

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**  
**Katedra agroekologie a rostlinné produkce**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Vliv zpracování půdy před založením porostu na výnos  
píce vojtěšky v následujících letech**

**Diplomová práce**

**Bc. Kristýna Burešová Železná**  
**Rostlinná produkce**

**Vedoucí práce doc. Ing. Josef Hakl, Ph.D.**

© 2021 ČZU v Praze



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv zpracování půdy před založením porostu na výnos píce vojtěšky v následujících letech" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25. dubna 2021

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Josefu Haklovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení, pomoc při statistickém vyhodnocení a celkové podpoře, které se mi během psaní dostávalo. Dále bych chtěla poděkovat celé rodině, bez jejíž pomoci a podpory by tato práce nemohla vzniknout.

# Vliv zpracování půdy před založením porostu na výnos píce vojtěšky v následujících letech

## Souhrn

Cílem této práce bylo srovnání použitých technologií zpracování půdy a jejich vlivu na výnosotvorné prvky a následný celkový roční výnos píce. Porost vojtěšky byl založen na jaře 2015 výsevem bez krycí plodiny ve třech variantách základního zpracování půdy: mělké kypření, hluboké kypření a orba. Použity byly dva výsevky: 4 a 7 milionů klíčivých semen. Během užitkových let 2016 – 2019 byly v každém roce provedeny 4 seče a byly sledovány parametry struktury porostu (počet rostlin/m<sup>2</sup>, počet lodyh/m<sup>2</sup>, maximální délka lodyhy, hmotnostní podíl listů v píci) a výnosy sušiny.

Varianta mělkého a hlubokého kypření vykazovala vyšší počty rostlin/m<sup>2</sup> v porovnání s orbou. Vyšší délku lodyhy vykazovala orebná varianta, což bylo zřejmě dáno nižší hustotou orebné varianty. Z pohledu výnosu se všechny tři testované varianty zpracování půdy ukázaly jako rovnocenné, avšak ve čtvrté seči u mělkého kypření se projevilo snížení výnosu. Vyšší výsevek 7 MKS vykazoval vyšší počty rostlin a lodyh/m<sup>2</sup>, což ale nemělo pozitivní přínos pro vyšší výnos. V 2. a 3. seči vykazoval výsevek 4 MKS významně vyšší výnosy než výsevek 7 MKS, který je považován za standardní. Snížení běžného výsevku i volba minimalizační technologie se tak ukazují jako opatření, které nepředstavují významnější riziko snížení výnosů píce a mohou být uplatněny při pěstování vojtěšky.

**Klíčová slova:** pícniny, vojtěška, zpracování půdy, výnos píce

# **Effect of soil tillage before stand establishment on lucerne forage yield in following years**

## **Summary**

The objective of the thesis was to compare the soil tillage technologies used and their effect on the yield-forming traits and the final total annual yield of forage. The lucerne stand was established in the spring of 2015 by sowing without a cover crop with three treatments of the conventional soil tillage: shallow cultivation, deep loosening and conventional tillage, both under two seeding rates were used: 4 and 7 million germinating seeds. During the harvest years 2016–2019, the crop was cut four times and the stand structure traits were monitored (plant number per square metre, stem number per sq m, maximum stem length, weight fraction of leaves in forage) and dry matter yield.

The treatments involving shallow cultivation and loosening showed higher numbers of plants per sq m in comparison with the conventional. The conventional tillage yielded longer stems, likely as a result of the lower stand density. In terms of yield, all three treatments examined proved equal, although the yield from the fourth cut was lower with the shallow cultivation. The higher seeding rate of 7 million germinating seeds resulted in higher numbers of plants and stems per sq m, but this did not have a positive effect in terms of higher yield. The yield from the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> cut at the seeding rate of 4 MGS showed significantly higher yields than the seeding rate of 7 MGS, which is considered a standard rate. In summary, the reduction of the common seeding rate and the choice of a minimalization technology prove to be measures that do not pose a significant risk of reducing forage yield and can be used for lucerne cultivation.

**Keywords:** forage crops, lucerne, soil tillage, forage yield

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>10</b>
3.1 Vojtěška setá .....	10
3.1.1 Historie a vývoj ploch.....	10
3.1.2 Botanická charakteristika a biologie vojtěšky seté .....	11
3.1.3 Nároky na stanovištní podmínky .....	14
3.1.4 Agrotechnika vojtěšky .....	16
3.2 Zpracování půdy.....	20
3.2.1 Konvenční zpracování půdy .....	22
3.2.2 Minimalizační zpracování půdy.....	24
3.2.3 Zpracování půdy pro vojtěšku setou .....	27
<b>4 Metodika</b> .....	<b>32</b>
4.1 Materiál .....	32
4.1.1 Charakteristika stanoviště .....	32
4.1.2 Charakteristika odrůdy.....	34
4.1.3 Design a uspořádání experimentu.....	34
4.1.4 Hodnocení jednotlivých sečí a parametrů struktury porostu .....	36
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>37</b>
5.1 Vliv na celkový roční výnos píce a výnosy v jednotlivých sečích .....	37
5.2 Vliv na výnosotvorné prvky vojtěšky v jednotlivých sečích .....	38
5.3 Průměr parametrů všech čtyř sečí včetně srovnání sečí mezi sebou.....	42
<b>6 Diskuze</b> .....	<b>44</b>
6.1 Vliv technologie na výnosotvorné prvky .....	44
6.2 Vliv technologie na výnos píce .....	44
6.3 Vliv výsevku na produkci píce.....	46
<b>7 Závěr</b> .....	<b>47</b>
<b>8 Literatura</b> .....	<b>48</b>

# 1 Úvod

V rámci technologie zpracování půdy došlo za poslední roky k jejímu vývoji nejen ve světě, ale i v České republice. Značné změny nastaly také v zasoupení jednotlivých plodin v osevních postupech na orné půdě, neboť s poklesem stavů dobytka poklesly plochy krmných plodin, včetně vojtěšky, a jejich místo zaujaly rentabilnější plodiny jako kukuřice setá na siláž nebo řepka olejka. Zatímco problematice pěstování a technologii zpracování půdy těchto plodin je věnována značná pozornost, a sice z důvodu jejich rozsahu pěstování, krmné plodiny (kromě kukuřice na siláž) stojí na okraji zájmu a míra vědeckého bádání, co se týče zpracování půdy, je velmi nízká. I přesto, že je u nás vojtěška hlavní bílkovinnou píce, její pěstitelské technologie a zpracování půdy, včetně výnosů, se za poslední desítky let příliš nezměnila.

Základem zpracování půdy je vytvoření nejlepších podmínek pro založení, růst a vývoj porostů pěstovaných plodin. Účelem je nejen optimální tvorba výnosů, ale také správný průběh půdních procesů, a právě vhodně zvolené zpracování půdy (spolu s dalšími vlivy – např. půdní a klimatické podmínky) je v tomto ohledu klíčové.

Variety zpracování půdy, které byly v tomto pokusu zvolené, pokrývají všechny hlavní technologie prověřené a používané v podmínkách České republiky, tedy od mělkého kypření až k orbě. Minimalizační zpracování půdy přináší mnoho pozitiv. Lze vyzdvihnout například omezování erozí, zvýšení stability půdy nebo také malé utužení půd, orba má však i přes tato pozitiva stále v základním zpracování půdy své místo, v případě vojtěšky nevyjímaje.

S ohledem na značně klesající výměru zemědělské půdy je vytvářen na zemědělce neustálý tlak, jelikož náklady na zpracování půdy tvoří vysoký podíl celkových nákladů, a zároveň je potřeba zvyšování efektivity, proto případná změna používané technologie ke zpracování půdy může být cestou ke snížení nákladů a současně zvýšení kvality produkce a tím pádem i zvýšení celkových výnosů.



## **2 Cíl práce**

Cílem práce je vyhodnotit dopad různých technologií zpracování půdy před založením porostu na výnos píce vojtěšky. Výsledky budou důležité pro posouzení a uplatnění minimalizačních technologií u vojtěšky.

### **Hypotéza:**

Zpracování půdy před založením porostu ovlivní výnosotvorné prvky a následně i výnos píce v následujících letech.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Vojtěška setá

#### 3.1.1 Historie a vývoj ploch

Vojtěška patří mezi nejstarší kulturní plodiny. Pěstována byla již před 2500 lety v několika částech Persie, historie jejího pěstování však sahá až do 4000 let př. n. l. Původním centrem pěstování kulturní formy jsou stepi Blízkého východu, především nynější území Íránu a Turecka (Putnam & Summers 2008). Během perských válek byla rozšířena do Řecka a odtud do Římské říše. Kolem 15. století vojtěška překročila Pyreneje a poté ji v 16. století Španělé rozšířili do Severní Ameriky (Prosperi et al. 2014).

Stepní původ ovlivnil její příznivé charakteristiky, mezi které patří mrazuvzdornost nebo suchovzdornost (Skládanka 2014). S ohledem na výnosovou jistotu a snášení poměrně nepříznivých podmínek lze konstatovat, že je celosvětově rozšířenou pícevní pícevní (Pelikán & Hýbl 2012). Celosvětově je v současné době vojtěška pěstována na více než 30 milionech hektarech, ale navzdory své popularitě v mírných oblastech není široce pěstována v subtropických agroekosystémech. Je zásadní zlepšovat pěstování vojtěšky pro tyto regiony s ohledem na současné předpovědi globálního oteplování a rostoucí požadavky na produkty živočišného původu (Acharya et al. 2020).

Vojtěška setá není naším původním druhem, ale vzhledem k značné přizpůsobivosti se stala jednou z našich nejrozšířenějších a nejvýznamnějších pícevní pícevní (Maloch et al. 1956). V České republice je poměrně mladou, avšak dominantní bílkovinnou pícevní pícevní (17.století), ovšem její osevní plochy začaly rapidněji stoupat teprve počátkem 20.století (Šantrůček et al. 2007).

Z údajů ČSÚ týkajících se vývoje ploch osetých od roku 1990 vyplývá, že na našem území docházelo k jejich značnému poklesu. V praxi došlo v období 1990 – 1996 k poklesu výnosů píce zhruba o 10 % (Šantrůček & Svobodová 1998). V roce 1990 bylo v ČR 155 818 ha monokultur vojtěšky, v roce 2000 plochy klesly na 102 070 ha a v roce 2015 to bylo už pouhých 57 074 ha. Důsledkem snižování ploch víceletých pícevní pícevní na orné půdě bylo razantní snížení stavu skotu v České republice a nepříznivá ekonomická situace zemědělských podniků v porevolučním období, tedy okolo roku 1990. Začátkem devadesátých let se začalo rozšiřovat pěstování rentabilnějších plodin, jako jsou kukuřice setá na siláž a řepka olejka (Křen & Valtýnirová 2008). Od roku 2016 díky zavedení dotačního titulu EFA v rámci

Greeningu začala výměra stoupat, kdy se zvýšila na 60 052 ha a od té doby se stále zvyšuje. V současné době se vojtěška pěstuje na cca 79,5 tisíci hektarech orné půdy, průměrné výnosy jsou 5,73 t/ha a průměrná sklizeň 428 tisíc tun (ČSÚ, 2020). I přes pozitivní přínosy vojtěšky jsou plochy stále velmi malé. Zemědělské podniky v České republice bohužel stále omezují živočišnou výrobu, především chov skotu a velká část tak hospodaří zcela bez živočišné výroby. Z tohoto důvodu není pro vojtěšku využití, což se zásadně projevuje i ve změně skladby pěstovaných plodin, a tím i v celém hospodaření na orné půdě.

### **3.1.2 Botanická charakteristika a biologie vojtěšky seté**

Podmínky historického vývoje vtiskly vojtěšce řadu charakteristických vlastností. Jako stepní rostlina nemá zvláštních nároků na klimatické podmínky, neboť snáší nejtěžší mrazy (až  $-40^{\circ}\text{C}$ ) a zároveň i silné přisušky. Klimatické podmínky nejsou tedy nejdůležitější při rozšiřování jejího pěstebního areálu, nýbrž vše, co souvisí se zdarem pěstování, což je třeba hledat v půdě, a to zejména ve spodních horizontech. Proto je třeba si podrobněji všimnout způsobu jejího zakořenění a utváření kořenové soustavy (Maloch et al. 1956).

Vojtěška setá se vyznačuje mohutným křovitým kořenem, který proniká hluboko do půdy, ale těsně pod povrchem půdy se začíná mohutně větvit a vytváří značný počet postranních kořenů dosahujících řádově menších hloubek v horizontu do 0,5 metru. Tvoří tak největší množství kořenové hmoty z našich píceň (Pelikán & Hýbl 2012). Vlivem hlubokého kořenového systému přispívá k odolnosti proti suchu, je schopna kořeny rozrušovat utužený půdní profil a dokáže jím přijímat vodu a živiny z hlubších vrstev půdy, zároveň ale nesnáší vysokou hladinu spodní vody, protože zde dochází k zahánění kořenů (Maloch et al. 1956).

Mohutný kořenový systém vojtěšky má schopnost zvyšovat infiltraci srážek a omezuje tak nebezpečí vzniku povodní a umožňuje rychlejší doplnění podzemní vody. Odumřelá kořenová hmota má meliorační funkci, zanechává kanálky, kterými prosakuje srážková voda do spodních vrstev, a tím se pozitivně upravuje vodní režim krajiny (Jursík et al. 2018).

Morfologické znaky kořenů vojtěšky jsou dědičné (Lamb et al. 1999), ale může je ovlivnit mnoho faktorů prostředí nebo managementu (Hakl et al. 2011a). Celkový rozvoj kořenového systému a rozvětvení kořínků v jednotlivých horizontech značně kolísá podle charakteru půdních podmínek, agrotechniky a především podle zpracování půdy, ale záleží také na době výsevu či přítomnosti krycí plodiny. Při jarní setbě na podzim v roce výsevu dosahuje hloubky 1,5 m. Při letním výsevu se více větví v orniční části. V ostatních letech dosahuje značných hloubek, což jí umožňuje dobře si osvojovat živiny (Šantrůček et al. 2007). Při výsevu do krycí plodiny je růst kořenů zpomalenější, kdy v prvním roce dosahuje

hloubky kolem 1 metru a v následujících letech dokáže dosáhnout hloubek okolo 10 - 15 m, v určitých případech až 20 m (Klesnil & Velich 1965a). Celkové množství kořenové hmoty váhově dosahuje přibližně výnosu suché píce (Šantrůček et al. 2007).

Jedním z nejdůležitějších faktorů spojených s morfologií kořenů vojtěšky je hustota porostu (Hakl et al. 2011a). Snížením hustoty porostu se obecně zvyšuje průměr hlavního kořene a větvení laterálních kořenů (Upchurch & Lovvorn 1951), a též souvisí se změnami kvality píce nebo napadením plevele (Hakl et al. 2011a). Hall et al. (2004) uvádí, že vyšší hustoty rostlin vykazují osmkrát vyšší úhyny v prvním roce po výsadbě ve srovnání s nižšími hustotami. Zvýšení počtu rostlin vojtěšky nad doporučené úrovně (přibližně 800 semen na m<sup>2</sup>) mělo malý až žádný vliv na délku života vojtěšky a žádný měřitelný dlouhodobý přínos. Z výsledků experimentu Hakla et al. (2011), kteří zkoumali změny morfologických znaků kořene vojtěšky při extrémně vysoké počáteční hustotě porostu během sedmiletého období, bylo vyvozeno, že vysoká počáteční hustota porostu významně ovlivňuje vývoj kořenové morfologie v následujících letech. Hustota porostu má také vliv, jak je již výše uvedeno, na kvalitu píce vojtěšky (Julier et al. 2000). Podle Lemaire et al. (2005) vysoká hustota porostu zapříčiňuje pokles obsahu dusíku v lodyhách a Lamb et al. (2007) uvádí, že snížení hustoty porostu v kombinaci s pozdější sklizní vojtěšky zvyšuje koncentraci polysacharidů buněčných stěn. V jiné práci Lamb et al. (2012) uvádí, že hustota rostlin nemá žádný vliv na stravitelnost vlákniny lodyh nebo složení a koncentraci buněčných stěn.

Vojtěška jako jetelovina s hlubokým kořenovým systémem má vliv na utváření půdní struktury a omezování nepříznivých vlivů, které působí v provozních podmínkách na půdu (zhutňování přejezdy sklizňovou mechanizací). Šantrůček & Svobodová (1988) dospěli k závěru, že poměr rostlin s rozvětveným hlavním kořenem byl ovlivněn termínem založení porostu, hustotou porostu a právě zhutněním půdy. Vliv zhutnění půdy na růst kořenů potvrdili také Hakl et al. (2011b). Výsledky uvedené v práci Glaba (2011) naznačují, že kořenový systém vojtěšky se vyznačoval dobrou schopností do silně zhutněné půdy proniknout. Kořeny se přizpůsobily půdním podmínkám změnami jejich morfologie a dostatečným zásobováním rostlin s vodou a minerálními živinami. Obecně byly kořeny mnohem delší v horní vrstvě půdy (0-10 cm) než pod 10 cm. Bylo také vyzorováno, že kořeny ve více zhutněné půdě byly tenčí než v nezhutněné, což je užitečnější pro absorpci vody a živin. Tyto vlastnosti dělají z vojtěšky vhodnou pro pěstování ve fyzicky degradované půdě díky její rekultivaci a také již uvedeným melioračním schopnostem.

Vzhledem k tomu, že kořeny vojtěšky představují lignifikovanou hmotu, dochází ke zpomalení jejich rozkladu v půdě. Jsou tedy i ceněny jako kvalitní organická hmota (Klesnil 1978).

Stepnímu původu odpovídá morfologie kořene (Skládanka 2014), jelikož u vojtěšky je vyvinuta tzv. kořenová kontrakce, kdy dochází k zatahování odnožovací zóny s pupeny - kořenového krčku - do půdy (Šantrůček et al. 2007). Odnožovací pupeny jsou rozmístěny na krčku i ve vertikálním směru, takže kořenový krček je podstatně delší. U mladých rostlin je ponořen do půdy jen 2-5 cm, avšak u starších jedinců nalézáme odnožovací pupeny často i v hloubce 7-10 cm. Hlubší zatažení kořenového krčku podmiňuje vyšší odolnost vůči vyzimování (Hrabě 2004).

S hloubkou zapuštění kořenového krčku vojtěšky souvisí též celkový habitus trsu. Normálně vyvinutá vojtěška vytváří bohatý trs se značným počtem výhonků (průměrně 10-20). U některých forem jsou odnožovací pupeny založeny jen povrchově a trs pak nabývá rozložitého charakteru. Tito jedinci se sice vyznačují vyšší konkurenční schopností, ale dávají nižší výnosy. Rozložitý charakter trsu může být podmíněn i nepříznivými stanovištními podmínkami, jako je nadbytek vláhy, krátký den nebo nízké teploty (Maloch et al. 1956).

Pro iniciaci růstu lodyh z pupenů je pro vojtěšku ideální prokypření půdy (Šantrůček et al. 2007). Lodyhy mají 10-17 internodií a dosahují v dobrých podmínkách výšky 60-90 cm, ale celková délka jedné může být až 150 cm (Klesnil & Velich 1956a).

Listy vojtěšky jsou složené, trojčetné (Čermák & Ball 2004) a na jedné rostlině mohou mít různý tvar a být např. okrouhlé nebo vejcovité. Olistění lodyh vojtěšky činí průměrně 40 - 50 % z celkové váhy nadzemní hmoty rostliny. Listy vojtěšky vyplňují na rozdíl od trav převážně vrchní porostové patro (Maloch et al. 1956). V nižším patře bývají okrouhlejší, naopak ve vyšším užší. Vrchní část jednotlivých lístků bývá zoubkovaná (Hrabě 2004).

Květy mají sytou, tmavě fialovou barvu a jsou sestaveny v protáhlém hroznu o délce 1 – 6 cm, nejběžněji 1 – 2 cm, kterých je na rostlině 25 – 250 v závislosti na rozvětvení množství odnožených lodyh a hustotě porostu (Velich et al. 1994). Počet kvítků v hroznu se pohybuje mezi 12 – 25. Většinu našich vysévaných vojtěškových porostů však nelze řadit k vyhraněnému botanickému druhu *Medicago sativa*, jde totiž sice v podstatě o vojtěšku setou, ta je však částečně ovlivněna vojtěškou srpovitou (*Medicago falcata*). Oba tyto druhy vojtěšky se velmi snadno spontánně kříží a vytvářejí řadu přechodných hybridů, které se projevují zejména pestrou škálou barvy květů (Maloch et al. 1956).

Vzhledem k tomu, že během květu dochází k ukládání zásobních látek, je ideální alespoň jednou za vegetaci nechat porost rozkvést i přesto, že zakvetením porostu klesá kvalita píce.

Klíčovým znamek produkce semen vojtěšky je zajištění opylovačů, neboť květy vojtěšky produkují pyl a nektar, který přitahuje zejména včely. Nejdůležitějšími opylovači vojtěšky jsou především včely samotárky (Pelikán & Hýbl 2012), případně čmeláci, s jejichž chovem nebo podporou přírodních populací opylovačů probíhají úspěšné pokusy ve světě, ale i u nás (Šantrůček et al. 2007).

Plodem je spirálově stočený lusk, jenž uzavírá 3 – 10 semen. U hybridních vojtěšek nacházíme přechody mezi několikanásobně stočeným luskem a jeho srpovitou formou, která je charakteristickým znakem pro vojtěšku srpovitou (Maloch et al. 1956).

Semena vojtěšky mají žlutohnědou až světle hnědou barvu a stárnutím postupně tmavnou a jsou matná. Tvar mají ledvinovitý nebo nepravidelně srdcovitý (Hrabě 2004). Klíčí již při teplotě 5°C (Šantrůček et al. 2007), ale klesne-li teplota pod 2°C nebo naopak stoupne nad teplotu 40°C, klíčení se zastavuje (Putnam & Summers 2008).

Jako většina rostlin se značnou vytrvalostí dosahuje vojtěška plného vývoje ve třetím až čtvrtém roce po založení porostu, proto v prvním užitkovém roce bývají její výnosy slabší. Nejvyšší výnosy poskytuje pravidelně v druhém užitkovém roce, ale na těžších půdách v sušších oblastech (např. Žatecko) dává zpravidla maximální výnosy až ve třetím. Její vytrvalost je velmi značná, takže na příhodných pozemcích může činit 10 - 15 let. Ve stepních oblastech byly dokonce nalezeny exempláře, jejichž stáří bylo určeno až na 50 let (Maloch et al. 1956). Při běžné agrotechnice na provozních plochách při horších podmínkách dosahuje 3 - 4 roky (Šantrůček et al., 2007).

### **3.1.3 Nároky na stanovištní podmínky**

Vojtěška se jako stepní rostlina řadí k suchovzdorným rostlinám. Morfologické utváření a anatomická stavba nadzemních orgánů však nenesou charakteristické znaky xerofilie (Maloch et al. 1956). Zásahu na tom má velmi hluboký kořenový systém, který čerpá podzemní vodu ze spodních půdních horizontů, zároveň však, jak již bylo výše uvedeno, nesnáší vysokou hladinu spodní vody. Má být nejméně 1,5 m pod povrchem (Šantrůček et al. 2007), jinak kořeny brzy narazí na podzemní vodu s nízkým obsahem kyslíku a zahnívají, výnos se snižuje a porost řídne (Maloch et al. 1956).

Vzhledem k tomu, že snáší sucho, může být vojtěška považována za rostlinu, která se spokojí s malým množstvím vody. Tento závěr je však zcela nesprávný, neboť i když není

přímo odkázána výhradně na dešťové srážky, její nároky na vláhu jsou větší než u mnohých rostlin humidnějšího klimatu, vojtěška se totiž při velmi intenzivní látkové výměně vyznačuje vysokou transpirací (Maloch et al. 1956). Oblasti s vysokými srážkami mají často potíže s pěstováním kvůli nasyceným půdám a nízkému pH, stejně jako chorobám kořenů a listů.

Vojtěška často vyžaduje zavlažování pro maximální výnos a patří mezi plodiny s nejučinnějším využitím vody při závlaze. V některých suchých oblastech je právě nedostatek vody nejkritičtějším omezením pro produkci sena vojtěšky, avšak v České republice se zavlažování vojtěškových polí téměř nevyužívá (Hakl et al. 2014).

Pro efektivní pěstování jetelovin je důležité vytvoření vhodných podmínek pro rozvoj a aktivitu hlízkových bakterií. Klíčová je zde hodnota pH půdy, která by měla být slabě kyselá až neutrální (Vaněk et al. 2016). Velmi kyselé půdní podloží způsobuje to, že se kořenový systém vojtěšky vyvine těsně pod povrchem a tyto porosty jsou málo výnosné (Čermák & Ball 2004). Ideální pH půdy se tedy pohybuje v rozmezí 6,5 – 7,2.

Mezi nepříliš vhodné půdy pro pěstování vojtěšky patří jílovité či písčité a naprosto nevhodné jsou půdy kamenité. Jelikož těžší půdy s vyšším obsahem jílu mají menší propustnost pro vodu, může zde dojít k jejímu nadbytku, a také způsobují nedostatek vzduchu, což je pro vojtěšku nežádoucí. Na jílovitých půdách ji lze pěstovat, ale jen pokud chybí podpovrchové překážky. U půd písčitých dochází naopak k nedostatku vody a živin. Nejlépe je vojtěška přizpůsobena hlubokým, dobře odvodněným půdám, a tedy prosperujícími půdami jsou jílovitohlinité, hlinité až písčitohlinité. Pokud se pěstování provádí na kyselé, mělké půdě s vyšší hladinou vody než 1,5 m, dochází k mezerovitosti a porost není vytrvalý (Telievová 2013).

Také na světelnou intenzitu je vojtěška velmi náročná, neboť při nedostatku přímých slunečních paprsků se silně zpomaluje růst nadzemní hmoty i kořenového systému, čímž dochází k poklesu výnosu (Maloch et al. 1956). Vliv na zpomalení nebo zastavení vývoje rostliny může mít i založení porostu do husté krycí plodiny, čímž také dojde ke snížené intenzitě světla. Vedle intenzity světla je důležitá i délka dne. Vojtěška je dlouhodobní rostlinou a má značné požadavky na světelné stádium. Jednotlivé odrůdy vyžadují v průměru 12 – 18 hodinový den.

Stepní původ vojtěšky je patrný i z jejího vztahu ke kvalitě a kvantitě solí v půdních roztocích. Snáší značnou koncentraci půdních roztoků, má vysokou schopnost vyrovnávat osmotický tlak v kořenových buňkách, takže nemůže dojít k plazmolýze (Maloch et al. 1956).

I přesto, že vojtěška nemá zvláštní nároky na klimatické podmínky, lépe jí svědčí teplejší klima, proto jsou pro pěstování preferovány kukuřičné a řepařské výrobní oblasti, a to

nejen kvůli klimatickým, ale i půdním podmínkám. Toto vymezení není ovšem striktní, neboť pokud bude například v bramborářské výrobní oblasti pozemek hlubší, s provzdušněnou a provápňenou půdou, může i zde vojtěška poskytovat dobrý výnos.

### 3.1.4 Agrotechnika vojtěšky

Od jetelovin lze při dobré agrotechnice očekávat významný pozitivní vliv na následné plodiny. Pozitivem při pěstování vojtěšky je také redukování půdní eroze nebo některých chorob a škůdců.

Pěstováním vojtěšky dochází k tomu, že je půda více drobná a snadněji zpracovatelná (Fulkerson 1981). Včasná jarní příprava půdy, zajišťující její pečlivé rozpracování s cílem vytvořit drobtovitou strukturu a rovný povrch pozemků dobře zásobených vodou, je tedy spolu s dosažením vhodné ulehlosti půdy před setím předpokladem úspěšného založení hustých, kompletních a výnosných porostů vojtěšky (Šantrůček & Svobodová 1998). Neméně důležité je také vhodné zařazení v osevním postupu (Šantrůček et al. 2007).

V minulosti nejrozšířenější způsob zakládání porostů vojtěšky do krycí plodiny – obilniny sklizené na zrno, zejména ječmene, je v současné době na ústupu, a to především z hlediska odlišných požadavků rostlin a odrůdové agrotechniky obou plodin, včetně sklizně. Vhodné jsou pícní krycí plodiny, které zpočátku svého vývinu příliš nezastinují podsev a včas opustí půdu při sklizni za suššího počasí na zelené krmění, senáž, seno. Z hlediska podsevu jsou vhodné krycí plodiny oves sklizený od sloupkování do mléčné zralosti, případně oves s peluškou nebo bob vysetý společně s peluškou. Dalšími vhodnými krycími plodinami jsou také hrách s ječmenem jarním sklizené na silážovatelnou drť. Pro píci na zelené krmění je možné použít jako krycí plodinu kukuřici, ale pouze za předpokladu setí vojtěšky do již vzešlého porostu, který je bezplevelný (Šantrůček et al. 2007). Velmi dobrých výsledků se dosahuje s letní setbou vojtěšky bez krycí plodiny, zvláště v sušších oblastech nebo na půdách s vysokou zásobou živin, kde hrozí nebezpečí polehnutí krycí obiliny. Setbou bez krycí plodiny také poskytneme mladým rostlinám vyšší přísun světla (Maloch et al. 1956), což je pro vojtěšku žádoucí, neboť vojtěška, jak je již uváděno, má na světlo vysoké nároky (Klesnil & Velich 1965b). Nevýhodou setby bez krycí plodiny je větší riziko zaplevelení, které je možné snížit odplevelovací sečí a při nadměrném výskytu plevelů aplikovat herbicidní ochranu (Šantrůček et al. 2007). Kromě odplevelovací seče lze také využít chemickou ochranu, která je ale dosti nákladná, nebo také biologickou, která spočívá v umělému usazování dravců a sov (Šantrůček et al. 2007).



Pro založení porostu vojtěšky je velmi vhodné setí v jarním období. S ohledem na pomalý počáteční růst je kritická míra zaplevelení porostu vojtěšky. Hlavní vliv na intenzitu zaplevelení má způsob založení a technologie zpracování půdy. V dlouhodobém pokusu Kadlček et al. (2020) sledovali výskyt plevelů u třech variant zpracování půdy (přímé setí, minimalizační zpracování půdy, konvenční zpracování půdy). Nejvyšší počty jedinců plevelů, a také největší druhová pestrost, byly nalezeny na variantě s konvenčním zpracováním půdy. Naopak nejnižší zaplevelení a nejméně druhů bylo ve variantě s přímým setím. Varianta založená pomocí minimalizační technologie vykazovala častěji druhy pozdně jarní, klíčící při vyšších teplotách. Tato technologie není tedy vhodná v případě, že je porost vojtěšky zakládán později na jaře nebo při vyšších teplotách. Jako nejméně vhodná technologie zakládání porostů z pohledu zaplevelení se ukázala konvenční, neboť jsou vynášena semena plevelů do svrchních vrstev půdy, odkud klíčí. Obecně lze konstatovat, že intenzita zpracování půdy ovlivňuje rozmístění semen plevelů v půdě, především ve vertikálním směru. Způsob zpracování půdy ovlivňuje nejen distribuci semen plevelů v půdě, ale má také výrazný vliv na klíčení plevelů a jejich životnost (Hůla 2008).

Mezi hojně vyskytující se plevele v porostech vojtěšky patří například kokoška pastuščí tobolka (*Capsella bursa-pastoris*) nebo také pampeliška lékařská (*Taraxacum officinale*), která škodí zejména v dalších užitkových letech. Často vyskytující se šťovíky (*Rumex* spp.) patří podle Kazdy et al. (2010) do skupiny významných plevelů. V souvislosti s využíváním minimalizačních technologií jejich početnost postupem času narůstá. Kohout (1996) naopak uvádí, že šťovík je poměrně snadno regulovatelný opakovanou sečí. Hron & Kohout (1986) uvádí, že všeobecně plevelné druhy s křovitým kořenem nejsou mělkým zpracováním půdy dostatečně potlačovány. Z výsledků mnoha pokusů je zřejmé, že zpracování půdy působí na plevele společně s jinými faktory (ročník, plodina, předplodina). Dále je také patrná tendence zvyšujícího se počtu jedinců plevelů a snížení množství druhů s klesající hloubkou zpracování půdy (Hůla 2008). U porostů vojtěšky seté je třeba mít na paměti, že jsou na plevele citlivé po celou dobu svého trvání na stanovišti, ale zvláště v prvním roce a je potřeba jim věnovat pozornost.

V minulosti se vojtěška sela jako podkultura do sadů. Toto opatření však neprosplávalo ovocným stromům, neboť zvláště na nově založený sad mělo zhoubné účinky. Hydrotropické kořeny vojtěšky pronikají daleko rychleji do půdy, než kořeny ovocných stromů a silně přerušují spodinu půdy (Maloch et al. 1956).

Optimální výsev vojtěšky je v březnu až dubnu, nebo v letním období, aby vzešla do poloviny srpna. Výsev se provádí do hloubky 12 - 22 mm, na hlinitopísčitéch půdách 20 - 25

mm. Mezi výnosotvorné prvky porostu vojtěšky patří počet rostlin na jednotku plochy, počet lodyh na rostlině a hmotnost lodyh. Pro vysoký výnos je potřeba, aby v zapojeném porostu ze 100 semen při klíčivosti 82 % vzešlo v průměru 57 rostlin. Optimální počet rostlin po prvním přezimování se pohybuje v rozmezí 150 - 240 rostlin na 1m<sup>2</sup> a počet lodyh v první seči by měl být 1000 - 1500 lodyh na m<sup>2</sup> (Šantrůček et al. 2007). S klesajícím počtem rostlin na parcele narůstá tvorba lodyh na rostlině a současně dochází k výraznému větvení rostlin, což je žádoucí u pěstování vojtěšky na semeno (Holý 2003).

Stanovení výsevku je dle způsobu založení porostu. Podle Velicha et al. (1994) se výsevek pohybuje 6 – 7,5 mil. klíčivých semen, zhruba 12 – 15 kg osiva v případě založení porostu bez krycí plodiny. Pokud je použita pícní krycí plodina, výsevek je 7,5 mil. klíčivých semen. Šantrůčka et al. (2007) uvádí, že v případě porostu bez krycí plodiny je to 6 – 7 mil. klíčivých semen a při krycí plodině 7,5 – 8 mil. klíčivých semen.

Podmínkami pro úspěšné založení porostu vojtěšky jsou kvalitní ošetřená podmínka, hlubší podzimní orba, a to podle druhu předplodiny, většinou se však pohybuje v rozmezí 250 – 300 mm a pečlivá jarní příprava seťového lůžka (jemně zpracovaná vrstva na neprokypřené spodní části ornice, dobře urovnaný povrch bez hrud). Prokypřenou půdu je potřeba před setím uválet, čímž se rozdrobí hrudky. Tyto operace je možné nahradit kombinátorem (Šantrůček et al. 2007). Kombinátory se uplatňují při předseťové přípravě půdy v technologiích minimalizačních i konvenčních. Při jednom přejezdu kombinátorem se povrchová vrstva urovná, hroudy se rozdrobí a utuží se seťové lůžko (Hůla 2008).

Na utužených těžších půdách lze provádět i podrývání do 0,4 – 0,6 m.

Vojtěška má obrovské výnosové schopnosti, avšak aby se jich náležitě využilo, je důležitý dostatečný přívod živin (Maloch et al. 1956). Výnosem 1 t sušiny odčerpají v průměru přibližně 25 - 30 kg dusíku, 2,5 - 3,5 kg fosforu, 15 - 23 kg draslíku, 15 - 20 kg vápníku a 2,5 - 4 kg hořčíku (Poullík 1996). Obecně význam jetelovin spočívá nejen v tom, že si symbiózou s hlízkovými bakteriemi opatřují převážnou část dusíku (za příznivých podmínek je poutáno okolo 200 - 250 kg N/ha za rok) a produkují kvalitní píci, ale také v tom, že mají rozhodující význam v obnově půdní úrodnosti a přísunu organických látek do půdy. Tím, že vojtěška koření velmi hluboko, působí příznivě na provzdušnění a biologické oživení i podorničních horizontů a využívá z těchto horizontů živiny, především fosfor, vápník a hořčík (Vaněk et al. 2016). Lze tedy konstatovat, že vojtěška se řadí mezi poměrně skromné plodiny díky schopnosti osvojování si velkého množství živin z hlubších vrstev půdy, a také získávání většiny potřebného dusíku symbiotickou fixací.

Vzhledem k fixaci dusíku pomocí bakterií rodu *Rhizobium*, žijících na kořenech leguminóz, je hnojení dusíkem v ČR neúčinné a neekonomické, a to i v méně příznivých pedoklimatických podmínkách pro jejich činnost. Ani startovací dávka dusíku v 1. roce vegetace v dávce 23 - 35 kg.ha<sup>-1</sup> nemá žádný vliv na pozdější výnos (Šantrůček et al. 2007).

Významným opatřením je úprava acidních podmínek, které je potřeba realizovat v dostatečném předstihu před založením porostů (Vaněk et al. 2016). Vyšší obsah Ca v půdě vojtěšce prospívá, proto je značně důležitý jeho dostatečný obsah nejen v orniční, ale také podorniční vrstvě (Pelikán & Hýbl 2012). K vápnění je vhodné využít vápence a dolomity většinou po sklizni předplodiny, nejpozději tedy na podzim předchozího roku před orbou pro krycí plodinu. Vápenec je vhodný v dávkách 1 - 3 t.ha<sup>-1</sup> na lehčích půdách, kdežto na těžších pálené vápno 0,5 - 2 t.ha<sup>-1</sup>. Dolomitický vápenec současně doplňuje zásoby hořčíku (Šantrůček et al. 2007). Též hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem je zapotřebí realizovat včas před založením porostu, ideálně před zaorávkou předplodiny, kdy se dávka stanoví podle rozboru půd na všechny užitkové roky (Vaněk et al. 2016). Pro čerpání fosforu je ideální pH 6,5 a důležitý je zároveň dostatek vápníku v půdě (Velich et al. 1991). Ve velké míře jsou vojtěškou odebírány také makroprvky síra a draslík (Malhi 2011). Cary et al. (1967) uvádí, že vápnění, hnojení fosforem a sírou jsou účinnější než jakákoli jiná kombinace hnojiv používaných ke zvýšení produktivity vojtěšky. Citlivě může vojtěška reagovat na nedostatek mikroelementů, zejména bór, který je zvláště důležitý v semenářství a molybden (Šantrůček et al. 2007). Ty jsou sice odebírány v menší míře, ovšem zásadně se podílí na růstu vojtěšky (Razmjoo & Henderlong 1997). Hnojení molybdenem působí na půdách s jeho nedostatkem příznivě na výnos, ale především na kvalitu píce. Podobně působí také kobalt, jehož nedostatek negativně ovlivňuje aktivitu hlízkových bakterií (Vaněk et al. 2016).

Vojtěška setá se pěstuje pro různé způsoby využití. Z pícninářského hlediska patří mezi základní kulturní jeteloviny využívané v monokulturách (Teliefová 2013). V současné době se využívá zejména k výrobě siláží a sena, pro získání zelené píce nebo semene. Existuje i možnost využití pro pastvu (Čermák & Ball 2004), ovšem díky neschopnosti vojtěšky snášet pastevní sešlapávání současné odrůdy při pastvě brzy z porostu ustupují (Hakl et al. 2003).

Ve stávajících strategiích EU z hlediska zvýšené energetické bezpečnosti hraje klíčovou roli výroba energie z biomasy (Hakl et al. 2014). Hakl et al. (2012) uvádí, že vojtěška či jiné jeteloviny mohou být vhodným zdrojem pro výrobu bioplynu. Zemědělci, kteří provozují bioplynové stanice, mohou pěstováním půdoochranných plodin, jako je například právě vojtěška, fixovat dusík a vytvářet organickou hmotu pro půdu, a zároveň

pomocí bioplynové stanice vojtěšku přetvořit do ekologického hnojiva. Digestát pak mohou aplikovat na půdu a tím přispívat k ochraně půdy a šetřit za aplikaci průmyslových hnojiv.

Pozitivně vojtěška působí také na strukturu a úrodnost půdy. Z důvodu různých způsobů využití se při jejím pěstování uplatňují různé agrotechnické zásady a musí se rozlišovat a využívat biologické i ekologické požadavky v jednotlivých fázích růstu. Porosty určité k produkci zelené píce nebo sena je účelné mít hustší, u kultur určených k silážování se z důvodů získání většího objemu hmoty i sušiny vyžaduje širší spon a nejjřidší porost je nutné zachovat u semenářských kultur (Holý 2003).

Ve stávajících strategiích EU z hlediska zvýšené energetické bezpečnosti hraje klíčovou roli výroba energie z biomasy (Hakl et al. 2014). V jiné práci Hakl et al. (2012) uvádějí, že vojtěška či jiné jeteloviny mohou být vhodným zdrojem pro výrobu bioplynu. Zemědělci, kteří provozují bioplynové stanice, mohou pěstováním půdoochranných plodin, jako je například vojtěška, fixovat dusík a vytvářet organickou hmotu pro půdu a zároveň pomocí bioplynové stanice vojtěšku přetvořit do ekologického hnojiva. Digestát pak mohou aplikovat na půdu a tím přispívat k ochraně půdy a šetřit za aplikaci průmyslových hnojiv.

Při sklizni vojtěšky na píci je potřeba počítat obvykle se 3 - 4 sečemi, v bramborářské výrobní oblasti se dvěma, v kukuřičné oblasti s dostatečnou výživou s 5 (Šantrůček et al. 2007). Nejvhodnějším vegetačním stadiem sklizně vojtěšky je doba, kdy dochází k tvorbě květních pupenů, tedy butonizace (Doležal et al. 2006). V období butonizace obsahuje vojtěška nevyšší koncentraci dusíkatých látek v sušině (i přes 23 - 24 %) a má přijatelný obsah vlákniny. Tato fáze trvá relativně krátce, 5 - 7 dnů. Za cca 14 dnů dochází ke snížení obsahu dusíkatých látek až na 16 - 17 % v 1 kg sušiny a ke snížení stravitelnosti organické hmoty. Pokud se vojtěška sklízí v pozdějších vegetačních stádiích, snižuje se celkový obsah popelovin a jednotlivých minerálních látek. Výživná hodnota vojtěšky je ovlivňována řadou faktorů, zejména pořadím seče, vegetační vází, teplotou a také množstvím dešťových srážek v průběhu vegetace (Doležal & Skládanka 2007).

## **3.2 Zpracování půdy**

Termín „zpracování půdy“ je jedním ze zásahů, považující se z agrotechnického hlediska za nejnáročnější opatření, které zahrnuje vytvoření ideálních podmínek pro založení, růst a vývoj porostů pěstovaných plodin. Účelem je optimální tvorba výnosů a správný průběh půdních procesů.

Při volbě zpracování půdy je klíčové postupovat podle půdních a klimatických podmínek a nároků pěstovaných plodin v závislosti na půdním prostředí i aktuálním stavu půdy (Procházková et al. 2004). Hakl et al. (2014) uvádí, že pokud jde o výběr vhodné technologie zpracování půdy, jedním z faktorů, ovlivňující její výběr, jsou právě klimatické podmínky.

Vzhledem k měnícímu se klimatu, individuálním požadavkům jednotlivých plodin na pěstování a technickému pokroku, neustále dochází k vývoji nových technologií, ale v naší zemědělské praxi je konvenční zpracování půdy doposud nejrozšířenější. Základním nářadím pro zpracování půdy je pluh a kypřič.

Zásadním předpokladem pro úspěšné pěstování plodiny je pečlivé a včasné zpracování půdy. Zpracovatelské zásahy jsou prováděny v časovém rozmezí od sklizně předplodiny do vzejití následné plodiny na určitém pozemku určitými technologiemi. Významnou funkcí zpracování půdy je také zapravování hnojiv. Účelem zpracování půdy je i eliminovat vyskytující se různé negace, které se v rostlinné výrobě nacházejí, a to například důsledky působení těžké mechanizace na půdu (Šimon et al. 1989).

Systém zpracování půdy se podle praktického použití dá rozdělit na dvě hlavní skupiny (Chloupek et al. 2005):

Tradiční (konvenční, orebná) technologie s využitím orby, kam spadá základní zpracování půdy, příprava půdy pro setí a sázení a zpracování půdy během vegetace. Půda je každoročně zpracována radličným pluhem, rostlinné zbytky z předplodiny, biomasa meziplodin a nadzemní části plevelů jsou zapravovány do půdy (Hůla 2008).

Minimalizační (reduované, ochranné) zpracování půdy, čili technologie bez využití orby s mělkými zásahy s ekonomicky výhodnou agregací strojů.

Hůla et al. (1997) v jedné ze svých prací vyčleňuje přímé setí do nezpracované půdy do zvláštní skupiny. V jiné práci Hůla (2008) dělí technologii na orebnou, bezorebnou (minimalizační), kdy do bezorebné řadí i přímé setí, kypření bez obrácení půdy a na půdoochranné zpracování. Způsobů rozdělení technologií zpracování půdy existuje tedy mnoho.

Z pohledu intenzity lze rozlišit úkony podle hloubky zásahu do půdy na mělké zpracování, hluboké zpracování a kulturační zásahy v podorničí. Do povrchového zpracování půdy se řadí podmítka, kypření povrchu ornice, utužení povrchu ornice, příprava půdy k setí a výsadbě a ošetřování půdy v porostech plodin. Hlubokým zpracováním půdy se rozumí orba a prohlubování ornice přioráváním, podrýváním a hlubším kypřením a mezi kulturační zásahy v podorničí patří velmi hluboké kypření a agromeliorační zásahy.

Zemědělci si stále častěji kladou otázku, u kterého způsobu zpracování půdy setrvat. Zda je lepší konvenční, základní zpracování půdy a předset'ová příprava půdy založené hlavně na podmítce, orbě, předset'ové přípravě a setí, nebo zda zůstat u minimalizačního a půdoochranného zpracování půdy. Jednoznačná odpověď je velmi složitá, neboť jejich uplatnění musí vycházet z požadavků jednotlivých plodin, klimatických podmínek a stavu pozemku, tedy i stavu zaplevelení. Každá technologie má své přednosti i nedostatky a ne každá se hodí do všech podmínek (Stach 2001).

### **3.2.1 Konvenční zpracování půdy**

Pro konvenční zpracování půdy v našich podmínkách je typické každoročně prokypřit půdu a obracet ornici radličným pluhem. Pluh, jakožto základní nástroj pro zpracování půdy, má na území Evropy velkou tradici. Na našem území vznikla také řada konstrukčních zlepšení, která jsou dodnes používána (Novák & Mašek 2018).

Konvenčním zpracováním půdy se rozumí tradiční způsoby zpracování půdy před založením porostu, kdy jsou časové odstupy mezi operacemi základního a předset'ového zpracování půdy k plnění požadavků na zpracování půdy. Běžně se zahrnují do konvenčního zpracování půdy spojení orby s drcením hrud, urovnáním povrchu půdy a podpovrchovým utužením půdy, spojení operací předset'ové přípravy půdy či spojení předset'ové přípravy půdy se setím (Hůla et al. 1997).

Do systému základního zpracování půdy se řadí podmítka a orba (Kostelanský et al. 2004). Podmítka je prvním krokem, provádějící se co nejdříve po sklizni kulturní plodiny za pomoci talířových kypřičů, radličkových kypřičů nebo radličných pluhů. Probíhá co nejdříve po sklizni kulturní plodiny (Zimolka et al. 2008). Může plnit celou řadu odlišných úloh, jako například zlepšování hospodaření s půdní vláhou, urovnání povrchu půdy, zlepšování fyzikálních vlastností povrchové vrstvy půdy, podpora biologické činnosti půdy, zlepšení zpracovatelnosti půdy a snížení spotřeby energie při následných operacích nebo možnost zapravení části dávek minerálních hnojiv a menších dávek statkových hnojiv do půdy či lepší boj proti škodlivým činitelům, a sice plevelům, škůdcům a chorobám (Kostelanský et al. 2004). I přes vícestranný význam podmítky se za nejdůležitější považuje zlepšování hospodaření s půdní vláhou. Jedná se zejména o přerušování vztlínání vody kapilárními póry k povrchu půdy nechráněnému porostem a zlepšení infiltrace vody do půdy při srážkách (Hůla 2008). Dále se za velmi důležitý považuje regulační efekt vytrvalých plevelů (Neuder & Procházková 2009).

Při orbě se půda obrací, kypří, mísí a drobí a v ornici má především docílit vrstvu, která je kyprá, drobovitá s vhodnými biologickými a fyzikálními poměry. Rostlinné a posklizňové zbytky, výdrolky a plevele vzklíčené po podmíce, nebo také organická či minerální hnojiva se do půdy zapraví orbou mnohem lépe (Kostelanský et al. 2004), čímž dochází ke snížení nákladů.

Vedle zmíněných pozitiv má orebná technologie také určitá negativa. Za záporné se označuje například zhoršování přirozené tvorby půdních agregátů (Six et al. 2002), zanikají kapilární póry, ubývá organická hmota a narůstají emise CO<sub>2</sub>. Různá intenzita zpracování půdy má výrazný vliv na ukládání uhlíku v půdě a jeho uvolňování v podobě CO<sub>2</sub> do atmosféry a po intenzivním zpracování půdy dochází většinou k většímu uvolňování CO<sub>2</sub> a nižšímu ukládání uhlíku v půdě (Hůla 2008). Vlivem dlouhodobé kultivace mají konvenčně zpracované půdy tendenci zmenšovat objem pórů v ornici, což se naopak na bezorebně zpracovaných půdách časem zvyšuje (Novák & Mašek 2018). Vzhledem k nárůstu hmotnosti zemědělských strojů a často i nevhodným půdním zásahům dochází při orbě k výskytu technogenního ztuhnutí půdy, je však třeba říci, že i mělké zpracování půdy prováděné na jednu hloubku může vést k vytváření kompaktnější vrstvy právě pod touto hloubkou (Hůla 2008).

Konvenční postupy s orbou jsou i energeticky náročnější a tím nákladnější mají však v České republice značnou tradici. S ohledem na hnojení a předpisy s ním spojené, které se zpřísnují, a zvyšuje se důraz na omezení používání pesticidů, nabývá orba znovu na důležitosti (Procházková et al. 2004).

Konvenční zpracování půdy, které se v podstatě vyznačuje konzervativním způsobem obdělávání půdy, na mnoha stanovištích zcela nesplňuje požadavky pěstovaných plodin, především na rychlé a kvalitní založení porostu (Mašek 2009). Založení je možná nejtěžší fází v systému produkce píce. Jak uvádí Sheaffer (1989), osiva píce jsou obzvláště náchylná k deficitu půdní vlhkosti, protože malá semena jsou zaseta blízko pod povrch půdy. Konvenční techniky přípravy seťového lůžka, tedy řada předseťových operací zpracování půdy, seťové lůžko vysušují (Unger 1990) a zvyšují riziko eroze půdy (Sturgul et al. 1990).

Z hlediska protierozní ochrany půdy bývá orba většinou vnímána rizikově, nemusí to ovšem vždy platit. Novák & Mašek (2018) uvádí, že pokud je orba provedena správně (směr jízdy, hřebenitost), může i na svahu vykazovat vhodné podmínky pro zachytávání vody. Větší riziko podle něj představuje půda po provedení předseťové přípravy (hladký povrch). Podle Nováka & Maška (2018) také při orbě nedochází k tak velkému posunu půdních částic ve

směru jízdy jako u minimalizačních technologií. Nesouhlasí tedy s názory, že orba poškozují půdu, erozně ji ohrožuje apod. Je potřeba vždy zvážit konkrétní podmínky práce.

I přes úvahy o úplném vytlačení orby a nahrazení bezorebným zpracováním půdy stále platí, že v základním zpracování půdy má orba své místo. O volbě vhodné technologie musí umět každý zemědělec rozhodnout sám na základě vlastních zkušeností a lokálních podmínek hospodaření. Je také potřeba zajistit optimální podmínky při zpracování půdy pro růst plodin, zachovat kvalitu půdy a zabránit její degradaci.

### **3.2.2 Minimalizační zpracování půdy**

Vedle pracovně a energeticky náročných konvenčních technologií s orbou se stále více používají minimalizační postupy. Jsou pro ně podstatné dva znaky, a sice redukce hloubky a intenzita zpracování půdy, a pokud je při technologických postupech ponecháno více než 30 % zbytků rostlin na povrchu nebo ve vrchní vrstvě půdy, považují se za půdoochranné, což uvádějí například Procházková et al. (2004).

Při minimalizaci se dělají se různé formy mělkého zpracování půdy, orba se nahrazuje kypřením, plodiny se vysévají do povrchově nezpracované či zpracované půdy nebo do vymrzajících meziplodin.

V současné době je na trhu pro minimalizační technologii široká nabídka strojů a strojních linek, které umožňují přizpůsobit volbu technologických postupů konkrétním podmínkám (Procházková et al. 2011). Nové technologie zakládání porostů dbají na to, aby se především snižovalo utužování půdy, omezovaly přejezdy traktorů a dalších strojů po poli, především krátce po jejím nakypření a na jaře, kdy je půda na utužení velmi citlivá (Mašek 2009).

V porovnání s konvenčním zpracováním půdy dochází při minimalizaci, a zejména půdoochranné technologii, ke snížení nežádoucího zhutňování půdy, což je dáno například tím, že tažný prostředek během zpracování půdy nepojíždí v brázdě, jako u klasického zpracování, ale pouze po povrchu půdy. Možností, jak omezit zhutňování půdy, je například soustředit přejezdy po pozemcích do dočasných či trvalých kolejových stop. V trvalých jízdnicích stopách je navíc možno dosahovat nižších hodnot valivého odporu kol. Intenzivně nakypřená půda do větší hloubky, zejména orbou s překlápěním skýv, je velmi náchylná k opětovnému zhutnění při přejíždění strojů (Hůla 2008).

Hamza & Anderson (2005) uvádějí, že jedním z opatření v ochraně půd před nežádoucím zhutňováním půdy je zvětšení pracovních záběrů a z toho plynoucí snížení počtu přejezdů po pozemku. Při minimalizačním zpracování půdy dochází i k omezení pojezdu po



nakypřené půdě, která je k utužení náchylnější než slehlá půda (Šantrůček & Svobodová 2002), což se řadí mezi další výhodu oproti orbě, neboť u konvenčního zpracování je úprava hrubé brázdy první operací v předset'ové přípravě. Ovšem bezorebné zpracovní půdy, stejně jako orba, nedokáže eliminovat utužení půdy, pokud se provádí za mokra. Je tedy důležité provádět pracovní operace při optimální půdní vlhkosti (Voorhees 2000). Nápravou výskytu zhutnělé půdní vrstvy je použití hluboké kypření. V dnešní době se stává velkým fenoménem, a to hned z několika důvodů. Především se mezi ně řadí úspora času a financí. Za další lze považovat ochranu proti vodní erozi a úsporu vláhy. Zemědělci, kteří využívají minimalizaci, zjišťují, že se také potýkají s půdním utužením, jako se to děje u orby, jen s rozdílem, že u orby se půdní utužení tvoří v hlubší vrstvě půdy. V současné době je v osevních postupech málo plodin, které svými kořeny pomáhají problém řešit, jako právě například vojtěška s mohutným kořenovým systémem, která svými kořeny utuženou půdu proroste a částečně ji rozruší (Koukolíček & Pulkrábek, 2015). Používají se různé druhy kypřičů, které zpracovávají půdu do hloubky 30 až 50 cm, aniž by se vynesla zemina z hlubších vrstev k povrchu půdy. Kypření je nutné provádět na hloubku o něco vyšší, než je hloubka zhutnělé vrstvy. Hluboké kypření je potřeba provádět pouze za optimálních vlhkostních podmínek, kdy půda musí být drobivá, neboť při vysoké půdní vlhkosti může dojít ke zhoršení půdních podmínek (Novák & Mašek 2018), zejména k plastickým deformacím půdy (Hůla 2008), což je v tomto případě nežádoucí pro hlubší kypření půdy.

Vzhledem k vysoké energetické náročnosti konvenčního zpracování půdy s orbou jsou hlavními důvody rozšiřování a rozvoje minimalizačních technologií oblasti technické a ekonomické, ale i ekologické (Procházková et al. 2004). Zjednodušené postupy, založené na mělkém kypření, mohou přispět ke snížení nákladů na jednotku produkce, pokud při jejich uplatňování nedojde k výraznějšímu snížení výnosů plodin (Hůla 2010). Podobného názoru je i Vita et al. (2007), který uvádí, že minimalizační zpracování půdy je pro zemědělce výhodné, protože jasně snižuje výrobní náklady ve srovnání s konvenčním zpracováním půdy. Také Hůla et al. (1997) uvádí, že minimalizace představuje nižší energetickou náročnost, z čehož plyne úspora pohonných hmot. Podle Bonaria et al. (1995) minimalizační zpracování půdy oproti konvenčnímu dokáže až z 55 % uspořit čas, palivo, energii i náklady. I přes úsporu nákladů na motorovou naftu je nutno podotknout, že z velké části je vyvážena náklady na přípravky pro chemickou ochranu rostlin, zejména herbicidy, neboť v případě mělkého zpracování půdy je vyšší tlak plevelů. Problémem při minimalizačním zpracování půdy může být i výskyt škodlivých činitelů na zbytcích rostlin (především slámy), na kterých přetrvávají některé druhy škodlivých hub.

Hlavním smyslem půdoochranného zpracování půdy je snížení rizika eroze, a to zejména díky většímu množství rostlinné hmoty ponechané na povrchu zapracované vrstvy půdy, čímž ji kryje. Kromě způsobu hospodaření s rostlinnými zbytky má také na odolnost půdy proti erozi vliv obsahu organické hmoty (Mašek 2015), což uvádějí například Six et al. (2002). Rychlost tvorby a degradace makroagregátů (tj. obrat agregátu) je při bezorebném zpracování snížena ve srovnání s orbou a vede k tvorbě stabilních mikroagregátů, ve kterých je dlouhodobě stabilizovaný a izolovaný uhlík. Také dlouhodobé výsledky studie Klika et al. (2020) ukazují, že minimalizační zpracování půdy v dobře odvodněných půdách je výhodné pro zemědělce ve středoevropských podmínkách, zlepšuje stabilitu půdních agregátů a obsah vody v půdě a snižují ztráty živin v půdě.

Baeumer & Bakermans (1974) vypožorovali, že minimalizační zpracování půdy má praktickou hodnotu v systémech dvojitého pěstování obilovin a píce a při renovaci pastvin. Diskutováno je také srovnání podmínek prostředí v obdělávaných a neobdělávaných půdách a vlivů minimalizačního zpracování půdy na růst rostlin. Podle výsledků bezorebné zpracování půdy zahrnuje vyšší obsah vody v horní vrstvě půdy, snížené provzdušňování půdy, silnější mechanickou odolnost proti pronikání kořenů, menší amplitudy teploty půdy a odlišný vzorec distribuce živin v půdním profilu.

V maďarském zemědělství v 80. a 90. letech se příliš často používalo opakované mělké zpracování půdy talířovým nářadím. Birkás et al. (2002) sledovali vliv talířového zpracování v kombinaci s kypřením dlátovými kypřiči na půdní vlastnosti, na výnos kukuřice a ozimé pšenice a zaplevelení porostů. Podle změn půdních vlastností, hodnocených na základě penetračního odporu a objemové hmotnosti půdy bylo naznačeno, že pravidelné zpracování půdy s využitím talířového nářadí má za následek narůstající zhutňování vrstvy půdy pod hloubkou zpracování, adekvátní zhutnělému podbrázdí, které je typické pro konvenční kultivaci zahrnující orbou. Dále bylo zjištěno, že došlo ke statisticky významnému snížení výnosu zrna u kukuřice o 20 až 42 % a u ozimé pšenice o 13 až 15 % v porovnání s variantami na půdách, kde se zhutnění ve zmíněných horizontech nevyskytovalo. V průměru sedmi let a při třech hladinách hnojení byla celková pokryvnost jednoděložných a víceletých plevelů na půdách zpracovaných kypřiči do větších hloubek pouze 73, 69 a 65 % ve srovnání s půdami zpracovanými jen talířovým nářadím.

Při opakujícím se zpracování půdního profilu na jednu hloubku je třeba věnovat pozornost vzniku tzv. plužní pánev (orebního dna), díky níž je půdní profil více náchylný na nežádoucí zhutňování pohybem těžké techniky, což velmi negativně působí na fyzikální vlastnosti půdy, a to především na pórovitost a penetrační odpor. Zhoršení těchto vlastností

má především negativní vliv na rychlost a vývoj kořenů a tvorbu kořenového vlášení. U vojtěšky, která vytváří hlavní kulový kořen, se může omezit růst tím, že kořen nepronikne zhutněnou vrstvou v podorniči a deformuje se. Aby se půdní struktura a vodní režim obnovily, je potřeba plužní pánev narušit (Podhorský 2015). Jedním z řešení se nabízí využití například radličkového kypriče.

Z výše uvedeného lze stručně shrnout klady minimalizačního zpracování půdy. Dochází ke zvýšení stability půdy v porovnání s konvenčním zpracováním, omezují se eroze, lépe se vsakuje voda do půdy při dostatku biopórů, dále dochází k pomalejší mineralizaci. Mnozí autoři uvádí, že z hlediska obsahu humusu je použití minimalizační technologie výhodnější, neboť zanechává vyšší obsah humusu i dusíku (Mašek 2009). Dále dochází k menším škodám na půdní struktuře, čímž se zvyšuje biologická aktivita půdy. Při přejezdech strojů používaných na minimalizační zpracování půdy a nižšímu počtu pracovních operací dochází k malému utužení půd (Hůla 2010) a nelze také opomenout úspory práce a energie a z toho vyplývající možný vyšší zisk.

### **3.2.3 Zpracování půdy pro vojtěšku setou**

V České republice je minimalizační technologií zakládána přibližně čtvrtina ploch (Hakl et al. 2014), ovšem bezorebnému zpracování půdy v případě vojtěšky není věnována taková pozornost, ač obecně přináší již zmíněné klady.

Se zpracováním půdy často souvisí již mnohokrát zmíněné utužení, a to především kvůli přejezdům zemědělské techniky během sklizně píče. I přesto, že vojtěška dokáže svým kořenovým systémem pronikat skrze utužené půdní vrstvy, stále se jedná o negativní vliv na výnos porostu. Je potřeba si uvědomit, že utužení půdy jako takové je pozitivní z hlediska vývoje porostů, protože zlepšuje půdní vlastnosti pro rozvoj kořenového systému a vývoj rostliny. Jakmile je ale utužení nadměrné, jedná se o negativní hledisko a dochází ke zhutnění půdy.

Systém zpracování půdy má významný vliv na změnu půdních vlastností a na druhou stranu podle půdních vlastností je nutné volit způsob zpracování půdy. Z fyzikálních vlastností se změny vyvolané různým zpracováním půdy nejvíce dotýkají objemové hmotnosti půdy, která má za následek ovlivnění celého komplexu dalších fyzikálních vlastností půdy. Mezi velice důležitou fyzikální vlastnost, která úzce koreluje s objemovou hmotností půdy, patří pórovitost půdy (Hůla 2008). Tyto dvě vlastnosti se používají jako nejvýznamnější ukazatele stupně nakypření nebo utužení půdy (Mašek 2009).

V letech 1979 – 1995 prováděli Šantrůček a kol. (1998) nádobové, maloparcelkové a polní provozní pokusy, kde zkoumali vliv půdních podmínek na porost vojtěšky. Výsledky nádobových pokusů ukázaly, že vojtěška vyžaduje ve svrchních vrstvách ornice bezprostředně před setím objemovou hmotnost půdy redukovanou  $1 \text{ g.cm}^{-3}$  a při vzházení  $1,16 \text{ g.cm}^{-3}$ . Dále se ukázalo, že pokud se vojtěška seje do nedostatečně zpracované půdy, snižuje se výnos sena vojtěšky během dvou let o 7 – 10 % a v roce výsevu u 1. seče o 40 – 45 % bez ohledu na vzdálenost řádků. Výsledky také ukázaly, že při zvýšené půdní vlhkosti se zvýšila redukováná objemová hmotnost půdy od druhého roku vegetace. Nejvýznamnější vliv na snižování výnosu píce bylo po sklizňové technice. Časté přejezdy po porostech nejen vojtěšky mají za následek zhutňování půdy, čímž se poruší půdní struktura, která má vliv na aktivitu mikrobiální populace půdy. Podle Šantrůčka a kol. (1998) se negativně zhutnění půdy projevilo na aktivitě celulólytické půdní mikroflóry, kdežto kypření vojtěškových porostů mělo kladný vliv na rychlost proteolýzy. Vyšší zhutnění půdy mělo za následek také snížení průměru hlavního kořene, ale větší větvení v orniční vrstvě. Rostliny vojtěšky měly na zhutňovaných pozemcích také v průměru dvakrát méně listů na  $1 \text{ m}^2$  a kratší lodyhy. Šantrůček a kol. (1998) také v maloparcelních pokusech zkoumali vláčení vojtěškových porostů branami. V těchto pokusech se ukázalo, že má vláčení porostů vojtěšky malý vliv na snížení objemové hmotnosti půdy v odnožovací zóně vojtěšky, ale dochází ke zhutňování půdy přejezdy. Vláčením se snižuje počet lodyh i počet rostlin na  $\text{m}^2$ . V později prováděných maloparcelních pokusech Šantrůček & Svobodová (2002) také uvádí, že metoda kypření pomocí bran nedostatečně půdu prokypří a zároveň je velice agresivní vůči rostlinám vojtěšky. Skutečnost, že každé narušení celistvosti rostlinného těla je vstupní branou infekcí, podtrhává fakt, že vláčené porosty jsou náchylnější vůči napadení bakteriálními a houbovými chorobami. I přes probuzení dormantních pupenů po vláčení lodyhy bývají slabší a celkově poskytují nižší výnos. Šantrůček et al. (2008) uvádí, že poškození rostlin způsobuje výnosovou redukcí v rozmezí 70 – 85 %. Na jednotce plochy se sice počet lodyh zvýší, ale celkový výnos biomasy je stejný nebo nižší.

Allen & Entz (1994) porovnávali výnosy sušiny porostů vojtěšky, které byly založeny konvenční a minimalizační technologií (přímým setím). Porovnávali vliv různých předplodin, a to pšenice, hrachu a řepky. V případě, že byla předplodinou pšenice, varianta přímého setí dosahovala nižších výnosů a vývoj rostlin byl zpožděn. U hrachu i řepky byl rozdíl výnosů mezi těmito variantami nevýznamný. V suchých podmínkách porost vojtěšky založený přímým setím vykazoval lepší stav v porovnání s porostem založeným konvenční technologií. Tato skutečnost byla příkládána vyšší hladině vody v půdě, neboť při minimalizačním

zpracování půdy dochází k nižšímu výparu vody z půdy (Hůla 2008). V pokusu Allen & Entz (1994) také porovnávaly zaorání vs. odvoz slámy předplodiny, což nevykazovalo žádný rozdíl mezi těmito variantami. Výsledky těchto studií naznačily, že minimalizační technologie je proveditelnou alternativou pro pěstování píce.

Glab & Gondek (2013) zkoumali vliv změny chemických vlastností půdy a vliv výnosu vojtěšky po zhutnění půdy. Výsledky ukázaly, že přejezdy traktorů snížily výnos vojtěšky, zejména během druhé a třetí seče v každém roce. Zhutnění půdy způsobené traktory změnilo některé chemické vlastnosti půdy, a sice zvýšení pH a EC. Došlo také ke zvýšení obsahu P a Zn. Většina z těchto změn byla statisticky významná pouze v hlubší vrstvě půdy 20 – 30 cm. Tento efekt lze připsat vyššímu zhutnění půdy a nižší propustnosti vzduchu. Horní vrstva půdy (0 – 20 cm) byla odolná vůči změnám chemických vlastností pravděpodobně kvůli hustému kořenovému systému, který po zhutnění obnovuje půdy a zlepšuje fyzikální vlastnosti, což ukázaly například i pokusy Šantrůčka & Svobodová (1998). Glab (2008) též uvádí, že kořenový systém vojtěšky snižuje účinek zhutnění půdy. Šantrůček & Svobodová (1998) uvádějí, že kořeny výběžkatých typů vojtěšky brání většímu zhutňování půdy a dokonce přispívají v některých případech k jejímu prokypření. Jako příčinu poklesu produkce vojtěšky Glab & Gondek (2013) uvádí spíše důsledek mechanického poškození kořenů a nadzemních částí rostlin, než problému s příjmem živin.

Jak bylo již uvedeno, vliv na utužení půdy mají z velké části přejezdy zemědělskou technikou. Glab (2008) sledoval vliv utužení půdy pojezdy traktoru na výnos píce a kořenů vojtěšky. Jednotlivé varianty se lišily počtem přejezdů (2, 4 a 6 přejezdů). Utužení vzniklé těmito přejezdy bylo prokázáno pomocí změny objemové hmotnosti půdy a zvýšením penetrometrického odporu. Nárůst utužení se projevoval změnou morfologie kořenů - utuženější varianty vykazovaly vyšší obsah sušiny ve svrchní vrstvě půdy, především do hloubky 10 cm, oproti neutužené variantě. Kořeny též dosahovaly menších hloubek a jejich průměr byl větší. S rostoucím počtem přejezdů též klesal výnos píce - nižší výnosy oproti kontrole byly zaznamenány v obou užitkových letech. V jiné práci Glab (2011) uvádí, že kořeny ve více utužené půdě byly tenčí než v neutužené. V prvním roce experimentu utužení půdy způsobilo výrazné snížení výnosu píce, ovšem v následujících dvou letech byl zaznamenán opak, kdy výnosy byly výrazně vyšší v utužené půdě oproti neutužené. Na základě těchto výsledků produkce píce bylo vypořádováno, že utužení půdy mělo pozitivní vliv.

Jak již bylo zmíněno, zemědělské stroje mají také vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti půdy. Při sklizni vojtěšky tyto vlastnosti zkoumali Krebstein et al. (2013) v polním

experimentu v Estonsku. V jednom roce byly provedeny tři seče. Po třetí seči byly měřeny vlastnosti půdy v jízdnicích pruzích pro kola (zhuťněné) a mezi jízdnicími pruhy (nezhuťněné). Sledovány byly vzdušná kapacita půdy a nasycená hydraulická vodivost půdy. Výsledky ukázaly, že zhuťnění půdy zvýšilo objemovou hmotnost půdy o  $0,19 \text{ g/cm}^3$  v hloubce 5 cm a o  $0,14 \text{ g/cm}^3$  v hloubce 10 cm. Vzdušná kapacita půdy v zhuťněné půdě v hloubce 5 a 10 cm byla výrazně nižší, než v nezhuťněné půdě a voda dostupná pro rostliny se zvýšila v hloubce 10 a 20 cm, ale snížila se v hloubce 5 cm. Nasycená hydraulická vodivost byla v nezhuťněné ploše v hloubce 5 cm vyšší, než v hloubce 10 a 20 cm. Pokles nasycené hydraulické v důsledku zhuťnění půdy byla statisticky významná při hloubce 5 a 10 cm. Z důvodu sníženého objemu půdy a souvisejícího poklesu makroporozity, nasycené vody a vodivosti vzduchu byla snížena celková pórovitost. Také pojmy předkompresní stres a soudržnost jsou důležitými parametry mechanických vlastností půdy a často se používají jako kritérium pro posouzení náchylnosti půdy ke zhuťnění. Soudržnost půdy je tendence částic se vzájemně lepit a odrážejí konzistenci půdy a zpracovatelnost. Předkompresní stres půdy byl nižší v nezhuťněné oblasti. Zhuťnění půdy zvýšilo předkompresní stres o 60 kPa v hloubce 5 cm a o 30 kPa v hloubce 10 cm. Soudržnost byla větší v zhuťněné oblasti než v nezhuťněné ploše. K těmto změnám došlo vlivem tlaků strojů na vnitřní pevnost půdy, které nezvratně poškodilo původní vnitřní strukturu půdy. Během deformace jsou půdní částice tlačeny blíže k sobě, což vede k vyšší hustotě půdy.

V pokusu Vasilev & Pachev (2015) srovnávali různé varianty zakládání porostu vojtěšky a odlišného hnojení. Zpracování půdy bylo prováděno bezorebně, orbou a hlubokým kypřením. Pro hnojené plochy bylo použito hnojivo Amofos a NPK. Plochy s orbou byly zpracovány do 2 různých hloubek, a to 18 – 22 cm a 30 – 35 cm, a stejně tak plochy s bezorebným kypřením do hloubek 12 – 15 cm a 22 – 24 cm. Co se týkalo oraných variant, tak z těch, kde nebylo prováděno hnojení, dosahovaly nejvyšších hmotností v případě sušiny kořenů varianty orané s hloubkou 18 – 22 cm. Výnos zde byl 3833 kg, u druhé varianty byl 3368 kg/ha. Z oraných variant, které byly hnojené, poskytla nejvyšší výnos, a sice 4550 kg/ha, varianta zpracovaná do hloubky 18 – 22 cm, kde bylo použito NPK hnojivo v dávce 35 kg N, 80 kg P a 50 kg K/ha. Druhá oraná varianta (30 – 35 cm) dosáhla nejvyššího výnosu (3997 kg/ha) při hnojení NPK v dávce 23 kg N, 100 kg P a 35 kg K/ha. U ploch s bezorebným kypřením, kde bylo prováděno hnojení, poskytly nejvyšší výnos kypřené plochy do hloubky 22 – 24 cm. Výnos sušiny kořenů zde dosahoval 4003 kg/ha a použito bylo hnojivo Amofos v dávce 120 kg P/ha. Druhá varianta poskytla výnos 3397 kg/ha s použitím NPK hnojiva v dávce 60 kg N, 100 kg P a 80 kg K/ha.

Z celkových výsledků vyplývá, že rostliny nahromadily největší množství suché kořenové hmoty (4550 kg/ha) v hloubce 18 – 22 cm při použití hnojiva NPK. Zásobování vojtěšky s počátečním množstvím dusíku bylo nezbytné pro tvorbu kořenové hmoty, avšak vliv hnojení na zvýšení výnosu není jediným ovlivňujícím faktorem a není ani statisticky průkazný jak popisuje například Hakl et al. (2014). Cary et al. (1967) prováděl hluboké kypření půdy do hloubky 122 cm, což snížilo průměrnou objemovou hustotu podloží z  $1,65 \text{ g.cm}^{-3}$  na přibližně  $1,45 \text{ g.cm}^{-3}$ . Hnojení fosforem, sírou a vápněním v kombinaci s hlubokým kypřením půdního profilu přineslo nejvyšší výnos vojtěšky. Hluboce kypřená půda vyprodukovala více vojtěšky v porovnání s mělce kypřenou půdou, jelikož hluboké kypření umožnilo větší zásobu vody v půdním podloží a zvýšenou dostupnost podzemní vody pro rostliny díky rozsáhlejšímu pronikání kořenů do uvolněné půdní zóny.

Z výše uvedeného lze shrnout, že setím do nedostatečně zpracované půdy dochází ke snížení výnosu. Nejvýznamnější vliv na utužení půdy má sklizňová technika, protože dochází k porušení půdní struktury. Zhutnění půdy má podle výsledků prováděných pokusů vliv na počet listů, který bývá menší a lodyhy, které jsou kratší. Zhutněním půdy se kořeny vojtěšky ztenčují a tím hlouběji koření, lze tedy konstatovat, že vojtěška snižuje účinek zhutnění půdy. Díky minimalizaci dochází k nižšímu výparu vody z půdy. Prevencí proti nadměrnému utužování půdy může být hluboké kypření orničního profilu, pěstování hluboko kořenících plodin, víceletých pícnin, snižování počtu přejezdů a eliminace tlaku na půdu.

V praxi rozhodně převažuje využívání zakládání porostů vojtěšky pomocí konvenční technologie, ale někteří zemědělci v dnešní době díky novým technologiím již hospodaří i pomocí minimalizační technologie. Pro úspěšné pěstování vojtěšky je důležité dostatečně hluboké zpracování půdy, jak orbu nebo minimalizaci, u které se též nesmí zapomínat na výběr vhodného pozemku a předplodinu.

V případě pěstování vojtěšky v ČR není věnována dopadům konvenčního a minimalizačního zpracování půdy dostatečná pozornost a na toto téma prakticky neexistují dlouhodobější studie. Z těchto důvodů je cílem předložené práce vyhodnotit dopad různých technologií zpracování půdy před založením porostu na výnos píce vojtěšky a rozvoj kořenového systému i výnosotvorných prvků.

## 4 Metodika

### 4.1 Materiál

#### 4.1.1 Charakteristika stanoviště

Polní pokus byl založen na jaře 2015 ve Výzkumné stanici v Červeném Újezdě. Obec se nachází v nadmořské výšce 410 m. n. m., v okrese Praha-západ ve Středočeském kraji a stanice ve výšce 398 m. n. m., 50°04' zeměpisné šířky, 14°10' zeměpisné délky. Oblast se řadí do výrobní oblasti řepářské. Průměrný roční úhrn srážek činí 493 mm, kdy se jedná o průměr za roky 1901-1950 a za vegetaci 333 mm. Průměrná doba slunečního svitu je 1908 hodin ročně, za vegetační období 1396 hodin. Podle Bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ) spadá tato oblast do Klimatického regionu 4, tedy mírně teplý a suchý. Hlavní půdní jednotkou je zde hnědozem, půda je hluboká, bezskeletovitá, se sprašovým pokryvem. Co se týče chemických vlastností půdy, nachází se zde nízký obsah humusu, půdní reakce je neutrální, sorpční kapacita je střední a koloidní komplex nasycen. Obsah makroprvků P a K je střední až dobrý (ČZU, 2021).

Meteorologické údaje za období průběhu pokusu (tj. rok 2016-2019) jsou uvedeny v tabulce na následující straně. Jedná se o výběr s průměrnými měsíčními hodnotami srážek (mm) a teplot (°C) pro uvedené roky.



měsíc	VIII 15	IX 15	X 15	XI 15	XII 15							
teplota	21,93	14,58	8,18	6,68	4,75							
srážky	54,7	11,5	53,2	52,3	11,3							
měsíc	I 16	II 16	III 16	IV 16	V 16	VI 16	VII 16	VIII 16	IX 16	X 16	XI 16	XII 16
teplota	-0,42	3,29	4,42	8,74	14,18	17,93	19,57	18,48	17,64	8,45	2,68	0,67
srážky	28,4	41,7	21,9	19,6	90,8	58,8	58,6	34,6	23,7	56,9	23	16,5
měsíc	I 17	II 17	III 17	IV 17	V 17	VI 17	VII 17	VIII 17	IX 17	X 17	XI 17	XII 17
teplota	-5,13	1,9	7,19	7,75	14,7	18,69	19,79	19,46	12,78	10,64	4,44	1,31
srážky	13,8	13,9	33,4	51,3	16,5	85,8	84,1	55,5	25	61,6	29,1	22
měsíc	I 18	II 18	III 18	IV 18	V 18	VI 18	VII 18	VIII 18	IX 18	X 18	XI 18	XII 18
teplota	2,78	-3,81	1,76	13,56	16,72	18,33	20,64	21,76	16,03	10,61	4,26	2,58
srážky	27,6	6,3	35,8	14	24,4	74,7	12,1	21,9	38,7	24,2	12,7	41,8
měsíc	I 19	II 19	III 19	IV 19	V 19	VI 19	VII 19	VIII 19	IX 19	X 19		
teplota	-0,47	3,08	7,04	10,22	11,31	21,68	20,09	20	14,54	10,46		
srážky	24,8	17,4	33,1	22,1	55,3	41,4	52,6	97,5	57,2	30,3		

### 4.1.2 Charakteristika odrůdy

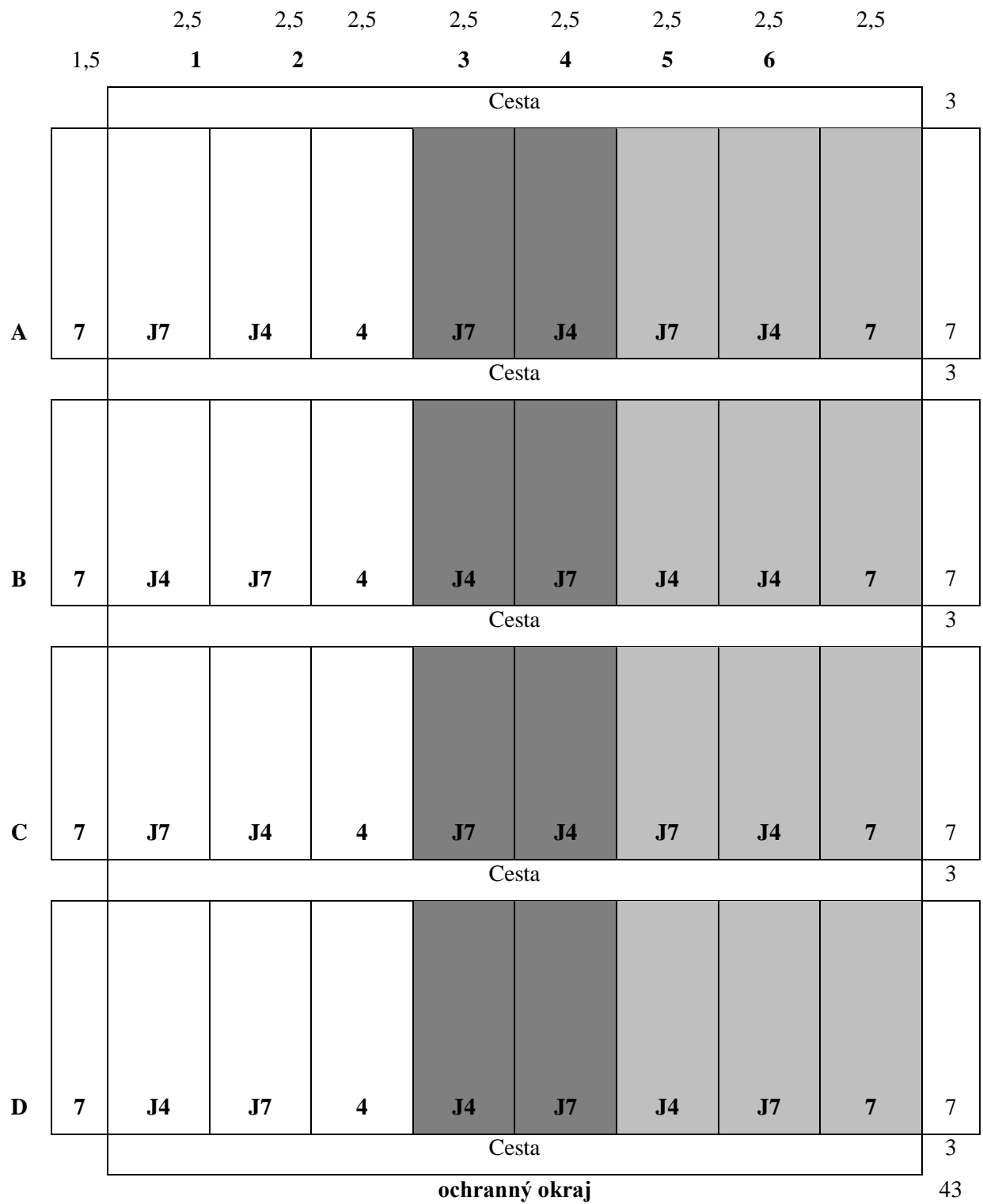
V polním pokusu byla použita odrůda českého původu – Jarka. Registrace této odrůdy byla v roce 1995, přičemž byla vyšlechtěna ve Šlechtitelské stanici Želešice. Jedná se o ranou až středně ranou odrůdu, pro niž je charakteristický vzpřímený až polovzpřímený vzrůst. Odrůda Jarka je vysoce odolná proti listovým chorobám a další výhodou je velmi vysoká odolnost vůči cévnímu vadnutí a je též odolná proti poléhání. Rychlost jarního růstu je středně vysoká až vysoká. Požadavky na pěstování nemá specifické, je plastická, vhodná do všech podmínek pro pěstování vojtěšky. Výborně se uplatňuje v klasickém osevním postupu při víceletém využití. Vyznačuje se vysokým výnosem ve všech užitkových letech. (AGROKOP, 2021).

### 4.1.3 Design a uspořádání experimentu

Pokus byl založen za účelem zjištění dopadu různých technologií zpracování půdy před založením porostu na výnos píce vojtěšky. V pokusu byly porovávány tři varianty zpracování půdy ve schématu split plot a dva výsevky ve zcela znáhodněných blocích. Variantami zpracování půdy byly mělké kypření do hloubky 10 cm talířovým kypřičem, hluboké kypření radličkovým kypřičem do hloubky 25 cm a orba pomocí radličného pluhu do hloubky 25 cm. Výsevky byly 4 a 7 MKS. Pokus probíhal na 24 parcelách, které byly uspořádány do 4 opakování. V rámci každého opakování bylo vždy pro dvě parcelky zvoleno stejné zpracování půdy, lišilo se však výsevkem. V níže uvedené tabulce jsou uvedeny parametry osiva a použité výsevky.

Čistota osiva (%)	Klíčivost (%)	UH (%)	HTS (g)	Hmotnost MKS (kg)	MKS	Výsevek (kg/ha)	Výsevek (g/parcela)
99,8	90	89,82	1,89	2,1	4	8,417	14,729
					7	14,729	25,777

Na následující straně je znázorněno schéma pokusu.



#### 4.1.4 Hodnocení jednotlivých sečí a parametrů struktury porostu

Výsev vojtěšky byl proveden dne 24. 4. 2015 bezezbytkovým secím strojem po jednotném předset'ovém zpracování půdy. V roce založení se uskutečnila odplevelovací seč a podzimní seč na konci vegetace. V užitkových letech 2016 – 2019 byly prováděny v každém jednotlivém roce čtyři seče. Každý rok v každé seči, vyjma roku 2019, ve kterém se sledoval již pouze výnos píce v sušině, byly odebírány vzorky píce z 0,5 m řádku na každé parcele. V odběrových plochách byly sledovány následující parametry – počet rostlin na m<sup>2</sup>, počet lodyh na m<sup>2</sup>, maximální délka lodyhy, hmotnostní podíl listů v píci a obsah sušiny. Na každé parcele byla před sečí zároveň stanovena stlačená výška porostu (6 měření talířovým měřidlem na každé parcele). Výnos píce byl stanoven vážením čerstvé píce na sklizňové ploše parcely 10 m<sup>2</sup> a přepočten na výnos v sušině podle sušiny stanovené z odebraných vzorků píce. Rozdíly mezi variantami v uvedených parametrech byly statisticky vyhodnoceny analýzou rozptylu v programu Statistica.

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny datumy jednotlivých sečí.

Rok	I.seč	II.seč	III.seč	IV.seč
2016	19.5.	23.6.	27.7.	20.10.
2017	15.5.	26.6.	17.8.	17.10.
2018	10.5.	14.6.	30.7.	8.10.
2019	16.5.	27.6.	13.8.	3.10.

## **5 Výsledky**

### **5.1 Vliv ročníku, zpracování půdy a výsevku na celkový roční výnos píce a výnosy v jednotlivých sečích**

V tabulce č. 1 je uveden vliv roku, technologie zpracování půdy a použitého výsevku na výnos píce v jednotlivých sečích a celkový roční výnos. Z výsledků vyplývá, že vliv ročníku byl statisticky průkazný ve všech čtyřech sečích i u celkového ročního výnosu píce. První a 4. seč vykazují nejvyšší průměrný výnos píce v roce 2019. Ve 2. a 3. seči je nejvyšší průměrný výnos píce v roce 2017. Nejvyšší celkový roční výnos píce je za rok 2017, a sice 16,1 t/ha.

Výnosy píce v jednotlivých sečích mezi jednotlivými variantami použité technologie zpracování půdy nebyly statisticky průkazné. Efekt technologie byl statisticky průkazný pouze u výnosů ve 4. seči, kdy oraná varianta vykazovala nejvyšší průměrný výnos, od hlubokého kypření se ovšem výrazně neliší.

V poslední části tabulky je vyhodnocen vliv výsevku na výnos píce, přičemž statisticky významný efekt byl zaznamenán ve 2. a 3. seči, kde nižší výsevek poskytoval stabilně vyšší výnos, a to 3,43 a 3,11 t/ha ve 2. a 3. seči. Toto navýšení se však významně neprojevovalo v celkovém ročním výnosu.

Tab. 1:

Vliv ročníku, zpracování půdy a výsevku na celkový roční výnos píce a výnosy v jednotlivých sečích

Faktor		Výnos (t/ha)				
		1.seč	2.seč	3. seč	4.seč	celkem
Rok	2016	4,53 <sub>a</sub>	3,25 <sup>b</sup>	2,94 <sup>b</sup>	0,71 <sup>a</sup>	11,7 <sup>a</sup>
	2017	5,93 <sup>b</sup>	4,27 <sup>a</sup>	4,15 <sup>c</sup>	1,69 <sup>c</sup>	16,1 <sup>c</sup>
	2018	5,15 <sup>a</sup>	3,01 <sup>a</sup>	2,58 <sup>a</sup>	1,15 <sup>b</sup>	11,9 <sup>a</sup>
	2019	7,02 <sup>c</sup>	2,85 <sup>a</sup>	2,38 <sup>a</sup>	2,39 <sup>d</sup>	14,6 <sup>b</sup>
	<i>P</i>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Technologie	ORBA	5,86	3,42	3,02	1,56 <sup>a</sup>	13,9
	MĚLKÉ KYPŘENÍ	5,64	3,26	2,97	1,37 <sup>b</sup>	13,5
	HLUBOKÉ KYPŘENÍ	5,69	3,37	3,05	1,53 <sup>a</sup>	13,3
	<i>P</i>	0,32	0,14	0,68	<b>0,02</b>	0,13
Výsevek	4 MKS	5,67	3,43 <sup>b</sup>	3,10 <sup>b</sup>	1,52	13,7
	7 MKS	5,79	3,26 <sup>a</sup>	2,92 <sup>a</sup>	1,45	13,4
	<i>P</i>	0,31	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	0,21	0,14

Rozdílné písemné indexy značí signifikantní rozdíl Fisherova testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$

## 5.2 Vliv ročníku, zpracování půdy a výsevku na výnosotvorné prvky vojtěšky v jednotlivých sečích

V tabulkách č. 2 – 5 je uveden vliv roku, technologie zpracování půdy a použitého výsevku na výnosotvorné prvky – rostliny/m<sup>2</sup>, lodyhy/m<sup>2</sup>, délka lodyhy a LSR v roce 2016, 2017 a 2018. Jednotlivé tabulky ukazují statistické srovnání pro samostatně hodnocené seče.

Z výsledků vyplývá, že vliv ročníku měl prokazatelný vliv na délku lodyhy a LSR ve všech čtyřech sečích. Výrazně nižší průměrnou délku lodyhy vykazuje 4. seč v roce 2018. Nejvyšší hodnota LSR byla zaznamenána v roce 2016, a to ve všech hodnocených sečích. Největšího průměru dosahuje hodnota LSR ve čtvrté seči. Statisticky průkazný byl také vliv ročníku na počet lodyh/m<sup>2</sup> ve 3. a 4. seči, kde se lišil zejména ročník 2017 a 2018.

Vliv ročníku na počet rostlin/m<sup>2</sup> se neprokázal jako statisticky průkazný ani v jedné seči.

Efekt technologie na některé dále uvedené výnosotvorné prvky byl statisticky průkazný ve všech sečích, vyjma 1. seče. Významný trend byl zaznamenán u počtu

rostlin/m<sup>2</sup>, kde mělké a hluboké kypření konzistentně vykazují vyšší hodnoty než orebné zpracování půdy. Nejvyšší průměrnou délku lodyhy vykazuje orebná varianta ve 3. a 4. seči. Hodnota LSR je statisticky průkazná pouze v případě 4. seče. Nejvyšší průměrnou hodnotu zde vykazuje mělké kypření, které má zároveň nejnižší délku lodyh.

Statisticky významný efekt výsevku na výnosotvorné prvky byl zaznamenán ve všech čtyřech sečích, přičemž ve všech čtyřech sečích vykazoval vyšší průměrný počet rostlin/m<sup>2</sup> i počet lodyh/m<sup>2</sup> výsevek 7 MKS.

Tab. 2:

Vliv ročníku, zpracování půdy a výsevku na výnosotvorné prvky vojtěšky v první seči

Faktor		výnosotvorné prvky			
		R/m <sup>2</sup>	L/m <sup>2</sup>	délka lodyhy (cm)	LSR
Rok	2016	193	789	64,6 <sup>b</sup>	0,45 <sup>c</sup>
	2017	187	828	72,8 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>
	2018	177	835	70,4 <sup>a</sup>	0,42 <sup>b</sup>
	<i>P</i>	<i>0,63</i>	<i>0,68</i>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Technologie	ORBA	181	825	70,1	0,42
	MĚLKÉ KYPŘENÍ	204	841	68,4	0,42
	HLUBOKÉ KYPŘENÍ	174	787	69,3	0,42
	<i>P</i>	<i>0,09</i>	<i>0,48</i>	<i>0,58</i>	<i>0,40</i>
Výsevek	4 MKS	165 <sup>a</sup>	770 <sup>a</sup>	69,1	0,42
	7 MKS	212 <sup>b</sup>	874 <sup>b</sup>	69,5	0,42
	<i>P</i>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<i>0,92</i>	<i>0,69</i>

Rozdílné písemné indexy značí signifikatní rozdíl Fisherova testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$

Tab. 3:

Vliv ročníku, zpracování půdy a výsevku na výnosotvorné prvky vojtěšky ve druhé seči

Faktor		výnosotvorné prvky			
		R/m <sup>2</sup>	L/m <sup>2</sup>	délka lodyhy (cm)	LSR
Rok	2016	211	899	75,2 <sup>a</sup>	0,40 <sup>c</sup>
	2017	232	917	69,3 <sup>a</sup>	0,33 <sup>a</sup>
	2018	199	841	61,7 <sup>b</sup>	0,37 <sup>b</sup>
	<i>P</i>	<i>0,30</i>	<i>0,47</i>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Technologie	ORBA	175 <sup>b</sup>	817	69,8	0,37
	MĚLKÉ KYPŘENÍ	235 <sup>a</sup>	903	67,0	0,37
	HLUBOKÉ KYPŘENÍ	233 <sup>a</sup>	936	69,3	0,36
	<i>P</i>	<b>0,00</b>	<i>0,13</i>	<i>0,65</i>	<i>0,11</i>
Výsevek	4 MKS	172 <sup>a</sup>	802 <sup>a</sup>	68,6	0,36
	7 MKS	265 <sup>b</sup>	984 <sup>b</sup>	68,9	0,37
	<i>P</i>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<i>0,97</i>	<i>0,17</i>

Rozdílné písemné indexy značí signifikatní rozdíl Fisherova testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$



Tab. 4:

Vliv ročníku, zpracování půdy a výsevku na výnosotvorné prvky vojtěšky ve třetí seči

Faktor		výnosotvorné prvky			
		R/m <sup>2</sup>	L/m <sup>2</sup>	délka lodyhy (cm)	LSR
Rok	2016	154	619 <sup>ab</sup>	54,2 <sup>a</sup>	0,46 <sup>c</sup>
	2017	184	572 <sup>a</sup>	86,6 <sup>c</sup>	0,29 <sup>a</sup>
	2018	147	686 <sup>b</sup>	61,6 <sup>b</sup>	0,39 <sup>b</sup>
	<i>P</i>	<i>0,05</i>	<b><i>0,05</i></b>	<b><i>0,00</i></b>	<b><i>0,00</i></b>
Technologie	ORBA	141 <sup>a</sup>	620	73,6 <sup>b</sup>	0,37
	MĚLKÉ KYPŘENÍ	171 <sup>ab</sup>	620	62,4 <sup>a</sup>	0,40
	HLUBOKÉ KYPŘENÍ	173 <sup>b</sup>	637	66,5 <sup>a</sup>	0,37
	<i>P</i>	<b><i>0,03</i></b>	<i>0,91</i>	<b><i>0,00</i></b>	<i>0,10</i>
Výsevek	4 MKS	125 <sup>a</sup>	563 <sup>a</sup>	67,6	0,37
	7 MKS	205 <sup>b</sup>	700 <sup>b</sup>	67,5	0,38
	<i>P</i>	<b><i>0</i></b>	<b><i>0,00</i></b>	<i>0,46</i>	<i>0,36</i>

Rozdílné písemné indexy značí signifikatní rozdíl Fisherova testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$

Tab. 5:

Vliv ročníku, zpracování půdy a výsevku na výnosotvorné prvky vojtěšky ve čtvrté seči

Faktor		výnosotvorné prvky			
		R/m <sup>2</sup>	L/m <sup>2</sup>	délka lodyhy (cm)	LSR
Rok	2016	190	503 <sup>b</sup>	40,5 <sup>a</sup>	0,61 <sup>a</sup>
	2017	158	621 <sup>c</sup>	34,5 <sup>b</sup>	0,56 <sup>a</sup>
	2018	174	403 <sup>a</sup>	40,8 <sup>a</sup>	0,49 <sup>b</sup>
	<i>P</i>	<i>0,09</i>	<i>0,00</i>	<i>0,04</i>	<i>0,00</i>
Technologie	ORBA	167	542	44,4 <sup>a</sup>	0,51 <sup>a</sup>
	MĚLKÉ KYPŘENÍ	178	481	31,2 <sup>b</sup>	0,60 <sup>b</sup>
	HLUBOKÉ KYPŘENÍ	177	505	40,2 <sup>a</sup>	0,55 <sup>ab</sup>
	<i>P</i>	<i>0,68</i>	<i>0,39</i>	<i>0,00</i>	<i>0,01</i>
Výsevek	4 MKS	134 <sup>a</sup>	465 <sup>a</sup>	38,7	0,56 <sup>a</sup>
	7 MKS	213 <sup>b</sup>	553 <sup>b</sup>	38,5	0,55 <sup>a</sup>
	<i>P</i>	<i>0,00</i>	<i>0,02</i>	<i>0,94</i>	<i>0,80</i>

Rozdílné písemné indexy značí signifikantní rozdíl Fisherova testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$

### 5.3 Průměr parametrů všech čtyř sečí včetně srovnání sečí mezi sebou

V tabulce č. 6 je uveden vliv roku, technologie zpracování půd, použitého výsevku a seče na výnosotvorné prvky – rostliny/m<sup>2</sup>, lodyhy/m<sup>2</sup>, délka lodyhy a LSR.

V průměru všech sečí byl zřejmý statisticky průkazný efekt (vlivu) ročníku na délku lodyhy a LSR. Průměrná délka lodyhy je nejdelší v roce 2017, v roce 2016 a 2018 jsou průměry stejné. Průměrná hodnota LSR je největší v roce 2016.

Efekt technologie je statisticky průkazný na počet rostlin/m<sup>2</sup>, délku lodyhy a LSR. Vyšší průměrný počet rostlin/m<sup>2</sup> vykazuje varianta mělkého a hlubokého kypření oproti orané variantě. Naopak délka lodyhy je u orané varianty nejvyšší. Nejvyšší průměrná hodnota LSR je u mělkého kypření, hodnoty hlubokého kypření s orbou se výrazně neliší.

Efekt použitého výsevku na výnosotvorné prvky – rostliny/m<sup>2</sup> a počet lodyh/m<sup>2</sup> byl v průměru všech čtyřech sečí statisticky průkazný, přičemž výsevek 7 MKS vykazoval vyšší průměrný počet rostlin/m<sup>2</sup> i počet lodyh/m<sup>2</sup> oproti výsevku nižšímu.

Efekt jednotlivých sečí na výnosotvorné prvky byl vždy průkazný, přičemž největší průměrný počet rostlin/m<sup>2</sup> a lodyh/m<sup>2</sup> byl zaznamenán ve druhé seči oproti ostatním třem sečím, největší průměrná délka lodyhy a LSR pak v první seči.

Tab. 6:

Průměr parametrů za všechny seče včetně srovnání sečí mezi sebou

Faktor		výnosotvorné prvky			
		R/m <sup>2</sup>	L/m <sup>2</sup>	délka lodyhy (cm)	LSR
Rok	2016	187	702	58,6 <sup>a</sup>	0,48 <sup>c</sup>
	2017	191	735	65,8 <sup>b</sup>	0,39 <sup>a</sup>
	2018	174	691	58,6 <sup>a</sup>	0,42 <sup>b</sup>
	<i>P</i>	<i>0,15</i>	<i>0,26</i>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Technologie	ORBA	166 <sup>b</sup>	701	64,5 <sup>a</sup>	0,42 <sup>a</sup>
	MĚLKÉ KYPŘENÍ	197 <sup>a</sup>	711	57,3 <sup>b</sup>	0,45 <sup>b</sup>
	HLUBOKÉ KYPŘENÍ	189 <sup>a</sup>	716	61,3 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>
	<i>P</i>	<b>0,00</b>	<i>0,70</i>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Výsevek	4 MKS	149 <sup>a</sup>	654 <sup>a</sup>	61,4	0,43
	7 MKS	224 <sup>b</sup>	773 <sup>b</sup>	60,6	0,43
	<i>P</i>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<i>0,69</i>	<i>0,55</i>
Seč	1.	186 <sup>b</sup>	818 <sup>c</sup>	69,3 <sup>a</sup>	0,42 <sup>b</sup>
	2.	214 <sup>c</sup>	885 <sup>d</sup>	68,7 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>
	3.	162 <sup>a</sup>	626 <sup>b</sup>	67,5 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>
	4.	174 <sup>b</sup>	509 <sup>a</sup>	38,6 <sup>b</sup>	0,58 <sup>c</sup>
	<i>P</i>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Rozdílné písemné indexy značí signifikantní rozdíl Fisherova testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$

## 6 Diskuze

V pokusu byl zjištěn významný vliv technologie zpracování půdy a zvoleného výsevu na řadu výnosotvorných prvků, ale výsledný efekt na celkový roční výnos nebyl zaznamenán. Jednotlivé efekty jsou dále diskutovány samostatně.

### 6.1 Vliv technologie na výnosotvorné prvky

Porovnání počtu rostlin na jednotku plochy mezi různými variantami zpracování půdy ukázalo, že varianty s kypřením dosahovaly v průměru vyšší hodnoty než orba. To ukazuje na vyšší vzcházivost a nižší mortalitu rostlin, což pravděpodobně souvisí s kvalitnější jarní přípravou půdy na kypřených variantách. I přesto, že byl u varianty orebného zpracování půdy počet rostlin výrazně nižší, dosahoval vždy optimálního počtu rostlin na 1 m<sup>2</sup>. Rozdíly v počtu rostlin se ale neprojevily v počtu lodyh, kde mezi variantami nebyl významný rozdíl. Nejvyšší průměrnou délku lodyhy vykazovala orebná varianta ve 3. a 4. seči. To lze odůvodnit tím, že s klesajícím počtem rostlin na pozemku, jak tomu bylo právě v případě orebné varianty, narůstá tvorba lodyh na rostlině a současně dochází k výraznějšímu větvení lodyhy, a tím se tedy prodlouží délka lodyhy. Také případné zhutnění půdy vykazuje na délku lodyh negativní vliv (Šantrůček & Svobodová 2002), ale je třeba brát v úvahu i další výnosotvorné prvky. Nejvyšší průměrnou hodnotu LSR vykazovalo mělké kypření ve 4. seči, které dosahovalo i nejnižšího výnosu a nejkratších lodyh, v souladu s negativním vztahem mezi LSR a délkou lodyh (Hakl et al. 2016)

### 6.2 Vliv technologie na výnos píce

Ačkoliv nebyl průkazný vliv zpracování půdy na výnos píce vojtěšky, řada studií ukazuje významný vliv těchto technologií na utužení půdy a hospodaření s vodou. U varianty mělkého kypření by se tak dal předpokládat nejrychlejší výpar vody a měl by se tak nejdříve projevit její nedostatek. Mělkým kypřením byla výška zpracovaného půdního horizontu při podzimním zpracování půdy nízká (do 10 cm), takže zde mohlo dojít k vyššímu výparu vody a současně k bočnímu umáznutí vrstvy v hloubce zpracování půdy. Předseťovou přípravou půdy byl takto zpracovaný půdní horizont opětovně oddělen v oblasti seťového lůžka, čímž byla opět přerušena kapilarita. Varianta hlubokého kypření pravděpodobně čerpala z výhody absence utužené vrstvy, která vzniká při orbě radličným pluhem v hloubce zpracování půdy. Touto absencí bylo umožněno získávat vodu a živiny z hlubších vrstev půdy. V případě

orebného zpracovní půdy je možné, že intenzivně zpracovaná varianta vykazovala nižší obsah vody, což je dáno vyšším výparem, jak uvádí například Allen et Entz (1994). Vzhledem k tomu, že k urovnání hrubé brázdy je zapotřebí provést více pracovních operací, lze též brát v potaz vyšší ztráty vody při předseťové přípravě. U obou kypřených variant lze předpokládat, že všeobecně rostliny lépe hospodařily s dostupnou vláhou nebo ji měly více k dispozici.

Vzhledem k tomu, že nebyly pokusné parcelky znáhodněny v souvislosti se zpracováním půdy (split-plot design), je možné, že měly vliv i konkrétní místa na pozemku, například díky lokálně vyššímu utužení půdy. Co se týče utužení půdy, tak nejen v případě orebného zpracování půdy k němu může docházet, ovšem pokud utužení zvýší kapilární vztlínání do zóny kořenů a neomezí se pohyb vody, může být takovéto utužení pozitivní, což uvádí například Brant et al. (2016). Stejně jako orba, nedokáže ani bezorebné zpracování půdy eliminovat utužení, pokud se operace provádí při neoptimální půdní vlhkosti. Toto tvrzení uvádí i Voorhees (2000), je tedy i v případě kypřených variant vysoká pravděpodobnost umáznutí vrstvy za vlhka, což zvyšuje pravděpodobnost tvorby nepropustné vrstvy. Tento efekt se však u hlubokého kypření projevuje méně, neboť při hlubokém zpracování půdy bylo použito dláto bez křídel, čímž se snižuje potřeba tahové síly. U vojtěšky lze obecně předpokládat, že rostliny byly schopny díky svému kořenovému systému schopny narušit i případnou zhutnělou vrstvu, která může vznikat jak v případě minimalizace, tak orby.

I přesto, že převážně konvenčním zpracováním půdy často dochází k utužení půdy, zejména při předseťové přípravě půdy a setí, a tím je ovlivněn vývoj rostlin, což má následně vliv i na celkový výnos porostu, v praxi dochází i k situacím, kdy se pod utuženou vrstvou ornice opět nachází kyprá půda (Brant et al. 2016), znamená to tedy, že i když orba může zapříčinit utužení půdy, ne vždy musí mít negativní vliv na porost a konečné výnosy. Utužená vrstva má všeobecně negativní vliv na vývoj kořenového systému, ovšem v případě vojtěšky tomu tak není, protože kořenový systém je velmi hluboký a má schopnost proniknout i do silně zhutněné půdy, což uvádí například Glab (2011), navíc kořeny v utužené vrstvě půdy mají tendenci se ztenčovat, což je pro absorpci vody vhodnější, a také lépe do utužené půdy pronikají. Tato schopnost dělá z vojtěšky vhodnou pro pěstování i v degradované půdě.

Obecně by se minimalizační zpracování půdy formou hlubokého kypření dalo doporučit, když přihlédneme k tomu, že kypřič v porovnání s pluhem neodděluje vrstvu půdy tak násilně do hloubky zpracování, čímž nedojde k přerušení kapilarity mezi zpracovávanou půdou a zbytkem ornice.

Negativní vliv mělkého kypření se projevil pouze na výnosech 4. sečí, kde mělké kypření vykazovalo výnos o 12 % menší oproti orané variantě. Mezi orbou a hlubokým

kypřením byl rozdíl minimální, zhruba 2 %. To ukazuje, že lze vysledovat negativní dopady mělkého kypření na produkci píce vojtěšky, ale také na fakt, že tyto efekty byly v celém pokusu marginální.

### 6.3 Vliv výsevku na produkci píce

Varianta s použitým výsevku 4 MKS se v případě výnosu píce projevila pozitivně ve 2. a 3. seči, neboť v těchto podmínkách nižší výsevek poskytoval vyšší výnos zhruba o 5 – 6 %, avšak v celkovém ročním výnosu se toto navýšení neprojevilo. Vyšší průměrný výnos u varianty s nižším výsevku v těchto sečích je možné odůvodnit tím, že při vyšších výsevcích je vyšší hustota porostu, čímž dochází k vyšší vzájemné konkurenci rostlin a tedy k poklesu jejich produktivity. Vliv hustoty porostu na pokles rostlin uvádí i Hakl et al. (2011) či Kephart et al. (1991). Celkově počet rostlin i počet lodyh/m<sup>2</sup> v jednotlivých sečích byl vyšší u varianty 7 MKS, což souvisí s předpokladem, že vyšší výsevek přispívá k vyšší hustotě porostu. Wakefield et Skaland (1965) sice uvádí, že pro výnos je důležitější počet rostlin než jejich velikost, nutno však podotknout, že vyšší výsevek sice poskytoval konzistentně vyšší počet rostlin a přesto rozdíl v ročním výnosu píce nebyl statisticky průkazný. Z tohoto důvodu bych nižší výsevky vojtěšky nepovažovala za rizikové, neboť naopak mohou za sucha dosahovat lepších výsledků.

I přesto, že v této diplomové práci nebyl zahrnut kořenový systém, je nutno podotknout, že nižší výsevek může pozitivně ovlivnit i velikost kořenového krčku a větvení kořenů, jelikož nižší výsevky dávají větší prostor kořenům, což uvádí více autorů, jako například Hakl et al. (2011) či Upchurch et Lovvorn (1951), a jelikož velikost kořenového aparátu a výnos jsou závislé veličiny, lze konstatovat, že je i toto další z důvodů, proč může mít nižší výsevek v konečném důsledku pozitivní vliv na celkový výnos píce.

Během dalších pokusů vojtěšky a hodnocení vlivu různých technologií na její výnos by bylo vhodné současně s hodnocením výnosotvorných prvků sledovat i kořenový systém a jeho vlastnosti, jako například větvení, hloubku či velikost kořenového krčku. Bylo by rovněž zajímavé hodnotit i některé fyzikální či chemické vlastnosti půdy, které mohou poukázat na případnou vhodnost či nevhodnost použití různých technologií zpracování půdy při pěstování vojtěšky. Ačkoliv prvotní je pro zemědělce výnos píce, neměl by se opomíjet i stav půdy jako takový.

## 7 Závěr

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv různých technologií zpracování půdy a použitého výsevku na výnosotvorné prvky a následný výnos píce ve čtyřletém polním pokusu.

Z výsledků lze shrnout následující závěry:

- Varianty s kypřením vykazují vyšší počty rostlin/m<sup>2</sup> ve srovnání s orbou
- Orba vykazovala vyšší délku lodyh, pravděpodobně ve vztahu k nižšímu počtu rostlin
- Z pohledu výnosu se testované varianty zpracování půdy ukázaly jako rovnocenné, s částečným rizikem nižšího výnosu u mělkého kypření ve 4. seči
- Vyšší výsevky vykazovaly vyšší počty rostlin a lodyh/m<sup>2</sup>, ale nebyl zde pozitivní přínos ve vyšším výnosu
- V druhé a třetí seči vykazoval nižší výsevek vyšší výnosy než standardní výsevek 7MKS

Závěrem této práce lze shrnout, že u vojtěšky lze úspěšně uplatnit i technologie bezorebného zpracování půdy bez významného rizika snížení výnosu. Nižší výsevky, resp. hustoty porostu mohou být v sušších podmínkách dokonce výnosově výhodnější. Tyto prvky technologie se tak mohou úspěšně uplatnit při pěstování vojtěšky.

## 8 Literatura

1. AGROKOP HB s.r.o. Pícniny. 2021. Available from: <https://www.agrokop.com/produkty/produkty/picniny> (accessed March 2021).
2. Allen C.L., Entz M.H. 1994. Zero-tillage establishment of alfalfa and meadow brome grass as influenced by previous annual grain crop. *Canadian Journal of Plant Science* **74**: 521-529.
3. Acharya, J. P., Lopez, Y., Gouveita, B.T., Oliveira, I.D.B, Resende, M.F.R., Munoz, P.R., Rios, E.F. 2020. Breeding Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Adapted to Subtropical Agroecosystems. *Agronomy* **10**: 742.
4. Birkás, M., Szalai, T., Gyuricza, C., Gecse, M., Bordás, K. 2002. Effects of disk tillage on soil condition, crop yield and weed infestation. *Rostlinná výroba* **48**: 20-26.
5. Brant, V., Kroulík, M., Škeříková, M., Zábanský, P. 2016. Minimalizace předset'ové přípravy a set'ového lože při setí kukuřice. *Úroda* **64, 3**: 14-20.
6. Baeumer, K., Bakermans, W.A.P. 1974. Zero-Tillage. *Advances in Agronomy* **25**: 77-123.
7. Bonari, E., Mazzoncini, M., Perizzi, A. 1995. Effects of conventional and minimum tillage on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in a sandy soil. *Soil & Tillage Research* **33 (2)**: 91-108.
8. Cary, E. E., Horner, G. M., Mech, S. J. 1967. Relationship of Tillage and Fertilization to the Yield of AlfaAlfa on Freeman Silt Loam. *Agronomy Journal* **59 (2)**: 165-168.
9. Čermák, B., Ball, D.M. 2004. Pěstování a využití objemných krmiv pro zvířata a ochranu životního prostředí: vědecko-odborná publikace. V Českých Budějovicích: [Jihočeská univerzita], České Budějovice.
10. ČSÚ. Soupis ploch osevů - k 31. 5. 2020. Available from: <https://www.czso.cz/csu/czso/soupis-ploch-osevu-k-31-5-2020> (accessed December 2020).
11. Doležal, P., Doležal, J., Mikyska, F., Mrkvicová, E., Zeman, L. 2006. Konzervace, skladování a úpravy objemných krmiv. AF MZLU v Brně, Brno.
12. Doležal, P., Skládanka, J. 2007. Vliv vegetačního stádia vojtěšky seté na chemické složení a in sacco stravitelnost organické hmoty. Mendel University in Brno, Brno. Available from: [https://acta.mendelu.cz/artkey/acu-200801-0007\\_the-effect-of-the-stage-of-maturity-of-alfalfa-medicago-sativa-l-on-the-chemical-composition-and-in-sacco-di.php](https://acta.mendelu.cz/artkey/acu-200801-0007_the-effect-of-the-stage-of-maturity-of-alfalfa-medicago-sativa-l-on-the-chemical-composition-and-in-sacco-di.php) (accessed February 2021).



13. Fulkerson R. S. 1981. Alfalfa. Ministry of Agriculture and Food. Department of Crop Science, Ontario Agricultural College, University of Guelph, 20s.
14. Glab, T. 2008. Effects of tractor wheeling on root morphology and yield of lucerne (*Medicago sativa* L.). *Grass and Forage Science* **63** (3): 398-406.
15. Glab T. 2011. Effect of soil compaction on root system morphology and productivity of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Polish Journal of Environmental Studies* **20**: 1473-1480.
16. Glab T., Gondek K. 2013. The influence of soil compaction on chemical properties of mollic fluvisol soil under lucerne (*Medicago sativa* L.). *Polish Journal of Environmental Studies* **22**: 107-113.
17. Hakl, J., Šantrůček, J., Kalista, J. 2003. Pěstování vojtěšky v méně příznivých podmínkách. *Úroda* **51**, 5: 8 - 9.
18. Hakl J., Fuksa P., Šantrůček J., Mášková K. 2011a. The development of lucerne root morphology traits under high inicial stand density within a seven year period. *Plant, Soil and Environment* **57**: 81–87.
19. Hakl, J., Mášková, K., Šantrůček, J., Bufková, K. 2011b. Dynamika růstu vojtěšky v první a druhé seči v závislosti na stáří porostu. Aktuální téma v pícninářství a trávnickářství 2011. Česká zemědělská univerzita v Praze: 18 – 23.
20. Hakl, J., Fuksa P., Habart J., Šantrůček J. 2012. The biogas production from lucerne biomass in relation to term of harvest. *Plant, Soil and Environment* **58**: 289–294.
21. 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 and Environment* **60**: 475-480.
22. Hakl, J., Fuksa, P., Konečná, J., Šantrůček, J. 2016. Differences in the crude protein fractions of lucerne leaves and stems under different stand structures. *Grass and Forage Science* **71** (3): 413-423.
23. Hall, M. J., Nelson, C. J., Coutts, J. H., Stout, R. C. 2004. Effect of Seeding Rate on Alfalfa Stand Longevity. *Agronomy Journal* **96** (3): 712-722.
24. Hamza, M.A., Anderson, W.K. 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* **82** (2): 121-145.
25. Holý, J. 2003. Agrotechnika vojtěšky pěstované na píci. *Úroda* **51**, 11. Tematická příloha Vojtěška: 2.

26. Hrabě, F. 2004. Trávy a jetelovino trávy v zemědělské praxi. Vydavatelství Petr Baštan, Olomouc.
27. Hron, F., Kohout, V., 1986. Polní plevelé – část obecná. Skriptum VŠZ Praha, Praha.
28. Hůla, J., Abrham, Z., Bauer, F. 1997. Zpracování půdy. Nakladatelství Brázda. Praha.
29. Hůla, J., Procházková, B., 2008. Minimalizace zpracování půdy. Praha: Profi Press, Praha.
30. Hůla, J., Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí. 2010. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha. Available from: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2010/079.PDF> (accessed February 2021).
31. Chloupek, O. Procházková, B. Hrudová, E. 2005. Pěstování a kvalita rostlin. MZLU v Brně, Brno.
32. Informace - Výzkumná stanice Červený Újezd. [online]. ČZU. 16. února 2021. [accessed 2021-02-16]. Available from <<http://www.af.czu.cz/cs/?r=2093>>.
33. Julier, B., Huyghe, C., Ecalte, C. 2000. Within - and among - cultivar genetic variation in Alfalfa: forage quality, morphology, and yield. *Crop Science* **40** (2): 365 - 369.
34. Jursík, M., Holec, J., Hamouz, P., Soukup, P., 2018. Biologie a regulace plevelů. České Budějovice: Kurent, s.r.o., České Budějovice.
35. Kadlček, L., Neudert, L., Winkler, J. 2020. Plevelé v nově založených porostech vojtěšky seté. *Úroda* **68**, 2: 58-60.
36. Kazda, J., Mikulka, J., Prokinová, E. 2010. Encyklopedie ochrany rostlin: polní plodiny. Praha: Profi Press, Praha.
37. Klesnil, A., Velich, J. 1965a. Botanická charakteristika a základní biologické vlastnosti vojtěšky. In: Klesnil, A. (ed.). Vojtěška. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
38. Klesnil, A., Velich, J. 1965b. Požadavky vojtěšky na klimatické a půdní podmínky. In: Klesnil, A. (ed.). Vojtěška. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
39. Klesnil, A. 1978. Pícninářství (Díl I.). Vysoká škola zemědělská v Praze, Praha.
40. Klik, A., Rosner, J. 2020. Long-term experience with conservation tillage practices in Austria: Impacts on soil erosion processes. *Soil and Tillage Research* **203**: 104669-104673.
41. Kohout, V., 1996. Herbologie – Plevelé a jejich regulace. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
42. Kostelanský, F., et al., 2004. Obecná produkce rostlinná. MZLU v Brně, Brno.

43. Koukolíček, J., Pulkrábek, J. 2015. Praktické zkušenosti s hlubokým kypřením půdy. Kurent, s.r.o., České Budějovice. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/prakticke-zkusenosti-s-hlubokym-kyprenim-pudy> (accessed March 2021).
44. Krestein, K., von Janowsky, K., Reintam, E., Horn, R., Leeduks, J., Kuht, J. 2013. Soil compaction in a cambisol under grassland in Estonia. *Zemdirbyste-agriculture* **100**: 33-38.
45. Křen, J., Valtýniová, S. 2008. Czech agriculture in the period of transformation. *Acta Agrophysica* **11** (1): 101-116.
46. Lamb J.F.S., Barnes D.K., Henjum K.I. 1999. Gain from two cycles of divergent selection for root morphology in alfalfa. *Crop Science* **39**: 1026–1035.
47. Lamb, J. F. S., Jung, H. G., Sheaffer, C. C., Samac, D. A. 2007. Alfalfa leaf protein and stem cell wall polysaccharide yields under hay and biomass management systems. *Crop Science* **47** (4): 1407 - 1415.
48. Lamb, J. F. S., Jung, H. G., Riday, H. 2012. Harvest impacts on Alfalfa stem neutral detergent fiber concentration and digestibility and cell wall concentration and composition. *Crop Science* **52** (5): 2402 - 2412.
49. Lemaire, G., Avice, J. C., Kim, T. H., Ourry, A. 2005. Developmental changes in shoot N dynamics of Lucerne (*Medicago sativa L.*) in relation to leaf growth dynamics as a function of plant density and hierarchical position within the canopy. *Journal of Experimental Botany* **56** (413): 935 - 943.
50. Malhi, S. S. 2011. Relative response of forage and seed yield of Alfalfa to sulfur, phosphorus, and potassium fertilization. *Journal of Plant Nutrition* **34**: 888 - 908.
51. Maloch, M., Regal, V., Bureš, F., Klofera, V. 1956. Pícninářství. Státní zemědělské nakladatelství v Praze, Praha.
52. Mašek, J. 2009. Systém zpracování půdy a zakládání porostů. **Farmář 15, 9**. Speciální příloha: 3 -9.
53. Mašek, J., Novák, P., Cholenský, J. 2015. Vliv technologie zpracování půdy na její vlastnosti *Agrojournal*. Available from: <https://www.agrojournal.cz/clanky/vliv-technologie-zpracovani-pudy-na-jeji-vlastnosti-43> (accessed February 2021).
54. Neudert, L., Procházková, B. 2009. Zpracování půdy a zakládání porostů. **Zemědělec 17, 26**: 11-14.

55. Novák, P., Mašek, J. 2018. Současné trendy zpracování půdy. *Agrojournal*, Praha. from: <https://www.agrojournal.cz/clanky/soucasne-trendy-zpracovani-pudy-327> (accessed March 2021).
56. Pelikán, J., Hýbl, M. 2012. Rostliny čeledi *Fabaceae* LINDL. (bobovité) České republiky (se zvláštním zaměřením na druhy významné pro zemědělství). Vydavatelství Petr Baštan, Olomouc.
57. Podhorský, L. 2015. Účinné řešení do utužených půd. Profí Press, Praha. Available from: <https://www.mechanizaceweb.cz/ucinne-reseni-do-utuzenych-pud/> (accessed February 2021).
58. Poulík, Z., 1996. Výživa a hnojení pícních kultur. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha.
59. Procházková, B. Dovrtěl, J. Hůla, J. 2004: Minimalizační technologie zpracování půdy. *Úroda* **52**, 2: 46-49
60. Procházková, B. et al., 2011. Minimalizační technologie zpracování půdy a možnosti jejich využití při ochraně půdy a krajiny: uplatněná certifikovaná metodika. V Brně: Mendelova univerzita, Brno.
61. Prospero, J.M., Jenczewski, E., Muller, M.H., Fourtier, S., Sampoux, J.P., Ronfort, J. 2014. Alfalfa domestication history, genetic diversity and genetic resources. *Legume Perspectives* **4**: 13-14.
62. Putnam, D., Summers, C., 2008. Irrigated Alfalfa Management for Mediterranean and Desert Zones. University of California Agriculture and Natural Resources. Oakland.
63. Vita, P. De., Paolo, E. Di., Fecondo, G., Fonzo, N. Di., Pisante, M. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research* **92**: 69 – 78.
64. Razmjoo, K., Henderlong, P. R. 1997. Effect of potassium, sulfur, boron, and molybdenum fertilization on Alfalfa production and herbage macronutrient contents. *Journal of Plant Nutrition* **20** (12): 1681 - 1696.
65. Sheaffer, C. C. 1989. Legume establishment and harvest management in the U.S.A. In G. C. Marten, ed. Persistence of forage legumes. Proc. Trilateral Workshop; Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc Am., and Soil Sci. Soc. Am-. 18-22 July 1988, Honolulu, HI, 277 – 289.

66. Six, J., Elliot, E.T., Paustian, K. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* **32 (14)**: 2099-2103.
67. Skládanka, J. 2014: Pícninářství. Vyd. 1.: Mendelova univerzita v Brně. Brno.
68. Stach, J. 2001. Minimalizace zpracování půdy ve vyšších polohách. Profi Press, Praha. Available from: <https://www.uroda.cz/minimalizace-zpracovani-pudy-ve-vyssich-polohach> (accessed March 2021)
69. Sturgul, S. J., Daniel, T. C., Mueller, D. H. 1990. Tillage and canopy cover effects on interrill erosion from first-year alfalfa. *Soil Science Society of America Journal* **54**: 133-1739.
70. Šantrůček, J., Svobodová M. 1988. The effect of soil compacting on the early development of lucerne after summer sowing. *Rostlinná výroba* **34**: 1241–1250
71. Šantrůček, J., Svobodová, M. 1998. Porosty vojtěšky a půdní podmínky (1.část). *Úroda* **46, 3**: 11–13.
72. Šantrůček, J., Svobodová, M. 2002. Půdní podmínky pro obrůstání vojtěšky. Profi Press, Praha. Available from: <http://www.agris.cz/clanek/116470/pudni-podminkypro-obrustani-vojtesky> (accessed April 2021).
73. Šantrůček, J., Fuksa, J., Hakl, J., Kocourová, D., Mrkvička, J., Svobodová, M., Veselá, M. 2007. Encyklopedie pícninářství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
74. Šimon, J., Lhotský, J., 1989. Zpracování a zúrodnování půd. Praha: SPN, Praha
75. Teliefová, I. 2013. Vojtěška setá - nejdůležitější víceletá pícnina. *Krmivářství* **17, 6**: 24 - 27.
76. Unger, P. W. 1990. Conservation tillage systems. *Advences in Soil Science* **13**: 27-68.
77. Upchurch R.P., Lovvorn R.L. 1951. Gross morphological root habits of alfalfa in North Carolina. *Agronomy Journal* **43**: 493–499.
78. Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Praha: Profi Press, Praha.
79. Vasilieva, V., Pachev, I. 2015. Root Mass Accumulation after Different Fertilization and Soil Cultivation of Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Journal of Applied Sciences* **15 (10)**: 1245-1250.
80. Velich, J., Petřík, M., Regal, V., Štráfelda, J. Turek, F., 1991. Pícninářství, Vysoká zemědělská škola Praha, Praha.
81. Velich, J., Petřík, M., Regal, V., Štráfelda, J., Turek, F. 1994. Pícninářství. Vysoká zemědělská škola v Praze, Praha.

82. Voorhees, W.B. 2000. Long-term effect of subsoil compaction on yield maize. *Advances in Geoecology* **32**: 331-338.
83. Zimolka, J. et al., 2008: Kukuřice: hlavní a alternativní užitkové směry. 1. vyd. Praha: Profi Press, Praha.