

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství



**Produkce biomasy ječmene setého v závislosti na parametrech
kořenového systému**

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Ing. Tomáš Středa, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Martin Foltýn

Brno 2015



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Martin Foltýn**
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Zemědělské inženýrství
Konzultant: Ing. Jana Klimešová
Název tématu: **Produkce biomasy ječmene setého v závislosti na parametrech kořenového systému**
Rozsah práce: 55 s.

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na téma: metody pro hodnocení kořenového systému rostlin.
2. Zpracujte literární rešerši na téma: vazba mezi prostředím, genotypem a vlastnostmi kořenového systému rostlin.
3. Zpracujte literární rešerši na téma: vliv kořenového systému na výnos a kvalitu produkce polních plodin.
4. Založte nádobový a polní pokus s jarními odrůdami ječmene setého. V průběhu vegetace hodnotte velikost kořenového systému metodou měření jeho elektrické kapacity. Na závěr vegetace odeberte a vyhodnoťte vzorky kořenového systému "soil core" metodou a odeberte vzorky nadzemní biomasy.
5. Kvantifikujte vliv parametrů kořenového systému na produkci biomasy v závislosti na abiotických a biotických faktorech.

Seznam odborné literatury:

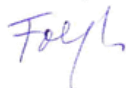
1. WAISEL, Y. – ESHEL, A. *Plant roots : the hidden half*. 3. vyd. New York: Marcel Dekker, 2002. 1120 s. ISBN 0-8247-0631-5.
2. GREGORY, P. J. *Plant roots : growth, activity, and interaction with soils*. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. 318 s. ISBN 978-1-4051-1906-1.
3. KUTSCHERA, L. – LICHTENEGGER, E. – SOBOTIK, M. *Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues*. Frankfurt am Main: DLG-Verlags, 2009. 527 s. ISBN 978-3-7690-0708-4.
4. CHLOUPEK, O. – DOSTÁL, V. – STŘEDA, T. – PSOTA, V. – DVOŘÁČKOVÁ, O. Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding*. 2010. sv. 129, č. 6, s. 630–636. ISSN 0179-9541.
5. SVAČINA, P. – STŘEDA, T. – CHLOUPEK, O. Uncommon selection by root system size increases barley yield. *Agronomy for Sustainable Development: sciences des productions vegetales et de l'environnement*. 2013. sv. 33, ISSN 1774-0746.

Datum zadání diplomové práce: listopad 2013

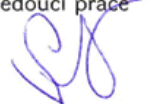
Termín odevzdání diplomové práce: duben 2015

L. S.

Bc. Martin Foltýn
Autor práce



Ing. Tomáš Středa, Ph.D.
Vedoucí práce



prof. Ing. Radovan Pokorný, Ph.D.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Ladislav Zeman, CSc.
Děkan AF MENDELU



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Produkce biomasy ječmene setého v závislosti na parametrech kořenového systému vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 20.4.2015

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Tomáši Středovi, Ph.D a Ing. Janě Klimešové za odborné vedení, cenné rady, poskytnuté materiály a trpělivost při zpracovávání této diplomové práce.

ABSTRAKT

Práce se zabývá produkcí biomasy ječmene setého (*Hordeum vulgare*, L.) v závislosti na parametrech kořenového systému. Literární část se věnuje metodám pro hodnocení kořenového systému rostlin, vlivu prostředí a genotypu na vlastnosti kořenového systému rostlin a vztahem mezi parametry kořenového systému a výnosem polních plodin. Součástí práce bylo statistické vyhodnocení výsledků polního pokusu s ječmenem setým vedeného na lokalitě Hořejší Kunčice v roce 2014 a na lokalitách Hrubčice a Želešice v roce 2012 a 2013. Metodou měření elektrické kapacity byla ve třech růstových fázích BBCH 36, BBCH 55 a BBCH 71 zjištěna velikost kořenového systému čtyř odrůd ječmene jarního a jejich kříženců. Ve fázi BBCH 89 byl vyhodnocen výnos zrna a výnos biomasy. V Hrubčicích byl v roce 2013 zjištěn průkazný vliv VKS na výnos zrna ve fázi BBCH 55 ($r = 0,643^*$). V Želešicích v roce 2013 byl zjištěn průkazný vliv VKS na výnos zrna ve všech měřených růstových fázích, ve fázi BBCH 36 ($r = 0,650^*$), BBCH 55 ($0,824^*$) a ve fázi BBCH 71 kdy byl tento vliv vysoce průkazný ($r = 0,839^{**}$).

Klíčová slova: kořenový systém, elektrická kapacita, ječmen setý, výnos

ABSTRACT

The thesis deals with production of biomass of spring barley (*Hordeum vulgare*, L.) depending on the parameters of a root system. The theoretical part is focused on the methods of assessment of root system of plants, the influence of environment and genotype on the qualities of a root system of plants and on the relation between the parameters of a root system and the yield of field crops. Another part of the thesis is a statistical assessment of the results of a field experiment with spring barley, which was realized in the locality Hořejší Kunčice in 2014 and in the localities Hrubčice and Želešice in 2012 and 2013. By means of the method of measuring electrical capacity, the size of the root system of four varieties of spring barley and their hybrids was assessed in three development stages: BBCH 36, BBCH 55 and BBCH 71. The yield of grain and the yield of biomass were assessed in the stage BBCH 89. An important influence of the size of the root system on the yield of grain in stage BBCH 55 ($r = 0,643^*$) was discovered in 2013 in Hrubčice. In Želešice, 2013, an important influence of the size of the root system on the yield of grain was found in all the examined development stages, BBCH 36 ($r = 0,650^*$), BBCH 55 ($0,824^*$) and in the stage BBCH 71 the influence was highly important ($r = 0,839^{**}$).

Key words: root system, electrical capacity, barley, yield

OBSAH

1 ÚVOD.....	10
2 CÍL PRÁCE.....	12
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED	13
3.1 Kořenový systém	13
3.1.1 Primární stavba kořene	13
3.1.2 Architektura kořenového systému	14
3.2 Kořenový systém vybraných polních plodin	14
3.2.1 Kořenový systém ječmene	14
3.2.3 Kořenový systém pšenice	14
3.2.4 Kořenový systém kukuřice	15
3.3 Metody měření kořenového systému rostlin.....	15
3.3.1 Exkavace kořenového systému.....	16
3.3.2 Metoda půdních bloků	16
3.3.3 Metoda soil – core.....	17
3.3.4 Metoda in-growth core.....	17
3.3.5 Metoda trench wall	18
3.3.6 Root window.....	19
3.3.7 Rhizotrony	19
3.3.8 Minirhizotrony	19
3.3.9 Měření elektrické kapacity.....	21
3.4 Vztah výnosu k půdním, klimatickým a dalším podmínkám	22
3.5 Vliv vláhových podmínek na kořenový systém.....	24
3.6 Vliv teploty půdy na kořenový systém	26
3.7 Vliv živin na kořenový systém	27
3.8 Vliv koncentrace CO ₂ na kořenový systém	28
3.9 Vliv vlastností půdy na kořenový systém.....	29

3.10 Vliv genotypu na kořenový systém	29
3.11 Vliv kořenového systému na výnos a kvalitu produkce	31
4 VYHODNOCENÍ POKUSŮ S JEČMENEM SETÝM.....	34
4.1 Materiál a metodika	34
4.1.1. Založení a průběh pokusů	34
4.1.2 Charakteristika odrůd.....	36
4.1.3 Charakteristika pokusných lokalit	37
4.1.4 Měření elektrické kapacity.....	38
4.1.5 Hodnocení biomasy kořenů pomocí metody soil – core.....	39
4.1.6 Zpracování dat	39
4.1.7 Hodnocení vlhkostních podmínek v průběhu vegetace	39
4.2 Výsledky a diskuse	43
4.2.1 Velikost kořenového systému a výnos ječmene setého v Hrubčicích 2012 ..	43
4.2.2 Hodnocení prokořenění půdního profilu v Hrubčicích 2012.....	44
4.2.3 Velikost kořenového systému a výnos ječmene setého v Hrubčicích 2013 ..	45
4.2.4 Velikost kořenového systému a výnos ječmene setého v Želešicích 2013....	46
4.2.5 Velikost kořenového systému a výnos ječmene setého v Hořejších Kunčicích 2014	48
4.2.6 Nádobový pokus s ječmenem setým v roce 2014.....	50
5 ZÁVĚR.....	54
6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
7 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	64

1 ÚVOD

Ječmen byl zkulturněn před více než 8 tisíci lety v Asii. V posledních sto letech zastává ječmen v porovnání s jinými druhy obilnin nejstabilnější místo v osevních postupech. Pěstování ječmene je díky nízkým vstupním nákladům poměrně rentabilní. V České republice jsou pěstovány ozimé i jarní formy ječmene. Mezi ozimé formy řadíme dvou a víceřadé ječmeny, které nejsou vhodné ke sladařským účelům a zkrmují se. Z celkové osevní plochy ječmene zauímají ozimé formy přibližně 20 - 30 % výměry, tato výměra má však klesající tendenci především kvůli úbytku stavů hospodářských zvířat. Jarní formy ječmene se využívají zejména k výrobě sladů a pro potravinářské účely. Protože světová produkce ječmene klesá a jeho zásoby se zmenšují, jedná se z obchodního a pěstitelského hlediska o nadějnou plodinu. Důležitým faktorem pro pěstování ječmene je výběr vhodné odrůdy, kterou lze ovlivnit kvalitativní a kvantitativní parametry produkce. V ČR je možné pěstovat odrůdy, které jsou zapsány ve Státní odrůdové knize ČR a prošly registračním řízením ÚKZÚZ. Lze také pěstovat odrůdy uvedené ve Společném katalogu odrůd, ve kterém je odrůda zaregistrována alespoň v jednom členském státě EU. Nezávislé a objektivní informace o odrůdách a jejich vlastnostech v podmínkách ČR poskytuje Seznam doporučených odrůd, který usnadňuje výběr a orientaci v širokém spektru odrůd nabízených na trhu. Oproti jiným evropským státům jsou pro výrobu sladů v ČR požadovány odrůdy s nižším stupněm prokvašení a dalšími odlišnými technologickými parametry. Tento požadavek splňují odrůdy určené pro výrobu „Českého piva“. Podle situační a výhledové zprávy byla v roce 2014 plocha ječmene v ČR 350,5 tis. ha., celkem bylo sklizeno 1975,4 tis. tun a průměrný výnos činil 5,64 t.ha⁻¹.

Postupné změny klimatu v našich podmínkách mají neodvratný vliv na výnos a kvalitu polních plodin. Ve velké části Evropy je trendem nerovnoměrné rozdělení srážkových úhrnů a konstantní růst průměrných ročních teplot. V následujících letech bude třeba řešit otázku plasticity a adaptability plodin. Podstatnou úlohu jakožto hlavní orgán příjmu vody bude hrát kořenový systém. Zvýšená efektivita využití vody již při klíčení ovlivní následný růst a vývoj celé rostliny. Při výskytu sucha během setí a následného vegetativního období se u obilnin redukuje počet odnoží. Během trvajících sucha v generativních fázích se redukuje počet zrn v klase. Nejkritičtějšími obdobími je pro rostlinu fáze kvetení. Aby u ječmene nedošlo ke snížení výnosů vlivem nedostatku

vláhy, považuje se za limitní hodnotu 65 % využitelné vodní kapacity v kořenové zóně. Dopad sucha na výnos plodin ovlivňuje zejména jeho délka a intenzita. Jarní ječmen je více ovlivněn suchem než jeho ozimé formy, protože vytváří menší kořenový systém. Nedostatek srážek a tím malá dostupnost půdní vláhy v průběhu vegetace vede k inovacím šlechtitelských programů, které se zaměřují na kořenový systém jako faktor efektivního příjmu vody a živin rostlinami. V těchto šlechtitelských programech je jedním z možných řešení selekce rostlin s větším kořenovým systémem pomocí měření jeho elektrické kapacity. Tato metoda byla stěžejní také při polním pokusu s ječmenem, který byl součástí této práce.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo zpracovat literární rešerši na téma metody pro hodnocení parametrů kořenového systému rostlin. Dále se práce zabývá vztahem mezi kořenovým systémem a faktory které jej ovlivňují. V poslední části literárního přehledu je popsán vliv kořenového systému na výnos a kvalitu polních plodin. Součástí práce bylo vyhodnocení víceletého polního pokusu s deseti genotypy ječmene setého, porovnání kořenového systému odrůd pomocí měření jeho elektrické kapacity a vyhodnocení vlivu velikosti kořenového systému na výnos zrna a biomasy ječmene setého. Vlastnosti kořenového systému vybraných genotypů byly zároveň hodnoceny v nádobovém pokusu s využitím metody půdních bloků.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Kořenový systém

Kořeny jsou složité struktury, které existují v různých formách a vykazují celou řadu interakcí s prostředím, ve kterém se nachází. Kořeny mají širokou škálu asociací s jinými organismy, se kterými se společně vyvinuly (GREGORY, 2010).

Kořen je důležitý orgán, který hraje významnou roli v růstu a vývoji rostliny. Kořeny rostlině dodávají nejen vodu a živiny, ale také zajišťují rostlině mechanickou oporu od sazenice do dospělosti. V kořenech vznikají růstové hormony zabezpečující optimální růst a vývoj rostliny. Biomasa kořenů zvyšuje obsah organické hmoty v půdě, což má za následek lepší fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy a tím také vyšší výnosy polních plodin (BARBER, 1979). Vnější rysy kořenů souvisí s omezeným rozsahem kořenového prostředí. Mezi hlavní rysy a odlišnosti patří průměr, barva, růstový potenciál, struktura povrchu a různé fyziologické vlastnosti jako transportní kapacita, obsah hormonů atd. (WAISEL, 2002).

3.1.1 Primární stavba kořene

Na povrchu je kořen tvořen pokožkou (rizodermis), ta je složena z jediné vrstvy k sobě přiléhajících buněk, které jsou nejčastěji protáhlé v podélném směru osy rostliny. Pokožka nemá kutikulu a je tedy propustná pro vodní roztoky s anorganickými látkami. Na pokožce vznikají 0,1-10 mm dlouhé kořenové vlásky, které mají prvořadý význam pro přijímání vody rostlinou. Kořenové vlásky vznikají z rizodermálních buněk nebo ze speciálních buněk, které nazýváme trichoblasty. Kořenové vlásky výrazně zvětšují sorpční povrch kořenů, čímž může kořenová soustava využívat většího objemu půdy. U mnoha rostlinných druhů je tvorba kořenových vlásků závislá na vlhkosti prostředí, čím více vody je obsaženo v půdě, tím je kořenových vlásků méně a mají menší délku.

Pod pokožkou se nachází primární kůra (cortex), která je tvořena parenchymatickým pletivem, často také mívá funkci zásobního pletiva. Po odumření pokožky zastává vnější vrstva primární kůry funkci krycího pletiva. Tato vnější vrstva se nazývá exodermis, na kterou navazuje mezodermis a endodermis.

Uprostřed kořene se nachází střední válec (stelé), jehož svrchní vrstva je označována jako pericykl, který bývá nejčastěji jednovrstevný. Uvnitř pericyklu se střídají dřevní a lýkové části. V pericyklu vznikají adventivní pupeny a postranní kořeny.

3.1.2 Architektura kořenového systému

Jedná se o prostorové uspořádání kořenového systému v půdě a používá se k popisu různých aspektů týkajících se tvaru kořenového systému. Do popisu kořenové architektury nejsou zahrnuty jednotlivé drobné kořeny, ale jedná se o popis kořenové soustavy jako celku u individuální rostliny. Rozložení kořene se značně liší v rámci rostlinných druhů. Architektura kořene má velký význam, protože zdroje, které rostlina potřebuje, jsou v půdě rozloženy nestejně nebo podléhají lokálnímu vyčerpání, v takovém případě prostorové uspořádání kořene určuje schopnost rostlin k zajištění těchto zdrojů (GREGORY, 2006).

3.2 Kořenový systém vybraných polních plodin

3.2.1 Kořenový systém ječmene

Produkční vlastnosti ječmene jsou do značné míry ovlivňovány právě velikostí a funkcí jeho kořenové soustavy. Ječmen tvoří svazčité kořeny, které jsou oproti dvouděložným rostlinám slabší a netloustnou. V porovnání s dalšími našimi obilninami tvoří ječmen nejvyšší počet zárodečných kořínků, nejčastěji 5 – 6. V době odnožování vyrůstají z bazálních podzemních kolének sekundární kořeny, které jsou od primárních kořínků anatomicky odlišné, na jednu odnož jich připadá 3 – 8 v závislosti na polních podmínkách. Kořeny jsou porostlé 1 – 3 mm dlouhými kořenovými vlásky, které jsou v těsném kontaktu s půdou, a jejich životnost je závislá na zásobení půdy vláhou. Primární kořínky zůstávají aktivní až do konce vegetace, pronikají do hloubky až 140 cm a podílejí se na zásobení rostliny vodou. Sekundární kořeny jsou rozprostřeny převážně v orničním horizontu a pronikají do hloubky 30 – 50 cm. Hloubka pronikání kořenů je závislá na vlastnostech půdy. V hloubce ornice se nachází 70 – 80 % hmotnosti sušiny kořenů. Růst kořenů ustává po vymetání rostliny a po jejím dozrání pozvolna zasychají (ZIMOLKA, 2006).

3.2.3 Kořenový systém pšenice

Pšenice má jako většina rostlin z čeledi lipnicovité svazčitou kořenovou soustavu a tvoří 3 – 6 zárodečných kořínků, jejich počet se může u různých genotypů lišit, je také závislý na velikosti klíčícího zrna. Zárodečné kořeny tvoří 1 – 14 % z celého kořenového systému. Zárodečné kořeny pronikají do půdy hlouběji než kořeny

adventivní. Adventivní kořeny se tvoří 1 – 2 cm pod povrchem a zabírají svrchní vrstvy půdy. Počet adventivních kořenů je závislý na odnožovací schopnosti rostliny. Hloubka pronikání kořenů se pohybuje nejčastěji mezi 30 – 60 cm. Kořeny se však mohou hojně vyskytovat i v hloubce vyšší než 100 cm. Kořenové vlásky mají průměr 0,003 – 0,007 mm, délku 3 – 13 mm a životnost se udává několik dní. V půdním profilu do hloubky 30 cm se nachází asi 70 % kořenové soustavy (GÜTNER, 2002).

3.2.4 Kořenový systém kukuřice

Kukuřice je tráva a má svazčitý typ kořenové soustavy. Zakrnění nebo omezení růstu nodálních kořenů na začátku vegetace vlivem např. suché půdy, utužené půdy, reakci na herbicid, poškození hmyzem může snadno ovlivnit další vývoj celé rostliny (NIELSEN, 2013). Kořeny mohou prorůst do hloubky 1,5 – 3 m, avšak většina kořenové hmoty je rozložena v orniční vrstvě. Kukuřice vytváří vzdušné kořeny, které vyrůstají z nadzemních uzlů stébla, ty pomáhají přijímat půdní vláhu ve druhé polovině vegetace a upevňují rostlinu v zemi (SKLÁDANKA, 2006).

3.3 Metody měření kořenového systému rostlin

Půda je opticky neprůhledná, což znemožňuje pozorování růstu a měření kořenů. Narušení půdy a odhalení kořenů však vede ke změně půdního prostředí a následně k modifikaci růstu a funkce kořenového systému, proto je třeba zvolit vhodnou metodu měření, která nejlépe zhodnotí konkrétní problematiku (GREGORY, 2006). Metody pro hodnocení kořenového systému se zaměřují především na hloubku prorůstání, hmotnost, morfologii a strukturu kořenového systému. Metody se zabývají také reakcí kořenů na vnější vlivy. Tyto vlastnosti mají bezprostřední vliv na produkci rostlin a dají se využít při selekci. (BLÁHA, VYVADILOVÁ, 2010)

Terénní výzkum často provází nepředvídatelné změny přírodních podmínek. Procesy a reakce, ke kterým dochází při růstu kořenů, mohou být studovány za řízených podmínek v laboratořích, tím se lze vyhnout nákladným investicím do terénního výzkumu. Ovšem, umělé podmínky v laboratořích jsou málokdy shodné s podmínkami přirozenými (POLOMSKI, KUHN, 2002).

3.3.1 Exkavace kořenového systému

Exkavace je vhodná technika pro zkoumání morfologických vlastností, stavby nebo biomasy kořenových systémů jednotlivých rostlin. Zkoumáním těchto kvalitativních údajů se rozumí měření délky, hmotnosti, průměru, objemu atd. z jednotlivých částí kořene. U dřevin se tato metoda používá pro studium tvorby podzemní biomasy, alokace uhlíku a poškození kořenů následkem silného větru. K omezení ztrát je třeba provést pečlivý výkop v celé délce kořenů, zejména tehdy když jsou získané údaje použity pro kalibraci modelů simulace růstu. Kořeny s průměrem menším než 5 mm by měly být zpracovány metodou soil – core (POLOMSKI, KUHN, 2002). Výkop by měl být proveden v dostatečné vzdálenosti od rostliny (u bylin a trav 20 – 80 cm), aby se zamezilo poškození bočních kořenů. Pro usnadnění práce by měl být výkop široký alespoň 1 m a hluboký 20 – 30 cm pod nejhlubší kořeny rostlin (BÖHM, 1979).

Klasické metody odkrývání kořenů pomocí ručního nářadí jsou nákladné a časově náročné, v dnešní době je možno využít nástroje jako je 'air-spade', který využívá nadzvukového proudu vzduchu. Princip je takový, že rychlý proud vzduchu sklouzne po hladkých předmětech (kamenech, kořenech) a nepoškodí je, kdežto porézní půda je odnášena proudem vzduchu pryč. Tento způsob může být využit například pro dočasné odkrytí kořenové zóny a nainstalování čidel. (NADEZHDINA, ČERMÁK, 2003)

3.3.2 Metoda půdních bloků

Touto metodou se získá půdní blok, který se vyjme z určité hloubky ve své přirozené poloze. Takto získaný půdní monolit lze použít pro detailní pohled kořenové soustavy rostlin a půdy, která je obklopuje, dále lze stanovovat kořenovou biomasu, nečistoty a množství pórů v kamenité půdě. V jílovitých a písčitých půdách má půdní blok tvar sloupce. Je třeba věnovat pozornost půdám, kde částice nedrží pohromadě, v tomto případě je zapotřebí označit původní polohu jednotlivých částí. V kamenitých půdách se pro vytvoření půdního bloku používají diskové brusky s diamantovou čepelí (POLOMSKI, KUHN, 2002). V průběhu vzorkování může dojít ke značnému poškození kořenového systému, u kukuřice může být ztraceno až 50 % z celkové délky kořenů (HERRERA, 2012). Půda se od kořenů oddělí promytím a to přímo v terénu nebo se půdní bloky častěji přepravují na speciální mycí místa. Velikost monolitů se pohybuje od nejmenších rozměrů 10 × 10 × 10 cm, až po největší dosahující hmotnosti 1 t. Malé monolity lze z půdy vyjmout pomocí jednoduchých nástrojů jako například

rýče, u větších půdních bloků musí být využito mechanizačních prostředků (BÖHM, 1979).

Další alternativou je metoda pinboard, kdy je plát zeminy o tloušťce 10-15 cm oddělen z půdního profilu. Na tento blok zeminy je umístěna deska s hřeby, které jsou uspořádané v pravidelné mřížce 5 × 5 cm a udržují kořeny přibližně ve své původní poloze. Následně se půda z profilu vymyje a zůstává pouze kořenový systém (POLOMSKI, KUHN, 2002).

3.3.3 Metoda soil – core

Tato metoda je založena na odběru vzorků neporušené půdy, které mají válcovitý tvar. Tyto vzorky jsou nejčastěji používány pro odhad prostorového rozložení biomasy a studium malých kořenů s průměrem menším než 5 mm. Vzorek se získává pomocí ocelového vzorkovače různých průměrů, který je vpraven do půdy a následně vyjmut i se vzorkem půdy. Vzorek je rozdělen na několik částí o požadované délce (POLOMSKI, KUHN, 2002). Nejčastěji používaný vzorkovač se skládá z odběrového válce o délce 15 cm s průměrem 7 cm. Vzorky se odebírají v deseticentimetrových intervalech a lze je odebírat až do hloubky 100 cm (BÖHM, 1979). Tato metoda je vhodná zejména pro lehké půdy bez kamenů. V současné době je pro odběr k dispozici několik druhů vzorkovačů, vrtáků a nejrůznějších vibračních strojů (POLOMSKI, KUHN, 2002).

Metoda má destrukční charakter, není tedy možné opakovat měření jedné rostliny v různých fázích vegetace. Použitím této metody může být dosaženo výrazných ztrát při plavení nejjemnějších kořenových struktur (STŘEDA a kol., 2014). Výhodou této metody je že poskytuje přesné měření délky kořene a kořenové hmoty a tím vede k lepšímu zkoumání vztahů těchto vlastností s příjmem vody a živin (HERRERA, 2012). Nevýhodou je časová náročnost metody a velké množství potřebných vzorků. Odebrané vzorky se před další manipulací uchovávají v mrazících boxech v polyetylenových sáčcích. Další operací je rozplavení vzorků, které probíhá na soustavě sít a následná separace kořenů. Získané kořeny jsou hodnoceny pomocí analýzy digitálního obrazu (STŘEDA a kol., 2013).

3.3.4 Metoda in-growth core

Pro tuto metodu se používá válcový gázový pytlík určeného objemu, který je naplněný substrátem, ve kterém se nevyskytují kořeny. Pytlík je vložen do vyvrtaného

otvoru v půdě a nechá se prorůstat kořeny sousedních rostlin. Metoda poskytuje odhad dynamiky kořenového růstu, je také vhodná pro srovnání růstu a činnosti kořenů na různých lokalitách, nebo porovnání různých experimentálních procedur. Pozornost by měla být věnována vhodnému výběru ok pytlíku, aby kořeny rostlin mohly prorůst dovnitř. (POLOMSKI, KUHN, 2002). U obilovin se používá vak o průměru 4 cm, délce 45 cm a s průměrem ok 3 mm. Do půdy se pomocí ručního šneku vyvrtá otvor pod úhlem 45° a pomocí PVC-trubky se vak umístí do připraveného otvoru. Otvor se umísťuje mezi řádky obilnin, tak aby se při vrtání otvorů zabránilo případnému poškození mladých rostlin. K naplnění vaku se použije přeseťá zemina z vyvrtaného otvoru zbavená kamenů a organických nečistot, která se následně utuží na požadovanou objemovou hmotnost půdy např. dřevěnou tyčí. U pšenice a ječmene se kořeny nechají do vaku prorůstat přibližně 14 – 19 dnů, následně je vak opatrně vyjmut z půdy a kořeny pomocí 200 µm síta odděleny od půdy (STEINGROBE a kol., 2001).

3.3.5 Metoda trench wall

Tato technika je užitečná pro hrubý odhad kořenů, které jsou různě distribuovány v heterogenním půdním profilu. Odhad by měl být proveden co nejrychleji, protože kořeny, zejména kořenové vrcholy jsou velmi citlivé na vysychání. Při sledování kořenů dřevin, je třeba zvážit dopady na okolní stromy, protože jejich kořeny bývají často propojené. Ve vhodné vzdálenosti od kmene provedeme dostatečně hluboký výkop, z výkopové stěny odstraníme plát půdy a následně zaznamenáme kořeny procházející půdním profilem (POLOMSKI, KUHN, 1998). Příkopy jsou vyhloubeny ručně nebo s využitím techniky. Délka, šířka a hloubka bude ovlivněna zejména vývojovým stádiem studované rostliny a cílem výzkumu (BÖHM, 1979). Ke sledování kořenů v hloubce ornice stačí vyhloubit příkop 0,3 m široký a 0,3 m hluboký, v takovém případě je pozorování snadnější, protože pozorovatel nemusí sestupovat do příkopu. Ke snížení poškození dlouhodobých experimentálních ploch jsou pozorovací místa zakládána na hranicích pozemků. K získání hladké pozorovací stěny se většinou používají dlouhé nože. K odstranění poslední vrstvy půdy a odhalení kořenů se používají ruční postřikovače, alternativně lze půdu od kořenů opatrně odsát např. vysavačem, živé kořeny jsou pozoruhodně odolné a zůstanou nadále neporušené a viditelné (NOORDWIJK a kol., 2000)

3.3.6 Root window

Při této metodě je použito 6 – 8 mm široké sklo nebo plexisklo, které je přitlačeno do půdního profilu. EGLI a KÄLIN (1991) postupují tak, že do země zapraví ocelové desky s ostrou hranou, následně za ocelovou deskou vyhloubí jámu a ocelovou desku nahradí skleněnou (POLOMSKI, KUHN, 2002).

Tato metoda je vhodná pro výzkum vývoje kořenů, jejich změn, životnosti nebo úmrtnosti jednotlivých kořenových částí. Optimální umístění, orientace a velikost oken závisí na druhu výzkumu. Při zkoumání jemných kořenů a mykorhizy lesních dřevin se okno umísťuje do hloubky 10 – 30 cm a do vzdálenosti 1 – 2 m od kmene stromu (POLOMSKI, KUHN, 1998). Hlavní výhodou této jednoduché a relativně levné metody je možnost pozorování kořenů *in vivo* v průběhu několika vegetačních období a na mnoha různých místech (HÄSLER a kol., 1999).

Jedním z problémů při dlouhodobém používání této metody, je kondenzace vody na vnitřní straně skleněné desky. Tento jev lze odstranit krátkodobým zahříváním skla. (EGLI, KÄLIN, 1991). Předcházet kondenzaci by se mělo dobrým izolováním skleněné desky a vhodnou expozicí pro omezení slunečního svitu. Pokud je to nezbytně nutné lze skleněnou desku opatrně vyjmout a vyčistit (POLOMSKI, KUHN, 2002).

3.3.7 Rhizotrony

Rhizotrony jsou podzemní skleněné komory používané pro studium kořenových systémů. Klasický rhizotron je pozorovací laboratoř se skleněnými deskami, které jsou instalovány po obou stranách půdních stěn. Kořeny jsou pěstovány ve skleněných nádobách naplněných zeminou, přičemž stonky ve vrchní části vegetují za normálních podmínek. Rhizotrony kombinují výhody laboratorních podmínek s podmínkami polními. Kořenový systém může být kontinuálně měřen po dlouhou dobu se stejnými rostlinami za stejných podmínek (POLOMSKI, KUHN, 2002). Rhizotronů existuje několik typů a modifikací např. Rhizolaby, které disponují vybavením, pro měření velkého množství parametrů rostlin a půdních podmínek (BLÁHA, VYVADILOVÁ, 2010).

3.3.8 Minirhizotrony

Minirhizotrony jsou dlouhé průhledné tuby kruhového, ojediněle čtyřhranného průřezu. Mohou se mezi sebou značně lišit ve velikosti. Nejčastěji jsou 1,5 – 2 m dlouhé. Do minirhizotronu jsou instalovány miniaturní video kamery, které jsou

napojené na řídicí počítač. Díky této metodě lze zkoumat např. produkci kořenů, jejich dlouhověkost, mykorhizu a parazitismus. Díky videozáznamu a digitálním snímkům lze sledovat osud jednotlivých kořenů za jednotku času (MANCUSO, 2012). Při instalaci těchto zařízení musíme vzít v úvahu přírodní a půdní podmínky. Většina studií je pomocí minirhizotronů prováděna v homogenní půdě, v kamenitých půdách se těchto metod nevyužívá z důvodu obtížné instalace. Otvory pro vložení se nejčastěji vytváří pomocí vrtáků, při instalaci je nutné brát zřetel na utužení půdy kolem zařízení. Běžně se minirhizotromy instalují ve vertikální poloze 90°, ale dají se instalovat i pod různými úhly, nejčastěji 30° nebo 45°. Tuby instalované pod úhlem lépe zachycují distribuci kořenů do hloubky (ESHEL, 2013). Instalace pod úhlem je jednodušší oproti vertikální, protože není nutný tak hluboký otvor (MANCUSO, 2012).

Pro výrobu se využívají průhledné, pevné trubky z nejrůznějších materiálů, mezi které patří sklo, polykarbonát, akrylát nebo plexisklo. Díky své odolnosti v kamenitých a zamrzajících půdách se nejvíce pro výrobu osvědčily plastové materiály (ESHEL, 2013).

Trubky musí být na obou koncích uzavřeny gumovými nebo kovovými zátkami, aby se zabránilo vniknutí vody. Je třeba také zabránit oteplování trubky, které inhibuje růst kořenů, tomu se lze vyhnout zabarvením vrchní části nejprve černou a následně přetřít bílou barvou. Nadzemní část lze také překrýt bílým prodyšným bavlněným vakem. (MAJDI a kol., 1992). Zejména v prostředí s vysokou intenzitou slunečního záření se doporučuje pro kryt použít reflexní barvy a snížit vyčnívání tuby na minimum. V oblastech s vysokou intenzitou sněhových srážek bychom měli používat vhodné zakrytí minirhizotronu, abychom zabránili vytvoření trhlin, které by mohly vzniknout vahou sněhové pokrývky. (JOHNSON a kol. 2001)

Na počátku se pro pozorování používaly jednoduchá zrcadla, endoskopy, boroskopy a teleskopy. V posledním desetiletí technologie pro pořizování snímků a videozáznam výrazně pokročily. Dnes se nejčastěji pro pozorování používá videokamera a scanner. Oba systémy ukládají data do přenosného počítače vybaveného patřičným softwarem. (ESHEL, 2013). Kvalita kamer se liší, často jsou bez jakéhokoli přiblížení obrazu, ovšem některé systémy umožňují zvětšení obrazu až 100× což umožňuje studovat detaily kořenů i půdní faunu (ALLEN a kol., 2007). Všechny kamery využívají speciální světelný zdroj, intenzita osvětlení je řízena počítačem a měla by být stejná po celé zobrazované oblasti. Scanner může pořizovat snímky v úhlu 360°. Tyto snímky je

možno zredukovať na menší počet a teda, není nutné samostatné měření v různých směrech. Jediný komerční scanner vyrábí firma CID BioScience (ESHEL, 2013).

Analýza obrazu

První komplexní analýzy obrazu z minirhizotronů, byly založeny na sledování kořenů na průhledné fólii (CHENG a kol., 1991). Pro podrobnější analýzu se využívají speciální počítačové programy, které pracují s množstvím snímků z jednotlivých experimentů, které se pohybují v řádech tisíců. Pro analýzu existují různé komerční i freeware programy jako jsou například Rootfly, RooTracker (Duke University, Durham, NC), Root Measurement system a WinRHIZO Tron (Régent Instruments, Quebec, Canada). Vyhodnocené snímky mohou být zkopírovány do snímků pořízených v budoucnu ze stejné polohy. Z tohoto můžeme určit například změnu délky, průměru, nebo úmrtí jednotlivých kořenových segmentů. Častým nedostatkem mnoha softwarových programů je, že každý kořen v segmentu rozvětveného kořenového systému je označen jako samostatný. Analýza snímků pořízených skenerem je přesnější, protože snímky jsou větší a předchází se nežádoucímu dvojnásobnému měření různých částí kořenů, jak tomu může být při analýze menších snímků, které se mohou překrývat (ESHEL, 2013). ZENG a kol. (2008) vyvinuli systém, který umí detekovat, označit a měřit jednotlivé kořeny a tímto automaticky sledovat kořeny v čase. V budoucnu budou programy využívat pokročilých zobrazovacích metod využívajících kombinaci viditelného světla a blízké infračervené odrazivosti, budou tedy schopny automaticky rozlišovat mezi živými a mrtvými kořeny, organickou hmotou a půdou (ESHEL, 2013). Analýza obrazu se využívá také u soil-core metody. Rozplavené kořeny uchovávané ve zkumavkách v roztoku alkoholu a vody, jsou před vlastním skenováním obarvené roztokem methylenové modři. Barvením je dosaženo ostrého kontrastu mezi kořeny a pozadím. Obarvené kořeny jsou propláchnuty a rozprostřeny na tácu s vodou tak, aby se nepřekrývaly. Následně je vzorek naskenován a vyhodnocen například pomocí programu WinRHIZO (KLIMEŠOVÁ a kol., 2011).

3.3.9 Měření elektrické kapacity

Jedná se o levnou a časově nenáročnou metodu, která může být využita jak v polních, tak v laboratorních podmínkách (STŘEDA a kol., 2013). Tato metoda vychází z poznatku, že většina biologických membrán má na jednotku své plochy

stejnou specifickou elektrickou kapacitu. Při větší ploše biologických membrán v kořenech rostlin je tedy větší i elektrická kapacita (STŘEDA a kol., 2014).

Výsledky této metody jsou relativní povahy a srovnatelné pouze tehdy, jestliže jsou měřeny rostliny stejného druhu, rostoucí ve stejném substrátu, za stejných vláhových podmínek a jsou hodnoceny současně. Při měření musí být nadzemní část rostliny suchá, a měření nesmí být ovlivněno dotykem s okolními rostlinami. (SVAČINA a kol., 2014)

Elektrická kapacita může být definována jako množství akumulovaného elektrického náboje v soustavě dvou izolovaných vodičů (desek) jako důsledek určitého napětí. Vodiče jsou v našem případě tvořeny půdou a povrchem kořenů. K měření elektrické kapacity se využívá LCR metr a dvě elektrody. První elektrodou (svorkou) obejmeme při měření obilovin všechny odnože, protože nemusí být navzájem vodivě spojeny. Druhá elektroda (jehla) je vsunuta do půdy přibližně 10 cm hluboko a 15 cm od rostliny (STŘEDA a kol., 2013). LCR metr je nastaven na paralelní kapacitu (C_p), měření probíhá při frekvenci 1 kHz a výsledky jsou uváděny v nanofaradech (nF). (STŘEDA a kol., 2014)

Mezi faktory ovlivňující naměřené údaje patří především půdní vlhkost. S rostoucí vlhkostí roste i hodnota elektrické kapacity. Dále hodnoty ovlivňuje fenofáze, protože kapacita kořenů roste jen do určitého věku rostliny a následně klesá. Je to způsobeno suberinizací stěn a tedy poklesem efektivní plochy kořenů schopných poutat elektrický náboj. Využití této metody je dále rozvíjeno a modifikováno (STŘEDA a kol., 2013).

3.4 Vztah výnosu k půdním, klimatickým a dalším podmínkám

Výnos polních plodin je závislý na řadě výrobních a přírodních faktorů. V České republice se zemědělské oblasti vyznačují odlišnými klimatickými, půdními a orografickými podmínkami, které ovlivňují zastoupení jednotlivých plodin a jejich průměrný dosažitelný výnos. Vysoké výnosy v okresech pozitivně korelují s vysokým podílem úrodných půd (černozemě v teplých regionech). Skutečný výnos a kvalita je v daném roce ovlivněna výskytem biotických a abiotických stresorů. Výše výnosů je ovlivněna také dalšími faktory, kterými jsou například vyšší množství vstupní organické hmoty dodávané ze statkových hnojiv, poptávka a struktura trhu, nebo politické a sociálně-ekonomické faktory. V roce 1989 byly výnosy plodin sníženy v důsledku

omezení používání minerálních hnojiv a chemické ochrany rostlin. Účinky klimatu, půdy, hnojiv a dalších výrobních faktorů na výnosy plodin jsou studovány na několika úrovních od polních, regionálních až po národní (HABERLE, MIKISOVÁ, 2007). Z vývojového hlediska mají vnější podmínky vliv na výnos obilnin již od rýhování vzrostlého vrcholu. V této fázi se vzrostlý vrchol chráněný listy nachází blízko povrchu půdy a v našich podmínkách je ohrožen výskytem nízkých přízemních teplot. Při nedostatku vody během diferenciaci klasu dochází k založení menšího počtu klásků a zrn, pokud stres způsobeným nedostatkem vláhy nastane v době, kdy jsou již zrna založena, dochází dále k redukování jejich počtu. Další kritickou fází spojenou s nedostatkem vody je kvetení a počáteční fáze tvorby zrna, kdy se v endospermu rozhoduje o počtu buněk a tím také o případné menší úložné kapacitě v zrně. Vodní stres ve fázi nalévání zrna narušuje celý proces syntézy/ukládání bílkovin a škrobu. Dřívější ukončení syntézy škrobu má za důsledek zvýšení koncentrace dusíku, ale také pokles výnosu. U obilnin strategie tvorby zrna odpovídá jejich stepnímu původu. V krátkém období od konce odnožování do začátku kvetení přijmou obilniny hlavní podíl živin a vyprodukují převážnou část asimilátů. Pšenice v závislosti na podmínkách přijme do začátku kvetení až 95 % dusíku a dokáže vytvořit více než polovinu sklizňové sušiny (HABERLE a kol., 2008).

Biologický výnos obilnin udává veškeré množství vytvořené biomasy, ta je výsledkem respirace a fotosyntézy. Tvorbu a formování asimilačního aparátu do značné míry ovlivňuje průběh počasí. Mírně nadnormální srážky a nižší teploty podporují delší aktivní činnost asimilačního aparátu. V těsné korelaci k výnosu je také rychlost fotosyntézy, která vyjadřuje přírůstek sušiny na jednotku plochy. Pro dosažení nejvyššího čistého výkonu asimilace a tím i produktů fotosyntézy je nutné zvolit vhodná agrotechnická opatření, která s pěstováním rostlin souvisí. Výnos obilnin určují tři základní výnosotvorné prvky. Jedná se o počet klasů na plošnou jednotku, počet zrn v klasu a hmotnost tisíce zrn (PETR a kol., 1987)

Jakost ječmene je často limitována zvýšeným obsahem dusíkatých látek. Tento obsah je ovlivňován vodním deficitem a zvýšenými teplotami od metání do sklizně. Obsah bílkovin se zvyšuje především v horkém a suchém počasí v obě zrání zrn, protože asimilační aparát ztrácí funkčnost a omezuje se tvorba asimilátů sacharidové povahy. Důležitá je u obiliek sladovnického ječmene také klíčivost, která souvisí s dormancí. Dormance se zkracuje, pokud je během vegetace vyšší počet dnů s teplotou

nad 20 °C. S větším výskytem dnů s průměrnou teplotou pod 15 °C se dormance prodlužuje. Velký vliv na výnos a následnou kvalitu obilnin má průběh počasí ve sklizňovém období. Opožděná sklizeň má za důsledek ztráty způsobené výdolem a snížení vlastního výnosu vlivem prodýchávání zásobních látek a tím snížen hmotnosti zrna. Důležitá je vlhkost zrna při sklizni, která by pro dlouhodobé skladování neměla překračovat 15 %. Následné dosoušení má negativní vliv na obsah látek a u ječmene vede dosoušení ke snížení klíčivosti (PETR a kol., 1987).

Zásadní vliv na půdní úrodnost a tím také na výnos plodin má zpracování půdy. V zemědělské prvovýrobě stále dochází k nedostatkům při zpracování půdy, mezi nedostatky značně vyniká zhutnění půdy, které je způsobené nadměrnými přejezdy těžké mechanizace. Mezi další nedostatky při zpracování půdy se řadí nevhodná hloubka zpracování, špatná kvalita provedených operací, nevyhovující vlhkostní stav půdy, nesprávný termín provedení polních prací a mnoho dalších. Tyto nedostatky mají za důsledek snižování půdní úrodnosti a tím také množství a kvalitu produktů z pěstovaných plodin (VACH, JAVŮREK, 2009).

V budoucnu očekáváme klimatické změny, tyto změny se týkají zejména vláhových a teplotních poměrů. Na rostliny budou mít největší dopad vyšší teploty s nižší dostupností půdní vláhy z důvodu nepravidelné distribuce srážek. Tyto problémy přináší nové požadavky na ideotyp rostliny, ve které se bude zvyšovat význam kořenového systému jakožto hlavního orgánu pro příjem vody rostlinou. Změny lze očekávat také ve vyšší koncentraci CO₂ a jiných látek v atmosféře. Simulace ukazují, že se zvýšenou koncentrací CO₂ se zvyšují také výnosy. Zvýšení koncentrace CO₂ se projeví pouze ve vysoké výnosové úrovni, protože výnos je limitován také hnojením, aplikací přípravku na ochranu rostlin a dalšími faktory (HABERLE, 2013).

3.5 Vliv vláhových podmínek na kořenový systém

Voda je pro rostlinu prostředím, ve kterém probíhá příjem, transport i metabolismus rozpuštěných látek. Díky schopnosti výparu udržuje v rostlině stabilní teplotu. Značné množství přijaté vody je využito na transpiraci a jen malá část je spotřebována na biochemické procesy. Kořenový systém je nejdůležitějším vstupním místem vody z okolního prostředí. U mladých kořenů je neaktivnější zóna pro příjem vody 10 – 50 mm od kořenového vrcholu. Vlivem suberinizace povrchových pletiv sorpční aktivita u

starších kořenů klesá. Voda je z půdy do kořenů přijímaná jen tehdy, je-li vodní potenciál vody v kořenech nižší než vodní potenciál půdního roztoku (PROCHÁZKA a kol., 2007).

Kořenový systém se nejvíce podílí na příjmu vody rostlinou a stává se tedy kritickým faktorem tvorby výnosu a resistenci vůči stresovým podmínkám. Mezi pěstiteli je čím dál více žádanou schopností rostlin efektivní využití vody dostupné v půdě, což by mělo být podnětem pro šlechtitele, ti se ovšem díky technické a časové náročnosti příliš ke studii kořenového systému neuchylují (KLIMEŠOVÁ, 2014).

Sucho patří mezi nejvýznamnější abiotické stresory. Za jednu z důležitých schopností rostlin je považována změna morfologie kořenů při nástupu sucha. Jde o reakci, kdy se v průběhu suchého období mění poměr nadzemní části a kořenů ve prospěch kořenového systému. Například některé obiloviny dokáží v době kvetení při nástupu sucha změnit hloubku pronikání kořene a tím posílit snášenlivost vůči suchu a zamezit vysychání rostlin. Všeobecně mezi nejčastější reakce na sucho patří prodlužování kořenů, jedná se o typickou reakci u jednoletých rostlin, které během sucha omezují růst postranních kořenů, snižují jejich objem, ale prodlužují růst hlavního kořene. Jestliže sucho nepůsobí na rostlinu během celé vegetace, je důležitý návrat k normálnímu růstu a obnovování kořenů (BLÁHA, VYVADILOVÁ, 2010). Pro příjem vody je důležitá hloubka pronikání kořenů. Voda z hlubších částí půdního profilu je však čerpána až při nedostatku vláhy ve svrchních vrstvách půdy. Efektivní příjem vody je přímo úměrný průměru a ploše kořenů. Příjem vody kořeny je také ovlivněn stářím kořenů a agroklimatickými podmínkami ve kterých rostliny vegetují (KLIMEŠOVÁ a kol., 2011). V suchém prostředí jsou rostliny dokonce schopny vyloučit vodu přijatou z hlubších vrstev do vrstev povrchových a tím v malé míře zlepšit příjem živin. Je-li půda přesycena vodou, dochází v rizosféře ke špatnému provzdušnění, následkem toho se hromadí produkty metabolismu rostlin i živočichů což může vést až k úplnému zastavení růstu kořenů (HABERLE a kol., 2008).

Kořeny mají jedinečnou funkci vnímání stavu vody v půdě, následné generování signálů a jejich přenášení do dalších částí rostlin. Kyselina abscisová nepůsobí jen jako regulátor růstu kořenů, ale má také zásadní význam jako přenašeč signálu o dostupnosti vody v půdě. Tento přenos probíhá pomocí xylému do dalších rostlinných částí. Rostlina na takový signál může reagovat uzavřením průduchů a tím zlepšit hospodaření s vodou (KROON, 2003).

Vlivem negativního dopadu sucha na výnos a kvalitu produkce je v posledních letech na kořenový systém pohlíženo jako na selekční kritérium při šlechtění rostlin. Během suchých období je větší kořenový systém výhodou a může z hlubších vrstev půdy získávat vodu, ovšem pokud sucho v průběhu vegetace nenastane, stává se větší kořenový systém spíše nevýhodou, protože rostlina zbytečně investuje produkty fotosyntézy do růstu kořene na úkor jiných rostlinných částí (STŘEDA a kol., 2013). Nejvíce jsou rostliny citlivé na nedostatek vody v období tvorby pupat a květů (PROCHÁZKA a kol., 2007). Stres suchem v raných růstových fázích, stimuluje rozvoj kořenového systému, což má za následek více dostupné půdní vláhy jestliže se vrátí vlhkostní podmínky k normálu (PAREEK a kol., 2010).

Za sucha se kořeny díky mechanickému odporu půdy prodlužují velmi obtížně. Velký význam má za těchto podmínek využití makropórů a nejrůznějších kanálků, kterými kořeny prorůstají. Jako hlavní limitující faktor pro prodlužovací růst kořenů je brán penetrometrický odpor půdy 2 MPa (AHMAD, 2012).

3.6 Vliv teploty půdy na kořenový systém

Zvýšení teploty půdy o 12 až 15 °C nad teplotní optimum je u rostlin vnímáno jako stresový faktor. Kořeny mají obecně nižší optimální teplotu než nadzemní části rostlin. Optimální teploty se liší v závislosti na druhu rostliny. Rostliny vystavené stresu z vysokých teplot zvyšují tvorbu stresových proteinů, které udržují jejich termostabilitu. Při přehřátí svrchní vrstvy půdy nad 40 °C, dochází k fyzikálně-chemickým změnám proteinů a membrán, změny při této teplotě jsou ve většině případů vratné. Při delším působení teplot nad 50 °C dochází u převážné většiny druhů k odumírání pletiv. Rostliny lze díky genotypovým rozdílům v reakci na vysoké teploty šlechtit na zvýšení jejich odolnosti. Vysoká teplota nejčastěji redukuje větvení a počet bočních kořenů (BLÁHA, VYVADILOVÁ, 2010).

Teplota půdy má vliv na růst, větvení a směr růstu kořenů, ovlivňuje také rychlost, kterou kořen půdou prostupuje. Rozšíření kořenového systému v přirozených půdních profilech je do jisté míry závislé na sezónních teplotních vlivech. Díky oteplování svrchních vrstev půdy v průběhu vegetačního období, se hlubší vrstvy půdního profilu stávají pro růst kořenů vhodnější. Teplota půdy také často omezuje rozšíření kořenového systému v první polovině vegetace (KASPAR, BLAND, 1992).

Rychlost prodlužování kořenů se zvětšuje s rostoucí teplotou až do optima, poté ustává. Teplota ovlivňuje kořeny také nepřímo přes listy. Vyšší teploty mají vliv na nárůst listové plochy, což má za následek vytvoření větší plochy pro zachycení slunečního záření, a tedy intenzivnější produkci asimilátů, které mohou být k dispozici pro kořenový systém (GREGORY, 2006).

Funkce a struktura kořene může být změněna, také když teplota půdy klesá výrazně pod teplotní optimum. Kořeny rostlin pěstovaných při nižších teplotách jsou obecně menší a méně rozvětvené, mají také sníženou schopnost absorpce vody a živin. Ve studiích bylo prokázáno, že rostlinné hormony jako kyselina abscisová mají vliv na zlepšení mrazuvzdornosti (MCMICHAEL, BURKE, 2002). Za nižších teplot může dojít také k buněčné dehydrataci, kdy rostlina vydá transpirací více vody, než dokáže kořeny přijmout, citlivé rostliny reagují usycháním a vadnutím. Čím déle je rostlina vystavena stresu z chladu, tím více se stávají zapříčiněné změny nevratnými (PRÁŠIL a kol., 2010)

3.7 Vliv živin na kořenový systém

Pro správný růst a vývoj kořenů je velmi důležitý optimální obsah živin v půdě. Protože kořeny jsou oproti nadzemí části rostliny ke zdroji vody a živin blíže, jsou jimi méně ovlivněny (BLÁHA, VYVADILOVÁ, 2010). Největší vliv na produkci a výnos plodin má dusík a fosfor, obzvláště v agrosystémech s nízkými vstupy (MANSCHADI, 2013).

Fosfor je ve srovnání s jinými živinami v půdě nejméně pohyblivý. Rostlina jej může přijímat pouze z půdy v těsné blízkosti povrchu kořene. Množství, které může rostlina přijmout je závislé na koncentraci živin na rozhraní kořen – půda. Rostlina může zvýšit dostupnost a využití fosforu nárůstem kořenové plochy, změnou kořenové architektury a morfologie. Dostupnost fosforu obvykle klesá s hloubkou půdního profilu. Jednoleté dvouděložné rostliny mohou v půdách s dobrou dostupností fosforu zvýšit jeho využití nárůstem mělce kořenících bazálních kořenů a větším rozptýlením kořenů postranních (MANSCHADI, 2013).

Genotypy pšenice s větší hustotou prokořenění jsou schopny přijmout více fosforu. V podmínkách nízké dostupnosti fosforu se projevila těsná korelace mezi hodnotami prokořenění v ornici a výnosem. V případě, že jsou rostliny vystaveny stresu

z nedostatku fosforu a zároveň je fosfor dostupný v hlubších vrstvách půdy, kořeny prorostou do těchto vrstev, kde se následně rozvětví (MANSCHADI, 2013). Kořenové vlásky mohou výrazně zvýšit kořenovou plochu a snížit difúzní vzdálenost mezi fosforem a kořenem. Mnoho rostlinných druhů při nedostatku fosforu produkuje více kořenových vlásků, které jsou delší a hustší než za normálních podmínek a tím zvyšují jeho příjem z půd, kde je fosforu nedostatek (WATT, 2013).

Dusík je v půdě pohyblivý, takže architektura kořene není nejdůležitější znak pro zajištění jeho efektivního využití. Hustota a délka kořenového systému může být užitečná v půdách, kde je pravděpodobné vyplavování dusíku (WATT, 2013). Dusík se snadno pohybuje s vodou, což může být problém v raných vývojových fázích rostlin, které jsou hnojeny minerálními hnojivy vyšší dávkou, než dokážou přijmout. Následně je dusík vyplavován do hlubších vrstev půdy. Za takových podmínek je hlubší kořen výhodou, protože dokáže tyto živiny čerpat v době po odkvetení, kdy ustává růst kořenů z důvodu přesunutí sinku asimilátů do reprodukčních orgánů (MANSCHADI, 2013). Moderní odrůdy pšenice mají výkonné transportní systémy, na konci odnožování jsou schopny přijmout až 0,15 mg nitrátového dusíku za hodinu. V období vegetativního růstu kdy se rozvíjí kořenový systém, schopnost přijímat živiny stoupá, svého maxima příjem živin dosahuje před začátkem kvetení. Po odkvětu u obilnin schopnost přijímat živiny z půdy značně klesá (HABERLE, 2008).

Dusík má vliv také na růst špičky kořenů. Zvýšené dávky dusíku zvyšují koncentraci rostlinného hormonu auxinu, který částečně inhibuje růst kořenového systému. Vysoké dávky dusíku také mění hmotnostní poměr mezi kořeny a nadzemní částí ve prospěch nadzemní části rostlin. Při nízké hladině živin vykazuje nadzemní část rostliny větší úbytek hmotnosti, což naopak vede ke změně poměru ve prospěch kořenového systému. Pro růst a vývoj kořenů není určující faktor obsah živin v bezprostřední blízkosti kořenů, ale celkový výživný stav rostliny (BLÁHA, VYVADILOVÁ, 2010).

3.8 Vliv koncentrace CO₂ na kořenový systém

Koncentrace CO₂ v atmosféře roste a za poslední desetiletí si vyžádala značnou pozornost. Vzhledem k tomu, že v povrchových půdách je koncentrace CO₂ až 10× vyšší než v atmosféře, nebude mít další zvyšování koncentrace na kořeny přímý účinek, kořeny však budou ovlivněny nadzemními částmi rostlin. Růst ve zvýšené koncentraci

CO₂ obecně vede ke zvětšení délky a průměru kořenů, mění se také jejich větvení. Dalším důsledkem zvýšené koncentrace CO₂ je větší fotosyntetická aktivita, což vede k nárůstu biomasy jak nadzemních částí rostlin, tak kořene. Zvýšená koncentrace CO₂ stimuluje tvorbu postranních kořenů více než prodlužování kořenových částí. Důsledkem je mělký a vysoce rozvětvený kořenový systém. (GREGORY, 2006)

3.9 Vliv vlastností půdy na kořenový systém

Půda je mimořádně složité růstové médium, s velkou biologickou rozmanitostí, lišící se svým minerálním a organickým složením. Růst kořenů v půdě omezují různé fyzikální, chemické i biologické faktory. Těžká půda se zhoršenou strukturou významně omezuje růst, distribuci a funkci kořenů (KROON, 2003).

Zhutnění půdy redukuje růst kořenů, jejich prodlužování a prorůstání do hlubších vrstev půdy. Nejvíce jsou ve zhutněných půdách postiženy rostliny, které tvoří svými podzemními orgány hospodářský výnos (cukrovka, brambory). Zhutněná vrstva podorničí brání v růstu také rostlinám, které vytvářejí hlavní kulový kořen, ten se vlivem utužené vrstvy deformuje a roste horizontálně, což má za následek nižší příjem živin a vody oproti kořenu vyvinutému za normálních podmínek. V závislosti na stupni zhutnění, počasí, agrotechnice a dalších vlivech se významně snižují výnosy i jakost pěstovaných plodin (JAVŮREK, 2008). Nadměrné zhutnění půdy vede také ke změnám anatomické stavby kořenů rostlin, zejména ke zvětšování tloušťky buněčné stěny a Caspariho proužků. Důsledkem je zhoršený transport a příjem minerálních živin a dalších látek (BLÁHA, VYVADILOVÁ, 2010).

Další významný faktor ovlivňující růst kořene je pH půdy. Kyselé půdy mohou mít negativní účinky na růst kořenů z důvodu toxicity způsobené hliníkem. Jakmile pH půdy klesne pod 5, stává se hliník rozpustným a je rostlinou přijímán. Příznaky fytotoxicity se objevují primárně na kořenech, ty jsou ztloustlé a zkrácené (GREGORY, 2006).

3.10 Vliv genotypu na kořenový systém

Jedním ze selekčních znaků při šlechtění rostlin je kořenový systém, protože různé genotypy rostlin vytváří odlišné kořenové systémy. Jako selekční kritérium se kořenový systém zatím používá pouze tehdy, pokud je sám šlechtitelským cílem, například u

cukrovky. Jednotlivé znaky kořenové soustavy jsou však dosti složitě dědičně založeny, jde o znaky kvantitativní (BLÁHA, VYVADILOVÁ, 2010). Kořenový systém je do jisté míry ovlivněn geny s aditivními účinky, díky kterým lze rostliny selektovat na velikost kořenového systému a hloubku do které kořeny pronikají. U pšenice mohou být linie s příznivým poměrem kořene ke stéblu selektovány během křížení již v prvních generacích. Míra heritability je u pšenice pro celkovou délku kořene 0,62 a pro jeho větvení 0,42 (GÜTNER, 2002). V procesu šlechtění nových odrůd je nutné zaměřit se na výběr vhodných genotypů, které budou mít morfologické a fyziologické znaky kořenů takové, aby v daném prostředí měly největší přínos (HABERLE, 2013). HEŘMANSKÁ a kol. (2014) uvádí, že potomstvo rostlin selektované na větší kořenový systém mělo v generaci F3 větší velikost kořenového systému než jejich rodiče. Obdobně potomstvo rostlin, které byly selektovány na menší kořenový systém, mělo menší velikost kořenového systému než jejich rodiče. Velikost kořenového systému byla spjata s výnosem zrna v F3 generaci. Odrůdy ječmene s větším kořenovým systémem poskytly větší výnos a obsahovaly více asimilátů tzn. více škrobu, více sladového extraktu a méně dusíkatých látek. Polotrasličí odrůdy pšenice tolerantní k suchu rozvětvují kořeny ve větších hloubkách, kdežto odrůdy netolerantní měly ve stejné hloubce méně kořenů. U pšenice bylo prokázáno, že rozdíly v hloubce zakořenění a tím také zvýšená adaptace rostlin v období sucha mohou pocházet od planých a krajových odrůd pšenice. V období sucha je hluboký kořenový systém výhodou, ovšem ve středomořských oblastech je pravděpodobně důležitější rozložení kořenové biomasy ve středních hloubkách půdy od 0,15 do 0,60 cm. Mezi genotypy se také značně liší míra příjmu dusíku na jednotku délky kořene (HERRERA, 2012). STŘEDA a kol. (2012) zjistili, že v suchých letech odrůdy pšenice s větším kořenovým systémem dosáhly vyššího výnosu a to až o 860 kg.ha⁻¹. Dle ESHEL a kol. (2000) je efektivita příjmu vody přímo úměrná průměru a ploše kořenů a stupni diferenciacce xylémových cév. Ke šlechtění odrůd tolerantních k suchu je třeba přesně identifikovat vhodné fenotypy nebo i jednotlivé rostliny. Výsledky pokusů ukazují, že selekce rostlin na větší kořenový systém je úspěšná metoda při šlechtění obilnin na toleranci k suchu, zvýšení využití efektivitu vody a hnojiv. WHITE a CASTILLO (1989) pomocí roubování prokázali, že toleranci k suchu řídí geny lokalizované v kořenovém systému a ne v nadzemní části. SUPRUNOVA a kol. (2007) identifikovali u planého ječmene gen spoluodpovědný za toleranci k suchu Hsdr4, tento gen se

nachází v blízkosti genu polozakrslosti *sdw1*, oba tyto geny jsou lokalizovány na chromozomu 3H. GAHOONIA a NIELSEN (2004) určovali rozdíly ve výnosu mezi genotypy ječmene s většími kořenovými vlásky na půdách s nedostatkem fosforu. U kultivarů s nejdelšími kořenovými vlásky neprokázali nejvyšší výnos, ale tvrdí že delší kořenové vlásky přispívají k vysoké a stabilní výnosové úrovni bez ohledu na nižší nebo vyšší dostupnost fosforu v půdě, protože takovýto kořenový systém prozkoumá větší objem půdy, ve kterém se může dostupný fosfor nacházet. HAJZLER a kol. (2012) analyzovali meziodrůdové rozdíly u osmi odrůd hořčice bílé ve velikosti kořenového systému. V polních pokusech na dvou lokalitách zjistili, že dvě odrůdy hořčice měly na obou lokalitách menší kořenový systém, zatímco například odrůda Semper, měla vždy kořenový systém největší, což může být způsobeno silnou genetickou podmíněností ve velikosti kořenového systému. Úspěšná je také selekce většího kořenového systému u rostlin vojtěšky při jejím šlechtění na větší produkci nadzemní biomasy. Výběr vhodných odrůd vojtěšky zajistí její vyšší hustotu v porostu, větší větvení kořenového systému, ale také vyšší průměr kořenů, což má za důsledek nárůst hmotnosti kořenů na m^2 a tím také zvýšení fixace vzdušného dusíku pomocí symbiotických bakterií na kořenech (HAKL a kol., 2012).

U rostlin, které vzešly z osiva, vypěstovaného za stresových podmínek se mění typické znaky kořenové soustavy charakteristické pro jednotlivé odrůdy. Nekvalitní osivo tedy ovlivní růst kořenové soustavy, příjem živin, úroveň fotosyntézy, hladinu hormonů a tím také tvorbu semen a výnos (BLÁHA, 2001).

3.11 Vliv kořenového systému na výnos a kvalitu produkce

Při šlechtění polních plodin je kvalita, výnos a rezistence vůči biotickým a abiotickým vlivům prostředí hlavní selekční kritérium. V posledních letech je kvůli negativním vlivům sucha na výnos a kvalitu produkce, častěji zmiňována velikost kořenového systému. Jak bylo popsáno v předchozí kapitole, větší kořenový systém u odrůd ječmene a pšenice poskytuje vyšší výnos zrna s optimálním obsahem zásobních látek. U ječmene setého souvisí tedy menší velikost kořenového systému v suchých podmínkách s nízkým výnosem a špatnou kvalitou sladu. Selektce na větší kořenový systém by tedy mohla v suchých ročnících zvýšit výnosy, proto Chloupek a kol. (2010) vybral velikost kořenového systému u ječmene setého jako kritérium pro výběr

vhodných genotypů odolných vůči suchu. U obilnin je výnos spojován zejména s větším množstvím jemných kořenů v hlubších vrstvách půdy. U většiny odrůd pěstovaných plodin se v hloubce do 25 cm nachází průměrně 55% z celkové hmotnosti kořenů, v hloubce mezi 25 – 50 cm se nachází přibližně 18%, 15% kořenové biomasy se nachází v hloubce 50 – 75 cm a hlouběji prorůstá maximálně 12% kořenové hmoty, vše záleží také na typu půdy a pěstované odrůdě (BLÁHA, BRADOVÁ, 2014).

Parametry kořenového systému hrají významnou roli v omezení vyplavování živin z půdního profilu. Větší kořenový systém lépe využije přítomné živiny a tím minimalizuje možnost vyplavování. Se zvyšující extremitou průběhu počasí během roku, bude narůstat význam dobře vyvinutého kořenového systému (STŘEDA a kol., 2013).

Důležitým faktorem je poměr mezi kořeny a nadzemní částí rostlin, předpokládá se, že polozakrslé rostliny s lepším kořenovým systémem budou vhodným řešením v produkci potravin. U polozakrslých odrůd obilnin, které se větví ve větší hloubce umožnila změna kořenové architektury zvýšený příjem vody i živin. K tvorbě výnosů je rovněž důležité, aby bylo dosaženo maxima tvorby kořenové hmoty před maximálním nárůstem nadzemní biomasy z důvodu zajištění dostatečné zásoby vody a živin při nejintenzivnějším období fotosyntézy (BLÁHA, BRADOVÁ, 2014). U ročních plodin lze podpořit růst kořenů oddálením termínu kvetení, kdy růst kořenové biomasy obvykle ustává. Lze toho dosáhnout buď změnou agrotechniky, kdy využíváme pozdějšího termínu setí, nebo geneticky pěstováním odrůd s oddáleným termínem kvetení. Takové rostliny přijímají déle živiny, zejména fosfor a v době kdy nastane sucho, mohou díky delším kořenům využít vodu z hlubších vrstev půdy a tím podpořit fotosyntézu a přesun asimilátů do zrna (WATT, 2013).

Negativní dopad na výnos a kvalitu zrna má výskyt jarního sucha. Sekundární kořeny hlavního stébla a odnoží nejsou schopny prorůstat přeschlou povrchovou vrstvou ornice do hlubších vrstev půdy, jejich počet je redukován a zakládají se mělčeji než kořeny primární. To má za následek zhoršený příjem vody a živin ve fázi nalévání zrn (HABERLE, 2008).

Středa a kol. (2010) z odrůdových zkoušek s ječmenem zjistili, že VKS kladně koreluje s výnosem zrna, rovněž prokázali statisticky významný vliv VKS na kvalitu zrna. Hodnoty sladového a sacharidového extraktu byly průkazně vyšší u odrůd s větší VKS, u těchto odrůd byl také průkazně vyšší obsah škrobu v zrna. V méně příznivých

ročnících byl zjištěn větší vliv kořenového systému na výnos a kvalitu zrna. Pokud je však rostlina vystavena silnému stresu, dochází k degradaci rostlin a velkému poklesu výnosů.

4 VYHODNOCENÍ POKUSŮ S JEČMENEM SETÝM

4.1 Materiál a metodika

4.1.1. Založení a průběh pokusů

Víceletý pokus se čtyřmi odrůdami ječmene setého a jejich šesti kříženci byl veden na čtyřech lokalitách. V roce 2012 byl pokus založen na lokalitě Hrubčice, v roce 2013 v Hrubčicích a Želešicích a v roce 2014 v Hořejších Kunčicích. V roce 2014 byl souběžně v areálu Mendelovy univerzity v Brně veden nádobový pokus s řízenými vlhkostními podmínkami, ostatní pokusy byly prováděny v polních podmínkách. Genotypy ječmene setého byly vysety ručně ve čtyřech opakováních dle agrotechnických termínů a půdně klimatických podmínek. V průběhu vegetace byla ve třech termínech měřena elektrická kapacita kořenového systému. Ve fázi plné zralosti byl ječmen sklizen a byl zjištěn výnos nadzemní hmoty a zrna. Biomasa kořenů byla odebrána pomocí metody soil-core. Získaná data byla statisticky vyhodnocena.

Tab. 1.: Schéma řazení odrůd a kříženců v jednom opakování.

Řádek	Odrůda
1	Prestige
2	U2
3	Jersey
4	U9
5	Diplom
6	U11
7	Saloon
8	U5
9	Jersey
10	Prestige
11	U3
12	Diplom
13	U12
14	Jersey

Tab. 2.: Termín založení polních pokusů a termíny měření elektrické kapacity v Hořejších Kunčicích, Hrubčicích a Želešicích.

Lokalita		Hrubčice 2012	Hrubčice 2013	Želešice 2013	Hořejší Kunčice 2014
Termín setí		27.3.2012	23.4.2013	17.3.2013	14.3.2014
Termín měření VKS	Sloupkování	6.6.2012	12.6.2013	10.6.2013	2.6.2014
	Metání	22.6.2012	4.7.2013	2.7.2013	13.6.2014
	Plnění zrn	9.7.2012	22.7.2013	16.7.2013	10.7.2014



Obr. 1.: Založení polního pokusu s ječmenem setým v Hořejších Kunčicích v roce 2014 (zdroj – autor 2014).

Vlhkost půdy je důležitý faktor pro rozvoj kořenového systému, proto byly na pokusných lokalitách v Hrubčicích, Želešicích a Hořejších Kunčicích pod porostem nainstalovány kruhové snímače pro měření objemové vlhkosti půdy VIRRIB s dataloggerem (AMET Velké Bílovice). Snímače o průměru 28 cm byly rozmístěny do tří vrstev půdy (20 a 40 cm, třetí snímač byl umístěn vertikálně).



Obr. 2.: Umístění snímačů pro měření objemové vlhkosti půdy v Hořejších Kunčicích (zdroj – autor 2014).

4.1.2 Charakteristika odrůd

Pokus byl prováděn s odrůdami ječmene setého Prestige, Jersey, Diplom, Saloon a jejich šesti hybridy U2, U3, U5, U9, U11 a U12.

Tab. 3.: Rodičovské komponenty vybraných hybridů ječmene setého.

Kříženec	Matka	Otec
U2	Prestige	Jersey
U3	Prestige	Diplom
U5	Saloon	Jersey
U9	Jersey	Diplom
U11	Diplom	Saloon
U12	Diplom	Jersey

Prestige je poloraná sladovnická odrůda s velmi vysokým podílem předního zrna, rostliny jsou středně vysoké a středně odolné proti poléhání, nevýhodou je náchylnost k napadení hnědou skvrnitostí (EAGRI, 2006). Odrůda byla zapsaná do Státní odrůdové knihy v roce 2002 a byla vyšlechtěna firmou PBI Cambridge (ČERNÝ, 2007).

Jersey je polopozdní sladovnická odrůda se středně velkým zrnem a středně vysokým podílem předního zrna, kterého dosahuje v obilnářské a bramborářské výrobní oblasti. Jersey má menší odolnost proti poléhání a je náchylný na napadení rzí ječmene a hnědou skvrnitostí (EAGRI, 2006). Odrůda byla povolena v roce 2000 a byla vyšlechtěná firmou Cebeco Zaden B.V., Jersey vyniká krátkou dobou dormance a nízkým obsahem β -glukanů (ČERNÝ, 2007).

Diplom je polopozdní až pozdní sladovnická odrůda. Největší výnos předního zrna dosahuje v kukuřičné výrobní oblasti, v ostatních oblastech je podíl předního zrna střední až nízký. Rostliny jsou středně vysoké se středně velkým zrnem. Výhodou je odolnost proti poléhání, nevýhodou riziko napadení hnědou skvrnitostí a rzí ječmene (EAGRI, 2006). V ČR bylo pěstování Diplomu povoleno v roce 2002, byl vyšlechtěn německou společností NORDSAAT Saatzeitgesellschaft GmbH. Je vysoce plastický a vhodný do všech výrobních oblastí (ČERNÝ, 2007).

Saloon je středně raná sladovnická odrůda, nižšího vzrůstu s velkým zrnem a vysokým podílem předního zrna. Má dobrou odolnost proti poléhání a padlí travnímu. Saloon je však citlivý na hnědou skvrnitost (PSOTA a SVORAD, 2003).

4.1.3 Charakteristika pokusných lokalit

Hrubčice

Hrubčice se nachází 8 km jihovýchodně od města Prostějov, v nadmořské výšce 210 m. n. m. v řepařské výrobní oblasti. Průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek je 578 mm a průměrná roční teplota 8,5 °C. Lokalita Hrubčice je charakteristická úrodnými středně těžkými půdami s půdním typem černozem modální karbonátová (CEm'c). Plná vodní kapacita se v hloubce ornice pohybuje od 42 % do 42,3 %.

Želešice

Želešice se nachází v okrese Brno – venkov, nedaleko obce Modřice v nadmořské výšce 208 m. n. m. v kukuřičné výrobní oblasti. Průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek je 451 mm a průměrná roční teplota 9,0 °C. Půdy jsou středně těžké s půdním typem modální karbonátová hnědozem na spraši (HNc). Plná vodní kapacita se v hloubce ornice pohybuje od 39,5 % do 43,2 %.

Hořejší Kunčice

Hořejší Kunčice jsou částí obce Jakartovice, které se nachází v okrese Opava a hraničí s okresem Bruntál. Průměrná nadmořská výška pokusné lokality je 475 m. n. m. a průměrná roční teplota 6 – 7 °C. Průměrný roční úhrn srážek je 650 mm. Na lokalitě se nachází středně těžké půdy s genetickým půdním typem kambizem modální až mesobazická (KAm^e, KAm^a). Maximální kapilární polní kapacita se pohybuje okolo 37 %. Půdy jsou slabě kyselé až kyselé.

4.1.4 Měření elektrické kapacity

Elektrická kapacita kořenového systému (CHLOUPEK, 1972) byla měřena na polních pokusech s ječmenem setým v Hrubčicích v roce 2012, Hrubčicích a Želešicích v roce 2013 a Hořejších Kunčicích v roce 2014. V roce 2014 byla měřena také v nádobových pokusech v areálu Mendelovy univerzity v Brně. Elektrická kapacita byla měřena ve třech růstových fázích sloupkování (BBCH 36), metání (BBCH 55) a plnění zrn (BBCH 71) LCR metrem. Kleště (první elektroda) jsou umístěny na bázi stébla tak, aby byly sevřeny všechny odnože, druhá elektroda (jehla) je zasunuta přibližně v polovině sponu rostlin do půdy. Měření probíhá při frekvenci 1 kHz a výsledky jsou uváděny v nanofaradech (nF). Výsledná kapacita je závislá na půdní vlhkosti, proto se měření provádí v jednom termínu na celé pokusné ploše. Blíže je metoda popsána v kapitole 3.3.9.



Obr. 3.: Měření elektrické kapacity kořenového systému (zdroj – T. Středa 2014).

4.1.5 Hodnocení biomasy kořenů pomocí metody soil – core

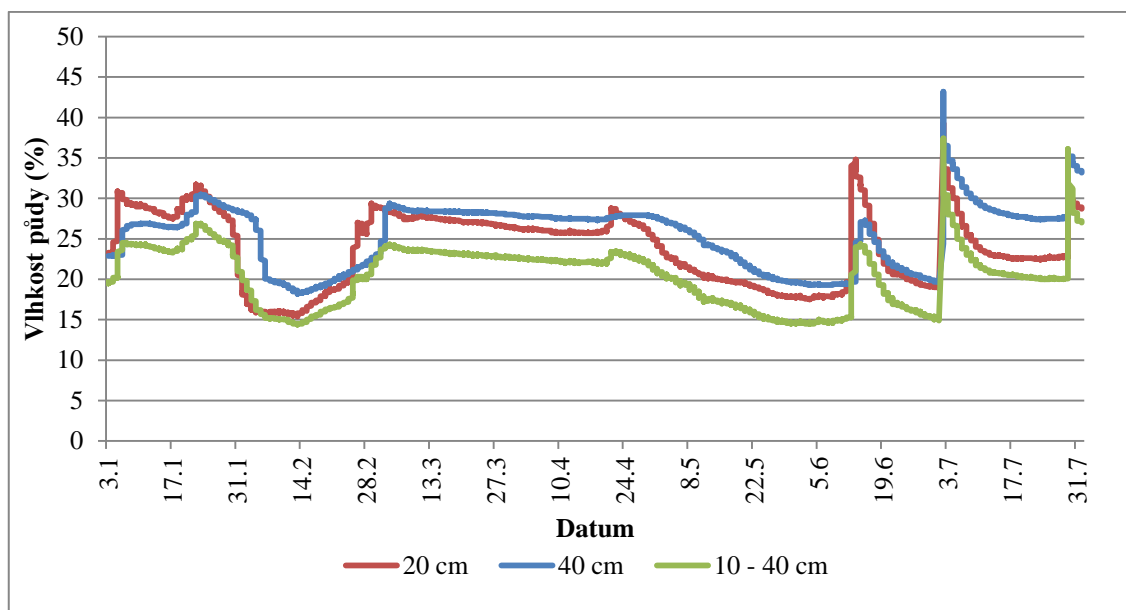
Jedná se o destruktivní metodu, proto je biomasa kořenů odebírána až po fázi plnění zrn. Po odstranění nadzemní biomasy je vzorek odebírán přímo v místě růstu rostliny do hloubky 60 cm. Takto vyjmutý vzorek půdy je rozdělen na dílčí vzorky o délce 10 cm. Aby nedošlo k nežádoucímu rozkladu kořenů, byly vzorky až do zpracování zmrazeny v polyetylenových sáčkách při teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po rozmrazení byly vzorky rozplaveny pod tekoucí vodou nad soustavou sít o průměru 1,6 a 0,6 mm². Získané kořeny jsou skladovány ve zkumavkách s roztokem vody a alkoholu. Před skenováním kořenů je nutné je obarvit v roztoku methylenové modři, následně jsou kořeny propláchnuty vodou a rozprostřeny na plochu tácu, tak aby se nepřekrývaly. Takto připravený vzorek je naskenován pomocí skeneru Epson perfection 700 photo a analyzován pomocí programu WinRHIZO. Metoda soil – core je popsána v kapitole 3.3.3 a následná analýza obrazu je popsána v kapitole 3.3.8.

4.1.6 Zpracování dat

Naměřené hodnoty byly zpracovány v počítačovém programu Statistica 12 CZ. Pro statistické zpracování, byla použita korelační analýza a analýza variance s jedním a více faktory. Jako metoda následného testování byl využit Tukayův test významnosti rozdílů. Pro analýzu variance byla stanovena hladina významnosti $p = 0,05$.

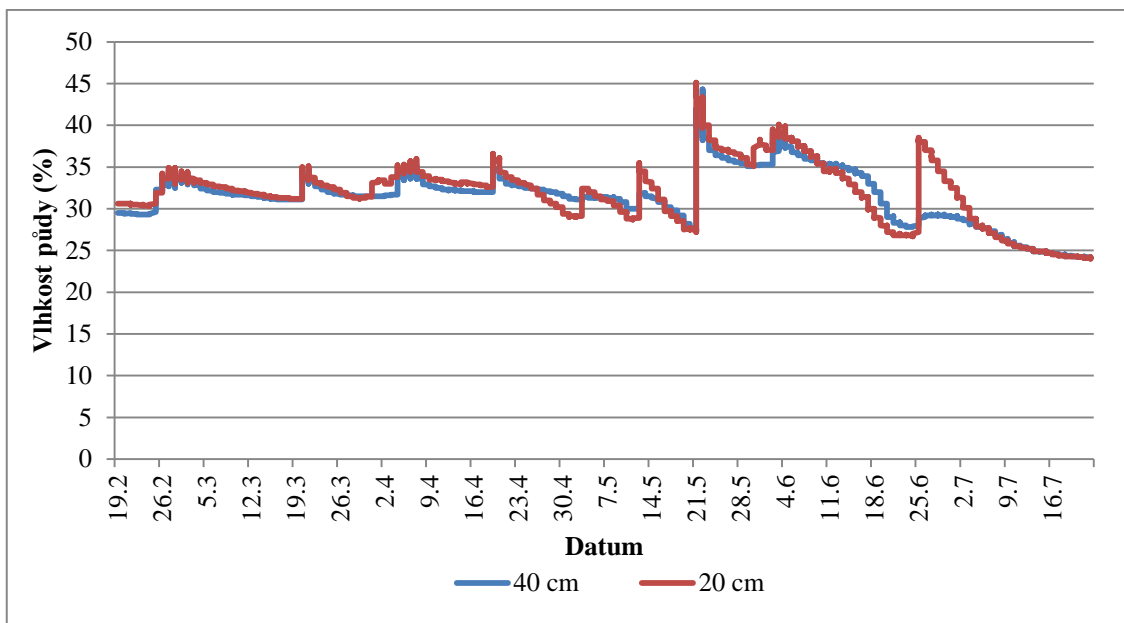
4.1.7 Hodnocení vlhkostních podmínek v průběhu vegetace

V Hrubčicích v roce 2012 byla vlhkost půdy od termínu setí poměrně stabilní z důvodu nedostatku srážek a v orničním profilu se pohybovala na úrovni 23 %. Postupně vlhkost klesala až pod bod vadnutí, který se v Hrubčicích pohybuje v orničním profilu okolo 15,5 %. Nedostatek vláhy na této lokalitě mohl v roce 2012 stimulovat rostliny k většímu nárůstu kořenové biomasy. Vlhkost půdy díky dešťovým srážkám zvýšila až mezi obdobím sloupkování a metání, poté postupně v orničním profilu klesala až k bodu vadnutí. Vlhkost v orničním profilu znovu vzrostla 3.7.2012, poté měla klesající tendenci, ale bodu vadnutí už v průběhu vegetace nebylo dosaženo. Vlhkost půdy v Hrubčicích v roce 2012 je znázorněna na Obr. 4.



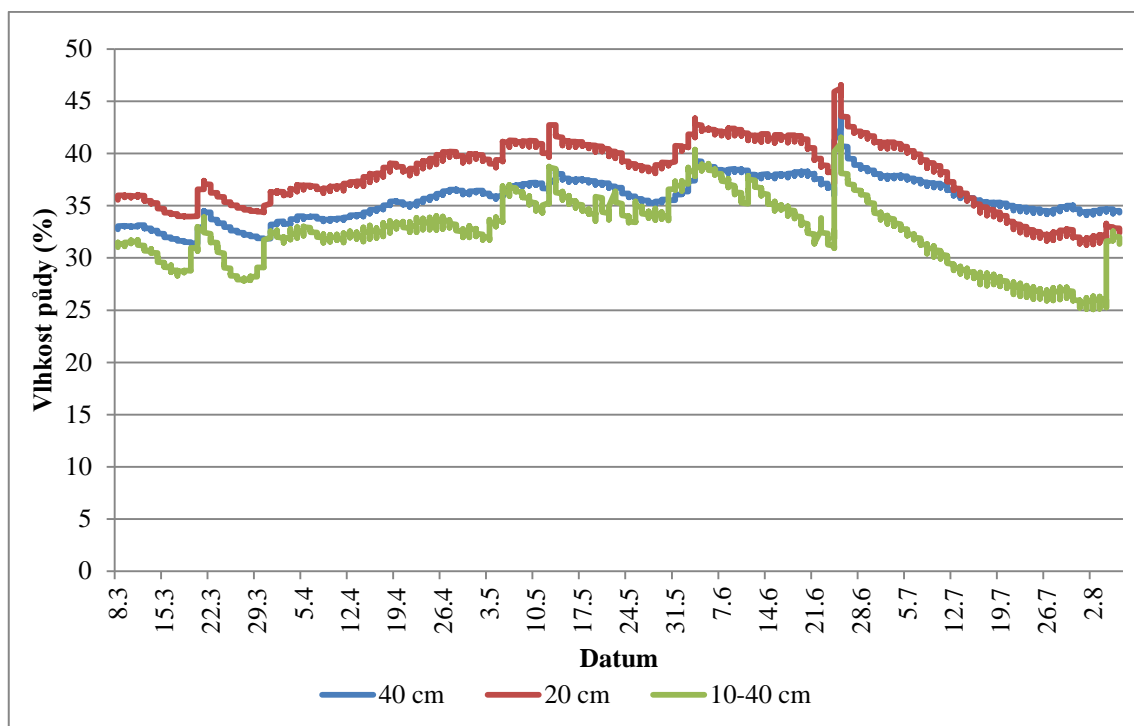
Obr. 4.: Objemová vlhkost půdy na lokalitě Hrubčice v roce 2012.

V roce 2013 v Hrubčicích byla objemová vlhkost půdy měřena pouze v hloubce 20 a 40 cm. V roce 2013 nebylo na této lokalitě za celou vegetaci dosaženo bodu vadnutí. S drobnými výkyvy se od založení porostu objemová vlhkost půdy pohybovala v rozmezí 30 – 35 % a od poloviny dubna postupně klesala až do 21.5.2013, kdy vlhkost vzrostla na úroveň plné polní kapacity (45,1 %). Rostliny byly v průběhu vegetace dostatečně zásobeny vláhou. Objemová vlhkost půdy v Hrubčicích v roce 2013 je znázorněna na Obr. 5.



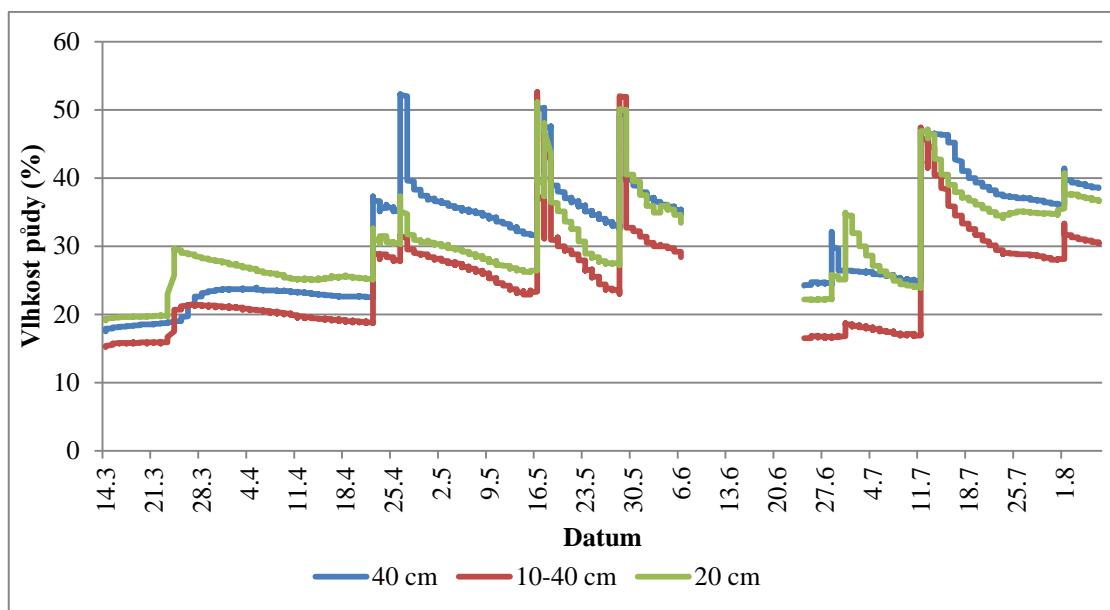
Obr. 5.: Objemová vlhkost půdy na lokalitě Hrubčice v roce 2013.

Vlhkost půdy na lokalitě Želešice v roce 2013 vykazovala průběh hodnot srovnatelný s lokalitou Hrubčice ve stejném roce. Od založení porostu vlhkost půdy mírně vzrůstala, až do začátku května. Svrchní vrstvy půdy byly po většinu vegetace značně nasyceny vodou. V orničním profilu se objemová vlhkost půdy pohybovala v rozmezí 30 – 40 %. Na konci června vlhkost dosáhla plné polní kapacity a následně do konce vegetačního období ječmene klesala k hranici 25 % objemových. Vlhkost půdy v Želešicích v roce 2013 je znázorněna na Obr. 6.



Obr. 6.: Objemová vlhkost půdy na lokalitě Želešice v roce 2013.

Rok 2014 byl charakteristický časným nástupem jara s minimálním úhrnem srážek. Při zakládání porostu v Hořejších Kunčicích mohla být vlhkost půdy na úrovni bodu vadnutí. V průběhu vegetace vlhkost půdy značně kolísala v závislosti na atmosférických srážkách. Vlhkost půdy v měsíci dubnu mohla mít vliv na rozvoj kořenového systému, poté však přišly srážky, které pravidelně sytily půdu vodou. Výrazněji vlhkost klesla až na začátku června, kdy v orničním profilu mohla dosáhnout bodu vadnutí. Další srážky nasýtily vodu půdou v polovině července. Objemová vlhkost půdy v Hořejších Kunčicích v roce 2014 je znázorněna na Obr. 7. Z důvodu závady na snímačích pro měření objemové vlhkosti půdy nejsou od 6.6 do 24.6 známe přesné hodnoty.



Obr. 7.: Objemová vlhkost půdy na lokalitě Hořejší Kunčice v roce 2014.

4.2 Výsledky a diskuse

4.2.1 Velikost kořenového systému a výnos ječmene setého v Hrubčicích 2012

V Hrubčicích byla u ječmene měřena velikost kořenového systému (VKS) pomocí elektrické kapacity ve třech fenologických fázích (sloupkování, metání, plnění zrn). Ve fázi sloupkování byl největší kořenový systém zjištěn u odrůdy Jersey (3,05 nF) a nejmenší kořenový systém u křížence U2 (2,58 nF). Největší kořenový systém ve fázi metání byl naměřen u křížence U3 (1,90 nF) a nejmenší kořenový systém u odrůdy Saloon (1,18 nF). U posledního měření ve fázi plnění zrn byl největší kořenový systém zaznamenán u odrůdy Jersey (0,78 nF) a nejmenší kořenový systém u odrůdy Saloon (0,48 nF). Pro určení vztahu mezi výnosem a VKS byly vypočteny korelační koeficienty.

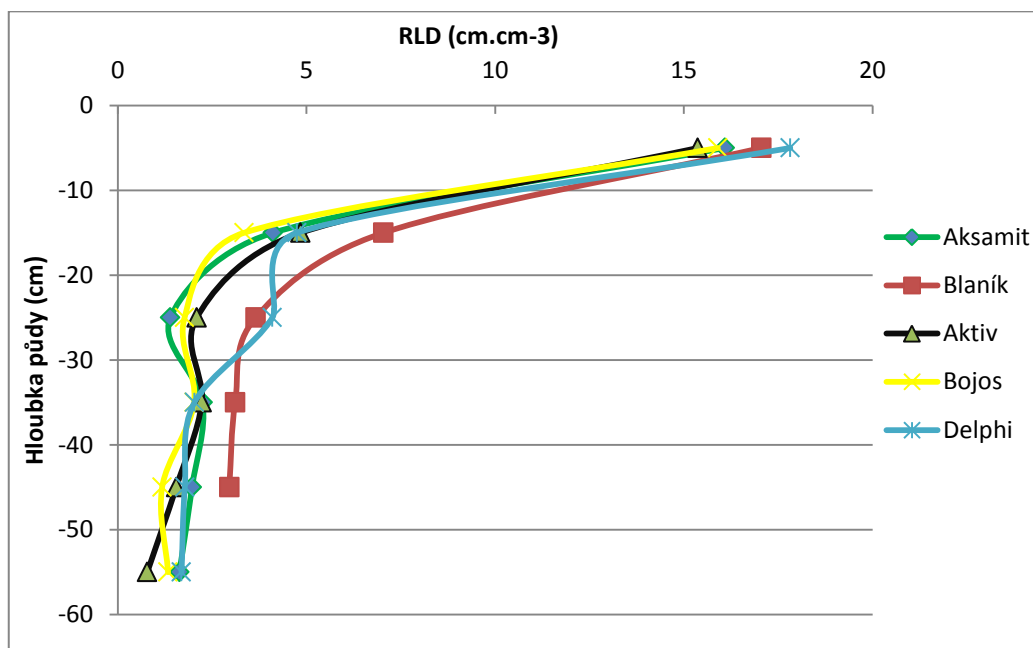
Statisticky průkazný vztah mezi VKS a výnosem zrna se potvrdil pouze ve fázi metání ($r = 0,636^*$), ve fázi sloupkování a plnění zrn nebyl statisticky průkazný vztah zaznamenán (viz. Tab. 4).

Tab. 4.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Hrubčicích 2012.

	Sloupkování	Metání	Plnění zrn	Průměr
Výnos zrna × VKS	-0,029	0,636*	0,332	0,469

4.2.2 Hodnocení prokořenění půdního profilu v Hrubčicích 2012

Na lokalitě Hrubčice byla v roce 2012 pomocí metody soil – core a následné analýzy obrazu hodnocena intenzita prokořenění (RLD) v půdním profilu. Hodnoceno bylo pět odrůd ječmene setého (Aksamit, Blaník, Aktiv, Bojos a Delphi). Intenzita prokořenění 15,37 – 17,82 cm.cm⁻³ ve vrstvě 0 – 10 cm převyšuje průměrné hodnoty pro obilniny 5 – 10 cm.cm⁻³ (GREGORY, 2006). Nejvíce kořenové biomasy se nacházelo právě ve vrstvě 0 – 10 cm a to v průměru 55,6 %. Nejméně kořenů se v průměru nacházelo ve vrstvě 50 – 60 cm (5,2 %). Výjimkou byla odrůda Bojos, která měla překvapivě v hlubších vrstvách 50 – 60 cm více kořenové biomasy (5,2 %) než ve vrstvě 40 – 50 cm (4,6 %). U ostatních odrůd klesala intenzita prokořenění a celkové množství kořenů s rostoucí hloubkou v půdním profilu (viz. Obr. 8). Pro rostliny čeledi *Poaceae*, které mají svazčitou kořenovou soustavu, je typická vysoká hustota prokořenění ve svrchních částech půdy (JACKSON a kol., 1996).



Obr. 8.: Intenzita prokořenění vybraných odrůd na lokalitě Hrubčice v roce 2012

4.2.3 Velikost kořenového systému a výnos ječmene setého v Hrubčicích 2013

V roce 2013 v Hrubčicích ve fázi sloupkování nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi velikostmi kořenového systému u jednotlivých odrůd. Nejmenší hodnoty byly v této fázi naměřeny u odrůdy Prestige (4,11 nF) a největších hodnot velikosti kořenového systému dosáhl kříženec U9 (5,70 nF). U druhého měření ve fázi metání byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi velikostí kořenového systému u sledovaných odrůd. V této fázi byla zjištěna nejmenší VKS u odrůdy Prestige (1,62 nF) a největší VKS měl stejně jako ve fázi sloupkování kříženec U9 (2,33 nF). Ve fázi metání se prokazatelně lišil kořenový systém odrůdy Prestige a křížence U5 od křížence U9. Meziodrůdový rozdíl ve VKS z fáze metání je patrný z Tab. 4.

Tab. 5.: Velikost kořenového systému ve fázi metání – Hrubčice 2013 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).

Odrůda	VKS - metání
Prestige	1,62 a
U5	1,68 a
U2	1,75 ab
U11	1,82 ab
Jersey	1,88 ab
U3	1,89 ab
Saloon	1,95 ab
U12	2,13 ab
Diplom	2,15 ab
U9	2,33 b

Statisticky průkazný rozdíl mezi velikostí kořenového systému u sledovaných odrůd byl zjištěn také ve fázi plnění zrn. Nejmenší VKS měl kříženec U5 (0,25 nF) a největší VKS byla zaznamenána u odrůdy Diplom (0,43 nF). V průměru hodnot ze všech tří měření se statistický průkazný rozdíl mezi VKS u jednotlivých odrůd nepotvrdil. Podle SVACHYNY a kol. (2014) vykazovala odrůda Prestige ve čtyřech pokusných letech malou průměrnou VKS což se potvrdilo také v Hrubčicích v roce 2013.

Vícefaktorovou analýzou variance byl zjišťován vliv faktorů (odrůda, lokalita, odrůda x lokalita) na výnos zrna. Z výsledků vyplynulo, že žádný z uvedených faktorů neměl statisticky průkazný vliv na výnos zrna v Hrubčicích v roce 2013. Nejmenší výnos zrna na jednu rostlinu byl zjištěn u křížence U11 (6,79 g) a U2 (7,10 g).

Největšího výnosu dosáhly odrůdy Diplom (10,60 g) a kříženec U12 (11,52 g). Průměrný výnos zrna na rostlinu za lokalitu Hrubčice byl 8,88 g.

V Hrubčicích ve fázi sloupkování nebyl zjištěn statisticky průkazný vztah mezi VKS a výnosem, ale významná je hodnota korelačního koeficientu ($r = 0,596$) ze které lze říci, že ve fázi sloupkování byla VKS při tvorbě výnosu důležitým faktorem. Ve fázi metání byl zjištěn korelační koeficient $r = 0,643^*$. Statisticky průkazný vztah byl potvrzen také v průměru hodnot ze všech měření $r = 0,645^*$, lze tedy předpokládat, že především ve fázích intenzivního růstu rostlin měl kořenový systém na tvorbu výnosu podstatný vliv. V ostatních fázích se průkazná korelace mezi VKS a výnosem zrna v Hrubčicích v roce 2013 nepotvrdila. Vypočtené korelační koeficienty z jednotlivých fází růstu jsou uvedeny v Tab. 6.

Tab. 6.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Hrubčicích 2013.

	Sloupkování	Metání	Plnění zrn	Průměr
Výnos zrna × VKS	0,596	0,643*	0,447	0,645*

Z dvouletých výsledků byl v Hrubčicích u ječmene setého zjištěn vysoce statisticky průkazný vztah mezi VKS a výnosem zrna ve fázích sloupkování $r = 0,705^{**}$ a metání $r = 0,782^{**}$. Ve fázi plnění zrn se průkazný vztah nepotvrdil. Vysoce průkazný vztah mezi VKS a výnosem byl zaznamenán také v průměru všech hodnot $r = 0,764^{**}$. Korelační koeficienty jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab. 7.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Hrubčicích z průměru hodnot za rok 2012 a 2013.

	Sloupkování	Metání	Plnění zrn	Průměr
Výnos zrna × VKS	0,705**	0,782**	-0,540	0,764**

4.2.4 Velikost kořenového systému a výnos ječmene setého v Želešicích 2013

Na lokalitě Želešice nebyl ve fázi sloupkování zjištěn statisticky průkazný rozdíl mezi velikostí kořenového systému jednotlivých odrůd. Nejmenší hodnoty byly naměřeny u kříženců U2 (0,78 nF) a U12 (0,97 nF). Největších hodnot dosáhl kříženec U9 (1,62 nF), který svou VKS ve fázi sloupkování vynikal ve stejném roce také na lokalitě Hrubčice. Ve fázi metání také nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl ve

velikosti kořenového systému vybraných genotypů. Nejmenší kořenový systém byl zjištěn opět u kříženců U12 (0,88 nF) a U2 (1,06 nF), největší VKS ve fázi metání byla zjištěna u křížence U9 (1,54 nF). Ve fázi plnění zrn byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi velikostmi kořenového systému u sledovaných odrůd. Množství kořenové biomasy kříženců U3, U2 a U12 se průkazně lišilo od biomasy kořenové soustavy křížence U9. SVAČINY a kol. (2014) zjistili v průměru hodnot nejmenší VKS u křížence U9 tyto výsledky se na lokalitě Želešice v roce 2013 nepotvrdily, zde křížence U9 vykázal v průměru naměřených hodnot nejvyšší velikost kořenového systému (1,36 nF).

Tab. 8.: Velikost kořenového systému ve fázi plnění zrn – Želešice 2013 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).

Odrůda	VKS – plnění zrn
U3	0,36 a
U2	0,37 a
U12	0,39 a
Prestige	0,44 ab
U11	0,45 ab
U5	0,46 ab
Saloon	0,47 ab
Jersey	0,48 ab
Diplom	0,50 ab
U9	0,77 b

Pro zjištění vlivu odrůdy, lokality a interakce faktorů odrůda × lokalita na výnos ječmene jarního byla použita vícefaktorová analýza variance. Bylo zjištěno, že ani jeden z faktorů neměl statisticky prokazatelný vliv na výnos ječmene jarního na dané lokalitě. Nejmenší výnos zrna na jednu rostlinu dosáhli křížence U2 (5,72 g) a odrůda Prestige (6,71 g). Největšího výnosu zrna na jednu rostlinu na lokalitě Želešice dosáhli odrůda Saloon (8,99 g) a křížence U9 (10,36 g). Průměrný výnos zrna na jednu rostlinu byl v Želešicích 8,07 g. Křížence U9 vynikal v daných podmínkách svou velikostí kořenového systému ve všech třech měření a poskytl také největší výnos.

V roce 2013 byly v Želešicích zjištěny statisticky průkazné korelace mezi VKS a výnosem zrna ve všech měřeních. Ve fázi plnění zrn ($r = 0,839^{**}$) a v průměru ze všech měření ($r = 0,895^{**}$) byl zjištěn vysoce statisticky průkazný vztah mezi VKS a výnosem zrna. Kořenový systém měl tedy zásadní význam pro tvorbu výnosu zrna ječmene na

dané lokalitě již od počátku vegetace. Odrůdy s větším kořenovým systémem by v těchto podmínkách měly dosáhnout vyššího výnosu, než odrůdy s kořenovým systémem méně vyvinutým.

Tab. 9.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Želešicích 2013.

	Sloupkování	Metání	Plnění zrn	Průměr
Výnos zrna × VKS	0,650*	0,824*	0,839**	0,895**

4.2.5 Velikost kořenového systému a výnos ječmene setého v Hořejších Kunčicích 2014

V Hořejších Kunčicích byla VKS měřena rovněž ve třech růstových fázích (sloupkování, metání, plnění zrn). Ve fázi sloupkování nebyl prokázán statisticky významný rozdíl ve velikostech kořenového systému u jednotlivých odrůd. Ve fázi sloupkování byla zaznamenána nejmenší VKS u odrůd Diplom (3,02 nF) a křížence U2 (3,10 nF), naopak největší kořenový systém byl zjištěn u odrůd Saloon (3,40 nF) a křížence U5 (3,47 nF). Ve fázi metání se také nepotvrdil statisticky významný rozdíl mezi VKS u vyšetřovaných odrůd. V této fázi byl nejmenší kořenový systém zjištěn u kříženců U3 (1,69 nF) a U2 (1,76 nF). Největší VKS ve fázi metání dosáhli kříženci U9 (2,02 nF) a U5 (2,05 nF). U třetího měření ve fázi plnění zrn se rovněž neprojevil žádný statistický průkazný rozdíl. Nejmenší kořenový systém ve fázi plnění zrn byl zjištěn u kříženců U2 (0,50 nF) a U3 (0,56 nF). Největší kořenový systém měly ve třetím měření odrůdy Jersey (0,65 nF) a U12 (0,66 nF). V průměru hodnot ze všech měření byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl mezi velikostmi kořenových soustav u sledovaných odrůd ječmene. Průměrné hodnoty VKS jsou uvedeny v Tab. 10, z které je patrný rozdíl ve velikosti kořenové soustavy u sledovaných odrůd. VKS u odrůdy Saloon se prokazatelně lišila od všech ostatních odrůd a kříženců.

Tab. 10.: Rozdíl ve velikosti kořenového systému v průměru hodnot ze všech měření – Hořejší Kunčice 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny odlišnými písmeny).

Odrůda	VKS – Průměr hodnot ze všech měření
U2	1,79 a
Diplom	1,80 a
U3	1,81 a
U11	1,82 a
Prestige	1,85 a
U12	1,93 a
Jersey	1,94 a
U9	1,98 a
U5	2,03 a
Saloon	3,40 b

. SVAČINA a kol. (2014) v roce 2011 zjistili v součtu měření největší VKS u odrůdy Jersey (9,21 nF) a nejmenší u odrůdy Prestige (8,08 nF). Na lokalitě Hořejší Kunčice v roce 2014 byl v součtu měření největší kořenový systém zaznamenán u odrůdy Saloon (6,01 nF) a nejmenší u odrůdy Diplom (5,41 nF).

V Hořejších Kunčicích byl také u ječmene jarního zkoumán vliv odrůdy na výnos celkové biomasy. Pomocí jednofaktorové analýzy variance bylo zjištěno, že odrůda v daném ročníku na dané lokalitě neměla na výnos biomasy statisticky průkazný vliv. Nejmenší produkce biomasy jednou rostlinou byla zjištěna u kříženců U3 (14,64 g) a U11 (15,01 g). Největší produkcí biomasy na jednu rostlinu měla odrůda Jersey (18,07 g) a kříženec U5 (18,75 g).

V Hořejších Kunčicích nebyl v roce 2014 zjištěn statisticky významný korelační vztah mezi VKS a výnosem biomasy. Ve fázi sloupkování byl zjištěn korelační koeficient $r = 0,552$, tento koeficient nevypovídá o statisticky průkazném vztahu, ale naznačuje těsnější závislost hodnocených vlastností v této vegetační fázi. Kořenový systém mohl tedy mít v počátečních fázích růstu na výnos největší vliv, se stárnutím rostliny se tento vliv pomalu ztrácel. Hodnoty korelačních koeficientů jsou znázorněny v Tab. 11.

Tab. 11.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu biomasy v Hořejších Kunčicích v roce 2014.

	Sloupkování	Metání	Plnění zrn	Průměr
Výnos biomasy × VKS	0,552	0,499	0,017	-0,024

Vliv odrůdy na výnos zrna v Hořejších Kunčicích také nebyl statisticky průkazný. Nejmenší výnos zrna od jedné rostliny byl zjištěn u odrůdy Diplom (7,69 g) a křížence U3 (7,72 g). Největšího výnosu zrna dosáhly rostliny, které měly rovněž největší produkci biomasy a to odrůda Jersey (9,77 g) a kříženec U5 (9,81 g).

Statisticky průkazný korelační vztah mezi VKS a výnosem zrna nebyl zjištěn. Hodnoty korelačních koeficientů jsou znázorněny v Tab. 12., výnos zrna, obdobně jako výnos biomasy, byl pozitivně ovlivněn velikostí kořenového systému v raných fázích růstu. Stárnutím rostlin došlo k zeslábnutí vlivu kořenového systému na sledované výnosové parametry.

Tab. 12.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Hořejších Kunčicích v roce 2014.

	Sloupkování	Metání	Plnění zrn	Průměr
Výnos zrna × VKS	0,489	0,354	-0,166	-0,117

4.2.6 Nádobový pokus s ječmenem setým v roce 2014

U čtyř vybraných kříženců (U2, U9, U11 a U12) byla sledována VKS pomocí měření elektrické kapacity kořenového systému, měření bylo provedeno pětkrát za vegetaci. Nádobový pokus byl veden ve čtyřech variantách závlahy: (1) přirozený úhrn srážek, (2) plná polní kapacita na úrovni vlhkosti 25 % objemových, (3) mírný stres suchem (20 %), (4) silný stres suchem (15 %). Z průměrné VKS ze všech měření, byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl ve velikosti kořenového systému u sledovaných kříženců. Nejmenší kořenový systém měl kříženec U12 (2,43 nF). Největší kořenový systém byl zjištěn u křížence U9 (2,98 nF) (viz. Tab. 13). Podobné výsledky u křížence U9 byly zaznamenány také v polních pokusech v Hrubčicích a Želešicích v roce 2013.

Tab. 13.: Rozdíly v průměrné velikosti kořenového systému vybraných kříženců v nádobovém pokusu v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).

Kříženec	VKS – Průměr hodnot ze všech měření
U12	2,43 a
U2	2,45 a
U11	2,48 a
U9	2,98 b

Vícefaktorovou analýzou variance byl u nádobového pokusu zjišťován vliv křížence a varianty na produkci biomasy a výnos zrna. Vliv křížence na výnos biomasy se nepotvrdil, avšak vliv varianty na výnos biomasy byl v nádobovém pokusu statisticky průkazný. Nejmenší výnos biomasy na jednu rostlinu poskytl kříženec U12 (19,18 g), největší výnos byl zjištěn u křížence U9 (28,60 g). Rostliny, které byly pěstovány ve variantě silně stresované suchem, poskytly nejmenší výnos biomasy na jednu rostlinu a to v průměru (14,60 g). Největší výnos biomasy byl zjištěn ve variantě zavlažované na úroveň plné polní kapacity půdy, kde rostliny neměly o vláhu nouzi a v průměru dosáhly výnosu na jednu rostlinu (33,60 g (viz. Tab. 14)).

Tab. 14.: Vliv varianty na výnos biomasy – nádobový pokus v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou vyznačeny rozdílnými písmeny).

Varianta	Průměrný výnos biomasy na jednu rostlinu (g)
Silný stres suchem (4)	14,60 a
Přirozený úhrn srážek (1)	15,83 a
Mírný stres suchem (3)	28,52 b
Plná polní kapacita (2)	33,60 b

V nádobovém pokusu měl na výnos zrna ječmene statisticky průkazný vliv jak kříženec, tak varianta pokusu. Kříženec s největší VKS (U9) poskytl také nejvyšší výnos zrna na jednu rostlinu, stejný vztah platí i pro křížence U12, který měl nejmenší průměrnou VKS a poskytl také nejnižší výnos zrna. Varianta pokusu měla na výnos zrna zásadní vliv. Rostliny ve variantách s mírným stresem způsobeným suchem a s plnou polní kapacitou poskytly několikanásobně větší výnos zrna než rostliny stresované suchem a rostliny vegetující v podmínkách přirozeného úhrnu srážek. Dostupnost půdní vláhy byl tedy faktor významně ovlivňující výnos zrna.

Tab. 15.: Vliv křížence na výnos zrna – nádobový pokus v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).

Odrůda	Průměrný výnos zrna na jednu rostlinu (g)
U12	4,79 a
U2	7,27 b
U11	7,56 b
U9	8,73 b

Tab. 16.: Vliv varianty na výnos zrna – nádobový pokus v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).

Varianta	Průměrný výnos zrna na jednu rostlinu (g)
Přirozený úhrn srážek (1)	1,92 a
Silný stres suchem (4)	2,87 a
Mírný stres suchem (3)	9,93 b
Plná polní kapacita (2)	13,63 c

Tab. 17.: Vliv interakce faktorů odrůda × varianta na výnos zrna – nádobový pokus v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou vyznačeny rozdílnými písmeny).

Odrůda	Varianta	Průměrný výnos zrna (g)
U12	Přirozený úhrn srážek	0,91 a
U12	Silný stres suchem	1,61 a
U9	Přirozený úhrn srážek	1,81 a
U11	Přirozený úhrn srážek	2,35 ab
U2	Přirozený úhrn srážek	2,61 ab
U9	Silný stres suchem	2,73 ab
U2	Silný stres suchem	2,78 ab
U11	Silný stres suchem	4,35 abc
U12	Mírný stres suchem	7,50 bcd
U12	Plná polní kapacita	9,13 cde
U2	Mírný stres suchem	9,31 cde
U9	Mírný stres suchem	10,89 de
U11	Plná polní kapacita	11,55 de
U11	Mírný stres suchem	11,99 de
U2	Plná polní kapacita	14,38 ef
U9	Plná polní kapacita	19,48 f

U výnosu zrna a VKS byl zjištěn statisticky průkazný vztah ($r = 0,765^*$) pouze ve fázi metání. V dalších sledovaných vegetačních fázích se průkazný korelační vztah mezi

VKS a výnosem nepotvrdil. U výnosu biomasy nebyl vztah prokázán ve fázi sloupkování, v pozdějších fázích a v průměru hodnot ze všech měření se potvrdil. Ve fázi metání resp. plnění zrn byl zjištěn vysoce průkazný korelační vztah mezi VKS a výnosem biomasy $r=0,816^{**}$ resp. $r=0,741^*$. Kořenový systém měl tedy pozitivní vliv na produkci biomasy od fáze metání. Kříženci s větším kořenovým systémem mohli poskytnout větší produkci biomasy. Nejvyšší VKS dosáhl kříženec U9. Výsledné korelační koeficienty jsou očištěny od pokusných vlivů dle CHLOUPKA (1996). Závislost VKS a výnosu vybraných kříženců dokumentuje Tab. 18.

Tab. 18.: Tabulka korelačních koeficientů závislost VKS, výnosu zrna a výnosu biomasy v nádobovém pokusu v roce 2014.

	Sloupkování	Metání	Plnění zrn	Průměr
Výnos zrna × VKS	0,014	0,765*	0,663	0,616
Výnos biomasy × VKS	0,298	0,816**	0,741*	0,804*

5 ZÁVĚR

Kořen jakožto hlavní orgán příjmu vody je důležitý faktor, který dokáže ovlivnit výnos a kvalitu sklizených produktů. Význam většího a hlubšího kořenového systému se projeví především v období sucha, kdy dokáže pro rostlinu získat potřebnou vláhu a živiny z hlubších vrstev půdy. S měnícím se klimatem a zvyšujícími se výskyty sucha během vegetace bude mít šlechtění rostlin na větší kořenový systém své opodstatnění. Pro měření velikosti kořenového systému existuje mnoho účinných metod, v rámci této práce byla použita nedestruktivní metoda měření kořenového systému pomocí elektrické kapacity a metoda soil-core.

Elektrická kapacita kořenového systému byla měřena u čtyř odrůd ječmene a jejich šesti kříženců celkem na čtyřech lokalitách mezi lety 2012 – 2014. Ve všech letech byl zkoumán vztah mezi VKS a výnosem zrna. V roce 2014 byl u polního a nádobového pokusu hodnocen také vliv VKS na produkci biomasy. Velikostí kořenového systému napříč sledovanými lety a lokalitami vynikal kříženec U9 což značí jeho dobrou adaptabilitu a plasticitu. V roce 2012 v Hrubčicích byl zjištěn statisticky průkazný korelační vztah mezi VKS a výnosem zrna pouze ve fázi metání ($r = 0,636^*$). V roce 2012 byla na lokalitě Hrubčice sledována také intenzita prokořenění ječmene setého v půdním profilu. Největší prokořenění bylo zaznamenáno ve vrstvě 0 – 10 cm a to $15,37 - 17,82 \text{ cm.cm}^{-3}$, v této vrstvě se oproti hlubším částem půdy nacházelo převážné množství kořenové biomasy (55,6 %). V Hrubčicích v roce 2013 se průkazná korelace potvrdila taktéž ve fázi metání ($r = 0,643^*$) a byla potvrzena také z průměru hodnot za celou vegetaci ($r = 0,645^*$). Z dvouletých výsledků (rok 2012 a 2013), které byly naměřeny na lokalitě Hrubčice, byl zjištěn vysoce průkazný vztah mezi VKS a výnosem zrna ve fázi sloupkování ($r = 0,705^{**}$) metání ($r = 0,782^{**}$) a z průměru hodnot za celou vegetaci ($r = 0,764^{**}$). V Želešicích v roce 2013 byl zjištěn průkazný korelační vztah mezi VKS a výnosem zrna ve všech měřeních. Ve fázi plnění zrn ($r = 0,839^{**}$) a v průměru hodnot ze všech měření ($r = 0,895^{**}$) byl zjištěn vysoce průkazný vliv VKS na výnos zrna. Kořenový systém měl tedy v Želešicích v roce 2013 podstatný vliv na výnos zrna během celé vegetace. Na polním pokusu v Hořejších Kunčicích v roce 2014 nebyly zjištěny žádné průkazné korelační vztahy mezi VKS a výnosem, tento výsledek mohl být způsoben tím, že rostliny měly v průběhu vegetace dostatek vláhy a vliv kořenového systému na výnos se neprojevil. V nádobovém pokusu v roce 2014 byl zjištěn průkazný vztah mezi VKS a výnosem zrna pouze ve fázi metání ($r = 0,765^*$).

Mezi VKS a výnosem biomasy byl zjištěn vysoce průkazný vztah ve fázi metání ($r = 0,816^{**}$), ve fázi plnění zrn ($r = 0,741^*$) a v průměru hodnot ze všech vegetačních fází ($r = 0,804^*$) se průkazný vztah také projevil. Mezi lety 2012 – 2014 a napříč sledovanými lokalitami byly prokázány pozitivní korelace mezi VKS a výnosem. Kořenový systém má tedy u ječmene za určitých podmínek (např. sucha) významný vliv na produkci zrna i biomasy.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AHMAD P., PRASAD M., 2012: Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability. *New York: Springer*, s. 473. ISBN 978-1-4614-0633-4.

ALLEN M.F., VARGAS R., GRAHAM E.A., SWENSON W., HAMILTON M., TAGGART M., HARMON T.C., RAŤKO A., RUNDEL P. FULKERSON B., ESTRIN D., 2007: Soil sensor technology: Life within a pixel. *Bioscience*, vol. 57, s. 859 – 867.

BARBER S. A., 1979: Corn residue management and soil organic matter. *Agron. J.* vol. 71, no. 4, s. 625-627.

BLÁHA L., HNILIČKA F., NOVÁK V., 2001: *Růst a vývoj rostlin pšenice z osiva ovlivněného abiotickými stresy*. Databáze online [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://www.agris.cz/clanek/110041/rust-a-vyvoj-rostlin-psenice-z-osiva-ovlivneneho-abiotickymi-stresy>

BLÁHA L., VYVADILOVÁ M., 2010: *Současné možnosti využití hodnocení kořenového systému při pěstování a šlechtění rostlin*, s. 276 – 296. In: Bláha, L., Hnilička, F., Martinková, J. (ed): *Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly)*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, s. 307. ISBN 978-80-7427-023-9.

BÖHM W. et al., 1979: *Methods of studying root systems*. Springer, Berlin, s. 188.

EGLI S., KÄLIN I., 1991: Root window technique for in vivo observation of ectomycorrhiza on forest trees. In: Norris JR, Read DJ, eds. *Methods in Microbiology*, New York; Academic Press, s. 423-433.

ESHEL A., HENIG-SEVER N., NE'EMAN G., 2000: Spatial variation of seedling distribution in an east Mediterranean pine woodland at the beginning of post-fire succession, *Plant Ecology*, vol. 148, s. 175 – 182.

ESHEL A., BEECKMAN T., 2013: *Plant roots: the hidden half*. 4th ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, Taylor & Francis Group, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 978-1-4398-4648-3.

FAGERIA N., 2013: *The role of plant roots in crop production*. Boca Raton, FL: CRC Press, vii-xv, s. 451. ISBN 978-1-4398-6737-2.

GAHOONIA T. S., NIELSEN N. E., 2004: Barley genotypes with long root hairs sustain high grain yields in low-P field. *Plant and Soil*, vol. 262, s. 55-62.

GREGORY P. J., 2006: *Plant roots: growth, activity, and interaction with soils*. Oxford: Blackwell Publishing, s. 318. ISBN 978-1-4051-1906-1.

GÜTNER, G.B., 2002: Root Architecture – Wheat as a Model Plant, s. 249 – 322 In: WAISEL, Y., ESHEL, A., KAFKAFI, U. (eds.) : *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, s. 1120.

HABERLE J., 2013: *Využití plodinových modelů pro simulaci dopadu klimatické změny a výběr vhodných znaků kořenů a nadzemních částí pro šlechtění na tyto podmínky*, s. 97 – 107. In. Bláha, L., Šerá, B. (ed): *Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci rostlin*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, s. 195. ISBN 978-80-7427-129-8

HABERLE J., MIKYSKOVÁ J., 2007: Relation of cereals yields and variability to soil-climate and production characteristics of districts of the Czech Republic, *Journal of Central European Agriculture*, vol. 7, no. 4, s. 661 – 668.

HABERLE J., TRČKOVÁ M., RŮŽEK P., 2008: *Příčiny nepříznivého působení vlivu sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 28 s. ISBN 978-80-87011-45-4.

HAJZLER M., KLIMEŠOVÁ J., STŘEDA T., 2012: Biomass production of white mustard (*Sinapis alba* L.) varieties in relation to the root system size. In: *Jahrestagung*

der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 22-23 November 2011, Raumberg-Gumpenstein, von Markergestützter Selektion zu Genomischer Selektion in der Pflanzenzüchtung, wheat stress und robust wheat, vol. 62, s. 105 – 108. ISBN 978-3-902559-74-6.

HAKL, J., MÁŠKOVÁ, K., ŠANTRŮČEK, J., HREVUŠOVÁ, Z.: *Development of root morphology traits of the Czech lucerne varieties in chernozem over a three year period. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2012, LX, No. 3, s. 25–34.*

HÄSLER R., STREULE A., TURNER H., 1999: Shoot and root growth of young *Larix decidua* in contrasting microenvironments near the alpine timberline. *Phyton*. Vol. 39, s. 47 – 52.

HERRERA, J., VERHULST N., GOVAERTS B., 2012: *Strategies to identify genetic diversity in root traits, s. 97 – 108. In: REYNOLDS M. P., PASK A. J. D., MULLAN D. M., (ed): Physiological breeding I: interdisciplinary approaches to improve crop adaptation. CIMMYT, s. 174, ISBN: 978-970-648-181-8.*

HEŘMANSKÁ A., STŘEDA T., CHLOUPEK O., 2014: Improved wheat grain yield by a new method of root selection. *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 35, s. 195-202.

CHENG W.X., COLEMAN D.C., BOX J.E., 1991: Measuring root turnover using the minirhizotron technique. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 34, s. 261 – 267.

CHLOUPEK O., 1972: The relationship between electric capacitance and some other parameters of plant roots. *Biologia Plantarum*, vol. 14, s. 227-230.

CHLOUPEK O., 1996: *Zemědělský výzkum*. Academia, Praha, 188 s., ISBN 80-200-0576-5.

CHLOUPEK O., DOSTÁL V., STŘEDA T., PSOTA V., DVOŘÁŠKOVÁ O., 2010: Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding*, vol. 129, s. 630 – 636.

JACKSON R.B., CANADELL J., EHLERINGER J.R., MOONEY H.A., SALA O.E., SCHULZE E.D., 1996: A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, vol. 108, s. 389–411.

JAVŮREK M., VACH M., 2008: *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Databáze online [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://www.vurv.cz/files/Publications/ISBN978-80-87011-57-7.pdf>

JOHNSON M.G., TINGEY D.T., PHILIPS D.L. STORM M.J., 2001: Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 45, s. 263 – 289.

KASPAR, T. C., BLAND L., 1992: Soil temperature and root growth. *Soil Science*, vol. 154, no. 4, s. 290-299.

KLIMEŠOVÁ J., STŘEDA T., HAJZLER M., 2011: *Yield and quality of spring barley in relation to root systém size*. Databáze online [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2011/articles/27_klimesova_506.pdf

KLIMEŠOVÁ J., STŘEDA T., 2014: *Vodní provoz polních plodin – pohled zemědělců a šlechtitelů*, s. 52 – 58. In. Hnilička, F. (ed): *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*. Česká zemědělská univerzita v Praze, s. 284. ISBN 978-80-213-2475-6.

KROON H., VISSER E., 2003: *Root ecology*. Berlin: Springer, xvii, s. 394 s. ISBN 3-540-00185-9.

MAJDI H., SMUCKER A.J.M., PERSSON H., 1992: A comparison between minirhizotron and monolith sampling methods for measuring root growth of maize (*Zea mays* L.). *Plant Soil*, vol. 147, s. 127-134.

MANCUSO S., 2012: *Measuring roots: an updated approach*. Berlin: Springer, xiii, s. 382. ISBN 9783642220678.

MANSCHADI, A., MANSKE, G., VLEK, P., 2013: Root Architecture and Resource Acquisition: Wheat as a Model Plant, p. (22-1) – (22-18) In: ESHEL A., BEECKMAN T. *Plant roots: the hidden half*. 4th ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, Taylor & Francis Group, c2013, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 978-1-4398-4648-3.

MCMICHAEL, B., BURKE, J., 2002: Temperature effects on root growth, p. 717 – 728 In: WAISEL, Y., ESHEL, A., KAFKAFI, U. (eds.) : *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, s. 1120.

NADEZHDINA N., ČERMÁK J., 2003: Instrumental methods for studies of structure and function of root systems of large trees. *Journal of Experimental Botany*, vol. 54, no. 387, s. 1511-1521.

NOORDWIJK V. M., BROUWER G., MEIJBOOM F., 2000: Trench profile techniques and core break methods, s. 211 - 233 In. SMITH A. L. (ed.): *Root Methods A Handbook*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, s. 594. ISBN 978-3-662-04188-8.

NIELSEN B., 2013: *Root development in young corn purdue university, an equal access, equal opportunity university*. Databáze online [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/Roots.html>

PAREEK A., 2010: *Abiotic stress adaptation in plants: physiological, molecular and genomic foundation*. Dordrecht, Netherlands: Springer, xxvii, 526 s. ISBN 978-90-481-3111-2.

PETR J., 1987: *Počasi a výnosy*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, s. 365.

POLOMSKI J., KUHN N., 1998: *Wurzelsysteme*. Bern, Switzerland: WSL, Paul Haupt.

POLOMSKI, J., KUHN, N., 2002: Root Research Methods, p. 295 – 322 In: WAISEL, Y., ESHEL, A., KAFKAFI, U. (eds.) : *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, s. 1120.

PRÁŠIL T., KOSOVÁ K., VÍTÁMVÁS P., PRÁŠILOVÁ P., ZELENKOVÁ S., 2010: *Současné možnosti zvyšování odolnosti plodin vůči stresu mrazu a chladu*, s. 276 – 296. In: Bláha, L., Hnilička, F., Martinková, J. (ed): *Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly)*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, s. 307. ISBN 978-80-7427-023-9.

PROCHÁZKA S., 2007: *Botanika: morfologie a fyziologie rostlin*. 3. vyd. / . Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, s. 242. ISBN 978-80-7375-125-8.

PSOTA V., SVORAD M., 2003: Odrůdy ječmene registrované ve Slovenské republice v roce 2003. *Kvasný průmysl*, vol. 49, s. 336 – 339.

SKLÁDANKA J., 2006: Multimediální učební texty píceinářství. *Ústav výživy zvířat a píceinářství*. Databáze online [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kukurice.html

STEINGROBE B., SCHMID H., CLAASSEN N., 2001: The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops—influence of soil and root disturbance during installation of the bags on root ingrowth into the cores. *European Journal of Agronomy*, vol. 15, s. 143-151.

STŘEDA T., DOSTÁL V., ULLMANNOVÁ K., 2009: Root systém as a factor of oilseed rape yield formation. In: *MendelNet'09 Agro–Proceedings of International Ph. D. Students Conference*.

STŘEDA T., DOSTÁL V., HAJZLER M., CHLOUPEK O., 2010: *Odrůdová variabilita kořenového systému u ječmene jarního – vliv na výnos a kvalitu zrna*, s. 207 – 210. (ed): Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produkt. Vědecká příloha časopisu Úroda. Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r.o. Troubsko, s. 895.

Středa T., Dostál V., Horáková V., Chloupek O.: 2012: Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe. *Agricultural Water Management*, vol. 104, s. 203-209.

STŘEDA T., HAJZLER M., CHLOUPEK O., 2013: *Kořenový systém jako faktor tvorby výnosu a kvality polních plodin*, s. 55 – 60. In: Hnilička, F. (ed): Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v. i. Praha – Ruzyně, s. 326. ISBN 978-80-7427-131-1.

STŘEDA T., KLIMEŠOVÁ J., STŘEDOVÁ H., 2014: *Úskali měření a hodnocení vybraných faktorů tvorby výnosu polních plodin*, s. 101 – 135. In: Bláha, L., Šerá, B. (ed): Příspěvky k problematice zemědělského pokusnictví. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, s. 140. ISBN 978-80-7427-153-3.

SUPRUNOVA T., KRUGMAN T., DISTELFELD A., FAHIMA T., NEVO E., KOROL A., 2007: Identification of a novel gene (Hsdr4) involved in water-stress tolerance in wild barley. *Plant Molecular Biology*, vol. 64, s. 17-34.

SVAČINA P., STŘEDA T., CHLOUPEK O., 2014: Uncommon selection by root system size increases barley yield. *Agronomy for sustainable development*, vol. 34, no. 2, s. 545 – 551.

ÚKZUZ., 2006: SDO – Seznam doporučených odrůd – Obilniny/Recommended List of Varieties – Cereals. *eAGRI*. Databáze online [cit. 2015-03-24]. Dostupné z:http://eagri.cz/public/web/file/112938/SDO_ListovkaJJ.pdf

VACH M., JAVŮREK M., 2009: *Ekologická optimalizace hlavních pěstitelských opatření pro polní plodiny*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 30 s. ISBN 978-80-7427-007-9.

WAISEL Y., ESHEL A., KAFKAFI U., 2002: *Plant roots: the hidden half*. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, xix, s. 1120. ISBN 0-8247-0631-5.

WATT, M., WASSON, A., CHOCHOIS, V., 2013: Root-Based Solutions to Increasing Crop Productivity, p. (21-1) – (21-17) In: ESHEL A., BEECKMAN T. *Plant roots: the hidden half*. 4th ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, Taylor & Francis Group, c2013, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 978-1-4398-4648-3.

WHITE J. W., CASTILLO J. A., 1989: Relative effect of root and shoot genotypes on yield of common bean under drought stress. *Crop Science*, vol. 29, s. 360 – 362.

ZENG G., BIRCHFIELD S.T., WELLS C.E., 2008: Automatic discrimination of fine roots in minirhizotron images. *New phytol*, vol. 177, s. 549-557.

ZIMOLKA J. A KOL., 2006: *Ječmen - formy a užitkové směry v České republice*. 1. vyd. Praha: Profi Press, s. 200. ISBN 80-86726-18-5.

7 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

<i>Obr. 1.: Založení polního pokusu s ječmenem setým v Hořejších Kunčicích v roce 2014 (zdroj – autor 2014).</i>	35
<i>Obr. 2.: Umístění snímačů pro měření objemové vlhkosti půdy v Hořejších Kunčicích (zdroj – autor 2014).</i>	36
<i>Obr. 3.: Měření elektrické kapacity kořenového systému (zdroj – T. Středa 2014).</i>	38
<i>Obr. 4.: Objemová vlhkost půdy na lokalitě Hrubčice v roce 2012.</i>	40
<i>Obr. 5.: Objemová vlhkost půdy na lokalitě Hrubčice v roce 2013.</i>	41
<i>Obr. 6.: Objemová vlhkost půdy na lokalitě Želešice v roce 2013.</i>	42
<i>Obr. 7.: Objemová vlhkost půdy na lokalitě Hořejší Kunčice v roce 2014.</i>	43
<i>Obr. 8.: Intenzita prokořenění vybraných odrůd na lokalitě Hrubčice v roce 2012</i>	44

Seznam tabulek

<i>Tab. 1.: Schéma řazení odrůd a kříženců v jednom opakování.</i>	34
<i>Tab. 2.: Termín založení polních pokusů a termíny měření elektrické kapacity v Hořejších Kunčicích, Hrubčicích a Želešicích.</i>	35
<i>Tab. 3.: Rodičovské komponenty vybraných hybridů ječmene setého.</i>	36
<i>Tab. 4.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Hrubčicích 2012.</i>	44
<i>Tab. 5.: Velikost kořenového systému ve fázi metání – Hrubčice 2013 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).</i>	45
<i>Tab. 6.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Hrubčicích 2013.</i>	46
<i>Tab. 7.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Hrubčicích z průměru hodnot za rok 2012 a 2013.</i>	46
<i>Tab. 8.: Velikost kořenového systému ve fázi plnění zrn – Želešice 2013 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).</i>	47
<i>Tab. 9.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Želešicích 2013.</i>	48

<i>Tab. 10.: Rozdíl ve velikosti kořenového systému v průměru hodnot ze všech měření – Hořejší Kunčice 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny odlišnými písmeny).</i>	49
<i>Tab. 11.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu biomasy v Hořejších Kunčicích v roce 2014.</i>	50
<i>Tab. 12.: Tabulka korelačních koeficientů závislosti VKS a výnosu zrna v Hořejších Kunčicích v roce 2014.</i>	50
<i>Tab. 13.: Rozdíly v průměrné velikosti kořenového systému vybraných kříženců v nádobovém pokusu v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).</i>	51
<i>Tab. 14.: Vliv varianty na výnos biomasy – nádobový pokus v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou vyznačeny rozdílnými písmeny).</i>	51
<i>Tab. 15.: Vliv křížence na výnos zrna – nádobový pokus v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).</i>	52
<i>Tab. 16.: Vliv varianty na výnos zrna – nádobový pokus v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou označeny rozdílnými písmeny).</i>	52
<i>Tab. 17.: Vliv interakce faktorů odrůda × varianta na výnos zrna – nádobový pokus v roce 2014 (Statisticky odlišné páry hodnot jsou vyznačeny rozdílnými písmeny).</i>	52
<i>Tab. 18.: Tabulka korelačních koeficientů závislost VKS, výnosu zrna a výnosu biomasy v nádobovém pokusu v roce 2014.</i>	53