnitá lepenka používá i pro výrobu stojanů a reklamních poutačů (Kocman, 2011)

3.5.2 Nasávaná kartonáž

Nasávaná kartonáž je materiál vyráběný z odpadního papíru a vody, tudíž je 100% biologicky rozložitelná. V procesu výroby jsou papírová vlákna a voda recyklovány a používány opakovaně, to vede k téměř nulové produkci odpadu. Díky tomuto procesu se také zvyšuje návratnost spotřebovaného papíru. Vlákna používaná pro výrobu nasávané kartonáže mohou pocházet z různých zdrojů, jako jsou recyklovaná vlákna nebo odpady zemědělské biomasy, jako jsou řepkové slámy, rýžové slámy, konopná vlákna a bambusová vlákna. Při výrobě se nepoužívají žádné toxické látky, které zajišťují bezpečnost pro lidi i pro přírodu (Zhang et al. 2022).

Proces výroby nasávané kartonáže je poměrně jednoduchý. Sběrové papíry jsou rozvlákňovány vodou a rozmělněná suspenze je skladována ve skladovacích nádržích. Poté se posílá do formovače a formované výrobky se dále vysouší ve vysokoteplotní sušárně nebo přímým lisováním za tepla. Kvalita a cena výrobků z nasávané kartonáže jsou ovlivněny různými faktory, jako jsou zdroje vláken, formovací procesy a další potřebné úpravy. Nejvýhodnější způsob je zpracování prvotních vláken a recyklovaných vláken zároveň během výroby (Cho, Ryu, Song, 2009; Zhang et al. 2022).

Výhody výrobků z nasávané kartonáže jsou velká pevnost, pružnost a tvarová variabilita při malé hmotnosti (Novopol, 2022). Nasávaná kartonáž je velmi univerzální a tvarovatelná, co jí umožňuje nabídnout nekonečné možnosti designu (Martínez, Toso, Morabito, 2016). Tento materiál se používá jako ideální obalový materiál, protože dokáže tlumit nárazy a vibrace (Obal centrum, 2022). Obalové materiály z nasávané kartonáže jsou využívány jako ochranné obaly, výdejní podnosy, nosiče nápojů, proložky od vajec, misky na ovoce a průmyslové obaly (Cho, Ryu, Song, 2009).

Existuje několik způsobů, jak se zbavit nasávané kartonáže, avšak nejvíce praktickými jsou dvě možnosti: recyklace a skládkování. Kromě toho jsou k dispozici další metody, jako například kompostování a spalování. Ve srovnání s jinými druhy obalových odpadů mají materiály z nasávané kartonáže výrazně menší negativní dopady na životní prostředí. V současné době je nasávaná kartonáž stále velmi populární na trhu, protože je obnovitelná, udržitelná a biologicky rozložitelná. To ji činí potenciální alternativou k jednorázovým plastovým obalům (Zhang et al. 2022).

4 Metodika

Pro účely naplnění nebo vyvrácení zadaných cílů a hypotéz byl stanoven metodologický postup, který zahrnoval v první řadě založení pokusu za účelem pěstování pšenice jarní na orné půdě. Po celou dobu růstu pšenice jarní byla prováděna fenologická pozorování, opakované hnojení a odstraňování plevelů ručním způsobem. V laboratorních prostorech České zemědělské univerzity v Praze se pokračovalo v analýze sklizené úrody pšenice jarní.

4.1 Založení pokusu

Pokus byl založen na jaře minulého roku konkrétně 25. 3. 2022 na pozemku kompostárny ZERS v obci Neškaredice u Kutné Hory. K pokusu bylo využito zhruba 90 m² půdy umístěné na kraji pole. Z hlediska hodnocení bonitovaně půdně ekologické jednotky neboli zkratkou BPEJ se jedná o velice úrodnou půdu. Přesnější charakteristika půdních podmínek je v tabulce s č.4. Zmiňovaná plocha byla rozdělena na 15 menších ploch, kde jedno menší políčko mělo rozměry 3 x 2 m tedy 6 m². Dělení na menší pokusné parcelky bylo zapotřebí pro využití různých variant hnojení. Menší plochy byly od sebe odděleny železničními pražci, aby mezi nimi nedocházelo ke kontaminaci hnojivy. Konečné rozdělení, s po sobě jdoucími variantami: kontrolní varianta, vermikompost I, kompost I vermikompost II, kompost II. Rozdělení políček v řadě za sebou ve 3 opakováních bylo stejné jako na obrázku č.7. Kal č. I pocházel z čistírny odpadních vod, která měla objemové zatížení nad 100 tisíc ekvivalentních obyvatel a kal č. II z ČOV, která měla kapacitu mezi 10 tisíc až 100 tisíc ekvivalentních obyvatel.

Na zmiňovanou plochu půdy bylo oseto 240 kg/ha jarní odrůdy pšenice Pexeso od firmy Selgen. Z celkového množství pšenice jarní, které bylo vyseto, byla očekávána klíčivost semen 4-5 mil.

4.1.1 Charakteristika půdních podmínek

Tabulka 4: Charakteristika půdy v obci Neškaredice (Zdroj: BPEJ; Situační a výhledová zpráva Půda, 2009)

Klimatický region	3 – teplý, mírně vlhký (T3)
Výrobní oblast	Řepařská
Výrobní typ	Řepařsko-obilnářský
Půdní typ	Černozemě
Půdní subtypy	Černozem luvická (CEI), černozem luvická slabě olejnatá (CEIg')
pH	7,00
Skeletovitost a hloubka půdy	0 – bezskeletovitá > s celkovým obsahem skeletu do 10 % půda hluboká > hloubka do 60 cm
Expozice	0 – úplná rovina

4.1.2 Meteorologická charakteristika roku 2022

Tabulka 5: Meteorologické podmínky v roce 2022 pro Středočeský kraj – období březen - srpen (Zdroj: ČHMÚ 2022)

Měsíc	Úhrn srážek [mm]		Průměrná teplota vzduchu [°C]	
	rok 2022	Dlouhodobý průměr hodnot	rok 2022	Dlouhodobý průměr hodnot
Březen	15	38	4,0	4,0
Duben	38	31	7,1	9,2
Květen	38	64	15,1	13,8
Červen	132	77	19,5	17,2
Červenec	57	79	19,2	19,0
Srpen	99	72	19,2	18,6

Měsíční úhrny srážek a průměrná teplota vzduchu z roku 2022 znázorněné v tabulce č.5. byly porovnány s dlouhodobým průměrem, který vychází z historických měření v rozmezí roků 1991-2020. Výstupní hodnoty jsou pouze pro oblast Středočeského kraje, kam spadá obec Neškaredice u Kutné Hory se založeným pokusem.

Rok 2022 byl s celkovou průměrnou teplotou 9,2 °C pro Českou republiku ve srovnání s roky 1991-2020 teplotně nadprůměrný neboli dalším „teplým“ rokem v řadě. Od roku 1996 se v České republice vyskytují roky s normálními a nadprůměrnými teplotami různého stupně.

S celkovým úhrnem srážek 632 mm lze zařadit rok 2022 mezi srážkově normální. Nejvíce bohatým měsícem na srážky byl červen, kdy napadlo v průměru 101 mm (123 % normálu). Naopak nejméně srážek se objevilo v březnu, a to v průměru 16 mm (35 % normálu).

Průměrná teplota vzduchu ve Středočeském kraji byla v součtu naměřených hodnot o 2,8 °C vyšší ve sledovaných měsících v porovnání s dlouhodobým průměrem (z roku 1991-2020). Celkové množství srážek za rok 2022 ve vybraném období březen - srpen bylo 379 mm tedy o 18 mm více než je dlouhodobý průměr. Měsíc červen a srpen byl bohatý na úhrn srážek, naopak březen nikoliv.

4.2 Zapravení hnojiv do půdy

Během růstu pšenice jarní na pozemcích v katastru obce Neškaredice docházelo k pravidelnému hnojení. Jednalo se především o komposty a vermikomposty z čistírenského kalu a nasávané kartonáže s odlišným původem. Polní pokus byl rozdělen na 15 pokusných parcelk o menších rozměrech, kde se střídaly různé varianty hnojení. První v řadě byla kontrolní varianta bez hnojení, další následovalo pole hnojené kompostem z nasávané kartonáže a ČK kalu II a I, ve stejném pořadí se pokračovalo s vermikomposty. Zkratky pro použité hnojivo se vyskytují v tabulce č.6. Dohromady se jednalo o 4 různě hnojené parcely a jednu bez hnojiva s třemi kontrolními opakováními pro získání většího množství dat. Rozložení je znázorněno v tabulce č.7. a vyfoceno na obrázku č.7.

Množství zapraveného hnojiva do půdy se řídilo zákonem č. „156/1998 Sb. *O hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech)*“ (Zákony pro lidi, 2023).

Při 50% sušině hnojiva činí nevyšší možná dávka stanovená zákonem 40 t/ha. Maximální aplikační dávka je 20 tun sušiny. ha⁻¹ v průběhu 3 let. S rostoucí pšenicí jarní docházelo souběžně k růstu plevelů, proto bylo zapotřebí ho odstranit ručním pletím bez použití herbicidů a insekticidů.



Obrázek 6: Založený pokus s pšenicí jarní v areálu kompostárny ZERS v Kutné Hoře (vlastní zdroj)

4.2.1 Typy hnojiv

Tabulka 6: Rozdělení typů hnojiv s jejich značení (vlastní zdroj)

Varianta	Značení
Kontrolní varianta	O
Kompost I	K I
Vermikompost I	V I
Kompost II	K II
Vemrikompost II	V II

Tabulka 7: Plánek rozdělení malých parcelek v řadě dle typu hnojení (vlastní zdroj)

VI 1.	VI 2.	VI 3.
VII 1.	VII 2.	VII 3.
KI 1.	KI 2.	KI 3.
KII 1.	KII 2.	KII 3.
O 1.	O 2.	O 3.
Začátek řady	Prostředek řady	Konec řady

4.2.2 Úprava hnojiv

Parcely byly přihnojovány KI, KII, VI a VII z čistírenských kalů s přimíchanou nasávanou kartonáží.

Pomocí rychloběžného drtiče Willibald 5500 byly kartonové obaly na obrázku č.8. nadrceny a připraveny, k další analýze ve dvou namíchaných směsích.



Obrázek 7: Nadrcená kartonové obaly (autor Ing. Milan Hrčka)

Pro zajištění vhodných podmínek k životu žížal byl kompost napřed předkompostován za účelem snížení obsahu amoniaku v čistírenském kalu. Celý proces probíhal v kryté hale s pravidelnou překopávkou za pomoci čelního nakladače. Počáteční teplota se pohybovala kolem 25 až 40 °C a vlhkost vermikompostů byla po celou dobu upravována zkrápěním vodou na 80 %. Uskladnění obou směsí je znázorněno na obrázku č.9.



Obrázek 8: Předkompostovaná směs čistírenského kalu I. (vlevo) a čistírenského kalu II. s nasávanou kartonáží (vpravo) (autor Ing. Milan Hrčka)

4.3 Odběr vzorků rostlin

Sklizeň zralé pšenice jarní na založeném pokusu (obrázek č.10) byla provedena v srpnu roku 2022 za ideálních podmínek počasí, kdy nedošlo k jejímu znehodnocení dešťovými srážkami. Před samotným začátkem sběru byl vytvořen čtverec ze 4 dřevěných latí k vytvoření formy o rozměru 1x1 m² (obrázek č.11). Dřevěná forma značila plochu a určovala množství pšenice, které bylo zapotřebí sebrat na všech 15 pokusných polích k pozdějším analýzám. Sběr pšenice probíhal tradičním způsobem sklizení za pomoci srpů. Nejprve bylo zrno dostáváno z obílek ručně viz obrázek č. 13, později ale byla využita metoda používaná už od středověku v podobě mláčení obilí cepem. Jednotlivé vzorky byly uchovány v předem označených pytlicích (obrázek č.12), ve kterých se později převezly do laboratoře České zemědělské univerzity v Praze. V laboratoři se již provádělo oddělování zrna od slámy s následným laboratorním rozbořem. Obrázek č.14 znázorňuje připravené vzorky celých klasů jarní pšenice k pozdější analýze.



Obrázek 9: Sklizeň zralých klasů pšenice jarní v areálu kompostárny ZERS (vlastní zdroj)



Obrázek 10: Dřevěná forma pro vymezení čtverce 1 x 1 m² (vlastní zdroj)



Obrázek 11: Sklizeň pšenice do označených plastových pytlů (vlastní zdroj)



Obrázek 12: Získávání zrna z klasů pšenice jarní (vlastní zdroj)



Obrázek 13: Připravené klasy pšenice jarní k analýze v laboratoři (vlastní zdroj)

4.4 Úprava rostlinných vzorků

Střížný mlýn Retsch modelu SM 100 na obrázku č.16 byl použit pro úpravu vzorků zrna, slámy a kořenů pšenice jarní. Vzorky se musely rozemlít pro účely následující analýzy v laboratoři. Síto vložené do mlýnu mělo rozměr průlin 1 cm. Druhé mletí probíhalo na malém mlýnku (obrázek č. 15) se sítem o velikost průlin 1 mm (obrázek č.17) pro získání jemnějšího materiálu vzorků.



Obrázek 14: Mikrojemný mlýnek IKA - MF 10 basic a 16: Střížný mlýn Retsch – 100 (vlastní zdroj)



Obrázek 15: Síto do malého mlýnu IKA – F 10 basic o velikosti průlin 1 mm (vlastní zdroj)

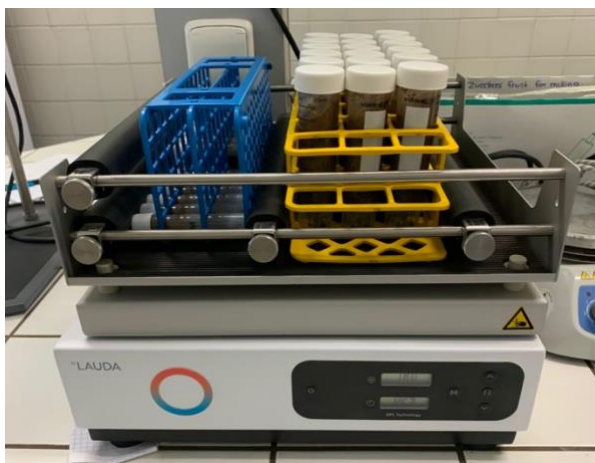
4.5 Vzorky půdy

Odběr vzorků zemin proběhl ze všech 5 odlišně hnojených parcelek ve 3 opakování. K získání reprezentativních vzorků byly tyto opakování smíchány do 5 variant. Při analýze vzorků byly určeny jednotlivé obsahy prvků v Melichu, hodnota pH a měrná vodivost.

4.5.1 Hodnota pH

Pro stanovení pH se použily odebrané vzorky zemin po sklizni, které byly smíchány s demineralizovanou vodou v poměru 1:5 (vzorek:voda). Každý vzorek obsahoval 8 g materiálu a 40 ml vody. Směs byla protřepána v laboratorní třepačce na obrázku č.18. po dobu 30 minut a pH bylo stanoveno u získaných vzorků pomocí přístroje WTW pH 340i. Použitý přístroj je zaznamenán obrázkem č.19.

Obdobný postup byl použit k stanovení pH v odebraných půdních vzorcích s pomocí chloridu vápenatého (CaCl_2) v poměru 1:2,5. Navážené 2 gramy vzorku zeminy byly zality 5 ml roztoku chloridu vápenatého. Namíchané vzorky byly vloženy na hodinu do třepačky k dosažení úplného promíchání vzorků. Po skončení procesu třepání se nechaly vzorky v klidu stát 1 hodinu. Před každým měřením pH musely být jednotlivé vzorky ručně promíchány.



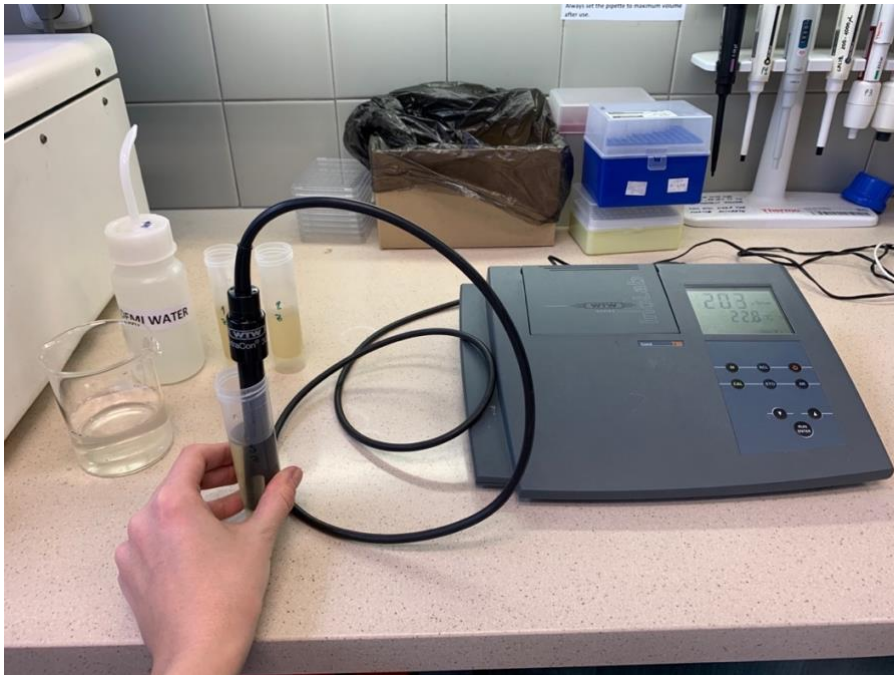
Obrázek 16: Laboratorní třepačka LAUDA (vlastní zdroj)



Obrázek 17: Přístroj WTW pH 340i k měření hodnoty pH (vlastní zdroj)

4.5.2 Měrná elektrická vodivost

Měření měrné vodivosti (EC- electric conductivity) bylo provedeno na vzorcích zeminy, které byly v poměru 1:5 smíchány s demineralizovanou vodou. To znamená, že k 8 gramům naváženého vzorku zeminy odebraného po sklizni bylo přidáno 40 ml demineralizované vody. Tyto směsi byly umístěny do laboratorní třepačky po dobu 30 minut. Poté byly vzorky filtrovány a měření měrné vodivosti bylo provedeno pomocí konduktometru WTW cond 730 (obrázek č.20).



Obrázek 18: Konduktometr WTW cond 730 k měření měrné vodivosti (vlastní zdroj)

4.5.3 Stanovení obsahu přístupných živin dle Mehlich III.

K extrakci fosforu vázaného na hliník se použil kyselý roztok s fluoridem amonným, který zvyšuje jeho rozpustnost. Dusičnan amonný pomáhá k desorpci draslíku, hořčíku a vápníku. Kyselost roztoku se nastavuje kyselinou octovou a 65% kyselinou dusičnou. Extrakce probíhá pomocí roztoku Mehlich III s extrakčním postupem: (0,2 M CH_3COOH + 0,25 M NH_4NO_3 + 0,013 mol l-1 HNO_3 + 0,015 M NH_4F + 0,001 M EDTA, poměr vzorek / kapalina je 1/10 (3 g + 30 ml) Extrakce roztoku trvá 10 minut (Melich, 1984).

4.6 Vzorky rostlin

4.6.1 Počet zrn v klasu

Průměrný počet zrn v klasu byl stanoven zároveň s měřením délky klasů. Od každé varianty bylo vybráno 5 náhodných klasů, u kterých byl po jejich změření sečtený počet zrn. Průměrný počet zrn pro každou variantu se stanovil ze součtu všech 3 opakování u každé varianty. Ve výsledcích této práce je uveden průměrný počet zrn v 1 klasu.

4.6.2 Hmotnost tisíce zrn

Hmotnost tisíce zrn (HTZ) je jednotka používaná k určení hmotnosti určitého množství zrn rostliny. Postup stanovení je standardizován normou ČSN 46 0610. K hodnocení HTZ bylo zapůjčeno elektronické počítadlo semen C 21 na obrázku č.22., do kterého bylo nasypáno 500 semen od každého vzorku ve dvou opakováních. Je zde přiložen obrázek č.21., na kterém jsou všechny potřebné pomůcky pro tuto analýzu.



Obrázek 19: Příprava vzorků a pomůcek pro sčítání zrn pšenice jarní (vlastní zdroj)



Obrázek 20: Elektronické počítadlo semen C 21(vlastní zdroj)

4.6.3 Délka klasu

Od každého vzorku bylo vybráno 5 náhodných klasů. Délka byla změřena od báze klasu až po jeho vrchol v centimetrech. Průměrné hodnoty z měření jsou uvedeny v kapitole výsledků. Pomůcky využitě k měření byly označené papírové sáčky lihovou fixou a pravítko z kancelářských potřeb. Postup měření je na obrázku č.23.



Obrázek 21: Metodika měření délky klasu pomocí pravítka na kontrolním pokusu č. 1 (vlastní zdroj)

4.6.4 Suchý rozklad

Postup pro zjištění rizikových prvků z odebraných a předpřipravených vzorků mletím je následující. Ze všech 45 vzorků zahrnující zrno, slámu a kořeny pšenice bylo do označených kádinek naváženo na analytických vahách 0,5 gramů. Zmíněné množství je minimum pro stanovení chemického složení pšenice jarní ve vzorcích. Zaznamenané hodnoty zahrnují parametry: označení a váhu kádinky, celkovou navážku substrátu, označení vzorku a jeho pořadí. Následně bylo zapotřebí začlenit mezi navážené vzorky referenční materiál v podobě špenátových listů s navážkou 0,3 gramů pro dosažení kvalitnějšího srovnání výsledných hodnot. Z celkového množství 52 kádinek 1 obsahovala zmiňovaný referenční materiál a 3 byly zcela prázdné. Po navážení byly všechny vzorky přesunuty kleštěmi na plotnu topné desky.

Analytická metoda suchého rozkladu se zakládá na principu spalování vzorků na plotně po dobu 4 hodin (obrázek č.24). V průběhu procesu je zapotřebí zvyšovat teplotu spalování každou hodinu. Začíná se na teplotě 160 °C, první zvýšení po uplynuté hodině je na 220 °C a konečnou teplotou je 350 °C. Všechny kádinky na plotně musely být řádně zakryty sklíčky, aby se do okolního prostředí neuvolňovaly škodlivé výpary.

Při dosažení požadované teploty byly vzorky přesunuty do pece na 24 hodin trvající program, který trval až do ranních hodin následujícího dne (obrázek č.25). Druhý den experimentu bylo do všech kádinek vyjmutých z pece, přidána kyselina dusičná v dávce 1 ml.

Podle stanoveného laboratorního postupu se pokračovalo v odpaření kyseliny dusičné po dobu 1 hodiny při teplotě 120 °C. Posledním krokem bylo dát vzorky do pece na do vypálení s předem nastavenou teplotou 500 °C po dobu 1 hodiny.

V důsledku předchozí úpravy se pokračovalo s převodem pevných vzorků do kapalného skupenství s využitím 1,5% roztoku kyseliny dusičné HNO_3 . Roztok byl vytvořen zředěním 16,5 ml silné kyseliny dusičné demineralizovanou vodou v odlevné baňce. Kádinky s připravenými vzorky byly přelity do 25 ml zkumavek a doplněny kyselinovým roztokem. Zde se využil ultrazvuk k uvolnění usazenin vzorku na skle a následovnému usnadnění přechodu. Důležité bylo správně označit veškeré zkumavky pořadovým číslem a uzavřít jejich hrdla parafínem.



Obrázek 22: Topná deska Ceran 500/44A (vlastní zdroj)



Obrázek 23: Laboratorní pec Martinek (vlastní zdroj)

4.7 Zpracování dat

Naměřená data pro průměrnou hodnotu délky klasu, hmotnost tisíce zrn (HTZ) a počet zrn v klasu byla zpracována v programu MS Excel 365 do tabulek. Z připravených a zaznamenaných dat byly vyhotoveny grafy s průměrnou směrodatnou odchylkou.

5 Výsledky

Kapitola výsledků je rozdělena na dvě hlavní části, kde v první části jsou shrnuty výsledky z rozboru půdy – hodnota pH, měrná vodivost, stanovení obsahu přípustných živin dle metody Mehlich III. Poměrně větší část je zde věnována nalezeným markoprvkům v půdě a pšenici, které byly porovnány metodou korelace. Druhá část zahrnuje analýzy prováděné na rostlině pšenice jarní – počet zrn v klasu, hmotnost zrn, délku klasu, suchý rozklad.

5.1 Vzorky půdy

Výsledky z analýz půd se lišily z důvodu použití dvou odlišných typů hnojení u pěstované pšenice jarní. K dispozici byl kompost a vermikompost z nasávané kartonáže a čistírenského kalu ve dvou variantách I a II, obdobně i vermikompost I a II, tedy celkem 4 různé varianty hnojiv. Naměřené hodnoty jsou mezi sebou porovnány podle použitých vermikompostů a kompostů.

5.1.1 Hodnota pH

Vysoká hodnota pH v půdě může vést k nedostatku přístupných živin pro rostliny a snížení využití dusíku, fosforu a draslíku. Kyselá půda s nízkou hodnotou pH může být pro některé rostliny příliš agresivní, tím se může zhoršovat růst nebo výnos.

Tabulka 8: Stanovení hodnoty pH před založením pokusu (autor Ing. Milan Hřčka)

vzorek před založením pokusu	1. zemina	2. zemina	3. zemina
hodnota pH/CaCl ₂	7,22	7,22	7,23
Průměrná hodnota	-	-	7,22

Měření hodnoty pH s pomocí chloridu vápenatého u vzorků zemin před založením pokusu bylo změřeno Ing. Milanem Hřčkou na začátku pokusu v tabulce č.8. Zhruba po 5 měsících byly stejné vzorky odebrané zeminy změřeny ještě jednou (tabulka č.9.). Z porovnání je patrné, že se hodnota pH u všech 3 odebraných vzorků zemin snížila z průměrných hodnot kolem 7,22 na 7,11.

5.1.2 Měrná elektrická vodivost

Vlastnost půdy měrná elektrická vodivost, vyjadřuje míru obsahu solí v půdě a substrátu. Má vliv na rostliny, množství a růst mikroorganismů v půdě.

Tabulka 9: Naměřené hodnoty pH (H_2O), pH ($CaCl_2$), EC – Měrná vodivost [$\mu S/cm$] (vlastní zdroj)

vzorek	Hodnota pH/ H_2O	pH chlorid vápenatý $CaCl_2$	EC (Měrná vodivost) [$\mu S/cm$]
1 O	8,06	7,06	134,9
2 O	8,11	7,17	125,6
3 O	8,14	7,18	120,6
1 V I	7,91	7,19	115,7
2 V I	7,93	7,23	118,1
3 V I	8,04	7,23	120,8
1 V II	8,06	7,24	135,7
2 V II	8,08	7,25	118,1
3 V II	8,24	7,29	125,7
1 K I	8,14	7,28	137,9
2 K I	8,06	7,27	143,9
3 K I	8,35	7,4	163,7
1 K II	8,09	7,26	130,5
2 K II	8,03	7,26	117,4
3 K II	8,12	7,28	129,4
1 Zemina před založ. pokusu	7,75	7,13	215
2 Zemina před založ. pokusu	7,8	7,1	196
3 Zemina před založ. pokusu	7,81	7,11	203

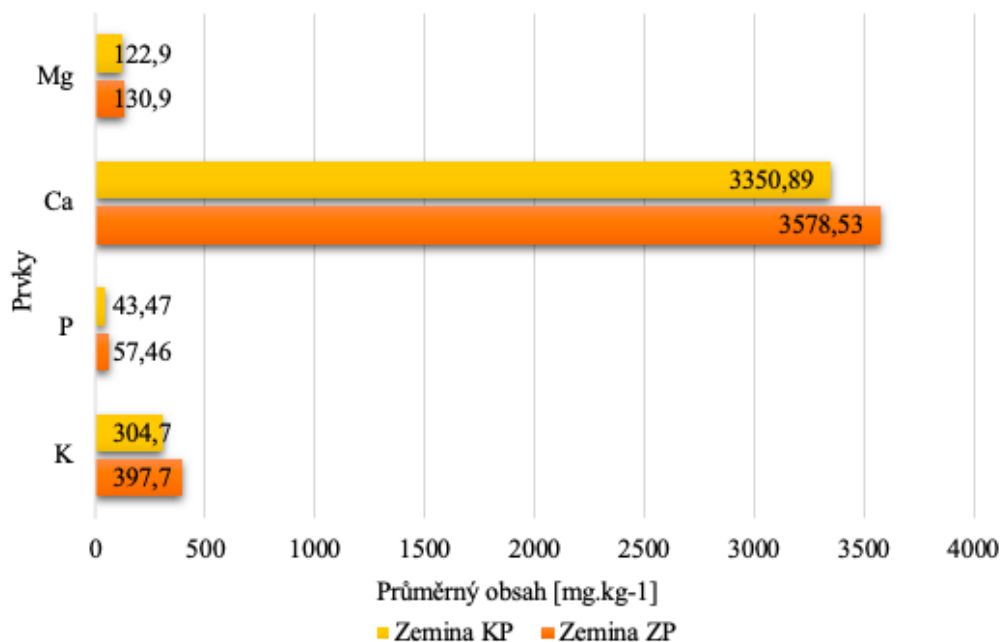
Výsledky v tabulce č.9. ukazují hodnoty pH a elektrické vodivosti (EC) vzorků půdy. Hodnota pH je mírou kyselosti nebo zásaditosti půdy. Vyšší hodnota pH ukazuje, že půda je vícekyselé, zatímco nižší hodnota pH ukazuje, že půda je více zásaditá. Hodnota EC je mírou koncentrace iontů v půdě a vyjadřuje, jak dobře půda vede elektřinu. Vyšší hodnota EC může znamenat vyšší koncentraci solí a minerálů v půdě.

Z výsledků je vidět, že vzorky půdy mají vysoké pH hodnoty, které je kyselé. Hodnoty pH se pohybují mezi 7,91 a 8,35. Elektrická vodivost se liší mezi vzorky, ale hodnoty jsou relativně nízké a pohybují se mezi 115,7 a 163,7 $\mu S/cm$. Ve srovnání s normálními hodnotami to je střední nebo mírně vysoká hodnota. Může to být důsledkem použitých hnojiv, solí, chemikálií v substrátech nebo přirozených vlastností půdy.

Všechny vzorky mají hodnotu pH/ H_2O v alkalické oblasti s rozsahem od 7,91 do 8,35. Vzorek 2 V I má nejnižší pH chlorid vápenatý $CaCl_2$, to naznačuje nižší obsah iontů kovů. Naopak vzorek 3 K II má nejvyšší hodnotu EC (Měrná vodivost), která může být způsobena vyšším obsahem solí v půdě. Vzorky zeminy před založením pokusu mají vysokou hodnotu EC, pravděpodobně způsobenou přirozenou koncentrací solí v půdě nebo vlivem lidské činnosti.

Je důležité poznamenat, že pH a EC jsou pouze dvěma z mnoha faktorů, které ovlivňují stabilitu a úrodnost půdy. Celkově jsou výsledky poměrně podobné a nenaznačují výrazné rozdíly mezi vzorky.

5.1.3 Stanovení obsahu přístupných živin dle Mehlicha III.



Graf 1: Průměrný obsah živin před začátkem pokusu (ZP) ve srovnání s kontrolou po sklizni (KP)

Z porovnání dat v grafu č.1. je jednoznačné, že po ukončení pokusu došlo ke snížení průměrného obsahu všech sledovaných živin v půdě. Nejvýraznější pokles byl pozorován u obsahu fosforu (z 57,46 mg/kg na 43,47 mg/kg) a draslíku (z 397,70 mg/kg na 304,70 mg/kg), zatímco obsah hořčíku a vápníku klesl výrazně méně. Pokles průměrného obsahu všech sledovaných živin může být způsoben různými faktory, jako je například vyčerpání zásob v půdě nebo odlišnou půdní strukturou po skončení experimentu. Směrodatná odchylka ukazuje, že hodnoty jednotlivých měření nebyly příliš rozdílné. Data jsou poměrně konzistentní a spolehlivá. Vyhodnocení proběhlo ze získaných dat v tabulce č.10 a č.11.

Tabulka 10: Obsahy živin v půdě na začátku pokusu

Obsahy živin v půdě před založením pokusu (ZP)					
prvek	průměr	směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
Mg	130,90	19,65	128,90	155,90	107,90
Ca	3578,53	545,41	3501,30	4281,78	2952,51
P	57,46	9,14	58,39	68,16	45,83
K	397,70	82,30	388,70	502,70	301,70

Tabulka 11: Obsahy živin v půdě na konci pokusu

Obsahy živin v půdě po ukončení pokusu (KP)					
prvek	průměr	směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
Mg	122,90	13,14	120,90	139,90	107,90
Ca	3350,89	124,50	3281,78	3525,69	3245,20
P	43,47	7,81	41,53	53,85	35,02
K	304,70	21,77	313,70	325,70	274,70

5.1.4 Obsah draslíku v půdách

Tabulka 12: Obsah draslíku v půdách

Draslík – K [mg.kg ⁻¹]					
vzorek	průměr	směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
K II	597,70	395,91	358,70	1155,70	278,70
V II	444,03	104,96	439,70	574,70	317,70
K I	354,03	66,55	326,70	445,70	289,70
V I	279,37	40,50	275,70	330,70	231,70

Výsledky v tabulce č.12. ukazují, že různé zdroje čistírenského kalu použitého k výrobě kompostu a vermikompostu mají výrazný vliv na obsah draslíku v půdě. Půda, do které byl aplikován kompost II a vermikompost II (K II a V II), obsahovala v průměru vyšší obsah draslíku (597,7 mg/kg a 444,03 mg/kg) než půda, do které byly aplikována hnojiva K I a V I (354,03 mg/kg a 279,37 mg/kg). Tyto výsledky mohou mít vliv na vývoj a růst rostlin pěstovaných na těchto půdách, neboť draslík je klíčovým prvkem pro správnou funkci rostlinných buněk a procesy fotosyntézy. Vyhodnocení proběhlo dle přiložené tabulky č.13.

Tabulka 13: Hodnocení obsahu přístupného K v orné půdě [mg.kg⁻¹]

Obsah	Obsah K (mg.kg ⁻¹)	Obsah K (mg.kg ⁻¹)	Obsah K (mg.kg ⁻¹)
	lehká	střední	těžká
Nízký	do 100	do 105	do 170
Vyhovující	101-160	106-170	171–260
Dobrý	161-275	171–310	261–350
Vysoký	276-380	311–420	351–510
Velmi vysoký	nad 380	nad 420	nad 510

5.1.5 Obsah fosforu v půdách

Tabulka 14: Obsah fosforu v půdách

Fosfor – P [mg.kg ⁻¹]					
vzorek	průměr	směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
K II	61,06	10,13	60,25	73,85	49,09
V II	52,38	10,86	57,23	62,57	37,34
K I	56,37	12,29	53,39	72,69	43,04
V I	50,99	7,84	56,41	56,64	39,90

Kompost je výsledkem procesů přeměny organické hmoty, která je stabilizovaná a slouží k tvorbě humusu. Tento kompost poskytuje půdě soubor živin s vysokým podílem fosforu. Aktivita půdních mikroorganismů podporuje mobilizaci většího množství fosforu vázaného v půdě, to přispívá k většímu příjmu tohoto živinového prvku rostlinami. Nicméně, vysoké pH půdy může omezovat příjem fosforu rostlinami, jak ukazují studie (Johnston, 2000).

Výsledky v tabulce č.14. ukazují průměrný obsah fosforu v půdě v různých typech vzorků. Nejvyšší průměrný obsah fosforu byl zjištěn v půdě ze vzorku K II (61,06 mg.kg⁻¹) a nejnižší v půdě ze vzorku V II (52,38 mg.kg⁻¹). Směrodatná odchylka je poměrně vysoká v případě vzorku K I, co znamená, že v této skupině mohou být výsledky poměrně rozptýlené. Průměrný obsah fosforu ve vzorcích V I a V II jsou podobné, přičemž medián je v případě V I vyšší. Maximum a minimum ukazují, že nejvyšší a nejnižší hodnoty se vyskytují v půdě ze vzorku K II. Obsah fosforu v půdě se liší v závislosti na typu vzorku a jeho hnojení, kde nejvyšší obsah fosforu má půda ze vzorku K II (61,06 mg.kg⁻¹). Vyhodnocení proběhlo dle přiložené tabulky č.15.

Tabulka 15: Hodnocení obsahu přístupného P v orné půdě [mg.kg⁻¹]

Obsah	Obsah P (mg.kg ⁻¹)
Nízký	do 50
Vyhovující	51–80
Dobrý	80-115
Vysoký	116-185
Velmi vysoký	nad 185

5.1.6 Obsah vápníku v půdách

Tabulka 16: Obsah vápníku v půdách

Vápník – Ca [mg.kg ⁻¹]					
vzorek	průměr	směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
K II	4090,73	478,09	3952,51	4733,00	3586,66
V II	4419,99	546,50	4781,78	4830,56	3647,64
K I	3887,47	475,49	3818,37	4501,30	3342,76
V I	3167,96	183,69	3111,05	3415,93	2976,90

Z průměrných hodnot v tabulce č.16. lze říct, že koncentrace vápníku v V II vzorku je nejvyšší (4419,99 mg.kg⁻¹), následovaný K II vzorkem (4090,73 mg.kg⁻¹), K I vzorkem (3887,47 mg.kg⁻¹) a nakonec V I vzorkem (3167,96 mg.kg⁻¹).

Směrodatná odchylka ukazuje rozptýl hodnot v každém vzorku. Vyšší směrodatná odchylka znamená, že hodnoty koncentrace vápníku jsou více rozptýleny. V II vzorek má nejvyšší směrodatnou odchylku (546,50), co znamená, že hodnoty koncentrace vápníku v tomto vzorku jsou více rozptýleny než v ostatních vzorcích.

V tomto případě lze vidět, že medián koncentrace vápníku v K II vzorku je nejvyšší (3952,51 mg.kg⁻¹), následovaný V II vzorkem (4781,78 mg.kg⁻¹), K I vzorkem (3818,37 mg.kg⁻¹) a nakonec V I vzorkem (3111,05 mg.kg⁻¹).

Maximální a minimální hodnoty koncentrace vápníku v jednotlivých vzorcích jsou také uvedeny. Zde lze vidět, že V II vzorek má nejvyšší maximální hodnotu koncentrace vápníku (4830,56 mg.kg⁻¹), zatímco V I vzorek má nejnižší maximální hodnotu (3415,93 mg.kg⁻¹). Na druhé straně má V I vzorek nejnižší minimální hodnotu koncentrace vápníku (2976,90 mg.kg⁻¹) a V II vzorek má nejvyšší minimální hodnotu (3647,64 mg.kg⁻¹). Vyhodnocení proběhlo dle přiložené tabulky č.1T.

Tabulka 17: Hodnocení obsahu přístupného Ca v orné půdě [mg.kg⁻¹]

Obsah	Obsah Ca (mg.kg ⁻¹)	Obsah Ca (mg.kg ⁻¹)	Obsah Ca (mg.kg ⁻¹)
	lehká	střední	těžká
Nízký	do 1000	do 1100	do 1700
Vyhovující	1001-1800	1001-2000	1701-3000
Dobrý	1801-2800	2001-3300	3001-4200
Vysoký	2801-3700	3301-5400	4201-6600
Velmi vysoký	nad 3700	nad 5400	nad 6600

5.1.7 Obsah hořčíku v půdách

Tabulka 18: Obsah hořčíku v půdách

Hořčík – Mg [mg.kg ⁻¹]					
vzorek	průměr	směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
K II	151,57	34,72	134,90	199,90	119,90
V II	149,57	19,15	154,90	169,90	123,90
K I	135,23	10,66	133,90	148,90	122,90
V I	120,23	9,57	124,90	128,90	106,90

Průměrná koncentrace hořčíku v K II vzorku je nejvyšší (151,57 mg.kg⁻¹), následovaný V II vzorkem (149,57 mg.kg⁻¹), K I vzorkem (135,23 mg.kg⁻¹) a nakonec V I vzorkem (120,23 mg.kg⁻¹). Všechny naměřené hodnoty průměrné koncentrace hořčíku v půdě jsou viditelné v tabulce č.18.

Směrodatná odchylka ukazuje, že hodnoty koncentrace hořčíku jsou více rozptýleny v K II vzorku, zatímco v ostatních vzorcích jsou hodnoty méně rozptýlené. Vzorek K II má nejvyšší směrodatnou odchylku (34,72).

Medián hodnot koncentrace hořčíku v jednotlivých vzorcích se také liší, s nejvyšším mediánem v V II vzorku (154,90 mg.kg⁻¹), následovaný K II vzorkem (134,90 mg.kg⁻¹), K I vzorkem (133,90 mg.kg⁻¹) a nakonec V I vzorkem (124,90 mg.kg⁻¹).

V jednotlivých vzorcích jsou určeny maximální a minimální hodnoty koncentrace hořčíku. Zde lze vidět, že K II vzorek má nejvyšší maximální hodnotu koncentrace hořčíku (199,90 mg.kg⁻¹), zatímco V I vzorek má nejnižší maximální hodnotu (128,90 mg.kg⁻¹). Na druhé straně má V I vzorek nejnižší minimální hodnotu koncentrace hořčíku (106,90 mg.kg⁻¹) a V II vzorek má nejvyšší minimální hodnotu (123,90 mg.kg⁻¹).

Koncentrace hořčíku se v různých vzorcích liší. K II vzorek má nejvyšší průměrnou a maximální hodnotu koncentrace hořčíku, ale také nejvyšší směrodatnou odchylku. Vyhodnocení proběhlo dle přiložené tabulky č.19.

Tabulka 19: Hodnocení obsahu přístupného Mg v orné půdě [mg.kg⁻¹]

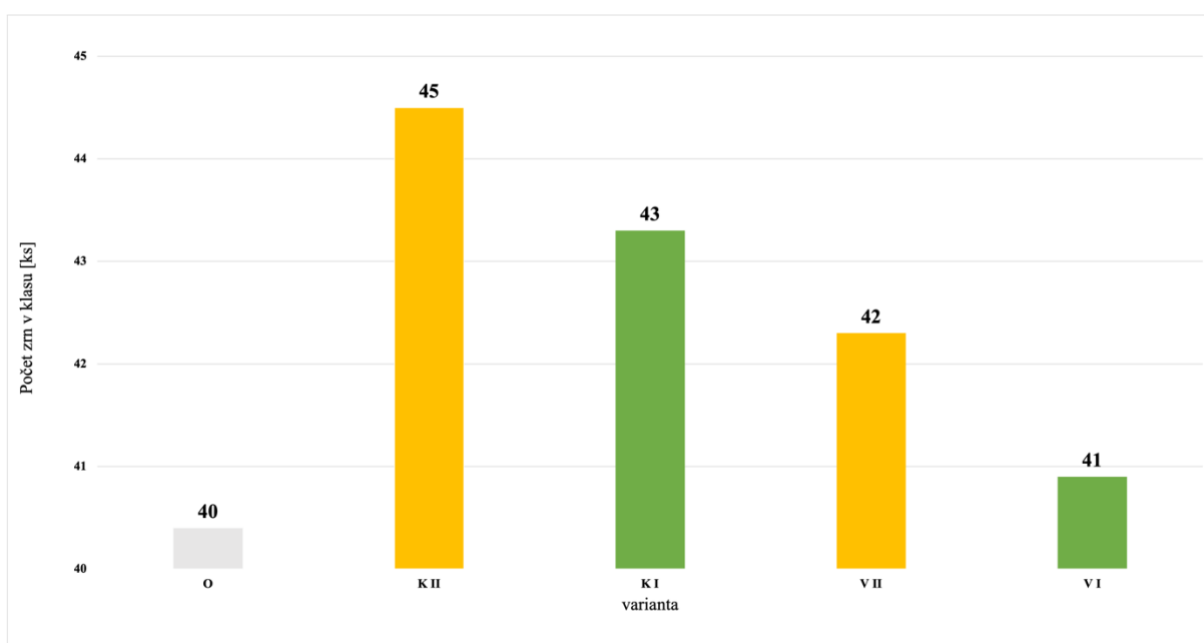
Obsah	Obsah Mg (mg.kg ⁻¹)	Obsah Mg (mg.kg ⁻¹)	Obsah Mg (mg.kg ⁻¹)
	lehká	střední	těžká
Nízký	do 80	do 105	do 120
Vyhovující	81-135	106-160	121–220
Dobrý	136-200	161-265	221–330
Vysoký	201-285	266-330	331–460

5.2 Vzorky rostlin

Aplikace vermikompostů na pšenici, může mít pozitivní účinky na její výnos.

5.2.1 Počet zrn v klasu

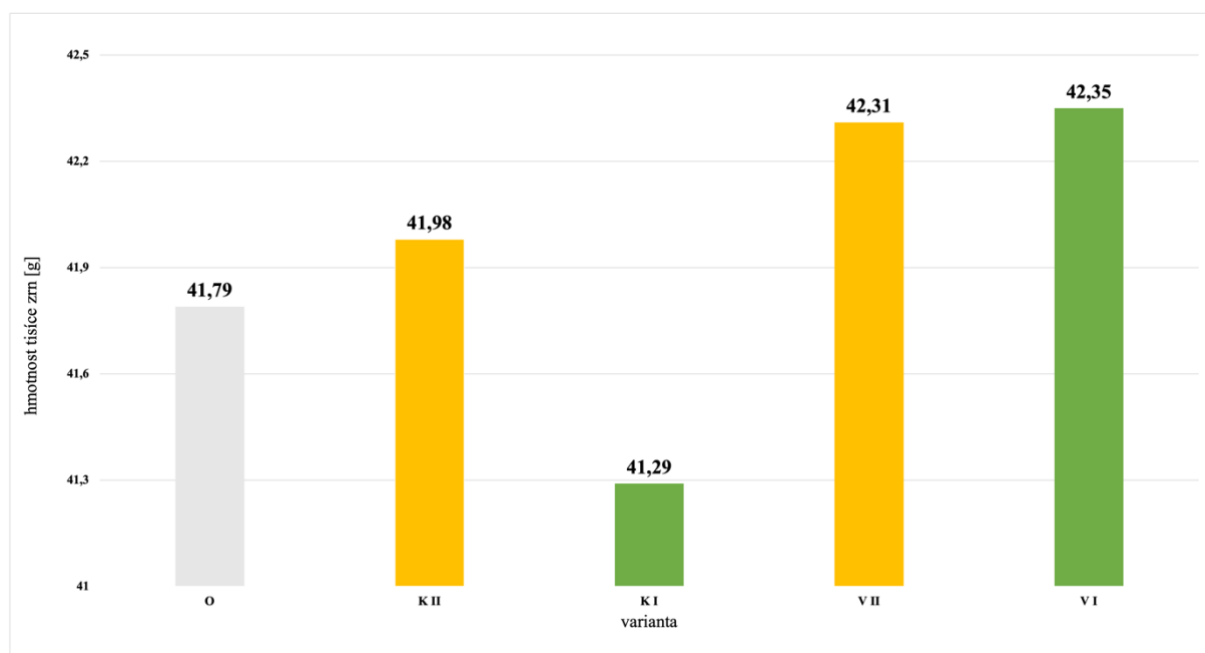
Varianty K II (45ks) a K I (43ks) dosáhly nejvyššího počtu zrn v klasu, zatímco nejnižší počet zrn se pohyboval u V II kolem 42ks a u V I 41ks. Výnos zrna byl u vermikompostů nižší, ale velikost naopak větší než u pšenice hnojené komposty. S vůbec nejnižší hodnotou 40ks byla spočítána kontrolní varianta. Průměrný počet zrn v klasech ze všech variant dosáhl hodnoty 42 kusů. Výsledné hodnoty průměrného počtu zrn v jednotlivých variantách jsou viditelné v grafu č.2. Naměřené výsledky ze všech opakování jsou k naleznutí v příloze č.2.



Graf 2: Počet zrn v klasu

5.2.2 Hmotnost tisíce zrn (HTZ)

Kapitola výsledků HTZ obsahuje průměrné hodnoty stanovené elektrickým počítadlem semen po zvážení 1000 zrn pšenice jarní. Zrna pšenice odrůdy Pexeso odebraná ze všech 5 variant měřených ve 3 opakování vykazovala odlišnou hmotnost tisíce zrn. Průměry hodnot se pohybovaly v rozmezí od 41 do 43 gramů. Nejvyšší průměrné hmotnosti zrn bylo dosaženo z polí přihnojovaných vermikomposty I a II. Pole hnojené K I a K II měly o něco nižší průměrné hodnoty hmotnosti tisíce zrn. Kontrolní varianta vykazovala blízké hodnoty variantám hnojenými komposty. Nejhuře dopadnul průměr HTZ zrn u parcely hnojené KI viz graf č.3. Naměřené výsledky ze všech opakování jsou k naleznutí v příloze č.1.



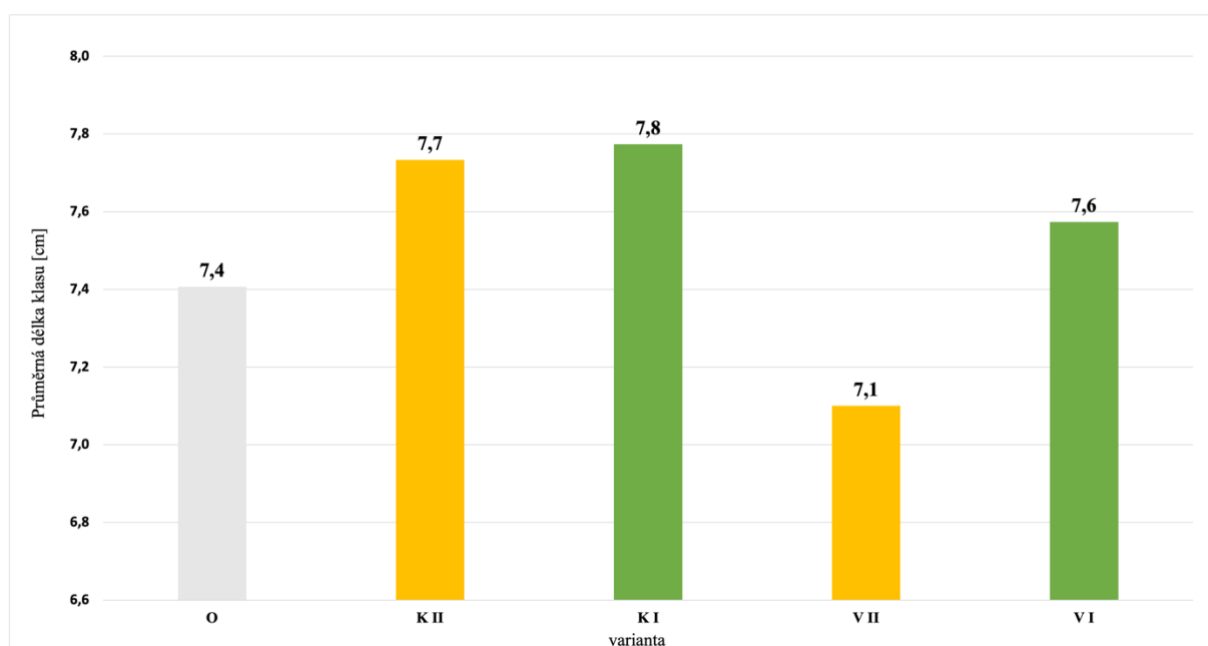
Graf 3: Hmotnost tisíce zrn [HTZ]

5.2.3 Délka klasu

Průměrná délka klasu ze všech pokusných polí s odlišným typem hnojení je 7,5 cm. Mezi poli hnojenými vermikomposty a komposty jsou viditelné nepatrné rozdíly. U variant hnojených vermikomposty je průměrná délka klasů menší viz graf č.4.

Varianty K II a K I měly průměrnou délku klasu 7,7 cm a 7,8 cm. V II měl průměrnou délku klasu pouze 7,1 cm, oproti V I s 7,6 cm.

Zdá se, že použití K II a K I zvýšilo průměrnou délku klasu o 0,3 - 0,4 cm oproti kontrolní variantě. V II a V I naopak nevedly k zvětšení klasu a ve srovnání s kontrolou byly mírně kratší. Nicméně, vzhledem k počtu měření a malému rozdílu mezi výsledky, není možné z tohoto souboru dat vyvodit jednoznačný závěr o účinnosti jednotlivých hnojiv na délku klasů. Naměřené výsledky ze všech opakování jsou k naleznutí v příloze č.3.



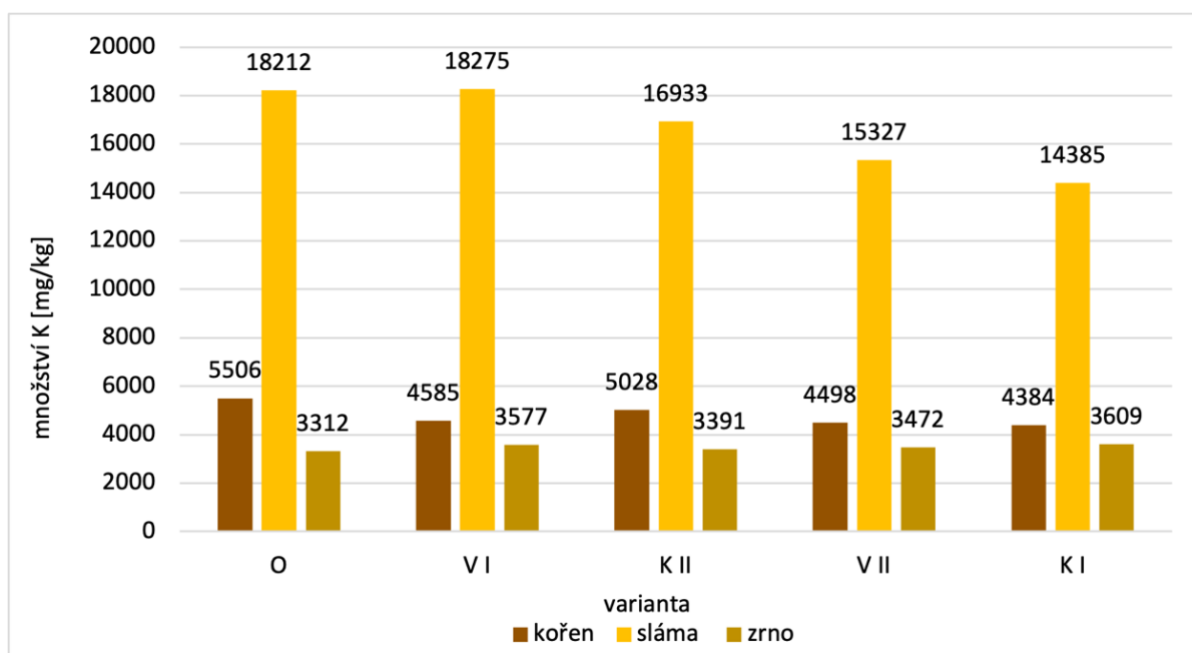
Graf 4: Délka klasu

5.2.4 Suchý rozklad

Mikrovlnný rozklad suchou cestou je moderní metoda k zjištění minerálních prvků přítomných v rostlinách. V našem případě se jedná o jednotlivé části jarní pšenice: kořen, sláma a zrna.

5.2.5 Draslík

Fyziologické působení draslíku v metabolismu rostlin je zásadní pro tvorbu výnosu jarní pšenice. Draslík má obecně známý vliv na přenos asimilátů v rostlině, zejména do kořenů a semen, co ovlivňuje tvorbu kořenového systému (Černý et al. (2014). Obsah draslíku v rostlinách se mění se stárnutím pletiv, přičemž starší rostliny mají nižší obsah draslíku. Obilniny mají v druhé polovině vegetace omezený příjem draslíku a mohou ho dokonce vydávat zpět do půdy kvůli stresovým faktorům, zejména suchu (Raynt, 2014). Nedostatek draslíku způsobuje větší náchylnost k poléhání, zvyšuje riziko houbových chorob, snižuje škrobnatost zrna a negativně ovlivňuje syntézu proteinů (Hřivna, 2012).



Graf 5: Podíl přístupného draslíku – K [mg/kg]

Průměrná koncentrace draslíku je nejvyšší ve slámě, následované kořeny a nejnižší se vyskytuje v zrna. Rozdíl může být zapříčiněn přirozeným transportem dusíku z kořenů a listů do nadzemní části biomasy. Z uvedených dat lze vyčíst, že nejvyšší průměrná koncentrace draslíku byla naměřena ve vzorcích slámy V I (18275 mg/kg), následovány vzorky O a K II (18212 mg/kg a 16933 mg/kg).

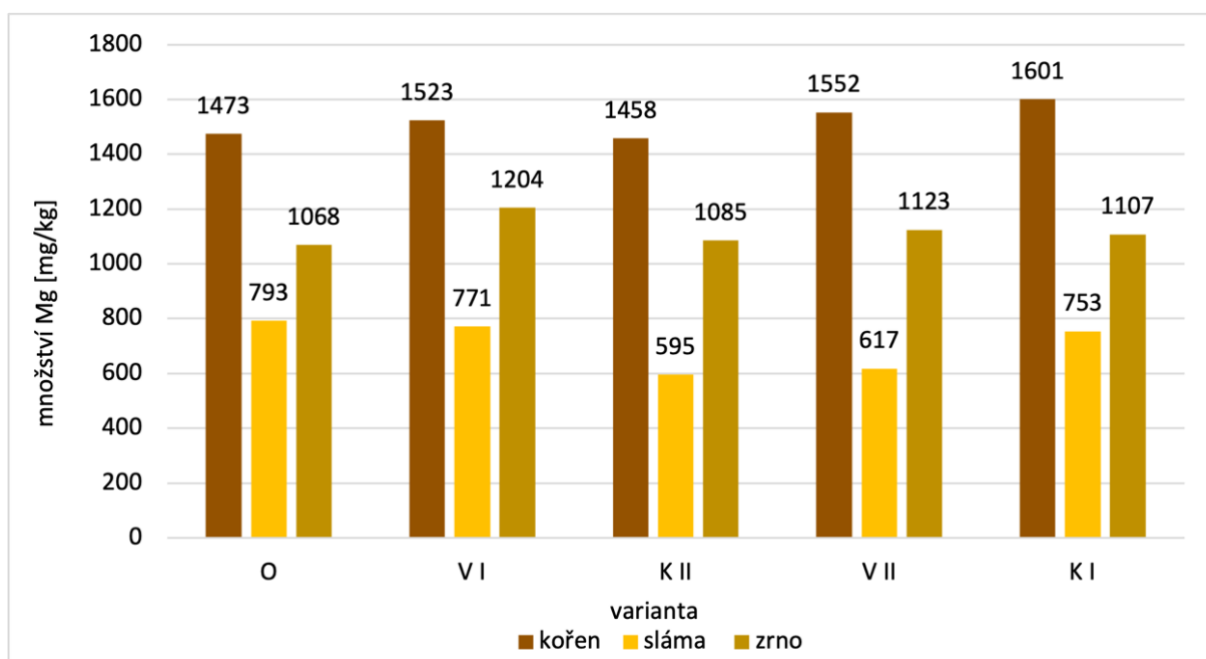
Kořeny O (5506 mg/kg) obsahují nejvíce draslíku, naopak kořeny K I (4384 mg/kg) nejméně.

V zrna se vyskytuje obsah draslíku v rozmezí od 3312 mg/kg až do 3609 mg/kg v závislosti na části rostliny a variantě hnojení.

Zrna a kořeny obsahují nejméně draslíku, protože se v průběhu růstu a vývoje do nich transportuje pouze malé množství.

5.2.6 Hořčík

Hořčík aktivuje enzymové systémy v rostlinách, je součástí chlorofylu a ovlivňuje enzymové reakce fotosyntézy. Jeho účast v biochemických reakcích Calvinova cyklu umožňuje fixaci oxidu uhličitého a tvorbu organických sloučenin, včetně glukosy. Hořčík také hraje roli při fosforylaci, redukci nitrátů a výstavbě oxokyselin s amonným dusíkem (Ryant, 2014). Při nedostatku hořčíku spolu s nedostatkem draslíku dochází k poklesu fotosyntézy a obsahu bílkovin v zrnech (HŘIVNA, 2012).



Graf 6: Podíl přístupného hořčíku – Mg [mg/kg]

Průměrná koncentrace hořčíku je nejvyšší v kořenech, následovaných zrnem a nejnižší se vyskytuje ve slámě. Vysoký obsah hořčíku je způsoben tím, že kořeny dodávají rostlinám potřebné živiny. Z uvedených dat lze vyčíst, že nejvyšší průměrná koncentrace hořčíku byla naměřena ve vzorcích kořenů K I (1601 mg/kg), následovaný vzorky V II a V I (1552 mg/kg a 1523 mg/kg).

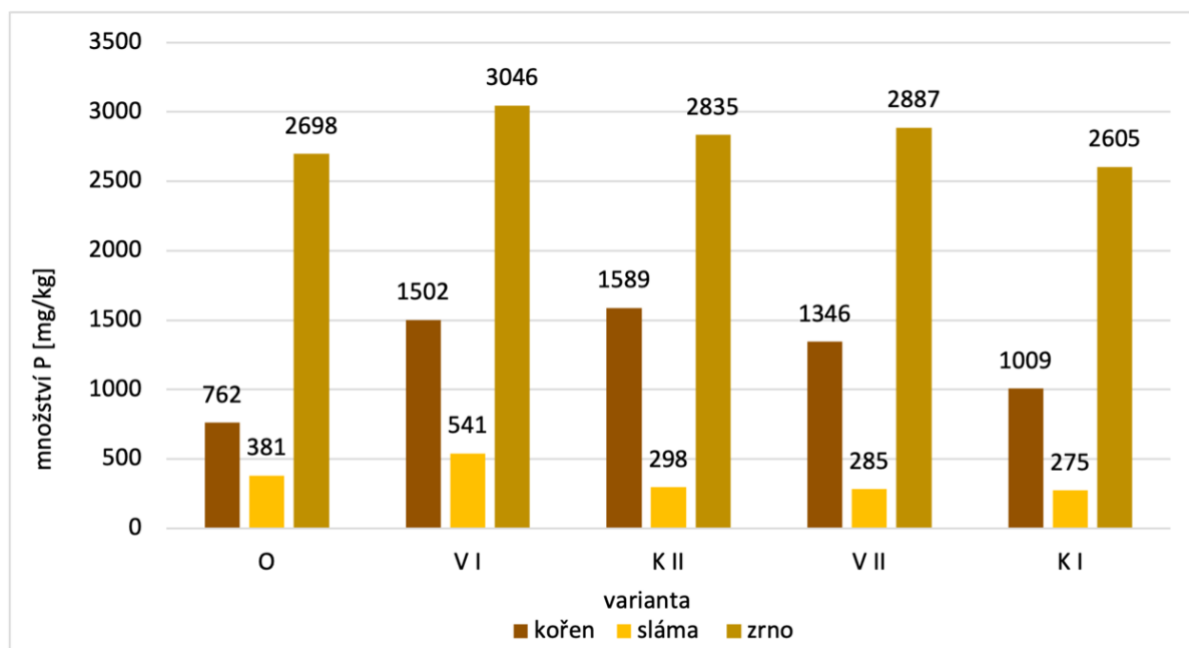
Zrna V I (1204 mg/kg) obsahovali nejvíce hořčíku, naopak zrna O (1068 mg/kg) nejméně.

V slámě se vyskytuje obsah fosforu v rozmezí od 595 mg/kg až do 793 mg/kg v závislosti na části rostliny a variantě hnojení.

Sláma a zrno jsou vystaveny procesu fotosyntézy, proto zde není vysoká potřeba hořčíku jako u kořenů.

5.2.7 Fosfor

Fosfor je nezbytnou živinou pro pšenici, která má vliv na intenzitu a asimilaci dusíku během celé vegetační fáze růstu. Zejména na začátku vegetace je potřeba zajistit jeho dostatek k tvorbě silného kořenového systému. Fosfor má pozitivní vliv na proces růstu a vývoje, včetně jarovizace, metání, kvetení, oplodňování s tvorbou zrna (Špaldon, 1986). Pokud rostlina trpí nedostatkem fosforu, její růst je omezen, listy jsou menší, stonky jsou slabší a rostlina tvoří méně odnoží (Hřivna, 2012).



Graf 7: Podíl přístupného fosforu – P [mg/kg]

Průměrná koncentrace fosforu je nejvyšší v zrna, následovaném kořeny a nejnižší se vyskytuje ve slámě. Vysoký obsah fosforu v zrna pšenice je zapříčiněn jeho vlivem na růst a vývoj rostliny,

Z uvedených dat lze vyčíst, že nejvyšší průměrná koncentrace fosforu byla naměřena ve vzorcích zrna V I (3046 mg/kg), následovány vzorky V II a K II (2887 mg/kg a 2835 mg/kg).

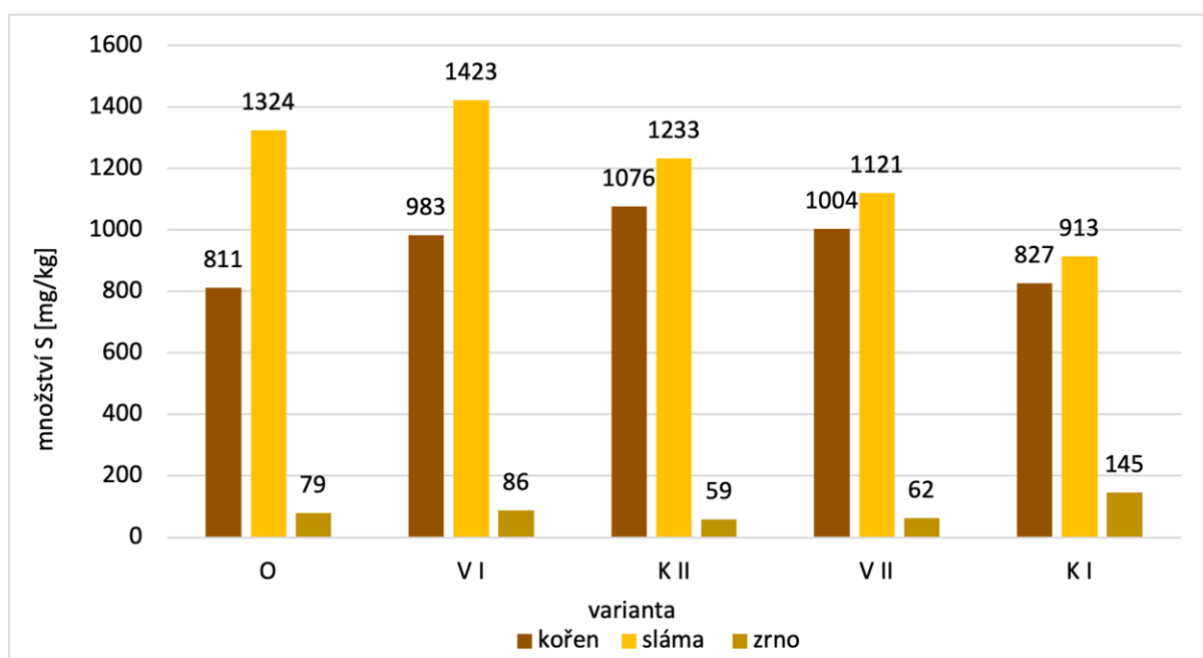
Kořeny K II (1589 mg/kg) obsahují nejvíc fosforu, naopak kořeny O (762 mg/kg) nejméně.

V slámě se vyskytuje obsah fosforu v rozmezí od 275 mg/kg až do 541 mg/kg v závislosti na části rostliny a variantě hnojení.

Sláma a kořeny nejsou pro přežití rostliny nezbytné, proto je obsah fosforu v těchto orgánech nižší.

5.2.8 Síra

Síra hraje velkou roli ve využití dusíku uvnitř rostlin, protože metabolické dráhy dusíku a síry jsou úzce propojené. Pokud chybí síra v rostlinách, projeví se to chlorózou. Aby bylo dosaženo efektivního využití dusíku a odpovídajícího výnosu, je nezbytné zajistit dostatečný přísun síry. Použití síranové formy může zvýšit využití dusíku u jarní pšenice z 31 na 43 %. Kombinace síry a racionální výživy dusíkem může výrazně přispět k vysokému a kvalitnímu výnosu zrna. Hnojení dusíkem a sírou má ekonomické a ekologické výhody, protože umožňuje lepší využití dusíku a omezuje kontaminaci spodních vod dusíkem. Nedostatek síry negativně ovlivní tvorbu odnoží, příjem dusíku, kvalitu zrna a hotového výrobku (Hřivna, 2012).



Graf 8: Podíl přístupné síry – S [mg/kg]

Průměrná koncentrace síry je nejvyšší ve slámě, následované kořeny a nejnižší se vyskytuje v zrně. Sláma se skládá ze sloučenin bohatých na síru. Z uvedených dat lze vyčíst, že nejvyšší průměrná koncentrace síry byla naměřena ve vzorcích slámy V I (1423 mg/kg), následovaný vzorky O a K II v slámě 1324 mg/kg a 1233 mg/kg).

Kořeny K II (1076 mg/kg) obsahují nejvíce síry, naopak kořeny O (811 mg/kg) nejméně.

V zrně se vyskytuje obsah síry v rozmezí od 59 mg/kg až do 145 mg/kg v závislosti na části rostliny a variantě hnojení.

Kořeny obsahují menší obsahy síry, protože slouží primárně k příjmu živin z půdy.

6 Diskuse

Výnosové prvky v rostlinné produkci se vyvíjejí postupně a jsou vzájemně propojené. Pšenice jarní má omezenou schopnost kompenzace, to znamená, že v případě poklesu jednoho výnosového prvku, nedokáže dostatečně kompenzovat úroveň následujících prvků. Tato schopnost je důležitá pro udržení rovnováhy v růstu a vývoje rostliny. Pokud je přesto omezena, může to vést ke snížení výnosu a kvality sklizně.

Diviš et al. (2010) uvádí, že potenciální produktivita klasů jarní pšenice se nachází v rozmezí 100–150 zrn, ale skutečný počet zrn v klasech při sklizni je 15–45. Výsledky zkoušek provedených Petrem a Lipavským (2002) ukazují, že moderní odrůdy jarní pšenice produkují mezi 25 až 36 obilkami v každém klasu. Varianta K II (45ks) měla nejvyšší průměrný počet zrn v klasu, a naopak nejnižší měla kontrolní varianta bez hnojení O (40ks). V našem pokusu jsme pozorovali vyšší hodnoty, způsobené možným nevědomým výběrem lepších klasů při sběru vzorků.

Diviš et al. (2010) uvádí, že obiloviny mají obvykle hmotnost tisíce zrn mezi 30 a 50 gramy. V pokusech provedených Petrem a Lipavským (2002) byla průměrná hmotnost tisíce zrn u nových odrůd jarní pšenice 38 gramů. Výzkumníci z ÚKZÚZ zjišťovali v roce 2022 užitné hodnoty ze sklizně jarní pšenice. U odrůdy pexeso dosáhli HTZ 45,5 gramů, které se v pokusu diplomové práce dosáhnout nepodařilo. K jejich výsledné hodnotě HTZ se nejvíce přiblížily varianty hnojené vermikomposty V I (42,35 g) a v II (42,31 g). Hodnoty hmotnosti tisíce zrn v provedeném experimentu jsou u kontroly a variant hnojených komposty o 0,5–1 g nižší. Nižší hodnoty hmotnosti tisíce zrn oproti experimentu ÚKZÚZ mohly být způsobeny vysokými teplotami (v květnu a červnu byla průměrná teplota okolo 19 °C), ale dostatkem srážek v červnu (132 mm) a na začátku srpna (99 mm) byl asimilační aparát podporován a nedošlo k rapidnímu snížení hmotnosti tisíce zrn. Podle Divíše et al. (2010) se hmotnost tisíce zrn obvykle pohybuje od 30 do 50 gramů, hodnot v určeném rozmezí bylo dosaženo u všech 5 variant.

Aechra et al. (2022) zkoumali vliv vermikompostu na fyzikálně-chemické vlastnosti půdy, na které byla pěstována pšenice setá. Pokus se odehrával na školním pozemku vysoké školy v Indii po dobu 2 let. Vermikompost z mléčné farmy byl rozmístěn náhodně ve 3 opakováních. Aplikáční dávka obsahovala 4 t/ha a byla zapravena do pole během setí a fáze kypření. V důsledku toho, přišli na to, že aplikace vermikompostu do půdy snížila hodnotu pH a EC. Snížení hodnoty pH u zeminy bylo zaznamenáno i ve výsledcích této diplomové práce.

Azarmi et al. (2008) provedli experiment s cílem zkoumání vlivu vermikompostu na vlastnosti půdy. Experiment byl proveden čtyřikrát, do 15 cm hloubky půdy bylo aplikováno množství vermikompostu (0, 5, 10 a 15 t/ha). Odběry vzorků a měření vlastností půdy proběhly tři měsíce po aplikaci vermikompostu a vzorky byly odebírány ze stejné hloubky, do které byly předtím aplikovány. pH bylo měřeno pomocí pH metru (CD 510, WPA) s elektrodou ze skla. Nejvyšší a nejnižší hodnoty pH byly pozorovány u množství vermikompostu 0 t/ha (pH 8) a 15 t/ha (pH 7,3). Po aplikaci vermikompostu do půdy došlo ke zvýšení obsahu přístupného fosforu, co pravděpodobně přispělo ke snížení pH. Tuto skutečnost potvrzuje i studie Atiyeh a kolegů (2001), kteří zjistili, že aplikace vermikompostu ve větším množství vedla ke snížení pH půdy.

Výzkumný tým s Azarmimim, Giglou, Taleshmikaillem (2008) se v roce 2007 věnovali zkoumání vlivu vermikompostu na obsah draslíku v půdě. Experiment byl proveden na

experimentální farmě v Íránu. Ovčí hnůj byl použit jako surovina pro výrobu vermikompostu, který byl aplikován v množství 0 (kontrola), 5, 10 a 15 t. ha⁻¹ a následně začleněn 15 cm do půdy. Experiment byl proveden čtyřikrát. Výsledky ukázaly, že po aplikaci vermikompostu v množství 5, 10 a 15 t. ha⁻¹ došlo ke zvýšení obsahu draslíku v půdě o 34, 46 a 58 % ve srovnání s kontrolní skupinou. Tedy čím větší množství vermikompostu bylo aplikováno, tím více se zvýšil obsah draslíku v půdě. Tyto výsledky ukazují, že vermikompost je účinným zdrojem draslíku pro půdu a může pomoci zlepšit jeho úrodnost a výživu rostlin.

V rámci studie provedené Aranconem, Ewardsem, Biermanem (2006) bylo zjištěno, že půdy obohacené vermikompostem z potravinových odpadů v množství 10 t. ha⁻¹ obsahovaly větší množství fosforu než kontrolní půdy obohacené pouze minerálními hnojivy. Toto pozorování naznačuje, že příjem fosforu do půdy z vermikompostu probíhal pomaleji, pravděpodobně díky aktivitě mikroorganismů v půdě, které postupně uvolňovali živiny z organických materiálů.

Yagi et al. (2003) sledovali v rámci své studie vliv vermikompostu a vápnění na obsah vápníku v půdě. Experiment byl proveden ve skleníku s použitím květináčů, kde bylo použito pět různých dávek vermikompostu (0, 28, 42, 56 a 70 t. ha⁻¹ sušiny) a pět různých úrovní vápnění (20, 30, 40, 50 a 60 % nasycení). Byla také vytvořena kontrolní varianta, kde byla použita pouze statková hnojiva. Každá úroveň byla opakována dvakrát. Vermikompost byl v tomto experimentu získán z hnoje mléčného skotu. Experiment probíhal po dobu 180 dní. Z výsledků bylo zjištěno, že použití vermikompostu vedlo ke zvýšení obsahu vápníku v půdě bez ohledu na úroveň vápnění a byl účinnější než použití statkových hnojiv.

Manivannan et al. (2009) provedli polní experiment, který měl za cíl porovnat účinnost vermikompostu a anorganických hnojiv NPK na obsah hořčíku v jílovité, písčité a červené jílovité půdě. Vzorky byly odebrány z hloubky 15 cm před aplikací hnojiv a po 75 dnech od aplikace (po sklizni fazolí). Z výsledků bylo zjištěno, že aplikace 100% vermikompostu (5 t. ha⁻¹) a 50% vermikompostu doplněného 50% NPK vedlo ke zvýšení obsahu hořčíku jak v jílovité, tak i v písčité půdě.

7 Závěr

Jarní pšenice tvoří jen malou část z obilovin pěstovaných v České republice, hlavně kvůli své kratší vegetační době, ve které se výrazně projeví negativní vliv počasí nebo využití nesprávné agrotechniky.

Ideální podmínky počasí k pěstování jarní pšenice jsou důležité, již od jejího setí, po celou dobu růstu. Pšenice vyžaduje dostatek vlhkosti a slunečního světla v průběhu vegetace až po příznivé podmínky při sklizni. Na celkový růst a výnosové prvky pšenice má mimo jiné vliv výběr odrůdy, protože některé (př. klasové nebo kompenzační) jsou náchylnější na špatné počasí. Použití správné agrotechniky může rovněž zajistit ideální výnos jarní pšenice.

Počasí při probíhajícím pokusu bylo v roce 2022 teplotně nadnormální úhrn srážek byl v normálu. Optimální podmínky v březnu zajistily výsev pšenice v nejvhodnější dobu, to přispělo k zajištění ideálního výnosu. Během dalších měsíců jsme pozorovali, jak počasí ovlivňuje výnos. Vyšší teploty v květnu a červnu mohly snížit tvorbu klásků a negativně ovlivnit odnožování rostliny pšenice. Výskyt vyšších úhrnů srážek v červnu srpnu mohl snížit objemovou hmotnost a samotnou hmotnost obilíků těsně před sklizní.

Maloparcelní pokusy nebyly žádným způsobem chemicky ošetřovány proti výskytu plevelů, které byly odstraněny ručním pletím. Vliv na výnos mohli mít aplikovaná hnojiva v podobě kompostů a vermikompostů z čistírenských kalů a nasávaných kartónových proložek, která zlepšila agrochemické vlastnosti půdy.

Po sklizni byl sledován počet zrn v klasu, délka klasu a hmotnost tisíce zrn (HTZ). U prvního výnosového prvku – počet zrn v klasu se nacházely vyšší hodnoty u variant hnojených komposty K II (45ks) a K I (43ks), oproti variantám hnojenými vermikomposty V II (42ks), V I (41ks) a kontrole O (40ks), nebyl zde viditelný markantní rozdíl.

Druhý výnosový prvek – délka klasu přesně neodpovídala počtu zrnům v klasu, zřejmě byla nepatrně zkreslena výběrem klasů. Nejdelší klasy měly varianty K I (7,77 cm), K II (7,73 cm). Ostatní varianty se pohybovaly přibližně u stejné průměrné hodnoty mezi 7-8 cm. Tudíž zde nebyl nalezen statisticky významný rozdíl ve výnos mezi variantami hnojenými vermikompostem a kompostem.

Poslední výnosový prvek – hmotnost tisíce zrn dosáhl průměrné hodnoty 42 gramů u všech variant. Tím se potvrdilo, že varianty hnojené komposty a vermikomposty zajistily vyšší výnos zrna i slámy pšenice. Nepatrná odchylka se objevila u varianty K I, která mohla být ovlivněna výskytem škůdců, plevelů, nebo špatnými podmínkami prostředí.

Výsledky výnosu pšenice hnojené vermikomposty a komposty se lišily na základě rozdílného původu čistírenského kalu použitého pro jejich produkci.

8 Literatura

Adhikary S. 2012. Vermicompost, the story of organic gold. A review. *Agric. Sci.* **13**:905–917.

Aechra S, Meena RH, Meena SC, Jat H, Doodhwal K, Singh-Shekhawat A, Kumar-Verma A, Jat L. 2022. Effect of biofertilizers and vermicompost on physico-chemical properties of soil under wheat (*Triticum aestivum*) crop. *Indian Journal of Agricultural Sciences* **92**(8): 991–995, August 2022/Article <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i8.111479>

Ali M., Griffiths AJ, Williams KP, Jones DL. 2007. Evaluating the growth characteristics of lettuce in vermicompost and green waste compost. *European Journal of Soil Biology* **43**:S316–S319.

Andersen A. 2001. Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge, Part 2—Regulatory Report, Dostupné z https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/sludge_disposal2.pdf

Karlsons A, Osvalde A, Andersone-Ozola U, Levinsh G. 2016. Vermicompost from municipal sewage sludge affects growth and mineral nutrition of winter rye (*Secale cereale*) plants. *Journal of Plant Nutrition*, **39**(6):765–780, DOI: 10.1080/01904167.2015.1087566

Arancon NQ, Edwards CA, Bierman P. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology* **97**(6):831 – 840.

Azarmi R, Giglou MT, Taleshmikail RD. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. *African Journal of Biotechnology* **7**(14):2397 – 2401.

Bourioug M, Alaoui-Sossé L, Laffray X, Raouf N, Benbrahim M, Badot, PM, Alaoui-Sossé B. 2014. Evaluation of sewage sludge effects on soil properties, plant growth, mineral nutrition state, and heavy metal distribution in European larch seedlings (*Larix decid*). *Arab. J. Sci. Eng.* **39**:5325–5335.

Černý J, Shejbalová Š, Kovářik J, Kulhánek M. 2014. Předset'ové a podzimní hnojení pšenice ozimé. *Agromanual*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime>

Diviš J, Jůza J, Moudrý J, Vondrys J, Bárta J, Štěrbá Z. 2010. pěstování rostlin - jihočeská univerzita v českých budějovicích: učební texty pro obor provozní podnikatel a pozemkové úpravy a převody nemovitostí, 260 s. ISBN 978-80-7394-216-8.

Domínguez J. 2004. State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. In: *Earthworm Ecology*, ed. C. A. Edwards, pp. 401–424. Boca Raton, FL: CRC Press.

Dume B, Hanč A, Švehla P, Michal P, Chane AD. 2022. Vermicomposting Technology as a Process Able to Reduce the Content of Potentially Toxic Elements in Sewage Sludge. *Agronomy* **12**:2049.

Edwards CA, Arancon NQ, Sherman RL. 2010. *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.

El Jawaher A, Dohaish B. 2020. Vermicomposting of Organic Waste with *Eisenia fetida* Increases the Content of Exchangeable Nutrients in Soil. *Pak. J. Biol. Sci.* **23**:501–509.

Ferreras L, Gomez L, Toresani S, Firpo I, Rotondo R. 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology* **97**: 635–640.

Foltýn J et al 1970. Pšenice. 1.vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 441s. 07-027-70.

Hamouz K et al. 1993. Cvičení z rostlinné výroby, Vyd. 1. Vysoká škola zemědělská Praha v nakladatelství a vydavatelství H&H, Jinočany, ISBN: 80-213- 0140-6, 240 s.

Hanišová A, Horčíčka P. 2002. Je jarní pšenice jen doplňkovou plodinou? Jarní pšenice – tematická příloha časopisu Úroda. Praha: Profi Press, s. 3-4. ISSN: 0139-6013

Horáková V, Schrieblová K. 2022. výsledky zkoušek užitné hodnoty ze sklizně 2022: pšenice jarní [spring wheat] triticum aestivum l. ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: národní odrůdový úřad

Hřivna, Luděk. 2012. Výživa a hnojení porostů pšenice ozimé a kvalita produkce. Družstvo vlastníků odrůd, Dostupné z: http://farmseed2.druvod.cz/files/aktuality/vyziva_a_hnojeni_porostu_psenice_ozime_a_kvalita_produkce.pdf

Cho BU, Ryu JY, Song BK. 2009. Factors influencing deflaking kinetics in repulping to produce molded pulp. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry.* **15**(1):119-123.

Janotová B, Boudný J. 2011. Mezinárodní srovnání ekonomiky v roce 2009. Pšenice – odborná příloha časopisu Úroda. Praha: Profi Press, **59**:17-20. ISSN: 0139-6013

Johnston AE. 2000. Soil and Plant Phosphate. International Fertilizer Industry Association. Paris. p. 46. ISBN: 2950629954.

Kocman JH. 2011. Médium papír. 1 vyd. Brno: VUTIUM. 87 s. ISBN 978-80- 214-4342-6.

Konvalina P, Moudrý J. 2008. Pěstování pšenice seté v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 27 s. ISBN 978-80-7394-131-4

Kopáčová O. 2007. Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha

Lalander CV, Komakech AJ, Vinnerås B. 2015. Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms—Kampala case study. *Waste Manag.* **39**:96–103.

Latare AM, Kumar O, Singh SK, Gupta A. 2014. Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice-wheat system. *Ecol. Eng.* **69**:17–24.

Lazcano C, Arnold J, Tato A, Zaller JG, Domínguez J. 2009. Kompost a vermikompost jako komponenty pěstebních květináčů: Účinky na růst a morfologii rostlin rajčat. *Rozpětí. J. Agric. Res.* **7**:944-951.

Lazcano C, Domínguez J. 2011. Využití vermikompostu v udržitelném zemědělství: Vliv na růst rostlin a úrodnost půdy. V půdních živinách; Arancon, NQ, Edwards, CE, Atiyeh, RM, Metzger, JD, Eds.; Nova Science Publishers: Hauppauge, NY, USA

Li X, Xing M, Yang J, Huang Z. 2011. Compositional and functional features of humic acid-like fractions from vermicomposting of sewage sludge and cow dung. *J. Hazard. Mater.* **185**:740–748.

Litschmann T. 2010. Měření půdní vlhkosti Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0075/um/Prednaska_Dr_Litschmann_PudniVlhkost.pdf.

Manivannan S. 2009. Effect of vermicompost on soil fertility and crop productivity - beans (*Phaseolus vulgaris*). ISSN 0254-8704. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/41396475_Effect_of_vermicompost_on_soil_fertility_and_crop_productivity_-_Beans_Phaseolus_vulgaris

Martin JH, Waldren RP, Stamp DL. 2006. Principles of field crop production. New Jersey: Pearson Education, nc., Upper Saddle River, 954s. ISBN: 0-13- 025967-5

Martínez KYP, Toso EAV, Morabito R. 2016. Production planning in the molded pulp packaging industry. *Computers & Industrial Engineering.* **98**:554-566.

Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 Soil Test Extractant: A modification of Mehlich 2 Extractant, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **15**:1409-1416

MENDEL.U. 2008. Mendelova univerzita v Brně, Morfologie obilnin. Dostupný z WWW: <http://old.mendelu.cz/~upsr/prezentace/obilniny/contents/morf_obil.html>.

Munroe G. 2007. Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture: Organic Agriculture Centre of Canada.

Novopol s.r.o. 2022. Pěnový polystyren a nasávaná kartonáž. Dostupné z <https://www.novopol.cz/nk.html>

Obal centrum s.r.o. 2022. Nasávaná kartonáž. Dostupné z <https://www.obalcentrum.cz/nasavana-kartonaz>

Pattnaik S, Reddy MV. 2010. Nutrient status of vermicompost of urban green waste processed by three earthworm species – *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae*, and *Perionyx excavatus*. Applied and Environmental Soil Science Article ID 967526, 13 pp.

Petr J, Húska J et al. 1997. Speciální produkce rostlinná – I. (Obecná část a obilniny). Česká zemědělská univerzita v Praze, Agronomická fakulta, 197 s. ISBN 80-213-0152-X

Petr J, Lipavský J. 2002. Tvorba výnosu jarní pšenice. Jarní pšenice - tematická příloha časopisu Úroda. Praha: Profi Press, s. 8-9. ISSN: 0139-6013

Peyvast G, Olfati JA, Madeni S, Forghani A. 2008. Vliv vermicompostu na růst a výnos špenátu (*Spinacia oleracea* L.). J. Food Agric. Environ. **6**:110–113.

Pokorný E, Šarapatka B, Hejátková K. 2007. Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, isbn 80–903548–5–8. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/26922/Hodnoceni_kvality_pudy.pdf.

Poláčková J. 2011. Dlouhodobý vývoj pěstování pšenice v ČR. Pšenice – odborná příloha časopisu Úroda. Praha: Profi Press, **59**:33-34. ISSN: 0139-6013

Kizilkaya R, Suheyda Hepsen Turkey F, Turkmen C, Durmus M. 2012. Vermicompost effects on wheat yield and nutrient contents in soil and plant, Archives of Agronomy and Soil Science, 58:sup1, S175-S179, DOI: 10.1080/03650340.2012.696777, <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.696777>

Richter R. 2004. Význam dusíku pro pšenici. Multimediální učební texty z výživy rostlin. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/a_index_biogen.htm

Ryant P. 2014. Význam draslíku pro pšenici. Výživa rostlin. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/pdf/biogenni_prvky/draslik_psenice.pdf

Ryant P. 2014. Význam dusíku pro pšenici. Výživa rostlin. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/pdf/biogenni_prvky/dusik_psenice.pdf

Ryant P. 2014. Význam hořčíku pro pšenici. Výživa rostlin. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/pdf/biogenni_prvky/horcik_psenice.pdf

Sánka M, Materna J. 2014. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR: edice PLANETA 2004 Odborný časopis pro životní prostředí. edice PLANETA 2004 Odborný časopis pro životní prostředí.

Sánka M, Vácha R, Poláková Š, Fiala P. 2018. Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd: Ministerstvo životního prostředí.

Situační a výhledová zpráva Půda, Ministerstvo zemědělství. 2009. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/45535/puda_11_2009.pdf

Sobotka M. 1958. Atlas obilnin československých povolených a rajonizovaných odrůd. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 279s.

Striegl M. 1987. Rostlinná výroba. Vysoká škola zemědělská Praha, Agronomická fakulta, 209 s.

Swati A. Hait S. 2018. A comprehensive review of the fate of the pathogens during vermicomposting of organic wastes. J. Environ. Qual. **47**:16–29.

Špaldon E at al. 1982. Rostlinná výroba. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 720 s.

Špaldon, Emil. 1986. Rostlinná výroba. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 714 s.

Tu, J.C.; Zhao, Q.J.; Wei, L.L.; Yang, Q.Q. Heavy metal concentration and speciation of seven representative municipal sludge's from wastewater treatment plants in Northeast China. Environ. Monit. Assess. 2012, **184**, 1645–1655. [CrossRef] [PubMed]

Vermicomposting. 2013. In: [Http://journeytoforever.org/](http://journeytoforever.org/). Dostupné z: http://journeytoforever.org/compost_worm.html

Wang D, Shi Q, Wang X, Wei M, Hu J, Liu J, Yang F. 2010. Vliv vermikompostu kravského hnoje na růst, obsah metabolitů a antioxidační aktivity čínského zelí (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*). Biol. Fertil. Půdy. **46**:689–696.

Yadav KD, Tare V, Ahammed MM. 2012. Integrated composting–vermicomposting process for stabilization of human faecal slurry. Ecol. Eng. **47**:24–29.

Yadav KD, Tare V, Ahammed MM. 2010. Vermicomposting of source-separated human faeces for nutrient recycling. *Waste Manag.* **30**:50–56.

Yagi R, Ferreira ME, Pessô de Cruz MC, Barbosa JC. 2003. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of limit, vermicompost and cattle manure. *Scientia Agricola.* **60**(3):549 – 557.

Zákony pro lidi Sbírka zákonů: Zákon č. 156/1998 Sb. Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-156>

Zhang Y, Duan C, Bokka SK, He Z, Ni Y. 2022. Molded fiber and pulp products as green and sustainable alternatives to plastics: A mini review. *Journal of Bioresources and Bioproducts.* **7**(1):14-25.

Zimolka J et al. 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. 1. vyd. Praha: Profi Press, 184 s. ISBN 80-86726-09-6.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

ÚKZÚZ – Ústřední kontrolní ústav zeměměřický

ČK – Čistírenský kal

MENDELU -Mendelova univerzita v Brně

10 Samostatné přílohy

Příloha č. 1: HTZ

varianta	1.měření	2.měření	3.měření	Průměrná HTZ (g)
O	41,9	41,2	42,27	41,79
K II	41,19	43,5	41,25	41,98
K I	41,77	40,8	41,67	41,28
V II	43,81	42,67	40,44	42,31
V I	42,17	41,9	42,99	42,35

Příloha č. 2: Počet zrn v klasu

varianta	1.opakování	2.opakování	3.opakování	průměr	Průměrný počet zrn na 1 klas
O	134	144	126	202	40
K II	148	145	152	223	45
K I	126	164	143	217	43
V II	130	162	131	212	42
V I	120	165	124	205	41

Příloha č. 3: Délka klasu

	O	K II	K I	V II	V I
1. měření					
1. klas	7,1	7,4	9	8,4	7,5
2. klas	7,5	7,4	7,7	6,8	7,7
3. klas	6,4	8,5	5,9	10	7
4. klas	6	6,9	7,2	6,6	6,2
5. klas	7,6	7,5	8	5,5	8,3
Průměr	6,92	7,54	7,56	7,46	7,34
2. měření					
1. klas	7,9	6,9	8,1	7,2	9
2. klas	8,2	8,3	8,3	7,9	7,8
3. klas	7,4	8	7,9	7,7	7,1
4. klas	8,2	8,2	8,1	7,2	8,3
5. klas	7,5	7,8	8,6	6,9	7,1
Průměr	7,81	7,84	8,2	7,38	7,86
3. měření					
1. klas	7,4	7	7,9	6,4	7,7
2. klas	7,1	7,1	7,5	6,8	7,9
3. klas	8,2	8,1	8	6,7	7,2
4. klas	7	7,9	7,4	6,5	7,8
5. klas	7,6	9	7	5,9	7
Průměr	7,46	7,82	7,56	6,46	7,52
Průměrná hodnota délky klasu (cm)	7,41	7,73	7,77	7,1	7,57