

Česká zemědělská univerzita

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ochrany lesa a entomologie



**Mykorhizní inokulace sazenic smrku ztepilého:
vyhodnocení experimentu na lokalitě Klášterec nad
Ohří**

Diplomová práce

Autor: Bc. Aneta Lísková

Vedoucí práce: doc. Ing. Vítězslava Pešková, Ph.D.

2018

Czech University of Life Sciences Prague

Faculty of Forestry and Wood Sciences

Department of Forest Protection and Entomology



**Mycorrhizal inoculation of Norway spruce seedlings:
experimental results in the area of Klášterec nad Ohří**

Thesis

Author: Bc. Aneta Lísková

Supervisor: doc. Ing. Vítězslava Pešková, Ph.D.

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Aneta Lísková

Lesní inženýrství

Název práce

Mykorrhizní inokulace sazenic smrku ztepilého: vyhodnocení experimentu na lokalitě Klášterec nad Ohří

Název anglicky

Mycorrhizal inoculation of Norway spruce seedlings: experimental results in the area of Klášterec nad Ohří

Cíle práce

Cílem práce je vyhodnotit vliv mykorrhizního přípravku na základní růstové a mykorrhizní charakteristiky u sazenic smrku ztepilého. Porovnávají budou sazenice ošetřené mykorrhizním přípravkem a sazenice kontrolní. Na základě získaných výsledků pak bude posouzena možnost využití tohoto mykorrhizního přípravku pro lesnickou praxi.

Metodika

Pro účely této práce budou v první polovině roku 2017 odebrány sazenice smrku ztepilého v Krušných horách (LS Klášterec nad Ohří), které byly ošetřené mykorrhizním přípravkem a sazenice neošetřené (kontrolní). U odebraných sazenic budou změřeny základní růstové charakteristiky, především výška nadzemní části, tloušťka kořenového krčku a po vysušení také hmotnost sušiny kořenové a nadzemní části sazenic. Na jemných kořenech (o průměru do 1 mm) budou hodnoceny základní mykorrhizní charakteristiky (počet aktivní, neaktivních mykorrhiz) pomocí metodiky popsané v práci (Pešková et Soukup 2006). Z těchto údajů budou následně stanoveny hustoty aktivních a neaktivních mykorrhizních špiček a podíl aktivních mykorrhizních špiček. U nejvýznamnějších charakteristik bude statistickými testy vyhodnocen vliv mykorrhizního preparátu na růst a rozvoj sazenic smrku.

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

Picea abies, ektomykorhiza, jemné kořeny, inokulace, mykorhizní symbióza, sazenice, mykorhizní přípravek

Doporučené zdroje informací

- Gryndler M., Baláž M., Hršelová H., Jansa J., Vosátko M. 2004. Mykorhizní symbióza, o soužití hub s kořeny rostlin. Academia, Praha: 366.
- Holuša J., Pešková V., Lorenc F. 2015. The impact of artificial mycorrhizal inoculation on the growth of common oak seedlings and development of mycorrhiza: Inoculation may not positively affect growth of seedlings. *Periodicum Biologorum* 117 (4): 519-526.
- Holuša J., Pešková V., Vostrá M., Pernek M. 2009. Impact of mycorrhizal inoculation on spruce seedling: comparisons of a 5-year experiment in forests infested by honey fungus. *Periodicum Biologorum* 111 (4): 413–417.
- Jeník J. et al. 2014. Roots and root system of trees. Kořeny a kořání stromů. *Opera Rhizologica*, Botanická zahrada, Liberec: 331.
- Mejstřík V. 1988. Mykorhizní symbiózy. Academia, Praha: 150.
- Pešková V., Soukup F. 2006. Houby vázané na kořenové systémy: metodické přístupy ke studiu. Review. *Zprávy lesnického výzkumu*, 51 (4): 279–286.
- Pešková V., Tuma M. 2010. Ověření vlivu mykorhizního preparátu na růst a vývoj smrkových sazenic na LS Jablunkov. *Zprávy lesnického výzkumu* 55 (3): 211–220.
- Pešková V. 2000. Mykorhizní inokulace, cesta, jak zlepšit ujmavost sazenic. *Lesnická práce* 79 (3): 120-121.
- Peterson R. L., Massiocotte H. B., Melville L. H. 2004. Mycorrhizas: anatomy and cell biology. National research Council of Canada, Ottawa: 173.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Vítězslava Pešková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ochrany lesa a entomologie

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2018

prof. Ing. Jaroslav Holuša, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2018

Prohlášení

"Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Mykorhizní inokulace sazenic smrku ztepilého: vyhodnocení experimentu na lokalitě Klášterec nad Ohří** vypracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Vítězslavy Peškové, Ph.D., a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V Praze dne 20. 4. 2018

.....

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí práce paní doc. Ing. Vítězslavě Peškové, Ph.D., za cenné rady a připomínky v průběhu psaní práce a za její odborné vedení. Dále děkuji panu Ing. Romanu Modlingerovi, Ph.D., za pomoc při statistickém zpracování dat. Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům Lesní správy Klášterec, LČR s. p. za poskytnutý sadební materiál a vstřícnou pomoc při odběru sazenic.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vyhodnocením vlivu mykorhizního přípravku ECTOVIT® firmy Symbiom, s. r. o. na základní růstové a mykorhizní charakteristiky u sazenic smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) H. Karst). Experiment probíhal v Krušných horách (LS Klášterec nad Ohří). Tento pokus s mykorhizně inokulovanými (ošetřenými) a kontrolními (neošetřenými) sazenicemi byl založen v květnu 2015. Z výzkumné plochy bylo v červenci 2017 odebráno 60 sazenic. Na každé z nich byly změřeny délky nadzemní a podzemní části, tloušťka kořenového krčku. Poté byly odděleny jemné kořeny do průměru 1 mm a vyhodnoceny hustoty aktivních a neaktivních mykorhizních špiček a jejich procentuální podíl. Po vyhodnocení mykorhizních charakteristik byly kořeny a nadzemní části smrkových sazenic vysušeny při teplotě 105 °C a následně byla stanovena jejich sušina.

Získané data byla statisticky zpracována. Na základě výsledků byla zjištěna statisticky významně vyšší hustota aktivních mykorhiz na ošetřených sazenicích. Hustota neaktivních mykorhiz byla vyšší u kontrolních sazenic. Výsledky ukázaly, že mykorhizní přípravek ECTOVIT pozitivně působí na rozvoj mykorhizních špiček, ale po vyhodnocení dvouletého experimentu nebyl zjištěn pozitivní vliv na růstové charakteristiky sazenic smrku ztepilého.

Klíčová slova

Picea abies, ektomykorhiza, jemné kořeny, inokulace, mykorhizní symbióza, sazenice, mykorhizní přípravky

Abstract

This diploma thesis deals with impact assessment of mycorrhizal preparation ECTOVIT® from firm Symbiom, s. r. o. on basic growth and mycorrhizal characteristics for seedlings of *Picea abies*. The experiment was performed in Ore mountains (in Krušné hory), LZ Klášterec nad Ohří. This experiment with mycorrhizal inoculated (treated) and control (uninoculated) seedlings was established in May 2015. Sixty (60) seedlings were removed from this research area in July 2016. On each of them it was measured the length of the above-ground and underground parts and thickness of the root neck. Gently roots to average 1 mm were separated and then thickness of active and inactive mycorrhizal peak was evaluated and their percentage quotient was evaluated too. After evaluation mycorrhizal characteristics roots and the above-ground parts of spruce seedlings were dried at 105°C. Then their dry matter was determined.

The obtained data were statistically processed. Based on the results statistically significantly higher thickness active mycorrhizal on treated seedlings was detected. The thickness of inactive mycorrhizal was higher in control seedlings. The results showed that mycorrhizal preparation ECTOVIT® it works positively on development of mycorrhizal peak, but after evaluation 2 years old experiment it was not detected positive influence on growth characteristics of seedlings of *Picea abies*.

Keywords

Picea abies, ectomycorrhiza, softly roots, inoculation, mycorrhizal symbiosis, seedlings, mycorrhizal preparation

Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Cíle práce	10
3.	Literární rešerše	10
3.1	Vliv stresových faktorů na zdravotní stav dřevin	10
3.2	Smrk ztepilý (<i>Picea abies</i> (L.) Karsten)	11
3.3	Využití nepůvodních druhů dřevin při obnově lesních porostů.....	12
3.4	Mykorhizní symbióza	14
3.5	Typy mykorhizní symbiózy	14
3.5.1	Endomykorhiza	15
3.5.2	Ektomykorhiza	16
3.5.3	Ektendomykorhiza	17
3.6	Mykorhizní houby.....	18
3.7	Využití umělé inokulace v lesnické praxi.....	18
3.8	Formy mykorhizního inokula	20
3.9	Metody kontroly mykorhiz	21
3.10	Využití inokulace mykorhizními houbami	22
3.10.1	Mykorhizní přípravky.....	23
4.	Metodika	23
4.1	Charakteristika výzkumné plochy	23
4.2	Odběr vzorků	24
4.3	Zpracování odebraného materiálu	25
4.4	Vyhodnocení růstových a mykorhizních parametrů	25
4.5	Statistické vyhodnocení dat	27
5.	Výsledky	27
5.1	Statistické vyhodnocení výsledků.....	27

5.1.1	Mykorhizní parametry.....	29
5.1.2	Kvantitativní veličiny.....	36
6.	Diskuze	44
7.	Závěr	47
8.	Seznam literatury a použitých zdrojů	49
9.	Seznam příloh	53
10.	Přílohy	54

Seznam tabulek, obrázků, grafů

Obrázek 1: Morfologie základních typů mykorhiz (Zdroj: KLÁN, 1989).....	15
Obrázek 2: Schéma ektomykorhizy v příčném řezu (Zdroj: PETERSON et al., 2004)	17
Obrázek 3: Schéma ektomykorhizy v podélném řezu (Zdroj: PETERSON et al., 2004)	17
Obrázek 4: Příčný řez kořenem smrku ztepilého (Zdroj: LÍSKOVÁ, 2017).....	17
Obrázek 5: Porostní mapa, červeně označen porost, ve kterém byla založena výzkumná plocha	24
Obrázek 6: Spearmanova korelační matice porovávající mykorhizní parametry a kvalitativní veličiny inokulovaných a kontrolních sazenic.	28
Obrázek 7: Hustoty aktivních a neaktivních mykorhiz, procento aktivních a neaktivních mykorhiz podle výzkumné plochy A, B.	30
Obrázek 8: Hustoty aktivních a neaktivních mykorhiz, procento aktivních a neaktivních mykorhiz na sazenicích u kontrolní a ošetřené variantě.	32
Obrázek 9: Hustota aktivních a neaktivních mykorhiz u kontrolní a ošetřené variantě na pokusných plochách A, B.....	34
Obrázek 10: Procenta aktivních a neaktivních mykorhiz u kontrolní a ošetřené varianty na jednotlivých pokusných plochách A, B.....	35
Obrázek 11: Hmotnost kořene, hmotnost nadzemní části, tloušťka kořenového krčku sazenic na výzkumných plochách A, B.	37
Obrázek 12: Výška nadzemní části a délka podzemní (kořenové) části sazenic na výzkumných plochách A, B.	38
Obrázek 13: Hmotnost kořene, hmotnost nadzemní části a tloušťka kořenového krčku u sazenic kontrolní a ošetřené varianty.	39
Obrázek 14: Výška nadzemní části, délka podzemní (kořenové) části u sazenic kontrolní a ošetřené varianty.	40

Obrázek 15: Hmotnost kořene, hmotnost nadzemní části a tloušťka kořenového krčku v kontrolní a ošetřené variantě na jednotlivých pokusných plochách A, B.	43
Obrázek 16: Výška nadzemní části a délka podzemní (kořenové) části u kontrolní a ošetřené varianty na jednotlivých pokusných plochách A, B.	44
Tabulka 1: Přehled hodnotících parametrů na sazenicích smrku [PEŠKOVÁ, TUMA, 2010].....	26
Tabulka 2: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka a medián hustoty aktivních a neaktivních mykorhiz, procento aktivních a neaktivních mykorhiz, podle pokusných ploch a variant ošetření	30
Tabulka 3: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka a medián hustoty aktivních a neaktivních mykorhiz, procento aktivních a neaktivních mykorhiz jako kombinace pokusné plochy a varianty ošetření.....	32
Tabulka 4: Výsledky analýzy rozptylu mykorhizních parametrů	33
Tabulka 5: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka a medián hmotnosti kořene a nadzemní části, tloušťky kořenového krčku, výšky nadzemní části a délky podzemní (kořenové) části podle pokusných ploch (A, B) a variant ošetření	36
Tabulka 6: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka a medián hmotnosti kořene a nadzemní části, tloušťky kořenového krčku, výšky nadzemní části a délky podzemní části jako kombinace pokusné plochy A, B a varianty ošetření/kontrola.....	41
Tabulka 7: Výsledky analýzy rozptylu mykorhizních parametrů	41

Seznam zkratek a symbolů

HuAM – hustota aktivních mykorhiz

HuNM – hustota neaktivních mykorhiz

ProAM – procentuální podíl aktivních mykorhiz

ProNM – procentuální podíl neaktivních mykorhiz

M_kořene – hmotnost kořene

M_nadzem – hmotnost nadzemní části

L_nadzem – výška nadzemní části

L_podzem – délka podzemní části

1. Úvod

Tématem diplomové práce je vyhodnocení experimentu na lokalitě Klášterec nad Ohří se sazenicemi smrku ztepilého inokulovaného mykorhizním přípravkem. Smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karsten) patří v České republice mezi nejdůležitější hospodářské dřeviny se zastoupením 51 % [PAVLÍČKOVÁ, 2016, MZE, 2017], vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám je možné využít umělé inokulace k posílení jeho zdravotního stavu.

Mykorhiza je orgán na kořenech, který je společný rostlině i houbě. Je aktivně žijící součástí půdní populace a má, vzhledem ke své stavbě a fyziologii, mnoho společných vlastností s kořeny rostlin, ale i s půdními mikroorganismy [MEJSTRÍK, 1988]. Mykorhizní symbióza je v přírodě velmi rozšířena, vyskytuje se u více než 95 % rostlinných druhů. Jedná se o vzájemně prospěšné soužití mezi houbami a kořeny rostlin, [GRYNDEL et al., 2004; PEŠKOVÁ, 2008].

Umělá inokulace rostlin mykorhizními přípravky napomáhá k jejich lepšímu přežití po přesazení, dalšímu růstu a vyšší odolnosti ve stresových podmínkách [LORENC, 2017]. Zlepšení kondice rostlin rovněž vede ke zvýšení odolnosti proti abiotickým a biotickým faktorům [PEŠKOVÁ, TUMA, 2010]. Rostliny jsou během svého života vystavovány působení stresových faktorů [PAVLÍČKOVÁ, 2016].

Mezi hlavní škodlivé činitele v roce 2016 náleželo, stejně jako v předchozích letech, poškození působené přemnožením podkorního hmyzu na smrku a aktivizace václavky (*Armillaria* sp). K nárůstu škod biotickými škůdci došlo následkem oslabení dřevin opakovaným suchem a extrémní výkyvy počasí. V roce 2017 nadále přetrvával nepříznivý vliv počasí na zdravotní stav dřevin [KNÍŽEK et al, 2017].

Oblast Krušných hor se posledních několik let dostává znovu do popředí zájmu. Hlavním důvodem je zdravotní stav dřevin, který se i přes veškerou péči jen velmi pomalu daří vracet do stavu, ve kterém by mohl dostatečně plnit své produkční i mimoprodukční funkce. Návrat k dřevinné skladbě předimisního období je komplikován rychlým rozpadem porostů náhradních dřevin, především smrku pichlavého [MODLINGER, PEŠKOVÁ, 2017]. Současná

ozdravná opatření v lesích postižených v 70. a 80. letech imisemi spočívají ve využití vápnění a hnojení porostů z důvodu nedostatku živin v půdě [MZE, 2017]. Tím by mělo dojít k vytvoření půdních podmínek vhodných pro zalesňování cílovými dřevinami (kromě smrku ztepilého především buk lesní a dále javor klen, jedle bělokorá) [WEB SILVARIUM.CZ].

2. Cíle práce

Cílem práce je vyhodnocení vlivu mykorhizního přípravku na základní růstové a mykorhizní charakteristiky u sazenic smrku ztepilého (*Picea abies*). Experiment probíhal v Krušných horách (LS Klášterec nad Ohří). Porovnávány byly sazenice ošetřené mykorhizním přípravkem a sazenice kontrolní. K vyhodnocení byla zjištěna hustota aktivních a neaktivních mykorhizních špiček a jejich procentuální podíl, dále pak tloušťka kořenového krčku, délka nadzemní a podzemní části a jejich hmotnost. Na základě získaných výsledků byla posouzena možnost využití tohoto mykorhizního přípravku pro lesnickou praxi.

3. Literární rešerše

3.1 Vliv stresových faktorů na zdravotní stav dřevin

Rostliny jsou během svého života vystaveny působení nepříznivých vlivů vnějšího prostředí, ty jsou označovány jako stresové faktory. Tyto faktory se dělí na biotické a abiotické. Mezi biotické faktory patří například hmyzí škůdci, houbové patogeny, bakterie a viry. Mezi abiotické faktory patří poškození suchem, pozdní přízemní mrazy, imise, šok z přesazení, mechanické poškození sněhem a námrazou, nedostatek základních živin, poškození větrem a požárem [PAVLÍČKOVÁ, 2016].

Největším problémem v posledních letech bylo poškození větrem, kdy jeho podíl na abiotických těžbách činil až tři čtvrtiny z celkových těžeb. V roce 2016 se situace změnila a dominantním abiotickým faktorem působícím škody v lese bylo sucho. Do této situace se zcela jistě promítlo postupné chřadnutí stromů po suchých a teplých letech 2015 a 2016, tudíž se dá předpokládat

v závislosti na průběhu srážek a teplot, že může dojít k dalšímu chřadnutí a odumírání porostů i v dalších letech [KNÍŽEK et al., 2017].

Stres z nedostatku vody ovlivňuje fyziologické procesy rostlin, to může vést k snížení růstu díky nižšímu příjmu živin ze suché půdy. Účinky sucha mohou být zvyšovány i působením dalších faktorů, například imisemi, a to jednak přímo, což je způsobeno poruchami reakčních schopností průduchů v důsledku zvýšených koncentrací okyselujících látek v ovzduší, ale i nepřímo změnami na kořenových systémech, vyvolaných acidifikací půdního prostředí nebo nerovnováhou živin [PALÁTOVÁ, MAUER, 2006].

Jako nejvýznamnější nebezpečí pro lesní porosty je možné považovat reakci biotických činitelů na klimatickou změnu. Lesní porosty se neumí přizpůsobit téměř okamžitým reakcím biotických škůdců na počasí a reagují akutním odumíráním. S průběhem počasí v posledních letech, lze očekávat změny v distribuci, reprodukci, vývoji a mortalitě hmyzu a hub. U biotických škodlivých činitelů došlo v roce 2016 ke dvojnásobnému nárůstu poškození způsobené podkorním hmyzem, především lýkožroutem smrkovým a lýkožroutem lesklým. Dále pak došlo k velkému nárůstu škod působených václavkami (*Armillaria* sp.) [KNÍŽEK et al., 2017; PEŠKOVÁ, HOLUŠA, 2017].

3.2 Smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karsten)

Smrk ztepilý patří z hospodářského hlediska mezi nejdůležitější dřeviny [PAVLÍČKOVÁ, 2016]. Jeho zastoupení v České republice činí 51 % [MZE, 2017]. Původní areál rozšíření je ve střední a jihovýchodní Evropě. Přirozeně roste většinou na kyselých půdách s vrstvou surového humusu, dále pak na středně až silně vlhkých až rašelinných půdách [LEUGNER, 2010]. V České republice se vyskytuje v nadmořských výškách nad 800 metrů, v nižších polohách je jeho původní výskyt ojedinělý, hlavně v inverzních polohách na vlhkých stanovištích. Považuje se za jeden z nejrychleji rostoucích druhů dřevin [PAVLÍČKOVÁ, 2016].

Smrk ztepilý je stálezelený jehličnatý strom s rovným kmenem. Je to stinná až polostinná dřevina, která je v mládí pokrytá hladkou světlehnědou borkou

a s přibývajícím věkem se mění na šupinovitě rozpukanou borku šedohnědé až červenohnědé barvy [LEUGNER, 2010].

Nejvýznamnějšími hmyzími škůdci napadajícími smrk jsou například bekyně mniška (*Lymantria monacha*), ploskohřbetka smrková (*Cephalcia abietis*), lýkožrout smrkový (*Ips typographus*), lýkožrout lesklý (*Pityogenes chalcographus*), pilatka smrková (*Pristiphora abietina*) a lýkožrout severský (*Ips duplicatus*). Mezi nejvýznamnější houbové patogeny smrku patří například václavka smrková (*Armillaria ostoyae*), kořenovník smrkový (*Heterobasidion parviporum*), sypavka smrková (*Lophodermium piceae*) a štěrbínatka smrková (*Lirula macrospora*) [ZAHRADNÍK et al. 2014].

Z abiotických faktorů poškozující smrk patří nedostatek živin v půdě. Mezi ty patří například dusík, fosfor, hořčík, sodík, vápník, draslík, bor, mangan, měď, molybden a zinek. Nedostatek těchto prvků v půdě může vést k zvýšenému opadávání jehličí a jeho zbarvení do žluta až žlutohněda, zpomalení růstu koruny atd. [PAVLÍČKOVÁ, 2016]. Smrk je také citlivý na zvýšené množství imisí v ovzduší, což ovlivnilo v minulém století v České republice hlavně severní pohoří. Imise mají vliv na celkový fyziologický stav smrku a projevuje se také snížením odolnosti proti patogenním organismům [LEUGNER, 2010]. Smrk snáší dobře nadbytečnou vlhkost, ale nedostatek vody je pro něj limitujícím faktorem [PAVLÍČKOVÁ, 2016]. Následkem sucha dochází ke ztrátě jehličí a celkovému oslabení stromů, které může vést k zvýšené gradaci kůrovců [MAREK, 2015; LIDICKÝ, 2015].

3.3 Využití nepůvodních druhů dřevin při obnově lesních porostů

Vzhledem k probíhajícím změnám klimatu a extrémním výkyvům počasí, na což mohou negativně reagovat autochtonní druhy, je jednou z možností využití introdukovaných dřevin.

Pojmem introdukce se rozumí dva typy aktivit. Prvním je rozšiřování dřeviny domácího původu na nepůvodní stanoviště z důvodu zvýšení produkční funkce lesů nebo plnění nějaké jiné požadované funkce. Druhým typem je rozšiřování geograficky nepůvodní dřeviny do nových oblastí ze stejných důvodů [PODRÁZSKÝ, 2017].

Introdukované dřeviny byly v Česku často využívány. Přesto jejich porostní plocha činí necelá 2 %. Hlavními sledovanými druhy introdukovaných dřevin v České republice jsou trnovník akát, smrkové exoty, douglaska tisolistá, dub červený, borovice černá a vejmutovka, jedle obrovská atd. V současné době je využití introdukovaných dřevin minimální. Svoji funkci naplnily například v 70. a 80. letech, kdy byl smrk pichlavý použit v masovém měřítku při zakládání náhradních porostů v horských imisních oblastech [UHLÍŘOVÁ et al., 2004].

Nejvýznamnějšími introdukovanými dřevinami, které si v současné době v měnících se klimatických podmínkách a častých obdobích sucha zaslouží pozornost, je trnovník akát, douglaska tisolistá, jedle obrovská a dub červený. Především introdukce douglasky se považuje za jednu z nejúspěšnějších v rámci světového lesnictví. Její přirozený areál se nachází v Severní Americe. Důvodem její introdukce je bezkonkurenční produkční potenciál a značná stabilita jejích porostů. V České republice bylo založeno i několik provenienčních pokusů, ke studiu její proměnlivosti. V posledním období o ní opětovně zájem vzrostl z hlediska produkce cenného dříví a stabilizace lesních porostů [PODRÁZSKÝ, 2017].

Jedle obrovská našla minimální uplatnění v českém lesnictví, kromě vánočních stromků. Tato dřevina zaujímá rozsáhlý přirozený areál na severozápadním pobřeží severoamerického kontinentu. Větší pozornost jí byla u nás věnována v období tzv. odumírání jedle bělokoré. Stejně jako u douglasky bylo založeno několik provenienčních ploch, které jsou stále sledovány, a výsledky mimo jiné umožnily i srovnání růstu jedle obrovské u nás a dalších zúčastněných zemí. Jedle je vhodnou dřevinou v porostních směsích.

Dub červený patří v České republice k nejvýznamnějším introdukovaným listnatým dřevinám. Jeho plocha činí 0,20 % porostní plochy. Původní areál zaujímá rozsáhlé oblasti ve východní části Severní Ameriky. V našich podmínkách byl nejprve využíván v parcích a alejových výsadbách. Její růst je výrazně lepší než domácí druhy, často se využívá na stanovištích, kde hrozí půdní eroze a degradace půdy. Nezanedbatelná je i jeho odolnost vůči

znečištěnému ovzduší. Je to dřevina i s poměrně snadnou přirozenou obnovou [PODRÁZSKÝ, 2017].

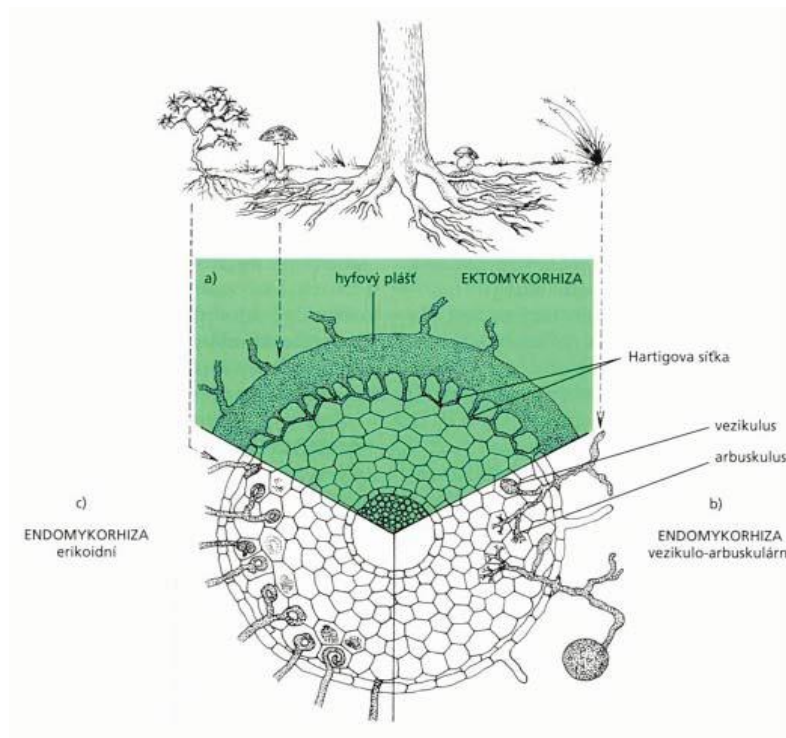
3.4 Mykorhizní symbióza

Symbióza je soužití mezi dvěma a více organismy. Jedná se o oboustranně prospěšný vztah. Může to být mutualistická symbióza (oboustranně prospěšná), anebo symbióza parazitická, kdy jeden ze zúčastněných organismů žije na úkor druhého.

Mykorhiza je orgán na kořenech, který je společný rostlině i houbě. Slovo mykorhiza pochází z řeckých slov mykés, mykétas (houba, hřib) a rhíza, ríza (kořen). Při doslovném překladu znamená „houbokořen“ [GRYNDEL et al., 2004].

3.5 Typy mykorhizní symbiózy

Mykorhizní symbióza se v zásadě dělí na dva základní typy. Prvním typem je endomykorhiza. Druhý typ se nazývá ektomykorhiza. Přejídným typem mezi endomykorhizou a ektomykorhizou je takzvaná ektendomykorhiza. U všech typů platí, pokud má mykorhizní symbióza vzniknout, musí půda obsahovat živé mykorhizní houby. Houby mohou být v klidovém stádiu (spor), ale i symbioticky rostoucí nebo vegetativní mycelium [PEŠKOVÁ, 2008].



Obrázek 1: Morfologie základních typů mykorhiz (Zdroj: KLÁN, 1989)

3.5.1 Endomykorhiza

Endomykorhiza se vyznačuje pronikáním mykorhizní houby do vnitřního prostoru buněk kořene hostitele [GRYNDEL et al., 2004]. Nevytváří se hyfový plášť ani Hartigova síť na povrchu kořínků. U tohoto typu mykorhizy nedochází k morfologickým změnám ve stavbě kořínků a kořeny nemají kořenové vlášení, proto není na rozdíl od ektomykorhizy pouhým okem patrná [MEJSTRÍK, 1988].

Dělí se na několik podtypů, a to arbuskulární, erikoidní (ta je dále rozdělena na dvě skupiny: arbutoidní a monotropoidní) a orchideoidní [PETERSON et al., 2004].

Arbuskulární mykorhiza je tvořena rozvětvenými útvary (arbuskuly), ty mají vstřebávací funkci. Později se v buňkách kořenů vytváří zásobní kulovité útvary (vezikuly) [PEŠKOVÁ, 2008].

Erikoidní mykorhiza je charakterizována soužitím hub zejména *Hymenoscyphus ericae* (voskovička vřesovcová) se zástupci rostlin z řádu Ericales [GRYNDEL et al., 2004]. Jedná se většinou o keře nebo nízké keříčky [MEJSTRÍK 1988]. Tyto rostliny mají jemné kořeny bez vlášení. Typickým

stanovištěm pro erikoidní mykorhizní symbiózu jsou kyselé biotopy chudé na dostupné minerální živiny, např. vřesoviště a rašeliniště [GRYNDEL et al., 2004].

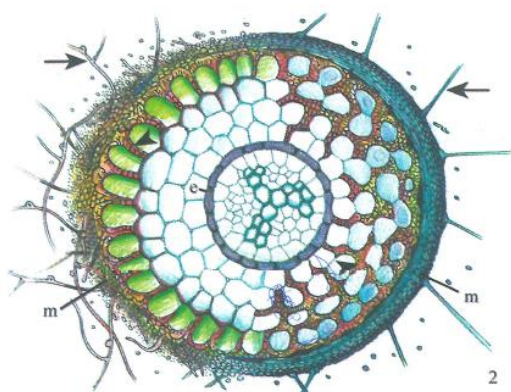
Orchideoidní mykorhiza je tvořena soužitím hub se zástupci čeledi vstavačovitých Orchideaceae [VANICKÁ, 2015]. Tento druh endomykorhizy je celosvětově rozšířený a ekonomicky významný.

Endomykorhizní rostliny jsou popsány asi u 1000 rodů patřících do 200 čeledí, náleží sem většina zemědělských plodin, vyskytují se téměř u všech cévnatých rostlin [GRYNDEL et al., 2004].

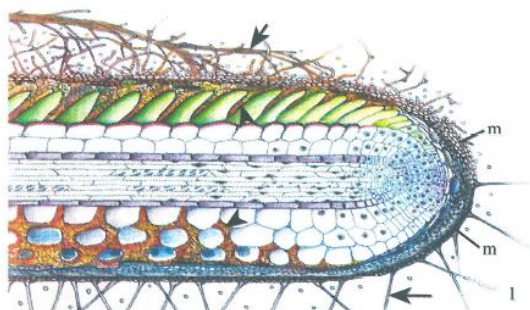
3.5.2 Ektomykorhiza

Ze všech druhů je ektomykorhizní symbióza nejpopulárnější a je jí věnována značná pozornost. Zúčastněných rostlin v ektomykorhizní symbióze jsou přibližně 3 % vyšších rostlin, to je okolo 2000 druhů dřevin. Například rody *Abies*, *Picea*, *Larix*, *Fagus*, *Quercus*, *Carpinus*, *Salix*, *Corylus*, *Acer*, *Alnus* atd. [REPÁČ, 2000].

Ektomykorhizní kořínky mají charakteristickou anatomickou stavbu. Na povrchu se vytváří hyfový plášť. Krátké kořínky postrádají kořenové vlášení, které je typické pro nemykorhizní kořeny. Infikované mykorhizní kořínky rostou pomaleji než nemykorhizní [PEŠKOVÁ, 2008]. Tloušťka hyfového pláště je ovlivněna druhem symbionta, délkou vývoje ektomykorhizy, stanovištními podmínkami i druhem rostliny. Barva hyfového pláště je způsobena druhem houby a rostliny, může být bílá přes hnědou až žlutá, ale i černá [MEJSTRÍK, 1988]. Hyfy pronikají do mezibuněčných prostor kořenové vrstvy a vytváří Hartigovu síť [REPÁČ, 2000]. Předpokládaná životnost ektomykorhizních kořínků je 2 roky. Jejich životnost podléhá vnějším i vnitřním faktorům [PEŠKOVÁ, 2006].



Obrázek 2: Schéma ektomykorhizy v příčném řezu (Zdroj: PETERSON et al., 2004)



Obrázek 3: Schéma ektomykorhizy v podélném řezu (Zdroj: PETERSON et al., 2004)



Obrázek 4: Příčný řez kořenem smrku ztepilého (Zdroj: Foto: LÍSKOVÁ, 2017)

3.5.3 Ektendomykorhiza

Vyznačuje se pronikáním hyf hub dovnitř buněk kořenové pokožky či kůry. Tvoří společně s arbutoidní a monotropoidní mykorhizní symbiózou přechod

mezi ektomykorhizní a endomykorhizní symbiózou. Vyskytuje se zejména u některých dřevin [GRYNDEL et al., 2004]. Druhy zúčastněných dřevin jsou např. *Larix* sp., *Picea* sp., *Pinus* sp. a byliny z čeledi Pyrolaceae, Monotropaceae a Cistaceae [REPÁČ, 2000].

3.6 Mykorhizní houby

Nejvíce zúčastněných a známých hub je u ektomykorhizní symbiózy, jejich počet se odhaduje na 5000 druhů [REPÁČ, 2000]. Nejvýznamnější jsou ektomykorhizní houby z rodu hřib (*Boletus*), pavučinec (*Cortinarius*), klouzek (*Suillus*), holubinka (*Russula*), ryzec (*Lactarius*), muchomůrka (*Amanita*), slzivka (*Hebeloma*). Nejčastějším druhem na dřevinách je *Cecococcum geophilum* [LORENC, 2017].

Počet druhů u endomykorhizních hub je malý. Převážně patří do třídy Zygomycetes [PEŠKOVÁ, 2008].

U ektendomykorhizy se vyskytují hlavně houby patřící do třídy Ascomycetes [REPÁČ, 2000].

3.7 Využití umělé inokulace v lesnické praxi

Umělé inokulum (očkování) mykorhizními houbami napomáhá k lepšímu přežití rostlin po přesazení a jejich dalšímu růstu [LORENC, 2017]. Zlepšení zdravotního stavu vede také ke zvýšení odolnosti proti abiotickým a biotickým faktorům [PEŠKOVÁ, TUMA, 2010].

Využití umělého inokula se v minulosti uplatňovalo výhradně při introdukci exotů nebo při zakládání plantáží monokultur v bezlesých oblastech, devastovaných územích, antropogenních, často toxických substrátů a při velkovýrobě sadebního materiálu ve školkách [MEJSTRÍK, 1988; KROPÁČEK, 1990].

Před introdukcí dřeviny do nové oblasti je třeba znát i vhodné druhy ektomykorhizních hub, které jsou schopné vyprodukovat dostatečné množství houbového inokula. Při zalesňování nebo využití odlesněných a zemědělských ploch ke školkařství, by měly být tyto plochy bezpodmínečně inokulovány vhodným houbovým symbiontem, aby byl zajištěn zdravý vývoj sazenic

[Mejstřík, 1988]. Ve školkařství se všeobecně udržuje úživnost substrátu častým hnojením. Při pěstování mykorrhizního sadebního materiálu, který má jednoznačné fyziologické přednosti, se musí s aplikací hnojiv a chemických přípravků přistupovat opatrně a zvažovat jejich pozitivních a negativních účinků [REPÁČ, 2000].

Sazenice bez ektomykorrhizy mohou být ve školce v prvních letech značně vyšší i silnější než sazenice s ektomykorrhizou. K tomu dochází tím, že rostliny na vytvoření symbiózy musí vydat houbě určité množství asimilátů, které chybí při tvorbě nadzemní biomasy. Jak již bylo uvedeno, mykorrhizní sazenice následně lépe odolávají stresu z přesazení, ale bylo také prokázáno, že mykorrhizní sazenice odolávají nepříznivému vlivu imisí, kyselého deště a kořenovým chorobám [MEJSTRÍK, 1988]. Proto by při zalesňování imisních lokalit měly být použity sazenice s dobře vyvinutou ektomykorrhizou [KROPÁČEK, 1990]. Sazenice bez mykorrhiz by neměly být využívány při zalesňování výsypek, hald, složišť elektrárenských popílků, průmyslových a městských opadů, pískoven a bezlesých stanovišť [MEJSTRÍK, 1988].

Z ekologického hlediska úspěch umělé mykorrhizace závisí na výběru vhodného symbionta pro určitý druh dřeviny [KROPÁČEK, 1990]. Houbový symbiont musí splňovat dvě podmínky. První z nich je, že musí snadno a rychle vytvořit s rostlinou ektomykorrhizu, a zároveň musí být tato houba dobře přizpůsobena stanovištním podmínkám, aby odolávala stresu a dobře rostla [Mejstřík, 1988]. Jako houbové symbionty se v současné době využívají např.: *Amanita muscaria*, *Hebeloma crustuliniforme*, *H. mesophaeum*, *Laccaria bicolor*, *L. laccata*, *Lactarius rufus*, *Pisolithus tinctorius*, *Suillus bovinus* aj. [PEŠKOVÁ, 2008].

Potenciál inokulace mykorrhizními houbami v praxi vyznívá optimisticky zčásti proto, že výsledky neúspěšných pokusů, kdy nebylo dosaženo žádoucího vlivu mykorrhizní symbiózy na růst rostlin, jsou málokdy zveřejňovány. Proto technologický a přehnaně optimistický pohled na využití mykorrhizních hub může být předčasný, zvláště pokud se pěstitelé rostlin jednou pokusili o neúspěšné využití bez hlubší znalosti dané problematiky. Přes dílčí neúspěchy při aplikacích mykorrhizního inokula je pravděpodobné, že se tato

biotechnologie stane součástí např. organického zemědělství, při rekultivacích narušených půd, či toxických substrátů a při produkci ovocných rostlin. Ke zvýšení pravděpodobnosti úspěšných aplikací mykorhiz je zdokonalování způsobů inokulace a testování praktických inokulací a také detailnější poznání ekologie a fyziologie mykorhizní symbiózy. Mykorhizní symbióza se může stát jednou z velmi užitečných technologií třetího tisíciletí [GRYNDEL et al., 2004].

3.8 Formy mykorhizního inokula

Na mykorhizaci sadebního materiálu je možné použít několik forem přírodního nebo laboratorně připraveného inokula [REPÁČ, 2000]:

1. půda, opadanka nebo humus získaný v lesním porostu,
2. sazenice s bohatou mykorhizní symbiózou,
3. vlastní ektomykorhizy získané z kořenů sazenic,
4. spory ektomykrohizních hub,
5. vegetativní inokulum (houbové mycelium):
 - čisté mycelium,
 - substrátové inokulum,
 - granulové inokulum.

Největším nedostatkem přírodního materiálu je fakt, že nejsou známy druhy hub přítomných v inokulu a ty mohou obsahovat patogeny a zárodky buřeně, kterými se kontaminuje půda. Použití přírodního materiálu ve většině případů zajišťuje, že téměř všechny semenáčky budou mít mykorhizní kořeny [REPÁČ, 2000].

První formou je očkování lesních školek půdou, kdy se odebere ze starého porostu svrchní vrstva půdy od dřeviny, kterou chceme pěstovat. Ve školce se poté smíchá zemina s touto odebranou vrstvou půdy, a až poté se plní do kontejnerů. Nevýhoda této metody je náročnost na lidské pracovní síly a velké náklady. Tímto způsobem můžeme také přenést patogenní druhy hub a škůdce.

Další metodou je výsadba starších stromků na záhony nebo plochy určené k výsadbě. Tímto způsobem dojde k inokulaci půdy ektomykorhizními druhy hub.

Další forma je použití čistých kultur, tato metoda je velmi perspektivní. Izoláty ektomykorhizních hub rostou nejprve na tekutých živných půdách. Následně jsou promíchány se sterilním substrátem. Nevýhoda této metody spočívá hlavně v použití velkého množství substrátu, aby byly alespoň částečně zachovány sterilní podmínky.

K inokulaci lze použít i spor ektomykorhizních hub [MEJSTRÍK, 1988]. K tomu je zapotřebí získání velkého množství plodnic, laboratorních testů na určení jejich životaschopnosti a genetické definice. Výhoda je, že nevyžadují žádnou přípravu v aseptických podmínkách a lehko se s nimi pracuje.

Umělou mykorhizaci nemůžeme chápat jen jako aplikaci houbového inokula, ale jako celou posloupnost kroků směřujících k dopěstování mykorhizního sadebního materiálu. Základními operacemi jsou výběr mykosymbiontů, izolace a kultivace houbového mycelia, příprava vegetativního inokula, aplikace inokula v lesních školkách [REPÁČ, 2000].

3.9 Metody kontroly mykorhiz

Standardní metodou zpracování ektomykorhiz je odebírání vzorků ze sond, takzvané vzorkování. Z takto odebraných vzorků jsou následně vyhodnoceny mykorhizní parametry. Na dlouhodobě sledovaných plochách při opakovaném vzorkování určitých částí kořenů je třeba dbát, aby nedošlo k ohrožení přirozené vitality stromů. Pro předpoklad reprezentativních a konzistentních výsledků musí být odebrány vzorky podle zvoleného designu, jejich následná laboratorní zpracování musí projít jednotnou metodou a co nejobjektivnějším vyhodnocením. Místo odběru, počet vzorků, velikost studovaných ploch a sond by mělo být náhodné a závisí na cílech výzkumu. Mykorhizy jsou následně hodnoceny pod binokulární lupou, kdy jsou kontrolovány počty aktivních a neaktivních mykorhizních špiček na kořenech do průměru 1 mm. Typickými znaky pro aktivní mykorhizy jsou špičky s vyvinutým houbovým pláštěm,

Hartigovou sítí, vysokým turgorem, postrádající kořenové vlášení, hladkým povrchem a světlejší barvou. Naopak u neaktivních mykorhizních špiček je typická výrazná ztráta turgoru, svraskalý povrch, dále chybějící houbový plášť a Hartigova síť. Z takto spočtených mykorhizních charakteristik jsou pro další analýzy stanoveny hustoty a procentuální podíly mykorhiz.

Další metody pro stanovení mykorhiz je možné využít hodnocení povrchu kořenů či zjištění jejich hmotnosti. Princip jedné metody je pokrytí povrchu kořenů tenkou vrstvou substance a zjištění množství této látky nebo odhad povrchu kořenů změřený digitizérem. Nepřímá metoda je zjištění hmotnosti sušiny kořenů [PEŠKOVÁ, SOUKUP, 2006]. Další metodou výzkumu ektomykorhiz jsou vzorky založené na celém kořenovém systému (nebo jeho převážné části). Tento přístup se používá především při studiu syntéz ektomykorhiz v laboratorních podmínkách a při studiu semenáčků [ŠMILAUEROVÁ, 1990].

Ostatní metody studia mykorhizních poměrů, jsou spíše experimenty s čistými kulturami hub a syntéz mykorhiz v umělých podmínkách [PEŠKOVÁ, SOUKUP, 2006].

3.10 Využití inokulace mykorhizními houbami

Při pěstování kulturních rostlin mohou být v praxi využity vlastnosti mykorhizních hub, a to zejména jejich účinky na výživu a zdravotní stav rostlin. Mykorhizní rostliny rostou hůře při extrémně nízkých hladinách limitujícího faktoru (faktor prostředí), protože i sama houba má určité nároky na živiny, a ty realizuje na úkor hostitele. Hlavním úkolem, který je nutné při aplikaci mykorhizních hub splnit, je, aby inokulované rostliny při dané hladině limitujícího faktoru (faktor prostředí) měly lepší růstová či jiná užitná kritéria než rostliny nemykorhizní. Příkladem vlivů, které ovlivňují výsledný efekt kolonizace rostlin mykorhizními houbami, jsou zejména vybrané symbiotické houby a vybrané hostitelské dřeviny. K praktickému využití mykorhizních hub je potřeba mít znalosti a materiál (inokulum, očkovací přípravek). Na trhu se objevuje stále více firem, které produkují očkovací přípravek s mykorhizními houbami. Hlavními v Německu jsou Triton, INOQ

a Mycotec. Ve Francii se nalézá firma Robin a ve Velké Británii firma s názvem Microbio. V České republice se nachází firma Symbiom, s.r.o.

V zahradnictví se přípravky obsahující mykorrhizní houby využívají zvláště v kontejnerové výrobě například okrasných rostlin, pokojových rostlin, ale i zeleniny a ovocné rostliny. V budoucnosti by aplikace těchto hub možná mohla i snížit chemické hnojení i využívání pesticidů [GRYNDEL et al., 2004].

3.10.1 Mykorrhizní přípravky

Ektomykorrhizní přípravek ECTOVIT® od společnosti Symbiom, s.r.o., jehož účinky byly v této práci testovány, obsahují 4 druhy mykorrhizních hub na tekutém nosiči *Paxillus involutus*, *Hebeloma crustuliniforme*, *Amanita rubescens*, *Amanita muscaria*. Dále 2 druhy mykorrhizních hub *Pisolithus arrhizus* a *Scleroderma citrinum* na rašelinovém nosiči, s obsahem přírodních složek podporujících mykorrhizu (humáty, mleté horniny, výtažky z mořských organismů) a biologicky rozložitelné granule absorpčního gelu. Jedná se o granulovaný přípravek, který napomáhá rostlinám čerpat živiny z půdy, zvyšuje odolnost proti stresu a podporuje rostlinu po celý její život. Obě složky jsou v granulové formě, a před aplikací se musí smíchat a rozpustit ve vodě do gelové formy. Pro fungování přípravku je potřeba celý kořenový systém namočit do takto vzniklé gelové směsi. Kromě smrku je vhodný například pro borovici, břízu, buk, dub, habr, lípu, olši, topol, vrbu jedli a modřín. Tento přípravek není vhodný pro okrasné jehličnany a pro vřesovcovité rostliny [WEB SYMBIOM, CZ; VLK, 2017].

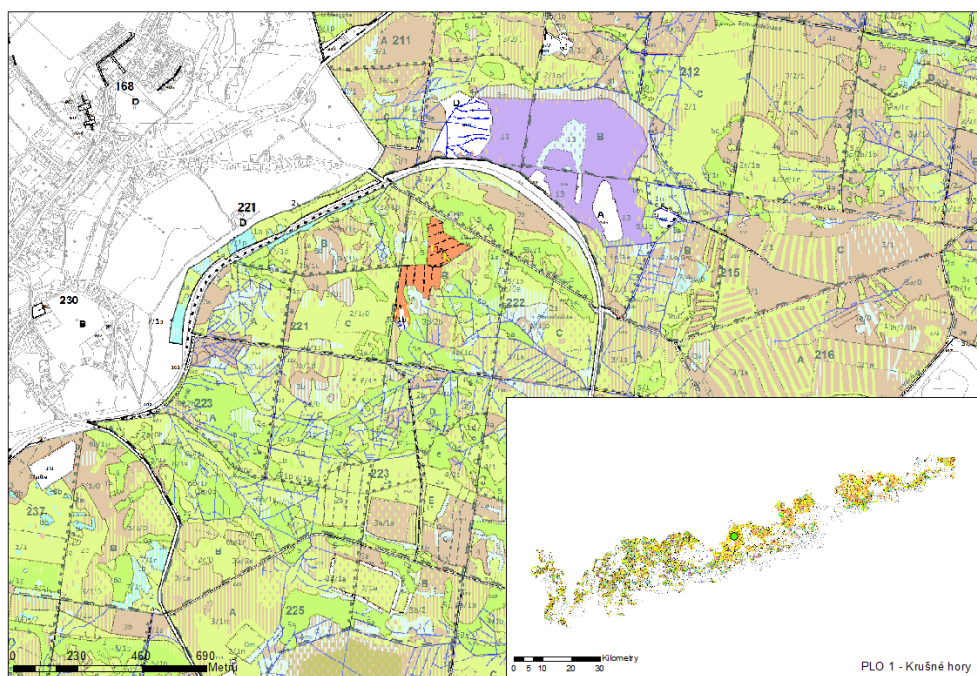
Dalším známým přípravkem je VAMBAC vyvinutý firmou Biotechnology, a.s. Přípravek obsahuje 6 druhů ektomykorrhizních hub (rody *Cenococcum*, *Hebeloma*, *Laccaria*, *Paxillus*, *Rhizopogon* a *Scleroderma*) - [HOLUŠA et al., 2015].

4. Metodika

4.1 Charakteristika výzkumné plochy

Experiment probíhal na území LČR, s. p., LS Klášterec nad Ohří. Výzkumná plocha se nacházela v nadmořské výšce 880 m n. m.. Pokus byl založen na revíru 05, porostní skupina 222 B03a, lesní typ 7K.

K zalesnění této plochy byly použity čtyřleté prostokořenné sazenice smrku ztepilého. Na ploše byla provedena celoplošná příprava půdy před zalesněním a výsadba ruční, jamková. Pokus s mykorrhizně inokulovanými (ošetřenými) sazenicemi a s kontrolními (neošetřenými) sazenicemi byl založen v květnu 2015. Sazenice smrku byly ošetřeny ektomykorrhizním přípravkem ECTOVIT (výrobce Symbiom, s. r. o.). Na pokusné ploše bylo vysázeno celkem 5 610 ks sazenic smrku ztepilého. Z toho bylo 1 683 sazenic namáčených do jíchy s naředěným přípravkem s přídavkem perlitu. Na jednu sazenici bylo aplikováno 20–30 ml přípravku. Zbytek zasazených sazenic 3 927 bylo neošetřených.



Obrázek 5: Porostní mapa, červeně označen porost, ve kterém byla založena výzkumná plocha

4.2 Odběr vzorků

Výzkumná plocha byla již při založení pokusu pracovníky lesní správy v roce 2015 rozdělena na dvě části (plocha A – zahrnovala ošetřené, neošetřené sazenice, B – zahrnovala ošetřené, neošetřené sazenice) proto i při odběrech z plochy A, B bylo v polovině července 2017 vyzvednuto 30 sazenic smrku (celkem 60) z každé plochy zvlášť. V terénu byly vzorky opatrně odebrány pomocí rýče a lopatky i s dostatečným půdním balem, aby nedošlo k oschnutí

kořenů. Vzorčky byly uloženy do igelitových pytlů a označeny datem odběru, číslem sazenice, číslem porostu a typem ošetření. Poté byly vzorčky uloženy do chladicí místnosti k dalšímu zpracování.

4.3 Zpracování odebraného materiálu

V první fázi zpracování byl na sazenicích smrku odstraněn půdní bal z kořenového systému. Následně byly kořeny vyprány, aby došlo k odstranění jemných nečistot. Takto očištěné kořenové systémy byly ostříhány a jemné kořeny byly uloženy do fixačního roztoku glutaraldehydu pro další laboratorní zpracování a vyhodnocení mykorhiz. Na nadzemních částech sazenic byly změřeny růstové parametry (viz tabulka), a poté byly uloženy do označených papírových sáčků pro následné stanovení sušiny.

4.4 Vyhodnocení růstových a mykorhizních parametrů

U každé sazenice byla změřena posuvnou digitální šuplerou tloušťka kořenového krčku. Délka nadzemní části byla měřena od kořenového krčku po terminální pupen a délka kulového kořene od kořenového krčku po špici.

Vyhodnocení mykorhizních parametrů probíhalo ve fytopatologické laboratoři za využití binokulární lupy Olympus SZ30 se zvětšením 40x. Při laboratorním zpracování a vyhodnocování mykorhiz bylo potřeba klást velký důraz na to, aby nedošlo k poškození mykorhiz (oschnutí, odlomení), kdy by mohlo dojít k získání nepřesných dat.

U každého vzorku se hodnotilo 20 kořenových segmentů. Každý segment byl dlouhý 5 cm včetně všech postranních kořínků o průměru do 1 mm. Na takto upravených kořenech bylo provedeno hodnocení počtu aktivních a neaktivních mykorhizních špiček. Poté byla vypočítána hustota aktivních a neaktivních mykorhizních špiček na jednu sazenici a jejich procentuální podíl [PEŠKOVÁ, SOUKUP, 2006]. Celkem bylo hodnoceno u mykorhizních parametrů 1 200 kořenových segmentů.

Hustota se vypočítala z průměrné hodnoty aktivních a neaktivních špiček na 1 cm délky kořene. Procentuální podíl se vypočítal z poměru aktivních a neaktivních mykorhizních špiček, kdy celkový počet byl 100 %

$$\text{Hustota AM/NM} = \frac{\text{průměr AM/NM}}{\text{celková délka}}$$

$$\text{Procentuální podíl AM/NM} = \frac{\text{celkový počet AM/NM}}{\text{celkový počet}}$$

Po vyhodnocení mykorhizních charakteristik byly kořeny a nadzemní části smrkových sazenic vysušeny a následně zváženy. Sušení probíhalo po dobu 24 hodin při teplotě 105 °C. Vzorky byly zváženy s přesností 0,01 g dle PEŠKOVÉ, TUMY, [2010]. Z růstových charakteristik bylo hodnoceno celkem 300 parametrů.

Tabulka 1: Přehled hodnotících parametrů na sazenicích smrku [PEŠKOVÁ, TUMA, 2010]

Hodnotící parametry		
1.	Hustota aktivních mykorhizních špiček	počítána jako průměrná hodnota zjištěného počtu aktivních mykorhiz vztážená na 1 cm délky kořene (v cm-1)
2.	Hustota neaktivních mykorhizních špiček	počítána jako průměrná hodnota zjištěného počtu neaktivních mykorhiz vztážená na 1 cm délky kořene (v cm-1)
3.	Procentuální podíl aktivních a neaktivních mykorhizních špiček	poměr aktivních a neaktivních mykorhiz (v %)
4.	Výška nadzemní části	měřená od kořenového krčku po vrchol terminálního pupenu (v cm)
5.	Délka podzemní části	měřená od kořenového krčku po špici nebo konec záměrně upravené části kořenu (v cm)
6.	Hmotnost sušiny kořene	průměrná hodnota kořenové sušiny (v g)
7.	Hmotnost sušiny nadzemní části	průměrná hodnota sušiny nadzemní části (v g)
8.	Tloušťka kořenového krčku	měřena v místě nad kořenovým systémem (v mm)

4.5 Statistické vyhodnocení dat

Při vyhodnocení dat bylo nejprve provedeno zjištění vzájemných vztahů mezi sledovanými proměnnými pomocí korelační matice. Jelikož použití určité korelační metody závisí na shodě dat s normálním rozdělením [MELOUN, MILITKÝ, 2004], byly jednotlivé proměnné testovány Shapiro-Wilkovým testem k ověření tohoto předpokladu (viz příloha 1). Jelikož došlo v převážné většině případů k zamítnutí shody s Gaussovým rozdělením, byl ke korelační analýze použit Spearmannův koeficient.

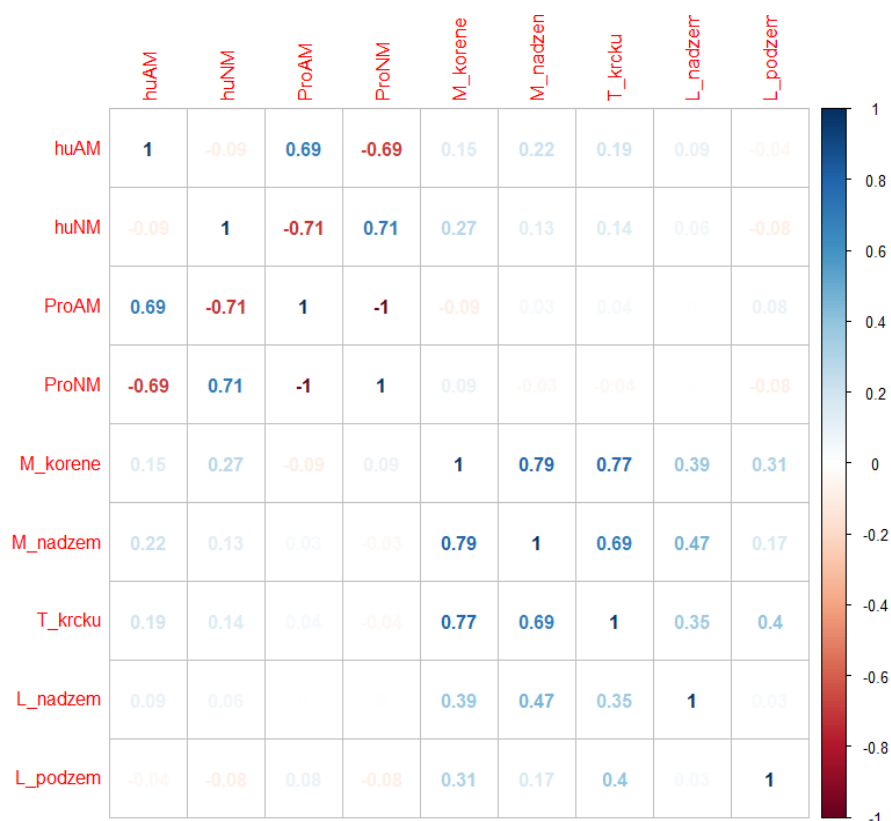
K vyhodnocení vlivu ošetření na mykorhizní a dendrometrické parametry sazenic byl využit model regresního typu. Kromě varianty ošetření byly porovnávány rozdíly mezi pokusnými plochami a jejich vzájemná interakce. Předpoklady lineárního regresního modelu byly ověřovány pomocí diagnostických grafů a statistických testů. Jednalo se zejména o graf závislosti reziduí na predikovaných hodnotách, rankitový graf standardizovaných reziduí, Shapiro–Wilkův test normality uplatňovaný na rezidua modelu a Bartlettův test homogenity rozptylu. V případě porušení předpokladů použití lineárního modelu byla závisle proměnná logaritmicky transformována. Na vytvořený regresní model byla následně aplikována analýza rozptylu (ANOVA). Při statisticky významném závěru ANOVy pro faktor, který vykazoval porušení homogenity rozptylu, byl výsledek testu ověřen použitím neparametrického Kruskal–Wallisova testu. Statistické analýzy byly provedeny postupy dle PEKÁR, BRABEC [2009], v statistickém prostředí R 3.3.2. [R CORE TEAM, 2016].

5. Výsledky

5.1 Statistické vyhodnocení výsledků

Veličiny zjišťované na sazenicích byly na základě provedené analýzy rozděleny do dvou vzájemně korelovaných skupin mykorhizní parametry a kvantitativní veličiny. Přehledně jsou znázorněné v korelační matici (Obr. 6). Mezi mykorhizní parametry patřily HuAm, HuNM, ProcAM a ProcNM. Procentuální podíl obou typů mykorhiz byl výsledkem podílu HuAM a HuNM, takže nepřímou úměrnou shoda procentuálních ukazatelů je samozřejmá a jejich vztah k „hustotám“ očekávatelný.

Naopak vztah mezi HuAM a HuNM byl relativně slabý. Z kvantitativních veličin byly zjišťovány hmotnosti sazenic, tloušťka kořenového krčku a výška sazenic. Hmotnosti sazenic dobře kladně korelovaly mezi sebou (hmotnost nadzemní části a kořene), ale rovněž poměrně těsně souvisely s tloušťkou kořenového krčku. Proti tomu vztah výšek, ať nadzemní nebo podzemní části, koreloval s předchozími dendrometrickými veličinami jen málo a ani vzájemný vztah mezi výškou nadzemní a podzemní částí nebyl nikterak těsný.



Obrázek 6: Spearmanova korelační matice porovnávající mykorhizní parametry a kvalitativní veličiny inokulovaných a kontrolních sazenic.

Modré hodnoty v grafu reprezentují kladné korelace, červené hodnoty záporné korelace. Intenzita barvy je přímo úměrná intenzitě korelace.

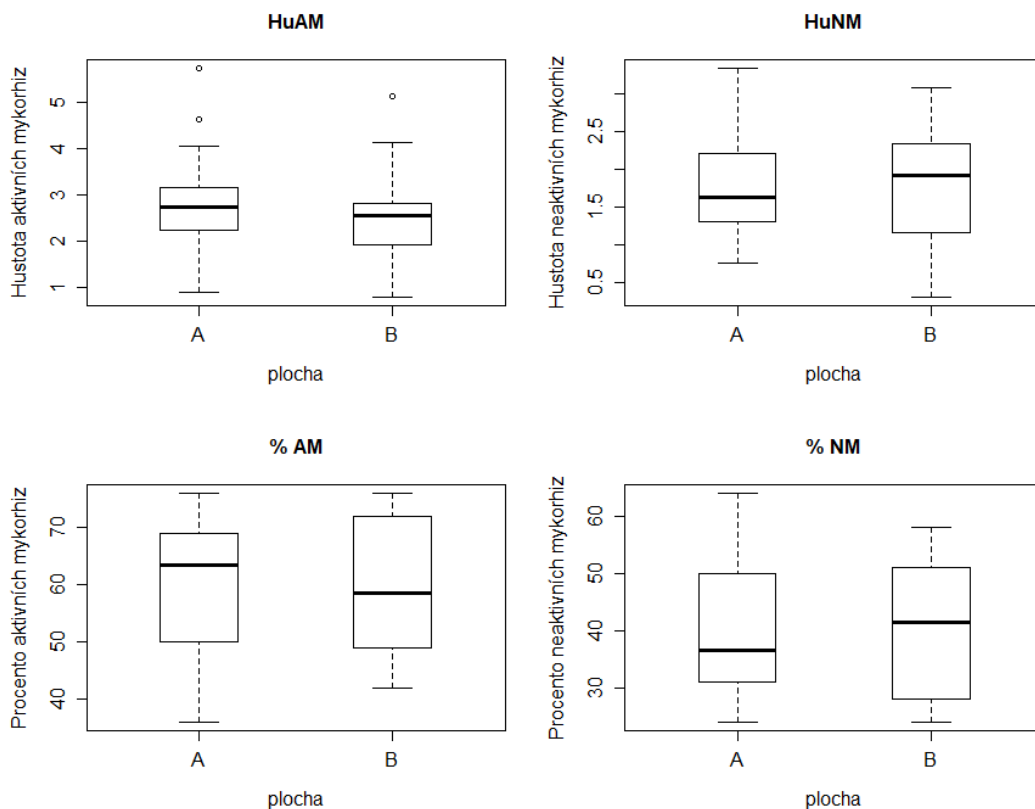
5.1.1 Mykorhizní parametry

Hustota aktivních mykorhiz byla mírně vyšší na ploše A (Tab. 2, Obr. 7), rozdíly mezi výzkumnými plochami A, B však byly statisticky nevýznamné (Tab. 4). V případě pokusné varianty byl prokázán rozdíl mezi variantami (Tab. 4), ošetřené sazenice vykazovaly statisticky významně vyšší hustotu aktivních mykorhiz (Tab. 3, Obr. 8). Díky vysoké variabilitě HuAM u ošetřené varianty na ploše B (viz Obr. 9) byl porušen předpoklad homogenity rozptylu, který se nepodařilo použitým modelem plně stabilizovat. Proto byla významnost faktoru „varianta“ ověřena neparametrickým testem, jehož závěr byl totožný s výsledkem lognormálního lineárního modelu, tedy statisticky významný rozdíl mezi ošetřenými variantami (K-W: df=1; n=60; $p < 0,001$). Interakce mezi faktory, tj. odlišná úroveň sledovaného parametru podle kombinace plochy a varianty (Tab. 3), byla statisticky nevýznamná (Tab. 4). Výsledky analýzy procenta aktivních mykorhiz (% AM) věrně kopírovaly závěry zjištěné u HuAM, tedy minimální rozdíl mezi plochami A, B, rozdíl mezi variantami statisticky významný a interakce mezi faktory na hranici statistické významnosti (Tab. 4).

Průměrná hustota neaktivních mykorhiz byla na obou plochách obdobná, v protikladu s HuAM mírně vyšší na ploše B (Tab. 2, Obr. 7), ale rozdíl nebyl statisticky významný (Tab. 4). Ovšem difference mezi variantami byla statisticky významná, avšak vyšší hodnota hustoty neaktivních mykorhiz byla zjištěna na kontrolní variantě (Tab. 2), to je v protikladu s výsledky porovnání hustoty aktivních mykorhiz, které vykazují u aktivních mykorhiz vyšší hodnoty u inokulovaných sazenic (Tab. 4). Dalším rozdílným závěrem testu byla významnost interakce mezi plochou a variantou (Tab. 4), která však má příčinu ve větším rozdílu mezi variantami v rámci ploch (Tab. 3, Obr. 9). Porovnáním stejných faktorů z hlediska Procenta neaktivních mykorhiz přineslo totožné výsledky (Tab. 4).

Tabulka 2: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka a medián hustoty aktivních a neaktivních mykorhiz, procento aktivních a neaktivních mykorhiz, podle pokusných ploch a variant ošetření

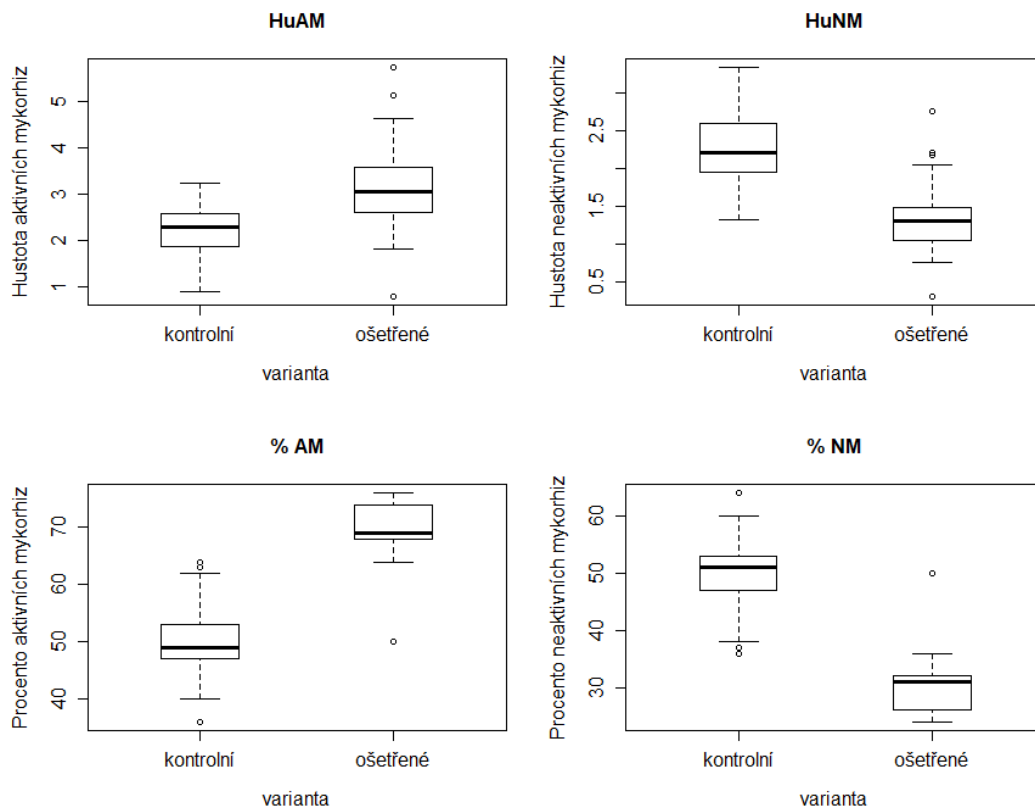
parametr	faktor	úrovně faktoru	průměr	směrodatná odchylka	medián
HuAM	plocha	A	2,74	0,95	2,75
		B	2,61	0,91	2,55
	varianta	kontrolní	2,22	0,52	2,29
		ošetřené	3,14	1,02	3,06
HuNM	plocha	A	1,81	0,61	1,63
		B	1,77	0,70	1,92
	varianta	kontrolní	2,23	0,47	2,20
		ošetřené	1,35	0,48	1,30
ProcAM	plocha	A	60	11	64
		B	60	12	59
	varianta	kontrolní	50	6	49
		ošetřené	70	5	69
ProcNM	plocha	A	40	11	37
		B	40	12	42
	varianta	kontrolní	50	6	51
		ošetřené	30	5	31



Obrázek 7: Hustoty aktivních a neaktivních mykorhiz, procento aktivních a neaktivních mykorhiz podle výzkumné plochy A, B.

Na obrázku 7 jsou krabicové grafy mykorhizních parametrů, na kterých jsou vyjádřeny hustoty aktivních mykorhiz HuAM, hustoty neaktivních mykorhiz HuNM, procenta aktivních mykorhiz % AM a procenta neaktivních mykorhiz % NM na sazenicích podle výzkumné plochy. Tlustá linie uvnitř grafu reprezentuje medián, konec příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat, prázdná kolečka představují odlehlé hodnoty.

HuAM počítána, jako průměrná hodnota zjištěného počtu aktivních mykorhiz vztažená na 1 cm délky kořene (cm^{-1}) má střední hodnotu na ploše A $2,75\text{cm}^{-1}$ a na ploše B $2,55\text{ cm}^{-1}$. HuNM, která byla počítána jako průměrná hodnota zjištěného počtu neaktivních mykorhiz vztažená na 1 cm délky kořene (cm^{-1}) bylo dle mediánové hodnoty dosaženo naopak vyšší na ploše B $1,92\text{ cm}^{-1}$. U procentuálního podílu aktivních mykorhizních špiček, který vyjadřuje poměr aktivních a neaktivních špiček byla střední hodnota vyšší na ploše A 64 %. U procentuálního podílu neaktivních mykorhiz byl medián vyšší na ploše B 42 %.



Obrázek 8: Hustoty aktivních a neaktivních mykorhiz, procento aktivních a neaktivních mykorhiz na sazenicích u kontrolní a ošetřené variantě.

Na obrázku 8 jsou krabicové grafy mykorhizních parametrů, na kterých jsou vyjádřeny HuAM a HuNM, % AM a % NM na sazenicích v kontrolní a ošetřené variantě. Tlustá linie uvnitř grafu reprezentuje medián, konec příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat, prázdná kolečka představují odlehlé hodnoty.

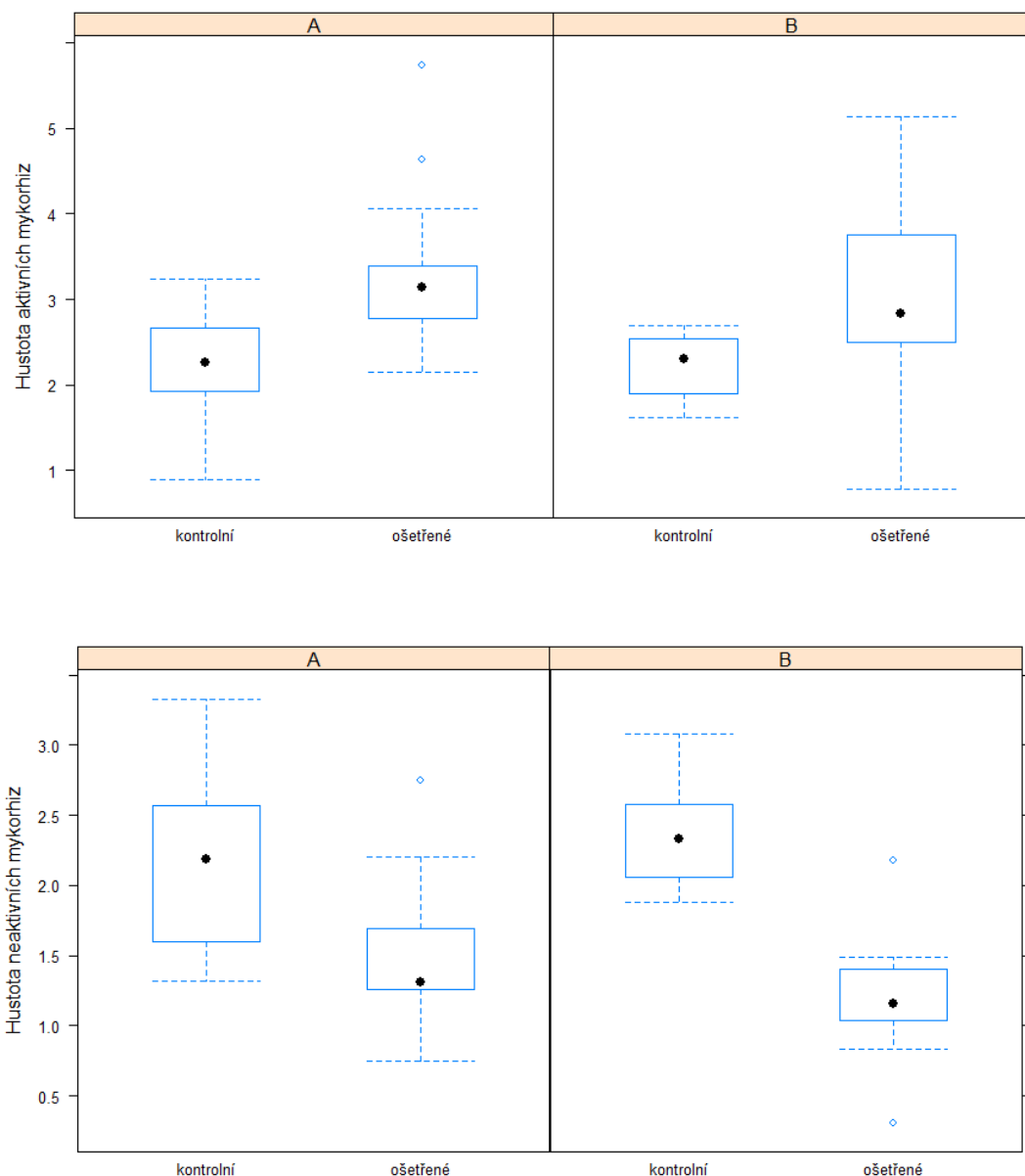
Dle střední (mediánové) hodnoty bylo dosaženo vyšší HuAM u ošetřených (inokulovaných) sazenic $3,06 \text{ cm}^{-1}$ než u kontrolních $2,29 \text{ cm}^{-1}$. HuNM bylo vyšší mediánové hodnoty naopak dosaženo u kontrolních sazenic $2,20 \text{ cm}^{-1}$. U % AM byla střední hodnota vyšší u ošetřených sazenic 69 %. U % NM byl medián vyšší u kontrolních sazenic 1 %.

Tabulka 3: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka a medián hustoty aktivních a neaktivních mykorhiz, procento aktivních a neaktivních mykorhiz jako kombinace pokusné plochy a varianty ošetření

parametr	plocha	varianta	průměr	směrodatná odchylka	medián
HuAM	A	kontrolní	2,23	0,63	2,26
	A	ošetřené	3,25	0,95	3,14
	B	kontrolní	2,20	0,39	2,31
	B	ošetřené	3,02	1,09	2,83
HuNM	A	kontrolní	2,12	0,56	2,19
	A	ošetřené	1,50	0,51	1,31
	B	kontrolní	2,35	0,35	2,33
	B	ošetřené	1,19	0,41	1,16
ProcAM	A	kontrolní	51	8	50
	A	ošetřené	68	6	69
	B	kontrolní	48	3	49
	B	ošetřené	71	3	72
ProcNM	A	kontrolní	49	8	50
	A	ošetřené	32	6	31
	B	kontrolní	52	3	51
	B	ošetřené	29	3	28

Tabulka 4: Výsledky analýzy rozptylu mykorhizních parametrů

parametr	model	plocha	varianta	plocha:varianta
		Pr(>F)	Pr(>F)	Pr(>F)
HuAM	$\log(\text{huAM}) \sim \text{plocha} * \text{varianta}$	0,554699	0,0003894	0,4144068
		-	***	-
HuNM	$\text{huNM} \sim \text{plocha} * \text{varianta}$	0,72735	7,79E-10	0,02712
		-	***	*
ProcAM	$\log(\text{ProcAM}) \sim \text{plocha} * \text{varianta}$	0,9672	<2e-16	0,1004
		-	***	-
ProcNM	$\log(\text{ProcNM}) \sim \text{plocha} * \text{varianta}$	0,71459	< 2e-16	0,03835
		-	***	*

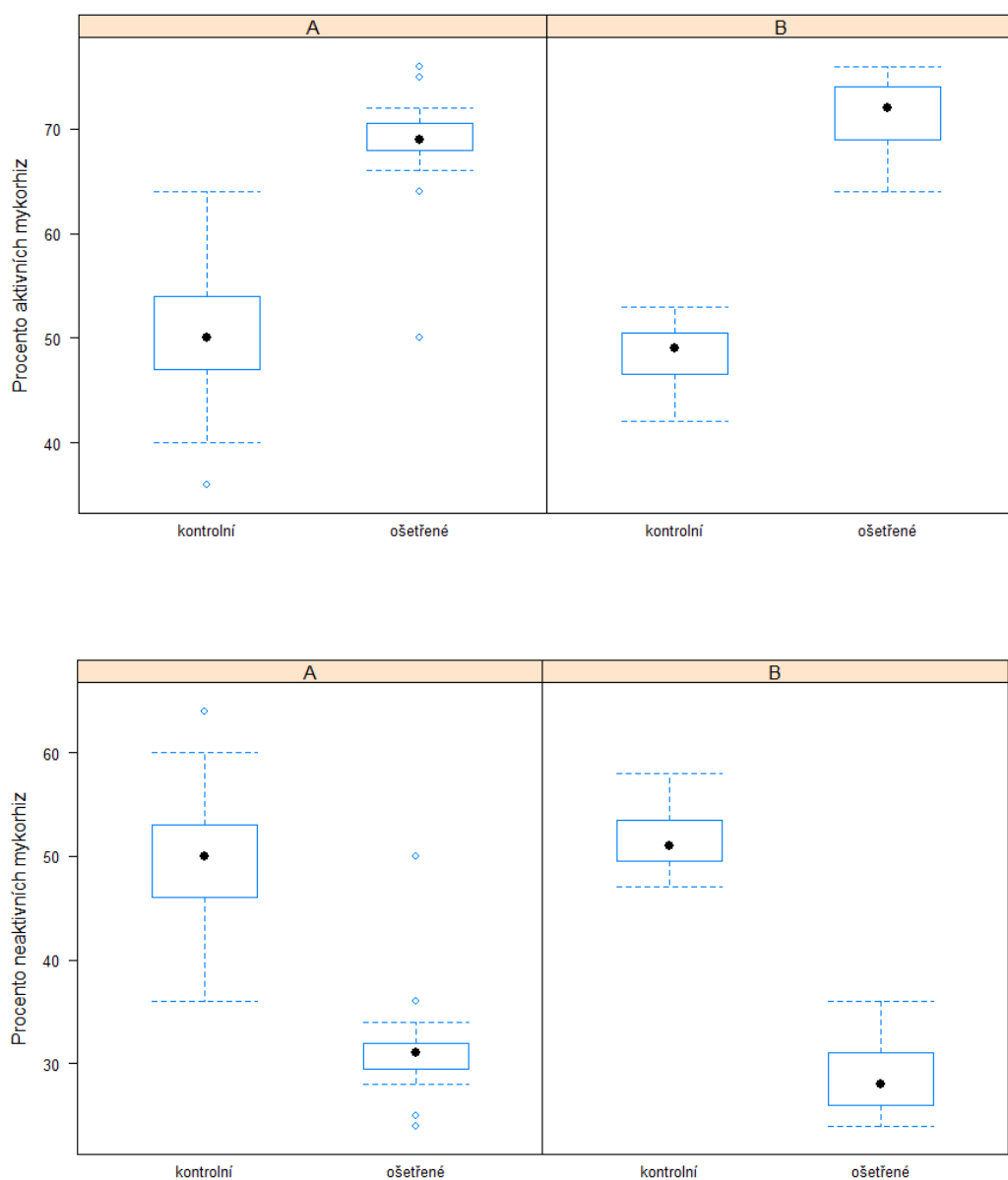


Obrázek 9: Hustota aktivních a neaktivních mykorhiz u kontrolní a ošetřené variantě na pokusných plochách A, B.

Na obrázku 9 jsou krabicové grafy, na kterých jsou vyjádřeny hustoty aktivních a neaktivních mykorhiz v kontrolní a ošetřené variantě na jednotlivých pokusných plochách (A a B). Černý bod uvnitř grafu reprezentuje medián, konec modré čárkované příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat.

Dle střední (mediánové) hodnoty bylo dosaženo vyšší HuAM na ploše A u ošetřených (inokulovaných) sazenic 3,14 cm⁻¹ než u kontrolních 2,26 cm⁻¹. Rovněž byla zjištěna vyšší mediánová hodnota HuAM na ploše B u ošetřených

sazenic $2,83 \text{ cm}^{-1}$. HuNM byla na ploše A vyšší u kontrolních sazenic $2,19 \text{ cm}^{-1}$ a na ploše B byla také vyšší u kontrolních sazenic $2,33 \text{ cm}^{-1}$.



Obrázek 10: Procenta aktivních a neaktivních mykorhiz u kontrolní a ošetřené varianty na jednotlivých pokusných plochách A, B.

Na obrázku 10 jsou krabicové grafy, na kterých jsou vyjádřena procenta aktivních a neaktivních mykorhiz u kontrolní a ošetřené varianty na jednotlivých pokusných plochách. Černý bod uvnitř grafu reprezentuje medián, konec modré čárkované příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat.

Dle střední (mediánové) hodnoty bylo dosaženo % AM na ploše A vyšší u ošetřených (inokulovaných) sazenic 69 % než u kontrolních 50 %. Procento AM bylo dle mediánové hodnoty dosaženo vyšší na ploše B u ošetřených sazenic 72 %. HuNM byla střední hodnota na ploše A vyšší u kontrolních sazenic 50 %. Na ploše B byla střední hodnota HuNM také vyšší u kontrolních sazenic 51 %.

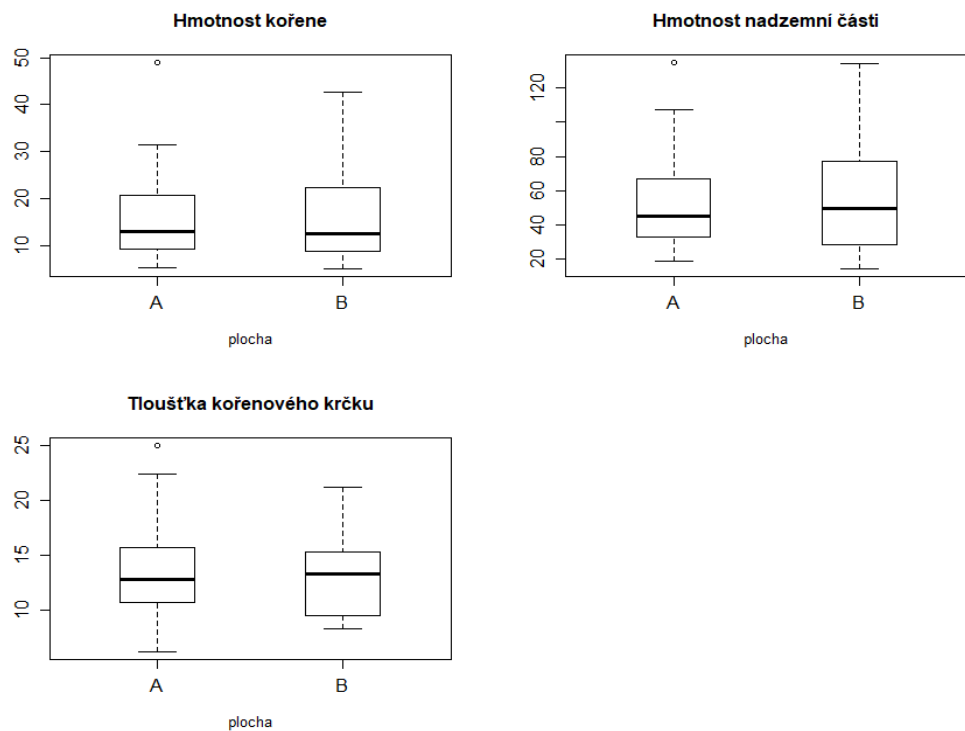
Ze všech získaných výsledků mykorhizních parametrů vyplývá, že sazenic ošetřené (inokulované) vykazují vyšší hodnoty aktivních mykorhiz (funkční špičky) a naopak nižší hodnoty neaktivních mykorhiz (bez mykorhizy nebo odumřelé), to je pozitivní zjištění pro další zdárný růst inokulovaných sazenic. Kontrolní varianty vykazovaly vyšší hodnoty neaktivních mykorhiz.

5.1.2 Kvantitativní veličiny

Z růstových parametrů byla hodnocena tloušťka kořenového krčku, výška nadzemní části, délka podzemní části, hmotnost kořene a hmotnost nadzemní části.

Tabulka 5: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka a medián hmotnosti kořene a nadzemní části, tloušťky kořenového krčku, výšky nadzemní části a délky podzemní (kořenové) části podle pokusných ploch (A, B) a variant ošetření

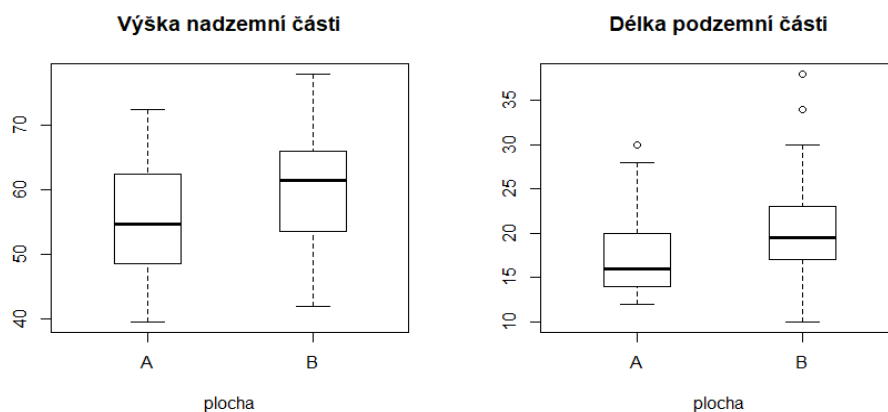
parametr	faktor	úroveň faktoru	průměr	směrodatná odchylka	medián
Hmotnost kořene	plocha	A	16,13	9,35	13,10
		B	15,86	9,44	12,70
	varianta	kontrolní	16,22	9,24	13,30
		ošetřené	15,78	9,54	12,40
Hmotnost nadzemní části	plocha	A	50,63	26,37	44,95
		B	53,54	30,73	49,40
	varianta	kontrolní	48,72	23,63	46,50
		ošetřené	55,44	32,59	43,30
Tloušťka kořenového krčku	plocha	A	13	4	13
		B	13	3	13
	varianta	kontrolní	13	4	13
		ošetřené	14	4	13
Výška nadzemní části	plocha	A	55	9	55
		B	61	10	62
	varianta	kontrolní	58	11	59
		ošetřené	58	9	57
Délka podzemní části	plocha	A	17	5	16
		B	21	6	20
	varianta	kontrolní	18	5	18
		ošetřené	20	7	18



Obrázek 11: Hmotnost kořene, hmotnost nadzemní části, tloušťka kořenového krčku sazenic na výzkumných plochách A, B.

Na obrázku 11 jsou krabicové grafy dendrometrických parametrů, na kterých jsou vyjádřeny hmotnosti kořene, hmotnosti nadzemních částí a tloušťky kořenových krčků na sazenicích podle výzkumné plochy. Tlustá linie uvnitř grafu reprezentuje medián, konec příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat, prázdná kolečka představují odlehlé hodnoty.

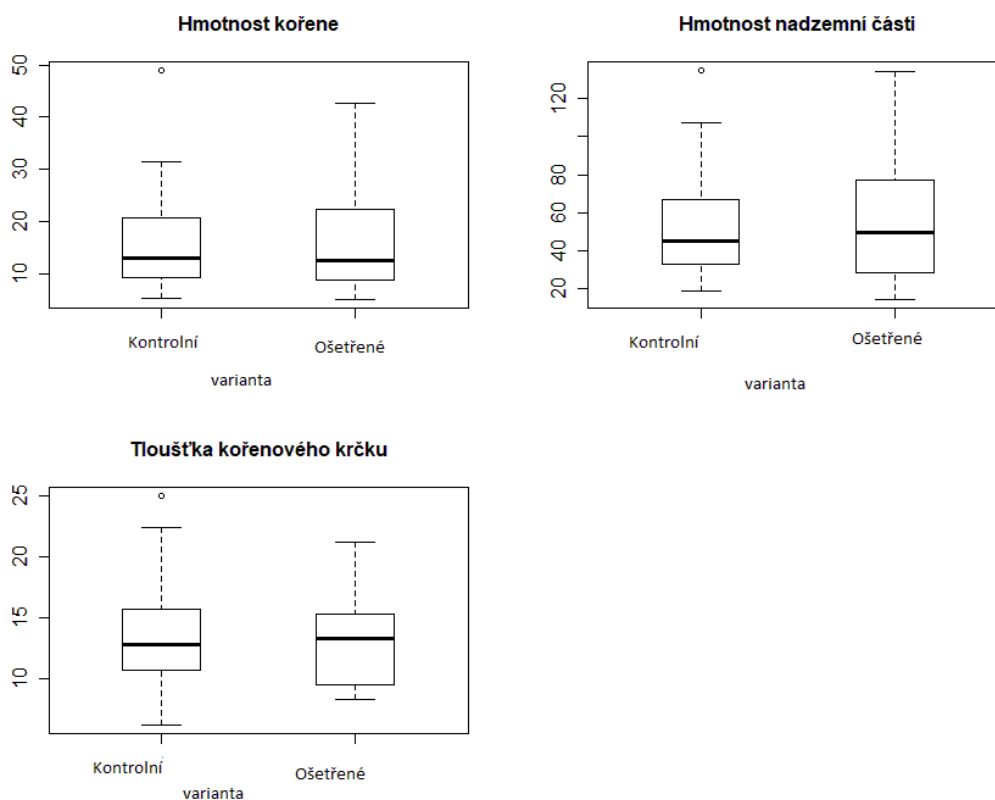
Střední (mediánová) hodnota bylo dosaženo vyšší u hmotnosti kořene na ploše A 13,10 g a nižší na ploše B 12,70 g. Hmotnost nadzemní části byla dle mediánové hodnoty naopak vyšší na ploše B 49,40 g. Tloušťka kořenového krčku se rovnala na ploše A i B 13 mm.



Obrázek 12: Výška nadzemní části a délka podzemní (kořenové) části sazenic na výzkumných plochách A, B.

Na obrázku 12 jsou uvedené krabicové grafy dendrometrických parametrů, na kterých jsou vyjádřeny výšky nadzemních částí a délky podzemních částí na sazenicích podle výzkumné plochy. Tlustá linie uvnitř grafu reprezentuje medián, konec příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat, prázdná kolečka představují odlehlé hodnoty.

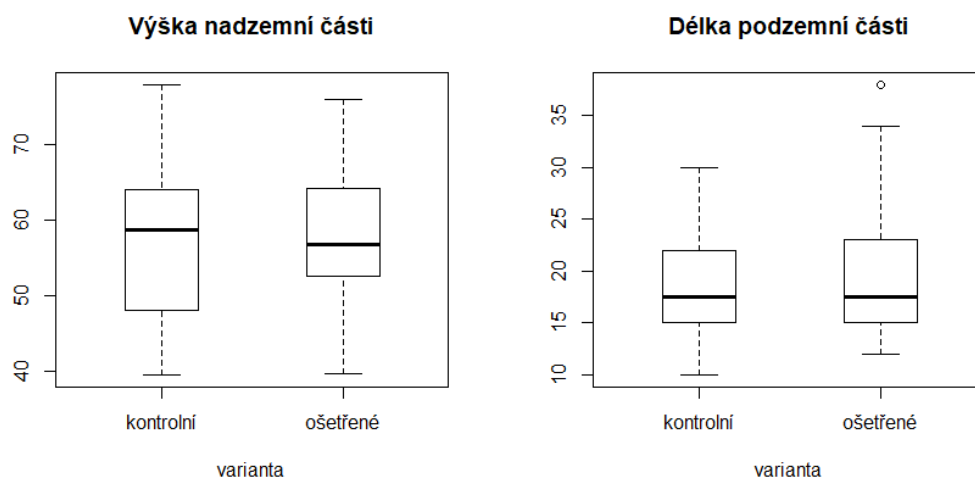
Dle střední (mediánové) hodnoty byla výška nadzemní části vyšší na ploše B 62 cm než na ploše A 55 cm. Medián délky podzemní části byl vyšší na ploše B 20 cm.



Obrázek 13: Hmotnost kořene, hmotnost nadzemní části a tloušťka kořenového krčku u sazenic kontrolní a ošetřené varianty.

Na obrázku 13 jsou krabicové grafy mykorhizních parametrů, na kterých jsou vyjádřeny hmotnosti kořene, hmotnosti nadzemních částí a tloušťky kořenových krčků na sazenicích v kontrolní a ošetřené variantě. Tlustá linie uvnitř grafu reprezentuje medián, konec příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat, prázdná kolečka představují odlehlé hodnoty.

Střední (mediánová) hodnota, které bylo dosaženo u hmotnosti kořene vyšší kontrolních sazenic 13,30 g než u ošetřených 12,40 g. Hmotnost nadzemní části byla dle mediánové hodnoty vyšší u kontrolních sazenic 46,50 g. U tloušťky kořenového krčku se střední hodnota rovnala u sazenic kontrolních i ošetřených 13 mm.



Obrázek 14: Výška nadzemní části, délka podzemní (kořenové) části u sazenic kontrolní a ošetřené varianty.

Na obrázku 14 jsou krabicové grafy mykorrhizních parametrů, na kterých jsou vyjádřeny výšky nadzemních částí a délky podzemních částí na sazenicích v kontrolní a ošetřené variantě. Tlustá linie uvnitř grafu reprezentuje medián, konec příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat, prázdná kolečka představují odlehlé hodnoty.

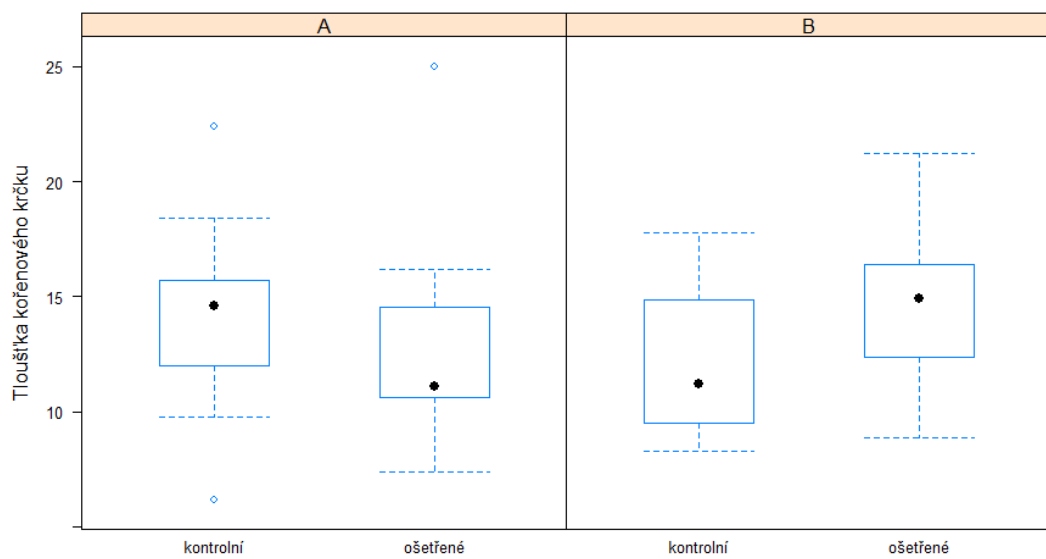
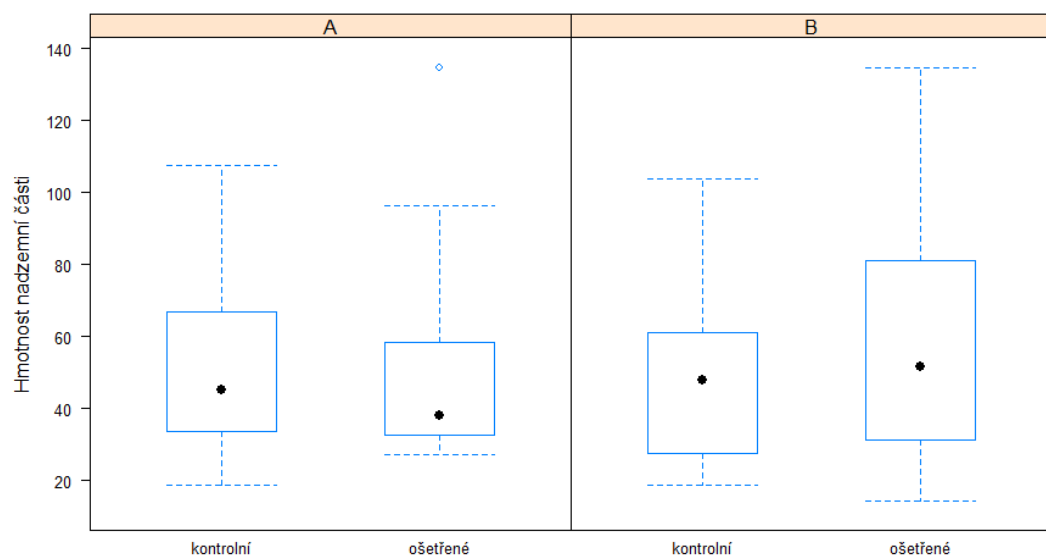
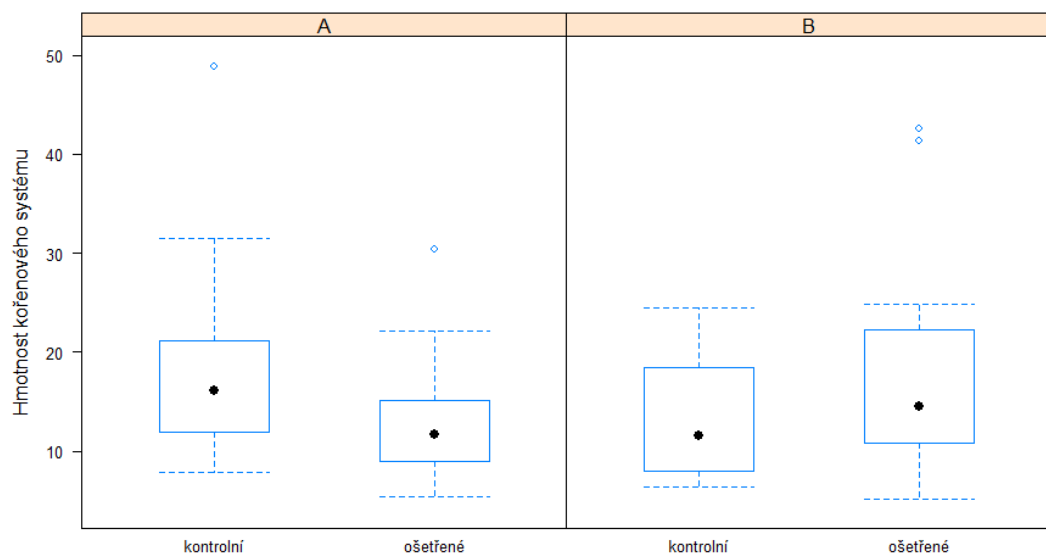
Dle střední (mediánové) hodnoty byla výška nadzemní části vyšší na ploše B 62 cm než na ploše A 55 cm. Medián délky podzemní části byl vyšší na ploše B 20 cm.

Tabulka 6: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka a medián hmotnosti kořene a nadzemní části, tloušťky kořenového krčku, výšky nadzemní části a délky podzemní části jako kombinace pokusné plochy A, B a varianty ošetření/kontrola

parametr	plocha	varianta	průměr	směrodatná odchylka	medián
Hmotnost kořene	A	kontrolní	18,93	10,87	16,1
	A	ošetřené	13,33	6,78	11,7
	B	kontrolní	13,51	6,54	11,6
	B	ošetřené	18,22	11,39	14,5
Hmotnost nadzemní části	A	kontrolní	49,85	23,40	45,1
	A	ošetřené	51,41	29,86	38
	B	kontrolní	47,60	24,63	47,9
	B	ošetřené	59,48	35,69	51,7
Tloušťka kořenového krčku	A	kontrolní	14	4	15
	A	ošetřené	13	4	11
	B	kontrolní	12	3	11
	B	ošetřené	14	3	15
Výška nadzemní části	A	kontrolní	55	9	56
	A	ošetřené	55	9	54
	B	kontrolní	61	12	62
	B	ošetřené	61	9	61
Délka podzemní části	A	kontrolní	19	6	17
	A	ošetřené	16	3	15
	B	kontrolní	18	4	18
	B	ošetřené	23	7	21

Tabulka 7: Výsledky analýzy rozptylu mykorhizních parametrů

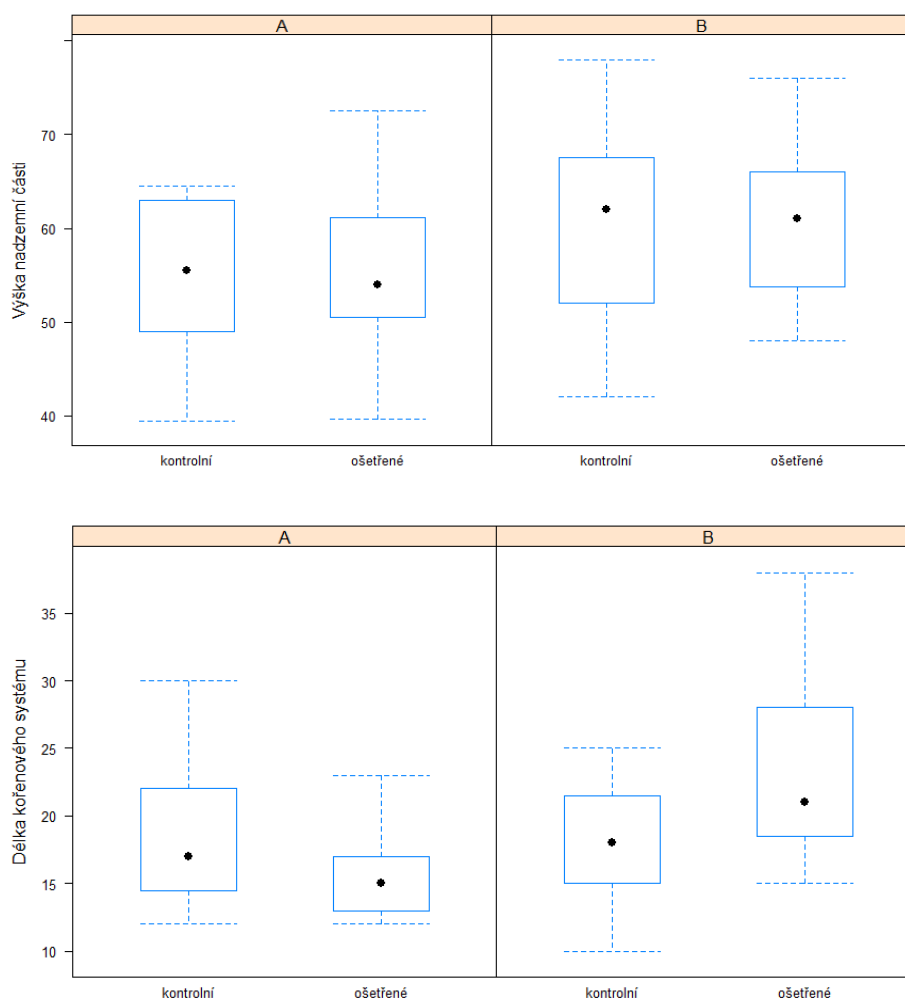
parametr	model	plocha	varianta	plocha:varianta
		Pr(>F)	Pr(>F)	Pr(>F)
Hmotnost kořene	$\log(y) \sim plocha * varianta$	0,79461	0,73393	0,04361
		-	-	*
Hmotnost nadzemní části	$\log(y) \sim plocha * varianta$	0,9638	0,4974	0,5797
		-	-	-
Tloušťka kořenového krčku	$\log(y) \sim plocha * varianta$	0,9893	0,5655	0,0478
		-	-	*
Výška nadzemní části	$\log(y) \sim plocha * varianta$	0,02559	0,82401	0,93753
		*	-	-
Délka podzemní části	$\log(y) \sim plocha * varianta$	0,009988	0,500353	0,003556
		**	-	**



Obrázek 15: Hmotnost kořene, hmotnost nadzemní části a tloušťka kořenového krčku v kontrolní a ošetřené variantě na jednotlivých pokusných plochách A, B.

Na obrázku 15 jsou krabicové grafy, na kterých jsou vyjádřeny hmotnosti kořene, hmotnosti nadzemních částí a tloušťky kořenových krčků v kontrolní a ošetřené variantě na jednotlivých pokusných plochách (A a B). Černý bod uvnitř grafu reprezentuje medián, konec modré čárkované příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat.

Dle střední (mediánové) hodnoty byla hmotnost kořenového systému na ploše A vyšší u kontrolních sazenic 16,1 g než u ošetřených 11,7 g. Na ploše B byla hmotnost kořene dle mediánové hodnoty vyšší u ošetřených sazenic 14,5 g. Hmotnost nadzemní části byla střední hodnota na ploše A vyšší u kontrolních sazenic 45,1 g. Na ploše B byla naopak vyšší u ošetřených sazenic 51,7 g. Tloušťka kořenového krčku byl vyšší střední hodnota v kontrolní variantě 15 mm na ploše A. Na ploše B byla vyšší u ošetřených sazenic 15 mm.



Obrázek 16: Výška nadzemní části a délka podzemní (kořenové) části u kontrolní a ošetřené varianty na jednotlivých pokusných plochách A, B.

Na obrázku 16 jsou krabicové grafy, na kterých jsou vyjádřeny výšky podzemních částí a délky podzemních částí v kontrolní a ošetřené variantě na jednotlivých pokusných plochách (A a B). Černý bod uvnitř grafu reprezentuje medián, konec modré čárkované příčné linie vyjadřuje 25 % a 75 % kvantil dat.

Dle střední (mediánové) hodnoty byla výška nadzemní části na ploše A vyšší u kontrolních sazenic 56 cm než u ošetřených 54 cm. Na ploše B je medián vyšší taktéž u kontrolních sazenic 62 cm. Délka podzemní části na ploše A byla vyšší u kontrolních sazenic 17 cm a na ploše B u ošetřených 21 cm.

6. Diskuze

Experiment, který byl založen v Krušných horách (LS Klášterec nad Ohří) s aplikací mykorhizního přípravku ECTOVIT, měl ukázat, zda tento přípravek může ovlivňovat růst a vývoj sazenic smrku ztepilého a zvyšovat jejich odolnost proti abiotickým a biotickým faktorům. Po vyhodnocení a statistickém srovnání mykorhizních a růstových parametrů je třeba posoudit, zda využití tohoto přípravku je efektivní pro lesnickou praxi.

Výsledky ukázaly, že hustota aktivních mykorhiz měla u ošetřených sazenic mykorhizním přípravkem statisticky významně vyšší hodnotu. Rovněž procentuální podíl aktivních mykorhiz dosahoval vyšších hodnot u inokulovaných než u kontrolních (neošetřených) sazenic. U hustoty neaktivních mykorhizních špiček byly především vyšší hodnoty u kontrolních sazenic, což je v souladu s výzkumy jiných autorů ověřujících účinky mykorhizních přípravků. Například tyto podobné závěry učinili PEŠKOVA et TUMA [2010], kteří ověřovali vliv mykorhizního preparátu ECTOVIT na růst a vývoj sazenic smrku ztepilého na pokusných plochách LS Jablunkov. V tomto výzkumu byly stejně jako v našem výzkumu před výsadbou smrkovým sazenicím máčeny kořenové systémy do tekutého mykorhizního přípravku. V práci byla zjištěna vyšší hustota aktivních mykorhizních špiček

u inokulovaných sazenic. Hustota neaktivních mykorhiz byla dle jejich výzkumu vyšší u kontrolních sazenic. HOLUŠA et al. [2009], došli po vyhodnocení pětiletého experimentu v oblasti Nízkého Jeseníku s ošetřením sazenic smrku přípravkem ECTOVIT k výsledku, že umělá inokulace smrku pozitivně podpořila zakořenění, růst a vývoj sazenic.

V práci PEŠKOVÁ et HOLUŠA [2015], kteří testovali vliv přípravku VAMBAC na růstové a mykorhizní vlastnosti sazenic na třech výzkumných plochách mladší a třech plochách odrostlých sazenic *Quercus robur*. Laboratorní výsledky ukázaly, že inokulované sazenice vykazovaly vyšší hustotu aktivních mykorhizních špiček i vyšší procentuální podíl.

Dalším ukazatelem při ověření účinnosti mykorhizního přípravku ECTOVIT bylo vyhodnocení kvantitativních veličin. Z výsledků je patrné, že tloušťka kořenového krčku je vyšší u ošetřených sazenic. Podobné jsou i výsledky délek podzemní části, která byla též vyšší u ošetřených sazenic. U výšky nadzemní části byly zjištěné výsledky stejné, což může být ovlivněno vyšším procentem aktivních mykorhizních špiček, viz GRYNDELA et al., [2004] který uvádí, že i sama houba má určité nároky na živiny, které realizuje na úkor hostitele. V případě našeho výzkumu bych se vzhledem k umístění studované oblasti přiklonila spíše k působení biotických faktorů prostředí. Na obou plochách byly znatelné známky poškození dřevin zvěří, takže délka nadzemní části sazenic, hmotnost sušiny byla tímto faktorem ovlivněna. Vyšší hmotnost kořenových systémů měly kontrolní sazenice, kdy se potvrzuje obdobně jako v práci PEŠKOVÁ [2008], že krátké mykorhizní (ošetřené) kořínky postrádají kořenové vlášení, které je právě typické pro nemykorhizní (kontrolní) kořeny, dále pak dochází i k pomalejšímu růstu u mykorhizních kořenů. V našem výzkumu vykazovala hmotnost nadzemní části nepatrně vyšší hodnoty u ošetřených sazenic. Tuto různorodost výsledků růstových charakteristik zaznamenali i PEŠKOVÁ et HOLUŠA [2015], při testování vlivu přípravku VAMBAC na sazenicích *Quercus robur*, kteří dospěli k podobným výsledkům. Z růstových charakteristik byl vliv inokula patrný zejména u tloušťky kořenového krčku. Ostatní výsledky růstových charakteristik byly rozdílné na jednotlivých studovaných plochách a byly pravděpodobně

způsobeny rozdílným věkem sazenic a odlišnými stanovištními podmínkami na každé lokalitě.

REPÁČ, et al. [2013], kteří testovali účinky mykorhizního přípravku ECTOVIT (Symbiom, s. r. o., Česká republika), Mycorhizaroots (ENGO, s. r. o, Slovenská republika) a Stockosorbs (Evonik Stockhausen, GmbH, Německo) na přežívání, růstové a fyziologické parametry výsadby smrku ztepilého a buku lesního. Po vyhodnocení růstových parametrů došli k závěru, že lze pozorovat mírný pozitivní efekt na růstu smrkových sazenic po aplikaci přípravku ECTOVIT a Stockosorbs. V případě bukových sazenic zjistili naopak lepší růstové parametry po aplikaci přípravku Mycorhizaroots.

Zajímavé výsledky zjistil REPÁČ et al., [2014] při testování účinků vybraných rašelinových substrátů obohacených a neobohacených o živiny a inokulace mykorhizním přípravkem ECTOVIT a Mycorhizaroots na vývoj dvouletých sazenic smrku v kontejnerech. Z výsledků vyplývá, že růstové parametry v obohacených substrátech byly významně vyšší než v neobohacených. Mezi substrátem a inokulem byl zjištěn významný vztah. Očkování přípravkem ECTOVIT podpořilo růst semenáčků v nezpracovaném substrátu, ale nemělo vliv v obohaceném. Na základě výsledků doporučili používat obohacené substráty pro pěstování smrkových semenáčků v lesních školkách.

V této práci nebyla hodnocena ujímavost sazenic při využití inokulačního přípravku, ale v práci REPÁČ, et al. [2013], kteří testovali účinky mykorhizního přípravku ECTOVIT, Mycorhizaroots a Stockosorbs zjistili, že nejvyšší procento ujímavosti sazenic smrku ztepilého bylo dosaženo u varianty s aplikací přípravku ECTOVIT. Naopak u ujímavosti buku lesního vyhodnotili variantu s přípravkem ECTOVIT jako nejhorší. Dále pak PEŠKOVÁ, HOLUŠA [2015], kteří testovali vliv přípravku VAMBAC na sazenicích *Quercus robur* došli k závěru, že ujímavost inokulovaných sazenic byla jen nepatrně vyšší oproti kontrolním sazenicím.

Jedním z hledisek, které se může využívat pro posouzení kvality mykorhiz je přežití a zlepšení produkce klonovaných sazenic, které zkoumali v Srbsku GALIC et al. [2007] na topolech. K tomuto výzkumu byl použit stejný přípravek

jako v naší práci (ECTOVIT) a navíc RHODOVIT. Výsledky studie ukázali, že vliv přípravků je vesměs pozitivní a řízky, které byly ošetřeny, měly stejné nebo vyšší přežití ve všech studovaných klonech topolů.

7. Závěr

Cílem práce bylo zhodnotit a posoudit vliv mykorhizního přípravku ECTOVIT na základní růstové a mykorhizní charakteristiky u sazenic smrku ztepilého. Experiment probíhal v Krušných horách na lokalitě LS Klášterec nad Ohří. V květnu 2014 byl před vysazením sazenic smrku ztepilého kořenový systém namáčen do tekutého mykorhizního přípravku.

Zjištěné výsledky ukázaly statisticky významně vyšší hustoty a procentuální podíl aktivních mykorhiz na ošetřených (inokulovaných) sazenicích. Hustota a procentuální podíl neaktivních mykorhizních špiček byla vyšší na kontrolních (neošetřených) sazenicích.

Zjištěný nárůst aktivních mykorhizních špiček na inokulovaných sazenicích byl pozitivní, neboť mykorhizy jsou významným faktorem potřebným pro zdárný růst rostlin, které díky tomu mají zajištěný zvýšený příjem živin, především fosforu, dusíku a draslíku. Testovaný mykorhizní přípravek nepotvrdil statisticky významný vliv na růstové charakteristiky sazenic smrku ztepilého. Může to být ovlivněno vyšším množstvím mykorhiz na inokulovaných kořenech, kdy i houba má vysoké nároky na živiny na úkor hostitele, ale také mohlo dojít ke zkreslení zjištěných růstových parametrů díky poškození nadzemních částí sazenic zvěří.

Vyšší hmotnost kořene vykazovaly kontrolní sazenice, kdy krátké mykorhizní kořínky postrádají kořenové vlášení a dochází i k pomalejšímu růstu u mykorhizních kořenů.

Po vyhodnocení dvouletého experimentu, kdy byl zjištěn příznivý vliv na hustotu aktivních mykorhiz, však nebyl potvrzen pozitivní vliv na růstové charakteristiky sazenic smrku ztepilého. Získané výsledky ukázaly, že doporučení mykorhizního přípravku pro využití v lesnické praxi je nejednoznačné.

V současné době na LS Klášterec nad Ohří stále probíhají pokusy s ověřováním účinnosti mykorhizních přípravků na růst sazenic. Pro konečné potvrzení pozitivního vlivu inokula by bylo potřeba provést opakované vyhodnocení mykorhizovaných sazenic za delší časové období.

8. Seznam literatury a použitých zdrojů

GALIC, A. Z., ORLOVIC, S. S., KLAŠNJA, A. B., PILIPOVIC A. R., KATANIC, M. B. *IMPROVEMENT OF PRODUCTION OF HIGH-YIELD POPLAR VARIETIES SEEDLINGS BY MYCORRHIZA APPLICATION*. Zbornik Matice srpske za prirodne nauke / Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad, № 112, 67—74, 2007, s. 8.

GRYNDLER, M. BALÁŽ, M. HRŠELOVÁ, H., JANSÁ, J. VOSÁTKO M. *Mykorhizní symbióza, o soužití hub s kořeny rostlin*. 1. vydání. Praha: Academia, 2004. s. 366.

HOLUŠA, J. PEŠKOVÁ, V. VOSTRA, L. PERNEK, M. *Impact of mycorrhizal inoculation on spruce seedling: comparisons of a 5 - year experiment in forests infested by honey fungus*. Periodicum Biologorum, 2009, roč. 4, č. 111, s. 413–417.

HOLUŠA, J., PEŠKOVÁ, V., LORENC, F. *The impact of artificial mycorrhizal inoculation on the growth of common oak seedlings and development of mycorrhiza: Inoculation may not positively affect growth of seedlings*. Periodicum Biologorum, 2015, roč. 117. č. 4. s. 519-526.

KLÁN, J. *Co víme o houbách*. 1. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1989. s. 310.

KNÍŽEK, M., LIŠKA, J., MODLINGER, R. (eds.): *Výskyt lesních škodlivých činitelů v roce 2016 a jejich očekávaný stav v roce 2017*. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., 2017, s. 68. Zpravodaj ochrany lesa. Supplementum, 2017

KROPÁČEK, K. *Umělá mykorrhizace sadebního materiálu lesních dřevin*. Praha, 1990. Kandidátská disertační práce. Vysoká škola zemědělská v Praze. s. 51.

LEUGNER, J. *Možnosti využití smrku ztepilého (Picea abies (L.) Karst.) se zvýšenou odolností ke stresům v extrémních horských polohách*. Praha, 2010. Disertační práce. České zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. Katedra pěstování lesa. s. 83.

LIDICKÝ, V. *Letošní letní klimatické extrémy pohledem státních lesů*. Lesnická práce, 2015. 11. s. 12-13.

LORENC, F. *Vliv sucha na růst mykorhiz u smrku ztepilého*. Praha, 2017. Disertační práce. České zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. Katedra ochrany lesa a entomologie. s. 141.

MAREK, V. M. *Byl rok 2015 pro lesní porosty stresový?* Lesnická práce, 2015. 11. s. 10-11.

MEJSTRŮK V. *Mykorhizní symbiózy*. 1. Vydání. Praha: Academia, 1988, s. 152.

MELOUN, M.; MILITKÝ, J. *Statistická analýza experimentálních dat*. 2. uprav. a rozšíř. vyd. Praha: Academia, 2004. s. 95.

Ministerstvo zemědělství. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2016*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2017. 128 s.

MODLINGER, R., PEŠKOVÁ, V., LIŠKA, J., KNÍŽEK, M. 2017: *Aktuální výskyt vybraných biotických škodlivých činitelů v porostech náhradních dřevin Krušných hor*. In: Knížek M. (ed.): *Škodlivý činitelé v lesích Česka 2016/2017- Praktická ochrana lesa v současných podmínkách*. Sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice, 19. 4. 2017. Zpravodaj ochrany lesa p. 60-61.

PALÁTOVÁ, E. - MAUER, O. *Reakce sazenic a mladších porostů smrku ztepilého a borovice lesní na simulované sucho*. Fenologické odezva proměnlivosti podnebí. Brno, 2006. s. 9.

PAVLÍČKOVÁ, Jana. *Stanovení stresové odezvy smrku ztepilého na suché a zamokřené prostředí*. Brno, 2016. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav biologie rostlin. s. 88.

PEKÁR, S., BRABEC, M., 2009: *Moderní analýza biologických dat* 1. Praha, Scientia, s. 225.

PEŠKOVÁ, V. *Houby na kořenech lesních dřevin Mykorhizy*. Lesnická práce, 2008, 12, s. 4.

PEŠKOVÁ, V. *Mykoflóra kořenových systémů lesních dřevin*. Praha, 2006. Disertační práce. České zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a enviromentální. Katedra ochrany lesa a myslivosti. s. 90.

PEŠKOVÁ, V., HOLUŠA, J. *Klimatická změna a její dopad do oblasti pěstování a ochrany lesa*. Sborník z odborného semináře. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017. s. 28.

PEŠKOVÁ, V., SOUKUP, F. *Houby vázané na kořenové systémy: metodické přístupy ke studiu*. Review. Zprávy lesnického výzkumu, 2006, 51 (4), s. 279–286.

PEŠKOVÁ, V., TUMA, M. *Ověření vlivu mykorrhizního preparátu na růst a vývoj smrkových sazenic na LS Jablunkov*. Zprávy lesnického výzkumu, 2010, 55 (3), s. 211–219.

PETERSON, R. L., MASSOCOTTE, H. B., MELVILLE, L. H. *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. National Research Council of Canada, 2004, s. 173.

PODRÁZSKÝ, Vilém. *Možnosti využívání geograficky nepůvodních druhů dřevin při obnově lesních porostů v ČR*. Sborník z odborného semináře. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017. s. 78.

R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REPÁČ, I. KMETĚ, J. VENCURIK, J. BALANDA, M. *Účinky aplikácie komerčných stimulačných prípravkov na prežívanie, rastové a fyziologické parametre výsadby smreka obyčajného a buka lesného*. Zprávy lesnického výzkumu, 2013, 58, s. 167–175.

REPÁČ, I. *Mykorrhízna symbióza lesných drevín a jej uplatnenie v školkárstve*. Vedecká štúdie. 8/2000/A. 1. Vydání. Technická univerzita vo Zvolene. s. 69.

REPÁČ, I., VENCURIK, J., BALANDA, M., KMETĚ, J., KRAJMEROVÁ, D., PAULE, L. *Effects of substrate and ectomycorrhizal inoculation on the development of twoyears-old container-grown Norway spruce (*Picea abies* Karst.) seedlings*. iForest 8. 2014, s. 487-496.

SYMBIOM, s.r.o. Ectovit [online]. 2018 [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <https://www.symbiom.cz/cs/p-5-ectovit>

ŠMILAUEROVÁ, M., *Mykorhizy na kleči a jejich kvantifikace*. Praha, 1990. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra botaniky. s. 154.

UHLÍŘOVÁ, J., KAPITOLA, P. *Poškození lesních dřevin*. 1. vydání. Kostelec nad Černými lesy. Lesnická práce, 2004. s. 288.

VANICKÁ, H. *Změny mykorhizních poměrů na dubové ploše Dřevíč*. Praha, 2015. Diplomová práce. České zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. Katedra ochrany lesa a entomologie. s. 66.

VLK, J. *Vliv umělé mykorhizace na odrůstání kultur smrku ztepilého*. Brno, 2017. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Fakulta lesnická a dřevařská. Ústav zakládání a pěstění lesů. s. 80.

Začalo letošní vápnění Krušných hor [online]. 2017 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <http://www.silvarium.cz/lesnictvi/zacalo-letosni-vapneni-krusnych-hor>

ZAHRADNÍK, P. ed. *Metodická příručka integrované ochrany rostlin pro lesní porosty*. 1. vydání. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2014. s. 376.

Zpráva. 2017. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2016. [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: s. 132. [cit. 2018-03-29]. Dostupné na www: <http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho/>

9. Seznam příloh

Příloha 1: Shapiro-Wilkový test.....	54
Příloha 2: Výzkumná plocha na lokalitě LS Klášterec nad Ohří	54
Příloha 3: Zpracování sazenic	57
Příloha 4: Mykorhizní špičky smrku ztepilého	60

10. Přílohy

Příloha 1: Shapiro-Wilkový test

proměnná	statistic	p.value
huAM	0,947687	0,012142
huNM	0,977055	0,316967
ProAM	0,898903	0,00012
ProNM	0,898903	0,00012
M_korene	0,856898	4,90E-06
M_nadzem	0,897289	0,000105
T_krcku	0,959721	0,045595
L_nadzem	0,97636	0,294427
L_podzem	0,923033	0,001018

Příloha 2: Výzkumná plocha na lokalitě LS Klášterec nad Ohří







Zdroj: Foto: [PEŠKOVÁ, 2017]

Příloha 3: Zpracování sazenic









Zdroj: Foto: [PEŠKOVÁ, 2017]

Příloha 4: Mykorhizní špičky smrku ztepilého





Zdroj: Foto: [LÍSKOVÁ, 2017]