

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2016

Bc. DOMINIK LUKÁŠEK



Agronomická
fakulta

Mendelova
univerzita
v Brně



**Srovnání kořenového systému hybridů trav *xFestulolium* s
rodičovskými druhy**

Diplomová práce

Vedoucí práce:

doc. Ing. Stanislav Hejduk, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Dominik Lukášek



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Dominik Lukášek**
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Zemědělské inženýrství
Konzultant: Ing. Michal Kvasnovský
Název tématu: **Srovnání kořenového systému hybridů trav xFestulolium s rodičovskými druhy**
Rozsah práce: 50 stran textu + tabulkové a obrazové přílohy

Zásady pro vypracování:

1. Shromáždění literatury související s tématem a její studium
2. Vytvoření rešerše na téma hodnocení vývinu kořenového systému vytrvalých trav
3. Založení a ošetřování nádobového pokusu v areálu MENDELU s vybranými druhy trav
4. Postupný odběr rostlin pro destrukční hodnocení kořenového systému a nadzemní biomasy pomocí přístroje Winrhizo.
5. Statistické hodnocení získaných dat
6. Formulace závěrů a doporučení pro praxi

Seznam odborné literatury:

1. BOLLER, B. – POSSELT, U K. *Fodder crops and amenity grasses*. New York, NY: Springer, 2010. 523 s. ISBN 978-1-4419-0759-2.
2. HOPKINS, A. *Grass : its production and utilization*. 3. vyd. Oxford: Blackwell Science, 2000. 440 s. ISBN 0-632-05017-9.
3. HRABĚ, F. a kol. *Trávy a jetelovino trávy v zemědělské praxi*. 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství ing. Petr Baštan, 2004. 121 s. ISBN 80-7157-816-9.
4. LARCHER, W. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stressphysiology of functional groups*. 4. vyd. Berlin: Springer Verlag, 2003. 513 s. ISBN 3-540-43516-6.
5. LEMAIRE, G. – HODGSON, J G. *Grassland productivity and ecosystem services*. Wallingford, Oxfordshire: CABI, 2011. 287 s. ISBN 978-1-84593-809-3.
6. Abberton, M.T., Marshall, A.H., Humphreys, M.W., Macduff, J.H., Collins, R.P., Marley, C.L., 2008: Genetic improvement of forage species to reduce the environmental impact of temperate livestock grazing systems. *Advances in Agronomy*, 98, 311-355
7. Macleod, C.J.A., Binley, A., Hawkins, S.L., Humphreys, M.W., Turner, L.B., Whalley, W.R., Haygarth, P.M., 2007: Genetically modified hydrographs: what can grass genetics do for temperate catchment hydrology? *Hydrological processes*, 21:2217-2221

Datum zadání diplomové práce: listopad 2014

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2016

L. S.


Bc. Dominik Lukášek
Autor práce




doc. Ing. Stanislav Hejduk, Ph.D.
Vedoucí práce


doc. Ing. Jiří Skládanka, Ph.D.
Vedoucí ústavu


doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.
Děkan AF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: *Srovnání kořenového systému hybridů trav xFestulolium s rodičovskými druhy* 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:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu, panu doc. Ing. Stanislavu Hejdkovi Ph.D., za ochotu a pomocnou ruku při sepisování této práce a zpracování získaných výsledků. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalu Kvasnovskému, který mě zasvětil a pomáhal při organizaci pokusu a způsobu získávání výsledků analýzou skenů.

Abstrakt

Jílky jsou obecně považovány za optimální travní druhy pro intenzivní zemědělství v oblastech s dostatkem srážek, neboť poskytují vysokou produkci kvalitní píče. Bohužel jim chybí odolnost vůči abiotickým stresům. S ohledem na probíhající klimatickou změnu, kdy těchto stresů bude přibývat, se hledají geny z lépe adaptovaného rodu *Festuca*. Cílovými znaky jsou lepší využití dusíku a vody pro dosažení vysoké produkce píče, zvýšená odolnost vůči suchu i schopnost prokořenění zhutněných vrstev půdy. Tyto cíle vedou k výzkumu růstu kořenů, které jsou pro plnění výše uvedených cílů zásadní. V návaznosti na výzkumy M. Humphreyse jsme se v našem výzkumu zaměřili na detailní sledování růstu kořenů třech druhů *xFestulolii* a jejich rodičovských druhů v počátečních fázích vývoje. Byly testovány následující trávy: *Festuca arundinacea* (cv. KORA), *Festuca pratensis* (cv. PRONELA), *Lolium multiflorum* (cv. MORAVICE) a *xFestulolium* (cv. HYKOR, HOSTYN a PRIOR). Byla zvolena metoda pěstování ve válcích s pískem ve venkovních podmínkách s přihnojením ve dvou dávkách, odpovídajících celkem 80 kg N/ha. Pokus probíhal ve dvou termínech: 21. 5. – 23. 7. 2015 a 21. 9. – 11. 12. 2015. V 1. termínu byl růst limitován vysokými teplotami. V 2. termínu byly limitující naopak především nízké teploty, hlavně ke konci vegetace. Hodnocenými parametry byly: maximální hloubka zakořenění, celková suchá kořenová biomasa, celková délka kořenů, povrch kořenů, objem kořenů, poměr R/S, hmotnost suché nadzemní biomasy, maximální výška nadzemní biomasy, počet odnoží, počet vyvinutých listů, plocha listů a délka kořenů v jednotlivých tloušťkových kategoriích. Délka, povrch a objem kořenů s plochou listů se vyhodnocovaly prostřednictvím obrazové analýzy skenů v programu WinRHIZO (Regent Instruments, Canada). Ve většině parametrů byla nejlepší *Lolium multiflorum* MORAVICE spolu s *xFestulolium* HOSTYN. Rozdíly mezi nimi jsou ve většině parametrů statisticky neprůkazné (mimo maximální hloubku zakořenění a plochu listů, kde MORAVICE dosáhla průkazně vyšších hodnot). Předpokládané přednosti *xFestulolium* PRIOR, týkající se růstu silných a hlubokých kořenů, se v tomto pokuse neprojeví. Předpokládaným hlavním důvodem je ukončení pokusu v brzké fázi vývoje a nedostatek času pro větší rozvoj silnějších adventivních kořenů.

Klíčová slova: *Festuca*, *Lolium*, *xFestulolium*, kořeny, trávy, délka, hloubka, povrch

Abstract

Rye grass are common considered optimum grass species for intensive agriculture in area with sufficient rainfall, because they provide a high production of quality forage. Unfortunately, they have lack of resistance to abiotic stresses. With heed to the progress climate change, when these stresses will increase, we are looking for genes from better-adapted species of *Festuca*. Target features are better use of nitrogen and water to attainment high production of forage, increased tolerance to drought and ability rooting compacted layers of soil. These targets lead to research on growth of roots, which are to fulfil the above written targets in award. Following the research of M. Humphreys we are focused on detailed monitoring root growth of three species *xFestulolium* and their parent species in the early stages of development in our research. They were tested following grasses: *Festuca arundinacea* (cv. KORA), *Festuca pratensis* (cv. PRONELA), *Lolium multiflorum* (cv. MORAVICE) and *xFestulolium* (cv. HYKOR, HOSTYN and PRIOR). The chosen the method of cultivation in cylinder with sand in outdoor conditions with fertilization in two doses, corresponding to a total 80 kg N/ha. The experiment was performed in two terms: 21. 5. – 23. 7. 2015 and 21. 9. – 11. 12. 2015. In the first term, growth was limited by high temperatures. In the second term were limiting the contrary low temperatures, especially at the end of vegetation. The evaluated parameters were: maximum depth of rooting, total dry root biomass, total root length, root surface, root volume, the ratio R/S, the dry weight of aboveground biomass, maximum height aboveground biomass, number of tillers, number developed leaves, surfaces of the leaves and root length in individual thickness categories. The length, surface and volume of roots with flat leaves, were evaluated through image analysis scans in program WinRHIZO (Regent Instruments, Canada). In most parameters it was the best *Lolium multiflorum* MORAVICE with *xFestulolium* HOSTYN. The differences between them are in most of parameters statistically insignificant (outside the maximum depth of root and flat of leaves, where MORAVICE achieved significantly higher values). Anticipated advantages relating to the growth of strong and deep roots in this experiment did not show. The supposed main reason for the termination of the experiment in the early stage of development.

Keywords: *Festuca*, *Lolium*, *xFestulolium*, roots, grass, lenght, depth, surface

OBSAH

1	ÚVOD	16
2	Cíl práce	17
3	Literární přehled	18
3.1	Anatomie kořene	18
3.2	Význam kořenů pro rostlinu.....	21
3.2.1	Význam, příjem a transport vody kořenem	21
3.2.2	Přijem minerálních živin kořeny.....	22
3.3	Půda ve vztahu ke kořenové soustavě rostlin.....	23
3.3.1	Pevná fáze	23
3.3.1.1	Minerální podstata půdy	24
3.3.1.2	Mrtvá organická hmota a humus	25
3.3.2	Půdní edafon	28
3.3.3	Půdní voda	31
3.3.4	Význam kořenů pro půdu	32
3.4	Specifika růstu kořenů trav	34
3.5	Trávy <i>xFestulolium</i>	36
3.5.1	Cíle a strategie současného šlechtění <i>xFestulolií</i>	36
3.5.2	Produkce F1 hybridů mezi rody <i>Festuca</i> a <i>Lolium</i>	37
3.5.3	Hlavní šlechtitelské úspěchy.....	37
3.6	Metody hodnocení kořenového systému trav	39
4	Materiál a metodika	41
4.1	Kostřava rákosovitá (<i>Festuca arundinacea</i> , cv. Kora)	41
4.2	Kostřava luční (<i>Festuca pratensis</i> , cv. Pronela)	41
4.3	Jílek mnohokvětý (<i>Lolium multiflorum</i> , cv. Moravice)	41
4.4	<i>xFestulolium krasanii</i> , cv. Hykor.....	42

4.5	<i>xFestulolium braunii</i> , cv. Hostyn.....	42
4.6	<i>xFestulolium loliaceum</i> , cv. Prior	42
4.7	Statistické hodnocení	47
5	Výsledky	48
5.1	Maximální hloubka zakořenění.....	48
5.2	Celková suchá kořenová biomasa	49
5.3	Celková délka kořenů.....	50
5.4	Povrch kořenů	51
5.5	Objem kořenů.....	52
5.6	Poměr R/S	53
5.7	Hmotnost suché nadzemní biomasy.....	54
5.8	Maximální výška nadzemní biomasy.....	55
5.9	Počet odnoží.....	56
5.10	Počet vyvinutých listů	57
5.11	Plocha listů	58
5.12	Délka kořenů v jednotlivých tloušťkových kategoriích	60
6	Diskuze	61
7	Závěr	64
8	Literatura.....	65
9	Seznam Grafů a obrázků.....	70
	Seznam tabulek	70

1 ÚVOD

V roce 2015 bylo v České republice podle ČSÚ 957 793 ha trvalých travních porostů a k tomu 458 266 ha pícnin na orné půdě, což je dohromady cca 40 % výměry zemědělské půdy naší země. Z toho vyplývá jejich ohromná ekologická funkce v krajině. Zatímco běžné zemědělce zajímá především splnění dotačních podmínek v případě trvalých travních porostů, a výnos nadzemních částí pícnin na orné půdě, je čím dál více zřejmý význam externalit pěstování víceletých pícnin pro společnost. Jeden z ekologických vlivů pícnin se týká prokořeňování půdy, vlivu na obsah a formu organických látek v půdě, její strukturu, odolnost půdy před povrchovým odtokem a erozní činností a v neposlední řadě také odolností rostlin vůči suchu a efektivnějšímu využívání živin z půdy. Zřejmá je také probíhající změna klimatu, jejíž předpokládané důsledky se ve středoevropském regionu týkají především větší rozkolísanosti počasí, což ve svých důsledcích znamená především častější výskyt přívalových dešťů a dlouhotrvajících období sucha. Úkolem vzdělané zemědělské obce je snažit se minimalizovat tato rizika a apelovat na nápravu špatného zacházení s tím nejcennějším, co my Češi máme, totiž naši krásnou pestrou a úrodnou krajinu.

Technika se vyvíjí a již nyní přichází doba, kdy budeme schopni set veškeré obilniny s přesností srovnatelnou s výsevem kukuřice. Síla a efektivita motorů se zvyšuje, pásové podvozky dovedou šetrně rozložit hmotnost mechanizace, biologické a chemické preparáty jsou na vysoké úrovni, stejně jako práce šlechtitelů nových odrůd, takže pluh či kypřiče už dnes pro efektivní produkci potravin takřka vůbec nepotřebujeme. Vlastně bychom se mohli ptát: „Co je to ta eroze a povrchový odtok, vždyť to vůbec neznáme?“ Bohužel však vývoj smýšlení samotných zemědělců celý pokrok dramaticky zpomaluje a nám nezbyvá než nařizovat, podmiňovat a snažit se vychovávat novou generaci odborníků jdoucích do praxe. Jedním z největších problémů českého zemědělství je devastování půdy pěstováním kukuřice namísto uplatnění pozitivního vlivu trav, jetelovin a jetelotrav na strukturu půdy, využití srážek. V odborné literatuře se objevují studie, že i mezi víceletými travními druhy existují významné rozdíly v působení jejich kořenů na půdu (např. Humphreys 2011). V návaznosti na to se tato práce zabývá růstem a rozložením kořenů několika perspektivních odrůd vysoce výnosných trav v počátečních fázích jejich vývoje.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je porovnat růst kořenů vybraných odrůd kostřavy luční (*Festuca pratensis*) PRONELA, kostřavy rákosovité (*Festuca arundinacea*) KORA, jílku mnohokvětého (*Lolium multiflorum*) MORAVICE a jejich mezirodových hybridů *xFestulolium* HOSTYN (*Lolium multiflorum x Festuca pratensis*), *xFestulolium* HYKOR (*Lolium multiflorum x Festuca arundinacea*) a *xFestulolium* PRIOR (*Lolium perenne x Festuca pratensis*).

Cílem práce je vyhodnotit rychlost růstu kořenové soustavy výše uvedených trav v počátečních stádiích vývoje a její vztah k rychlosti růstu nadzemní biomasy.

Dalším cílem bylo prokázat přednosti odrůdy Prior pro tvorbu hlubších a silnějších kořenů, které zanechávají v půdě makropóry, které mají zásadní význam pro vsakování vody při intenzivnějších srážkách a zamezení povrchového odtoku.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Anatomie kořene

Kořen můžeme v podélné ose rozdělit do několika zón. První zónu, která je zakončena vzrostným vrcholem (*apexem*), nazýváme kořenovou čepičkou. Tato část kořene určuje směr růstu a poskytuje mechanickou ochranu následnému meristému. Její buňky produkují a vylučují slizovitý polysacharid, který usnadňuje pronikání kořene půdou. Pravděpodobně má také velký vliv na komunikaci kořene s půdními mikroorganismy. Střed kořenové čepičky bývá označován jako sloupek – *Colummella*, jehož buňky zpravidla obsahují statolity – tzv. přesýpavá tělíska, která reagují na zemskou tíži a udržují tak pozitivní geotropismus růstu kořene. Těmito statolity jsou většinou amyloplasty s přesýpavým škrobem, nicméně stejnou funkci mohou mít i krystaly šřavelanu vápenatého či bílkovin. Na zemskou tíži reagují i tělíska Golgiho aparátu. Mimo geotropizmu se zde uplatňují i jiné tropismy – chemotropismus, hydrotropismus, aerotropismus. Velikost kořenové čepičky se různí, více vyvinutá bývá u rostlin s rychlým růstem kořenů, méně výrazná pak u rostlin s pomalým růstem kořenů a u kořenů rostoucích v kypré půdě. V případě pšenice se její velikost pohybuje okolo 0,2 mm.

Za sloupkem kořenové čepičky uvnitř meristematického pletiva se nachází tzv. klidové centrum (*quiescent center*), což je skupina mateřských buněk, které se dělí jen výjimečně, např. při poškození kořenového vrcholu. Dělicí aktivita těchto buněk je zřejmě potlačována kyselinou abcisovou (fytohormon ABA) produkovanou kořenovou čepičkou (Procházka a kol. 2007). Na ně navazuje pásmo intenzivně se dělicích buněk meristémové zóny kořene. Rozlišujeme uzavřený a otevřený meristém a jednu vrcholovou buňku u kaprad'orostů. Otevřený meristém se vyznačuje jednou meristematickou skupinou buněk pro všechny oblasti kořene, uzavřený meristém je naopak tvořen třemi skupinami iniciál pro kořenovou čepičku, střední válec a primární kambium s pokožkou.

Duplikující buňky jsou poměrně malé a v další fázi jejich života tedy probíhá jejich objemový růst, přičemž dochází především ke sjednocování velkého zvětšování objemu vakuoly. Následně, nebo i současně s růstem dochází k diferenciaci buněk do

jednotlivých pletiv. V této úrovni tedy dochází k tvorbě cévních svazků a zároveň růstu kořenového vlášení.

Kořenová pokožka je tvořena jednou vrstvou buněk s výrazně tenčí buněčnou stěnou, která není krytá kutikulou na rozdíl od pokožky nadzemních částí (epidermis). Životnost těchto buněk je omezená, a proto je schopnost výměny látek na rozhraní kořen – půda omezena jen na určitou zónu – tzv. „adsorpční kořenovou zónu“. Ta následuje za meristemickou a elongační zónou a s růstem kořene se neustále posouvá. V této zóně, nazývané diferenciační či zóna kořenového vlášení, dochází k diferenciaci buněk středního válce na cévní svazky – xylém a floém. Pro zvětšení povrchu kořene a s ním souvisejících sorpčních schopností se zde tvoří kořenové vlásky (až několika set násobné zvětšení kontaktního povrchu). Ty jsou tvořeny vychlípeninami buněčné stěny pokožkových buněk, případně specializovanými pokožkovými buňkami nazývanými trichoblasty. Životnost kořenového vlášení se druh od druhu liší a záleží bude jistě na mnoha dalších podmínkách jako teplota, vlhkost, ... Obecně se udává životnost 10 – 12 dní (Richter 2004), 15 – 20 dní u jabloně a banánovníku (Skalický, Novák 2007). Tito autoři také uvádějí délku kořenových vlásků v rozmezí 0,1 – 10 mm tlustých přibližně 15 μm . (Některé rostliny však mají životnost kořenových vlásků výrazně delší, jako např. *Gleditsia triacanthos* v řádu měsíců, nebo u některých rostlin z čeledi *Asteraceae* až 2 sezony.) Počet kořenových vlásků na jednotku délky zóny kořenového vlášení může být různý i v rámci jedné rostliny. Výrazně zde záleží nejen na druhu, ale i dostupnosti živin a způsobu jejich získávání. Podle Russela (1998) je v případě jílku vytrvalého (anglického) rostoucího v lehké půdě 88 vlásků na 1 mm délky kořene s celkovou délkou vlášení v tomto úseku 99 mm. U vojtěšky pak 105 a u kukuřice 161 s celkovou délkou 37 a 146 mm. Některé rostliny s rozvinutou ektomykorhizou, např. jedle a borovice, kořenové vlásky netvoří. Vzhledem k rozšířenosti kořenové mykorhizy u většiny druhů rostlin se dá předpokládat její výrazný vliv na růst a vývoj kořenů. Tvorba kořenových vlásků je také inhibována vzrůstající vlhkostí, a proto je těžko najdeme u vodních rostlin. U některých rostlin (bromélie, orchideje) se tvoří několikavrstevná rhizodermis sloužící pro zachytávání a akumulaci vody ze vzdušné vlhkosti. Tento typ pokožky je označován jako „velamen“.

Za aktivní zónou kořenového vlášení se nachází zóna omezeného růstu, z níž v podélných řadách (rhizostichách) vyrůstají vedlejší kořeny založené již dříve v perikambiu blízko kořenového vrcholu. Tyto kořeny s kořenem hlavním svírají jednotný úhel typický pro daný druh (Skalický a Novák 2007).

Vyvinutý kořen se skládá z několika základních pletiv. První vnější vrstvou může, ale také nemusí být rhizodermis. Rhizodermis má zpravidla krátkou životnost a po několika dnech až měsících, jak je uvedeno výše, odumírá. Pokud pokožka zůstává, dochází k tloušťnutí buněčných stěn a jejich impregnaci ligninem, kutinem či suberinem (Skalický, Novák 2007). Pod pokožkou se nachází tzv. primární kůra či kortex, který se sestává ze tří typů pletiv – exodermis, mezodermis a endodermis.

Exodermis je zpravidla jednovrstevná a v případě odumření pokožky se z ní stává krycí pletivo.

Mezodermis je parenchymatické pletivo s velkými mezibuněčnými prostory protaženými ve směru podélné osy kořene. Vyskytují se tu též buňky kolenchymatické a sklerenchymatické. V tomto pletivu dochází k výměně látek mezi rostlinou a jejími mykorhizními symbionty. Podle umístění hyf v pletivu rozlišujeme ektotrofní a endotrofní mykorhizu. V prvním případě, uplatňujícím se hlavně u dřevin, hyfy hub obalují kořen a vnikají do mezibuněčných prostor v primární kůře. V případě endotrofní mykorhizy hyfy pronikají přímo do buněk pokožky a primární kůry, v nichž vytváří arbuskuly a vezikuly. Výskyt arbuskulární mykorhizy se předpokládá u více než 80 % rostlin (Gryndler a kol. 2005). Mezodermis je metabolicky aktivní pletivo do kterého se ukládají zásobní látky v kořeni. Endodermis je vrstva buněk s výrazně impregnovanými stěnami, které k sobě těsně přiléhají a zamezují apoplastickému přenosu látek mezi primární kůrou a středním válcem kořene, kde se nacházejí cévní svazky. Suberinem a ligninem impregnovaná část buněčné stěny je označována termínem *Casparyho proužek*.

Mezi endodermis primární kůry a vlastním středním válcem, nazývaným též stélé, se nachází (kromě vodních a parazitických rostlin) jedno nebo vícevrstvá vrstva buněk latentního meristému – pericyklu. Z pericyklu se tvoří postranní kořeny, adventivní pupeny a felogen v případě druhotně rostoucích kořenů. Felogen produkuje dvě pletiva.

Směrem vně produkuje korek, který nahrazuje primární kůru a vytváří vnější ochrannou vrstvu. Pokožka a pletiva primární kůry jsou vytlačovány, praskají a odlupují se. Směrem dovnitř vytváří felogen parenchymatické pletivo zvané feloderm. Dohromady se tato tři pletiva označují jako periderm.

Střední válec je tvořen cévními svazky, kambiem a případně dřevem ve středu, která se vyskytuje např. u kukuřice, je tvořena parenchymem a má zásobní funkci. Cévní svazky jsou uspořádány paprskovitě, dovnitř xylém, vně floém a mezi nimi se nachází dělivé pletivo – kambium. Při druhotném tloušťnutí kořene pak kambium produkuje sekundární xylém a floém.

3.2 Význam kořenů pro rostlinu

Kořeny mají mnoho funkcí a těžko bychom mohli říkat, že některé jsou podstatnější než jiné. Existují samozřejmě i výjimky, ale u drtivé většiny druhů kořeny spojují rostlinu s půdou. Ukotvují rostlinu v zemi a komunikují s okolím, čímž zajišťují přísun živin z půdy do rostliny a umožňují tak její růst a vývoj. Dále kořeny slouží jako orgán zásobní, umožňující rostlině opětné vyrašení a růst v nové sezoně, případně při poškození, dříve, než je nadzemní část rostliny sama schopna saturovat potřebnou energii a stavební látky fotosyntézou. Velké množství rostlin také kořeny využívá pro vegetativní množení a rozšiřování se do okolí. Kořeny také pomocí svých výměšků, tzv. „kořenových exudátů“, ovlivňují půdní prostředí, zejména rozvoj půdních organismů. Pomocí exudátů mohou působit i na rostliny v okolí (alelopatie), a to jak pozitivně, tak negativně, jak to známe například u trnovníku akátu. Je také známo, že některé dospělé stromy v zapojených lesních porostech dotují skrze kořenovou mykorhizu energií stromy mladé, které by jinak díky zastínění rostly mnohem pomaleji (Gryndler a kol. 2005).

3.2.1 Význam, příjem a transport vody kořenem

Voda je zcela základní a nenahraditelnou živinou všech živých organismů. Voda je pro organismy především univerzálním polárním rozpouštědlem, nosičem a transportním médiem umožňujícím transport široké palety látek od vnitrobuněčné až po globální úroveň. Voda slouží samozřejmě také jako zdroj vodíku a kyslíku pro stavbu organických látek, přenos energie a regulaci elektrického potenciálu například při

příjmu a přenosu iontů minerálních živin. Většina přijaté vody slouží k termoregulaci organismu. Zde se využívá její výjimečně vysoké měrné tepelné kapacity, která činí $4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a měrného výparného tepla, tedy energie potřebné k tomu, aby molekula vody přerušila vodíkové můstky s okolními molekulami a uvolnila se do vzduchu (odpařila se) $2,44 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Transpirace tedy zásadně přispívá k regulaci teploty rostliny.

Většina rostlin získává většinu vody kořenovým příjmem z půdy. Část vody může být dále přijímána z atmosféry povrchem rostliny. Voda je z půdy přijímána jako roztok vody a v ní rozpuštěných látek. Jeho příjem se děje buď vlastní kořenovou pokožkou (rhizodermis), nebo s pomocí mykorhizních symbiontů. Tok vody mezi jednotlivými částmi rostliny probíhá na základě gradientu záporného vodního potenciálu. Ten se běžně pohybuje v desetinách až jednotkách MPa. Na základě stejného gradientu je přijímána voda kořenem z půdy. Pro její příjem musí být tedy vodní potenciál kořene menší (zápornější) než půda v okolí kořene. Vodní roztok se musí dostat z půdy do xylému ve středním válci, aby mohl být následně transportován do nadzemních částí rostliny. Pro tuto cestu existují dvě dráhy – symplastická a apoplastická. Apoplastická cesta je tok vodního roztoku skrze buněčné stěny a mezibuněčné prostory, až k endodermis, kde následně musí vstoupit do cytoplasmy buňky, kvůli nepropustnosti ligninem a suberinem impregnovaných buněčných stěn endodermis, tzv. Casparyho proužků. Při sympastické cestě je roztok přijímán do pokožkových buněk a následně aktivně transportován do středního válce skrze buněčné plazmodesmy. Tyto dva způsoby toku vody nejsou striktně oddělené a voda mezi nimi může přecházet. Tímto objemovým tokem vodního roztoku bývá obvykle saturována i značná část nároků na živiny.

3.2.2 Příjem minerálních živin kořeny

Živiny jsou kořeny přijímány v zásadě třemi způsoby. Jednak je to kontaktní výměnou kořenové pokožky s povrchem půdních částic. Konkrétně tedy výměna kationtů sorbovaných živin za H^+ . Dalším způsobem je příjem a výměna iontů z půdního roztoku, do kterého jsou následně doplňovány mineralizací organické hmoty a uvolňováním z vazeb půdních koloidů, čímž je udržována určitá koncentrace těchto živin v půdním roztoku. Živiny z půdního roztoku se do rostliny dostávají také při příjmu vody, tzv. objemovým tokem. Třetí a velmi významný způsob příjmu živin

rostlinou je mykorhizní symbiózou a v některých případech také získávání dusíku bakteriální symbiózou. Důležitou součástí příjmu živin je i podpora jejich uvolňování či vázání do pro kořeny přijatelných forem. Toto zpřístupňování se děje částečně přímým působením některých kořeny vylučovaných látek, jako H^+ , HCO_3^- , kyselých fosfatáz, ..., které se svým působením přímo podílejí na zpřístupňování živin uvolňováním z koloidních struktur do půdního roztoku, mineralizací nebo zvětráváním matečné horniny a dále rhizodepozicemi organických látek pro výživu mikrobiálního společenstva rhizosféry, které následně uvolňuje živiny pro růst rostlin. Tyto rhizodepozice spotřebovávají podle Záhory et al. (2011) 20 – 50 %, v některých případech až 80 %, primární produkce rostliny. V blízkosti kořene (aktivní kořenové zóny) tedy vzniká bouřlivě oživený prostor mineralizující organickou hmotu a zpřístupňující živiny (Záhora et al. 2013).

3.3 Půda ve vztahu ke kořenové soustavě rostlin

3.3.1 Pevná fáze

Kostru půdy tvoří její pevná část tvořená směsicí minerálních částic různé zrnitosti a pestrou směsicí organických látek různě provázaných (kondenzovaných) a pospojovaných do půdních mikroagregátů až makroagregátů propojených spleť kořenů a vláken hub. Mezi těmito agregáty pak vzniká síť různě relativně velkých prostor (pórů) vyplněných zpravidla vzduchem, případně vodou. Tyto, tzv. makropóry, jsou tedy pevnou fází nezaplňené prostory v půdě takové velikosti, kdy v případě zaplnění vodou gravitační síly převáží nad kohezními a voda se pohybuje směrem dolů k hladině spodní vody. Poměr vody a vzduchu se v nich přirozeně proměňuje v závislosti na okolních podmínkách, přičemž většinou silně převládá vzduch. Nicméně mimo této sítě relativně velkých pórů existuje síť malých kapilárních pórů v agregátech i jinak organizované pevné hmotě, za kterou bychom mohly označit třeba nestrukturní půdu či matečný substrát. Součet objemu veškerých pórů všech velikostí je označován jako půdní pórovitost. Podle Jandáka et al. (2010) se pórovitost zemědělských půd pohybuje většinou v rozmezí 40 – 50 % a s hloubkou klesá na 30 – 40 %. Nižší je u půd zamokřených a zvyšuje se s obsahem humusu až na více než 70 – 80 % u půd silně organických (rašelinných). Autor póry dělí na 4 skupiny podle ekvivalentního průměru a uvádí optimální poměr pórů kapilárních na celkové pórovitosti pro různé skupiny

plodin – píceňiny a zeleniny (75 – 85 %), okopaniny (70 – 80 %), obilniny (60 – 70 %). Podrobnější hodnocení pórů podle velikosti je dosti problematické a málo odpovídající realitě, což potvrzuje Kutílek (1978). Proto se místo průměru využívá míra podtlaku, která je potřebná k odsátí vody z jednotlivých pórů, což můžeme následně přepočítat na ekvivalentní průměr kapiláry. Makropóry bychom dále mohly rozdělit na ty, které vznikají působením fyzikálních procesů a na ty, které vznikají aktivním působením kořenů rostlin a půdního edafonu. Biologická tvorba makropórů je velmi zásadní především z hlediska možnosti jejího cíleného ovlivňování (podpory). Intenzitu a význam jejich tvorby můžeme pozorovat především na travnatých porostech ponechávaných zpravidla bez mechanických zásahů do půdy, která je tedy v přirozeném uložení a stavu. Z fyzikálních procesů se zde uplatňuje především změna objemu půdy související se změnou vlhkosti. Typickým příkladem jsou hluboké zlomy vznikající v suchém období, které jsou tím větší, čím jemnější je textura půdy. Dalším přirozeným vlivem je působení mrazu a tvorba ledu.

3.3.1.1 Minerální podstata půdy

Minerální podstata půdy je založená na bázi křemičitanů (92 – 95 %), doplněných oxidy, uhličitany, fosforečnany, sírany, siřičky, halovci a dusičnany (Jandák et al. 2010). Základem struktury křemičitanů jsou křemíkem a čtyřmi kyslíky tvořené tetraedry (v čisté formě bez příměsí tvoří křemen). V této krystalické mřížce může být křemík částečně nahrazen hliníkem, železem či hořčíkem, kyslík zase hydroxylovou skupinou, nebo třeba fluorem. V takovém případě však hliník, nebo jiné prvky, již vytváří oktaedrickou strukturu. Různými kombinacemi těchto struktur jsou pak dány dílčí skupiny jílovitých minerálů s odlišnými vlastnostmi. Tyto jílovité minerály zpravidla vytváří deskovitě vrstvené struktury. Vzhledem k různé struktuře vrstev jsou mezi některými vrstvami slabší vazby, než mezi jinými a dochází zde k vázání kationtů (hlavně K^+) a vody, čímž je dána vysoká míra bobtnavosti některých jílových minerálů, ke které dochází tím, že je mezi takové vrstvy osmoticky nasávána voda, která následně tyto vrstvy oddaluje. Změna objemu půdy vlivem bobtnání je běžně okolo 20 – 30 %, přičemž u písčitých půd může být výrazně menší, u jílu zase o něco větší (Kutílek 1978). Deskovitá struktura jílovitých minerálů se mimo jiné vyznačuje velkou styčnou plochou částic, která předurčuje vysokou soudržnost těžších půd a tvorbu hrud při

nevhodném zpracování. Také prorůstání kořenů může být náročnější, hlavně při nedostatku makropórů, tedy špatné struktury půdy.

Podle míry zvětrání matečného substrátu je půda tvořena směsicí minerálních částic různé velikosti a v různém poměru. Podle zrnitostního složení se půda dělí na půdní druhy, které předurčují pestrou škálu půdních vlastností.

3.3.1.2 Mrtvá organická hmota a humus

Obsah organické hmoty v orniční vrstvě našich zemědělských půd se podle Jandáka et al. (2010) pohybuje v rozmezí 1,5 – 7 % (50 – 800 t/ha v celém půdním profilu), přičemž nejčastěji 2 – 3 % (100 – 200 t/ha). Autor, stejně jako Záhora (2010) uvádí, že mrtvá organická hmota činí 85 % celkové OH (15 % v živých organismech). 10 – 30 % z této organické hmoty pak Záhora (2010) přisuzuje čerstvé organické hmotě vstupující do půdy a zbylých 70 – 90 % látkám mikrobiálně pozměněným, které dělí na humusové látky a tzv. „nepravý humus“, což je označení pro polysacharidy, lipidy, proteiny a mikrobiální metabolity. Autor dále uvádí obecné složení odumřelé rostlinné hmoty – celulóza (30 – 75 %), hemicelulózy (10 – 30 %), lignin (10 – 30 %), proteiny (1 – 10 %), cytoplazmatické látky, aminokyseliny a cukry 5 %, vosky, pigmenty a lipidy (1 – 3 %). Poměr C:N uvádí v rozmezí 40 – 100 a podíl kořenů na primární produkci 15 – 35 %, v lučních společenstvech až 50 %. 10 – 30 % primární produkce bývá podle autora uvolňováno do půdy rhizodepozicemi, což je souhrnný název pro kořenové exudáty, mucigenní látky a odlupující se odumřelé buňky.

Humus je označení pro složité organické struktury (makromolekuly či supramolekulární útvary) v půdě, které vznikly procesem humifikace a mají dlouhý poločas rozpadu. Řadíme mezi ně huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy. Zde se ovšem, jak upozorňuje Dvořák (2013), dostáváme k zásadnímu problému. Ne všemi je totiž humus chápán takto, a často tak bývá zcela chybně stanovován jako C_{ox}^* 1,724, případně jednoduše považován za neživou organickou hmotu v různé fázi přeměny, která se ovšem, jak autor uvádí, chová v některých ohledech velmi odlišně od pravého humusu. Například jeho iontová výměnná kapacita je podle něho velmi malá.

Vznik stabilních humusových látek je popisován několika teoriemi. Konkrétně teorií ligninovou, polyfenolovou, teorií polymerizace cukrů s aminy a teorií

supramolekulovou. První tři teorie popisují principy tvorby humusu jako jediné makromolekuly, poslední supramolekulová teorie je založena na principu samovolného shlukování jednotlivých organických molekul různé velikosti i složení do supramolekulárního útvaru. Tyto organické látky jsou orientovány dovnitř hydrofobní a vně hydrofilní částí. Relativně malé a různorodé molekuly jsou spojovány pomocí van der Waalových sil a vodíkových můstků, nikoliv kovalentně, a tvoří tak jedinou makromolekulu (Záhora – ústní sdělení, Kozelková 2013). Tato moderní teorie se nyní dostává do popředí, což ovšem nutně neznamená, že teorie předchozí jsou špatné a nemohou vedle sebe paralelně existovat a uplatňovat se v míře dané aktuálními podmínkami stanoviště, byť to tak mnozí vnímají. Pro mnohé z těchto teorií je nutná přítomnost budoucí humusové látky v zaživacím traktu (bioreaktoru) některého z živočichů. Zvláště významným druhem jsou v tomto žížaly. Ty mimo organických látek konzumují též značná množství minerální části půd, čímž v nich dochází k míchání organických a anorganických látek půdy, což je zásadní pro stabilizaci organické hmoty a půdní strukturu.

Kromě chemické stabilizace organické hmoty humifikací se v půdě nachází ještě jiný princip fyzikální stabilizace v organominerálních agregátech s organickým jádrem. Tato organická hmota však na rozdíl od humusových látek stále zůstává součástí potravního řetězce. V případě nedostatku dostupné organické hmoty dochází k destabilizaci agregátů a rozkladu takto fixované organické hmoty. Nicméně i takto fixovaná nehumifikovaná organická hmota může vydržet několik set let (Záhora 2010).

Půdní organická hmota je velmi významná a ovlivňuje všechny půdní vlastnosti. Pokud se budeme zajímat, jestli je její vliv pozitivní nebo negativní, dostane se nám různých odpovědí, podle toho, jak je daný autor zaměřen. Pro pedology a ekology bude půdní organická hmota vnímána vesměs velmi pozitivně. Výjimkou by mohly být například některé inhibiční látky, pro ně nežádoucích rostlin (trnovník akát), nebo značná vrstva mulče a vysoká úrodnost s nízkou diverzitou. Pokud se ovšem podíváme do příruček pro zemědělce, obraz se náhle změní. Výše popisovaná, z části již rozložená, organická hmota a hlavně pak humusové látky jsou vyzdvihovány a je kladen důraz na jejich dostatečné doplňování. Čerstvá organická hmota, reprezentovaná posklizňovými zbytky, je však vnímaná převážně jako problém. Problém technologický – sláma

v seťovém lůžku může bránit potřebnému kontaktu osiva s půdou a problém biologický – inhibiční působení slámou uvolňovaných látek. V případě travních porostů bývá vysoký obsah organické hmoty někdy spojován s nízkou biologickou aktivitou půdy a malou produktivitou porostu vlivem imobilizace a pomalého uvolňování živin z organické hmoty. Z toho následně vyplývá série doporučení, jak se této čerstvé organické hmoty zbavit urychlenou mineralizací. Jde především o hnojení dusíkem na zúžení poměru C:N (až značně vysoká množství N, který navíc často ani není započítáván jako hnojení, což zcela odporuje logice výpočtu bilance N, protože byť je tento dusík rychle zafixován do živé organické hmoty, nikam se neztrácí a časem se v půdě uvolňuje) a zapravování posklizňových zbytků do půdy. Tím dochází k rychlé mineralizaci, na které se, nepřírozně přímo, podílejí především mikroorganismy. V přirozené ekologii by se na první fázi rozkladu mnohem více podílel mezo a makro edafon, jak je uvedeno dále. Takoveto přirozené ekologické pochody se pak projevují výrazně lepší strukturou, stabilitou a retenční schopností přirozených nedevastovaných půd, mezi které můžeme řadit některé louky a pastviny, meze, lesy,...

Odumřelé kořeny rostlin, vytváří hluboké póry válcovitého tvaru, obdobné jako chodbičky žížal, jejichž stěny jsou organicky stabilizovány a výrazně urychlují vsak vody přímo do hlubších vrstev půdy – tzv. „obtokové proudění“. Toto proudění zásadně zrychluje absorpci vody, a tedy její využití při intenzivních srážkách, aniž by se voda kumulovala na povrchu. Tím je eliminován povrchový odtok a eroze kvalitní svrchní vrstvy půdy spolu se zabráněním vzniku povrchové krusty z rozplavených půdních částic. Ta by zabraňovala dýchání půdy a intenzivnějšímu vsakování dalších srážek. Nепropustnost povrchové krusty dokumentuje Kasprzak (1987), který uvádí 200 až 500 násobné snížení infiltrační schopnosti holé půdy po přivalových deštích. Půdní škraloup se vytváří především na půdách s obnaženou svrchní vrstvou, jejíž agregáty jsou rozbíjeny kinetickou energií dopadajících kapek vody (až o dva řády větší vůči proudící vodě) a dále na půdách s nízkou vodostálostí (stabilitou) agregátů, kde se po delší dobu udržuje vrstva vody (zimní tání na zmrzlé půdě, níže položené části pole s utuženým podorničím).

Vrstva čerstvé či spíše nerozložené organické hmoty na povrchu půdy vytváří mulč, který má sám o sobě pro půdu velmi zásadní význam. Vrstva mulče jednak chrání půdní

agregáty před nárazy kapek vody a z toho vyplývající ztráty struktury,... a dále ochraňuje povrch půdy před přímým slunečním zářením, čímž snižuje ztrátu vlhkosti v suchých letních dnech. V zimních měsících pak působí jako tepelná izolace snižující promrzání půdy a v některých případech (lesní porosty a některé neudržované travní porosty) má význam jeho intercepční kapacita. Tedy schopnost zadržet vodu na svém povrchu či ve svém objemu (Kutílek 1978). V lučních společenstvech se zvláště vysokou intercepční kapacitou vyznačují mechorosty (Bár 1984).

Na základě výše uvedeného bychom mohli rozlišit, jak říká Záhora (ústní sdělení), dva způsoby chápání vlivu organické hmoty na úrodnost půdy. Jednak tradiční přístup založený hlavně na kondenzovaných humusových látkách a dále přístup založený na celém spektru organických látek ve všech stupních rozkladu a stabilizace, jakožto pohotového zásobníku živin a energie i stabilizátora půdní struktury.

3.3.2 Půdní edafon

Edafon je souhrnné označení pro všechny živé organismy žijící v půdě vyjma rostlin. Nicméně kořeny rostlin někteří autoři do edafonu počítají také. Podle Jandáka et al. činí kořeny rostlin 10 % z celkové půdní organické hmoty a edafon 5 %. V rámci edafonu pak bakterie a aktinomycety, stejně jako houby a sinice, tvoří 40 % hmotnosti, mikrofauna a mezofauna 3 %, 12 % žížaly a zbylých 5 % ostatní makrofauna.

Tabulka 1: Zastoupení mikroedafonu v půdě (převzato od Jandáka et al. 2010)

Mirkoedafon	Počet v 1 g půdy	Hmotnost v kg/ha
Bakterie	600 000 000	10 000
Houby a aktinomycety	400 000	10 000
Řasy	100 000	140
Prvoci	1 100 000	370

Půda je na život velmi bohaté prostředí s ohromnou diverzitou danou především mikroorganismy. Půdní organismy tvoří potravní řetězce nezbytné pro recyklaci živin z odumřelých částí rostlin (v případě travních porostů jsou zdrojem především kořeny). Jsou také významnou součástí globálních cyklů uhlíku a dusíku. Některé

mikroorganismy jsou schopné fixovat vzdušný dusík, jiné ho zase uvolňují při denitrifikaci.

Tabulka 2: Zastoupení mezoedafonu v půdě (převzato od Jandáka et al. 2010)

Mezoedafon	Počet v 1 dm ³	Hmotnost v kg/ha
Hád'átka	50 000	50
Členovci	390	92
Měkkýši	5	40
Žížaly	2	4 000

Mikroorganismy jsou schopné získávat živiny z těžce dostupných forem a podílejí se na zvětrávání hornin. Bakterie mají oproti vláknitým houbám větší povrch ve vztahu objemu, což je činí vysoce efektivními, houby jsou však díky svým hyfám schopné využívat různé zdroje (zdroje na více místech) a vytvářet vodivé sítě. Některé skupiny hub jsou přizpůsobeny životu v symbióze s rostlinami, doplňují jejich kořenový systém, poskytují mu ochranu a mimo jiné propojují jednotlivé rostliny. V půdě žije také mnoho škůdců rostlin, ať již herbivorů, nebo vnitrobuněčných parazitů způsobujících nádory, atd. Žijí zde však i jejich predátoři a organismy rostliny záměrně ochraňující a podporující, což se jim zpětně projevuje v množství potravních zdrojů z prosperujících rostlin. Vyskytuje se tu celá škála organismů od aerobních až po anaerobní, přičemž oživení půdy je značně závislé na přítomnosti aktivní kořenové zóny rostlin a je tedy, jak ukazuje tabulka 4, místně velmi rozdílné (Záhora 2010).

Z půdních živočichů je potřeba zdůraznit hlavně fenomenálního půdotvůrce – žížalu. Žížalu bychom bez nadsázky mohli označit za pohyblivý bioreaktor, který ve svém trávicím traktu, s pomocí mikroorganismů v něm žijících, mísí organickou a anorganickou hmotu a vytváří organominerální agregáty. Jejich tvorba byla při jisté studii podle Šarapatky et al. (2010) po 30 měsících pětinašobná v půdě s žížalami oproti půdě bez žížal. Autor dále uvádí významný vliv žížal na stabilizaci agregátů. Také množství jejich exkrementů bylo v našich podmínkách zjištěno od jednotek až po více než 90 tun/ha, v objemu to autor uvádí na dvou až pěti centimetrovou vrstvu vnošené půdy na povrch. Žížaly se svým budováním chodbiček velmi výrazně podílí na množství makropórů v půdě, které se vyznačují svým rozsahem a spojitostí. Těmito

póry může v případě větších srážek proudit voda z povrchu půdy, která by jinak mohla být součástí povrchového odtoku. Tím se tedy dostáváme k významu žížal pro vodní režim, snížení eroze a rozsahu povodní. Žížaly se obvykle dělí na epigeické, endogeické a hlubinné. Epigeické druhy jsou drobné s velkým reprodukčním potenciálem a žijí obvykle v čisté organické hmotě na povrchu půdy, kompostech, ... Endogeické druhy žijí ve svrchních vrstvách půdy. Vytváří převážně horizontálně směřované chodbičky, které neudrží a stále buduje nové, protože tyto druhy konzumují nejvíce anorganické a organické hmoty ze všech žížal. Hlubinné druhy jsou největší, mají nejnižší reprodukční potenciál a budují hluboké vertikální chodby, o které se starají a udržují je, na rozdíl od epigeických druhů. Živí se listovým opadem, který v noci zatahují do svých chodeb a dostávají tak organickou hmotu i do značných hloubek. V našich podmínkách se hloubka jejich chodeb pohybuje až přes 2 metry, ve světě jsou však zaznamenány i hloubky dvojnásobné. Žížaly svoje chodby budují jak „prožíráním se“ půdní hmotou, tak využíváním a úpravou prostorů po odumřelých kořenech rostlin či jiných prostor. Kořeny rostlin zase často pro svůj růst využívají chodbičky po žížalách. Výskyt a koncentrace těchto fenomenálních druhů je ovšem silně ovlivněna způsobem hospodaření. Proto na polích, kde je půda násilně podmaňována kypřením, orbou a utužováním, je jejich výskyt řádově menší oproti trvalým travním porostům. Zásadní je také dostupnost vhodné potravy, která je na polích silně redukována výše zmiňovanými postupy, na které navazuje obvykle dlouhé období holé půdy bez porostu. Vliv má též druh rostlin a aplikace organických hnojiv (Šarapatka et al. 2010, Pommeresche et al. 2010).

Tabulka 4: Počet a biomasa bakterií v travinném ekosystému podle Tesařové (1983) – převzato od Záhory (2010)

	Počet bakterií	Biomasa bakterií	
	$10^6/g$	$g C/m^2$	%
Zelené rostliny	650	0,011	0,02
Stařina	1 047	0,031	0,02
Opad	38 730	0,324	0,73
Kořeny	11 754	2,049	4,63
Příkořenová půda	7 810	28,996	65,5
Půda bez kořenů	1 470	12,877	29,09
Suma		44,288	100

3.3.3 Půdní voda

Půdní voda je roztok vody s v ní rozpuštěnými látkami. Z těchto rozpuštěných látek jsou pro nás zásadní především ionty minerálních i organických živin, nicméně při vyšším stupni zvodnění se mohou rozplavovat i samotné půdní částice, které mohou být vsakující vodou unášeny do spodních vrstev půdy, nebo povrchovým odtokem pryč. Voda se v půdě pohybuje volnými prostory – póry. Tyto póry mají pro půdu a veškerý na ní závislý život zásadní význam. Dochází zde k výměně plynů mezi půdou a okolním vzduchem (CO_2 za O_2 , ...) a také zde dochází i intenzivnímu vstřebávání vody půdou při intenzivnějších deštích. Ačkoliv dřívější představy o zasakování vody do půdy počítaly pouze s jejím postupným rovnoměrným vsakováním od povrchu do hloubky, vyjadřované například Richardovou rovnicí, dnes víme, že jsou zásadně nepřesné a přinejmenším na půdách v přirozeném stavu se zachovanými přirozenými makropórami, často zcela nepoužitelné. Respektive jsou použitelné v případě homogenní půdy bez hlubokých makropórů, které se v půdě přirozeně tvoří činností kořenů rostlin a půdního edafonu. Dále pak, zvláště u těžších půd, působením fyzikálních sil, jako změny vlhkosti a s tím související tvorbou prasklin, nebo působením mrazu (Litschmann, Straka 2000). Póry mají různou velikost a tvar. Mikropóry, též nazývané kapilární póry, jsou póry takové velikosti a tvaru, které jsou již schopné zadržet a vést v sobě vodu. V těchto pórech se nachází většina půdní vody nad její stálou podzemní hladinou a závislosti na podmínkách také vzduch. Voda se v půdě pohybuje díky své bipolární podstatě, která využívá pozitivně i negativně nabitých půdních částic a iontů k tomu, aby se na ně navázala, a vytváří tak hydratační film pevných částic a hydratační obal iontů, jehož velikost je závislá na síle náboje. Molekuly vody se mezi sebou propojují vodíkovými můstky, jejichž silou je dána schopnost kapilárního vztlaku. Voda tedy proudí jak celým objemem kapilárních pórů, tak v určité vrstvě i po stěnách makropórů, jež hydratuje. Tento pohyb je určován rozdílem vodního potenciálu v prostředí a probíhá ve všech směrech. Při mírném dešti je zpravidla hydratována vrchní vrstva půdy, její vodní potenciál stoupá a voda se následně šíří podle gradientu potenciálu od vyššího k nižšímu (zápornějšímu). Dochází tedy k postupnému posunu čela zvlhčení do hlubších vrstev. Při suchém počasí a intenzivní transpiraci naopak voda stoupá k povrchu a ke kořenům rostlin z míst s vyšším vodním potenciálem (např. od hladiny spodní vody) do míst s potenciálem

nižším. Vzhledem k pasivnímu příjmu vody kořeny rostlin z toho vyplývá, že pro příjmem vody musí mít rostlina nižší vodní potenciál než půda v okolí kořene (Eshel a Beeckman 2013, Kutílek 1978).

Rychlost vsakování vody do půdy je dána především strukturním stavem půdy. Rozhodující je především velikost a stabilita svrchních agregátů společně s půdním pokryvem (mírou disipace) a četnost stabilizovaných do hlubších vrstev sahajících půdních pórů vzniklých činností žízáal a rozkladem odumřelých kořenů, případně četnost a tvar půdních trhlin vzniklých smrštěním objemu vyschlé půdy. Dalším důležitým faktorem je sklon a členitost povrchu bránící povrchovému odtoku při vydatnějších srážkách. Pokud jsou srážky jemné, tak se voda stačí absorbovat a půda se relativně rovnoměrně zvlhčuje od vrchu dolů, jak je uvedeno výše. Se vzrůstající intenzitou srážek se ovšem zákonitě dostaneme do bodu, kdy svrchní vrstva půdy již není schopna vstřebat všechnu vodu a na povrchu půdy se začne vytvářet souvislá vrstva vody. V tomto stádiu nastupuje zásadní význam zmiňovaných makropórů, do kterých voda z této vrstvy vtéká a je z nich vstřebávána do okolí v různé hloubce. Litschmann a Straka (2000) uvádějí, že se tímto způsobem může vsakovat až 50 % vody. Také uvádějí, že tento způsob zasakování vody se uplatňuje především v průběhu vegetační sezony. V podzimních měsících dochází k uzavření makropórů a voda se vsakuje postupně od svrchních vrstev půdy. Kromě pozitivních vlivů má však makropórové proudění i svá rizika ohledně proplavování živin z hnojiv do spodních vrstev půdy s horším dosahem kořenového systému mělce kořenicích rostlin. Následně existuje zvýšené riziko znečištění spodních vod dusičnany.

3.3.4 Význam kořenů pro půdu

Doteď jsem popisoval půdu obecně, jako jeden ekologický celek ve vší své provázanosti. Protože je však tato práce zaměřena na studium kořenů trav, budu se nyní podrobněji věnovat právě jejich významu, který nemusí být z dosavadního textu dostatečně srozumitelný.

Kořeny rostlin v půdě vytvářejí rozsáhlé síťové systémy, které jsou z pohledu rostliny důležité pro dostatečnou kapacitu příjmu živin a ukotvení rostliny. Z pohledu půdy může být toto její provázání velmi důležité pro její dostatečnou odolnost vůči sesuvům a erozi na svazích, tedy stabilizaci půdy. Rostliny jsou zcela dominantním suchozemským

poutačem uhlíku a jeho zdrojem pro ostatní články ekosystému. Byť se dříve za hlavní zdroj vstupu uhlíku do půdy považoval nadzemní opad, dnes je zřejmé, že to není tak jednoznačné a často jsou hlavním zdrojem uhlíku kořenové depozice Záhora (ústní sdělení). Do kořenových depozic se řadí organické látky vylučované kořenem do půdy (exudáty), odumírající pokožka s kořenovým vlášením a nakonec celé odumírající kořeny. Poutání a ukládání vzdušného uhlíku do půdy ve stabilizované podobě se nazývá sequestrace. Celosvětově je poutáno v půdách pod TTP v oblastech s mírným klimatem cca. 295 GT uhlíku (Jones et al. 2006). Množství akumulovaného či uvolňovaného C závisí zejména na schopnosti půdy stabilizovat C – fyzikální ochrana, C uvnitř půdních agregátů, labilita zdrojů C dodávaných do půdy, bilance vstupů (fotosyntetická produkce, podíl dostávající se do půdy) a výstupů (respirace, eroze, vyplavování, export sklizní). Tyto faktory jsou výrazně ovlivňovány způsobem obhospodařování TP a klimatem. Akumulace C je podporována zejm. následujícími faktory: 1. vysokým podílem jílu v půdě, 2. vysokou vlhkostí půdy se střídavým zamokřením (omezení dekompozice OH), 3. nízkými teplotami (omezení dekompozice), 4. vysoká primární produkce (vyšší vstupy C).

Tím, že kořeny dodávají organickou hmotu do půdy (do celého půdního profilu, nikoliv jen na povrch) zvyšují její propustnost pro vodu u těžších půd a schopnost vodu vázat u písčitéch půd. Toto zvýšení propustnosti je dáno jednak vlivem na strukturu půdy a dále tvorbou organicky stabilizovaných makropórů po odumřelých kořenech. U travních porostů je životnost jednotlivých kořenů svázána s životností odnože a není tedy nikterak velká, čímž se stává důležitou složkou při zasakování srážek. Díky tvorbě značného množství kořenové biomasy a vysoké aktivitě edafonu vykazuje podle Rychnovské et al. (1985) půda pod travními porosty průměrně o 10% vyšší pórovitost, než orná půda.

Rozsah kořenového systému je též důležitý pro efektivitu hnojení. Čím je kořenový systém rozsáhlejší, tím více živin dovede z půdy získat. Je prokázáno, že v suchých podmínkách lépe prospívají jedinci s hlubšími kořeny. Toto v souvislosti s předpokládanou změnou klimatu a zdražování hnojiv vede ke snaze šlechtit plodiny (nejen trávy) na rozsah a hloubku kořenového systému, který býval někdy hodnocen

spíše negativně a vyzdvihovány linie s vyšší preferencí ukládání C do nadzemních orgánů tvořících hlavní hospodářský výnos.

Dalším důvodem pro šlechtění na rozsáhlejší kořenový systém je snaha o zmírnění negativního vlivu pojezdů mechanizace na půdní strukturu. Vyjma stále opakovaného přímého vlivu kořenů a ponechané nadzemní organické hmoty na půdní strukturu se zde uplatňuje i schopnost kořenů prorůstat a narušovat zhutnělé vrstvy půdy. Čím silnější kořenový systém bude, tím lépe může odolávat zhutnělé půdě a případně její stav zlepšovat. Utužování půdy je jedním z hlavních problémů dnešního zemědělství. Zvláště hodně jím trpí travní porosty s ohromnou četností pojezdů a žádnou hlubší kultivací. Tyto porosty následně velmi výrazně ztrácí na výnosu a jsou proto zcela neprávem přehlíženy a ceněny pouze pro výplatu dotací na plochu. Například Hansen (1995) popisuje účinek zhutnění půdy koly traktoru, které vedlo na lučních porostech v Norsku ke snížení výnosu z 9,0 na 6,6 t.ha⁻¹sušiny. Zhutnění mělo na výnos píce větší vliv než dávky a termín použití minerálních hnojiv.

3.4 Specifika růstu kořenů trav

Po nasáknutí semena vodou se rozběhnou biochemické reakce vyúsťující v klíčení. První viditelnou známkou klíčení je proražení kořenové pochvy (*coleorhiza*) osemením se současným prorůstáním primárního kořene skrze její ochranný plášť. Primární kořen je téměř současně následován ostatními seminálními kořínky rostoucími z prostoru nad štítkovým uzlem (*scutellar node*). V závislosti na druhu se vyvíjí různý počet seminálních kořenů, zpravidla však ne více než pět. Po objevení kořínků se začíná prodlužovat epikotyl rostoucí k povrchu půdy chráněný zárodečným listem (koleoptile). Růst zárodečného listu končí dosažením povrchu půdy, kde se otevře (rozvine) a umožní tak růst pravým listům. Křehké vyvíjející listy jsou odkázané na ochranu zárodečného listu. Primární a seminální kořenový systém má krátkou dobu trvání a je postupně nahrazován adventivními kořeny rostoucími z odnožovacího uzlu. Klíčení rostlin z čeledi lipnicovité, tedy trav a obilnin, probíhá hypogeicky (děloha – štítek zůstává v půdě). Specifickým znakem těchto rostlin je tvorba odnožovací uzliny blízko povrchu půdy. Část rostliny mezi štítkem a koleoptilí, posléze odnožovací uzlinou, se nazývá mezokotyl. Jeho délka je závislá na druhu a hloubce uložení obilky.

Po vyklíčení nastává fáze odnožování. Odnože vznikají z meristematického pletiva v odnožovacím uzlu. Jejich růst je nejprve horizontální (rovnoběžný s povrchem půdy), následně pletiva na spodní straně rostou rychleji a odnož se stáčí k povrchu.

Některé trávy ke svému šíření do okolí využívají rhizomů či stolonů. V obou těchto případech jde o modifikovaný stonek rostoucí pod úrovní půdy (rhizomy), nebo nad zemí (stolony). V jejich nodech jsou dělivá pletiva, která následně dávají vzniknout dceřiným rostlinám. Rhizomy slouží též jako zásobní orgán důležitý pro přezimování.

Trávy vytváří bohatě větvený svazčitý kořenový systém, mimořádně hustý v povrchových vrstvách půdy (do několika desítek cm). Hloubka zakořenění je mimo jiné velmi výrazně ovlivněna intenzitou defoliace rostlin (Skládanka 2014).

3.5 Trávy *xFestulolium*

Výrazem *xFestulolium* se označují přírodní nebo syntetické hybridy rodů *Festuca* a *Lolium*. Tyto hybridy jsou v přírodě běžně nalézány a určovány na základě tvaru květenství a kombinace dalších znaků obou rodičů (Dostál 1958). Zpočátku byly použity dvě odlišné cesty křížení:

1. introgrese (křížení a následné zpětné křížení pro obnovení fertility) jílků do hexaploidní kostřavy rákosovité v ČR a v USA (Fojtík 1994)
2. amfiploidie (polyploidizace neplodných hybridů pro obnovení fertility). Tato metoda byla použita v Evropě, kde byli kříženi autotetraploidi jílků s kostřavou luční. Tímto způsobem se podpořilo párování homologických chromozomů a stabilizace chromozomů v jednotlivých generacích.

V EU se všechny typy *xFestulolií* vzniklých zpětným křížením s kostřavou rákosovitou řadily do Národních seznamů registrovaných odrůd ke kostřavě rákosovité. Až v roce 2004 byla tato *xFestulolia* v EU definována jako hybridy (*xF. krasanii* – dříve *braunii*). Nyní jsou řazeny mezi *xFestulolia* všechny hybridy, které vznikly křížením (amfiploidii) obou rodů bez ohledu na počet chromozomů.

3.5.1 Cíle a strategie současného šlechtění *xFestulolií*

Rody *Lolium* a *Festuca* sdílejí mnoho doplňujících se vlastností. Jílky jsou obecně považovány za optimální travní druhy pro intenzivní zemědělství, neboť poskytují vysokou produkci kvalitní píče. Bohužel jim chybí odolnost vůči abiotickým stresům. S ohledem na probíhající klimatickou změnu, kdy těchto stresů bude přibývat, se hledají geny z lépe adaptovaného rodu *Festuca*. Oba tyto rody jsou využívány pro produkci píče i jako trávnickové druhy pro sportovní a okrasné trávnické. Cílovými znaky jsou lepší využití dusíku a vody pro dosažení vysoké produkce píče, popř. omezení vstupů při zachování uspokojivé kvality trávníků.

Druhy rodu *Festuca* (s výjimkou *F. pratensis*) jsou polyploidní a skládají se z homologních sad genomů. To usnadňuje párování nekompletních chromozomů u amfiploidních hybridů.

3.5.2 Produkce F1 hybridů mezi rody *Festuca* a *Lolium*

Hybridy se tvoří kastrací jednoho z rodičů, který je využit v mateřské pozici (nejčastěji *Lolium*). Hybridní embryo je dopěstováno in vitro po izolaci, která probíhá za 10 až 16 dnů po opylení. Křížení jílků s diploidními i polyploidními kostřavami poskytuje F1 potomstvo, které má malou mateřskou a téměř žádnou otcovskou fertilitu. Obnova fertility F1 hybridů obsahujících celou sadu chromozomů obou rodičovských druhů zajišťuje polyploidizací kolchicinem. Tito amfiploidní hybridi jsou dostatečně plodní na to, aby poskytli další generace bez potřeby dopěstování embryí in vitro.

3.5.3 Hlavní šlechtitelské úspěchy

Primární šlechtění *xFestulolií* bylo zaměřeno na kvalitativní znaky u hexaploidních materiálů, vytvořených hybridizací kostřavy rákosovité. Tato *xFestulolia* byla obecně chutnější a stravitelnější, než kostřava rákosovitá, se značnou vyhlídkou na zlepšování během dalšího šlechtění. Díky nízké produkci osiva a absenci marketingu nebyly tyto první odrůdy *xFestulolií*, vycházejících z křížení s kostřavou rákosovitou testovány na kvalitu píce. Po další diverzifikaci *xFestulolií* (amfiploidy z kostřavy luční a jejich introgrese do jílků) chemické analýzy hodnotící kvalitu píce jasně rozlišily obě skupiny *xFestulolií* podle rodičů použitých pro křížení. Pro prodlouženou podzimní pastvu byly *festucoidní* materiály mnohem vhodnější, než *loloidní* díky vyšší vytrvalosti, otužilosti a odolnosti vůči houbovým chorobám.

Amfiploidní *xFestulolia* poskytla větší příležitost pro dosažení celkově vyšších výnosů i kvality píce prostřednictvím vyšší vytrvalosti a toleranci vůči abiotickým stresům. Tetraploidní odrůdy vzniklé křížením kostřavy luční a jílků kombinují rychlý počáteční vývoj a růstové znaky jílků s vysokou produkcí na jaře a vynikající zimovzdorností kostřavy luční. Při rozsáhlém testování v rámci Skandinávie, Walesu a Polska byla porovnávána různá tetraploidní *xFestulolia* s nejlepšími odrůdami mateřských druhů v daných podmínkách (SAGES, 2004). Tolerance *xFestulolií* ke stresům byla závislá na konkrétní lokalitě. Kontinentální podmínky Polska zvýraznily zimovzdornost kostřavy luční a v menší míře i kostřavy rákosovité, zatímco *F. glaucescens*, ačkoliv pochází z horských oblastí, neprojevila dobrou adaptaci. V polních pokusech v oblastech s jižním oceánickým klimatem, kde je vyžadována zvýšená tolerance vůči letnímu suchu, se nejlépe projevila *xFestulolia* vzniklá z kostřavy rákosovité a *F. glaucescens*. Na

suchých stanovištích ve Francii se projevilo *xFestulolium Lusillium* lepší vytrvalostí a výnosem ve srovnání s jíllem italským a hybridním. V Norsku snášela drsné zimní podmínky *xFestulolia* pocházející z kostřavy rákosovité (zejména Hykor a Fojtan) lépe, než *xFestulolia* z kostřavy luční (Felopa a Perun). V Japonsku se *xFestulolium Felina* projevilo nejvyšší tolerancí vůči letnímu suchu ze všech testovaných hybridů. Nicméně jak ukázal Kopecký et al. (2006), *xFestulolia* vzniklá z kostřavy rákosovité mají podíl genomu z rodu *Festuca* mnohem vyšší, než *xFestulolia* vzniklá z kostřavy luční.

Obsah NDF (neutrálně detergentní vláknina) a WSC (vodorozpustné sacharidy) v píce je u jednotlivých typů *xFestulolii* velmi odlišný. Některá *xFestulolia* vycházející z křížení jílku vytrvalého a kostřavy luční dosahovala v těchto parametrech hodnot stejných, jako nejlepší odrůdy jílku italského. Odolnost vůči chorobám je obecně vyšší u rodu *Festuca*, a proto je žádoucí využívat spíše introgresi do jílků, než amfiploidii. Podařilo se takto zvýšit rezistenci proti plísni sněžné (donor *F. pratensis* i *F. arundinacea*) a rzi korunkaté. Spíše než očekávání lepší hodnoty jednotlivých znaků oproti rodičům, lze očekávat větší úspěch v dosažení optimální rovnováhy mezi výnosem a kvalitou píce a odolností vůči stresům, které nejsou dosažitelné konvenčními šlechtitelskými metodami. Genetická variabilita mezi odrůdami *xFestulolium* způsobuje značné rozdíly v toleranci k mrazu a vytrvalostí ve směsích s jetelovinami.

Všechny pěstované druhy rodu *Festuca* byly dosud využity jako zdroje genů pro získání odolnosti vůči suchu, mrazu, rzi korunkaté a zpožděnou senescenci. Hybridní jílku mnohokvětého a *F. glaucescens* jsou schopni díky zvýšené tvorbě hlubokých kořenů získávat vody z hlubších vrstev půdy než jílky, pokud jsou rostliny vystaveny výraznému suchu. Zlepšená architektura kořenů umožňuje zpevňování půdy a pronikání kořenů do ztuhnutých horizontů. To umožňuje dosažení vyšších výnosů píce a zvýšení hydraulické vodivosti půdy spojené s omezením rizika půdní eroze. Podíl makropórů pod porosty kostřavy rákosovité byl výrazně vyšší, než pod porosty jílku mnohokvětého. V roce 2008 se v Británii vyskytlo 30 srážek, které vyvolaly povrchový odtok, který byl o 50% nižší na půdách s porosty *xFestulolium* (jílek vytrvalý x kostřava luční) než na půdách s porosty jílku vytrvalého a o 30% nižší než u kostřavy luční (McLeod, nepublikováno). To otevírá příležitosti pro využití těchto trav na ochranu před povodněmi, které vznikají po extrémních deštích.

3.6 Metody hodnocení kořenového systému trav

Hodnocení kořenového systému rostlin je v přirozeném prostředí vzhledem k vlastnostem půdy problematické. Zásadní je především soudržnost půdy při vyšším podílu jílnatých částic, která zpravidla neumožňuje její dokonalé odstranění za současného zachování celého kořenového systému. Adheze a koheze půdy jsou dány především obsahem její prachové a jílovité složky. Proto se při cíleném výzkumu kořenové soustavy trav jako substrát používá nejčastěji čistý písek, který jde z kořenů dobře vyplavit, aniž by docházelo ke ztrátám kořenů. Vyjmuté kořeny se vyperou ve vodě, k čemuž se běžně využívají síta, která zachytí odtrhnuté kořínky, ale propustí zrnka písku. Zásadní nevýhodou této metody je její destrukční charakter. Alternativní metodou je aeroponické pěstování (Šimkūnas et al. 2007). Kořeny takto pěstovaných rostlin rostou volně ve vzduchu a jsou roseny živným roztokem. V tomto případě už je možné i průběžné nedestruktivní sledování růstu. Samotné hodnocení čistých kořenů se provádí nejčastěji metodou analýzy obrazu, například pomocí programu WinRHIZO. Kořeny se po částech rozloží ve skleněné nádobě s vodou, tak aby se nepřekrývaly, a naskenují se. Softwarovou analýzou těchto snímků se následně zjistí délka, objem a plocha povrchu kořenů a to jak celkový, tak pro různé průměry kořenů. Komplikace zapříčiněné zbytkovými zrnky písku či kořenovým vlášením je možno eliminovat nastavením hodnotícího programu (například minimálním poměrem délky k šířce).

Možná je také izolace kořenů rozplavením vzorků na sítích a jejich následná obrazová či hmotnostní analýza, nicméně lze očekávat výrazné ztráty jemných kořínků (Středa et al. 2014). Odběr vzorků je možné realizovat různým způsobem, od využití rýče (metoda půdních monolitů) po speciální vzorkovače (tzv. metoda *soil – core*), obvykle válcovitého tvaru s průměrem 7 cm (Foltýn 2015). Na kamenité půdě lze očekávat problém s odběrem vzorků. Modifikací metody půdních bloků by se dala označit metoda Pinboard, která spočívá v odběru plátu půdy, jeho nasazení na desku s hřeby, které při následném rozplavení půdy drží kořeny v přibližně původní poloze (Polomsky, Kuhn 2002). Hloubka a rozsah kořenových systémů v porostu je také znatelný při vykopání pedologické sondy. Tato metoda se nazývá *Trenchwall*.

Intenzita růstu kořenů v reálném lučním či polním porostu lze měřit také metodou *In – growthcore*. Metoda je založena na vyvrtání otvoru v půdě a nahrazení vyjmuté půdy

vhodným substrátem, případně původní zeminou v gázovém vaku, který umožní prorůstání kořenů. Vak se po určené době vyjme a kořeny na sítech oddělí od substrátu (Steingrobe et al 2001).

Další možností jak sledovat rozsah a vývoj kořenů v porostu je umístění skleněné stěny do půdního profilu a sledování kořenů rostoucích v jeho bezprostřední blízkosti. Tato metoda se nazývá *Rootwindow* a využívá se spíše u dřevin, nicméně na podobném principu fungují tzv. *rhizotrony*, které se využívají v laboratoři a polní *minirhizotrony*, což jsou průhledné (skleněné) válce, dlouhé nejčastěji 1 – 2 m, doplněné o speciální kamery nebo skenery. Tyto tuby se do půdy umísťují pod různým úhlem, nejčastěji 30° a 45°. Průběžně snímáný obraz je následně softwarově vyhodnocován. Touto metodou je možné sledovat produkci a dlouhověkost kořenů, mykorhizu a parazitismus (Fojtýn 2015). Eshel (2013) předpokládá, že v blízké době bude možné rozlišovat živé a mrtvé kořeny, organickou hmotu a půdu na základě skenování v různých vlnových délkách.

Jednou z možných metod je také měření elektrické kapacity. Měří se napětí, které se vytvoří mezi elektrickou svorkou na nadzemní části rostliny a elektrodou (jehlou) zapíchnutou do půdy cca 10 cm hluboko a 15 cm od rostliny (Středa et al. 2013). Čím větší je povrch kořenů, tím větší napětí může vzniknout. Nevýhodou této metody je porovnatelnost a vypovídající hodnota výstupních dat. Elektrická kapacita kořenů se mění v závislosti na jejich fenofázi a vlhkosti. Výsledky této metody jsou porovnatelné pouze tehdy, jestliže jsou měřeny rostliny stejného druhu, rostoucí ve stejném substrátu, za stejných vláhových podmínek a jsou hodnoceny současně. Zároveň musí být při měření nadzemní část rostliny suchá a měření nesmí být ovlivněno dotykem s okolními rostlinami (Svačina et al. 2014). Zde vyvstává problém s propletením (dotyku) kořenů jednotlivých rostlin.

4 MATERIÁL A METODIKA

Do výzkumu bylo zařazeno celkem 6 travních druhů/odrůd:

1. kostřava rákosovitá, odrůda KORA,
2. kostřava luční, odrůda PRONELA,
3. jílek mnohokvětý, odrůda MORAVICE,
4. *xFestulolium krasanii*, odrůda HYKOR
5. *xFestulolium braunii*, odrůda HOSTYN
6. *xFestulolium loliaceum*, odrůda PRIOR.

4.1 Kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea*, cv. Kora)

Kora je raná až středně raná odrůda kostřavy rákosovité, vhodná pro luční i pastevní využití. Má velmi rychlý jarní růst, po sečích hustě obrůstá. Je odolná proti napadení plísní sněžnou, vytrvalá a zimovzdorná. Dobře snáší letní přísušky i zamokření. Jedná se o ekotyp, který našel Ing. Fojtík v okolí Bílovce (Černoch, V., DLF, ústní sdělení). Odrůda byla registrována v roce 1989 a jejím udržovatelem je DLF - TRIFOLIUM Hladké Životice, s. r. o. (<http://www.sptjs.cz/>).

4.2 Kostřava luční (*Festuca pratensis*, cv. Pronela)

Pronela je středně raná odrůda kostřavy luční vhodná pro pastevní využití. Má rychlý jarní růst, po sečích hustě obrůstá. Dává vysoký výnos a je odolná proti poléhání. Odrůda byla registrována v roce 1999 a jejím udržovatelem je OSEVA UNI, a. s., Choceň (<http://www.sptjs.cz/>).

4.3 Jílek mnohokvětý (*Lolium multiflorum*, cv. Moravice)

Moravice je tetraploidní odrůda jílku mnohokvětého italského typu pro využití v monokultuře a jetelotravních směskách. Růstový habitus má na jaře střední až polorozkladitý. Rychlost jarního růstu je vysoká, po sečích středně rychle až rychle obrůstá. Doba metání střední až pozdní. Je středně odolná proti napadení plísní sněžnou a rzemi, středně až méně odolná proti napadení komplexem listových skvrnitostí. Výnos zelené hmoty má středně vysoký až vysoký. Výnos suché hmoty je vysoký. Odrůda byla registrována v roce 1995 a jejím udržovatelem je DLF - TRIFOLIUM Hladké Životice, s. r. o. (<http://www.sptjs.cz/>).

4.4 *xFestulolium krasanii*, cv. Hykor

Hykor je raný mezirodový hybrid charakteru *F. arundinacea*, vniklý křížením *Lolium multiflorum* a *Festuca arundinacea*, vhodný pro luční využití. Má rychlý jarní růst, po sečích středně hustě obrůstá. Je odolný proti napadení plísní sněžnou, velmi vytrvalý a poskytuje vysoké výnosy píce. Odrůda byla registrována v roce 1991 a jejím udržovatelem je DLF - TRIFOLIUM Hladké Životice, s. r. o. (<http://www.sptjs.cz/>).

4.5 *xFestulolium braunii*, cv. Hostyn

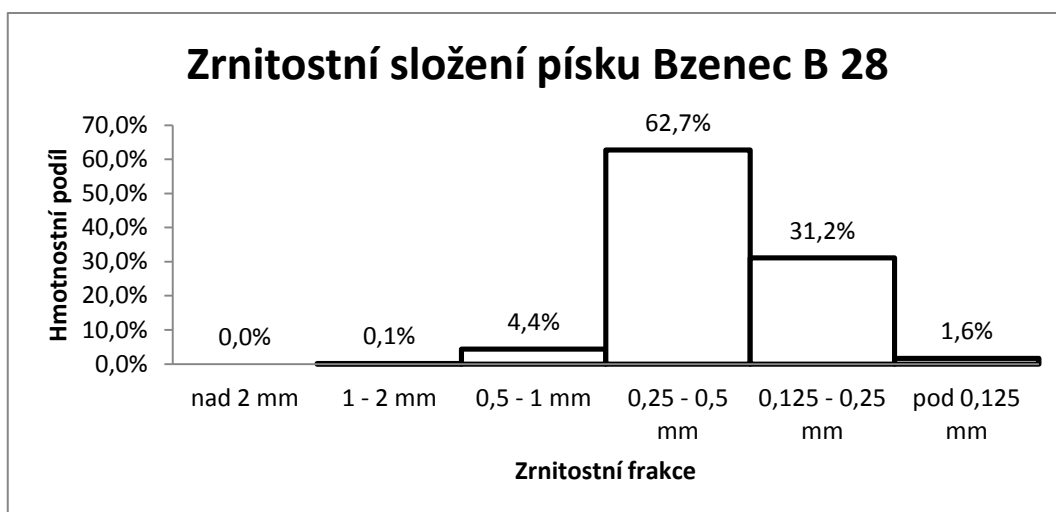
Hostyn je raná až středně raná tetraploidní odrůda pro luční využití. Má rychlý jarní růst, po sečích středně hustě obrůstá. Rostliny jsou středně rozkladité až polorozkladité, barva listu středně zelená. Praporcovitý list je středně dlouhý až dlouhý, široký. Stéblo i květenství jsou dlouhé. Odrůda je odolná proti napadení plísní sněžnou, méně odolná proti napadení komplexem listových skvrnitostí a rzemi. Výnos píce je vysoký. Odrůda byla registrována v roce 2010 a jejím udržovatelem je DLF - TRIFOLIUM Hladké Životice, s. r. o. (<http://www.sptjs.cz/>).

4.6 *xFestulolium loliaceum*, cv. Prior

Prior je odrůda vyšlechtěná na WPBS v Aberystwyth v roce 1969. Vznikla křížením *Lolium perenne* a *Festuca pratensis*. V současné době již není v seznamu odrůd OECD. Výnos píce nebyl vyšší, než u rodičovských druhů a proto se tato odrůda v praxi neuplatnila (Hejduk 2006 – ústní sdělení). V nedávné době zjistil Dr. M. Humphreys (2011) významný vliv této odrůdy na modifikaci půdních vlastností a zvýšení infiltračních schopností půd. Tento efekt má být způsoben vyšší produkcí hlubokých kořenů v prvním užitkovém roce, které brzy odumírají a kanálky po odumřelých kořenech vytváří makropóry usnadňující zasakování vody.

Pokus byl založený ve venkovních podmínkách a rostliny byly pěstovány ve válcích s pískem. Jako válce byly použity očíslované polypropylenové trubky průměru 75 mm a délky 500 mm, na spodním konci prodyšně uzavřené netkanou textilií. Tyto válce byly naplněny čistým pískem a umístěny do venkovní vegetační haly v areálu univerzity. Byl použit středně jemný písek z lokality Bzenec s převahou frakce středního písku (63%).

Plnění válců čistým pískem po vrstvách, každá vrstva prolit a vodou, aby si písek sesedl a nebyly v něm vzduchové kapsy.



Graf 1: Zrnitostní složení písku pro pokus

Za pomoci pinzety bylo osivo vyseto do válců po pěti kusech v každém válci. Válců bylo celkem 36 a každá odrůda tak byla vyseta v 6 opakováních. Po vzejití byly rostliny vyjednoceny, tak aby v každém válci zůstala pouze jedna.



Obrázek 1: Vzházející trávy ve válcích (před vyjednocením)

Pokus byl založen ve dvou termínech:

První pokus byl založen 21. 5. 2015 a ukončen 23. 7. 2015. Délka vegetace od výsevu tak činila 63 dnů. Hnojení proběhlo ve dvou termínech, 22. 6. a 1. 7., roztokem hnojiva Kristalon květ v dávce odpovídající 80 kg N/ha. Každá rostlina tak dostala dvakrát 11,8 ml 1 % roztoku. Kromě toho proběhla ve třech termínech 3. 7., 9. 7. a 17. 7. závlaha po 11 mm.

Druhý pokus byl založen 21. 9. 2015 a ukončen 11. 12. 2015. Délka vegetace od výsevu tak činila 88 dnů. Pokus byl poprvé přihnojen 14. 10. a podruhé bylo přihnojení provedeno 4. 11. stejným hnojivem a ve stejné dávce jako v prvním pokuse.

Celková suma průměrných denních teplot od výsevu do ukončení pokusu GDD (t base 5 °C) činila u prvního pokusu 891°C a rostliny byly omezovány v růstu vysokými teplotami od začátku června (18 dnů s maximální teplotou vzduchu nad 30 °C, z toho 3 dny nad 35 °C). Naopak ve 2. pokuse byla suma teplot 277,5 °C a růst rostlin limitován nízkými teplotami. Během testovaného období se vyskytlo 18 dnů s minimálními teplotami pod bodem mrazu.



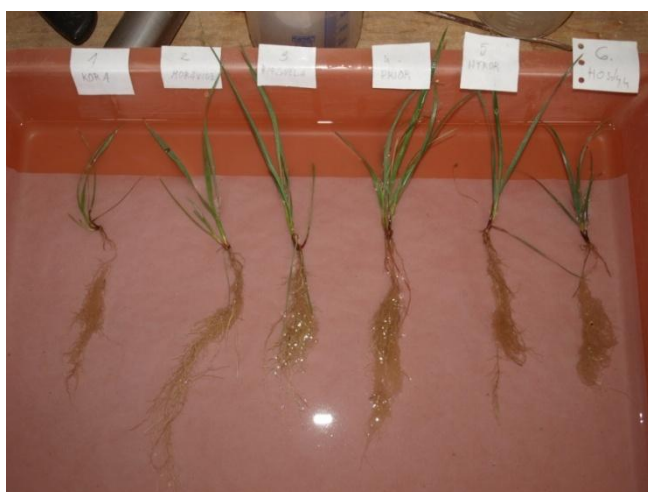
Obrázek 2: Trávy bezprostředně před ukončením pokusu a praním kořenů (23. 7. 2015)

Při extrakci kořenů z válců byl nejprve za pomoci poklepu válce kladivem, vyndán písek a rostliny. Vzhledem k malé velikosti rostlin a šetrnosti postupu byl kořenový systém poškozen nepatrně a nebylo tedy nutné k oddělení kořenů od písku používat síta.



Obrázek 3: Měření hloubky zakořenění (1. termín)

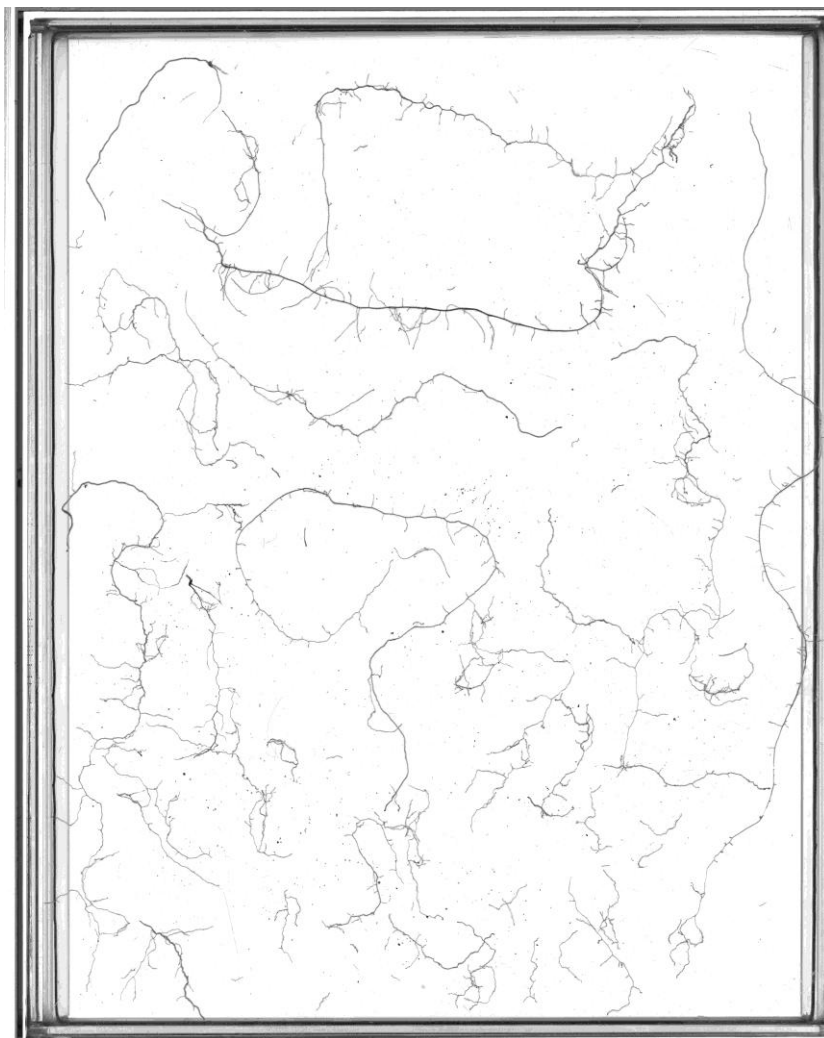
U vytažených rostlin byla nejprve změřena maximální hloubka zakořenění, výška nadzemní části rostliny, zjištěn počet odnoží, počet vyvinutých, nevyvinutých a suchých listů. Následně byly ve vodní lázni (nádoba s vodou) ručně (za pomoci prstů) odděleny kořeny od písku.



Obrázek 4: Vyprané kořeny trav (23. 7. 2015). Zleva: Kora, Moravice, Pronela, Prior, Hykor, Hostyn

V případě prvního pokusu byla oddělena nadzemní část od kořenů a kořeny uloženy do skleniček s konzervačním roztokem. Ke konzervaci byl použit roztok následujícího složení: voda - 91 % objemových, 6 % formaldehydu a 3 % glycerolu. V případě druhého pokusu byly do skleniček s konzervačním roztokem umístěny celé rostliny pro následné skenování listů i kořenů.

Při skenování byly kořeny ve vodní lázni scanneru upravovány (například dělením) tak, aby se minimalizovalo jejich překřížení a zamezilo podélnému spojování několika jemných kořínků. Ve výsledku tak byly větší rostliny skenovány do několika snímků, pro co nejdokonalejší vyhodnocení kořenové soustavy. Skeny byly následně vyhodnoceny programem WinRHIZO (Regent Instruments, Canada) a dílčí výsledky jedné rostliny sečteny.



Obrázek 5: Rozložení kořenů při skenování

U druhého pokusu byly navíc skenovány listy pro zjištění jejich plochy. U zjištěné plochy listů byla následně zjišťována korelace s povrchem kořenů.



Obrázek 6: Rozložení listů při skenování pro zjištění listové plochy

Po vyhodnocení byly nadzemní i podzemní části (odděleně) vloženy do papírových sáčků usušeny a zváženy na analytických vahách s přesností na desetiny miligramu.

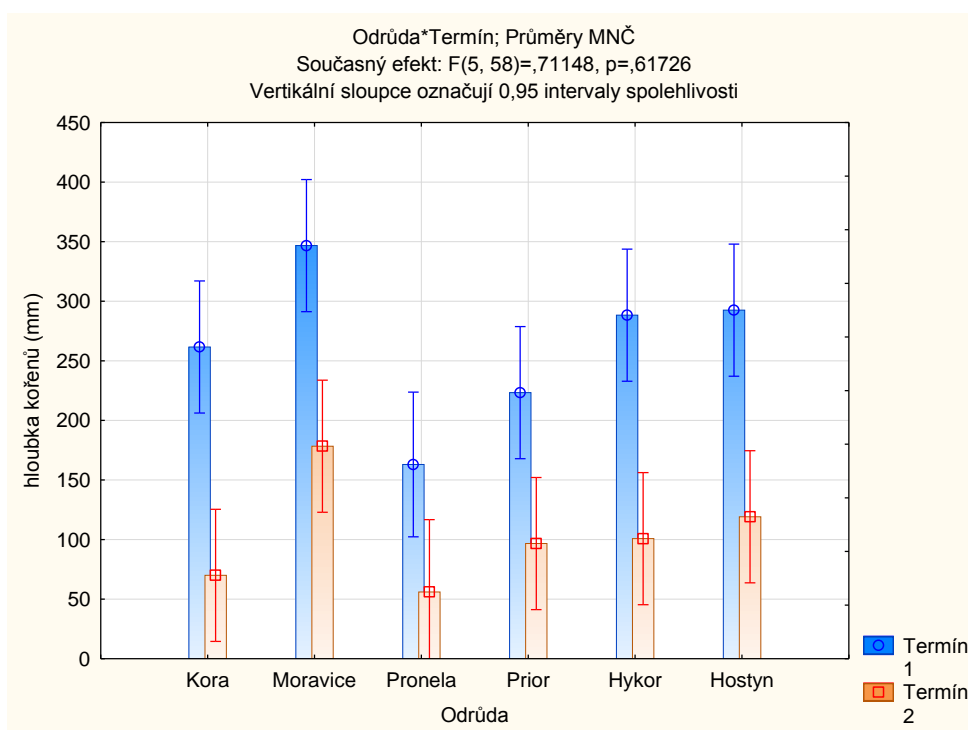
4.7 Statistické hodnocení

Pro statistické hodnocení byla použita jednofaktorová (hodnocení listové plochy) nebo dvoufaktorová analýza variance s následným testováním podle Fischera při hladině významnosti $p = 0,05$. Pro výpočet byl využit software Statistica, verze 10. Pro hodnocení vztahu mezi plochou listů a plochou kořenů byl využit korelační koeficient vypočtený v programu Excel.

5 VÝSLEDKY

5.1 Maximální hloubka zakořenění

Průměrná hloubka zakořenění jednotlivých odrůd, uvedená v grafu č. 2 a tabulce č. 4 se v pokuse pohybovala v rozpětí od 163 do 347 mm v 1. termínu a 50 – 180 mm v 2. termínu. Nejhlubší kořeny měl v obou případech jílek mnohokvětý (Moravice), následovaný hybridy Hostyn a Hykor, kteří byli mezi sebou v tomto znaku téměř vyrovnaní v obou termínech. Nejmělčí kořenový systém měla v obou termínech kostřava luční (Pronela). Byl potvrzen statisticky průkazný vliv odrůdy a termínu.



Graf 2: Hloubka zakořenění testovaných trav

Tabulka 1: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	p
Odrůda	147295	5	29459	6,4022	0,000085
Termín	440840	1	440840	95,8065	0,000000
Odrůda*termín	16369	5	3274	0,7115	0,617263
Chyba	266879	58	4601		

Tabulka 2: Hloubka zakořenění (mm)

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Moravice	347	178	263 ^a
Hostyn	293	119	206 ^b
Hykor	288	101	195 ^b
Kora	262	70	166 ^{bc}
Prior	223	97	160 ^{bc}
Pronela	163	56	110 ^c
Průměr	265 ^a	105 ^b	183

5.2 Celková suchá kořenová biomasa

Hmotnost suché kořenové biomasy, znázorněná v tabulce č. 6, se v odrůdovém průměru pohybovala v rozmezí 31 – 104 mg v 1. termínu a 3 – 13 mg v 2. termínu. Největší hmotnost suchých kořenů vykazovala v obou termínech Moravice následovaná Hostynem. Tyto dvě odrůdy jsou v 1. termínu průkazně odlišné od zbývajících. Na třetím místě se v obou termínech umístil Prior, který měl v 1. termínu průkazně nižší hmotnost suché kořenové biomasy vůči prvním dvěma. V 2. termínu statisticky průkazné rozdíly mezi odrůdami nebyly.

Tabulka 3: Hmotnost suché podzemní biomasy (mg)

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Hostyn	99	10	55 ^{ab}
Moravice	104	13	59 ^a
Prior	57	8	32 ^{bc}
Kora	55	5	30 ^c
Hykor	48	3	26 ^c
Pronela	31	4	18 ^c
Průměr	67 ^a	7,3 ^b	37,0

Tabulka 4: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	0,015569	5	0,003114	3,6152	0,006486
Termín	0,059998	1	0,059998	69,6597	0,000000
Odrůda*Termín	0,009381	5	0,001876	2,1784	0,068884
Chyba	0,049955	58	0,000861		

5.3 Celková délka kořenů

Celková délka kořenů, znázorněná v tabulce č. 8, se v odrůdovém průměru pohybovala v rozmezí 876 – 2 562 cm v 1. termínu a 68 –226 cm v 2. termínu. Nejdelší kořeny měl v 1. termínu Hostyn následovaný Moravicí, v 2. termínu byla naopak lepší Moravice následovaná Hostynem. Na třetím místě se v obou termínech umístil Prior, který měl v 1. termínu průkazně kratší kořeny vůči prvním dvěma. V 2. termínu statisticky průkazné rozdíly mezi odrůdami nebyly.

Tabulka 5: Celková délka kořenů (cm)

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Hostyn	2 562	184	1 373 ^a
Moravice	2 265	266	1 265 ^{ab}
Prior	1 368	154	761 ^{bc}
Kora	1 283	87	685 ^c
Hykor	1 097	68	582 ^c
Pronela	876	88	482 ^c
Průměr	1 595 ^a	143 ^b	858,0

Tabulka 6: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	35816968	1	35816968	75,2112	0,000000
Termín	7956514	5	1591303	3,3415	0,010150
Odrůda*Termín	5474141	5	1094828	2,2990	0,056534
Chyba	27620675	58	476219		

5.4 Povrch kořenů

Celkový povrch kořenů, znázorněný v tabulce č. 10, se v odrůdovém průměru pohyboval v rozmezí 48 – 154 cm² v 1. termínu a 4 – 16cm² v 2. termínu. Největší povrch kořenů měl v 1. termínu Hostyn následovaný Moravicí, v 2. termínu byla naopak lepší Moravice následovaná Hostynem. Na třetím místě se v obou termínech umístil Prior, který měl v 1. termínu průkazně menší plochu kořenů vůči prvním dvěma. V 2. termínu statisticky průkazné rozdíly mezi odrůdami nebyly.

Tabulka 7: Povrch kořenů (cm²)

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Hostyn	153,7	11,9	82,8 ^a
Moravice	143,7	16,4	80,1 ^a
Prior	89,1	9,8	49,4 ^{ab}
Kora	75,8	4,8	40,3 ^b
Hykor	57	3,8	30,4 ^b
Pronela	48,2	5,1	26,6 ^b
Průměr	95,9 ^a	8,7 ^b	51,6

Tabulka 8: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	128670,5	1	128670,5	68,01294	0,000000
Termín	34568,6	5	6913,7	3,65447	0,006084
Odrůda*Termín	23065,8	5	4613,2	2,43843	0,044955
Chyba	109727,5	58	1891,9		

5.5 Objem kořenů

Celkový objem kořenů, znázorněný v tabulce č. 12, se v odrůdovém průměru pohyboval v rozmezí 0,216 – 0,764 cm³ v 1. termínu a 0,017 – 0,083 cm³ v 2. termínu. Největší objem kořenů měl v 1. termínu Hostyn následovaný Moravicí, v 2. termínu byla naopak lepší Moravice následovaná Hostynem. Na třetím místě se v obou termínech umístil Prior, který měl v 1. termínu průkazně menší objem kořenů vůči prvním dvěma. V 2. termínu statisticky průkazné rozdíly mezi odrůdami nebyly.

Tabulka 9: Objem kořenů (mm³)

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Hostyn	764	62	413 ^a
Moravice	760	83	421 ^a
Prior	473	50	261 ^{ab}
Kora	363	22	193 ^b
Hykor	246	17	132 ^b
Pronela	216	23	119 ^b
Průměr	478 ^a	43 ^b	256,0

Tabulka 10: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	3,184075	1	3,184075	56,55159	0,000000
Termín	1,043519	5	0,208704	3,70674	0,005588
Odrůda*Termín	0,690280	5	0,138056	2,45198	0,043964
Chyba	3,265627	58	0,056304		

5.6 Poměr R/S

Poměr podzemní a nadzemní biomasy (R/S), znázorněný v tabulce č. 14, se pohyboval v rozmezí 0,38 – 0,61 v 1. termínu a 0,28 – 0,46 v 2. termínu. V 1. termínu do kořenů nejvíce investovala Moravice, následovaná Hostynem a Korou. V 2. termínu naopak Kora, následovaná Hykorem a Pronelou. Nejmenší poměr R/S pak vykazovala Moravice. Byl zjištěn průkazný rozdíl podílu hmotnosti kořenů na hmotnosti celé rostliny mezi jednotlivými termíny, rozdíly mezi odrůdami ale statisticky průkazné nejsou.

Tabulka 11: Poměr R/S

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Hostyn	0,53	0,34	0,44
Moravice	0,61	0,28	0,45
Prior	0,44	0,35	0,40
Kora	0,52	0,46	0,49
Hykor	0,48	0,45	0,47
Pronela	0,38	0,41	0,40
Průměr	0,5 ^a	0,38 ^b	0,44

Tabulka 12: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	0,08455	5	0,01691	0,7487	0,590351
Termín	0,21896	1	0,21896	9,6948	0,002869
Odrůda*Termín	0,23099	5	0,04620	2,0454	0,085558
Chyba	1,30998	58	0,02259		

5.7 Hmotnost suché nadzemní biomasy

Hmotnost suché nadzemní biomasy, znázorněná v tabulce č. 16, se v odrůdovém průměru pohybovala v rozmezí 80 – 201 mg v 1. termínu a 8 – 47 mg v 2. termínu. Největší hmotnost suché nadzemní biomasy vykazoval v 1. termínu Hostyn následovaný Moravicí, v 2. termínu byla naopak lepší Moravice, následovaná Hostynem. Na třetím místě se v obou termínech umístil Prior, který měl v 1. termínu průkazně menší hmotnost suché nadzemní biomasy vůči Hostynu. Rozdíl mezi Moravicí a Priorem byl neprůkazný, nicméně vůči Hykoru, Koře a Proneli průkazný rozdíl byl. V 2. termínu statisticky průkazné rozdíly mezi odrůdami nebyly.

Tabulka 13: Hmotnost suché nadzemní biomasy (mg)

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Hostyn	200,9	30,0	115,5 ^a
Moravice	164,8	46,7	105,7 ^{ab}
Prior	117,2	22,3	69,7 ^{bc}
Kora	108,9	10,5	59,7 ^c
Hykor	111	7,6	59,3 ^c
Pronela	79,6	10,2	44,9 ^c
Průměr	111,9 ^a	18,5 ^b	75,8

Tabulka 14: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	0,045986	5	0,009197	4,3239	0,002065
Termín	0,207593	1	0,207593	97,5958	0,000000
Odrůda*Termín	0,016669	5	0,003334	1,5674	0,183674
Chyba	0,123370	58	0,002127		

5.8 Maximální výška nadzemní biomasy

Maximální výška nadzemní biomasy, znázorněná v tabulce č. 18, se v odrůdovém průměru pohybovala v rozmezí 113 – 170 mm v 1. termínu a 78 – 133 mm v 2. termínu. Největší odrůdou byla v 1. termínu Kora, následovaná Hostynem. V 2. termínu byla nejvyšší Moravice, následovaná Hostynem. Pozoruhodně malé rozdíly byly shledány mezi termíny u odrůd Moravice (133 a 138 mm) a Prior (105 a 113 mm), naopak velmi výrazný rozdíl byl u Kory, která byla v 1. termínu nejvyšší (170 mm), průkazně vyšší, než Moravice a v 2. termínu měla průměrnou výšku pouze 80 mm, což je o 2 mm více, než Pronela a o 3 mm méně, než Hykor. Moravice pak v 2. termínu byla průkazně vyšší, než všechny odrůdy mimo Hostyn.

Tabulka 15: Maximální výška rostlin (mm)

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Hostyn	150	112	131 ^a
Moravice	138	133	136 ^a
Prior	113	105	109 ^{bc}
Kora	170	80	125 ^{ab}
Hykor	134	83	109 ^{bc}
Pronela	114	78	96 ^c
Průměr	137 ^a	99 ^b	118,0

Tabulka 16: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	25264,0	1	25264,0	52,638	0,000000
Termín	13180,5	5	2636,1	5,492	0,000332
Odrůda*Termín	14523,4	5	2904,7	6,052	0,000142
Chyba	27837,5	58	480,0		

5.9 Počet odnoží

Počet odnoží, znázorněný v tabulce č. 20, se v odrůdovém průměru pohyboval v rozmezí 2,8 – 4,7 odnoží v 1. termínu a 1 – 2,6 odnoží v 2. termínu. Nejvyšší počet odnoží vykazoval v 1. termínu Hostyn, následovaný Moravicí. V 2. termínu byla naopak lepší Moravice, následovaná Hostýnem. Na třetím místě se v obou termínech umístil Prior, který měl v 1. termínu průkazně menší hmotnost suché nadzemní biomasy vůči Hostynu. Rozdíl mezi Moravicí a Priorem byl neprůkazný, nicméně vůči Hykoru, Koře a Pronela průkazný rozdíl byl. V 2. termínu statisticky průkazně odlišná pouze Moravice vůči Koře, Hykoru a Pronela.

Tabulka 17: Počet odnoží

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Hostyn	4,7	2,1	3,4 ^a
Moravice	4	2,6	3,3 ^a
Prior	3,8	1,6	2,7 ^{ab}
Kora	2,8	1,2	2 ^b
Hykor	3,3	1	2,1 ^b
Pronela	3,4	1	2,2 ^b
Průměr	3,7 ^a	1,6 ^b	2,6

Tabulka 18: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	75,4034	1	75,4034	68,2543	0,000000
Termín	22,3054	5	4,4611	4,0381	0,003266
Odrůda*Termín	3,2482	5	0,6496	0,5880	0,709037
Chyba	64,0750	58	1,1047		

5.10 Počet vyvinutých listů

Počet vyvinutých listů, znázorněný v tabulce č. 22, se v odrůdovém průměru pohyboval v rozmezí 2,8 – 8,2 listů v 1. termínu a 2,3 – 5,5 listů v 2. termínu. Nejvyšší počet vyvinutých listů vykazovala v obou termínech Moravice, následovaná Hostynem. Na třetím místě se v obou termínech umístil Prior. Rozdíl mezi Moravicí Hostynem a Priorem byl v obou termínech neprůkazný. V případě Kory nebyl mezi 1. a 2. termínem v tomto parametru rozdíl a méně listů měl jen Hykor v 2. termínu.

Tabulka 19: Počet vyvinutých listů

Odrůda	Pokusný termín		Průměr
	1	2	
Hostyn	7,8	4,3	6 ^{ab}
Moravice	8,2	5,2	6,8 ^a
Prior	6,8	3,3	5 ^{bc}
Kora	2,8	2,8	2,8 ^d
Hykor	5	2,3	3,7 ^{cd}
Pronela	5	3	4 ^{cd}
Průměr	6 ^a	3,6 ^b	4,7

Tabulka 20: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	99,409	1	99,409	21,4938	0,000021
Termín	136,913	5	27,383	5,9206	0,000173
Odrůda*Termín	25,408	5	5,082	1,0987	0,371030
Chyba	268,250	58	4,625		

5.11 Plocha listů

Plocha listů (z obou stran), měřená pouze v druhém termínu a je znázorněná v tabulce č. 24, se v odrůdovém průměru pohybovala v rozmezí 4,6 – 28 cm². Nejvyšší plochu listů průkazně a s velkým rozdílem vykazovala Moravice, následovaná Hostynem a Priorem. Rozdíl mezi Hostynem a Priorem byl neprůkazný, nicméně vůči Koře, Pronela a Hykoru průkazný byl. Prior byl průkazně odlišný pouze vůči Moravici.

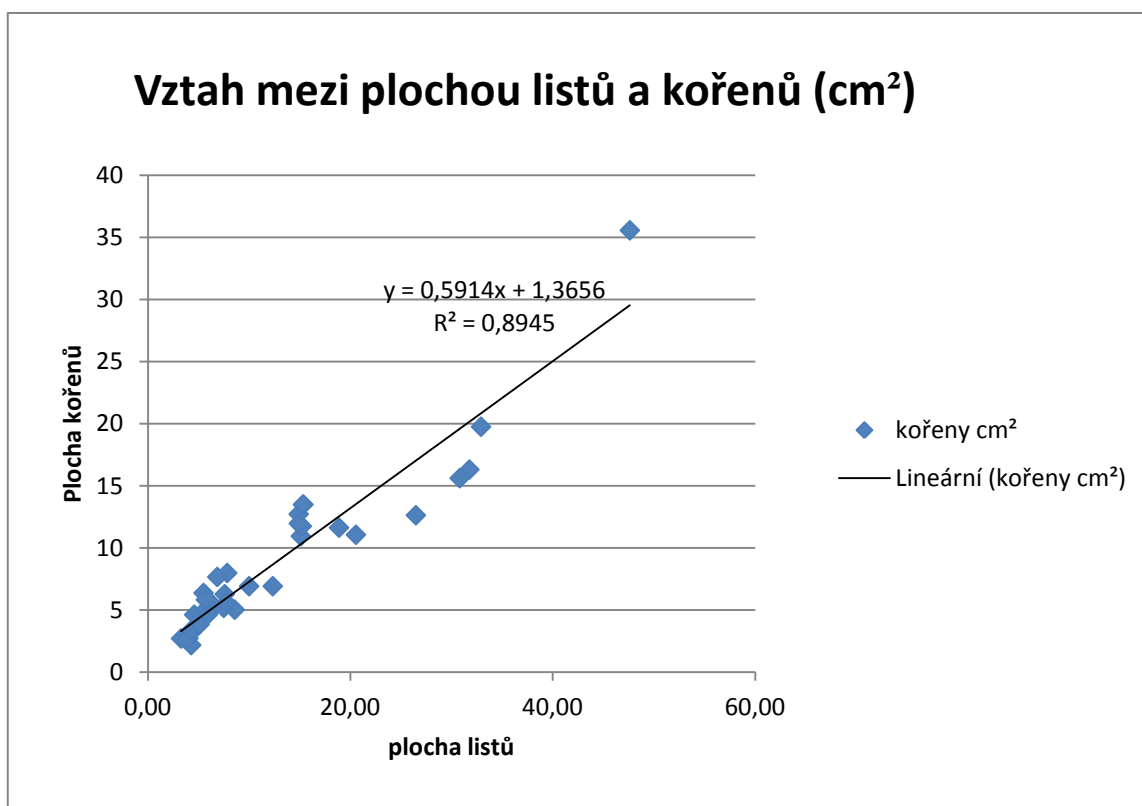
Tabulka 21: Plocha listů (cm²)

Odrůda	cm ²
Hostyn	17,9 ^b
Moravice	28 ^a
Prior	11,5 ^{bc}
Kora	6,2 ^c
Hykor	4,6 ^c
Pronela	5,6 ^c
Průměr	13

Tabulka 22: Tabulka analýzy variace

	SS	DF	MS	F	P
Odrůda	2471,146	5	494,229	11,9486	0,000002
Chyba	3,265627	58	0,056304		

Mezi velikostí povrchu listů a povrchu kořenů byl shledán silný vztah s korelačním koeficientem 0,894, což znázorňuje graf č. 3.

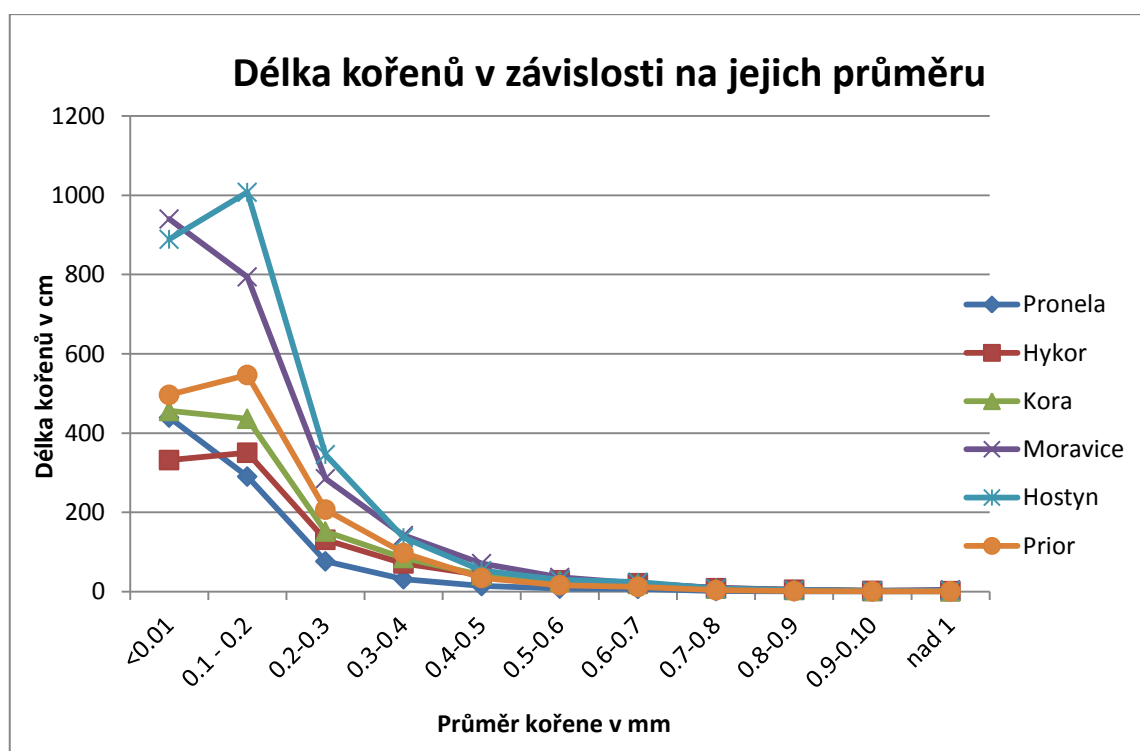


Graf 3: Vztah mezi plochou listů a kořenů

5.12 Délka kořenů v jednotlivých tloušťkových kategoriích

Největší délka kořenů byla zjištěna v tloušťkové kategorii do 0,15 mm a s narůstající tloušťkou prudce klesá, jak je vidět z grafu č. 4. Délka kořenů v kategorii s tloušťkou nad 0,6 mm je již nepatrná.

Zajímavé je také porovnání objemu jednotlivých tloušťkových kategorií. Největší objem kořenů je tvořen kategorií 0,2 mm tloušťky. Se zvyšující se tloušťkou objem klesá s jedním zastavením na cca 0,65 mm až na tloušťku cca 0,95 mm, od které se objem kořenů naopak prudce zvyšuje.



Graf 4: Délka kořenů v závislosti na jejich průměru

6 DISKUZE

Vhledem k vysokým teplotám a z toho odvozené vysoké evapotranspiraci vody v prvním termínu lze předpokládat omezení růstu zapříčiněné deficitem vody a stresem rostlin z vysokých teplot. Trávy z druhého termínu byly výrazně menší než z prvního, což je dáno naopak nízkými teplotami, zejména na konci vegetace. Suma průměrných denních teplot nad růstovým minimem 5 °C je v prvním termínu 3,2 krát vyšší, než v termínu druhém (891°C : 277,5 °C), přičemž množství celkové suché biomasy vytvořené v prvním termínu bylo 6,9 krát větší, než v termínu druhém, což může být do značné míry dáno velkým počtem mrazivých dnů, které na rozdíl od tropických dnů růst neumožňují.

Z výsledků je patrné, že nejrychleji se po výsevu vyvíjel loloidní hybrid Hostyn a jílek mnohokvětý Moravice. Tento výsledek je v souladu s obecným předpokladem velmi rychlého vývinu jílků a jílkových hybridů v počátečních fázích růstu. Vůči ostatním odrůdám (druhům) trav v pokuse se tyto dvě odrůdy vyznačují větší změnou poměru mezi nadzemní a podzemní částí (R/S) v závislosti na podmínkách vývoje, což může být jeden z aspektů lepšího (rychlejšího) vývoje. Korelační koeficient mezi poměrem R/S a celkovou biomasou vychází 0,39, přičemž v 1. termínu platilo, že čím větší je podíl podzemní biomasy, tím je více biomasy celkové – $r = 0,33$, naopak v 2. termínu bylo výhodnější investovat více do nadzemních částí – $r = (-0,3)$. Dalším aspektem bude rychlejší klíčení a počáteční vývoj rostlin těchto druhů. Rozdíl ve vývoji nadzemních orgánů byl při pokusu dobře patrný, nicméně nebyl cíleně sledován a zaznamenáván, neboť je dobře znám z jiných pokusů.

Částečně srovnatelný výzkum prováděl Šimkūnas et al. (2007), který sledoval růst adventivních kořenů jílku mnohokvětého (odrůda Macho), kostřavy luční (odrůda Dotnuva I) a *xFestulolium braunii* (odrůda Punia) pěstovaných v aeroponii, což jim mimo jiné umožnilo sledování růstu kořenů v přesně definovaných podmínkách, což v našem pokusu nebylo možné. (*Náš výzkum byl prováděn v podmínkách mnohem bližších reálnému pěstování, což má, domnívám se, také svoji hodnotu.*) Hodnoty byly měřeny po 9 dnech růstu při 4°C, kterým předcházela vegetace 35 dní při 20 °C a zprůměrovány na denní přírůstky. Jejich výsledky poměrně odpovídají těm z našeho

pokusu. Nejvíce rostl jílek mnohokvětý – 3,70 mm.den⁻¹, poté *xFestulolium braunii* – 2,23 mm.den⁻¹ a nejpomaleji rostla kostřava luční – 0,78 mm.den⁻¹. V jiném velmi podobném pokusu téhož autora byl prodlužovací růst adventivních kořenů výše uvedených druhů téměř bez rozdílů mezi druhy. Při teplotě 20 °C rostly cca 18 – 19 mm.den⁻¹ při 8 °C cca 8 mm.den⁻¹ a v případě 0 °C byl nejvíce potlačen růst jílku mnohokvětého, ostatní rostly více než dvojnásobnou rychlostí, cca 1,5 mm.den⁻¹. Je však třeba zde upozornit, že ve zmiňovaném výzkumu byly sledovány pouze adventivní kořeny, zatímco v našem výzkumu se hodnotily všechny kořeny, tedy i primární a seminální.

Podle Humphreyse (2011) se mezirodový hybrid jílku vytrvalého a kostřavy luční Prior vyznačuje významným vlivem na modifikaci půdních vlastností a zvýšení infiltračních schopností půd. Tento efekt má být způsoben vyšší produkcí hlubokých kořenů v prvním užitkovém roce, které brzy odumírají a kanálky po odumřelých kořenech vytváří makropóry usnadňující zasakování vody. V našem pokuse se tato vlastnost ve srovnání s ostatními druhy neprojevila, nicméně ve většině sledovaných parametrů předčil kostřavu rákosovitou (Kora), kostřavu luční (Pronela) i festucoidní hybrid Hykor. Otázkou je, jak by sledované parametry vycházely u starších řádně vyvinutých rostlin, které odpovídají rostlinám v užitkovém roce. Primární kořenový systém trav vyrůstající přímo z obilky je velmi jemný a až adventivní kořeny vyrůstající z odnožovacího uzlu se vyznačující větším průměrem, který je významný z hlediska tvorby makropórů po odumření kořene. V našem pokuse byly trávy vyhodnocovány ve fázi začínajícího růstu adventivních kořenů, v případě 2. termínu pak velká část rostlin adventivní kořeny neměla téměř žádné. V tomto vidím důvod, proč se mnoho předpokládaných vlastností neprojevalo. Doba ukončení pokusu v 2. termínu byla dána koncem vegetační sezony, kdy převládaly teploty do 5 °C a v 1. termínu byla do značné míry dána nedostatkem informací o rychlosti růstu kořenů zkoušených rostlin v daných podmínkách, přičemž byl kladen důraz na změření hloubky zakořenění, a nebylo tedy žádoucí, aby byl růst kořenů do hloubky omezen dnem válců, což by tento parametr zkreslilo. Následně se ukázalo, že pokus mohl ještě pokračovat, protože většina kořenů dosahovala hloubky do 35 cm, tři rostliny však již měly kořeny delší než 40 cm (41 cm Hostyn, 42 cm Hykor a 51cm Moravice). Výška použitých válců byla 50 cm. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že pokus sice mohl ještě krátce pokračovat, ale rozhodnutí

ukončit ho bylo správné. Můžeme tedy potvrdit zkušenost Ing. Kvasnovského (ústní sdělení), který dělal obdobný pokus, že pro zkoumání hloubky zakořenění trav v pozdějších fázích vývoje je třeba využít výrazně vyšších válců.

Jedním z omezujících aspektů těchto výzkumů je velmi velká časová náročnost skenování kořenů (roztváření kořenů na skeneru). V mém případě se v prvním termínu jednalo od cca 30 minut do více než 2 hodin skenování na jednu rostlinu. Vyplatí se tedy tímto způsobem postupovat i u řádně vyvinutých trav odpovídajících produkčnímu porostu? Osobně se domnívám, že je možné tímto způsobem zkoumat jednotlivé rostliny pro získání detailní představy, ale pro získání dostatečného počtu výsledků pro statisticky významné porovnání je třeba rozborů zredukovat. Například ručním roztříděním kořenů podle průměru (relativně subjektivní) a následné vážení, případně skenování některých kategorií.

Značným problémem při podobných výzkumech může být silněji ulpělý písek na kořenech. Úplné zbavení kořenů písku je přinejmenším velmi problematické. V mém případě jsem s kořeny po vyprání značně manipuloval na skeneru, kde jsem z nich většinu zbytkového písku dostal pryč a dále se některá zrna uvolnila po uschnutí před vážením. Vzhledem k velkému rozdílu měrné hustoty kořenů a písku může být při vážení zbylý písek významným zkreslujícím faktorem. Můžeme se na to dle mého názoru dívat i tak, že zvážená hmotnost kořenů je z části daná hmotností zbylého písku, čímž dostáváme nepřesná data, která ovšem mohou být srovnatelná mezi sebou. Podmínkou by byl stejný způsob a intenzita praní kořenů a možná i podobná struktura. Zůstane po vyprání podobné množství písku na 1 g jemných a 1 g tlustých kořenů? Na první pohled zní odpověď ne, ale na druhou stranu, pokud budou písková zrna dostatečně velká, na tlustších kořenech se zrnka písku lehčeji opomenou a z kořenového vlášení je dokáže bez potíží udržet. Při skenování však písek významnější potíže nečiní, protože při vyhodnocování skenů je možné jej eliminovat nastavením citlivosti na tvar (poměr délky a šířky). V tomto případě může být výsledek zkreslován množstvím přítomných krátkých bočních kořínků zůstávších z předchozího snímku, což však lze korigovat včasnou výměnou vody, ve které se kořeny roztvářejí.

7 ZÁVĚR

V pokuse se neprojevily přednosti hybridu Prior, které uvádí Humphreys (2011) a hybrid Hykor byl ve většině parametrů horší, než odrůdy jeho rodičovských druhů (jílek mnohokvětý a kostřava rákosovitá). Nejlépe z pokusu vycházejí odrůdy Moravice (jílek mnohokvětý italský) a Hostyn (hybrid jílku mnohokvětého a kostřavy luční), jejichž výsledky jsou ve většině sledovaných parametrů srovnatelné. Přednosti hybridů Prior a Hykor se neprojevili zřejmě především z důvodu krátkého trvání pokusu a limitujících faktorů růstu. Z limitujících faktorů jde především o vysoké teploty a nedostatek srážek v letním termínu a naopak nízkých teplot v podzimním termínu. Možným limitujícím faktorem je i nedostatek některé živiny, protože trávy byly pěstovány v čistém písku s dvěma hnojivými zálivkami na úrovni běžných zemědělských postupů. Trávy byly odebírány v brzké fenofázi odnožování (průměr 3,7 odnoží z letního termínu a 1,6 odnoží z podzimního termínu), a proto získané výsledky nemusí odpovídat reálným výsledkům polního pěstování, při kterém jsou rostliny rozrostlé a projevují se také významné vlastnosti týkající se vytrvalosti, které v našem pokuse nebylo možno hodnotit.

Dále se potvrdilo očekávání vyšších investic rostlin do kořenů v suchých podmínkách vůči podmínkám s dostatkem vláhy. Poměr R/S se mezi zkoušenými druhy statisticky průkazně nelišil, ale je průkazná jeho změna mezi termíny a zřetelná různá míra této změny mezi jednotlivými odrůdami. Schopnost změny poměru R/S vykazuje vztah k celkové produkci biomasy. Rychlost růstu kořenů trav v počátečních fázích je úměrná rychlosti růstu nadzemních orgánů.

8 LITERATURA

BÁR, I., 1984: *Vodní bilance modelového travního porostu*. Disertační práce, Ústav experimentální fyto techniky ČSAV, Brno, 163 s.

BARNES, Robert F. *Forages: an introduction to grassland agriculture*. 6th ed. Ames: Iowa State Press, 2003, 556 s. ISBN: 978-0-8138-0421-7.

BRITŇÁK et al. *Ekológia trávneho porastu*. Piešťany: Centrum výskumu rastlinnej výroby, 2013. ISBN 987-80-89417-48-3.

DOSTÁL J. (1958): Klíč k úplné květeně ČSR. - 982 p., Praha.

DVOŘÁK, Miroslav. *Proč ztotožňování pojmu ?humus? a ?půdní organická hmota? v pedologii je zdrojem chybných závěrů?* [online]. České Budějovice, 2013 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: http://theses.cz/id/nbrnir/Miroslav_Dvorak_diplomova_prace.pdf. Diplomová práce.

EMBL J., KINTL A., ZÁHORA J., Dynamika úniku klíčových živin z jímací oblasti pro zásobování města Brna pitnou vodou, In *Život v půdě*, SPÚ v Nitre, 2013, pp. 7-17.

EPSTEIN, Emanuel. *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives*. New York: J. Wiley, 1972. ISBN 0-471-24340-X.

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.

ESHEL, A., KAFKAFI, U. (eds.) : *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, s. 1120.

FOJTÍK, A., 1994: *Method of softgrass improvement used at the Plant Breeding Station Hladké Životice*. Genet. Pol., 35A:25-31

FOJTÝN, Martin. *Produkce biomasy ječmene setého v závislosti na parametrech kořenového systému* [online]. Brno, 2015 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://theses.cz/id/agz38v/zaverecna_prace.pdf

GRYNDLER, Milan. *Mykorhizní symbióza: o soužití hub s kořeny rostlin*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1240-0.

HANSEN, S., 1995: *Effect of manure treatment and soil compaction on plant production of a dairy farm system converging to organic farming practice*. Agriculture, ecosystems and environment, 56, (3): 173 – 186

HEJDUK, Stanislav. *Vliv extenzivního obhospodařování pastevních porostů ve vztahu k porostovým a hydrologickým parametrům*. Brno, 2000. Disertační práce.

HOUDEK, I., 2005: *X Festulolium Perseus*. Czech J. Genet. Plant Bree. 41:35-36

HUMPHREYS, M.W., 2011. *Grass roots for improved soil structure and hydrology*. IBERSK knowledge-based Innovation spp. 21-25. dostupné na: <http://www.aber.ac.uk/en/media/05.pdf>

HUMPHREYS, Mike. *Managing the extremes: symptoms and solutions*. Institute of biological, environment and rural sciences.

JANDÁK, Jiří, Eduard POKORNÝ a Alois PRAX. *Půdoznalství*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-445-7.

JONES et al. *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics* [online]. Roma: FAO, 2010 [cit. 2016-04-11]. ISBN: 978-92-5-106695-9. Dostupné z: <http://www.fao.org/3/a-i1880e.pdf#page=11>

JONES, SK, REES, RM, KOSMAS, D, BALL, BC a SKIBA, UM., 2006: *Carbon sequestration in a temperate grassland: management and climatic controls*. Soil Use and management, 22:132-142

JURČÍK, F., 1988: *Agronomické vlastnosti půdy a výživa rostlin*. in Havelka, B.: *Výživa a hnojení rostlin*. skripta VŠZ v Brně, s. 68 – 94

KASPRZAK, K., 1988: *Fyzikální simulace srážkoodtokových a odnosových jevů*. Vodohospodářský časopis. 36 (6): 590-607

KOPECKY, D., J. LOUREIRO, Z. ZWIERZYKOWSKI, M. GHESQUIERE a J. DOLEZEL. *Genome constitution and evolution in Lolium x Festuca hybrid cultivars (Festulolium)*. Theoretical and applied genetics [online]. 2006, 113, no. 4(4) [cit. 2016-04-20]. ISSN 00405752.

KOZELKOVÁ, Aneta. *Studium bobtnavosti a biologické aktivity hydrogelů huminových kyselin* [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=62713.

Diplomová práce.

KUTÍLEK, Miroslav. *Vodohospodářská pedologie: vysokoškolská učebnice*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1978. Řada stavební literatury.

LARSEN, S. U., BIBBY, B. M.: 2005: *Differences in thermal time requirement for germination of free turfgrass species*. CropSci. 45: 2030–2037

LITSCHMANN, Tomáš a Josef STRAKA. *Makropórové zasakování vody v travních porostech* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://amet.cz/makrovatin.htm>

MACLEOD et al. *A novel grass hybrid to reduce flood generation in temperate regions*. Nature.com [online]. 2013 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/srep01683>

NECPÁLKOVÁ, M., LI, D., LANIGAN, G., CASEY, I.A., BURCHILL, W., HUMPHREYS, J., 2013: *Changes in soil organic carbon in a clay loam soil following ploughing and reseed in golf permanent grassland under temperate moist climatic condition*. Grass and ForageSci., 69: 611-624

PETER J. LEA, JEAN-FRANÇOIS MOROT-GAUDRY., edited by Peter J. Lea, Jean-François Morot-Gaudry. *Plant nitrogen*. Berlin: Springer, 2011. ISBN 9783642087318.

POLOMSKI, J., KUHN, N., 2002: RootResearchMethods, p. 295 – 322 In: WAISEL,

POMMERESCHE et al. a Jan SIMON. *Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy* [online]. Olomouc: Bioinstitut, 2010 [cit. 2016-04-12]. ISBN 978-80-873. Dostupné z: http://www.bioinstitut.cz/publikace/documents/Meitemark_cz_web.pdf

PROCHÁZKA, Stanislav. *Botanika: morfologie a fyziologie rostlin*. 2., nezměněn. vyd. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. ISBN 80-7157-870-3.

RICHTER, Rostislav. *Multimediální učební texty z výživy rostlin* [online]. MZLU v Brně: Ústav agrochemie a výživy rostlin, 2003, 16.11.2006 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/index.htm

ROZMOŠ, Martin. *Vliv arbuskulárních mykorhizních hub a rhizosférických bakterií na růst kukuřice seté (Zea mays L.) a kostřavy červené (Festuca rubra L.)* [online]. Brno, 2009 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/151357/prif_m/. Diplomová práce.

RYCHNOVSKÁ, Milena. *Ekologie lučních porostů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1985.

Sdružení pěstitelů travních a jetelových semen [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.sptjs.cz/odrudy/lolmu.htm>

SKALICKÝ, Milan a Jan NOVÁK. *Botanika I.: anatomie a morfologie rostlin*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1724-6.

SKLÁDANKA, Jiří. *Pícninářství*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7509-111-6.

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

Struktura ploch osevní v roce 2015. Český statistický úřad [online]. 2015 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20543419/2701431504.pdf/c0ae8a5e-be66-4941-919b-cd32394d7670?version=1.1>

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: *Úskalí 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, Praha, s. 140. ISBN 978-80-7427-153-3.

Sureroot[online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.sureroot.uk/>

SVAČINA P., STŘEDA T., CHLOUPEK O., 2014: Un common selection by root systém size in creases barley yield. *Agronomy for sustainable development*, vol. 34, no. 2, s. 545 – 551.

SVOBODOVÁ, Olga. *Posouzení obsahu a kvality humusu u rozdílných technologií zpracování půdy Ing. Olga Svobodová 2011*[online]. České Budějovice, 2011 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://theses.cz/id/vh3cjf/Disertan_prce_Svobodov_Olga.pdf. Disertační práce.

ŠARAPATKA, Bořivoj. *Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření*. Olomouc: Bioinstitut, 2010. ISBN 978-80-87371-10-7.

ŠIMKŪNAS, Alvydas, Sandra VALAŠINAITĚ a Izolda PAŠAKINSKIENĚ. *Root growth characteristic sof Festuca, Lolium and Festulolium in relation to stress tolerance. Biologia*. 2007, 18(1), 64-68.

ŠIMKŪNAS, A., S. VALAŠINAITĚ a D. ŠVITRA. *Temperature-Dependent Growth Adaptation of Festuca pratensis from the Biophysical Viewpoint*. *Journal of Agronomy* [online]. 2011, 197(5), 361-367 [cit. 2016-04-22]. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2011.00470.x. ISSN 09312250.

ZÁHORA, Jaroslav, I. TŮMA, J. HYNŠT, J. EMBL, L. PLOŠEK, A. KINTL a O.URBÁNKOVÁ. *Interakce rostlin, půdních mikroorganismů a modelových forem půdního uhlíku: supramolekulárních struktur, huminových látek a biouhlu*. In: *Veronica: Ekologický institut* [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: www.veronica.cz/soubory/./10_Interakce%20rostlin_ZAHORA.pdf

9 SEZNAM GRAFŮ A OBRÁZKŮ

Graf 1: Zrnitostní složení písku pro pokus	43
Graf 2: Hloubka zakořenění testovaných trav	48
Graf 3: Vztah mezi plochou listů a kořenů	59
Graf 4: Délka kořenů v závislosti na jejich průměru	60
Obrázek 1: Vzcházející trávy ve válcích (před vyjednocením)	43
Obrázek 2: Trávy bezprostředně před ukončením pokusu (23. 7. 2015).....	44
Obrázek 3: Měření hloubky zakořenění (23. 7. 2015)	45
Obrázek 4: Vyprané kořeny trav (23. 7. 2015). Zleva: Kora, Moravice, Pronela, Prior, Hykor, Hostyn)	45
Obrázek 5: Rozložení kořenů při skenování	46
Obrázek 6: Rozložení listů při skenování pro zjištění listové plochy.....	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Zastoupení mikroedafonu v půdě (převzato od Jandáka et al. 2010)	28
Tabulka 2: Zastoupení mezoedafonu v půdě (převzato od Jandáka et al. 2010)	29
Tabulka 5: Hloubka zakořenění (mm)	49
Tabulka 6: Hmotnost suché podzemní biomasy (mg)	49
Tabulka 7: Tabulka analýzy variace	50
Tabulka 8: Celková délka kořenů (cm).....	50
Tabulka 9: Tabulka analýzy variace	51
Tabulka 10: Povrch kořenů (cm ²).....	51
Tabulka 11: Tabulka analýzy variace	52
Tabulka 12: Objem kořenů (mm ³)	52
Tabulka 13: Tabulka analýzy variace	53
Tabulka 14: Poměr R/S.....	53
Tabulka 15: Tabulka analýzy variace	54
Tabulka 16: Hmotnost suché nadzemní biomasy (mg)	54
Tabulka 17: Tabulka analýzy variace	55
Tabulka 18: Maximální výška rostlin (mm)	55
Tabulka 19: Tabulka analýzy variace	56
Tabulka 20: Počet odnoží	56
Tabulka 21: Tabulka analýzy variace	57
Tabulka 22: Počet vyvinutých listů	57
Tabulka 23: Tabulka analýzy variace	58
Tabulka 24: Plocha listů (cm ²).....	58
Tabulka 25: Tabulka analýzy variace	58