

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a rostlinné produkce**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv dlouhodobého hnojení na produkční schopnosti  
vojtěšky seté**

**Diplomová práce**

**Bc. Jakub Fryš  
Rostlinná produkce**

**prof. Ing. Josef Hakl, Ph.D.**

**© 2023 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv dlouhodobého hnojení na produkční schopnosti vojtěšky seté" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. dubna 2023

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce panu prof. Ing. Josefu Haklovi, Ph.D. za vstřícnost, ochotu, cenné rady a věcné připomínky při konzultacích a vypracování mé diplomové práce.

# Vliv dlouhodobého hnojení na produkční schopnosti vojtěšky seté

## Souhrn

Diplomová práce hodnotí vliv dlouhodobého organického a minerálního hnojení u vojtěšky seté na její výnos, výnosotvorné prvky a zdravotní stav a morfologii kořenového krčku a kořenového systému. V práci je hodnocen vliv 12 variant hnojení, kde jsou čtyři varianty organického hnojení (nehnojená varianta, stakový hnůj, kejda a kejda se slámou) kombinovány se třemi úrovněmi minerálního hnojení (N0, N1, N4). Data byla vyhodnocena analýzou rozptylu v programu STATISTICA. Výsledky ukázaly vliv organického hnojení na výrazné zvýšení výnosu sušiny ve všech sečích oproti nehnojené variantě. Dále byla zaznamenána podpora rozvoje kořenového systému (vyšší hmotnost kořenů a větší průměr hlavního kořene) a dosažení větší délky lodyh (i průměrné výšky porostu), kdy zlepšení těchto dvou parametrů přímo koresponduje s navýšením výnosu sušiny. Nejvyššího celkového výnosu bylo dosaženo při hnojení statkovým hnojem v kombinaci se střední dávkou minerálního hnojiva N1. Minerální hnojení při absenci organických hnojiv mělo minimální vliv na výnos sušiny. Naopak intenzivní minerální hnojení N4 mělo za následek snížení počtu rostlin a lodyh i hmotnosti kořenů a kořenových krčků na m<sup>2</sup>.

Výsledky ukazují vliv dopadů dlouhodobého managementu hnojení na vojtěšku, kdy aplikace organických hnojiv podporuje rozvoj kořenového systému rostlin, což má pozitivní vliv i na celkové výnosy sušiny.

**Klíčová slova:** víceleté pícniny, vojtěška, dlouhodobé hnojení, hnůj, kejda, minerální hnojení

# **Impact of long-term organic and mineral fertilization on the lucerne yield**

## **Summary**

The diploma thesis evaluates the effect of long-term organic and mineral fertilization of alfalfa on its yield, yield-generating elements and the health status and morphology of the root neck and root system. The work evaluates the influence of 12 variants of fertilization, where four variants of organic fertilization (unfertilized variant, farmyard manure, slurry and slurry with straw) are combined with three levels of mineral fertilization (N0, N1, N4). Data were evaluated by analysis of variance in the STATISTICA program. The results showed the effect of organic fertilization on a significant increase in dry matter yield in all cuttings compared to the unfertilized variant. Furthermore, support for the development of the root system (higher weight of the roots and a larger diameter of the main root) and the achievement of a longer stem length (also the average height of the stand) were recorded, when the improvement of these two parameters directly corresponds to an increase in dry matter yield. The highest total yield was achieved when fertilizing with farmyard manure in combination with a medium dose of mineral fertilizer N1. Mineral fertilization in the absence of organic fertilizers had a minimal effect on dry matter yield. Conversely, intensive N4 mineral fertilization resulted in a reduction in the number of plants and stems as well as the weight of roots and root necks per m<sup>2</sup>.

The results show the impact of long-term fertilization management on alfalfa, when the application of organic fertilizers supports the development of the plant's root system, which also has a positive effect on total dry matter yields.

**Keywords:** perennial fodder, alfalfa, long-term fertilization, manure, slurry, mineral fertilization

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1 Charakteristika vojtěšky seté</b> .....	<b>9</b>
3.1.1 Botanická charakteristika.....	10
3.1.2 Využití píce a ekosystémové služby vojtěšky seté .....	11
3.1.3 Zakládání, ošetřování a využívání porostů vojtěšky seté .....	14
<b>3.2 Hnojení vojtěšky seté a jeho vliv na výnos</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3 Vliv hnojení na kvalitu píce vojtěšky</b> .....	<b>21</b>
<b>4 Metodika</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1 Charakteristika místa pokusu</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2 Polní pokus</b> .....	<b>23</b>
<b>4.3 Odběr vzorků a měření</b> .....	<b>25</b>
<b>4.4 Statistická analýza</b> .....	<b>26</b>
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>27</b>
<b>5.1 Vliv hnojení na morfologické znaky kořene</b> .....	<b>27</b>
<b>5.2 Vliv hnojení na strukturu porostu v jednotlivých sečích</b> .....	<b>29</b>
<b>5.3 Vliv hnojení na roční výnos sušiny</b> .....	<b>32</b>
<b>6 Diskuze</b> .....	<b>33</b>
<b>7 Závěr</b> .....	<b>35</b>
<b>8 Literatura</b> .....	<b>36</b>
<b>9 Seznam použitých zkratk a symbolů</b> .....	<b>41</b>
<b>10 Samostatné přílohy</b> .....	<b>I</b>

# 1 Úvod

Vojtěška setá představuje předního zástupce skupiny plodin, jež jsou v ČR pěstovány především pro krmné účely. Její výměra se pohybuje na zhruba 75 tis. hektarech a je nedílnou součástí produkce bílovinných krmiv pro živočišnou výrobu. Výroba objemných krmiv však není jedinou výhodou této plodiny, neboť její funkce a potenciál tkví i v osevních postupech, kde figuruje jako zúrodňovací složka a vhodný přerušovač obilných sledů. Jelikož zanechává v půdě značné množství posklizňových zbytků, příznivě tak ovlivňuje výnos následných plodin. Další funkce vojtěšky jako je ochrana půdy před erozí, schopnost fixovat vzdušný dusík, fyto-sanitární účinky jen podtrhují potenciál a vhodnost zařazení této plodiny do osevních postupů zemědělců.

Pěstování vojtěšky seté je velice komplexní téma, kdy je nutné mít znalosti v botanice, zoologii, chemii a také chápat problematiku základů agrotechniky, založení porostu, sklizně a následného zpracování píce a také hnojení a výživu rostlin.

Studie vlivu hnojení na vojtěšku se obvykle zaměřují na účinky přímé aplikace fosforu a draslíku v různých kombinacích. Vliv hnojení dusíkem na vojtěšku je zkoumán jen okrajově, neboť hnojení dusíkem je pro plodinu méně důležité z důvodu schopnosti rostliny fixovat atmosferický dusík pomocí hlízkových bakterií. Existuje však jen minimum studií, které by se zabývaly dlouhodobými účinky organického a minerálního hnojení na vojtěšku.

Cílem práce je tedy porovnat zejména dlouhodobé účinky kombinací organického a minerálního hnojení na strukturu porostu, stavbu kořenového systému a výnos píce.

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

Cílem práce bylo analyzovat vliv dlouhodobého organického a minerálního hnojení na výnos, výnosotvorné prvky píče a parametry kořenového systému vojtěšky seté.

Hypotéza: Aplikované dlouhodobé organické a minerální hnojení ovlivňuje výnos vojtěšky seté a má příznivý vliv na kořenový systém rostliny.



## 3 Literární rešerše

### 3.1 Charakteristika vojtěšky seté

Vojtěška setá (*Medicago sativa* L.) je bobovitá víceletá hluboko kořenící pícnina s cennými hospodářskými vlastnostmi, pro které je široce využívána jako krmná, ale i meliorační plodina a plodina zlepšující strukturu a celkovou úrodnost půdy (Hrabě et al. 2004).

Vojtěška patří mezi nejstarší kulturní plodiny. Využívána byla již před 2500 lety v oblasti Persie. Stepní původ ovlivnil její příznivé charakteristiky, kam patří mrazuvzdornost nebo suchovzdornost (Klesnil 1978).

Ke klimatickým podmínkám při pěstování na píci je vojtěška značně přizpůsobivá, rozhodujícím ekologickým faktorem jsou půdní podmínky (Skládanka et al. 2014). Daří se jí v sušších podmínkách, na půdách s dostatečnou hloubkou podorniční vrstvy (Klesnil 1978). Skládanka et al. (2014) dále uvádí, že nejlépe jí vyhovují půdy jílovitohlinité, hlinité až písčitoohlinité, z půdních druhů černozemě, rendziny, hnědozemě, nivní a lužní půdy. Méně vhodné jsou půdy jílovité i písčité, oglejené i glejové. Předpokladem jejího pěstování je optimální poměr vody a vzduchu v půdě, propustnost spodiny a nižší (1,5 m od povrchu) hladina podzemní vody. Vyžaduje půdy kypřejší, s hlubokou strukturní spodinou, vyšším obsahem vápníku, pH 6,6 – 7,2, a snáší i sušší stanoviště s nízkou hladinou spodní vody (pod 1500 mm), (Zimolka et al. 2008).

Telievová (2013) upozorňuje, že význam vojtěšky nespočívá pouze ve zdroji kvalitního krmiva, ale i jako zúrodnující prvek osevních postupů. Její předplodinová hodnota spočívá nejen ve fixaci vzdušného dusíku, ale i v akumulaci živin ze spodnějších vrstev a obohacení půdy o organickou hmotu. Velmi cennou vlastností jetelovin, zejména vojtěšky v nížinných oblastech, je vysoká výnosová stabilita (Šnobl et al. 2007). Vojtěška setá se využívá především v čisté kultuře při pěstování na 2 až 3 užitkové roky při třech sklizních v roce převážně ve výrobní oblasti kukuřičné a řepařské (Hrabě & Buchgraber 2004). Zde je pro produkci kvalitní píce vedle kukuřice rozhodující pícninou. Menší uplatnění má vojtěška v příznivých podmínkách bramborářské výrobní oblasti (Šnobl et al. 2007).

Z víceletých pícnin především jeteloviny mají nezastupitelný význam nejen pro zvyšování úrodnosti půdy a produktivnosti osevních postupů (zvyšují a stabilizují výnos následných plodin), ale i z hlediska celkové bilance dusíku v zemědělské výrobě. Právě pro tyto vlastnosti bylo zavedení jetelovin do osevních postupů jako významných obnovitelných zdrojů transformace slunečního záření oprávněně považováno za jedno z nejblahodárnějších počínů lidstva počátku 19. století (Šnobl et al. 2007).

Vojtěška je hojně pěstována v různých oblastech a na více než 32 milionech hektarů na celém světě kvůli jejím kvalitativním hodnotám píce, živin a vysoké produkci biomasy (Veronesi et al. 2010; Xie et al. 2013). Hlavní oblasti produkující vojtěšku jsou Severní Amerika s 11,9 miliony ha (41%), Evropa se 7,12 miliony ha (25%), Jižní Amerika se 7 miliony ha (23%), Asie 2,23 milionů ha (8%), Afrika (2%) a Oceánie (1%) (Yuegao & Cash 2009).

Když pohlédneme na aktuální výměru osetých ploch vojtěškou v ČR (Tab. 1) zjistíme, že vojtěška je nyní u nás pěstována na zhruba 75 tis. hektarech (ČSÚ 2023). Pokud se však ohlédneme do minulosti, zjistíme že v 80. letech minulého století byla výměra téměř dvojnásobná. Hlavním důvodem poklesu zde byla změna politického režimu a navazující

transformace zemědělství – úbytek živočišné výroby, chov skotu na ústupu a tím spojené snížení ploch krmných plodin.

Tabulka 1 - Vývoj ploch osevů (ČSÚ 2023)

Plodina	1980	1990	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Osevní plocha celkem	3 317 831	3 270 963	3 020 564	2 657 881	2 495 859	2 488 141	2 480 655	2 476 922	2 468 700	2 457 465
Pícniny na orné půdě celkem	1 019 962	1 099 907	725 252	491 881	406 450	423 050	436 482	436 354	452 427	458 266
Víceleté pícniny celkem	563 690	505 381	417 008	220 918	181 299	179 849	173 323	171 325	168 824	177 373
Jetel luční (červený)	147 323	192 588	93 389	57 635	44 900	43 285	42 935	43 376	43 549	49 091
Vojtěška	135 789	155 818	102 070	83 626	65 821	61 177	56 006	55 884	57 357	57 074

Plodina	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Index (%)		
								2022/2021	2022/2010	2022/2000
Osevní plocha celkem	2 463 854	2 471 545	2 460 939	2 461 707	2 461 865	2 452 133	2 455 567	100,1	98,4	81,3
Pícniny na orné půdě celkem	484 835	465 391	468 328	498 628	515 335	506 796	467 363	92,2	115,0	64,4
Víceleté pícniny celkem	183 943	189 507	193 199	207 958	219 062	223 551	210 144	94,0	115,9	50,4
Jetel luční (červený)	54 041	59 778	60 020	59 198	56 708	57 317	55 731	97,2	124,1	59,7
Vojtěška	60 052	62 508	65 412	74 896	79 404	80 077	75 328	94,1	114,4	73,8

### 3.1.1 Botanická charakteristika

Stepnímu původu rostliny odpovídá morfologie kořene. Větvený silný hlavní křlový kořen proniká hluboko do půdy. (Pelikán et al. 2012), dosahující při jarní setbě na podzim v roce výsevu až 1,5 m a v pozdějších letech dosahuje značných hloubek 5 i více metrů, což vojtěšce umožňuje si dobře osvojovat vodu i živiny (Šantrůček 2001). Boční kořeny vytvářejí množství tenkých kořínků, rozložených především ve vrchní vrstvě půdy a tvořících hustou síť. Na tenkých kořínkách nacházíme hlízký, jejichž pletivo je vyplněno bakteriemi schopnými fixovat vzdušný dusík (Hrabě et al. 2004). Kořenová hmota se po zaorání pomalu rozkládá v celém půdním profilu (Skládanka et al. 2014).

U vojtěšky je s ohledem na její stepní původ vyvinutá tzv. kořenová kontrakce, kdy dochází k zatahování odnožovací zóny s pupeny - kořenového krčku - do půdy. Kořeny i kořenový krček bývají často napadeny chorobami houbového původu i bakteriálními, které snižují výnosnost, životnost rostliny a tím i vytrvalost porostů.

Vojtěška klíčí již při 5 °C, při teplotě půdy 10 – 12 °C vzchází za 7 – 10 dní. Snese mrazy až -25 °C a pod sněhovým příkrovem teploty až do -40 °C (Šnobl et al. 2007). Vojtěška je mrazuvzdorná, ale mráz může poškodit povytažený kořenový krček. S postupným stárnutím rostliny vojtěšky je kořenový krček vtahován do půdy. Hlubší zatažení kořenového krčku do půdy podmiňuje vyšší odolnost vůči vyzimování (Hrabě et al. 2004). Kořenový krček je zatahován do půdy, ročně o 10 mm a ve srovnání s jetelem lučním (*Trifolium pratense* L.) je hlubší. (Pelikán et al. 2012). Vytrvalost rostlin vojtěšky je značná a může činit 10 – 15 let (Šnobl et al. 2007). Skládanka et al. (2014) dále konstatuje, že vytrvalost vojtěšky závisí na odolnosti a životaschopnosti kořenového krčku a na něm rozložených pupenů. Porosty se většinou

využívají po dva užitkové roky, ale doba využití může být prodloužena. Pokud chceme prodloužit vytrvalost vojtěšky, tak je třeba zachovat odstup mezi předposlední a poslední sečí v délce min. 7 týdnů.

Na kořenovém krčku se zakládají pupeny, ze kterých se následně vytvářejí lodyhy. Pupeny se zakládají na kořenovém krčku ve vertikální poloze (Skládanka et al. 2014). Šnobl et al. (2007) upozorňuje, že pro iniciaci růstu lodyh z pupenů potřebuje vojtěška prokypřenou půdu. Ostatní lodyhy mohou vyrůst nejen z pupenů, ale v jarním období i z přezimujících zkrácených výhonků, případně z nodů lodyh strniště po sečích (10 % počtu lodyh). Při obrůstání na jaře a po seči lodyhy rostou pomalu a vytvářejí přízemní růžici. Počet lodyh na rostlině je závislý na podmínkách prostředí, včetně hustoty porostu. Lodyh na rostlině může být od 2 – 3 do několika desítek na jedné rostlině. Vojtěška má vynikající kompenzační schopnost. V řidších porostech mají rostliny vyšší počet lodyh. Vojtěška netvoří lodyhy pouze z pupenů na kořenovém krčku, ale i z pupenů které se vytváří v paždí listů. Čím vyšší je strniště, tím rychlejší a vyšší je tvorba výhonů ze zásobních pupenů (Hrabě et al. 2004). Lodyhy jsou přímé i vystoupavé, lysé (Skládanka et al. 2014) a rostou vzpřímeně nebo polovzpřímeně a mohou dosáhnout délky přes 1 metr (Hrabě et al. 2004).

Listy trojčetné, lístky v horní třetině na obvodu zubaté, prostřední lístek na delším řapíčku. (Pelikán et al. 2012).

Květenstvím je hrozen, květy jsou modrofialové. V populacích se vedle cizosprašných jedinců vyskytují také jedinci samosprašní. Opylovací mechanismus květů je pružinový. K cizosprašení je třeba uvolnění pestíku a tyčinek, které jsou zachyceny v člunku. Toto uvolnění vyvolá hmyz (Pelikán et al. 2012). Vojtěšku může opylovat včela medonosná, ale nejlepšími opylovači jsou samotářsky žijící včely. Vojtěška setá je tetraploidní ( $4n = 32$ ). Plodem je vícesemenný lusk (Skládanka et al. 2014).

### 3.1.2 Využití píce a ekosystémové služby vojtěšky seté

Pod způsobem využívání rozumíme způsob sklizně porostů ve vztahu k jeho následnému krmivářskému využití, tj. produkci čerstvého krmiva, k silážování, na výrobu sena. Mimo základních způsobů využívání, tj. kosení, spásání, střídavé využívání, nabývá na významu i problematika mulčování, eventuálně zeleného úhoru (Hrabě et al. 2004).

Způsoby využívání lze hodnotit podle účelu produkce (zelené krmení, pastva, siláž, seno, úsušky), vytrvalosti pícniny (počtu produkčních let) nebo frekvence sklizně (kolikrát ročně). Již z názvu víceleté pícniny je patrné, že budou využívány více let (Šantrůček et al. 2001).

Hlaváčková & Mudřík (2012) uvádí, že pícniny mají nejen svůj mimoprodukční význam pro zúrodnění půdy, ale jsou i významnou složkou objemných krmiv pro přežvýkavce. Z důvodů fyziologických a ekonomických vědecky opodstatněná výživa přežvýkavců tkví v píci z travních porostů a na pícninách pěstovaných na orné půdě, zkrmována buď v čerstvém stavu, nebo v konzervovaném stavu.

Výroba objemných krmiv působí na intenzitu rostlinné výroby i nepřímo přes živočišnou výrobu, a to množstvím a kvalitou statkových hnojiv, hlavně chlévského hnoje. Tím se vrací

do koloběhu živiny, které jsou důležitým činitelem pro zvyšování úrodnosti orné půdy (Skládanka et al. 2014).

Jak uvádí Goss et al. (2013) vývoj metod pro zdravou a produktivní půdu, která poskytuje základní živiny pro růst rostlin, podporuje rozmanitá a aktivní půdní biotická společenstva a vyvažuje celý ekosystém farmy, je jednou ze základních filozofií eko-organických výrobních systémů.

Leguminózy přispívají k udržitelnosti zemědělství z mnoha důvodů: omezují minerální hnojiva, čímž snižují produkci  $N_2O$  a zvyšují fixaci  $N_2$ , obnovují a obohacují půdní úrodnost díky svým hluboko zasahujícím kořenovým systémům, rychle rozkládají jejich kořenovou biomasu a hromadí se v půdě (Luscher et al. 2014; Kusvuran et al. 2014). Staly se velmi populární v udržitelných pěstebních postupech, protože fixují atmosférický dusík, který lze přenést do následné plodiny prostřednictvím mineralizace zbytků (Luscher et al. 2014). Biologická fixace dusíku je hlavním zdrojem dusíku, který je přímo využíván rostlinami. Mnoho legumióz může získat 50 až 80 % své potřeby dusíku prostřednictvím biologické fixace, což umožňuje snížit spotřebu dusíkatých hnojiv a zlepšit výživu rostlin dusíkem z hlediska životního prostředí (Pachev et al. 2009). Rozvoj udržitelného zemědělství a ochrana agroekosystémů je hlavní vizí národních strategií v mnoha zemích.

Vojtěška je již dávno uznávána a ceněna jako plodina pro zlepšení stavu půdy. Tato plodina má schopnost akumulovat výrazně více dusíku než jiné plodiny prostřednictvím svého hlubokého zakořeňovacího systému a fixovat atmosférický  $N_2$  od 40 do 80 % celkového rostlinného dusíku prostřednictvím biologické fixace dusíku (Jarvis 2005). Biederbec et al. (2005) zjistili, že vojtěška asimiluje až 80 % rostlinného dusíku z atmosféry a symbioticky fixuje až 300 kg N/ha. Její kořeny sahaly do hloubky 50 m a je považována za nejodolnější plodinu vůči suchu. Je mnohem účinnější při zlepšování kvality půdy nejen kvůli jejímu velkému a hlubokému kořenovému systému, ale také kvůli delší době růstu a větší kapacitě pro fixaci dusíku a tím vyžaduje malé množství nebo žádné dusíkatého hnojiva.

Vojtěška se svými hlubokými kořeny a vysokou spotřebou vody dokáže efektivně využít přebytečnou vodu (Biederbec et al. 2005). Vysetí vojtěšky ve směsích s travami nebo v monokultuře, nejen obohatí půdu z hlediska organické hmoty, ale pomůže také při fyzikálním a chemickém zlepšení půdy (Kusvuran et al. 2014). Pronikání kořenů vojtěšky zlepšuje i vnitřní odvodnění půdy a zlepšuje provzdušnění půdy, a tím zlepšuje jak symbiotickou fixaci dusíku, tak aktivitu volně žijících fixátorů dusíku v půdě. Biederbec et al. (2005) potvrzují zvýšený výnos pšenice během pozdějších let také díky zlepšení fyzikálních vlastností půdy vojtěškou.

Při zařazení jetelovin na 2 – 3 roky je patrný zúrodnovací efekt (Zimolka 2008). Jak dále uvádí Procházková (2011) z výsledků dlouhodobých pokusů i ze zkušeností správné zemědělské praxe vyplývá, že vliv zlepšujících předplodin se vysoce kladně promítá na výnosech následné plodiny. Pícniny jsou klíčem zajišťující biodiverzitu v intenzivních agroekosystémech.

Tato plodina je důležitá pro zvýšení úrodnosti půdy, na které se pěstuje. Dochází k tomu proto, jelikož pokaždé, když jsou rostliny posekány, odpovídající množství kořenového systému odumře a poskytuje půdě organickou hmotu, kterou mohou půdní mikroorganismy okamžitě rozložit. Jak rostliny regenerují po seči, kořeny znovu rostou a shánějí živiny hlouběji. S každou další sečí se vytváří více humusu. Přidávání organických materiálů různého původu do půdy je jedním z nejběžnějších postupů pro zlepšení fyzikálních vlastností půdy.

Nejvíce kořenových zbytků a živin (N, P, K, Ca) obsahují krmné obilniny (žito, jarní ječmen) a luštěniny v luskoobilných směskách, ale hlavně víceleté pícniny (Skládanka et al. 2014). Křen et al. (2015) dále doplňuje, že posklizňové zbytky víceletých pícnin jsou velmi kvalitní humusotvorný materiál, který se rychle v půdě rozkládá a příznivě ovlivňuje výnosy následných plodin. Poměr C:N kořenových i strništních zbytků je velmi úzký, kořenové výměšky a meziprodukty rozkladu posklizňových zbytků působí příznivě na rozvoj půdní mikroflóry.

Skládanka et al. (2014) upozorňuje, že je nutné si uvědomit, že hodnota každé pícniny není jen v její hospodářské úrodě, ale i v působení v ekosystému orné půdy. Na to se většinou zapomíná. Také použití pícních porostů na zelené hnojení s cílem alespoň udržet půdní úrodnost (mj. struktura, živiny v půdě) v době nedostatku organických hnojiv je velmi aktuální. Zásada starých sedláků - „kde pěstují jeteloviny, tam nemusím používat hnůj“ - se stává v současné době čím dál aktuálnější (Šantrůček 2001).

Hlavní složkou udržitelného zemědělství je udržení produktivity a zlepšení kvality půdy. Zvýšená pozornost je nyní věnována vývoji takových systémů výživy rostlin, které udržují nebo zvyšují produktivitu půdy prostřednictvím vyváženého používání minerálních hnojiv v kombinaci s organickými zdroji rostlinných živin, včetně biologické fixace dusíku (Singh et al. 2012; Dwivedi 2014).

Z hlediska energetické efektivity je významné, že k vysoké produktivitě nevyžadují dusíkaté hnojení, které u jiných nevikvovitých pícnin představuje až 70 % celkových energetických vkladů. Rhizobia pracují mnohem efektivněji než neefektivnější technologie výroby dusíkatých hnojiv (Šnobl et al. 2007).

Jeteloviny zvyšují také tzv. antifytopatogenní potenciál půdy. Hluboký kořenový systém vynáší fosfor a draslík z podzemních vrstev a po mineralizaci jsou dostupné dalším rostlinám (Smatanová & Němec 2013). Atmosféra obsahuje 78 % dusíku, ale tento dusík není přístupný pro všechny rostliny (Snyder & Leep 2007). Právě proto je hlavní výhodou jetelovin, především vojtěšky a jetele patřící do čeledi bobovitých nebo také leguminóz, jejich bohatá kořenová biomasa. (Beever & Thorp 1998; Smatanová & Němec 2013). Jeteloviny působí i melioračně, po kořenech zanechávají v půdě kanálky pro prosakování srážkové vody a provzdušňování půdy v hlubších profilech. Jeteloviny potlačují i plevely svým zapojeným porostem (Křen et al. 2015).

V zásadě mají leguminózy vysoký obsah dusíku oproti trávám, a podílí se tak na bílkovinné části výživy zvířat (Moser & Jennings 2007). Šarapatka & Urban (2006) také uvádí, že tato skupina plodin má fytosanitární účinek, protože dokáže ovlivnit některé patogeny, např. choroby pat stébel, výskyt hádátka řepného. Při častějším sečení u dvouletých a tříletých jetelovin je zaznamenáno omezení plevelů. Vliv jetelovin je patrný i v potlačení výskytu ovsa hluchého (Šarapatka & Urban 2006). Hrabě et al. (2004) pak potvrzuje, že víceletost a vícesečnost omezuje výskyt plevelů a minimalizuje vstupy herbicidů a pesticidů. Konkurenční efekt víceletých pícnin k plevelům je v průběhu vegetace značně variabilní. Při počátečním růstu jetelovin je konkurenční schopnost nízká, protože jeteloviny rostou pomalu. Po zapojení porostu konkurenční schopnost vzroste díky rozvinutému kořenovému systému a rychlému přírůstku fytomasy. Se stárnutím porostu se vlivem mezerovitosti zase konkurenční schopnost snižuje (Dvořák & Smutný 2011).

Význam víceletých i krátkodobých jetelovin, jetelotrav a též jednoletých meziplodin je nutno zdůraznit i v omezení eroze půdy (Hrabě et al. 2004). Protierozní funkce pícních porostů je zajištěna celoročním pokryvem půdy, který zpomaluje odtok srážkové vody a zvyšuje její vsakování. Tak je zajištěna ochrana půdy v inundačních (záplavových) oblastech vodních toků a částečně tak omezení jejich zanášení a eutrofizace (Šantůček et al. 2001).

Pěstování některých víceletých pícnin na orné půdě může plnit i další významnou roli – prostředku k dočasné „konzervaci“ půdy (ukládání do klidu), jako zálohy pro její budoucí intenzivní využití. V dohledné budoucnosti se počítá s jejich využitím k energetickým účelům v závislosti na řadě faktorů, mj. na množství spalného tepla a dalších. Svůj velký význam mají v revitalizaci krajiny, ozeleňování výsypek, popílkovišť a další (Šantůček et al. 2001).

Tauferová et al. (2014) dodává, že v neposlední řadě mohou mít některé jeteloviny pěstované u nás význam také jako výchozí surovina pro výrobu přirozených pesticidů, biohnojiv, pro farmaceutický průmysl a podobně.

### **3.1.3 Zakládání, ošetřování a využívání porostů vojtěšky seté**

Vysoký výnosový potenciál a mimoprodukční působení našich nejdůležitějších jetelovin, vojtěšky seté a jetele lučního, se může projevit pouze v dostatečně hustých, dobře zapojených, kompletních porostech. Nekompletní porosty kromě toho, že zaostávají ve výnosech, vytvářejí prostor pro rozšiřování plevelů, poutají méně dusíku, hůře plní funkci podpory půdní úrodnosti, zanechávají v půdě méně organické hmoty a mají nižší předplodinovou hodnotu. O hustotě a kompletnosti porostů víceletých jetelovin se rozhoduje již při jejich zakládání (Gregorová 2001).

Při běžné agrotechnice zařazujeme vojtěšku hlavně po obilovinách, směskách apod. Po vojtěšce zařazujeme ozimy i jařiny. V osevních postupech následuje vojtěška po sobě obvykle za pět roků a déle (Šnobl et al. 2007). Sama je dobrou předplodinou pro plodiny, kterým nemůže množství zanechaného dusíku škodit (Vymětal & Římovský 1986). Teliefová (2013) uvádí, že díky hlízkovým bakteriím může přijmout až 90 % přijatelného dusíku.

Obecně platí, že jeteloviny, meziplodiny (krmné nebo zelené hnojení) jsou velmi významnými komponenty osevních postupů. Jetel a vojtěška jsou základními kameny osevních postupů (Konvalina et al. 2007). Krejčíř (1990) však udává, že pro plné využití předplodinové hodnoty jetelovin, je velmi důležitým faktorem doba a způsob zaorávky porostu jetelovin. Pozdní termín zaorávky se nedoporučuje z důvodu rozkladu organické hmoty posklizňových zbytků až v příštím roce na jaře, kdy by už následná plodina nevyužila pozitivních účinků, především uvolňovaného dusíku. Zaorání jetele či jetelotrávy většinou vyhovuje po druhé seči. Naopak vojtěška či vojtěškotrávy po včasné třetí seči, popř. v sušších oblastech po druhé seči. Příznivá předplodinová hodnota jetelovin může být snížena, pokud se řídké porosty zaplevelí, utuží-li se půda za mokra (denní sečení zeleného krmení) nebo přeschne-li do značné hloubky v suchém roce. Pro následnou plodinu jsou jeteloviny vhodnější než luskoviny na zrno (Konvalina et al. 2007).

Vojtěška se využívá hlavně pro pěstování píce na orné půdě, většinou jako monokultura. Může se pěstovat také ve vojtěškotravních nebo vojtěškojetelotravních směsích. V lučních a pastevních porostech se využívá v malé míře.

Ke klimatickým podmínkám při pěstování na píci je vojtěška značně přizpůsobivá, rozhodujícím ekologickým faktorem jsou půdní podmínky. Výroba semene vojtěšky v ČR byla vždy omezena na menší část pěstitelského areálu (2-6 %), než je tomu při pěstování na píci. Poskytuje jistější výnosy semene v kukuřičném výrobním typu, kdežto v řepařském na půdách bohatěji zásobených živinami často dochází k nadměrnému vegetativnímu rozvoji a zpravidla k polehnutí porostu.

Pro vojtěšku na semeno je nutné při mikrorajonizaci vybírat pozemky s jižní expozicí v blízkosti remízků, mezí, lučních porostů, lesů (hnízdíště divokých opylovačů), optimálně s jižní až jihozápadní expozicí s lehčími karbonátovými půdami s propustnou spodinou, nízkou hladinou spodní vody, nevysychavé a nezadržující dlouho vláhu. Pozemky s půdou písčito-hlinitou až hlinito-písčitou, kypré, výřevné s neutrální až slabě alkalickou reakcí a obsahem humusu 1-2 %, které jsou pro semenářství vojtěšky vhodné, nemají být v uzavřených kotlinách (Šantrůček 2007).

Porosty vojtěšky je možné zakládat čistosevem nebo do krycí plodiny. Z jařin je nejčastěji používanou krycí plodinou jarní ječmen, jarní pšenice a oves setý (Římovský et al. 1989). Volba krycí plodiny významně ovlivňuje vývoj podsevové plodiny. Nejlepšími krycími plodinami jsou oves nebo oves s peluškou sklizený od sloupkování do mléčné zralosti, jarní pšenice s hrachem apod. (Konvalina et al. 2007). Rovněž ve výjimečných případech lze založit prosty podsevem do ozimů (na jaře). Výhodou tohoto způsobu založení je skutečnost, že v roce výsevu je produkce zrna a slámy krycí plodiny zabezpečena požadovaná intenzita rostlinné produkce z jednotky plochy a nižší zaplevelenost podsevu (Římovský et al. 1989). Konvalina et al. (2007) doplňuje, že přínosem podsevu je i využití prostoru, snížení evaporace i eroze, redukce plevelů i ostatních škodlivých činitelů. Po sklizni hlavní plodiny je podsev již zapojený, může rychle růst. Pro podsevy jsou vhodné plodiny rostoucí zpočátku pomalu (Konvalina et al. 2007).

I když se stále nejčastěji používá tradiční způsob zakládání porostů jetelovin setím na jaře do krycí plodiny na zelené krmení nebo bez krycí plodiny, za předpokladu dobrých vláhových poměrů a snadněji zpracovatelné půdy lze úspěšně zakládat produkční porosty jetelovin i letním setím. Letní setí se z agronomického a organizačního hlediska považuje za nejvhodnější způsob zakládání porostů vojtěšky seté v závlahových podmínkách (Gregorová 2001).

Kvalitně provedená podmítka, hlubší podzimní orba a pečlivá jarní příprava seťového lůžka (jemně zpracovaná vrstva na neprokypřené spodní části ornice, dobře urovnaný povrch bez hrud) jsou podmínkami úspěšného založení porostů vojtěšky. Prokypřenou půdu je třeba před výsevem uválet (Rotrekl & Babinec 2006). Šantrůček & Svobodová (2002) radí, že by se mělo dbát na dostatečné množství organické hmoty v půdě a přípravu půdy a setí provádět za optimální půdní vlhkosti. Při zakládání porostů čistým výsevem je možný výsev 6–7 mil. klíčivých semen na ha, což odpovídá množství cca 12–15 kg/ha. Při zakládání porostů do krycí plodiny je výsev 7–9 mil. klíčivých semen na ha, tj. cca 15–18 kg/ha. Podle Rotrekla a Babince (2006) je vhodné setí vojtěšky kolmo na řádky krycí plodiny. Termín setí je v březnu až dubnu do hloubky 1–2 cm, na lehčích půdách 2–3 cm, řádky jsou vzdáleny 7,5–15 cm. Letní výsevy je možné uskutečnit do poloviny srpna. Po výsevu je pozemek třeba uválet. Porost vojtěšky lze vylepšit přidáním menšího množství 0,5 kg/ha jetele bílého do výsevku. Jeho význam

nespočívá v zastoupení výnosu píce, ale po seči vlivem světla zakryje povrch půdy a chrání ji tak před vysycháním. Dokáže vyplnit i prořídle mezery vojtěšky a tím redukuje zaplevelení. Mimo nejsušší oblasti, kde by se travám nedařilo, je lepší vysévat směsi vojtěškotravní, v marginálních oblastech jetelovojtěškotravní. Doporučuje se kombinovat směsi s jetelem bílým. I když to nelze vždy splnit, z travních druhů se nejvíce hodí do vojtěšky teplomilné a suchovzdorné, jako jsou např. košťavovité hybridy *Festulolium*. Musí se respektovat vývoj vojtěšky po výsevu a podle toho postupně přidávat jen menší množství trávy, aby nedošlo k potlačení vojtěšky. Nejčastěji se vysévá od 1,5 do 4 kg/ha trav/ha. Mohou se i přisévat na jaře prvního či druhého roku jednak po zapojení výsevu a po určitém prořídnutí. U jetelovojtěškotrav platí zásada, že vojtěšky musí být více než jetele z důvodu pozvolného vývoje vojtěšky a mohlo by tak dojít k potlačení. Je žádoucí dodržet poměr 2:3 nebo 1:2 ve prospěch vojtěšky. Odrůda jetele by měla být raná. Trávy ve výsevku budou představovat opět jen několik kg/ha podobně jak u vojtěškotrav. Při výsevu směsi se musí dodržet hloubka setí, ale trávy se ve směsce přizpůsobí. Pro dobré vyvinutí a přezimování je ideální jarní výsev. Výsevem do krycích plodin dojde k potlačení plevelů a omezí se vysychání na prudkém slunci. Sklizená krycí plodina je kvalitní píci na siláž (luskovinoobilné směsky, luskoviny) (Houdek 2013).

V prvním užitkovém roce se doporučuje využívat porost jako třísečný, od druhého užitkového roku potom jako čtyřsečný (Rotrekl & Babinec 2006). Podíl seči na celkové produkci je do značné míry ovlivněn průběhem povětrnostních podmínek. Při čtyřsečném využití je podíl 1. seče na celkovém výnosu 40 %, 2. seče 28–30 %, 3. seče 20–24 % a 4. seče 10–12 % (Hrabě et al. 2004). Pro dobré obrůstání je výška seče doporučována na 4–6 cm.

Po sečích a na jaře je běžně doporučováno vláčet porosty vojtěšky hřebenovými branami na ostro (Pelikán et al. 2012), aby se ke spícím pupenům na kořenovém krčku dostalo světlo a vzduch. Vlácení navíc potlačí jednoleté plevele. Naproti tomu podle Kalisty et al. (2001) je vlácení porostů vojtěšky v průběhu vegetace nerentabilní a přejezdy mohou poškodit rostliny (zhutnění půdy, přenos chorob). Jeho tvrzení podporuje i výrok Šantrůčka & Svobodové (2002), podle kterých nemá vlácení branami na jaře nebo po sečích dostatečný kypřicí účinek. Většinou není následováno zvýšením produkce. Pokud se vytváří větší počet lodyh, tak jejich hmotnost je menší. Často dochází spíše k poklesu výnosů.

V důsledku vysokého počtu seči je při pěstování vojtěšky problémem nadměrné zhutnění půdy. Optimální objemová hmotnost půdy ve vrchních vrstvách ornice je 1,25 g/cm<sup>3</sup>. Bezprostředně před setím je 1 g/cm<sup>3</sup>, v době vzcházení 1,15 g/cm<sup>3</sup>. Ve 3. až 4. roce vegetace může zhutnění dosáhnout hodnot 1,4–1,7 g/cm<sup>3</sup> (Šantrůček & Svobodová 2002). Z těchto důvodů je třeba omezit přejezdy přes porosty zejména za vyšší půdní vlhkosti.

Hustota porostu po prvním vzejití by měla být 350 rostlin na m<sup>2</sup>, před prvním přezimováním 250–300 rostlin/ m<sup>2</sup>, po prvním přezimování 180–220 rostlin/ m<sup>2</sup>, po druhém přezimování 100–150 rostlin na m<sup>2</sup>, po třetím přezimování nad 100 rostlin na m<sup>2</sup> (Lichner et al. 1983). V prořídlech porostech vojtěšky, kde je počet rostlin na m<sup>2</sup> pod 85, již plně nedochází ke kompenzaci výnosů a výnos klesá minimálně o 20–30 % (Kalista et al. 2001).

Ošetřování vojtěšky za vegetace spočívá v počátečních fázích vývinu v udržení bezplevelného porostu a šetrné sklizni krycí plodiny s ohledem na podsev. Mechanické ošetření u mladého porostu v 1. roce neprovádíme. Vlácením vojtěškových porostů, které je opodstatněné z hlediska kypření odnožovací zóny kořenového krčku, se odplevelováním



porostu zvyšuje podíl rostlin napadených chorobami kořenů 1,3 – 2 krát, počet lodyh se snižuje o 3–18 % oproti nevláčeným pozemkům (Šantrůček 2001). Při ochraně proti plevelům, je nutné dodržování základních agrotechnických opatření. Při ochraně proti nejčastějším škůdcům, jimiž jsou trásněnky, kyjatka hrachová, klopuška světlá a chlupatá, bejlmorka a plodomorka vojtešková, je nutno se při výběru chemických prostředků, stanovení jejich dávek a způsobu aplikace řídit podle metodické příručky pro ochranu rostlin Ministerstva zemědělství České republiky (dále jen MZE ČR) a metodickými pokyny Ústřední kontroly a zkušebního ústavu zemědělského (dále jen ÚKZÚZ) (Šantrůček 2001).

Šantrůček & Svobodová (2002) uvádí, že ČR se píce sklízí nejméně 2x, obvykle však 3 - 4x ročně, což sebou přináší problém mnohonásobných přejezdů po pozemcích a rostlinách a v důsledku toho zvyšující se zhutnění zejména povrchové vrstvy půdy v zóně kořenových krčků, ze kterých rostliny převážně obrůstají. Mimo to dochází při všech přejezdech k mechanickému poškozování kořenových krčků, zkrácených lodyh i kořenů, oslabování rostlin a rozšiřování chorob kořene a kořenového krčku.

Potřeba kypření půdy v zóně kořenových krčků vojtešky byla v řadě pokusů prokázána, avšak odedávna praktikované vláčení porostů branami na jaře nebo po sečích nemá dostatečný kypřicí účinek, rostliny jsou poškozovány a infikovány výše zmíněnými chorobami, takže výnos se většinou nezvýší, pokud se vytvoří větší počet lodyh, jejich hmotnost je menší a zásah je ekonomicky neefektivní. Často dochází dokonce k poklesu výnosu a vytrvalosti porostu a tyto zásahy představují další přejezdy přes rostliny. Bylo prokázáno, že samotné zhutnění půdy se na celkovém snížení výnosu vlivem přejezdů strojů podílí jen 15-30 %, 70-85 % úbytku výnosu je třeba přičíst na vrub poškozování rostlin.

Z těchto poznatků vyplývá, že zejména u hustých a kompletních, ale i u mírně prořídilých porostů, nelze vláčení ani jiné kultivace doporučit, spíše je třeba se zaměřit na preventivní opatření proti zhutňování půdy. Dbát o dostatečné množství organické hmoty v půdě, v roce zakládání porostů, kdy je půda ještě relativně velmi kyprá a tudíž náchylná ke zhutnění, provádět všechny operace (přípravu půdy a setí) za optimální půdní vlhkosti, používat pokud možno nízkotlakých pneumatik nebo dvojmontáží kol. V průběhu prvního i následujících let vegetace je nutno co nejvíce omezit přejezdy přes porosty zejména za vyšší půdní vlhkosti (pro účely každodenní sklizně píce využívat porosty v posledním roce vegetace), vytváření nových cest v porostech z důvodů špatného stavu stávajících, při odvozu čerstvé hmoty zejména v 1. roce vegetace vyloučit přejezdy s plně zatíženými valníky. Dobrým řešením pro vyloučení přejezdů přes rostliny by byly tzv. "kolejové řádky", které však předpokládají sjednocení rozchodu kol používané mechanizace (Šantrůček & Svobodová 2002).

## 3.2 Hnojení vojtěšky seté a jeho vliv na výnos

Vysoký výnos a kvalita píce je cílem producentů vojtěšky, protože tyto faktory ovlivňují rentabilitu produkce píce (Lissbrant et al. 2009). Skládanka et al. (2014) udává, že kvalitu píce ovlivňuje zejména intenzita využívání a hnojení. Základní změny vyvolává aplikace N, P, K a jejich kombinace. Tato tvrzení potvrzuje i Hakl et al. (2014), který uvádí, že aplikace hnojiv ve spojení se stavem živin v půdě je jedním z několika klíčových faktorů, které ovlivňují produkci vojtěšky. Dále je pak produkce ovlivněna klimatem, a povětrnostními podmínkami, dalšími charakteristikami půdy a aplikovaný pěstitelský managementem. Intenzivní zemědělský pěstební systém vyžaduje velké množství rostlinných živin (Lloveras et al. 2012), což zdůrazňuje důležitost vhodného managementu hnojení.

Vliv hnojení na užítkovost vojtěšky se tradičně zaměřoval na účinky přímé aplikace fosforu (P) a/nebo draslíku (K) v různých kombinacích (Berg et al. 2007; Lissbrant et al. 2009; Macolino et al. 2013). Přímá aplikace dusíkatých (N) nebo organických hnojiv pro monokultury byla zkoumána zřídka (Vasileva & Kostov 2015) z důvodu vysokého potenciálu fixace N<sub>2</sub> vojtěškou popsaného Carlssonem & Huss-Danellem (2003).

Pravidelné hnojení vojtěšky dusíkem je v podmínkách ČR neúčinné a neekonomické a podporuje zaplevelení porostů. Dusík v půdě vojtěška spotřebuje pouze v malém množství v několika prvních týdnech růstu. (Telieiová 2013). Šnobl et al. (2007) proto tvrdí, že je třeba věnovat více pozornosti očkování osiva současnými novými kmeny hlízkových bakterií těsně před setím (očkovací přípravky). Očkováním se zvýší i hektarové výnosy (Telieiová 2013).

Potřebu dusíku pokrývá vojtěška setá z 90 % ze symbiózy. Hnojení nebo přihnojení dusíkem v dávce 30 kg/ha je zpravidla žádoucí na půdách lehkých, chudých na živiny, případně k podsevu jeteloviny po sklizni předplodiny. V této růstové fázi jsou mladé rostlinky citlivé na ztrátu asimilačního aparátu a není ani ještě dostatečně rozvinuta symbióza s hlízkovými bakteriemi. Hnojení dusíkem již využívaných porostů je nevhodné (Římovský et al. 1989).

Zemědělci, kteří chtějí snížit své celkové náklady, často dávají přednost hnojení tržních plodin namísto krmných pícnin. Na rozdíl od velmi intenzivního hnojení vojtěšky popsané v Macolino et al. (2013), přímé minerální hnojení je v secím roce použito přibližně na polovině celkové plochy vojtěšky, přičemž využití rapidně kleslo pod 20 % ve sklizňových letech v ČR (Hakl et al. 2014).

Výzkum efektů aplikací minerálních hnojiv na vojtěšku se prováděl po několik desetiletí a obvykle našel pozitivní odezvy, pokud jde o výnos píce. V období nízké dostupnosti půdního N lze růst plodin podpořit dalším hnojením N (Raun et al. 1999; Vasileva & Kostov 2015). Na druhou stranu fertilizace N byla ovlivněna fixací N. De Oliveira et al. (2004) uvedli, že dokonce i doporučené dávky N 45 kg/ha po každé sklizni vedly k narušení fixace N<sub>2</sub> u vojtěšky, což bylo možné detekovat jako sníženou nodulaci a aktivitu nitrátreduktázy. Kromě přímé aplikace živin existují nepřímé vlivy minerálního a organického hnojení aplikovaného po celou dobu osevního postupu (včetně reziduálních účinků z předplodin), které je také nutné vzít v úvahu pro jejich významný potenciální vliv na výnos píce (Hakl et al. 2016).

Jasný (ale nevýznamný) trend ke snížení výnosu byl pozorován při zvyšujících se dávkách N v rámci P1K1 při každém organickém ošetření. Tento efekt by mohl souviset se snížením fixace vojtěšky N<sub>2</sub> při vyšším obsahu N v půdě. Podle Houltona et al. (2008), fixace N<sub>2</sub> přirozeně zvýšila aktivitu fosfatázy, což by mohlo podporovat příjem P vojtěškou při vyšší

intenzitě fixace  $N_2$ . V rámci ošetření P2K2 byl tento účinek méně zřejmý s výjimkou ošetření hnojem. Intenzivní fixace  $N_2$  způsobila i acidifikaci půdy (Bolan et al. 1991). Hrubý odhad fixace  $N_2$  na základě DMY vojtěšky podle Carlssona & Husse-Danella (2003) je v souladu s tendencí ke snižování pH půdy na plochách s vysokým výnosem v rámci každého organického hnojení.

Hnojení P a K obecně zvyšuje výnos vojtěšky a vytrvalost porostu (Berg et al. 2005). Podle Lissbranta et al. (2009), DMY se zvýšil, když bylo aplikováno 25 kg P na hektar, ale vyšší dávky dále nezvyšovaly výnos.

Na těžkých půdách je žádoucí provést zásobní hnojení draslíkem před podzimní orbou. Na lehčích půdách je vhodnější dělená aplikace - část při předset'ové přípravě a dále každoroční aplikace v užitkových letech (Skládanka et al. 2014). Aplikaci draslíku na již využívané porosty je nutno provést vzhledem k nebezpečí „popálení“ rašících pupenů ve včasném předjaří. Vhodná forma hnojiva při předset'ové přípravě je síran draselný a v užitkových letech draselná sůl (Římovský et al. 1989). Podle zásobení půd draslíkem může jeho obsah v sušině vojtěšky kolísat v širokém rozmezí 1,2 - 4,2 %. Vojtěška na tvorbu 1 t sušiny odčerpává 17 – 30 kg K. Na hlinitých a jílovitohlinitých půdách s malým až středním obsahem přístupného draslíku (do 150 mg K/kg zeminy) je na místě podzimní zásobní hnojení k předplodině na celou dobu využívání porostu. Každoroční hnojení vojtěškových porostů v brzkém jarním období nemá na půdách s dobrým obsahem K i P vliv na výnos píce a je produkčně i ekonomicky málo efektivní (Šnobl et al. 2007).

Aplikace fosforu je doporučena, s ohledem na malý pohyb v půdě, do zásoby na 2 - 3 roky již při podzimní orbě před založením porostu ve formě superfosfátu (Římovský et al. 1989). Vojtěšku setou je možné hnojit také statkovými hnojivy. Na lehkých půdách je aplikována před založením porostu na podzim chlévská mrva v dávce 25 - 30 t/ha nebo kejda v dávce 15 t/ha (Skládanka et al. 2014). Obsah fosforu v sušině rostlin vojtěšky se pohybuje v průměru od 0,2 do 0,4 %. Na středně zásobených půdách je třeba dodat na tvorbu výnosu 8 – 10 t sena vojtěšky 30 – 40 kg P/ha za rok zásobním hnojením k předplodině.

Vojtěšku setou je možné hnojit také statkovými hnojivy. Na lehkých půdách je aplikována před založením porostu na podzim chlévská mrva v dávce 25 - 30 t/ha nebo kejda v dávce 15 t/ha (Skládanka et al. 2014).

Hnojení vápníkem je předpokladem úspěšného pěstování zvláště vojtěšky seté pro úroveň půdní acidity. Doporučované rozmezí je na lehkých půdách od pH 6,6 až 7,2 na těžkých půdách je nutno dosáhnout systematickým vápněním optimálního pH již k předplodinám. Rovněž lze provést úpravu půdní reakce i před založením porostů, v tomto případě je příznivě ovlivněn růst mladých rostlin. (Římovský et al. 1989). Vápník dodáváme do půdy již k předplodinám, abychom dosáhli příznivé reakce pH i ve spodnějších vrstvách půdy, což je zvláště důležité na kyselějších půdách v bramborářské oblasti. Na lehčích půdách je vhodný vápenec v dávkách 1 - 3 t/ha, na těžších pálené vápno 0,5 – 2 t/ha. Dolomitický vápenec současně doplňuje zásoby hořčíku (Šnobl et al. 2007).

Hořčík je významnou živinou, zejména ve vztahu ke kvalitě píce. Sklizní 1t sušiny píce je odčerpáno 1,8 kg hořčíku. Roční dotace hořčíku je v množství 25 – 30 kg/ha (Římovský et al. 1989).

Vojtěška může citlivě reagovat i na nedostatek mikroprvků. Jde zejména o bór, jež je zvláště důležitý v semenářství (Šnobl et al. 2007).

Bylo také prokázáno, že několik dalších živin ovlivňuje výkonnost vojtěšky, jako je síra (Wang et al. 2003) nebo molybden (Mao et al. 2018), jehož obsah v rostlinách se pohybuje od 0,5 do 4,5 mg/kg sušiny (Šnobl et al. 2007). Šantrůček (2001) ještě doplňuje, že jetel a vojtěška mají také zvýšené nároky na Va, Ti a Mn.

Hnojení pouze chlévskou mrvou během celého osevního postupu významně zlepšilo celkový výnos píče vojtěšky (Hakl et al. 2016). Podobné tendence pozorovali Vasileva & Kostov (2015). Jednotlivá aplikace hnoje i kejdy dosáhla 92 % maximálního DMY. Jednalo se o stejnou úroveň výnosu jako maximální dávky minerálních hnojiv, a to i přes podstatně nižší roční dávky živin při jednorázové aplikaci hnoje nebo kejdy. Dalo by se to vysvětlit dopadem organického hnojení na vlastnosti půdy, kde dlouhodobá aplikace hnoje poskytla vyšší celkový organický uhlík a půdní mikrobiální biomasu než ošetření NPK s dvojnásobně vyšším podílem N (Šimon & Czako 2014). Zdá se, že nepřímé organické hnojení může zvýšit mobilizaci nedostupných živin a zlepšit fyzikální vlastnosti půdy, což může podpořit vývoj kořenů. Ilieva & Vasileva (2013) uvádějí, že suchá kořenová hmota akumulovaná vojtěškou po přímé aplikaci hnoje byla významně vyšší ve srovnání s ekvivalentní dávkou dusíku v minerálním hnojivu. Může ovlivnit DMY vojtěšky s ohledem na pozitivní korelaci mezi kořenovou hmotou a DMY s ohledem na povětrnostní podmínky (Hakl et al. 2011).

### 3.3 Vliv hnojení na kvalitu píce vojtěšky

Určité uspokojivé množství sklizené píce, konzervace a management krmení jsou nezbytné faktory pro efektivní využívání pícnin a uspokojující nutriční potřeby, když je porost pastviny nedostačující (West & Waler 2007).

Cherney & Kallenbach (2007) tvrdí, že skot s tržní produkcí mléka má nejvyšší nutriční požadavky z hospodářských zvířat a produkce mléka je více náchylná na vyváženost živin v krmivech oproti produkci masa či vlny.

Šíře víceletých pícnin pěstovaných na orné půdě v ČR je druhově pestrá. Z jetelovin využívaných pro výrobu krmiv pro skot patří a stále zůstává klíčivou pícninou vojtěška setá a jetel luční. Z jednoletých pícnin nejvíce vyniká kukuřice na siláž (Nedělník & Vorlíček 2008).

Vojtěška setá se vyznačuje vysokým obsahem bílkovin. Vedle velkého množství vitamínů obsahuje také minerální látky, zejména vápník, fosfor, draslík a hořčík.

Výživná hodnota vojtěšky je ovlivňována řadou faktorů, zejména pořadím seče, vegetační fází, teplotou a také množstvím dešťových srážek v průběhu vegetace. Zejména vyšší teploty v průběhu vegetace ovlivňují obsah NDF v buněčných stěnách a tím snižují stravitelnost organické hmoty (Míka et al. 1997). Vyšší teploty v průběhu vegetace způsobují větší prodýchání asimilátů a tím snížení obsahu vodorozpustných sacharidů (Hakl et al. 2005). V případě vodního deficitu dochází ke snížení výnosů a snížení kvality, která je způsobena větší lignifikací pletiv (Míka et al. 1997).

Sklizeň porostů je třeba provádět ve fázi butonizace (nasazení květních pupat), (Petr et al. 1980; Jakobe et al. 1987; Doležal et al. 2006), nejpozději na počátku kvetení. Později se výrazně zvyšuje obsah vlákniny, snižuje se obsah energie a dusíkatých látek (Tab. 2). Kvalita píce vojtěšky je dána podílem listů a lodyh. Podíl listů v rané fázi první seče bývá 42 až 48 % (Doležal & Skládanka 2008). V listech je obsaženo 18–28 % NDF, 12–20 % ADF a přes 30 % NL. Naproti tomu ve stoncích je 35–70 % NDF, 30–55 % ADF a jen 10–20 % NL. Stravitelnost organických živin je ovlivněna nejen obsahem vlákniny (podílem ligninu a obsahem celulózy), ale také stupněm olistění rostliny, dále obsahem sekundárních metabolitů, zejména fenolových látek (Scehovic 1990, Kalač & Míka 1997). Právě ve fázi butonizace je stejný podíl listů a lodyh. Toto je optimální termín pro sklizeň vojtěšky nejenom z hlediska její produkce, ale také kvality. Obsah dusíkatých látek v tomto období přesahuje 24 %. Fáze butonizace je relativně krátká a trvá 5 až 7 dní. Případná sklizeň v ranější vývojové fázi než je butonizace může způsobit technologické problémy při konzervaci, kdy se zvyšuje riziko hlubokého rozkladu bílkovin a návazně tvorby biogenních aminů.

Při volbě termínu sklizně vojtěšky na siláž nebude rozhodující obsah sušiny, ale obsah živin a produkce. Zvýšení obsahu sušiny na požadovanou hodnotu je zajištěno během zavádání. Při sušině méně než 20 % je vojtěška velmi obtížně silážovatelná, naopak její silážovatelnost se výrazně zlepšuje při zavadnutí na sušinu více než 40 % (Skládanka et al. 2014).

Kromě vlivu na výnos píce bylo hnojení vojtěšky také zkoumáno z hlediska vlivu na nutriční hodnotu píce. V tomto ohledu je obecný inverzní vztah mezi výnosem píce a nutriční hodnotou již dlouho znám a nedávno byl popsán jako alometrický vztah mezi listem a hmotou píce, který řídí změny nutriční hodnoty (Lemaire & Belanger 2020). Ukázalo se, že vyšší hnojení dusíkem a fosforem vede ke zvýšeným koncentracím hrubého proteinu (CP), zatímco přidání hnojiva K mělo opačný účinek (Delgado et al. 2001; Lissbrant et al. 2009). Nicméně de

Oliveira et al. (2004) zjistili, že hnojení dusíkem nezlepšilo CP a stravitelnost píce. Ukázalo se, že zajištění adekvátního hnojení K vede ke zlepšení poměru list : stonk (Grewal & Williams 2002), což také vede ke zlepšení celkové nutriční hodnoty píce (Pecetti et al. 2017).

Tabulka 2 - Obsah organických živin v jednotlivých vegetačních fázích (Skládanka et al. 2014)

Vegetační fáze	NL (%)	Vláknina (%)	ADF (%)	NDF (%)	NEL (MJ. kg <sup>-1</sup> suš.)	SOH (%)
Před tvorbou pupat	28,97	21,44	24,46	29,83	5,46	72,80
Počátek butonizace	23,62	23,26	26,80	32,23	5,68	71,80
Butonizace	23,02	24,33	28,35	33,32	5,30	70,30
Konec butonizace	15,59	24,71	28,94	33,66	5,38	70,70
Počátek kvetení	16,86	25,61	30,02	34,79	4,89	67,50
Květ	14,76	27,58	32,82	36,99	4,68	67,10
Konec kvetení	15,60	28,74	33,66	39,01	4,85	65,50
Po odkvětu	11,97	30,12	36,18	39,92	4,47	62,60

Účinek dodávaných živin na výnos a kvalitu píce vojtěšky je v krátkodobém časovém horizontu zřejmý, otázkou však zůstává efekt dlouhodobého managementu hnojení na úrovni osevních postupů. Tyto aspekty jsou však studovány jen velmi omezeně a vzhledem k potenciálu větší role vojtěšky v udržitelné produkci píce si výzkum v této oblasti zaslouží další pozornost.

## 4 Metodika

### 4.1 Charakteristika místa pokusu

Dlouhodobý experiment s hnojením (RFE) ve VÚRV Ruzyně byl založen již v roce 1955 na trvalé orné půdě na západním okraji Prahy (50°05'15"N; 14°17'28"E).

Nadmořská výška na pokusném místě je 338 m n. m., průměrná roční teplota 8,5 °C a průměrný roční úhrn srážek 422 mm (Meteorologická stanice Praha-Ruzyně, 1955–2007). Půdní typ byl klasifikován jako illimerizovaný Luvisol. Svrchních 30 cm obsahuje 15 % písku, 58 % prachu a 27 % jílu. Celkový obsah organického uhlíku v půdě se pohyboval v rozmezí 1,36–1,69 %.

### 4.2 Polní pokus

Pokus ve VÚRV v Ruzyni představuje rozsáhlý soubor experimentů sestávající z 5 honů, kde se kombinují různé úrovně minerálního a organického hnojení (24 variant) ve čtyřech opakování a náhodném uspořádání blokového designu (96 jednotlivých parcel) při velikosti 12 x 12 m. Při stanovení výnosu je u všech pěstovaných plodin využívána centrální část parcely 3 x 12 m.

Hodnocení proběhlo v roce 2022 na honu IV s osevním postupem 9letého střídání plodin: vojtěška, vojtěška, ozimá pšenice, cukrová řepa, jarní ječmen, brambory, ozimá pšenice, cukrová řepa a jarní ječmen (jako krycí plodina). Jedna plodina roste vždy na celém pásu (96 parcel) a pravidelně se využívá konvenční zpracování půdy s orbou. Jarní ječmen pěstovaný jako krycí plodina pro vojtěšku byl vždy sklizen na zrno. Výsevek vojtěšky (odrůda Morava) byl 15 kg/ha při rozteči řádků 125 mm.

V diplomovou práci byly na honu IV vybrány čtyři varianty organického hnojení (nehnojená kontrola, hnůj, kejda se slámou a kejda bez slámy) v kombinaci se třemi úrovněmi minerálního hnojení (bez hnojení, N1P1K1 a N4P2K2). Statkový hnůj byl vždy aplikován na podzim před jarním založením porostu cukrové řepy či brambor. Aplikace P a K byla také provedena na podzim v jednotlivých dávkách. Minerální N byl použit u všech plodin kromě vojtěšky. Průměrné roční dávky aplikovaných hnojiv a hodnoty půdní analýzy pro pH a K, P, Mg a Ca, spolu s půdním organickým uhlíkem a celkovým půdním dusíkem po 60 letech šesti různých zde uvedených způsobů hnojení jsou prezentovány v tabulce (Tab. 3).

Obrázek 1 - Design pokusu

	0	Hh	KIS	KIS+SL									
1.opak	111	121	131	211	221	231	311	321	331	711	721	731	
	0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	
	141	151	161	241	251	261	341	351	361	741	751	761	
	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	
	122	132	112	222	232	212	322	332	312	722	732	712	
	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	
	152	162	142	252	262	242	352	362	342	752	762	742	
	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	
	2.opak	313	323	333	713	723	733	113	123	133	213	223	233
		0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2
		343	353	363	743	753	763	143	153	163	243	253	263
		NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2
324		334	314	724	734	714	124	134	114	224	234	214	
N1P1K1		N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	N1P1K1	N3P2K2	0	
3.opak	354	364	344	754	764	744	154	164	144	254	264	244	
	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	
	4.opak	354	364	344	754	764	744	154	164	144	254	264	244
		N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2	N2P1K1	N4P2K2	NpP2K2



Tabulka 3 - Dávky aplikovaných hnojiv u jednotlivých variant a výsledky půdní analýz (rok 2014)

HON IV OŠETŘENÍ	HNOJENÍ		CHEMICKÉ VLASTNOSTI PŮDY						
	ORG N:P:K (kg/ha)	MIN N:P:K (kg/ha)	pH	K	P	Mg	Ca	Cox	Nt
N0	0:0:0	0:0:0	6,2	147	14	149	2957	1,26	0,125
N1	0:0:0	39:24:109	6,2	192	51	132	2889	1,4	0,134
N4	0:0:0	91:31:146	6,0	174	76	129	2738	1,44	0,137
Hn	30:8:20	0:0:0	6,2	177	37	166	3190	1,51	0,158
Hn + N1	30:8:20	39:24:109	6,3	241	86	168	3171	1,55	0,155
Hn + N4	30:8:20	91:31:146	6,0	258	106	164	2949	1,59	0,149
KjS + Sl	30:8:20	0:0:0	6,6	196	30	197	3348	1,45	0,140
KjS + Sl + N1	30:8:20	39:24:109	6,7	234	70	170	3593	1,52	0,149
KjS + Sl + N4	30:8:20	91:31:146	6,3	269	105	145	2939	1,51	0,148
KjS	30:8:20	0:0:0	6,5	186	32	171	3243	1,44	0,146
KjS + N1	30:8:20	39:24:109	6,3	228	66	167	3000	1,43	0,134
KjS + N4	30:8:20	91:31:146	6,4	222	79	140	3040	1,44	0,149

### 4.3 Odběr vzorků a měření

V roce 2022 byl odběr vzorků píče proveden před každou sečí. Odběr biomasy byl proveden v řádku o délce 0,5 metru na každé parcele. Rostliny byly sestříhány pomocí ručních nůžek na výšku strniště 50 mm. Byl stanoven počet rostlin na vzorkované plochu a byla vypočtena hustota rostlin (na m<sup>2</sup>). Získaný čerstvě nastříhaný materiál byl roztríděn do papírových pytlů označených číslem odkazující na konkrétní parcelu, ze které byl vzorek odebrán. Pytle se vzorky byly převezeny do laboratoře, kde byl stanoven počet všech stonků (hustota stonku na m<sup>2</sup>) a délka nejdelšího stonku (maximální délka stonku, v cm). Vzorky byly sušeny v sušárně při 60 °C do konstantní hmotnosti a následně byl vypočten výnos sušiny.

První seč proběhla 9.6.2022, druhá seč 18.7.2022 a třetí, závěrečná seč 12.9.2022. Výnos čerstvé hmoty byl měřen vždy ve střední části každé parcely na ploše 3x12 m parcelním sklízečem. Výnos sušiny byl vypočten z výnosu čerstvé píče a hodnoty obsahu sušiny pro každou parcelu.

Odběr vzorků kořenů ze sledovaných 12 variant byl proveden dne 14.11.2022. Odběrová plocha byla stejná jako u nadzemní biomasy, hloubka odběru byla do 25 cm. U kořenů byly stanoveny následující parametry - hustota rostlin, hmotnost kořenů, hmotnost kořenů s kořenovými krčky, průměr hlavního kořene, zdravotní stav kořene, index potenciálu kořenů (RPI) a průměr s výškou krčku.

#### 4.4 Statistická analýza

Stanovení vlivu hnojení na celkový roční výnos, výnosotvorné prvky, výšku porostu a výnos v jednotlivých sečích bylo provedeno dvoufaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA) s interakcí mezi testovanými faktory (organické a minerální hnojení). Ve stejném schématu byl analyzován i vliv na morfologii krčku a kořenového systému. Všechny faktory byly považovány za fixní a významné rozdíly mezi průměry byly analyzovány pomocí Fisherova LSD testu při  $\alpha=0,05$ . Všechny analýzy byly provedeny pomocí programu STATISTICA (StatSoft, Inc 2012).

## 5 Výsledky

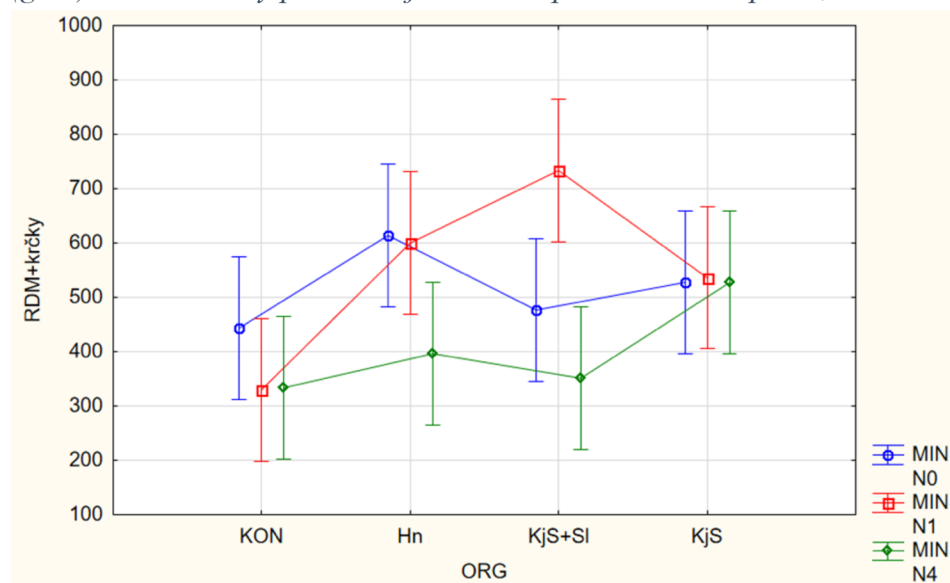
Výsledky dlouhodobého pokusu hnojení vojtěšky seté jsou rozděleny a prezentovány ve třech samostatných podkapitolách. První část bude věnována vlivu hnojení na morfologické znaky stavby kořene. Ve druhé podkapitole bude pozornost věnována ovlivnění parametrů porostu vojtěšky ve třech jednotlivých sečích. A poslední část bude zaměřena vlivu hnojení na roční výnos sušiny vojtěšky seté. V každé kapitole jsou výsledky prezentovány jako průměry za organické nebo minerální hnojení, kde u každé varianty organického hnojení je uveden statistický průměr naměřených hodnot sledovaného znaku u všech tří variant minerálního hnojení (obdobně pro minerální hnojení). V případě průkazných interakcí jsou pak uvedeny průměry 12 testovaných variant. Rozdílné písemné indexy vyjadřují statisticky průkazné rozdíly Fisherova LSD testu na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ .

### 5.1 Vliv hnojení na morfologické znaky kořene

Kombinovaný vliv organického a minerálního hnojení na parametry kořenového systému je uveden v tabulce (Tab. 4). V této analýze byly zahrnuty následující parametry: hustota rostlin (PD), hmotnost kořenů (RDM), hmotnost kořenů s kořenovými krčky (RDM+krčky), průměr hlavního kořene (TD), zdravotní stav kořene (PRDS), index potenciálu kořenů (RPI), průměr a výška krčku.

Z výsledků vyplývá, že organické hnojení působilo průkazně pozitivně na hmotnost kořenů (RDM) a hmotnost kořenů s krčky (RDM+krčky), ale neovlivnilo další sledované parametry. Efekt různých forem organického hnojení zde byl obdobný a mezi variantami nebyl významný rozdíl. Intenzivní minerální hnojení (N4) v celém osevním postupu průkazně snižovalo počet rostlin i hmotnosti kořenů a krčků, což se negativně projevilo i v hodnotě indexu RPI. Byla zjištěna také průkazná interakce mezi organickým a minerálním hnojením (ORG x MIN) u hmotnosti kořenů s krčky (RDM+krčky) viz graf (Obr. 2). Na grafu můžeme vidět, že negativní efekt intenzivního minerálního hnojení na hmotnost kořenů a kořenového krčku se projevuje především u kombinace kejdy se slámou.

Obrázek 2 - Graf vlivu interakce ORG x MIN na hmotnost kořenů a kořenových krčků ( $g/m^2$ ). Svislé úsečky představují interval spolehlivosti na  $p = 0,95$ .



Tabulka 4 - Vliv hnojení na morfologické znaky kořene a kořenového krčku

HON IV	OŠETŘENÍ	KÖRENY									
		HODNOCENÉ MORFOLOGICKÉ ZNAKY KÖRENE									
		PD (ks/m <sup>2</sup> )	RDM (g/m <sup>2</sup> )	RDM+krčky (g/m <sup>2</sup> )	TD (mm)	PRDS	RPI (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	krček průměr (mm)	krček výška (mm)		
	ORGANICKÉ HNOJENÍ										
	ORG 0	209	268 <sup>b</sup>	369 <sup>b</sup>	6,35	0,32	60,5	10,9	17,9		
	Hn	224	370 <sup>a</sup>	537 <sup>a</sup>	7,22	0,39	87,1	11,8	20,4		
	KJS + SI	191	359 <sup>a</sup>	521 <sup>a</sup>	8,05	0,48	81,0	13,3	20,5		
	KJS	208	378 <sup>a</sup>	531 <sup>a</sup>	7,21	0,44	78,9	12,0	19,2		
	<b>P-value</b>	0,805	<b>0,033</b>	<b>0,008</b>	0,139	0,234	0,102	0,364	0,129		
	MINERÁLNÍ HNOJENÍ										
	NO	279 <sup>c</sup>	366 <sup>a</sup>	516 <sup>a</sup>	6,45	0,43	88,9 <sup>a</sup>	10,5	19,1		
	N1	216 <sup>b</sup>	390 <sup>a</sup>	550 <sup>a</sup>	7,54	0,41	85,6 <sup>a</sup>	12,3	19,4		
	N4	129 <sup>a</sup>	275 <sup>b</sup>	402 <sup>b</sup>	7,63	0,39	56,1 <sup>b</sup>	13,2	19,9		
	<b>P-value</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,005</b>	<b>0,007</b>	0,116	0,859	<b>0,002</b>	0,086	0,744		
	INTERAKCE ORG x MIN										
	<b>P-value</b>	0,469	0,066	<b>0,031</b>	0,602	0,609	0,635	0,413	0,123		

## 5.2 Vliv hnojení na strukturu porostu v jednotlivých sečích

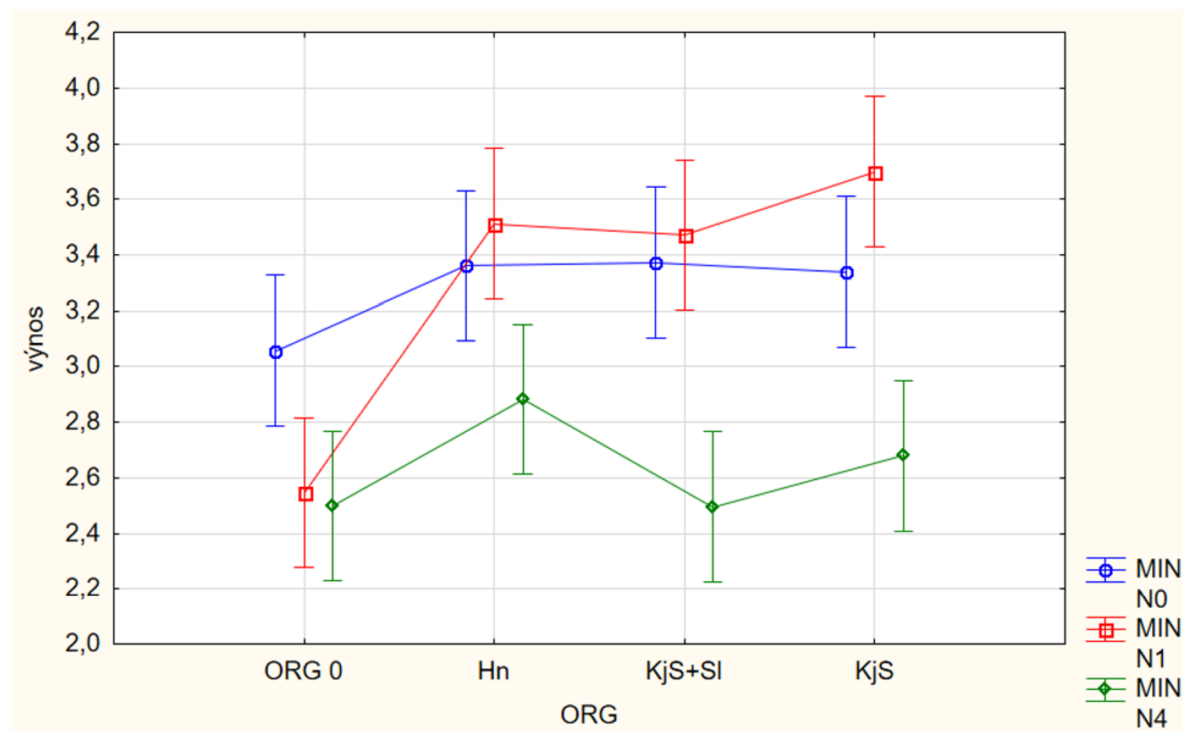
Následující tři tabulky (Tab. 5 až 7) ukazují efekty jednotlivých forem hnojení na strukturu porostu a výnos píce ve třech sečích.

V první seči vidíme statisticky potvrzený vliv organického hnojení na maximální délku lodyh, kde nejkratší lodyhy byly zaznamenány na variantě kejdy se slámou ve srovnání s aplikací hnoje či samotné kejdy. Naopak minerální hnojení na tento znak vliv nemělo. Průměrná výška porostu byla negativně ovlivněna intenzivním minerálním hnojením. Podobný negativní efekt u varianty N4 byl zaznamenán i u hustoty lodyh a výnosu sušiny. U organického hnojení ukázaly všechny formy hnojení vyšší výnos než organicky nehnojená kontrola při stejné hustotě lodyh. Přiložený graf (Obr. 3) ukazuje významnou interakci mezi organickým a minerálním hnojením u výnosu píce. Je zřejmé, že pozitivní vliv organického hnojení na výnos se konzistentně projevuje především při střední dávce minerálního hnojení (N1), zatímco při absenci či intenzivním hnojení je efekt nevýrazný či nekonzistentní.

Tabulka 5 - Vliv hnojení na morfologické znaky nadzemní části v první seči

HON IV	OŠETŘENÍ	NADZEMNÍ HMOTA			
		HODNOCENÉ MORFOLOGICKÉ ZNAKY			
1. seč	ORGANICKÉ HNOJENÍ	DÉLKA LODYH (cm)	RPM (cm)	POČET LODYH (ks/m <sup>2</sup> )	VÝNOS SUŠINY (t/ha)
	ORG 0	67,2 <sup>ab</sup>	42,4	565	2,70 <sup>b</sup>
	Hn	72,1 <sup>a</sup>	45,1	641	3,25 <sup>a</sup>
	KJS + SI	64,8 <sup>b</sup>	44,6	575	3,11 <sup>a</sup>
	KJS	71,5 <sup>a</sup>	43,6	524	3,24 <sup>a</sup>
	<b>P-value</b>	<b>0,044</b>	0,195	0,344	<b>&lt;0,001</b>
	MINERÁLNÍ HNOJENÍ				
	N0	68,0	44,5 <sup>a</sup>	655 <sup>b</sup>	3,28 <sup>a</sup>
	N1	70,4	45,3 <sup>a</sup>	563 <sup>ab</sup>	3,31 <sup>a</sup>
	N4	68,3	41,9 <sup>b</sup>	511 <sup>a</sup>	2,64 <sup>b</sup>
	<b>P-value</b>	0,561	<b>0,015</b>	<b>0,043</b>	<b>&lt;0,001</b>
	INTERAKCE ORG x MIN				
	<b>P-value</b>	0,895	0,917	0,524	<b>0,008</b>

Obrázek 3 - Vliv interakce ORG x MIN na hektarový výnos sušiny v první seči (t/ha). Svislé úsečky představují interval spolehlivosti na  $p=0,95$ .



Výsledky z druhé seče vykazují několik rozdílů oproti první seči. Zde se ukázaly rozdíly mezi jednotlivými formami organického hnojení, kde nejvyšší průměrné výšky porostu a výnosu sušiny dosahovala varianta s hnojem oproti hnojení kejdou. Všechny formy organického hnojení dosáhly vyššího výnosu než organicky nehnojená kontrola.

Pokud se zaměříme na vliv minerálního hnojení na sledované znaky u druhé seče, rozdíl byl průkazný u všech sledovaných parametrů. Minerální hnojení zvyšovalo délku lodyh i výšku porostu oproti nehnojené kontrole, ale intenzivně hnojená varianta (N4) dosahovala nejnižší hustoty porostu i výnosu píče. Nejvyšší výnos byl dosažen při střední úrovni minerálního hnojení (N1).

Tabulka 6 - Vliv hnojení na morfologické znaky nadzemní části ve druhé seči

HON IV	OŠETŘENÍ	NADZEMNÍ HMOTA HODNOCENÉ MORFOLOGICKÉ ZNAKY			
		DÉLKA LODYH (cm)	RPM (cm)	POČET LODYH (ks/m <sup>2</sup> )	VÝNOS SUŠINY (t/ha)
SEČ 2	ORGANICKÉ HNOJENÍ				
	ORG 0	69,0	48,2 <sup>a</sup>	701	3,68 <sup>c</sup>
	Hn	73,7	50,8 <sup>b</sup>	657	4,41 <sup>b</sup>
	KjS + SI	74,3	49,5 <sup>ab</sup>	624	4,30 <sup>ab</sup>
	KjS	75,8	48,5 <sup>a</sup>	741	4,09 <sup>a</sup>
	<b>P-value</b>	0,107	0,031	0,347	<0,001
	MINERÁLNÍ HNOJENÍ				
	N0	66,7 <sup>b</sup>	46,9 <sup>b</sup>	794 <sup>a</sup>	4,11 <sup>b</sup>
	N1	74,6 <sup>a</sup>	50,6 <sup>a</sup>	710 <sup>a</sup>	4,38 <sup>c</sup>
	N4	78,3 <sup>a</sup>	50,2 <sup>a</sup>	539 <sup>b</sup>	3,87 <sup>a</sup>
	<b>P-value</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	INTERAKCE ORG x MIN				
<b>P-value</b>	0,480	0,768	0,373	0,099	

Ve třetí seči se vliv organického hnojení projevilo pouze u výnosu sušiny, kde všechny varianty organického hnojení překonaly organicky nehnojenou kontrolu. Intenzivní minerální hnojení (N4) předčilo délkou lodyh všechny ostatní minerálně hnojené varianty. Obě minerálně hnojené varianty výnosově překonaly minerálně nehnojenou kontrolu.

Tabulka 7 - Vliv hnojení na morfologické znaky nadzemní části ve třetí seči

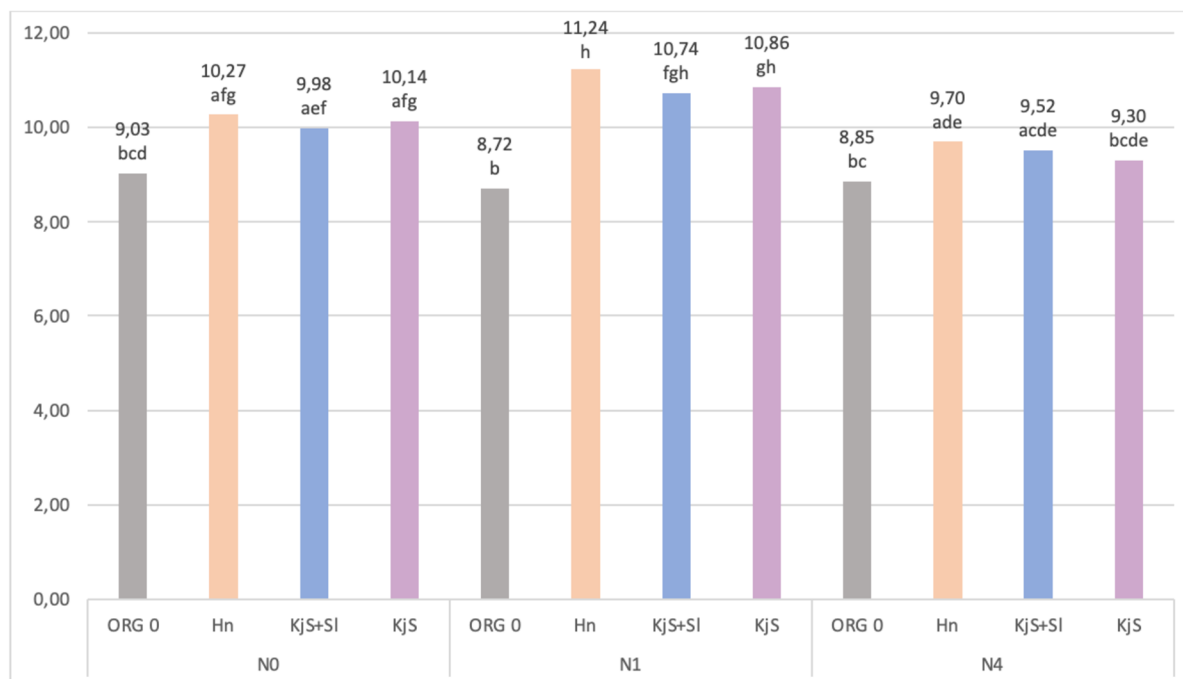
HON IV	OŠETŘENÍ	NADZEMNÍ HMOTA HODNOCENÉ MORFOLOGICKÉ ZNAKY			
		DÉLKA LODYH (cm)	RPM (cm)	POČET LODYH (ks/m <sup>2</sup> )	VÝNOS SUŠINY (t/ha)
SEČ 3	ORGANICKÉ HNOJENÍ				
	ORG 0	78,3	15,2	404	2,49 <sup>b</sup>
	Hn	78,4	15,0	524	2,75 <sup>a</sup>
	KjS + SI	83,5	14,2	453	2,66 <sup>a</sup>
	KjS	85,8	16,5	520	2,77 <sup>a</sup>
	<b>P-value</b>	0,120	0,529	0,067	0,005
	MINERÁLNÍ HNOJENÍ				
	N0	79,3 <sup>a</sup>	15,6	497	2,46 <sup>b</sup>
	N1	78,4 <sup>a</sup>	14,5	467	2,70 <sup>a</sup>
	N4	86,8 <sup>b</sup>	15,7	462	2,83 <sup>a</sup>
	<b>P-value</b>	0,024	0,630	0,689	<0,001
	INTERAKCE ORG x MIN				
<b>P-value</b>	0,455	0,892	0,207	0,929	

### 5.3 Vliv hnojení na roční výnos sušiny

Třetí část výsledků pokusu může být pro čtenáře či pěstitele vojtěšky seté tou nejpoutavější, jelikož prezentuje účinky hnojení na roční výnos sušiny, což je klíčový aspekt při pěstování této plodiny.

Celkový výnos je součet tří sečí realizovaných v roce 2022, takže koresponduje s výnosovými výsledky jednotlivých sečí uvedené v předchozí kapitole. Z grafu (Obr. 4) je patrné, že při absenci organického hnojení není žádný výnosový efekt dodávaných minerálních hnojiv. Při aplikaci organických hnojiv je průkazný nárůst výnosu v kombinaci s minerálním hnojením N1, kde nejvyšší hodnoty 11,24 t/ha dosáhla varianta hnojená současně statkovým hnojem. Intenzivní minerální hnojení (N4) nezvyšovalo výnosy nad úroveň minerálně nehnojené kontroly.

Obrázek 4 - Vliv interakce ORG x MIN na celkový roční výnos sušiny v t/ha.





## 6 Diskuze

Získané údaje o výnosech nám ukázaly, že všechny organicky hnojené varianty zvýšily hektarový výnos sušiny. Znatelných navýšení výnosů dosáhlo organické hnojení v kombinaci s přiměřeným hnojením N1, kdy nejlépe dopadla varianta hnojená statkovým hnojem. Avšak samotné intenzivní minerální hnojení bez organických hnojiv žádný efekt na výnos nezanechalo. Tuto skutečnost zaznamenali ve své studii Hakl et al. (2016), jež uvádějí, že nekonzistentní nárůst DMY byl zaznamenán u vysokých dávek NPK.

Organická hnojiva vykázala u vojtěšky pozitivní výnosový efekt v jednotlivých sečích i u ročního výnosu. Tuto skutečnost potvrzují i Menšík et al. (2018; 2019), kteří uvádí, že aplikace organických hnojiv (hnůj a kejda) pomáhá dosáhnout dlouhodobě stabilních výnosů při zachování dlouhodobě udržitelného hospodaření se zlepšenými úrovněmi organické hmoty v půdě. To potvrzuje i studie Vasileva & Kostov (2015), který uvádí, že výnos sušiny vojtěšky hnojené hnojem byl o 9,5 až 15,9 % vyšší ve srovnání s výtěžkem suché hmoty získaným z vojtěšky hnojené minerálním hnojivem.

Důvodem uspokojivých výnosů u organicky hnojených variant může být zlepšení půdních vlastností, kde například Jones (1982) zjistil lepší vývoj kořenového systému po aplikaci hnoje díky zlepšeným fyzikálním, chemickým a biologickým vlastnostem půdy. Tomuto zjištění odpovídají i získané výsledky tohoto pokusu, kdy bylo zjištěno, že při organickém hnojení byl výrazný nárůst hmotnosti kořenů oproti organicky nehnojené kontrole. Akumulací kořenové hmoty do půdy přispěla vojtěška ke zvýšení úrodnosti půdy. Dubach & Russelle (1994) dospěli k závěru, že rozpadající se kořeny vojtěšky jsou dobrým zdrojem dusíku dostupného pro rostliny. Také doplňují, že z rozkládajících se kořenů vojtěšky bylo k dispozici 215,36 kg/ha N. Pro srovnání Vasileva & Kostov (2015) uvádí, že z rozkládajících se kořenů žabince bylo uvolněno 3,47 kg/ha N. Tím tedy můžeme vidět, že kořeny vojtěšky dodaly do půdy významné množství dusíku pro následnou plodinu.

Kromě samotného N v půdě vojtěška přidává do půdy značné množství organické hmoty. Vojtěška dodává do půdy také substrát pro tvorbu humusu a další živiny (Biederbec et al. 2005). Pachev (1997) zjistil, že vojtěška pěstovaná jako pícnina, tvoří významně vysoké množství humusu v půdní vrstvě 0-40 cm a zlepšuje rovnováhu humusu a zvyšuje obsah huminových kyselin. Kusvuran et al. (2014) považují pěstování vojtěšky za jeden z nejlepších způsobů, jak zvýšit organickou hmotu v půdě. Poměrně vysoké hodnoty dusíku, které se vrací do půdy po rozkladu kořenů, ukázaly, že půda osetá vojtěškou představuje agroekosystém, schopný se zotavit a dokonce i zlepšit úrodnost půdy s ohledem na obsah dusíku a humusu v půdě.

Půdy s vysokým obsahem humusu jsou méně náchylné k vodní a větrné erozi a udrží si lepší úroveň mikrobiální diverzity a aktivity. Obsah uhlíku a dusíku jsou dobrými ukazateli kvality půdy. Půdní organická hmota je důležitým zdrojem živin pro růst rostlin, kterou je třeba udržovat pro udržitelnost zemědělství (Herencia et al. 2007). Vasileva & Kostov (2015) ještě dodávají, že použití hnoje zvyšuje obsah organického uhlíku v půdě více než aplikace stejného množství živin v minerálních hnojivech. Toto tvrzení koresponduje i s výsledky půdních rozborů na jednotlivých variantách (viz tabulka 3, str. 25). Menšík et al. (2018) analyzovali půdní data z tohoto dlouhodobého experimentu za posledních 25 let a uvádějí, že dlouhodobá aplikace minerálních NPK bez organických hnojiv urychlila mineralizaci humusu a degradaci kvality půdy. Tyto změny půdy by mohly významně přispět k rozdílu ve výnosu píce vojtěšky

a nutriční hodnotě. Aplikovaný dusík z organických hnojiv nezpůsobil toxicitu půdy, stejně tak nesnížil symbioticky biologickou fixaci dusíku a také nesnížil fixaci dusíku volně žijících půdních fixátorů dusíku především z důvodu pomalého uvolňování dusíku a biostimulačního účinku huminové kyseliny v organických hnojivech (Vasileva & Kostov 2015).

Avšak nejvyšší dávky živin z minerálních hnojiv (N4) ukázaly negativní účinek na rostliny vojtěšky, který se projevil především ve snížení hustoty porostu, což vedlo k nižšímu výnosu. Naopak živiny z organických hnojiv neměly na porost žádný záporný účinek a výnos byl vyšší ve všech sečích. Tuto skutečnost potvrzuje i studie Vasileva & Kostov (2015), která uvádí, že výnos sušiny vojtěšky hnojené hnojem byl o 9,5 až 15,9 % vyšší ve srovnání s výtěžkem suché hmoty získané z variant hnojené minerálním hnojivem. Dále pak Vasileva & Kostov (2015) prezentují, že výnosy vojtěšky byly stabilnější při organickém hnojení ve srovnání s minerálním. Ve výsledku lze tedy konstatovat, že dlouhodobé hnojení organickými hnojivy, především statkovým hnojem, vedlo k rozvoji pozitivního efektu na půdní prostředí, jak naznačují výsledky Hakla et al. (2021), což lze pokládat za klíčový faktor pro zaznamenanou podporu růstu kořenů, která se ukázala v tomto experimentu.

Jak poznamenal Berg et al. (2005), přímé hnojení P a K bylo konzistentně spojeno s větší hmotností jednotlivých výhonků. Lissbrant et al. (2010) dodávají, že optimální hnojení P, a zejména K, zvýšilo výnos, avšak příliš vysoké hodnoty P a K nemusí být účinné pro zvýšení DMY, naopak mohou vést ke snížení nutriční hodnoty píce. To může souviset se zjištěním Berga et al. (2005) kteří uvádějí, že počet stonků na jednotku plochy obecně klesal se zvýšeným hnojením P a K, což koresponduje s výsledky zjištěnými u varianty N4. Hakl et al. (2021) však ve výsledcích z předchozího cyklu s vojtěškou uvádí, že ačkoliv bylo při intenzivním minerálním ošetření N4 pozorováno méně rostlin, toto snížení nastalo bez jakéhokoli vlivu na hustotu stonků, a proto lze očekávat vyšší počet stonků na rostlinu. Výsledky z roku 2022 ukázaly, že rostliny vojtěšky nemusí být vždy schopny tento rozdíl v hustotě porostu vykompenzovat.

Zvýšení výnosu na hnojených pozemcích bylo dosaženo díky vyšší délce lodyh a průměrné výšce porostu, což je i v souladu s literaturou, kde je uváděno, že vyšší výnos píce byl konzistentně spojen s prodloužením lodyh (Berg et al. 2007; Macolino et al. 2013; Ta et al. 2020). Prodloužení lodyh může ovlivnit i stravitelnost samotné píce. Lemaire & Belanger (2020) uvedli, že vyšší stravitelnost listů u vojtěšky je spojena s delšími stonky.

Hnojení chlévskou mrvou zlepšilo nutriční hodnotu listů i stonků, což také vedlo k lepší kvalitě na celorostlinné bázi, protože při zvýšeném výnosu se nesnížil podíl listů. Tuto pozitivní kvalitativní odezvu lze přičíst zlepšenému vlivu půdního prostředí v tomto dlouhodobém experimentu s vývojem příznivějších půdních podmínek při pravidelném hnojení hnojem, což pravděpodobně přispělo k tomu, že rostliny vykazovaly sníženou lignifikaci a udržely si podíl listů v celkovou biomasu píce (Hakl et al. 2021). Dále pak Holík et al. (2022) prezentují, že vojtěška pravidelně organicky hnojená dosahuje vyššího obsahu cukrů v rostlině oproti nehnojené variantě.

Při porovnání výsledků s údaji v literatuře lze konstatovat, že vliv hnojení na výnos vojtěšky vykazuje výrazný vliv ročníku a je tedy nutné hodnocení více užitkových let. Dále je vhodné zařadit i hodnocení nutriční hodnoty, aby mohl být posouzen i dopad na kvalitu píce.

## 7 Závěr

Diplomová práce nám poskytuje odpovědi na stanovenou hypotézu a cíle práce. Ze získaných výsledků lze vyvodit následující závěry:

- Dlouhodobá aplikace organického a minerálního hnojení výrazným způsobem ovlivňuje výnos v jednotlivých sečích, což se promítá i do celkového ročního výnosu sušiny. Průkazný pozitivní vliv na výnos se projevilo u všech forem organického hnojení, kdy organicky hnojené varianty dosahovaly vyšších výnosů než organicky nehnojená kontrola. Nejvyšších celkových výnosů sušiny dosáhla varianta hnojená statkovým hnojem v kombinaci s minerálním hnojením N1. Efekt minerálního hnojení na výnos byl však při absenci organických hnojiv minimální.
- Dále lze konstatovat, že výnos píce souvisel s vývojem kořenového systému rostlin, kde aplikace organických hnojiv vedla k vyšší hmotnosti kořenů a krčků rostlin, pravděpodobně v důsledku zlepšení půdních vlastností.
- Zvýšení výnosu korespondovalo s délkou lodyh a průměrnou výškou porostu, kde nehnojené varianty dosahují nižších hodnot než varianty s aplikací především minerálních hnojiv.

## 8 Literatura

- Berg WK, Cunningham SM, Brouder SM, Joern BC, Johnson KD, Santini JB, Volenec JJ. 2007. The long-term impact of phosphorus and potassium fertilization on alfalfa yield and yield components. *Crop Science* **47**: 2198–2209.
- Biederbec VO, Bjorge HA, Brandt SA, Henry JL, Hultgreen GE, Kielly GA. 2005. Soil improvements with legumes. Pages 66-74 in Green BJ, and Biederbeck VO, editors. *Soils, Fertility and Nutrients. Canada-Saskatchewan Agreement on Soil Conservation*, Saskatoon.
- Bolan NS, Hedley MJ, White RE. 1991. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant and Soil* **134**: 53–63.
- Carlsson G, Huss-Danell K. 2003. Nitrogen fixation in perennial forage legume in the field. *Plant and Soil* **253**: 353–372.
- ČSÚ. 2023. Vývoj osevních ploch vybraných zemědělských plodin v letech 1980 až 2022. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/soupis-ploch-osevu-k-31-5-2022> (accessed February 2023).
- de Oliveira WS, Oliveira PPA, Corsi M, Duarte FRS, Tsai SM. 2004. Alfalfa yield and quality as function of nitrogen fertilization and symbiosis with *Sinorhizobium meliloti*. *Sci. Agric.* **61**: 433–438.
- Delgado I, Andueza D, Munoz F, Martínez N. 2001. Effect of nitrogen fertilisation on alfalfa (*Medicago sativa* L.) regrowth and production. Pages 141-143 in Delgado I, Lloveras J, editors. *Quality in Lucerne and Medics for Animal Production*. CIHEAM, Zaragoza.
- Doležal P, Doležal J, Mikyska F. Konzervace, skladování a úpravy objemných krmiv. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Doležal P, Skládanka J. 2008. Vliv vegetačního stádia vojtěšky seté na chemické složení a in sacco stravitelnost organické hmoty. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **56**: 55–63.
- Dubach M, Russelle MP. 1994. Forage legume roots and nodules and their role in nitrogen transfer. *Agronomy Journal* **86**: 259-266.
- Dvořák J, Smutný V. 2011. The effects of crop and herbicides on weed seed bank in the soil: monografie. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Dwivedi AK. 2014. *CAFT on Management of Soil Health: Challenges and Opportunities*. Jawaharlal Nehru Krishi Vishwa Vidyalaya, Jabalpur.
- Goss, M. J., A. Tubelleh and D. Goorahoo. 2013. A review of the use of organic amendments and the risk to human health. *Adv. Agron.* **120**: 275-379.
- Gregorová H. 2001. *Trávníkárstvo*. SPU Ochrana biodiverzity, Nitra.

- Grewal HS, Williams R. 2002. Influence of potassium fertilization on leaf to stem ratio, nodulation, herbage yield, leaf drop, and common leaf spot disease of alfalfa. *J. Plant Nutr.* **25**: 781–795.
- Hakl J, Fuksa P, Konečná J, Pacek L, Tlustoš P. 2014. Effect of applied cultivation technology and environmental conditions on lucerne farm yield in the Central Europe. *Plant Soil Environ.* **10**: 475-480.
- Hakl J, Fuksa P, Šantrůček J, Mášková K. 2011. The development of lucerne root morphology traits under high initial stand density within a seven year period. *Plant, Soil and Environment* **57**: 81–87.
- Hakl J, Kalista J, Šantrůček J. 2005. Určení termínu sklizně vojtěšky s využitím sumy efektivních teplot. *Úroda* **53**: 6.
- Hakl J, Kunzová E, Konečná J. 2016. Impact of long-term organic and mineral fertilization on lucerne forage yield over an 8-year period. *Plant Soil Environ* **62**: 36–41.
- Herencia JF, Ruiz-Porras JC, Melero S, Garcia-Galavis PA, Morillo E, Maqueda C. 2007. Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations and yield. *Agronomy Journal* **99**: 973-983.
- Hlaváčková A, Mudřík Z. 2012. Význam stanovení stravitelnosti vlákniny u objemných krmiv. *Krmivářství* **16**: 25.
- Holík M, Kunzová E, Ludvíková V, Hakl J. 2022. Impact of Long-Term Manure and Mineral Fertilization on Accumulation of Non-Structural Carbohydrates in Lucerne Forage. *Agronomy* **12**: 639.
- Houdek I. 2013. Správná volba víceletých pícnin. *Náš chov* **73**: 47-49.
- Houlton BZ, Wang YP, Vitousek PM, Field CB. 2008. A unifying framework for dinitrogen fixation in the terrestrial biosphere. *Nature* **454**: 327–330.
- Hrabě F, Buchgraber K. 2004. Pícninářství: travní porosty. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Hrabě F. 2004. Trávy a jetelovino trávy v zemědělské praxi. Vydavatelství Ing. Petr Baštan, Olomouc.
- Cherney HJ, Kallenbach JR. 2007. Forage Systems for Temperate Humid Areas. Page 280 in Barnes RF, editor. Forages: The science of grassland agriculture. Iowa State Press, Ames.
- Ilieva A, Vasileva V. 2013. Effect of mineral fertilization and manure on some characteristics in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *World Applied Sciences Journal* **26**: 630–635.
- Jakobe P, Berančíč F, Doležal P. 1987. Konzervace krmiv. SZN, Praha.
- Jones FGW. 1982. The soil plant environment. In Sonthey JF, editor. Plant Nematology. Her Majesty's Stationery Office, London.
- Kalač P, Míka V. 1997. Přirozené škodlivé látky v rostlinných krmivech. ÚZPI, Praha.
- Kalista J, Šantrůček J, Svobodová M. Ovlivní vývoj jetelovin před přezimováním výnos a kvalitu píce? *Úroda* **49**: 6–7.

- Klesnil A. 1978. Intenzivní výroba píce. SZN, Praha.
- Konvalina P, Moudrý J, Moudrý J, Kalinová J. 2007. Pěstování rostlin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Krejčíř J. 1990. Obecná produkce rostlinná: osevni postupy. Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno.
- Křen J, Neudert L, Procházková B, Smutný V. 2015. Obecná produkce rostlinná – 1. část. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Kusvuran A, Ralice Y, Saglamtimur T. 2014. Determining the biomass production capacities of certain forage grasses and legumes and their mixtures under mediterranean regional conditions. *Acta Adv. Agric. Sci.* **2**: 13-24.
- Lemaire G, Belanger G. 2020. Allometries in plants as drivers of forage nutritive value. *Agriculture* **10**: 5.
- Lissbrant S, Brouder SM, Cunningham SM, Volenec JJ. 2010. Identification of fertility regimes that enhance long-term productivity of alfalfa using cluster analysis. *Agronomy Journal* **102**: 580–591.
- Lissbrant S, Stratton S, Cunningham SM, Brouder SM, Volenec, JJ. 2009. Impact of long-term phosphorus and potassium fertilization on alfalfa nutritive value-yield relationships. *Crop Sci.* **49**: 1116–1124.
- Lloveras J, Chocarro C, Torres L, Viladrich D, Costafreda R, Santiveri F. 2012. Alfalfa yield components and soil potassium depletion as affected by potassium fertilization. *Agronomy Journal* **104**: 729–734.
- Luscher A, Mueller-Harvey I, Soussana JF, Rees RM and Peyraud JL. 2014. Potential of legume-based grassland – Livestock systems in Europe. *Grass Forage Sci.* **69**: 206-228.
- Macolino S, Lauriault LM, Rimi F, Ziliotto U. 2013. Phosphorus and potassium fertilizer effects on alfalfa and soil in a non-limited soil. *Agronomy Journal* **105**: 1613–1618.
- Mao X, Li Q, Ren L, Bai W, Zhang WH. 2018. Application of molybdenum fertilizer enhanced quality and production of alfalfa in northern China under non-irrigated conditions. *J. Plant Nutr.* **41**: 1009–1019.
- Menšík L, Hlisnikovský L, Kunzová E. 2019. The state of the soil organic matter and nutrients in the long-term field experiments with application of organic and mineral fertilizers in different soil-climate conditions in the view of expecting climate change. Pages 1-20 in Larramendy ML, Soloneski S, editors. *Organic Fertilizers*. IntechOpen.
- Menšík L, Hlisnikovský L, Pospíšilová L, Kunzová E. 2018. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. *J. Soils Sediments* **18**: 2813–2822.
- Míka V. 1997. Kvalita píce. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Moser EL, Jennings AJ. 2007. Grass and Legume Structure and Morphology. Page 25 in Barnes RF, editor. *Forages: The science of grassland agriculture*. Iowa State Press, Ames.

- Nedělik J, Vorlíček Z. 2008. Současný stav a předpokládaný vývoj pěstování brambor. *Úroda* **12**: 81.
- Pachev I, Kertikov T, Georgieva N. 2009. Influence of the technology of pea cultivation on nodulation and content of crop residues for improvement of soil fertility. *Acta biol. Iugoslavica* **58**: 139-145.
- Pecetti L, Annicchiarico P, Scotti C, Paolini M, Nanni V, Palmonari A. 2017. Effects of plant architecture and drought stress level on lucerne forage quality. *Grass Forage Sci.* **72**: 714–722.
- Pelikán J, Hýbl M. 2012. Rostliny čeledi Fabaceae LINDL (bobovité) České republiky. Vydavatelství Petr Baštan, Olomouc.
- Petr J, Černý V, Hruška L. 1980. Tvorba výnosů hlavních polních plodin. SZN, Praha.
- Procházková B. 2011. Význam a možnosti optimalizace struktury a střídání plodin v systémech hospodaření na půdě. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Raun WR, Johnson GV, Phillips SB, Thomason WE, Dennis, JL, Cossey DA. 1999. Alfalfa yield response to nitrogen applied after each cutting. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **63**: 1237–1243.
- Rotrekl J, Babinec J. 2006. Je obtížné efektivně pěstovat vojtěšku. *Agro* **7**: 55–57.
- Římovský K, Hrabě F, Vítek L. 1989. Pícninářství polní pícniny. Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno.
- Scehovic J. 1990. Vplyv roznych rastlinnych druhov na chemicke slozenie a nutričnú hodnotu krmiva z prírodných trávnych porastov. *Agrochémia* **30**: 272–275.
- Singh M, Wanjare RH, Dwivedi A, Dalal R. 2012. Yield response to applied nutrients and estimates of N<sub>2</sub> fixation in 33-years-old-soybean-wheat experiment on a vertisol. *Exp. Agric* **48**: 311-325.
- Skládanka J. 2014. Pícninářství. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Smatanová M, Němec P. 2013. Jeteloviny mají nezastupitelné místo v osevním postupu. *Úroda* **10**: 28-29.
- Snyder SC, Leep HR. 2007. Fertilization. Page 360 in Barnes RF, editor. Forages: The science of grassland agriculture. Iowa State Press, Ames.
- StatSoft, Inc. 2012. Statistica for Windows. StatSoft Tulsa, USA.
- Šantrůček J, Svobodová M. 2002. Soil conditions for alfalfa overgrowing. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. Available from <http://www.agris.cz/clanek/116470> (accessed February 2023).
- Šantrůček J. 2001. Základy pícninářství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Šantrůček J. 2007. Encyklopedie pícninářství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Šarapatka B, Urban J. 2006. Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO, Šumperk.
- Šimon T, Czako A. 2014. Influence of long-term application of organic and inorganic fertilizers on soil properties. *Plant, Soil and Environment* **60**: 314–319.

- Šnobl J, Pulkrábek J. 2007. *Základy rostlinné produkce*. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze, Praha.
- Ta HT, Teixeira EI, Brown HE, Moot DJ. 2020. Yield and quality changes in lucerne of different fall dormancy ratings under three defoliation regimes. *Eur. J. Agron.* **115**: 1–14.
- Tauferová A, Petrášová M, Pokorná J, Tremlová B, Bartl P. 2014. *Rostlinná produkce*. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Brno.
- Twlievová I. 2013. Vojtěška setá – nejdůležitější víceletá pícnina. *Krmivářství* **17**: 24-27.
- Vasileva V, Kostov O. 2015. Effect of alfalfa grown for forage on soil fertility related to mineral and organic fertilization. *Emirates Journal of Food and Agriculture* **27**: 678–686.
- Veronesi F, Brummer EC, Huyghe C. 2010. *Handbook of plant breeding: Fodder crops and amenity grasses* 5 Springer. New York, USA.
- Vymětal V, Římovský K. 1986. *Zemědělské soustavy*. Vysoká škola zemědělská, Brno.
- Wang YF, Wang SP, Cui XY, Chen ZZ, Schnug E, Haneklau S. 2003. Effects of sulphur supply on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Grass Forage Sci.* **58**: 160–167.
- West PCH, Waller CJ. 2007. Forage Systems for Humid Transition Areas. Page 316 in Barnes RF, editor. *Forages: The science of grassland agriculture*. Iowa State Press, Ames.
- Xie H, Hu X, Zhang CR, Chen YF, Huang X. 2013. Molecular Characterization of a stress-related Gene MsTPP in relation to somatic embryogenesis of Alfalfa. *Pak. Bot* **45**: 1285-1291.
- Yuegao, H. and D. Cash. 2009. *Global status and development trends of Alfalfa*. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome.
- Zimolka J. 2008. *Speciální produkce rostlinná – rostlinná výroba: polní a zahradní plodiny, základy pícninářství*. Mendelova univerzita v Brně, Brno.



## 9 Seznam použitých zkratek a symbolů

ÚKZÚZ – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

MZE ČR – Ministerstvo zemědělství České republiky

RFE – Ruzyňský experiment s hnojivem

VÚRV – Výzkumný ústav rostlinné výroby

PD – hustota rostlin

RDM – hmotnost kořenů

TD – průměr hlavního kořene

RPI – index potenciálu kořenů

RPM – stlačená výška porostu

DMY – měrná jednotka suché hmoty



## 10 Samostatné přílohy

Celkový pohled na dlouhodobé pokusy v Ruzyni (hon IV vlevo vzadu). Převzato od VÚRV Ruzyně



Pohled na porost vojtěšky při odběru vzorků kořenů (14.11.2022)



Pohled na porost vojtěšky při odběru vzorků kořenů (14.11.2022)



Hodnocení kořenů a kořenových krčků rostlin v laboratoři ČZU

