

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pícninářství a trávnickářství



**Vliv zpracování půdy na utváření kořenového systému
vojtěšky v roce výsevu**

Diplomová práce

Autor práce:

Bc. Michal Diviš

Vedoucí práce:

doc. Ing. Josef Hakl, Ph.D.

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv zpracování půdy na utváření kořenového systému vojtěšky v roce výsevu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 8. dubna 2016

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Josefu Haklovi, Ph.D. za vedení, cenné rady a pomoc při vypracování této diplomové práce.

Vliv zpracování půdy na utváření kořenového systému vojtěšky v roce výsevu

Souhrn

Cílem práce bylo porovnat rozvoj kořenového systému vojtěšky seté v závislosti na výsevku a zpracování půdy. Porost vojtěšky byl založen ve třech variantách podzimního zpracování půdy: mělké kypření, hluboké kypření a orba při dvou různých výsevcích: 4 a 7 MKS. Po podzimní seči byly odebrány vzorky kořenů do hloubky 25 cm. Nižší výsevek zvyšoval intenzitu větvení kořenů a též počet větví. Celková hmotnost kořenů na hektar však byla vyšší u varianty s vyšším výsevkem. Oraná varianta vykazovala nejvyšší intenzitu větvení kořenů a největší hloubku prvního větvení. Hluboce kypřená varianta vykazovala největší průměr větví. Nejvyšší počet rostlin na metr čtvereční vykazovala varianta hluboce kypřená, avšak nejvyšší procento přežití bylo zaznamenáno u varianty mělce kypřené. Zpracování půdy významně ovlivnilo zaplevelení a složení plevelného spektra, a to z 33,6 %. Na orané variantě dominovaly penízek rolní s rdesnem blešníkem, na variantě hluboce kypřené laskavec ohnutý a ježatka kuří noha. Na mělce kypřené variantě dominovaly plevele svízel přítula a truskavec ptačí. Výsledky pokusu prokázaly, že minimalizační technologie jsou srovnatelné s technologií orebnou z pohledu hustoty porostu a vlivu na kořenový systém. Nižší výsevky jsou možné, ale vzhledem k nižší polní vzcháživosti vojtěšky a vyššímu zaplevelení řídkých porostů jsou vyšší výsevky lepší.

Klíčová slova: pícniny, jeteloviny, minimalizace, výnos

Influence of soil tillage on lucerne root morphology in the seeding year

Summary

The aim of this study was to evaluate effect of different soil tillage and seeding rate on alfalfa root morphology. The field experiment was established in 3 variants of tillage: shallow cultivation (MK), loosening (HK) and conventional tillage (plough), all under two seeding rate (4 and 7 MGS). After autumn cut, root samples were collected in the depth of 25 cm. Lower seeding rate increased intensity of branching and number of lateral root per plant. Total mass of roots per hectare was higher in higher seeding rate variant. Ploughed variant provided higher intensity of branching and branching depth was the deepest of all variants. Loosed variant showed highest branch diameter out of all variants. Highest plant number per square meter was achieved in loosed variant but shallow cultivation showed highest plant survival rate of all variants. Tillage affected weed infestation by 33,6 %. Dominant weeds in ploughed variant were field pennycress and pale persicaria. Dominant weeds in loosed variant were redroot pigweed and cockspur, while in shallow tillage variant dominant weeds were represented by cleavers and common knotgrass. Results of experiment show that shallow cultivation and loosening have similar influence on plant density and root morphology as conventional tillage. Reduced seeding rates are possible, but due to problematic field emergence of alfalfa and higher weed infestation of thinner stands, higher seeding rates prove themselves as superior.

Keywords: forage crops, legumes, reduced tillage, yield

Obsah

1. Úvod	8
2. Cíl práce	9
2.1. Hypotézy	9
3. Část teoretická	10
3.1. Vojtěška setá	10
3.1.1. Historie a charakteristika	10
3.1.2. Biologické znaky vojtěšky	11
3.1.2.1. Kořenový systém	11
3.1.2.2. Kořenový krček	13
3.1.2.3. Lodyhy	14
3.1.2.4. Květenství	14
3.1.2.5. Plod	15
3.1.2.6. Semena	16
3.1.3. Nároky na stanoviště	16
3.1.4. Pěstitelská technologie	16
3.1.4.1. Pěstitelská technologie v České republice	17
3.1.5. Výměra vojtěšky	17
3.1.5.1. Svět	17
3.1.5.2. Česká republika	18
3.2. Zpracování půdy	19
3.2.1. Historie zpracování půdy	20
3.2.2. Minimalizace zpracování půdy	21
3.2.3. Výhody a nevýhody minimalizačních technologií	22
3.2.3.1. Výhody	22
3.2.3.2. Nevýhody	24
3.3. Vliv zpracování půdy na plodiny	26
3.3.1. Ostatní hluboko kořenicí plodiny	28
3.3.2. Ostatní mělce kořenicí plodiny	31

4. Část experimentální	33
4.1. Materiál a metody	33
4.1.1. Charakteristika stanoviště	33
4.1.2. Design a uspořádání experimentu	35
4.1.3. Charakteristika odrůdy	37
4.1.4. Hodnocení v roce výsevu	37
4.2. Výsledky	39
4.2.1. Vliv zpracování půdy a výsevku na hustotu prostu vojtěšky v roce výsevu	39
4.2.2. Zaplevelení a složení plevelného spektra	42
4.2.3. Vliv zpracování půdy a výsevku na morfologii kořenů vojtěšky v roce výsevu	48
4.3. Diskuse	52
5. Závěr	59
6. Použité zdroje	61

1. Úvod

Technologie zpracování půdy u nás prošla za posledních 25 let značným vývojem. Od téměř uniformního přístupu ke zpracování půdy a používané techniky v rámci celé republiky došlo k posunu k přizpůsobování technologie i techniky konkrétním podmínkám, aby tak mohl být plně využit jejich potenciál. Stejně tak došlo i ke změnám v zastoupení jednotlivých plodin na orné půdě. S poklesem stavů dobytka poklesly i plochy krmných plodin, vojtěšky nevyjímaje. Jejich místo zaujaly především obilniny, řepka či kukuřice. Zatímco problematice pěstování tržních plodin a zpracování půdy k nim, je vzhledem k jejich rozsahu pěstování přiřkládán patřičný význam a z něj vyplývající náležitá míra vědeckého bádání, stojí krmné plodiny (kromě silážní kukuřice) na okraji zájmu. Technologie pěstování vojtěšky se tak víceméně za posledních 50 let nezměnila, stejně tak se příliš nezměnily ani výnosy. Vojtěška je přitom hlavní bílkovinnou píceinou nejen České republiky, ale i světa. Míra zájmu o možnosti intenzifikace výroby a zvýšení výnosů tomu však, minimálně v rámci České republiky, neodpovídá.

Vzhledem ke skutečnosti, že vojtěška zůstává na pozemku po více let, je zdravý a silný kořenový systém důležitým předpokladem pro vysoký výnos a kvalitu po celou dobu pěstování. Pokus uvedený v této práci se snaží najít odpovědi na některé otázky vztahující se ke zpracování půdy a jeho vlivu na kořenový systém vojtěšky. Zvolené varianty zpracování půdy pokrývají všechny hlavní technologie používané v podmínkách České republiky - od mělkého kypření až k léty prověřené orbě. Zvolené výsevky reprezentují jak výsevky běžně používané, tak redukované.

Neustálý tlak na snižování nákladů a zvyšování efektivity, společně s klesající výměrou zemědělské půdy staví zemědělce před výzvu. Náklady na zpracování půdy představují nemalý podíl celkových nákladů. Současně však skýtají značný prostor k jejich snížení. Změna technologie a přístupu ke zpracování půdy tak může být cestou nejen ke snížení nákladů, ale i možnému zvýšení výnosů a kvality produkce.

2. Cíl práce

Cílem práce je zhodnocení vlivu různých technologií zpracování půdy na výnos a utváření kořenového systému vojtěšky seté. Výsledky mohou sloužit jako základ pro posouzení využití minimalizačních technologií zpracování půdy v pěstování vojtěšky.

2.1. Hypotézy:

- Způsob zpracování půdy před setím ovlivní vzcházení, zaplevelení a morfologii kořenového systému vojtěšky v roce výsevu
- Výsevek vojtěšky ovlivní hustotu porostu a morfologii kořenového systému v roce výsevu

3. Část teoretická

3.1. Vojtěška setá

3.1.1. Historie a charakteristika

Vojtěška setá patří k nejstarším kulturním píceinám (Velich, 1965). Začátky pěstování vojtěšky lze datovat přibližně 4500 let nazpět, do oblasti blízkého východu a střední Asie (Rotekl et Babinec, 2009). Roku 490 před našim letopočtem je zmiňována v řeckých pramenech. Římské záznamy o ní se datují k roku 500 našeho letopočtu (Cash et al., 2009). Okolo roku 1100 našeho letopočtu se pěstovala na území Španělska, odkud se rozšířila do zbytku Evropy. Na našem území (resp. na území tehdejšího Rakouského mocnářství) se pěstuje od roku 1750 (Cash et al., 2009), ale většího rozšíření dosáhla až počátkem 20. století (Velich, 1965). Vzhledem k výnosové jistotě a schopnosti snášet i poměrně nepříznivé podmínky je rozšířena prakticky celosvětově (Pelikán et Hýbl, 2012).

Vojtěška patří do čeledi bobovité (*fabaceae*) a rodu vojtěška (*Medicago L.*). Rod vojtěška zahrnuje cca 100 druhů, hospodářsky významné jsou ale jen tři – vojtěška setá (*Medicago sativa L.*), vojtěška srpovitá (*Medicago falcata L.*) a vojtěška prostřední (*Medicago media R.*), zvaná též písečná nebo měňavá (*Medicago varia Mart.*)

Vojtěška srpovitá se od vojtěšky seté odlišuje především žlutou barvou květů, jiným tvarem květenství (kulovitý tvar), vyšší odolností vůči mrazu a suchu a vyšší rezistencí proti chorobám. Klesnil et Velich (1965a) dále uvádějí větší míru větvení kořenů, které větvi silněji než u vojtěšky seté a to již v orniční vrstvě, přičemž je ale celková hloubka kořenů menší. Hlavní kořen není tak patrný jako u vojtěšky seté, často se vyskytuje více hlavních kořenů. Vojtěška srpovitá odvozuje své jméno od tvaru svých lusků, jež jsou, na rozdíl od stočených lusků vojtěšky seté, srpovité. Hospodářské využití je omezené, což je dané především nižším výnosem píce, horší schopností obrůstat, nižší olistěností a též nižší kvalitou píce. Ceněná je naopak pro již výše uvedenou celkovou odolnost nepříznivým podmínkám (chlad, sucho) a chorobám. Pro svou snadnou křížitelnost s vojtěškou setou je považována za cenný šlechtitelský materiál (Klesnil et Velich, 1965a).

Vojtěška prostřední vzniká křížením vojtěšky seté a vojtěšky srpovité. Ke křížení dochází jak volně v přírodě, tak záměrně při šlechtění. Kříženci jsou typově různorodí, tvořící plynulý přechod od vojtěšky seté k vojtěšce srpovité (Klesnil et Velich, 1965a). Vojtěška prostřední si zachovává jasně zřetelný hlavní kořen, který ale více větví již v orničním horizontu a nedosahuje hloubek kořenů vojtěšky seté. Tato skutečnost představuje výhodu především na půdách méně propustných a s nižší hloubkou. Celkový habitus se nachází na pomezí vojtěšky seté a srpovité. Nejvíce se hybridní charakter projevuje v barvě květů, popř. ve tvaru lusků. Barva květů se pohybuje od žluté až k tmavě fialové, včetně přechodných odstínů těchto barev. Jak uvádí Klesnil et Velich (1965a), barva květů je dobrým ukazatelem stupně prokřížení, dle kterých se dále rozlišují dva základní typy – *falcata* a *sativa*. Typ *falcata* je více podobný vojtěšce srpovité. Hlavním znakem jsou žluté květy. Hospodářský význam tohoto typu je malý, pěstován je v některých extrémních oblastech. Typ *sativa* je více podobný vojtěšce seté. Je modře kvetoucí. Narozdíl od typu *falcata*, je typ *sativa* hospodářsky významnější především pro příznivý mix vlastností obou rodičů.

Vzhledem ke snadnému spontánnímu mezidruhovému křížení nelze většinu dnešních odrůd vojtěšky seté řadit do druhu *Medicago sativa* L., neboť jsou více či méně prokříženy s vojtěškou srpovitou (Pelikán et Hýbl, 2012).

3.1.2. Biologické znaky vojtěšky

3.1.2.1. Kořenový systém

Vojtěška se vyznačuje nejmohutnějším kořenovým systémem z našich píceňin a vytváří největší množství kořenové hmoty (Pelikán et Hýbl, 2012). Na půdní vláhu je nenáročná, díky svému kořenovému systému je schopna získávat vodu z velkých hloubek. Nevýhodou je však riziko vysoušení půd, což může představovat problém pro následné plodiny. Ze stejného důvodu se nedoporučuje osévání sadů. Naprosto nevhodné je osévání sadů nově založených, neboť díky rychlému růstu kořenů je vojtěška schopna mladé stromky plně potlačit. Vojtěška zároveň nesnáší vysokou hladinu spodní vody, kde dochází k zahnívání kořenů. Obecně platí, že hloubka spodní vody na stanovišti, na které by se měl porost vojtěšky zakládat by měla být více jak 1,5 metru. V případě, že hladina spodní vody je vyšší, je vhodnější vojtěšku nahradit jetelem lučním.

Vlastní kořenový systém je tvořen hlavním kúlovým kořenem, jenž je schopen pronikat do velkých hloubek. V počáteční fázi růstu (cca prvních 10 týdnů) je růst kořenového systému pomalý a z tohoto důvodu je v tomto období vojtěška značně ohrožena přísuškem (Klesnil et Velich, 1965a). V pozdější době je růst rychlejší a hloubka zakořenění může dosahovat hloubky 1,5 až 2 metrů. V případě výsevu do krycí plodiny je růst kořenů pomalejší a v prvním roce dosahuje hloubky okolo 1 metru. V následných letech je kořenový systém schopen dosáhnout hloubek okolo 15 metrů, v určitých případech až 20 (Klesnil et Velich, 1965a). Kromě hlavního kořene tvoří vojtěška též značný počet postraních kořenů, které ale dosahují řádově menších hloubek. Nejvíce kořenů se rozkládá v horizontu do 0,5 metru. Hloubka zakořenění, intenzita větvení a celková velikost kořenového systému je odvislá od mnoha faktorů, jakými jsou například propustnost podloží či stupeň utužení půdy, ale též dostupností živin a vody na daném stanovišti. Vliv mají i takové faktory jako je hustota porostu či přítomnost krycí plodiny. Johnson et al. (1998) popisují závislost mezi morfologií kořene, odolností a produkční schopností vojtěšky. Lamb et al. (2000) porovnávali závislost mezi morfologií kořenů a výnosem píce. Populace vojtěšky selektované pro více větvicí kořeny či pro vyšší kořenové vlášení vykazovaly vyšší výnos píce než populace pro tyto znaky neselektované. Naopak nebyly nalezeny rozdíly ve velikostech či hmotnostech kořenů populací s větvicími kořeny a populací s kořeny kúlovými. Hakl et al. (2011b) předpokládají vyšší odolnost starších rostlin se silnějším kořenovým systémem.

Vojtěška se vyznačuje schopností uvolňovat živiny z nepřístupných forem pomocí svých kořenových exudátů. Tato schopnost však není vlastní pouze vojtěšce, ale všem jetelovinám. Díky svému hlubokému kořenovému systému je schopná vynášet živiny ze spodních vrstev půdy, což zvyšuje možnost příjmu následným plodinám mělčeji kořenícím anebo s horší osvojovací schopností. Nelze též opomenout schopnost vojtěšky díky svému masivnímu kúlovému kořenu pronikat skrze utužené vrstvy půdy a tím zlepšovat infiltrační schopnosti půdy. Silná tvorba podzemní biomasy – 3,5 až 4 násobek nadzemní (Klesnil et Velich, 1965), má pozitivní vliv na strukturu půdy a též na její mikroflóru. Jak již bylo uvedeno výše, vojtěška je zanechává nejvíce kořenové biomasy ze všech kulturních píce – 7,5 až 12 t/rok/ha (Rotekl et Babinec, 2009). Vzhledem ke skutečnosti, že kořeny vojtěšky lignifikují, je jejich rozklad v půdě pomalý. Díky této vlastnosti jsou ceněny jako kvalitní organická hmota. Jako všechny rostliny z čeledi bobovitých pokrývá vojtěška svou potřebu dusíku pomocí symbiotických hlízkových bakterií. V případě vojtěšky se jedná o druh

Rhizobium meliloti. Na hektar jsou schopny navázat 200 - 300 kg vzdušného dusíku (Slavík, 1995). Inokulace osiva se doporučuje v případě, že se vojtěška či jiná bobovitá plodina nepěstovala na daném pozemku delší dobu. V podmínkách České republiky je inokulace osiva uplatňována omezeně, neboť jak uvádí Hakl et al. (2014), inokulace osiva je využívána pouze na 18 % ploch.

3.1.2.2. Kořenový krček

Kořenový krček je zdřevnatělý oddenek, vznikající na spodní uzlině hlavní lodyhy z odnožovacích pupenů. K tvorbě těchto pupenů dochází v období 6 až 9 týdnů po zasetí, v případě setí do krycí plodiny výrazně později (Klesnil et Velich, 1965a). Vzhledem ke skutečnosti, že pupeny se zakládají převážně vertikálně, nedochází k tvorbě přitisklé listové růžice, jako je tomu u jetele lučního. Pomocí stahovacích kořenů je kořenový krček zatahován půdy. V prvním roce do hloubky okolo 1 až 1,5 cm, u starších porostů i 5 cm a více. Hloubka uložení kořenového krčku má vliv na mrazuvzdornost a z toho vyplývající schopnost přezimovat. Samotná mrazuvzdornost je ovlivňována více faktory, jakými jsou například vývojová fáze či zdravotní stav.

Jak uvádí Klesnil et Velich (1965a), pupeny kořenového krčku potřebují ke svému růstu dostatek světla a vzduchu, jinak zůstávají dormantní. Doporučují proto porosty vojtěšky mechanicky prokypřit do hloubky těchto pupenů. Stejného názoru jsou i Šantrůček et Svobodová (2002). Nesouhlasí však s běžnou metodou kypření porostů pomocí bran, které je nedostatečné z pohledu prokypření, ale současně velice agresivní vůči rostlinám vojtěšky. I když po vláčení dojde k probuzení dormantních pupenů, tak lodyhy z nich rostoucí jsou slabší a poskytují celkově nižší výnos. Zvýší se tedy počet lodyh na jednotce plochy, ale celkový výnos biomasy je stejný nebo dokonce nižší. Vzhledem ke skutečnosti, že každé narušení celistvosti rostlinného těla je vstupní branou infekci, jsou vláčené porosty náchylnější napadení bakteriálními a houbovými chorobami. Jak uvádí Šantrůček et Svobodová (2002), poškození rostlin způsobuje výnosovou redukci v rozmezí 70 až 85 %. Vojtěška špatně snáší sešlapávání, tudíž pastevní využití ji nesvědčí. Ze stejného důvodu jsou významným zdrojem poškození rostlin přejezdy zemědělské techniky. Ty však lze omezit racionalizací pojezdů po poli. V současné době rozvržením pojezdových drah po pozemku, např. stanovením cest pro transportní techniku při sklizni. Do budoucna lze předpokládat rozšiřování systému řízených

pojezdů po pozemku (Controlled Traffic Farming - CTF). Využívání této technologie při pěstování vojtěšky je pouze logickým vyústěním.

Klesnil et Velich (1965a) uvádí, že více než polovina pupenů je dormantních. Omezení negativních faktorů (utužení půdy, poškození rostlin) společně s vhodným způsobem prokypření porostu tedy skýtá významný potenciál k navýšení výnosů.

3.1.2.3. Lodyhy

Lodyhy vojtěšky jsou tupě hranaté, většinou lysé, vzácněji mírně chlupaté (Slavík, 1995). Průměr lodyh se pohybuje v rozmezí 3 až 6 mm. Lodyhy jsou většinou duté, u některých hybridů však mohou být vyplněné dřevem. Výška se pohybuje v rozmezí 30 až 100 cm, avšak celková délka jedné lodyhy může být až 150 cm (Klesnil et Velich, 1965a). Na každé lodyze se vyskytuje obvykle 12 až 15 článků neboli internodií. Internodia jsou nestejně dlouhá - ve spodní části lodyhy jsou kratší a směrem vzhůru se jejich délka zvyšuje. V uzlinách (nodech) se lodyhy rozvětvují, přičemž počet větví na jedné lodyze je proměnlivý a je odvislý od odrůdy a hustoty porostu. V průměru se však jejich počet pohybuje mezi 4 a 8. Vojtěška je schopná obrážet z nejspodnějších nodů, stále však platí, že nejvíce lodyh vyrůstá z kořenového krčku. Dle Klesnila et Velicha (1965a) vyrůstá ze spodních nodů lodyh pouze přibližně 10 % z celkového počtu lodyh.

Rostlina vojtěšky v zapojeném porostu tvoří trs s průměrně 5 až 20 lodyhami. Vlastní trs může nabývat tří základních tvarů - vzpřímený, polovzpřímený a rozložitý. Tvar trsu je odvislý především od původu a odrůdy vojtěšky, ale i v rámci jedné odrůdy se může vyskytovat více variant. Z pohledu pěstitelského jsou nejlepší trsy vzpřímené, popř. polovzpřímené, jelikož mají více lodyh na jednotku plochy oproti trsům rozložitým. Výhodou vzpřímených a polovzpřímených trsů je též rychlejší obrůstání.

Listy se podílejí na celkové hmotnosti nadzemní hmoty ze 40 až 50 % (Klesnil et Velich, 1965a). Listy jsou krátce řapíkaté, trojčetné. Prostřední list se vyznačuje delším řapíkem, než listy zbylé, jedná se o tzv. vojtěškový typ listu. Vlastní listy jsou obvejčité až obkopynaté, na bázi zúžené a na vrcholu uťaté až mělce vykrojené (Slavík, 1995). V horní třetině jsou listy jemně zoubkované. Řapíky listů mají schopnost sklápění listů při poklesu turgoru, čímž pomáhají rostlině snížit výpar za horkého počasí. Listy se v řapících snadno ulamují, což představuje problém především při sušení vojtěškového sena, ale též při sklizni

senáže. Krom ztrát odrolem při manipulaci s pící, dochází i ke ztrátám úletem, a to především při sklizni zavadlé píce sklízecími řezačkami.

3.1.2.4. Květenství

Květenstvím vojtěšky je protáhlý, případně kulovitý hrozen, fialové až modrofialové barvy. Hrozen nabývá velikosti 1 až 6 cm, nejběžněji 1 až 2 cm. Počet kvítků v hroznu se pohybuje v rozmezí 12 až 25. Na jedné rostlině se počet hroznů pohybuje mezi 25 a 250. Klesnil et Velich (1965a) uvádí jako hlavní faktor ovlivňující počet hroznů na rostlině odnožení a rozvětvení rostliny, tedy faktory ovlivněné především hustotu porostu. Vzhledem ke skutečnosti, že k ukládání zásobních látek dochází během květu, je vhodné alespoň jednou za vegetaci nechat porost zakvést, i když zakvetením porostu klesá kvalita píce.

Vlastní stavba květu vychází z příslušnosti k čeledi bobovitých. Květ je tvořen pěti lístky. Spodní dva jsou srostlé v člunek, dva postraní lístky je nazývají křídla. Vrchní část květu je tvořena největším z lístků, tzv. pavézou. Květy jsou oboupohlavné. Vojtěška je fakultativně cizosprašná a hmyzosnubná, ale i bez cizího pylu je schopná produkce malého množství semen. Samčí pohlavní orgány jsou tvořeny 10 tyčinkami, 9 z nich je však srostlých a pouze jedna je volná. Těchto 9 srostlých tyčinek obklopuje samičí pohlavní orgán - pestík. V semeníku je obvykle 9 až 12 vaječných buněk, avšak oplodněna je pouze část. Člunek a křídla jsou do sebe zaklesnuta a tvoří tzv. květní zámek chránící pohlavní orgány. Pestík společně s tyčinkami jsou v květu stlačeny, což má za následek jejich napružení. Rozevřením člunku lístků dojde k jejich vymrštění směrem k pavéze. Vlastní opylení je možné pouze v případě otevření květů. Jedná se o tzv. explozivní, pružinové květy (Klesnil et Velich, 1965a). Vymrštěné generativní orgány, zvané též generativní sloupek (Přidal, 2009), obvykle zasáhnou opylovače. Přidal (2009) uvádí, že z tohoto důvodu není vojtěška příliš opylována včelou medonosnou, neboť je obvykle vymrštěným generativním sloupkem udeřena do citlivého místa na hlavě, do tzv. sosákové jámy. To včelu odrazuje od otevírání dalších květů. Nektar pak raději z květů vysává mezi křídly a pavézou bez opylení květů. Z tohoto důvodu dojde k opylení včelou pouze u 1 - 2 % navštívených květů. Dostatečné opylení semenářských porostů včelou medonosnou je tak možné pouze při dostatku včelstev - 10 až 12 na hektar porostu (Přidal, 2009). Hlavními opylovači vojtěšky jsou tak především samotářské včely (Pelikán et Hýbl, 2012), popř. opylovači statnější konstituce jako jsou například čmeláci.

3.1.2.5. Plod

Plodem vojtěšky je lysý, vícesemenný, nepukavý, tmavohnědý lusk. Lusk je spirálovitě stočený, mající většinou 2 až 4 závity. Počet semen v lusku se pohybuje mezi 5 a 7, celkový počet je dán nejen velikostí lusku, ale především opylením.

3.1.2.6 Semena

Semena vojtěšky se vyskytují ve dvou základních tvarech - ledvinovitého a nepravidelně srdcovitého, přičemž jejich vzájemný poměr se různí (Klesnil et Velich, 1965a). Barva semen je žlutohnědá. Hmotnost tisíce semen se pohybuje v rozmezí 1,8 až 2,5 g.

3.1.3. Nároky na stanoviště

Na stanovištní podmínky je vojtěška poměrně nenáročná. Snese mráz až do -25 °C pod sněhem až -40 °C (Klesnil et Velich, 1965b). Jak již bylo uvedeno výše, vojtěška nesnáší vysokou hladinu spodní vody, kdy dochází k zahnívání kořenů. Z tohoto důvodu je nutné volit stanoviště s hladinou spodní vody alespoň 1,5 metru pod povrchem. Na stanovištích s vyšší hladinou spodní vody je lepší nahradit vojtěšku jetelem lučním. Stejně tak vojtěšce nesvědčí mělké půdy a nepropustné podloží. Nejvhodnější jsou půdy jílovitohlinité, hlinité a písčitolhinité. Nepříliš vhodné jsou půdy jílovité či písčité. Na jílovitých půdách trpí vojtěška nedostatečným provzdušněním a možným nadbytkem vody, na písčitých především nedostatkem vody a živin. Nevhodné jsou půdy kamenité. Vojtěšce nejvíce vyhovuje pH půdy v rozmezí 6,5 – 7,2. Důležitý je též dostatečný obsah Ca v půdě, a to nejen v orniční vrstvě, ale též v podorníci. Dostatek Ca je důležitý nejen z důvodu vhodné půdní reakce, ale též z důvodu velkého odběru rostlinami, neboť vojtěšková píse se vyznačuje vysokým obsahem minerálních látek a to především právě vápníku (Pelikán et Hýbl, 2012). Vysoké nároky má vojtěška na světlo (Klesnil et Velich, 1965b). V případě nedostatku světla dochází ke zpomalení růstu a tím k poklesu výnosu. Při nedostatečném osvětlení též vojtěška méně kvete, což se projevuje redukcí výnosů především semenářských porostů, ale i porostů pícních neboť zakvetení má pozitivní vliv na ukládání zásobních látek.

3.1.4. Pěstitelská technologie

Vojtěška je pěstována jak intenzivně, tak extenzivně. V Severní Americe převažuje intenzivní způsob pěstování, vojtěška je často pěstována pod závlahou. Naproti tomu v Argentině, Číně či Rusku je pěstování extenzivní, bez závlah a s nízkými vstupy (Cash et al., 2009). Různí se též způsob konzervace sklizené píce. V Severní Americe převažuje sušení, zatímco v Evropě převažuje senážování zavadlé píce.

3.1.4.1. Pěstitelská technologie v České republice

Vojtěška je dominantní bílkovinnou pícninou České republiky. Pěstována je hlavně v kukuřičné a řepařské výrobní oblasti, které se vyznačují nízkým podílem trvalých travních porostů. V těchto oblastech tvoří společně se silážní kukuřicí krmivovou základnu.

Tradiční způsob zakládání vojtěšky v podmínkách České republiky představuje technologie zahrnující podzimní orbu s jarním urovnáním povrchu a přípravou seťového lože. Za dostatečně urovnaný povrch je považován takový povrch, kde nerovnosti nepřesahují 30 mm a nenacházejí se na něm hroudy větší než 3 cm (Štráfelda, 1989). Výsev je následován zaválením, jednak pro další urovnání povrchu, ale též pro zatlačení případně se vyskytujících kamenů do země, čímž se snižuje riziko poškození sklizňové mechanizace a kontaminace píce zeminou.

V podmínkách České republiky převažuje tradiční způsob zakládání porostů s orbou – přibližně 75 % ploch (Hakl et al., 2014). Obvykle je vojtěška pěstována v čisté kultuře, krycí plodina se užívá přibližně u poloviny ploch. V průměru je vojtěška sečena třikrát do roka. Počet užitkových let se obvykle pohybuje mezi 2 – 4 lety. Počet užitkových let je odvislý od počtu sečí za rok, stanoviště a též stavu porostu (Regal, 1965). V praxi se lze setkat s vojtěškou pěstovanou na 5, vzácně i více let, avšak takové porosty jsou v drtivé většině slabé, což je dáno přirozeným úbytkem rostlin a též jejich ztrátou z důvodu napadení chorobami. Zbylé rostliny i přes svou mohutnost a produkční schopnost nejsou schopny nahradit úbytek počtu a účinně potlačovat plevel. Pokles kvality píce z důvodu přítomnosti plevelných druhů je logickým důsledkem. Regal (1965) považuje za přijatelné ponechávat porosty vojtěšky nad 3 užitkové roky pouze ve zvláštních případech, např. na mimohonových pozemcích, a to z důvodu výše uvedených.

3.1.5. Výměra vojtěšky

3.1.5.1. Svět

Vojtěška setá je nejpěstovanější píceinou světa, celkovou produkcí téměř 500 milionů tun ročně. (Faostat, 2015). Celková světová výměra je cca 30 milionů hektarů (Cash et al., 2009). Největší výměra připadá na Severní Ameriku s 11,9 miliony hektary (41 % světové výměry). Následuje Evropa s 7 miliony ha (25 % světové výměry), Jižní Amerika (7 mil. ha, 23 % světové výměry) a Asie (2,23 mil. ha, 8 % světové výměry). Plochy vojtěšky v Africe a Oceánii jsou zanedbatelné - 2, resp. 1 % světové výměry (Cash et al., 2009).

Největším pěstitelem a producentem světa jsou Spojené státy s plochou 7,32 milionu hektarů (USDA, 2015) a roční produkcí pohybující se okolo 250 milionů tun, tj. cca poloviny světové produkce (Faostat, 2015). Následuje Argentina s přibližně 40 miliony tun, dále Itálie (24,5 mil. tun), Mexiko (24 mil. tun) a Írán (18 mil. tun).

Nejvyšších výnosů dosahují Spojené Arabské Emiráty (75 t/ha zelené hmoty), následované Mexikem (71 t/ha), Bahrainem (62 t/ha), Libanonem (59 t/ha) a Dánskem (54 t/ha) (Faostat, 2015). Spojené státy dosahují v průměru 8,6 t suché hmoty/ha (USDA, 2015).

3.1.5.2. Česká republika

V současné době se vojtěška pěstuje na cca 57 tisících hektarů (ČSÚ, 2015). Největší plochy jsou v kraji Středočeském (11,6 tis. ha). Následuje kraj Jihomoravský (9,45 tis. ha) a Olomoucký (5,68 tis. ha) (ČSÚ, 2015b). Výnosy se pohybují okolo 35 tun zelené hmoty z hektaru (Faostat, 2015b). Plochy druhé nejpěstovanější jeteloviny - jetele lučního, lehce přesahující 49 tis. hektarů (ČSÚ, 2015b). Největší plochy se nacházejí v krajích Vysočina (12 445 tis. ha), Jihočeském (9 447 tis. ha) a Středočeském (6 212 tis. ha). Relativně malý rozdíl ploch těchto dvou jetelovin je dán především reliéfem a půdně-klimatickými podmínkami, ale též distribucí živočišné výroby v rámci České republiky.

3.2. Zpracování půdy

Zpracování půdy je základní pracovní operací v rostlinné výrobě. Základní zpracování půdy má několik významných funkcí. Mezi hlavní patří zpracování půdy po předchozí plodině, ať už se jedná od zapravení posklizňových zbytků nebo například o urovnání pozemku po sklizni. Urovnání povrchu se týká především zpracování půdy po okopaninách či jiných plodinách, jejichž sklizeň vyžaduje buďto manipulaci s ornici (tj. vyorávání) anebo se vyznačuje velkým množstvím přejezdů po pozemku, často za nepříznivých povětrnostních podmínek (sklizeň např. cukrové řepy, ale též např. kukuřice). Další významnou funkcí základního zpracování půdy je zapravení hnojiv, především statkových. Konečným důsledkem takové operace je příprava půdy na další operaci, kterou obvykle bývá předseťová příprava nebo již přímo setí.

Existuje mnoho způsobů dělení technologií zpracování půdy. Hůla et al. (1997) uvádí dvě základní skupiny, a to konvenční (orebnou) a ochrannou (minimalizační). Přímé setí do nezpracované půdy vyčleňuje do zvláštní skupiny. V jiné práci uvádí dělení na technologii orebnou a bezorebnou (minimalizační) (Hůla, 2008). Minimalizační technologii dále dělí na přímé setí, kypření bez obracení půdy a na půdoochranné zpracování. Poslední jmenované definuje jako zpracování půdy, při kterém zůstává povrch půdy pokryt minimálně z 30 % rostlinnými zbytky předplodiny, popřípadě meziplodiny.

V terminologii obecně nepanuje jednotná shoda, neboť někteří autoři řadí do minimalizace veškeré zpracování půdy, kdy nedochází k obracení půdy, zatímco jiní do minimalizace řadí pouze mělké zpracování půdy do hloubky podmínky. Toto dělení v současné době ustupuje ve prospěch dělení na technologii orebnou a bezorebnou, jelikož lépe reprezentuje hlavní rozdíl těchto technologií, kterým není hloubka ani intenzita zpracování půdy, ale základní nářadí – pluh nebo kypřič.

Přímé setí je v našich, potažmo evropských podmínkách okrajovou záležitostí (Procházková, 2008). Technologie přímého setí se využívá hlavně pro obilniny, především ozimou pšenici (Hůla et al., 1997). Výsevek se v takových případech navyšuje o cca 20 % oproti konvenčnímu setí. Vzhledem ke skutečnosti, že rozrušení povrchu při přímém setí je ve srovnání s ostatními metodami velmi malá, velkého významu nabývá herbicidní ochrana. Stinner et al. (1988) uvádí vyšší výskyt bezobratlých živočichů, především střevlíkovitých

brouků a pavouků, na polích obhospodařovaných touto technologií. To může představovat výhodu, především co se týká nechemických metod regulace živočišných škůdců skrze přirozené predanční vztahy. Co se porušení povrchu týká, záleží též na použitém secím stroji, jelikož rozrušení povrchu je odvislé od pracovních orgánů secího stroje. V případě diskových btek či koltrů je rozrušení povrchu minimální, naopak v případě nožových či dlátových btek je rozrušení povrchu daleko vyšší. Výhodou přímého setí je úspora především vláhy a protierozní ochrana posklizňovými zbytky předplodiny, což je hlavní důvod využívání této technologie. Největšího rozšíření dosahuje přímé setí především v Austrálii, Spojených státech a Kazachstánu (Hůla et al., 1997). V podmínkách České republiky, potažmo Evropy, lze využít přímého setí například k zakládání letních meziplodin. Otázkou však zůstává, zda by nákup speciálního stroje pouze pro výsev meziplodiny ekonomicky vyplatil.

3.2.1. Historie zpracování půdy

Počátky zemědělství lze datovat do 10. až 8. tisíciletí před naším letopočtem. Avšak zpracování půdy za účelem pěstování rostlin se datuje až na počátek 4. tisíciletí před naším letopočtem do oblasti Mezopotámie. Zdejší kultury již rozrývaly půdu pomocí nejdříve ručního nářadí (motyky či rýče), později jednoduchými zvířaty taženými rádlly s kamennými či posléze bronzovými hroty (Procházková, 2008). Později byly využívány ve vyspělejších oblastech pozdějším ruchadlům podobná rádla.

K dalšímu vývoji došlo v pátém a čtvrtém století před naším letopočtem na území Řecka a posléze též na územích spadající pod Římskou říši. Rozvoj úzce souvisel se skladbou plodin, jež tyto kultury pěstovaly – zelenina, ovocné dřeviny. Tyto plodiny vyžadují vyšší míru zpracování půdy. Tehdejší dřevěné "prapluhy" se však k tomuto účelu nehodily. Došlo tedy ke vzniku železem okutých oradel.

S rozmachem Římské říše docházelo též k šíření nejen jejich kultury, ale též způsobů pěstování rostlin. Díky této skutečnosti se tyto oradla dostala až na naše území. Jak uvádí Procházková (2008), první železná radlice se na našem území objevila v prvním století před naším letopočtem.

Přes částečně železné a celokovové oradla došel vývoj k jednoduchým pluhům, které půdu kromě rozrývání též částečně obracely. Tyto pluchy vznikly v období šestého a sedmého století v jižní Evropě, odkud se rozšířily do zbytku Evropy (Procházková, 2008). Po této orbě

byla půda dále zpracována pomocí ručního nářadí, především motyk a rýčů, popřípadě pomocí jednoduchých hřebových bran či dřevěných smyků. V této podobě se zpracování půdy udrželo v Evropě až do osmnáctého století, v chudších částech až do století devatenáctého.

Převrat nastal s nástupem průmyslové revoluce a rozvojem průmyslu. Nové technologie ve výrobě přinesly nové možnosti zpracování kovů. Dalším milníkem byl vynález ruchadla bratranci Veverkovými mezi léty 1824 až 1827. Dle jejich konstrukce ruchadla se vyráběla nejen v zemích sousedních (Německo, Polsko), ale i za oceánem (pluhy Johna Deera) (Procházková, 2008).

Od konce 19. století nastupuje do zemědělství trakce jiná než animální. Rozvoj techniky umožnil nástup nejdříve parních strojů a posléze spalovacích motorů. Z parní trakce dosáhly rozšíření traktory a především oračky, jež umožňovaly zpracování půdy do větších hloubek nežli pluhy tažené zvířaty. Největšího uplatnění dosáhly oračky v pěstování cukrové řepy. Nelze též opomenout motorové pluhy Excelsior vyráběné od roku 1912 mladoboleslavskou firmou Laurin a Klement. Tyto stroje dosáhly významného rozšíření především ve Francii, kde se podílely na rekultivaci krajiny poničené boji za Světové války.

K většímu rozšíření trakčních prostředků se spalovacími motory došlo až po druhé světové válce. Do války převládala trakce především animální (popř. parní), motorové traktory byly provozovány v malé míře především na velkostatkách, popř. v kooperaci více sedláků.

Po druhé světové válce se zpracování půdy stejně jako celé zemědělské odvětví ve vyspělých státech ubíralo a ubírá směrem k co nejvyšší racionalizaci a zefektivnění celého výrobního procesu. Výsledkem těchto snah byl vznik výkonných tahačů a širokozáběrového nářadí, které často spojuje více pracovních operací v jednom přejezdu. Nástup minimalizačních technologií v pojetí současné praxe (tj. s vynecháním orby) se datuje do šedesátých let dvacátého století, přičemž největšího rozvoje zaznamenaly tyto technologie po roce 1990 (Procházková, 2008).

3.2.2. Minimalizace zpracování půdy

Minimalizace v původním významu spočívala především ve spojování pracovních operací, čímž bylo dosaženo snížení především počtu pojezdů po pozemku a úspore času. Až

s nástupem vhodného nářadí a trakčních prostředků začala být minimalizace chápána též jako metoda zpracování půdy, tedy jako alternativa k tradiční orbě.

V posledních dvaceti letech se v podmínkách České republiky rozšířilo využívání minimalizačních (bezorebných) technologií. Jak uvádí Procházková (2008), v současné době se minimalizační technologie považuje za rovnocennou technologii orebné. V praxi však často dochází k prolínání obou technologií, kdy převážně bezorebně obdělávané pozemky jsou v pravidelných intervalech zorány. Jedná se o tzv. periodickou orbu (Hůla et al., 1997). Orba je v těchto případech uplatňována z důvodu prokypření ornice do větší hloubky anebo k promíchání půdních horizontů bohatších na organické látky s těmi chudšími. Orba se tak často zařazuje na konci sledů plodin nevyžadující hluboké zpracování půdy (např. obilniny) anebo po plodinách, pod které nelze orat buďto z důvodů časových anebo technologických (např. ozimá řepka). Hůla et al. (1997) uvádí jako další možnost uplatnění tohoto přístupu orbu k jarním okopaninám. V praxi jsou též používány obě technologie současně bez výrazné dominance jedné z nich, kdy o použití konkrétní technologie rozhoduje např. průběh počasí či časové možnosti než filozofie v přístupu ke zpracování půdy.

3.2.3. Výhody a nevýhody minimalizačních technologií

3.2.3.1. Výhody

Hůla et al. (1997) uvádí jako výhodu minimalizačních technologií nižší narušování přirozené tvorby strukturních agregátů oproti technologii orebné. Vyšší tvorbu agregátů u přímého setí oproti konveční technologii uvádí i Ball-Coelho et al. (1998). Six et al. (2000) též uvádějí pozitivní vliv na stabilitu půdních agregátů, především při srovnání konvenční a bezorebné technologie. Hůla et al. (1997) dále uvádí nižší energetickou náročnost, především v případě redukované pracovní hloubky a z toho vyplývající pozitiva jako je nižší spotřeba pohonných hmot a vyšší plošná výkonnost. Arvidsson et al. (2013) uvádí zvýšení tahové náročnosti více než dvakrát při zvýšení hloubky zpracování půdy z 5 až 10 cm na 15 až 20. Bonari et al. (1995) uvádí v průměru 55 % úsporu času, paliva, energie a nákladů při minimalizačním zpracování půdy oproti konvečnímu. Významným kladem je omezení eroze, a to jak vodní, tak i větrné. Nelze též opomenout snížení utužování půdy, což je dáno několika faktory. Jedním z faktorů je skutečnost, že tažný prostředek při zpracování půdy pojíždí pouze po povrchu půdy, nikoliv v brázdě, jako je tomu v případě orby (tento problém však lze

eliminovat použitím tzv. on-land pluhů). Dalším faktorem je omezení pojezdu po nakypřené půdě, čemuž se u orebné technologie nelze vyhnout, neboť úprava hrubé brázdy je první operací v předseťové přípravě. Kypřá půda je k utužení náchylnější než půda slehlá, což uvádí např. Šantrůček et Svobodová (2002). U bezorebného zpracování půdy je tento negativní jev z velké části eliminován a to z důvodu nižší nakypřenosti bezorebně zpracované půdy a též faktu, že kypřiči lze často připravit pozemek jedním přejezdem. Mezi další faktory patří například možnost snížení celkového počtu přejezdů díky zvětšení záběru stroje, což vyplývá z výše uvedené nižší tahové náročnosti kypřičů oproti pluhům. Jak uvádí Hamza et Anderson (2005), zvětšení pracovních záběrů a z toho vyplývající snížení počtu přejezdů je účinným opatřením v ochraně půd před nežádoucím zhutňováním. Nutno však dodat, že s rostoucím záběrem obvykle roste též potřeba tahové síly. Vzhledem k faktu, že s růstem výkonu tahače obvykle stoupá jeho hmotnost, může se stát toto zvětšování záběrů a výkonu traktorů začarovaným kruhem. Určité řešení představují pásové tahače, které mají díky vyšší kontaktní ploše nižší tlak na půdu. V neposlední řadě je nutno zmínit, že při práci radličkového kypřiče (v případě práce bez křídel, pouze s dláty) nedochází ke vzniku tzv. plužní pánve (jinak též orebního dna). Díky této skutečnosti nedochází na takto obhospodařovaných pozemcích k hromadění vody v povrchových vrstvách půdy a zároveň se zvyšuje retenční schopnost pozemků. Vliv plužní pánve na infiltraci vody popisuje Jiang et al. (2015) ve své práci porovnávající variantu s kukuřicí s konvenčně zpracovávanou půdou a monokulturu vojtěšky bez zpracování půdy. Již po pěti letech docházelo na konvenčně zpracovávané variantě docházelo k hromadění vody ve svrchních vrstvách ornice. Vzhledem ke skutečnosti, že jak kukuřice, tak vojtěška jsou hluboko kořenící plodiny, autoři tuto změnu dávají za vinu vzniku plužní pánve.

Mezi výhody lze zařadit taktéž nižší pořizovací a provozní náklady strojní linky (Bonari et al., 1995) a to nejen z důvodu vyšší univerzálnosti nářadí (jeden univerzální kypřič je schopen zastat veškeré operace od podmítky, přes základní zpracování půdy až po předseťovou přípravu), ale též z důvodu vyšší plošné výkonnosti – o cca 50 až 60 i více %, jak dokazuje následující výpočet:

Plošná výkonnost (ha/h) = záběr stroje (m) * pracovní rychlost [(km/h)/10] * koeficient neproduktivních pojezdů (empiricky stanoven – u půdozpracujících operací se udává do 0,7)

souprava traktor 4k4 130,5 kW + pluh oboustranný 5*45 cm

Plošná výkonnost (ha/h) = 2,25 * 0,8 * 0,7

Plošná výkonnost (ha/h) = 1,26

souprava traktor 4k4 130,5 kW + kypřič 3 m

Plošná výkonnost (ha/h) = 3 * 1 * 0,7

Plošná výkonnost (ha/h) = 2,1

2,1 / 1,26 = 1,6667

Tento výpočet je nutno brát s rezervou, neboť některé ukazatele se mohou odlišovat. Jedná se především o koeficient neproduktivních pojezdů, který je ovlivňován například velikostí a tvarem pozemku, délkou pozemku či výskytem překážek (sloupy, remízky). Na druhou stranu lze předpokládat nižší neproduktivní časy soupravy s kypřičem vzhledem k nižšímu počtu úkonů, jež je nutno provést během otáčení soupravy (odpadá otáčení pluhu) a též díky možnosti vyšší pojezdové rychlosti během otáčení (nedochází k tak významným změnám těžiště nářadí, jako je tomu u pluhu).

Z výše uvedeného vyplývají další výhody, jako je dodržení agrotechnických lhůt, možnost pracovat za nejpříhodnějších podmínek a v neposlední řadě nižší mzdové náklady. Významnou výhodou je též jednodušší seřizování kypřičů oproti klasickým pluhům, což snižuje nároky na znalosti a zkušenost obsluhy.

3.2.3.2. Nevýhody

Mezi nevýhody minimalizačních technologií patří vyšší tlak škůdců, chorob a plevelů, především v případě mělkého zpracování půdy. Tato skutečnost klade vyšší nároky na technologickou kázeň, především v herbicidní ochraně (Hůla et al., 1997; Hůla, 2008). Derksen et al. (1993) uvádí v závěrech ze svých pětiletých pokusů zvýšení výskytu větrem šířených druhů a zvýšený výskyt výdrolu na minimalizačně obdělávaných pozemcích, naopak

nedošlo k významnějšímu rozšíření jednoletých a vytrvalých trávovitých plevelů. Sami autoři uvádějí, že během trvání jejich pokusu měl na plevele větší vliv ročník a lokalita než technologie zpracování půdy. V systémech využívajících přímého setí (no-till, zero-till), lze očekávat vyšší tlak škůdců, jakými jsou například hraboši, kteří jsou problémem nejen na dlouhodobě nezpracovávaných pozemcích. Hraboše na takových pozemcích lze potlačovat víceméně pouze chemicky, popř. podporou přirozených nepřátel. Za nevýhodu lze považovat nižší schopnost zapravení posklizňových zbytků, což sice skýtá výhody z pohledu protierozní ochrany a šetření s vláhou, především v sušších oblastech (Unger et al., 1991), ale omezuje možnost využití fyto-sanitárního účinku půdy proti houbovým chorobám (Dill-Macky et Jones, 2000). Taktéž omezuje možnosti nechemické ochrany proti některým hmyzím škůdcům, jako je například zavíječ kukuřičný. Z důvodu nižší aerace půdy nedochází k tak intenzivní mineralizaci (Hůla et al., 1997), což v praxi může znamenat potřebu vyššího hnojení dusíkem pro zachování stejné výnosové úrovně. Bezorebné zpracování půdy však, stejně jako orba, není schopno eliminovat negativní utužení vznikající při práci za mokra, což ostatně uvádí i Voorhees (2000), který zmiňuje utužení podorničí při práci za vlhka při hlubokém zpracování půdy s následným poklesem výnosu. V případě velkého zamokření v podzimním období nelze často kypřiče vzhledem k dosahované kvalitě práce použít a je nutné je nahradit pluhem. Kvalita práce je obvykle špatná, ale v daných podmínkách dostačující přičemž se spoléhá, že poškozenou půdní strukturu napraví zimní mrazy.

Z mechanizačních nevýhod nelze opomenout potřebu dostatečně dimenzovaného tažného prostředku, neboť kvalita práce kypřičů je daleko více závislá na pracovní rychlosti, než je tomu u pluhu. Z ekonomického hlediska toto může představovat problém, neboť při přechodu k bezorebnému zpracování půdy může vyvstat požadavek na nákup silnějšího tahače vzhledem k nedostatečnému výkonu tahače dosud používaného.

Za nevýhodu lze považovat i „novost“ této technologie, především v podmínkách našeho zemědělství, kde stále platí orba za základní a lety osvědčenou operaci, proti které má stále v myslích mnohých bezorebné zpracování půdy méněcennou pozici. Jak uvádí Procházková (2008), orba byla a stále je symbolem moderního zemědělství. Bezorebné zpracování půdy je tak často chápáno jako extenzivní, méně vyspělá technologie a s touto premisou je k němu i přistupováno. Technologie poté často nesplní očekávání a je zavrhnuta jako nefunkční, bez zřetele na potřebu odlišného přístupu k celé problematice zpracování půdy. Jak již bylo uvedeno dříve, bezorebný systém zpracování půdy vyžaduje daleko vyšší technologickou kázeň než systém orebný, a to nejen z pohledu agronomického, ale též

mechanizačního. Z mechanizačních hledisek lze uvést jako příklad vyšší nároky na úpravu posklizňových zbytků (krátká řezanka, rovnoměrné rozptýlení v celém záběru sklízecí mlátičky), tak i vlastního strniště (co nejnižší). Jak uvádí Kroulík et al. (2016), technologii je nutné posuzovat jako komplexní celek, ve kterém se jednotlivé operace vzájemně doplňují a nefigurují jako sled izolovaných zásahů.

3.3. Vliv zpracování půdy na plodiny

Minimalizační technologie lze využívat i zakládání porostů vojtěšky. V podmínkách České republiky je tak zakládána přibližně čtvrtina ploch (Hakl et al., 2014). Obecně lze však říci, že zpracování půdy k vojtěšce, resp. bezorebnému zpracování k vojtěšce, není věnována přílišná pozornost. Větší pozornost je věnována vlivu zpracování půdy na kořenový systém především u kukuřice a dále řepky.

Allen et Entz (1994) srovnávali výnosy sušiny porostů vojtěšky založených přímým setím a konvenční technologií. Nižších výnosů dosahovala varianta přímého setí pouze v případě, že předplodinou byla pšenice. V případě, že předplodinou byl hrách, popř. řepka rozdíl výnosů mezi variantami nebyl statisticky průkazný. V suchých podmínkách vykazoval porost založený přímým setím lepší stav než porost založený konvenční technologií. Autoři tuto skutečnost přikládají vyššímu obsahu vody v půdě díky nižšímu výparu během zpracování půdy a setí. Porovnány byly i různé varianty nakládání se slámou předplodiny (zaorání, odvoz). Rozdíl mezi variantami nebyl prokázán.

Vyšší obsah vody ve variantě bez zpracování půdy (přímého setí) uvádí i Karunatilake et al. (2000), avšak pouze v jednom roce. V dalším nebyl rozdíl mezi variantou oranou a bez zpracování.

Vasileva et Pachev (2015) srovnávali v podmínkách Bulharska různé varianty zakládání porostu a hnojení vojtěšky. Zpracování půdy bylo prováděno v několika variantách - bezorebné kypření do hloubek 12 až 15 cm a dále do 22 - 24 cm. Orané varianty byly zpracovány do hloubek 18 - 22 cm a 30 - 35 cm. V nehnojené kontrole dosahovaly nejvyšších výnosů sušiny kořenů varianty orané. Nejvyšší výnos kořenové hmoty poskytovala varianta oraná do hloubky 18 - 22 cm (3833 kg sušiny/ha). Hluboká orba (30 - 35 cm) poskytla výnos 3368 kg/ha. Neorané varianty poskytly výnos 3202 kg/ha u varianty 22 - 24 cm, resp. 3185 kg/ha u varianty 12 - 15 cm. Z hnojených variant poskytla nejvyšší výnos sušiny varianta

kypřená do hloubky 22 - 24 cm hnojená Amofosem (120 kg P/ha, výnos sušiny kořenů 4003 kg/ha). Varianta kypřená do hloubky 12 - 15 cm poskytla nejvyšší výnos 3397 kg/ha při hnojení NPK v dávce 60 kg N, 100 kg P a 80 kg/ha K. Z oraných variant poskytla nejvyšší výnos (4550 kg/ha) varianta zpracovaná do hloubky 18 - 22 cm a hnojená NPK v dávce 35 kg N, 80 kg P a 50 kg/ha K. Varianta 30 - 35 cm dosáhla nejvyššího výnosu 3997 kg/ha při hnojení NPK v dávce N 23 kg, P 100 kg a K 35 kg/ha. Pozitivní vliv hnojení na výnos popisuje i Hakl et al. (2014), s průměrným navýšením výnosu píce o 0,41 t sušiny/ha, avšak vliv hnojení na zvýšení výnosu není statisticky průkazný a není jediným ovlivňujícím faktorem.

Se zpracováním půdy souvisí i její utužení během vegetace víceletých porostů píce. Mimo utužení během zpracování půdy a setí je hlavním faktorem způsobujícím toto utužení přejezd zemědělské techniky během sklizně píce. I když v současné době dochází k rozšiřování nízkotlakých pneumatik, které při správném nahuštění výrazně omezují nežádoucí zhutnění půdy, je nárůst velikosti a s tím související hmotnosti strojů pokračujícím trendem. Jak již bylo uvedeno výše, vojtěška dokáže pronikat svými kořeny skrze utužené vrstvy v půdě, čehož bylo a je v praxi využíváno jako náhrady strojního podrývání, stále se jedná o omezující faktor, který může mít negativní vliv na prospěch a výnos porostu.

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 kontrole. 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 novější práci uvádí Glab (2011) snížení průměru kořenů na utuženější variantě. Naopak rostliny reagovaly pozitivně na utužení, což se zvýšením výnosu píce týká.

V jiné práci uvádí Glab et Gondek (2011) vliv utužení půdy na tvorbu kořenového systému a výnos. Rostliny pěstované na utužené půdě vykazovaly v prvním roce vegetace nižší výnos než rostliny pěstované na půdě méně utužené. Avšak v druhém a třetím roce poskytovaly rostliny na utuženější půdě vyšší výnosy oproti variantě neutužené. Autoři dále uvádějí rozdíly v délce kořenů a to v neprospěch utužené varianty.

V další práci uvádí Glab et Gondek (2012) vliv pojezdů (utužení) na výnos píce vojtěšky, ale též na změnu chemických vlastností půdy. Zvýšení utužení půdy se negativně podepsalo na výnosu píce, především v 2. a 3. užitkovém roce. Pojezdy způsobily též zvýšení pH půdy a obsahů fosforu a zinku. Statisticky průkazné však byly tyto změny až v horizontu 20 až 30 cm pod povrchem. V horizontu do 20 cm ke změnám nedocházelo, což autoři vysvětlují vlivem kořenového systému vojtěšky, která odstraňuje utužení a zlepšuje stav půdy. Snížení výnosu připisují spíše mechanickému poškození rostlin než sníženému příjmu živin.

Vlivem utužení na tvorbu kořenů se zabýval i Dexter (1986), který popisuje změny ve směru růstu kořenů při jejich kontaktu s utuženým podložím. Změny v růstu a prostorové distribuci kořenů v utužených půdách uvádí i Unger et Kaspar (1993). Meek et al. (1992) sledovali vliv zpracování půdy a kořenů na infiltrační schopnost půdy. Ve svých závěrech uvádějí zvýšení infiltrace vody díky zpracování půdy v meziorostním období, ale pouze v první polovině sezóny a na půdě, po které bylo pojížděno. Na půdě, po které nebylo pojížděno, nebyl pozorován pozitivní vliv zpracování půdy na infiltraci či byl dokonce negativní. Dále byl sledován vliv kořenů vojtěšky na zvýšení infiltrační schopnosti půdy. Vojtěška zvýšila infiltrační schopnost silně utužené půdy během dvou let čtyřikrát. Snížení utužení půdy a zvýšení infiltrační schopnosti uvádí i Glab (2008).

3.3.1. Ostatní hluboko kořenicí plodiny

Bonari et al. (1995) porovnávali orebné zpracování písčitých půd do hloubky 25 cm a minimalizaci do hloubky 10 až 15 cm talířovým kypřičem z pohledu retenční kapacity půdy, utužení půdy, kořenového systému, výnosu a ekonomiky pěstování. Sledovanou plodinou byla řepka. Oraná varianta vykazovala vyšší retenční kapacitu, ale též rychlejší výpar. Též utužení půdy bylo nižší u orané varianty. Kořenový systém minimalizované varianty byl slabší, ale výnosy semene a nadzemní biomasy se statisticky nelišily. Christian et Bacon (1990) uvádí vyšší výnosy přímo seté řepky oproti variantě orané, což vysvětlují lepším založením porostu a uniformním vzcházením.

Vlivem zpracování půdy na utváření kořenového systému a odolnosti proti poléhání u kukuřice se zabývali Bian et al. (2016). Nejlepších výsledků dosahovala varianta zpracovaná rotačním kypřičem následovaná přímým setím. Rostliny v těchto variantách vykazovaly nejhlubší a nejrozsáhlejší kořenový systém. Autoři toto dávají do souvislosti s nejnižším

penetrometrickým odporem půdy na těchto variantách. Nejhorších výsledků bylo dosaženo ve variantě přímého setí s tvorbou hrůbků, kde byl kořenový systém nejslabší, především vykazoval nejnižší rozvoj nodálních kořenů. Autoři uvádějí slabou pozitivní závislost mezi nodálními kořeny a odolností rostlin proti poléhání. Thomas et Kaspar (1995) uvádí vyšší tvorbu nodálních kořenů u variant pěstovaných v hrůbkách. V polních podmínkách se jim však nepovedlo dosáhnout stejných výsledků.

Vlivem zpracování půdy se zabývali i Dal Ferro et al. (2014), kteří porovnávali vliv konvečního zpracování půdy a přímé setí. Autoři též uvádějí negativní vliv zhutnění na tvorbu kořenového systému. Dle jejich závěrů nemá zpracování půdy významného vlivu na růst kořenů, což ale dávají do souvislosti s krátkou dobou praktikování přímého setí (2 roky), což je příliš krátká doba na to, aby došlo k významnějším změnám v půdní struktuře. De Paiva Venzke Filho et al. (2004) ve svém dlouhodobém pokusu sledovali vliv přímého setí na tvorbu kořenového systému kukuřice a sóji. Přímé setí ovlivnilo rozložení kořenů v půdním profilu a to tak, že 36 % kořenů kukuřice a 30 % kořenů sóji se nacházelo v hloubce do 10 cm. Kořenový systém sóji též vykazoval vyšší podíl slabších kořenů a intenzivnější kořenové vlášení oproti kořenovému systému kukuřice. Mikrobiologická aktivita vázaná na kořeny byla prokázána ve větších hloubkách než u sóji, což souvisí se schopností kukuřice pronikat do větších hloubek. Ball-Coelho et al. (1998) uvádějí minimální rozdíly v tvorbě kořenového systému kukuřice mezi přímým setím a konveční technologií v hloubkách pod 10 cm. Rozdíly uvádějí až v horizontu 15 až 30 cm, a to ve prospěch konvečního zpracování. Největší rozdíl vykazují kořeny v prostorové distribuci, kdy u varianty přímého setí byly kořeny uloženy více horizontálně než vertikálně. Ball-Coelho et al. (1998) nepozorovali rozdíly ve výnosech, a to i přes skutečnost, že varianta přímo setá vykazovala vyšší obsah vody. Autoři doporučují ukládání hnojiva k osivu u přímého setí z důvodu vysoké utilizace živin díky vyšší koncentraci kořenů v menších hloubkách a jejich převažujícímu horizontálnímu uložení.

Karunatilake et al. (2000) porovnávali vliv přímého setí a orebného zpracování půdy na kukuřici pěstovanou po vojtěšce. Celková výška rostlin byla vyšší na variantě přímého setí, avšak oraná varianta vykazovala vyšší výnos biomasy jak nadzemní, tak kořenové. Kořenový systém byl celkově rozsáhlejší na variantě orané, a to v celém orničním profilu. Výnosy byly srovnatelné na obou variantách, kromě jednoho roku, kdy oraná varianta vykazovala výnos znatelně vyšší. Autoři považují technologii přímého setí srovnatelnou s technologií orebnou, avšak pouze v případě, že je věnována dostatečná péče půdní struktuře.

Chassot et al. (2001) porovnávali rozdíl mezi přímým setím a konveční technologií při zakládání porostu kukuřice. Kořenový systém byl u konveční varianty rozvinutější, avšak kořeny měly menší průměr oproti variantě přímo seté. Prostorové rozložení kořenů v půdě se však mezi variantami nelišilo. Na variantě přímo seté bylo klíčení i pozdější rozvoj rostlin pomalejší, autoři to však připisují nižší teplotě půdy této varianty a považují nízkou teplotu za hlavní omezující faktor před vyšším penetrometrickým odporem nezpracované půdy. Rozdíly v utváření kořenového systému silážní kukuřice v technologii přímého setí a konvečního zpracování se zabýval i Qin et al. (2006). Varianta založená přímým setím měla více kořenů v hloubce do 5 cm než varianta konvečně založená. Tyto kořeny též měly menší průměr. Naopak konveční varianta měla nejvíce kořenů uložených do hloubky 10 cm. V hlubších vrstvách půdy nebyly mezi variantami rozdíly v utváření kořenů. Autoři doporučují v případě přímého setí aplikaci hnojiv k osivu, především fosforu, neboť díky mělce uloženým kořenům je možná vysoká utilizace vložených živin.

Freddi et al. (2007) porovnávali vliv utužení půdy na morfologii kořenů a výnos silážní kukuřice. S rostoucím utužením vzrůstala plocha kořenů. Stejně tak výnos sušiny kořenů a jejich průměr stoupal s rostoucím penetrometrickým odporem. Růst kořenů se neměnil se zvyšujícím se utužením, avšak výnos píče klesl o 2,58 t/ha proti neutužené kontrole.

Chen et Weil (2011) sledovali růst kořene a výnos kukuřice seté do mezíplodiny na utužené půdě. Jako mezíplodiny posloužily ředkev setá bílá (Daikon), řepka a žito. Kontrola byla bez mezíplodiny. Všechny varianty poskytly vyšší výnos než kontrola. Nejlépe hodnotí autoři řepku, a to z důvodu její schopnosti rozrušovat utužené vrstvy a zároveň zachovávat poměrně dost půdní vláhy. Naopak jako nevýhodu uvádí vysokou regenerační schopnost, což omezovalo účinek jarní chemické likvidace mezíplodiny. Ředkev setá bílá vykazovala nejlepší schopnost pronikat utuženou půdou. Naopak žito zachovává nejvíce půdní vláhy. Autoři proto doporučují směs ředkve a žita.

Ve starší práci porovnávali Chen et Weil (2010) stejné mezíplodiny, ale pouze z hlediska utváření jejich kořenového systému v utužených půdách. V hloubce 15 až 50 cm vytvořila ředkev setá více jak dvojnásobné množství kořenové biomasy než žito. Řepka byla schopná vyprodukovat dvojnásobek biomasy žita. V neutužené kontrole nebyly rozdíly v penetrační schopnosti kořenů mezi mezíplodinami. Žito i řepka však vykazovaly klesající hmotnost kořenů i jejich počet s rostoucím utužením. Naopak ředkev nevykazovala žádné změny či dokonce došlo k nárůstu kořenové biomasy na utuženějších variantách. Jak autoři

sami uvádí, rostliny s kúlovým kořenem mají vyšší penetrační schopnost než rostliny s kořeny svazčitými, což umožňuje jejich využití v tzv. biological tillage. V našich podmínkách bylo a je využíváno vojtěšky, která je současně schopná dodat navíc i velké množství kvalitní organické hmoty, jak již ostatně bylo uvedeno výše.

Ardvidsson et al. (2013) porovnávali bezorebné zpracování pod pšenici, ječmen a řepku do hloubky 5 - 10 cm a 15 - 20 cm s konvečním zpracováním radličným pluhem. I když bezorebné zpracované varianty vykazovaly vyšší penetrometrický odpor, byl výnos nižší jen o 1 až 2 % oproti orané variantě. Ve dvou případech dokonce s rostoucí hloubkou zpracování půdy došlo k výnosové redukci.

Hůla et al. (1997) uvádí zvýšení obsahu organické hmoty v povrchové vrstvě ornice při bezorebném zpracování půdy. Stejně poznatky uvádí i Osuna-Ceja et al. (2006), kteří se zaměřili na změnu půdních vlastností a jejich vliv na kořenový systém kukuřice v různých technologiích zpracování půdy. V dlouhodobém pokusu porovnávali konveční a minimalizační (konzervační) technologii. Kromě výše uvedeného zvýšení obsahu organické hmoty na minimalizované variantě, uvádějí i lepší schopnost vodní retence této varianty. Dle jejich závěrů je též silná korelace mezi retenční schopností půdy a délkou kořenů kukuřice. Rasmussen (1999) uvádí kromě zvýšení obsahu organické hmoty v povrchové vrstvě půdy i zvýšení koncentrace živin. V dlouhodobém horizontu uvádí též pokles pH půdy.

3.3.2. Ostatní mělce kořenící plodiny

Mělké zpracování půdy či přímé setí má vliv na utváření kořenů i u plodin mělčeji kořeních jako jsou obilniny. Pietola (2005) porovnával mělké kypření (8 cm), orbu do hloubky 20 cm a přímé setí. Sledované plodiny (ječmen a oves) vykazovaly nejvyšší počet kořenů na rostlinu v půdě orané a nejméně na variantě přímo seté, průměr kořenů se však nelišil. K největší redukci růstu a počtu kořenů dochází dle autora až od třetího roku aplikace technologie přímého setí.

Qin et al. (2004) porovnávali rozdíly konvečního zpracování a přímého setí na ozimou pšenici. Stejně jako jiní autoři uvádějí větší průměr kořenů u varianty přímého setí v blízkosti povrchu půdy (0 - 5 cm). Kořenový systém přímo seté pšenice byl méně rozvinutý oproti konvečnímu zpracování a většina se ho rozkládala do hloubky 10 cm. V hloubce nad 30 cm již nebyl pozorovatelný rozdíl mezi variantami.

Z výše uvedeného vyplývá, že zpracování půdy má značný vliv na tvorbu kořenového systému pěstovaných rostlin. Obecně lze říci, že minimalizační zpracování půdy má pozitivní vliv na uniformitu vzcházení, avšak u přímého setí může být rozvoj zpomalen, neboť takto zpracovaná půda se pomaleji prohřívá. Naopak výhodou je vyšší obsah vody.

Rozsah kořenového systému a průměr jednotlivých kořenů je odvislý od penetrometrického odporu půdy, a to tak, že s rostoucím penetrometrickým odporem klesá rozsah kořenového systému, ale současně se obvykle zvyšuje průměr jednotlivých kořenů. Největší rozdíly mezi různými technologiemi zpracování půdy a zakládání porost jsou pozorovatelné v horizontu do 10 cm a poté do hloubky zpracování půdy (obvykle do 30 cm). Nad tuto hranici již rozdíly mezi technologiemi již obvykle nejsou zaznamatelné.

Vojtěšce v tomto ohledu není věnována přílišná pozornost. Z tohoto důvodu je cílem této práce zjistit vliv zpracování půdy na tvorbu jejího kořenového systému.

4. Část experimentální

4.1. Materiál a metody

4.1.1. *Charakteristika stanoviště*

Pokus byl založen na pozemcích Výzkumné stanice Červený Újezd. Stanoviště leží v nadmořské výšce 398 m, 50°04' zeměpisné šířky, 14°10' zeměpisné délky. Průměrný roční úhrn srážek je 493 mm (průměr za roky 1901 až 1950) a za vegetaci 333 mm. Průměrná doba slunečního svitu je 1902 hodin ročně, resp. 1396 hodin za vegetaci. Půdy jsou hnědozemě se sprašovým pokryvem s mírným obsahem humusu. Půdní reakce neutrální, střední sorpční kapacita s nasyceným koloidním komplexem. Obsah P a K střední až dobrý (ČZU, 2016).

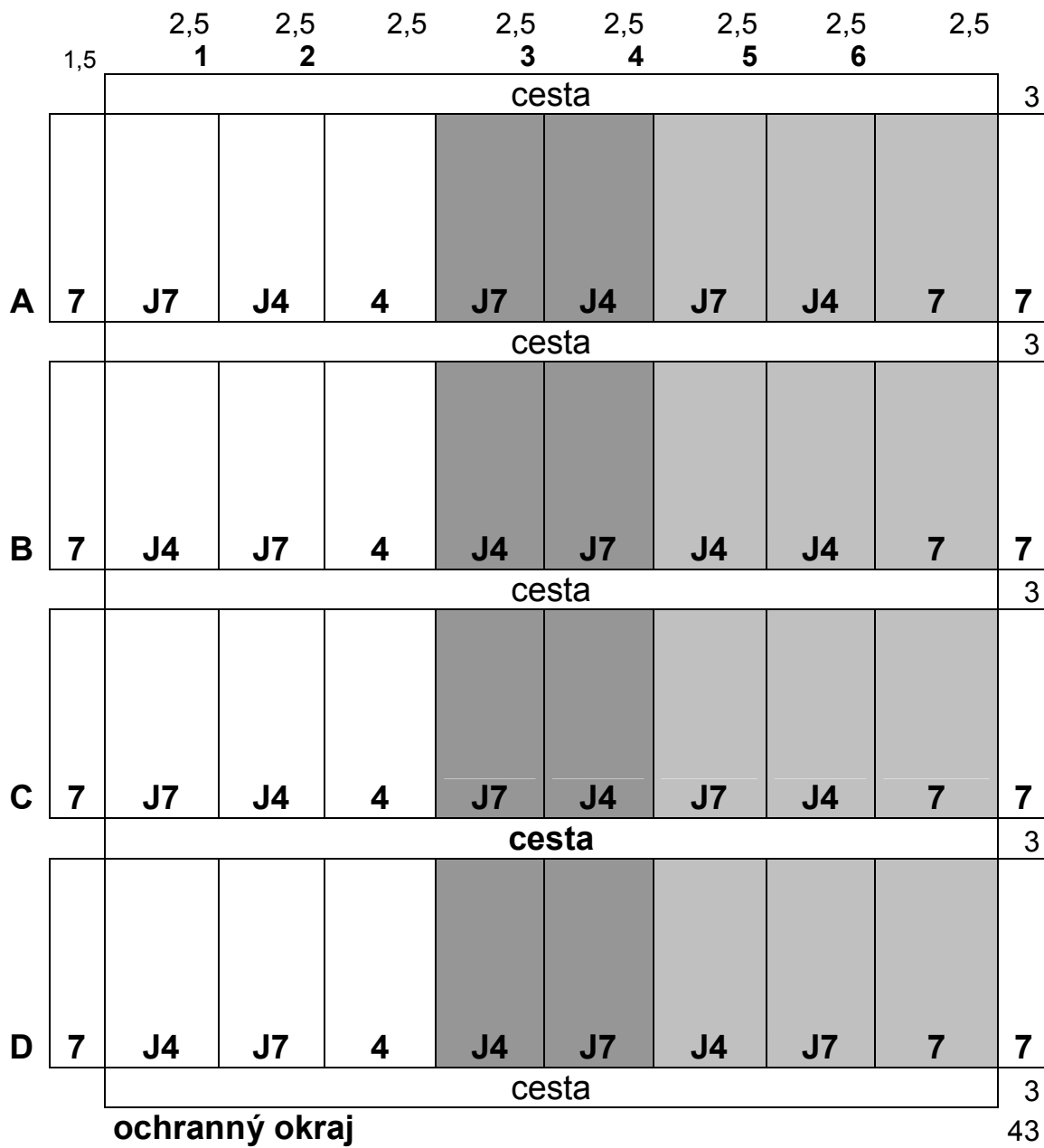
Meteorologické údaje za období průběhu pokusu (tj. rok 2014 - 2015) jsou uvedeny v tabulce na další straně

Meteorologické údaje na VS Červený Újezd vegetace 2014 - 2015

Měsíc	X 14	XI 14	XII 14	I 15	II 15	III 15	IV 15	V 15	VI 15	VII 15	VIII 15	IX 15	X 15	XI 15	XII 15
1. dekáda	12,61	7,9	4,47	2,15	-1,22	4,65	4,86	13,81	17,14	21,78	24,15	15,24	11,6	8,74	4,83
1. - 10. Srážky**	4,4	1,4	14,6	13,3	1,1	6,8	6,6	22,1	13,8	9,5	0,1	8,9	29	2,1	4,7
2. dekáda															
11. - 20. Teplota *	13,26	7,53	5,59	2,85	0,92	4,85	10,5	12,95	30,03	21	21,6	16,41	5,24	9,55	4,93
Srážky **	34,3	21,4	9,6	1,3	0	5,5	1,2	11	11,6	4,4	51,6	1,3	23,7	33,5	5,5
3. dekáda															
21. - 31. Teplota *	6,69	1,93	0,01	0,47	2,82	6,79	11,5	13,1	16,01	19,8	20,2	12,1	7,74	1,76	5,62
Srážky **	15,4	1,3	6,4	2,4	0,5	20,3	23,2	11,6	12,6	15,5	3	1,3	0,5	16,7	1,1
Teplota *	10,72	5,77	2,28	1,78	0,7	5,48	8,96	13,65	16,19	20,82	21,93	14,58	8,18	6,68	4,75
Srážky **	54,1	24,1	31,6	19,1	1,6	32,6	30	44,7	37	29,4	54,7	11,5	53,2	52,3	11,3
Počet dešť. dnů 1-5 mm	3	2	8	5	0	5	5	6	4	6	1	7	4	5	3
Počet dešť. dnů 5-10 mm	4	0	0	1	0	2	2	2	2	3	1	0	2	3	0
Počet dešť. dnů < 10 mm	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0	2	1	0
Teplota *	8,4	3	-0,5	-2,3	-0,8	2,9	7,6	12,9	16,2	17,6	17,3	13,4	8,4	3	-0,5
Srážky **	26,5	29,9	22,3	21,6	21,4	26,3	34,9	67,2	63,5	58,7	67,5	33	26,5	29,9	22,3
Normal***															
* °C															
** mm															
*** Praha Ruzyně 1960 - 2010															

4.1.2. Design a uspořádání experimentu

Pokus byl založen pro zjištění vlivu různých variant zpracování půdy na utváření kořenového systému vojtěšky. V pokusu byly porovnávány tři různé varianty zpracování půdy ve schématu split plot a dva různé výsevky ve zcela znáhodněných blocích. Zvolené varianty půdy byly mělké kypření do hloubky 10 cm talířovým kypřičem, hluboké zpracování radličkovým kypřičem do hloubky 25 cm a orba radličným pluhem do hloubky 25 cm. Zvolené výsevky byly 4 a 7 MKS. Pokus probíhal na celkem 24 parcelách uspořádaných do 4 opakování. V rámci každého opakování bylo pro vždy dvě parcelky zvoleno stejné zpracování půdy, které se však lišilo výsevkem. Schéma pokusu se nachází na následující stránce.



orba
 mělké kypření
 hluboké kypření



4.1.3. Charakteristika odrůdy

Vojtěška použitá v pokusu byla odrůda českého původu Jarka. Odrůda byla vyšlechtěna ve Šlechtitelské stanici Želešice, povolena byla v roce 1995. Vyznačuje se vysokým, vzpřímeným vzrůstem. Habitus je přechodný mezi listnatým a stonkovým typem. Rychlost obrůstání je nepatrně vyšší než u kontrolních odrůd (Agrogen, 2016). Jarka má vysokou odolnost listovým chorobám a velmi vysokou odolnost cévnímu vadnutí. Odrůda nemá specifických požadavků na pěstování, je plastická. V následující tabulce jsou uvedeny parametry osiva a použité výsevky.

čistota osiva (%)	Klíčivost (%)	UH (%)	HTS (g)	hmotnost MKS (kg)	MKS	výsevek (kg/ha)	výsevek (g/parcels)
99,8	90	89,82	1,89	2,1	4	8,417	14,729
					7	14,729	25,777

4.1.4. Hodnocení v roce výsevu

Výsev byl proveden dne 24.4.2015 bezzbytkovým secím strojem po jednotném předsetřovém zpracování půdy. Stanovení vzcháživosti bylo provedeno 29.5. Vždy byly spočteny rostliny na 1 běžném metru řádky ve dvou náhodných opakováních v rámci každé parcely. Ze získaných hodnot byl poté vypočten průměr na parcelu a byl proveden přepočet na 1 čtvereční metr.

Stanovení složení plevelného spektra a celkový počet plevelných rostlin byl stanoven při bonitaci 8.6. Byla použita metoda projektivní dominance s odhadem pokryvnosti jednotlivých plevelných druhů. Stanovení probíhalo vždy na ploše 1 čtverečního metru, v jednom opakování na každé parcele.

Původně plánovaná seč spojená se stanovením výnosu píce nebyla provedena vzhledem k suchým podmínkám roku 2015, které měly za následek velmi pomalý růst rostlin. Po podzimní seči, která proběhla 20.10., byl dne 3.11. spočítán počet rostlin stejným způsobem jako na jaře, a poté byly odebrány vzorky kořenů. Vzorky byly odebrány vždy jednoho řádku o délce 0,5 metru z každé varianty. Hloubka odběru byla 25 cm. U vzorků byly zjišťovány následující znaky - průměr hlavního kořene, hloubka prvního větvení, počet větví

a průměrné zastoupení větvících rostlin. Vzorčky byly poté rozděleny na kořeny a kořenové krčky a byly zváženy. Poté byly usušeny v sušárně při teplotě 60 °C a znovu zváženy. Podíl sušiny byl stanoven z rozdílu hmotností před a po sušení. Získané hodnoty byly statisticky vyhodnoceny dvoufaktorovou analýzou rozptylu v programu Statistica 12. Abundance a složení plevelného spektra bylo vyhodnoceno vícerozměrnou redundanční analýzou (RDA) v programu Canoco 5.

4.2. Výsledky

4.2.1. Vliv zpracování půdy a výsevu na hustotu porostu vojtěšky v roce výsevu

V tabulce č. 1 je uveden vliv výsevu na vzcházivost, počet rostlin a jejich přežití v roce výsevu. Staticky průkazný je rozdíl počtu rostlin na jaře i na podzim ve vztahu k výsevu. Varianta s výsevem 4 MKS v průměru měla 288 rostlin na čtvereční metr při jarní bonitaci a 135 při podzimní. Varianta s výsevem 7 MKS měla v průměru 448 rostlin na čtvereční metr na jaře a 231 na podzim. Procento vzejití bylo vyšší u výsevu 4 MKS a to o 8 procent, ale výsledek se pohybuje na hranici průkaznosti. Procento přežití je statisticky neprůkazné.

Tab. 1: Vliv výsevu na počet rostlin vojtěšky v roce výsevu

výsevek (MKS)	r/m ² (jaro)	% vzejití	r/m ² podzim	% přežití
4	288 ^a	72	135 ^a	47
7	448 ^b	64	231 ^b	51
p-value	0,000	0,055	0,001	0,454

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

V tabulce č. 2 je uveden vliv zpracování půdy na vzcházivost, počet rostlin a přežití v roce výsevu. Vliv zpracování půdy na počet rostlin na jaře a tudíž ani na vzcházivost není statisticky průkazný. Statisticky průkazný je naopak vliv zpracování půdy na počet rostlin při podzimní bonitaci. Oraná varianta vykazuje nejmenší počet rostlin (136 r/m²) a tudíž i nejmenší procento přežití (37 %). Naopak varianty kypřené se téměř neliší (204 a 208 r/m²), resp. hluboko kypřená vykazuje v průměru o 4 rostliny více na metr čtvereční. Procentuálně vyjádřeno, rozdíl činí 3,22 % ve prospěch varianty mělce kypřené, která tak vykazuje nejvyšší procento přežití (56 %).

Tab. 2: Vliv zpracování půdy na počet rostlin vojtěšky v roce výsevu

zpracování půdy	r/m ² (jaro)	% vzejití	r/m ² podzim	% přežití
Orba	364	67	136 ^a	37 ^a
Mělké kypření	356	66	204 ^a	56 ^b
Hluboké kypření	384	71	208 ^a	53 ^{ab}
p-value	0,521	0,599	0,047	0,037

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

V tabulce č. 3 je uveden vliv interakce výsevku a zpracování půdy na počet rostlin vojtěšky a procenta vzejití a přežití v roce výsevu. Z hodnot p-value je jasné, že neexistuje statisticky průkazná závislost mezi sledovanými veličinami. Lze však pozorovat nižší procento vzejití u varianty s výsevku 7 MKS a to u všech variant zpracování půdy. Též lze pozorovat celkově nižší procento přežití u varianty s výsevku 4 MKS u všech variant zpracování půdy kromě varianty orané. Ta vykazuje vyšší procento přežití než u shodné varianty varianty s výsevku vyšším (37 % proti 36,79 %). Nejmenšího rozdílu mezi variantami zpracování půdy dosahuje varianta s nižším výsevku (4 MKS), kde se vzejití mezi jednotlivými variantami liší o max. 3,5 %, resp. 15,16 % v případě přežití. Naopak varianty s vyšším výsevku se liší v případě vzejití o 4,29 %, resp. 23,22 % v případě přežití.

Tab. 3: Vliv zpracování půdy a výsevku na počet rostlin vojtěšky v roce výsevu

zpracování půdy	výsevek (MKS)	r/m ² - jaro	% vzejití	r/m ² - podzim	% přežití
Orba	4	286	72	108	37
Mělké kypření	4	282	71	148	52
Hluboké kypření	4	296	74	148	50
Orba	7	442	63	164	37
Mělké kypření	7	430	61	260	60
Hluboké kypření	7	472	67	268	56
	p-value	0,846	0,964	0,521	0,839

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

4.2.2. Zaplevelení a složení plevelného spektra

V tabulce č. 4 jsou uvedeny výsledky RDA, které ukazují statisticky průkazný vliv zpracování půdy a výsevu na druhové složení plevelného spektra. Zaplevelení bylo vysvětleno vlivem zpracování půdy a výsevu z 53,4 %. Samotné zpracování půdy ovlivnilo zaplevelení z 33,6 %, zatímco výsevek pouze z 19,8 %. Nedocházelo tedy k výraznému překrývání efektů.

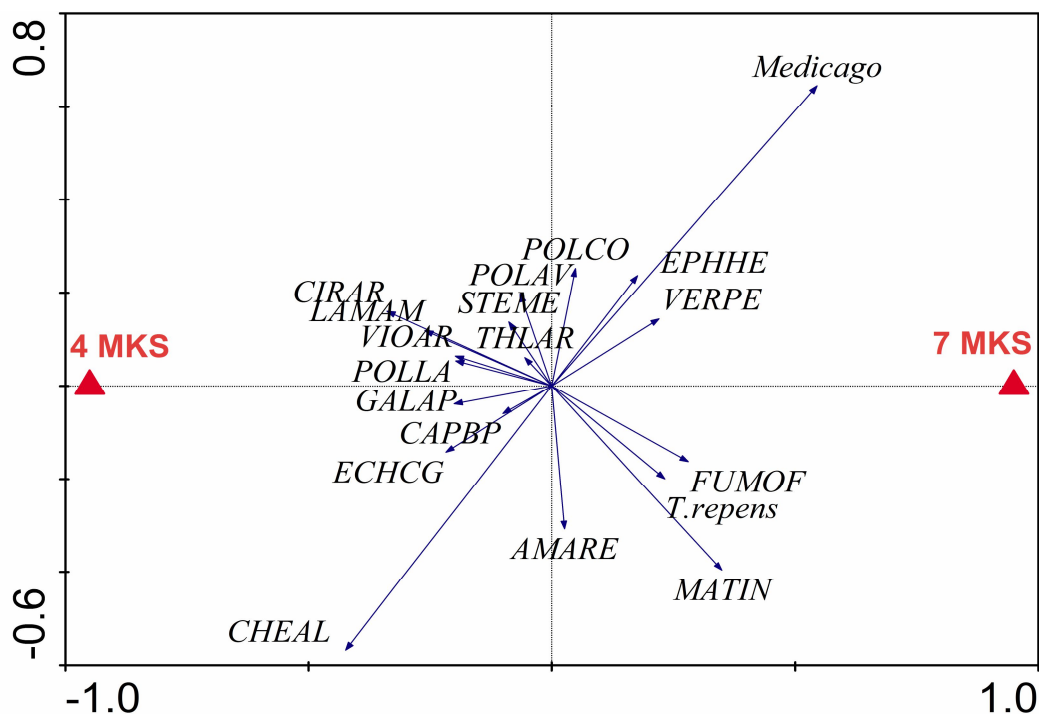
Tab. 4: Vliv zpracování půdy a výsevu na zaplevelení

Vysvětlující proměnné	Kovariáta	% osa 1 (všechny)	F osa 1 (všechny)	P value osa 1 (všechny)
Zpracování půdy, výsevek	-	42.7 (53.4)	14.9 (7.6)	0.004 (0.002)
Zpracování půdy	-	30.4 (33.6)	9.2 (5.3)	0.010 (0.008)
Výsevek	-	19.8	5.4	0.010
Zpracování půdy	Výsevek	30.4 (33.6)	12.2 (7.2)	0.002 (0.002)
Výsevek	Zpracování půdy	19.8	8.5	0.006

Graf č. 1 popisuje vliv výsevku na složení plevelného spektra. Jak vyplývá z výše uvedených tabulek, počet rostlin vojtěšky je odvislý od výsevku, což zde koreluje s celkovou pokryvností vojtěšky. Druhy v levé části grafu byly více zastoupeny u nižšího výsevku, zatímco druhy vpravo od středu vykazaly vyšší pokryvnost u varianty s vyšším výsevkem. Ve variantě s nižším výsevkem (4 MKS) převažovaly plevelné druhy jako jsou pcháč oset (CIRAR), hluchavka objímavá (LAMAM), violka rolní (VIOAR), rdesno blešník (POLLA), svízel přítula (GALAP) a ježatka kuří noha (ECHCG). Nejhojněji je zastoupen merlík bílý (CHEAL). Z dalších plevelů je zde zastoupen ještě truskavec ptačí (POLAV), ptačinec žabinec (STEME), kokoška pastuší tobolka (CAPBP) a penízek rolní (THLAR), ale jejich pokryvnost byla nižší oproti předešlým druhům.

Ve variantě s vyšším výsevkem (7 MKS) převažují plevele jako pryšec kolovratec (EPHHE), rozrazil perský (VERPE) a zemědým lékařský (FUMOF). Nejhojněji je zde zastoupen heřmánkovec nevonný (MATIN). Jetel plazivý (*T. repens*), vyskytující se ve variantě s vyšším výsevkem nelze pokládat za plevel jako takový, jelikož se jedná o cenný pícní druh.

Graf č. 1: Vliv výsevku na druhové složení plevelů a jejich počet

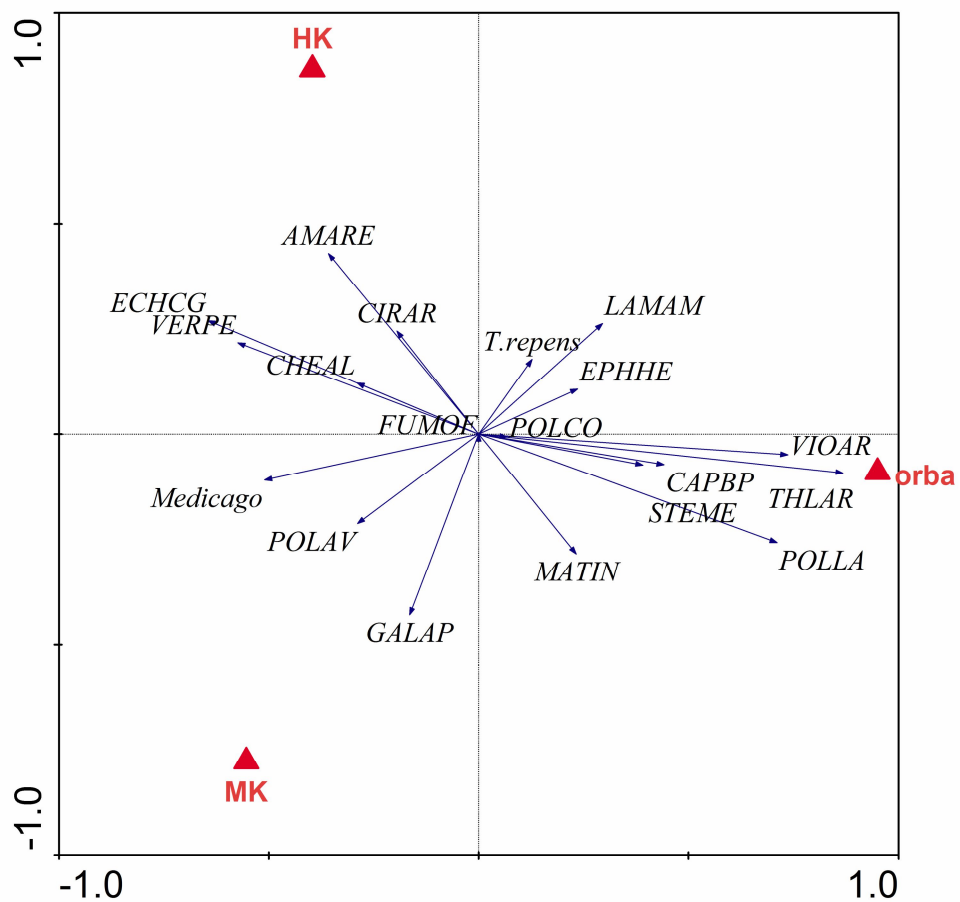


Graf č. 2 zobrazuje vliv zpracování půdy na plevelné spektrum a pokryvnost jednotlivých druhů. První kanonická osa odděluje druhy v vyšší pokryvnosti na oraných variantách (vpravo), od obou způsobů kypření (vlevo) Vojtěška vykazovala nejvyšší pokryvnost na kypřených variantách. Plevelné spektrum na orané variantě je zastoupeno především penízkiem rolním (THLAR), violkou rolní (VIOAR) a rdesnem blešníkem (POLLA). V menší míře dále heřmánkovcem nevonným (MATIN), kokoškou pastuší tobolkou (CAPBP), ptačincem prostředním (STEME), hluchavkou objímavou (LAMAM) a pryšcem kolovratcem (EPHHE).. Na orané variantě je též možné pozorovat nejvyšší výskyt jetele plazivého (*T. repens*).

Druhá kanonická osa odděluje hluboké kypření (nahore) od varianty mělkého kypření (dole) Hluboko kypřená varianta (HK) vykazuje největší zaplevelení laskavcem ohnutým (AMARE), ježatkou kuří nohou (ECHCG) a rozrazilem perským (VERPE). V menší míře se vykytuje též pcháč oset (CIRAR) a merlík bílý (CHEAL).

Mělce kypřená varianta (MK) vykazuje nejvyšší zastoupení svízele přítuly (GALAP) a truskavce ptačího (POLAV). Pokryvnost zeměděmu lékařského (FUMOF) je v rámci všech variant vyrovnaná.

Graf č. 2: Vliv zpracování půdy na druhové složení plevelů a jejich počet

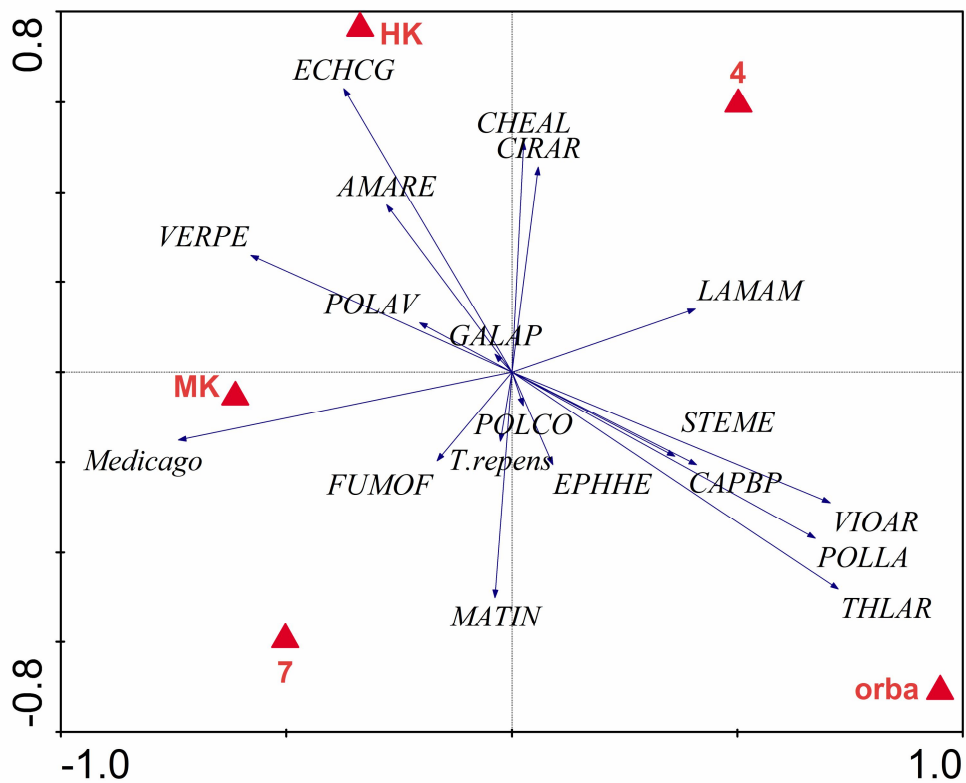


Graf č. 3 zobrazuje současně vliv zpracování půdy a výsevků a složení plevelného spektra a početní zastoupení jednotlivých druhů. Vojtěška byla nejvíce zastoupena na variantě s vyšším výsevkiem a mělce kypřené (MK). Heřmánkovec nevonný (MATIN) a zemědělný lékařský (FUMOF) vykazují nejvyšší zastoupení na variantě mělce kypřené s vyšším výsevkiem. Zároveň zde lze pozorovat nejvyšší výskyt jetele plazivého (*T. repens*).

Penízek rolní (THLAR), rdesno blešník (POLLA) a violka rolní (VIOAR) vykazují nejvyšší zastoupení na variantě orané, která se zároveň vyznačovala nejnižším počtem rostlin vojtěšky, podobně jako varianta s nižším výsevkiem. Z dalších plevelných druhů zde jsou hojněji zastoupeny ptačinec prostřední (STEME), kokoška pastuší tobolka (CAPBP) a pryšec kolovratec (EPHHE).

Na variantě hluboko kypřené (HK) dosahuje nejvyššího zastoupení ježatka kuří noha (ECHCG), následovaná rozrazilem perským (VERPE) a truskavcem ptačím (POLAV). Nejmenší zastoupení zde má svízel přítula (GALAP). Merlík bílý (CHEAL), pcháč oset (CIRAR) a hluchavka objímavá (LAMAM) se nejvíce vykytovaly na variantě s nižším výsevkiem (4 MKS) a hluboko kypřené.

Graf č. 3: Vliv zpracování půdy a výsevu na složení plevelného spektra a počet plevelů



4.2.3. Vliv zpracování půdy a výsevu na morfologii kořenů vojtěšky v roce výsevu

Vliv výsevu na morfologii kořenového systému vojtěšky v roce výsevu je uveden v tabulce č. 5. Z níže uvedených dat vyplývá závislost intenzity větvení a z ní vyplývajícího počtu větví na výsevu. S rostoucím výsevem klesá počet větví na rostlinu a též klesá počet rostlin, jejichž kořeny větví (0,93 proti 0,56). K hranici průkaznosti se ještě blíží hloubka větvení, která klesá s rostoucím výsevem, ale jedná se o jev statisticky neprůkazný. Průměr hlavního kořene (HK) a průměr větví není závislý na výsevku.

Tab. 5: Vliv výsevu na morfologii kořenového systému vojtěšky v roce výsevu

výsevek (MKS)	průměr HK (mm)	hloubka větvení (mm)	počet větví	průměr větví (mm)	intenzita větvení
4	3,92	58	2,22 ^a	1,38	0,93 ^a
7	3,69	46	1,62 ^b	1,27	0,56 ^b
p-value	0,192	0,074	0,014	0,212	0,011

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

V tabulce č. 6 je uveden vliv zpracování půdy na morfologii kořenového systému vojtěšky v roce výsevu. Vliv zpracování půdy na průměr hlavního kořene (HK) a počet větví na rostlinu není statisticky průkazný. Naopak statisticky průkazný jeho vliv na hloubku větvení, průměr větví a intenzitu větvení. Nejméně větví rostliny na variantě hluboko kypřené, nejvíce na variantě orané. Největšího průměru dosahují větve na variantě hluboce kypřené. Následuje varianta oraná a mělce kypřená, avšak rozdíl mezi průměry větví je u nich pouze 0,3 mm. Nejmělčeji větví kořeny na variantě mělce kypřené, následované hlubokým kypřením a orbou.

Tab. 6: Vliv zpracování půdy na morfologii kořenového systému vojtěšky v roce výsevu

zpracování půdy	průměr HK (mm)	hloubka větvení (mm)	počet větví	průměr větví (mm)	intenzita větvení
Orba	4,04	61 ^a	2,13	1,22 ^a	1,02 ^a
Mělké kypření	3,64	49 ^b	2,01	1,19 ^a	0,65 ^{ab}
Hluboké kypření	3,74	57 ^{ab}	1,62	1,56 ^b	0,56 ^b
p-value	0,173	0,033	0,183	0,002	0,034

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

V tabulce č. 7 je uveden vliv výsevku na hmotnost kořenů a kořenových krčků vojtěšky v roce výsevu. Jak vyplývá z uvedených hodnot, s rostoucím výsevku stoupá hmotnost kořenových krčků i kořenů v ornici. Vyšší výsevek měl za následek zvýšení hmotnosti kořenů o 0,24 t/ha, hmotnost kořenových krčků se zvýšila o 0,26 t/ha. Statisticky průkazný je však pouze rozdíl hmotností kořenů, v případě kořenových krčků tomu tak není.

Tab. 7: Vliv výsevku na hmotnost kořenů a kořenových krčků vojtěšky v roce výsevu

výsevek (MKS)	hmotnost kořenů (t/ha)	hmotnost koř. krčků (t/ha)
4	0,65 ^a	0,74
7	0,89 ^b	1,00
p-value	0,046	0,092

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

V tabulce č. 8 je uveden vliv zpracování půdy na hmotnost kořenů a kořenových krčků vojtěšky v roce výsevu. Rozdíly hmotností kořenů ani kořenových krčků nejsou statisticky průkazné, lze však pozorovat relativně malé rozdíly mezi jednotlivými variantami, především u hmotnosti kořenových krčků. Hmotnosti kořenových krčků se zde liší maximálně o 0,05 t/ha. V případě hmotnosti kořenů se varianty odlišují v rozmezí 0,12 t/ha. Celkově nejvyšší výnos vykazuje v případě hmotnosti kořenů varianta mělce kypřená (0,84 t/ha), následovaná hlubokým kypřením (0,77 t/ha) a orbou (0,72 t/ha). Nejvyšší hmotnosti kořenových krčků

bylo dosaženo u varianty mělce kypřené (0,90 t/ha), následované orbou (0,88 t/ha) a hlubokým kypřením (0,83 t/ha).

Tab. 8: Vliv zpracování půdy na hmotnost kořenů a kořenových krčků vojtěšky v roce výsevu

zpracování půdy	hmotnost kořenů (t/ha)	hmotnost koř. krčků (t/ha)
Orba	0,72	0,88
Mělké kypření	0,84	0,90
Hluboké kypření	0,77	0,83
p-value	0,686	0,910

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

V tabulce č. 9 je uveden vliv zpracování půdy v interakci s výsevkiem na celkovou hmotnost sušiny kořenového systému vojtěšky v roce výsevu, odebíraného z ornice. Z hodnoty p-value je zřejmá statistická neprůkaznost uvedených hodnot. Stále lze však pozorovat vyšší výnos sušiny u variant s vyšším výsevkiem oproti variantě s výsevkiem nižším. Též lze pozorovat vyšší rozptyl výnosů u varianty s vyšším výsevkiem, kde se nejvyšší a nejnižší výnos liší o 0,28 t DM/ha, zatímco u varianty s nižším výsevkiem je rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším výnosem 0,19 t DM/ha. Nevyššího výnosu sušiny bylo dosaženo u mělce kypřené varianty s vyšším výsevkiem (2,02 t DM/ha), následované hluboce kypřenou variantou s vyšším výsevkiem (1,91 t DM/ha), oraná varianta s vyšším výsevkiem dosáhla výnosu 1,74 t DM/ha. Nejnižšího výnosu sušiny bylo dosaženo na variantě hluboko kypřené s nižším výsevkiem (1,27 t DM/ha), dále orané s nižším výsevkiem (1,45 t DM/ha) a mělce kypřené s nižším výsevkiem (1,46 t DM/ha).

Tab. 9: Vliv zpracování půdy a výsevku na celkový výnos sušiny kořenového systému vojtěšky v roce výsevu

zpracování půdy	výsevek (MKS)	celkem (t DM/ha)
Orba	4	1,45
Mělké kypření	4	1,46
Hluboké kypření	4	1,27
Orba	7	1,74
Mělké kypření	7	2,02
Hluboké kypření	7	1,91
	p-value	0,833

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

4.3. Diskuse

Procento vzejití bylo vyšší na variantě s nižším výsevkem (4 MKS), a to 72 %. U varianty s vyšším výsevkem (7 MKS) to bylo 64 %. Vyšší procento vzejití u varianty s nižším výsevkem lze vysvětlit větším množstvím dostupné vody na jedno semeno, jelikož dostupné množství vody bylo v období vzcházení nedostatečné (Brant et al., 2016). Procento přežití na podzim se u obou variant pohybovalo okolo 50 % z jarního počtu, ale bylo vyšší u varianty s nižším výsevkem a to o cca 4,5 %. Tento pokles lze vysvětlit nejen nedostatkem vody, ale též konkurencí plevelů, jejichž konkurenční schopnost byla posílena pomalejšími růstem vojtěšky.

Celková hustota porostu byla vyšší u varianty s vyšším výsevkem. Současně byl pokles počtu rostlin pomalejší. Pokud se však podzimní počet rostlin vztáhne k výsevku, je celkový pokles vyšší u varianty s vyšším výsevkem (33 % oproti 34 % u nižšího výsevku). Toto zjištění kopíruje zjištění Nelsona et al. (1998), který uvádí vyšší hustotu porostu při vyšších výsevcích, ale současně uvádí rychlejší pokles rostlin v hustých porostech. Rychlejší pokles rostlin přikládá Nelson et al. (1998) vyšší vzájemné konkurenci rostlin v hustším porostu, což se shoduje s výše uvedeným zdůvodněním nižší vzcháživosti varianty s vyšším výsevkem a též celkově nižším přežitím rostlin této varianty. Rychlejší pokles rostlin v hustých porostech uvádí i Kephart et al. (1991) či Hakl et al. (2011a).

Počet rostlin na jednotku plochy se mezi různými variantami zpracování půdy příliš nelišil, též procento vzejití se lišilo v rozsahu 5 % (i když žádná z těchto hodnot nebyla statisticky průkazná). Velké rozdíly byly naopak v procentu přežití a celkovém počtu rostlin na podzim. Zatímco varianty kypřené se téměř nelišily (rozdíl 4 rostlin na čtvereční metr a cca 3 procentní body v přežití), tak oraná varianta vykazovala pokles rostlin o více jak 60 %. Celkový počet rostlin se ustálil na 136 rostlinách na čtvereční metr, což je počet který odpovídá stavu porostu v posledním užitkovém roce, nikoliv v roce výsevu. Takto velkou redukcí počtu rostlin lze opět zdůvodnit nižší dostupností vláhy a celkově teplotně extrémním ročníkem s nevhodně rozloženými srážkami. Jak uvádí Allen et Entz (1994), konvečně (tj. intenzivně) zpracovávaná varianta vykazovala nižší obsah vody, což je dáno vyšším výparem. Též lze předpokládat vyšší ztráty vody při předseťové přípravě, neboť k urovnání hrubé brázdy je potřeba více pracovních operací než k přípravě seťového lože na pozemku

urovnaném již na podzim, což je případ variant kypřených. Jelikož nebyly znáhodněny pokusné parcelky co se zpracování půdy týče, nelze též vyloučit vliv konkrétního místa na pozemku (např. lokálně vyšší utužení). Naopak poměrně překvapivý je počet rostlin u varianty mělce kypřené, u které by mělo docházet k nejrychlejšímu výparu a měla by tak nejdříve trpět nedostatkem vody. Vyšší výpar lze předpokládat vzhledem k nízké výšce zpracovaného půdního horizontu při podzimním zpracování půdy se současným "umáznutím" vrstvy v hloubce zpracování půdy. Tento zpracovaný půdní horizont byl opětovně oddělen při předseťové přípravě, čímž byla opět přerušena kapilarita. U obou variant bezorebného zpracování půdy lze tedy předpokládat (při vyloučení lokálního nedostatku vody u orané varianty např. z důvodu již výše uvedeného vyššího lokálního utužení), že rostliny byly lépe schopny hospodařit s dostupnou vláhou, popř. ji měly k dispozici více. Varianta hlubokého kypření vykazuje nejvyšší vzcháživost a též početně nejvyšší přežití pravděpodobně čerpala z výhody absence utužené vrstvy vznikající při orbě radličným pluhem v hloubce zpracování půdy, což ji umožnilo získávat vodu z hlubších vrstev půdy. Nelze též opomenout vysokou pravděpodobnost "umáznutí" této vrstvy při podzimní orbě za vlhka, což zvyšuje pravděpodobnost tvorby nepropustné vrstvy. Tuto možnost popisuje Voorhees (2000). Je pravděpodobné, že ke stejnému jevu došlo i u variant kypřených, avšak u varianty hluboce kypřené je tento efekt malý, což je dáno pracovním orgánem stroje (dláto bez křidel). Naopak u varianty mělce kypřené diskovým podmiřákem k tomuto jevu dochází za vlhka vždy (za sucha dochází k tvorbě hřebenitého povrchu s ohlazenými stěnami těchto hřebenů, popř. za velkého sucha není povrch zpracován v celém záběru stroje, ale dochází pouze k tvorbě rýh za jednotlivými disky - konečný efekt je stejný, tj. stlačená, špatně propustná vrstva v hloubce zpracování). Ale vzhledem k počtu rostlin lze předpokládat, že rostliny byly svými kořeny schopny již v prvním roce vegetace narušit tuto vrstvu, tak jak popisuje Glab et Gondek (2012). Toto by vysvětlovalo jejich poměrně slušný prospěch. Jelikož na kořenech nebyly pozorovány změny ve směru růstu, jaké popisuje Dexter (1986), tj. změny ve směru růstu (odběrová hloubka vzorků byla větší než hloubka zpracování půdy), lze toto vysvětlení pokládat za vysoce pravděpodobné. Obecně lze tedy doporučit minimalizační zpracování půdy především s ohledem na skutečnost, že při práci s kypřičem není narozdíl od pluhu násilně oddělena vrstva půdy do hloubky zpracování, díky čemuž nedochází k přerušení kapilarity mezi zpracovávanou půdou a zbytkem ornice, resp. dochází k jejímu rychlému obnovení. Vzhledem ke skutečnosti, že byl hodnocen stav porostu pouze v roce založení, tak nelze vyvozovat absolutní závěry. Lze však předpokládat rychlejší ztráty rostlin na variantách

s jejich vyšším počtem a naopak relativní odolnost vůči poklesu na variantách řídkých v souladu se zjištěním Hakla et al. (2011a).

Plevelné druhy jako jsou ježatka kuří noha, merlík bílý, rdesno blešník a další plevelné druhy vyskytující se ve variantě s nižším výsevkem (4 MKS) jsou převážně plevele okopanin, tj. porostů alespoň na počátku vegetace řídkých, což ostatně dokazuje i nejvyšší zastoupení merlíku v této variantě. Tato skutečnost souhlasí se zjištěním, které uvádí Forney et al. (1985) - řídké porosty vojtěšky mají problém konkurovat širokolistým plevelům. Ostatní plevele - svízel přitula, violka rolní či pcháč oset jsou druhy, které se mohou vyskytovat jak v ozimech a jařinách, tak i v hustě setých plodinách či okopaninách.

Nejhojnější plevelné druhy varianty s vyšším výsevkem (7 MKS) - pryšec kolovratec, rozrazil perský, heřmánkovec nevonný či zemědým lékařský jsou plevele běžně se vyskytující v porostech obilnin, tj. porostech hustě setých. Jetel plazivý (*Trifolium repens* L.) je druhem schopným pohybovat se porostem a obsazovat volná místa, což je vlastnost, pro kterou je vyséván do pastevních a lučních porostů. Vojtěška je zde nejhojněji zastoupena, což je dáno prostým faktem, že vyšší výsevek dává předpoklad vyššího finálního počtu rostlin.

Vyšší výskyt plevelných druhů violky rolní, penízku rolního a rdesna blešníku v orané variantě lze vysvětlit možným souvratovým efektem či lokálním ohniskovým zaplevelením, což je možně vzhledem k již výše uvedené skutečnosti, že jednotlivé parcelky nebyly v rámci zpracování půdy znáhodněny vzhledem k technickým problémům, který by takové opatření provázely (sladění šířky záběrů strojů, nadměrné přejezdy sousedních parcel atd.). Stejně lze vysvětlit výskyt jetele plazivého (*T. repens*). Vyloučit však nelze ani vnesení semen plevelů a jetele z půdní zásoby z větších hloubek k povrchu či přímo na povrch půdy při zpracování půdy.

Zaplevelení pcháčem osetem je vzhledem k jeho reprodukční strategii na orné půdě více dáno stanovištěm než technologií zpracování půdy, i když lze předpokládat snazší regeneraci výběžků a dosažení povrchu na variantách kypřených neboť dochází k jejich rovnoměrnějšímu rozložení v orničním profilu, ale současně též blíž povrchu, neboť kypřiče se vyznačují vlastností ponechávat určité množství nadzemní biomasy na povrchu půdy. Naopak u orby lze předpokládat spíše zapravení mělce uložených jedinců na dno brázdy a současně přerušování kořenového systému v hloubce zpracování půdy.

Plevele převažující na kypřených variantách jsou v drtivé většině plevelné druhy klíčící z povrchu či malých hloubek, které těží z výhod, které přináší bezorebné zpracování

půdy těmto druhům, což je rozložení semen z předchozího roku blíže povrchu. Nelze též opomenout rovnoměrnější prohřívání povrchu na rozdíl od orby, kde jsou semena dozrálá daný rok při podzimní orbě zapravena na dno brázdy a naopak jsou vynesena takto semena loňská. Ale jak uvádí Yenish et al. (1992), orané pozemky se vyznačují rovnoměrnější distribucí semen plevelů v orničním profilu, zatímco na kypřených pozemcích se s rostoucí hloubkou ornice zásoba semen plevelů snižuje. Vzhledem ke skutečnosti, že různé metody zpracování půdy byly prováděny prvním rokem, tak nelze hodnotit výskyt plevelů ani složení plevelného spektra v závislosti na technologii zpracování půdy, neboť za tak krátkou dobu se nemohou projevit vlivy různých hloubek zpracování půdy a různé intenzity míchání ornice. Výše uvedení Derksen et al. (1993) ostatně popisují relativně malé změny plevelného spektra po pěti letech využívání rozdílných technologií zpracování půdy.

Kořeny vojtěšky více větvely ve variantě s nižším výsevkem, což souvisí se skutečností, že rostliny v této variantě mají více prostoru. Hakl et al. (2011b) uvádí rychlejší růst a rozvoj kořenového systému při nižších hustotě porostu než při vyšší, což by zde mohlo posloužit jako vysvětlení. S tím souvisí i celkově vyšší intenzita větvení kořenů na této variantě. Naopak průměr hlavního kořene a větví se mezi výsevky téměř neliší, i když shoda ani rozdíl nejsou statisticky průkazné. Wakefield et Skaland (1965) uvádí nárůst velikosti rostlin vojtěšky s nižším výsevkem oproti výsevkům nižším, i když v dlouhodobém horizontu vykazovaly nižší výnos. Lze se tedy domnívat, že v případě dostatku vláhy, které se však v roce 2015 nedostávalo, by rostliny na variantě s nižším výsevkem tvořily kořeny o větším průměru než na variantě s výsevkem vyšším. Hloubka větvení se zde pohybuje relativně blízko hranici průkaznosti. Rostliny u varianty s nižším výsevkem větvely o 12 mm hlouběji, což lze opět zdůvodnit větším prostorem pro jednotlivé rostliny, kdy si kořeny v půdě méně vzájemně konkurují. Vyšší intenzita větvení kořenů u varianty s nižším výsevkem opět podporuje vysvětlení s větším životním prostorem, v souladu s závěry Hakla et al. (2011a), kteří uvádějí redukci počtu laterálních kořenů v hustších porostech vojtěšky oproti porostům řidším.

Co se týká vztahu zpracování půdy a morfologie kořenu, není statisticky průkazný rozdíl mezi průměry kořenů mezi jednotlivými variantami. Nejvyššího průměru dosáhly kořeny na variantě orané, což lze přičíst nejvyšší nakypřenosti této varianty, což by potvrdzovalo tvrzení Bian et al. (2016) o pozitivním vlivu nízkého penetrometrického odporu na růst kořenů. Průměr kořenů varianty mělce kypřené je nejmenší, což indikuje nejpomalejší

vývin rostlin na této variantě, avšak rozdíl mezi mělce a hluboce kypřenou variantou byl malý. Stejně tak statisticky průkazný nebyl ani vliv zpracování půdy na počet větví kořenů, avšak hluboké kypření vykazovalo méně větví než zbývající varianty. Míru větvení na orané variantě lze vysvětlit již výše uvedenou vyšší kyprostí orané varianty. Nižší míru větvení mělce kypřené varianty lze vysvětlit utužeností podloží v hloubce nad 10 cm, což byla hloubka podzimního zpracování. Toto omezení pravděpodobně přinutilo rostliny více větvit, jelikož hlavní kořen nemohl růst do větších hloubek. Stejně závěry uvádějí různí autoři, např. De Paiva Venzke Filho et al. (2004) či Qin et al. (2006), kteří sledovali přímé setí, avšak v závislosti na hloubce uložení osiva a pracovním orgánem použitého secího stroje dochází při přímém setí víceméně k mělkému pásovému zpracování půdy. Ostatní sledované parametry (hloubka větvení, průměr větví a intenzita větvení) již byly statisticky průkazné. Hloubka větvení byla nejvyšší na variantě orané, následovala s menším odstupem varianta hluboce kypřená. Prvenství orby je dáno předpokládaným nejnižším penetrometrickým odporem této varianty, což umožňovalo rostlinám relativně dlouho pronikat nerušeně do větších hloubek. Varianta hluboce kypřená sice vykazovala nižší nakypřenost než varianta oraná, avšak díky stejné hloubce zpracování umožňovala kořenům růst do hloubky. Mělce kypřená varianta vykazovala nejmenší hloubku větvení, což je dáno mělkým zpracováním půdy a výskytem utužené vrstvy v hloubce zpracování půdy, kterou kořeny vojtěšky musely během růstu překonat. Lze se též domnívat, že mělce kypřená varianta rychleji vysychala než ostatní varianty, což nutilo rostliny více větvit za účelem pokrytí větší kořenové plochy pro získání vody.

Průměr větví byl nejmenší u varianty mělce kypřené, následované variantou oranou. Rozdíl však činil pouze 0,03 mm. Lze předpokládat, že díky předseťové přípravě byla mělce kypřená varianta byla znovu prokypřena v téměř celé hloubce zpracování půdy, což vychází z pracovní hloubky nářadí na přípravu seťového lože, pracující v určité minimální hloubce, která se zde pohybuje blízko hloubky podzimního zpracování půdy. Též lze předpokládat, že půda pod hloubkou zpracování půdy byla v lepším strukturním stavu než u ostatních variant. Varianta hluboce kypřená vykazovala průměr větví větší o 0,34 mm. To lze vysvětlit nejmenší nakypřeností této varianty, jak uvádí např. Arvidsson et al. (2013). Intenzita větvení se u bezorebných variant příliš neliší, avšak varianta oraná vykazuje nejvyšší intenzitu větvení, což lze vysvětlit předpokládaným menším penetrometrickým odporem půdy do hloubky podzimního zpracování, a dále též tím, že kořeny měly k dispozici prostor víceméně do hloubky zpracování půdy, což bylo dáno vysoce pravděpodobným (dané pozemky jsou

dlouhodobě orané) výskytem utužené vrstvy v hloubce orby, kterou kořeny obtížně pronikají. Vzhledem ke skutečnosti, že jsou hodnoceny rostliny v roce výsevu, nelze přisuzovat výše uvedeným závěrům absolutní platnost. Dlouhodobý vliv zpracování půdy na morfologii kořenů vojtěšky tak bude možné posoudit až v následujících letech.

Statisticky průkazný byl vliv výsevku na hmotnost kořenů. S rostoucím výsevkiem rostla i hmotnost kořenů na hektar. Rozdíl činil 0,24 t/ha. Vliv výsevku na hmotnost kořenových krčků statisticky průkazný nebyl, avšak vyšší hmotnost bylo možné pozorovat u varianty s vyšším výsevkiem (7 MKS). Naopak Hansen et Krueger (1973) uvádí pokles hmotnosti kořenů a kořenových krčků s rostoucím výsevkiem. Lze předpokládat, že vyšší hmotnost kořenů a krčků u varianty s vyšším výsevkiem je dána celkově vyšším počtem rostlin na jednotku plochy. Vliv zpracování půdy na hmotnost kořenů a kořenových krčků se nepodařilo statisticky prokázat, získané hodnoty se však mezi sebou výrazněji neliší.

Nejvyššího celkového výnosu sušiny kořenů (2,02 t/ha) bylo dosaženo v mělce kypřené variantě s vyšším výsevkiem (7 MKS). Následovaly varianty hluboce kypřené a orané s výnosy 1,91 t/ha, resp. 1,74 t/ha. U nižšího výsevku (4 MKS) dosáhla nejvyššího výnosu 1,46 t/ha varianta mělce kypřené, následovaná variantou oranou (1,45 t/ha). Výsledky však nejsou statisticky průkazné. K jiným výsledkům však došli Vasileva et Pachev (2015). Ve svých výsledcích uvádějí nejvyšší hmotnost sušiny kořenů u varianty orané. Varianty kypřené vykazovaly nižší výnosy sušiny kořenů, především oproti variantě orané. Mezi sebou byly rozdíly minimální (0,017 t/ha). Tento rozdíl ve výsledcích může být způsoben více faktory. Hlavním bude především sucho panující v roce 2015 mající silně negativní vliv na vzcházení a výnos nejen vojtěšky (Brant et al., 2016). Dalším vlivným faktorem je i skutečnost, že vzorky byly odebrány v roce výsevu, kdy se nemůže naplno projevit vliv hloubky zpracování půdy. Lze tedy předpokládat vyšší produkci sušiny u varianty hluboce kypřené a orané než u varianty mělce kypřené v dalších letech. V neposlední řadě je nutno zmínit též možnost, že vlivem mělkého kypření rostliny na této variantě zakládají kořenový systém mělčeji, což ostatně uvádí vícero autorů - např. Qin et al (2004), Venzke Filho et al. (2004) či Freddi et al. (2007). Díky této skutečnosti mohlo být odebráno poměrně více kořenového systému než u variant hlouběji zpracovaných, což by mohlo zkreslit výsledky.

Výrazně nižší výnos sušiny varianty s nižším výsevkiem (4 MKS) je s nejvyšší pravděpodobností způsoben prostým nedostatkem rostlin na jednotku plochy porostu se současnou neschopností zbylých rostlin kompenzovat tento výpadek. Wakefield et Skaland (1965) ostatně uvádí, že pro výnos je důležitější počet rostlin než jejich velikost. I když se

autoři zabývali výnosem píce a nikoliv kořenové hmoty, lze toto zdůvodnění použít neboť velikost kořenového aparátu a výnos jsou závislé veličiny. Rozdíly ve výnosu píce nelze popsat vzhledem ke skutečnosti, že z důvodu nedostatku srážek a z toho vyplývajícího nedostatku vláhy rostliny výnos neposkytly. Z tohoto důvodu nelze nižší výsevky vojtěšky zavrhnout jako neekonomické, neboť vojtěška je schopna chybějící rostliny nahradit zvýšením počtu lodyh na rostlinách zbývajících. Lze však předpokládat problémy se zaplevelením, neboť zbylé rostliny i přes vyšší tvorbu lodyh nebudou schopny účinně potlačit plevele.

5. Závěr

Cílem této práce bylo zhodnotit vliv různých technologií zpracování půdy na utváření kořenového systému vojtěšky. I přes nepřízeň počasí během pokusu lze konstatovat, že cíl práce byl splněn. Nebylo sice možné stanovit vliv zpracování půdy a výsevu na výnos píce, ale vliv zpracování půdy na utváření kořenového systému vojtěšky byl statisticky prokázán.

Jak vyplývá z výše uvedených výsledků, byly potvrzeny obě hypotézy - vliv zpracování půdy na zaplevelení je statisticky průkazný, stejně tak je statisticky průkazný jeho vliv na většinu sledovaných parametrů kořenů. Rovněž je průkazný vliv výsevu na většinu sledovaných parametrů v utváření kořenového systému.

Jak již bylo dříve uvedeno, vojtěška je cennou pícninou, avšak zpracování půdy k ní a možnostem zvyšování výnosů a kvality produkce není věnována přílišná pozornost. Výsledky pokusu uvedeného v této práci předkládají odpověď na otázku vlivu zpracování půdy na vývoj vojtěšky, což může pomoci v řešení problematiky jak dál v pěstování této plodiny. Získané poznatky potvrzují, že minimalizační zpracování půdy je srovnatelné se zpracováním orebným. V některých ohledech minimalizace orbu i předčí. Jelikož jsou zatím k dispozici pouze jednoleté výsledky, nelze vyvozovat ze získaných výsledků absolutní závěry, avšak s klidným srdcem lze hluboké kypření doporučit pro praktické využití. Co se týče mělkého zpracování půdy, bylo by žádoucí vyčkat na výsledky z následujících let, které potvrdí vhodnost či nevhodnost tohoto postupu. Snížené výsevky jsou možné, ale vzhledem ke špatné polní vzházivosti vojtěšky, ale též skutečnosti, že řídké porosty špatně konkurují plevelům je lepší se držet běžných výsevků. Snížené výsevky lze do praxe doporučit pouze s dostatečnou herbicidní ochranou, což ale zvyšuje náklady na pěstování a retarduje růst rostlin.

Vzhledem ke krátké době pokusu a ne zrovna příhodným podmínkám panujícím během ní, zůstanou v tuto chvíli některé otázky bez odpovědi. Především otázka vlivu zpracování půdy na výnos píce.

Tak významná pícnina, jakou vojtěška bezesporu je, si zajisté zaslouží dalšího bádání, které nalezne odpovědi na zbývající otázky, popřípadě na otázky, jež se mohou během dalšího bádání vyskytnout. Tato práce tak může posloužit jako základ k dalšímu výzkumu.

Vzhledem ke skutečnosti, že experiment popsáný v této práci nadále pokračuje, bude možné sledovat dlouhodobý vliv různých variant zpracování půdy na vývoj vojtěšky. Jelikož je již porost etablován na stanovišti, tak lze předpokládat, že v následujících letech poskytne i

výnos píce, díky čemuž bude možné získat odpovědi na otázku vlivu zpracování půdy nejen na výnos píce, ale též i na její kvalitativní ukazatele.

6. Použité zdroje:

Allen C.L., Entz M.H. 1994. Zero-tillage establishment of alfalfa and meadow bromegrass as influenced by previous annual grain crop. *Canadian Journal of Plant Science*. 74. s. 521-529.

Ardvidsson, J., Sorensson, F., Westlin, A. 2013. Working depth in non-inversion tillage- Effects on soil physical properties and crop yield in Swedish field experiments. *Soil & Tillage Research*. Vol. 126. s. 259-266. DOI: 10.1016/j.still.2012.08.010. ISSN 0167-1987.

Ball-Coelho, B.R., Roy, R.C., Swanton, C.J. 1998. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. *Soil & Tillage Research*. Vol. 45. No. 3-4. s. 237-249. DOI: 10.1016/S0167-1987(97)00086-X. ISSN 0167-1987.

Bian, D.H., Cai, L.J., Cui, Y.H. Eneji, A.E., Jia, G.P. Ma, Z.Y. 2016. Effects of tillage practices on root characteristics and root lodging resistance of maize. *Field Crops Research*. Vol. 185. s. 89-96. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.10.008. ISSN 0378-4290.

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*. Vol. 33. No. 2. s. 91-108. DOI: 10.1016/0167-1987(94)00440-P. ISSN 0167-1987.

Brant, V., Kroulík, M., Škeříková, M., Záborský, P. 2016. Minimalizace předset'ové přípravy a set'ového lože při setí kukuřice. *Úroda*. 64 (3). s. 14-20. ISSN 0139-6013.

Cash,D.,Kechang,L.,Suqin,W.,Ping,Z., Yuegao, H., 2009. Alfalfa management guide for Ningxia [online]. United Nations Food and Agri culture Organization, [cit. 2015-11-07]. Dostupné z <http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/ningxia_guide/alfalfa_guide_ningxia.pdf>.

Crop Production [online]. USDA, 2015, : 47 s. [cit. 2015-11-08]. ISSN 1936-3737. Dostupné z <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/CropProd/CropProd-10-09-2015.pdf>>

Český statistický úřad. 2015a. Struktura ploch osevů 2015 [online]. [cit. 2015-11-07] Dostupné z <<https://www.czso.cz/documents/10180/20543419/27014>>

Český statistický úřad. 2015b. Plochy osevů k 31. květnu 2015 podle krajů [online][cit. 2015-11-07]. Dostupné z <<https://www.czso.cz/documents/10180/20543419/2701431507.pdf/5701d583-c34b-48b7-8371-78511efea577?version=1.1>>

Dal Ferro, N., Berti, A., Morani, F., Sartori, L., Simonetti, G. 2014. Soil macro- and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. *Soil & Tillage Research*. Vol. 140. s. 55-65. DOI: 10.1016/j.still.2014.02.003. ISSN 0167-1987.

De Paiva Venzke Filho, S., Cerri, C.C., de Cássia Piccolo, M., Fante Jr., L., Feigl, B.J., Neto, M.S. 2004. Root Systems and Soil Microbial Biomass Under No-tillage System. *Scientia Agricola*. Vol. 61. No. 5. s. 529-537. ISSN 1678-992X

Derksen, D.A., Lafond, G.P., Loeppky, H.A., Swanton, C.J., Thomas, A.G. 1993. Impact of Agronomic Practices on Weed Communities: Tillage Systems. *Weed Science*. Vol. 41. No. 3. s. 409-417.

Dexter, A.R., 1986. Model experiments on the behaviour of roots at the interface between a tilled seed-bed and a compacted sub-soil. *Plant and Soil*. 95 (1). s. 149-161

Dill-Macky, R., Jones, R.K. 2000. The Effect of Previous Crop Residuum and Tillage on Fusarium Head Blight of Wheat. *Plant Disease*. Vol. 84. No. 1. s. 71-76.

Faostat. 2015. Production/Crops. [cit. 2015-11-08]. Dostupné z <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>

Forney, D.R., Foy, C.L., Wolf, D.D. 1985. Weed Suppression in No-Till Alfalfa (*Medicago sativa*) by Prior Cropping of Summer-Annual Forage Grasses. *Weed Science*. Vol. 33. No. 4. s. 490-497.

Freddi, O.D., Aratani, R.G., Beutler, A.N., Centurion, J.F., Leonel, C.L. Effect soil compaction on root growth and maize yield. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. Vol. 31. No. 4. s. 627-636. DOI: 10.1590/S0100-0683200700040003. ISSN 0100-0683.

Glab T. 2011. Effect of soil compaction on root system morphology and productivity of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*. 20. s. 1473-1480.

Glab, T. 2008. Effects of tractor wheeling on root morphology and yield of lucerne (*Medicago sativa* L.). *Grass and Forage Science*. Vol. 63. No. 3. s. 398-406. ISSN 0142-5242

Glab, T., Gondek, K. 2012. The Influence of Soil Compaction on Chemical Properties of Mollic Fluvisol Soil under Lucerne (*Medicago sativa* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 22. No. 1. s. 107-113.

Hakl J., Fuksa P., Šantrůček J., Mášková K. 2011a. The development of lucerne root morphology traits under high initial stand density within a seven year period. *Plant, Soil and Environment*. 57. s. 81–87.

Hakl, J., Mášková, K., Šantrůček, J., Buřková, N. 2011b: Dynamika růstu vojtěšky v první a druhé seči v závislosti na stáří porostu. *Aktuální témata v pícninářství a trávnickářství 2011*. Česká zemědělská univerzita v Praze. s. 18–23.

Hakl, J., Fuksa, P., Konečná, J., Páček, L., Tlustoš, P. 2014. Effect of applied cultivation technology and environmental conditions on lucerne farm yield in the Central Europe. *Plant Soil Environ*. Vol. 60. No. 10. p. 475-480.

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*. s. 121-145.

Hansen, L.H., Krueger, C.R. 1973. Effect of Establishment Method, Variety, and Seeding Rate on the Production and Quality of Alfalfa Under Dryland and Irrigation. *Agronomy Journal*. Vol. 65. No. 5. s. 755-759. ISSN: 0002-1962. DOI: 10.2134/agronj1973.00021962006500050024x.

Hůla, J., 2008. Úvod In: Hůla, J., Procházková, B. (eds.). 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press. Praha. s. 11. ISBN 978-80-86726-28-1

Hůla, J., Abrham, Z., Bauer, F. 1997. Zpracování půdy. Nakladatelství Brázda. Praha. 144 s. ISBN 80-209-0265-1

Chassot, A., Richner, W., Stamp, P. 2001. Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement. *Plant and Soil*. Vol. 231. No. 1. s. 123-135. DOI: 10.1023/A:1010335223111. ISSN 0032-079X

Chen, G.H., Weil, R.R. 2010. Penetration of cover crop roots through compacted soils. *Plant and Soil*. Vol. 331. No. 1-2. s. 31-43. DOI: 10.1007/s11104-009-0223-7. ISSN 0032-079X.

Chen, G.H., Weil, R.R. 2011. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. *Soil & Tillage Research*. Vol. 117. s. 17-27. DOI: 10.1016/j.still.2011.08.001. ISSN 0167-1987

Christian, D.G., Bacon, E.T.G. 1990. A long-term comparison of ploughing, tine cultivation and direct drilling on the growth and yield of winter cereals and oilseed rape on clayey and silty soils. *Soil & Tillage Research*. Vol. 18. No. 4. s. 311-331.

Informace - Výzkumná stanice Červený Újezd. [online]. ČZU. 1. března 2016. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z <<http://www.af.czu.cz/cs/?r=2093>>.

Jiang, X.J., Li, X.G., Liu, X.E., Shi, W.J., Sun, R., Wang, E.H. 2015. Effects of tillage pan on soil water distribution in alfalfa-corn crop rotation systems using a dye tracer and geostatistical methods. *Soil & Tillage Research*. Vol. 150. s. 68-77. DOI: 10.1016/j.still.2015.01.009. ISSN 0167-1987

Johnson, L.D., Barnes, D.K., Lamb, J.F.S., Marquez-Ortiz, J.J. 1998. Root morphology of alfalfa plant introductions and cultivars. *Crop Science*. Vol. 38. No. 2. s. 497-502. ISSN 0011-183X

Karunatilake, U., Schindelbeck, R.R., van Es, H.M. 2000. Soil and maize response to plow and no-tillage after alfalfa-to-maize conversion on a clay loam soil in New York. *Soil & Tillage Research*. Vol. 55. s. 31-42.

Kephart, K.D., Boe, A., Bortnem, R., Twidwell, E.K. 1991. Alfalfa Yield Component Responses to Seeding Rate Several Years after Establishment. *Agronomy Journal*. Vol. 84. No. 4. s. 827-831. ISSN: 0002-1962. DOI: 10.2134/agronj1992.00021962008400050013x.

Klesnil, A., Velich, J. 1965a. Botanická charakteristika a základní biologické vlastnosti vojtěšky. In: Klesnil, A. (ed.). *Vojtěška*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. s. 14-35.

Klesnil, A., Velich, J. 1965b. Požadavky vojtěšky na klimatické a půdní podmínky. In: Klesnil, A. (ed.). *Vojtěška*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. s. 36 - 45.

Kroulík, M., Brant, V., Hůla, J., Zábranský, P. 2016. Příprava seťového lože a nové technologie zakládání porostů. *Mechanizace zemědělství*. 66 (2). s. 72-77. ISSN 0373-6776.

Lamb, J.F.S., Barnes, D.K., Henjum, K.L., Samac, N.A. 2000. Increased herbage yield in alfalfa associated with selection for fibrous and lateral roots. *Crop Science*. Vol. 40. No. 3. s. 693-699. ISSN 0011-183X

Meek, B.D., Carter, L.M., Detar, W.R., Rechel, E.R., Urie, A.L. 1992. Infiltration-rate of sandy loam soil - effects of traffic, tillage, and plant-roots. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 56. No. 3. s. 908-913. ISSN 0361-5995

Nelson, C.J., Coutts, J.H., Hall, M.H. 1998. Seeding rate effect on self-thinning of alfalfa. *American Forage and Grassland Council, Proceedings: Forages at the Crossroads*. Vol. 7. s. 6-10. ISSN 0886-6899

Osuna-Ceja, E.S., Figueroa-Sandoval, B., Flores-Delgadillo, M.L., Gonzalez-Cossio, F.V., Martinez-Menes, M.R., Oleschko, K. 2006. Effect of soil structure on corn root development under two tillage systems. *Agrociencia*. Vol. 40. No. 1. s. 27-38. ISSN 1405-3195.

Pelikán, J., Hýbl, M. (eds.). 2012. Rostliny čeledi *Fabaceae* LINDL. (bobovité) České republiky (se zvláštním zaměřením na druhy významné pro zemědělství). Vydavatelství Petr Baštan. Olomouc. 232 s. ISBN 978-80-905080-2-6

Pietola, L.M. 2005. Root growth dynamics of spring cereals with discontinuation of mouldboard ploughing. *Soil & Tillage Research*. Vol. 80. No. 1-2. s. 103-114. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.001. ISSN 0167-1987.

Procházková, B. 2008. Historie zpracování půdy a využívání minimalizačních technologií. In: Hůla, J., Procházková, B. (eds.). 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press. Praha. s. 13-18. ISBN 978-80-86726-28-1

Přidal, A. 2009. Opylování semenných porostů vojtěšky seté (*Medicago sativa*) samotářskou včelou šedostrkou tolicovou (*Rhopitoides canus*). *Bio*. 13 (10). s. 20.

Qin, R.J., Richner, W., Stamp, P. 2004. Impact of tillage on root systems of winter wheat. *Agronomy Journal*. Vol. 96. No. 6. s. 1523-1530. ISSN 0002-1962.

Qin, R.J., Richner, W., Stamp, P. 2006. Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland. *Soil & Tillage Research*. Vol. 85. No. 1-2. s. 50-61. DOI: 10.1016/j.still.2004.12.003. ISSN 0167-1987.

Rasmussen, K.J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Research*. Vol. 53. No. 1. s. 3-14.

Regal, V., 1965. Agrotechnika vojtěšky na píci. In: Klesnil, A. (ed.). *Vojtěška*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. s. 51-105.

Rotekl, J., Babinec, J. 2009. Je obtížné efektivně pěstovat vojtěšku? [online]. Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r.o. Troubsko, 7 s. [cit. 2015-11-07]. Dostupné z <http://www.vuvt.cz/content/files/pub_06/rot_06_08.pdf>

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*. Vol. 32. No. 14. s. 2099-2103.

Slavík, B. (ed.).1995. Květena České republiky. Sv. 4. Praha. Academia. ISBN: 80-200-0384-3. s. 456-459

Stinner, B.R., McCartney, D.A., Van Doren Jr., D.M. 1988. Soil and foliage arthropod communities in conventional, reduced and no-tillage corn (maize, *Zea mays* L.) systéme: A comparison after 20 years of continuous cropping

Šantntrůček, J., Svobodová, M.. Půdní podmínky pro obrůstání vojtěšky [online] 19. února 2002 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z < <http://www.agris.cz/clanek/116470/pudni-podminky-pro-obrustani-vojtesky>>

Štráfelda, J. 1989. Pícniny. In: Petr, J. (ed.). Rukověť agronoma. Státní zemědělské nakladatelství Praha. Praha. s. 572-607

Thomas, A.L., Kaspar, T.C. 1995. Maize nodal root response to soil ridging and 3 tillage systems. *Agronomy Journal*. Vol. 87. No. 5. s. 853-858. ISSN 0002-1962.

Unger, P.W., Kaspar, T.C. 1993. Soil Compaction and Root Growth: A Review. *Agronomy Journal*. Vol. 86. No. 5. s. 759-766. ISSN: 0002-1962. DOI:10.2134/agronj1994.00021962008600050004x

Unger, P.W., Parr, J.F., Singh, R.P., Steward, B.A. 1991. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil and Tillage Research*. Vol. 20. No. 2-4. s. 219-240.

Vasilieva, V., Pachev, I. 2015. Root Mass Accumulation after Different Fertilization and Soil Cultivation of Alfalfa (*Medicago sativa L.*). Journal of Applied Sciences. Vol. 15. No. 10. s. 1245-1250. ISSN 1812-5654.

Velich, J. 1965. Původ vojtěšky a přehled jejího rozšíření. In: Klesnil, A. (ed.). Vojtěška. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. s. 9-13.

Vojtěška setá. [online]. Agrogen, spol. s r.o. 2016 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z <<http://www.agrogen.cz/inpage/vojteska-seta/>>.

Voorhees, W.B. 2000. Long-term effect of subsoil compaction on yield maize. Advances in Geoecology. Vol. 32. s. 331-338. ISBN: 3-923381-44-1.

Wakefield, R.C., Skaland, N. 1965. Effect of Seeding Rate and Chemical Weed Control on Establishment and Subsequent Growth of Alfalfa (*Medicago sativa L.*) and Birdsfoot Trefoil (*Lotus corniculatus L.*). Agronomy Journal. Vol. 57. No. 6. s. 547-550. ISSN: 0002-1962. DOI: 10.2134/agronj1965.00021962005700060009x.

Yenish, J.P., Buhler, D.D., Doll, J.D. 1992. Effects of Tillage on Vertical Distribution and Viability of Weed Seed in Soil. Weed Science. Vol. 40. No. 3. s. 429-433.