

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav zakládání a pěstění lesů

Vliv umělé mykorrhizace na odrůstání kultur smrku ztepilého
Diplomová práce

2017

Bc. Jiří Vlk

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem práci: „Vliv umělé mykorhizace na odrůstání kultur smrku ztepilého“ zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona c. 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 10. února 2017

.....

Bc. Jiří Vlk

Rád bych poděkoval prof. Ing. Oldřichu Mauerovi, DrSc., za vedení, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce. Mé poděkování patří také kolektivu zaměstnanců VLS Lipník nad Bečvou, který mne vybavil potřebnými informacemi a umožnil sběr dat. Za podporu při studiu bych také rád poděkoval rodině.

Jiří Vlk – Vliv umělé mykorrhizace na odrůstání kultur smrku ztepilého / The effect of artificial mycorrhization on *Picea abies* growth

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá vlivem umělé mykorrhizace na odrůstání a vývin kořenového systému kultur smrku ztepilého *Picea abies* (L.) Karst. Práce byla realizována na 2 výzkumných plochách pod správou Vojenských lesů a statků ČR, s.p., divize Lipník nad Bečvou, které byly zalesněny v letech 2012 a 2013. U každé výzkumné plochy byla plocha rozdělena na dvě části stejné rozlohy, s tím že jedna část byla zalesněna s využitím mykorrhizního preparátu Ectovit a hnojiva Vápnitý dolomit. Vliv preparátů na vývin nadzemní části byl u každé plochy posuzován na vzorku 210 jedinců, vliv preparátů na vývin kořenového systému byl posuzován na vzorku 10 jedinců. U každého jedince byly hodnoceny zejména tyto parametry: výška nadzemní části, tloušťka kořenového krčku, přírůsty, délky jehlic, poškození biotickými příp. abiotickými činiteli, počet, tloušťka a délka horizontálních a vertikálních kořenů, počet jemných kořenů, hmotnost sušiny jemných a hrubých kořenů, index větvení jemných kořenů a specifická délka jemných kořenů. Jedna z výzkumných ploch nicméně musela být z dalšího hodnocení vlivu na kořenový systém vypuštěna z důvodu značného výskytu deformací kořenového systému. Měření bylo prováděno v červnu a červenci 2016.

U nadzemní části, šetření nepotvrdilo jednoznačný pozitivní dopad preparátů. Rozdíly v přírůstech hovořily v některých případech pro a v některých případech proti aplikaci preparátů. Délky jehlic byly v některých letech menší na ploše s preparáty a mohou tak poukazovat dokonce na negativní vliv přípravků. U kořenového systému byl zjištěn pozitivní vliv preparátů pouze u jednoho z parametrů, a to indexu větvení. U ostatních hodnocených parametrů nebyl zjištěn rozdíl mezi stromy na kontrolní a zkušební ploše. Některé měřené parametry (např. výškový přírůst) však mohou být značně ovlivněny škodami zvěří či jinými faktory (např. značná skeletovitost půdy v některých částech ploch).

Součástí práce jsou doporučení pro případné další využití výše uvedených preparátů v rámci VLS Lipník nad Bečvou.

Klíčová slova: chřadnouce smrkové porosty, umělá mykorrhizace, *Picea abies*, vápnění lesů

Abstract:

The diploma thesis deals with the effect of artificial mycorrhization on the growth and on the development of the root system of *Picea abies* (L.) Karst. cultures. The thesis was conducted at 2 sites under the administration of the Vojenské lesy a statky ČR, s.p., division Lipník nad Bečvou, that were afforested in 2012 and 2013. Every site was divided into 2 parts of the same area. One of the parts was afforested with the use of the mycorrhizal preparation Ectovit and the fertiliser Vápnitý dolomit. The effect of preparations on the above-ground part of trees was evaluated on 210 sample trees at every site. The effect of preparations on roots was evaluated on 10 sample trees. Following parameters were assessed for every sample: the height of the tree; the thickness of root collar; height increments; length of needles; the damage caused by biotic or abiotic factors; number, thickness and length of both horizontal and vertical roots; the number of fine roots; the weight of dry mass of both fine and coarse roots; branching index of fine roots and the specific length of fine roots. Unfortunately, one site had to be omitted from further evaluation of effects on the roots due to the high occurrence of root deformations. The measurement was carried out in June and July 2016.

As regards the above-ground part, the research has not proved significant positive effect of preparations. The differences in height increments speak in some cases for, however in some cases against the application of preparations. The lengths of needles were in some years shorter at the sites with preparations and thus may indicate even negative effects of preparations. Regarding root system, a difference was found out only in the case of branching index. No difference was identified for other parameters of the trees on the check and on the test site. Some parameters (e.g. height increments), however, might be considerably influenced by the damage caused by wildlife or by other factors (e.g. heavily stony soil in some parts of the sites).

Last but not least, the thesis formulates recommendations regarding the future use of preparations within the company VLS Lipník nad Bečvou.

Key words: artificial mycorrhization, forest liming, *Picea abies*, weakened spruce stands

Obsah

1.	ÚVOD	1
2.	CÍL PRÁCE	3
3.	ROZBOR PROBLEMATIKY	4
3.1.	SMRK ZTEPILÝ / PICEA ABIES (L.) KARST.	4
3.1.1	Biologická klasifikace.....	4
3.1.2	Původní rozšíření.....	5
3.1.3	Ekologické nároky.....	6
3.1.4	Škodliví činitelé.....	8
3.1.5	Morfologie nadzemní části.....	9
3.1.6	Kořenový systém.....	9
3.2.	MYKORHIZNÍ SYMBIÓZA	13
3.2.1.	Ektomykorhizní symbióza.....	16
3.2.2.	Půdní prostředí.....	20
4.	METODY A POUŽITÝ MATERIÁL	23
4.1.	LOKALITA	23
4.1.1.	Základní specifikace a administrativně-správní zařazení lokalit.....	23
4.1.2.	Širší územní vztahy a přírodní poměry.....	24
4.1.3.	Geomorfologické poměry.....	24
4.1.4.	Biogeografický region.....	24
4.1.5.	Geologické poměry.....	24
4.1.6.	Pedologické poměry.....	25
4.1.7.	Hydrologické poměry.....	25
4.1.8.	Klimatické poměry.....	27
4.1.9.	Přírodní lesní oblast a vegetační poměry.....	28
4.1.10.	Popis porostů.....	28
4.1.10.1.	Výzkumné plochy č. 2, 4, 5.....	28
4.1.10.2.	Výzkumná plocha č. 1.....	29
4.1.10.3.	Výzkumná plocha č. 3.....	30
4.1.11.	Sadba a zajištění kultur na výzkumných lokalitách.....	32
4.2.	PREPARÁTY	33
4.2.1.	Ektomykorhizní preparát Ectovit.....	33
4.2.2.	Hnojivo Vápnitý dolomit.....	33

4.3.	METODY MĚŘENÍ	34
4.4.	ZPRACOVÁNÍ DAT	39
5.	VÝSLEDKY	42
5.1.	Vliv preparátů na odrůstání nadzemní části kultur	42
5.2.	Vliv preparátů na odrůstání podzemní části kultur.....	51
6.	DISKUSE	57
7.	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI	62
8.	SUMMARY	64
9.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	66

1. ÚVOD

Diplomová práce se zabývá vlivem aplikace mykorhizního prostředku Ectovit a hnojiva Vápnitý dolomit na odrůstání a vývin kořenového systému smrku ztepilého *Picea abies* (L.) Karst., (dále jen „SM“), na Libavé.

Porosty na Libavé tvoří z větší části SM monokultury, které jsou obecně považovány za málo stabilní systémy. V poslední době se porosty SM na Libavé potýkají s bezprecedentním chřadnutím, které stále nabývá na intenzitě. Alarmující je i skutečnost, že zvýšené lesnické úsilí nevyžadují jen porosty v mytném věku, ale stále častěji i mladé porosty a výjimkou nejsou ani porosty první věkové třídy. Je tak stále složitějším úkolem pro lesní personál Libavé lesy udržovat ve vitálním stavu. Při pokračování tohoto trendu lze předpokládat již v blízké budoucnosti naprosté vyčerpání některých částí Libavé spojené s řadou negativních důsledků a problematickou a náročnou rekonstrukci lesních ekosystémů Libavé. Chřadnutí monokultur SM na Libavé, ale i v jiných částech České republiky (dále jen „ČR“) či světa, se stalo plošným problémem, kterému vědecká obec věnuje značnou pozornost. Vědecké zkoumání se koncentruje na vícero směrů (vhodnost sadebního materiálu, transformace SM monokultur na smíšené porosty, vhodnost genetického materiálu, kvalita kořenového systému atd.). V současné době vyvstala ve spojitosti se změnami klimatu (častější extrémy, nižší srážkové úhrny atd.) rovněž otázka změn v klasifikaci lesních vegetačních stupňů (dále jen „LVS“) s dopadem na těžiště přirozeného výskytu SM.

Jak je uvedeno v předcházejícím odstavci, jedním ze směrů, kterým se ubírá vědecké zkoumání, je rhizologie dřevin a výzkumy význam vitality a správné funkčnosti kořenového systému pro zdraví stromu jen potvrzují. Kořenový systém naprosté většiny rostlinných druhů využívá služeb „pomocníka“ – mykorhizních hub, se kterými si rostliny vzájemně vypomáhají. Mycelium mykorhizních hub „prodlužuje“ kořenový systém s tím, že je schopno dosáhnout i do půdních prostor, které jsou pro klasické kořeny nedostupné. Významně tak zvětšují specifický povrch kořenového systému a půdní zónu, ze které je schopen kořenový systém jímat organické i anorganické živiny a zvyšují také ochranné mechanismy kořenu vůči patogenům či toxinům. Sebelepší kořenový systém v nevhodném půdním prostředí chudém na živiny a vodu však není schopen dřevině zajistit dostatečný přísun potřebných elementů. Přitom z důvodu intenzivního využívání lesní plochy v posledních dekádách

a ekologické zátěže v podobě vysoké acidity půdního prostředí dochází ke zhoršování stanovištních podmínek, často včetně úbytku mykorhizních hub.

Z výše uvedeného je patrné, že otázka využití umělé inokulace mykorhizními houbami a navrácení živin do půdního prostředí formou hnojení jsou v současnosti aktuálními tématy, která mohou významně napomoci při obnově lesa a dosažení stabilních porostů, ve kterých bude i nadále zastoupena naše v současnosti stále nejvýznamnější hospodářská dřevina.

2. CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je zhodnotit vliv mykorrhizního preparátu Ectovit a hnojiva Vápnitý dolomit na odrůstání kultur a vývin kořenového systému SM na Libavé. Uvedené prostředky byly aplikovány na sadební materiál při zalesňování výzkumných ploch v lesní správě Hlubočky v letech 2012 a 2013. Sledovány budou zejména následující parametry a znaky: výška nadzemní části; přírůsty a délky jehlic v jednotlivých letech; tloušťka kořenového krčku; ztráty; počet, délka a tloušťka horizontálních a vertikálních kořenů; počet jemných kořenů; index větvení jemných kořenů; specifická délka jemných kořenů a poškození biotickými a abiotickými činiteli. Snahou je zhodnotit efekt těchto přípravků na odrůstání kultur a na vývin kořenového systému SM a formulovat doporučení ohledně jejich další aplikace na Libavé.

3. ROZBOR PROBLEMATIKY

3.1. SMRK ZTEPILÝ / *PICEA ABIES* (L.) KARST.

SM v současnosti patří mezi naše nejrozšířenější dřeviny (z dřevin cca 53 % plochy). Ve střední a jižní Evropě měl původně zastoupení zejména v horských a podhorských lesích. Krom stanovišť s přirozeným výskytem byl SM v ČR od poloviny 18. století z ekonomických důvodů v rámci tzv. smrkománie uměle introdukován i na stanoviště, která nejsou pro SM zcela optimální. Uměle vysazené monokultury obecně nepatří mezi stabilní porosty a v řadě lokalit, včetně Libavé, se dnes nachází mnoho značně rozrušených lokalit vyžadující intenzivní lesnické úsilí. Porosty dnes navíc čelí dalším výzvám, na které nejsou adaptované (probíhající klimatické změny, větší teplotní výkyvy, nižší srážkové úhrny, poškození kořenového systému těžkou vyvážecí a těžební technikou). Z důvodu značného významu pro dřevozpracující, stavební, hudební a další průmysl však určité procento SM musí zůstat zachováno a je třeba hledat cesty vedoucí ke zvýšení stability SM porostů.

3.1.1 Biologická klasifikace

Říše: rostliny (*Plantae*)

Podříše: cévnaté rostliny (*Tracheobionta*)

Oddělení: nahosemenné rostliny (*Pinophyta*)

Pododdělení: jehličnany (*Coniferophyta*)

Třída: jehličnany (*Pinopsida*)

Řád: borovicotvaré (*Pinales*)

Čeleď: borovicovité (*Pinaceae*)

Rod: smrk (*Picea*)

Synonyma: *Pinus abies* (Linné, 1753); *Picea rubra* (Hill., 1757); *Abies rubra* ((Hill.) A. Dietr., 1824); *Pinus excelsa* (Lam., 1779); *Abies excelsa* ((Lam.) Poiret, 1805); *Picea excelsa* ((Lam.) Link, 1841).

Rod *Picea* zahrnuje podle Schmidt-Vogta (1977) minimálně 36 různých druhů, které jsou všechny soustředěny na severní polokouli. V anglické literatuře je SM často označován názvem *Norway spruce*, příp. *European spruce*.

Tjoelker, Boratyński, Bugała (2007) objasňují vývoj taxonomického zařazení a vývoj druhových jmen SM následovně. V minulosti bylo pro SM používáno mnoho

druhových názvů a až do roku 1824 spadal spolu s borovicemi, jedlemi a ostatními smrký do jednotného rodu *Pinus*, který byl v roce 1753 zaveden švédským přírodovědcem Carlem von Linné. Carl von Linné tehdy SM popsal pod názvem *Pinus abies* (L.). V roce 1824 Albert Dietrich smrký vyčlenil a zavedl pro ně samostatný rod smrk *Picea*, přičemž SM byl Albertem Dietrichem popsán pod názvem *Picea rubra*. Německý přírodovědec Johann Heinrich Friedrich Link v roce 1841 popsal SM pod názvem *Picea excelsa*, inspiroval se přitom názvem zavedeným pro SM v roce 1778 francouzským přírodovědcem Jean-Baptiste Lamarcem – *Pinus excelsa*. Označení *abies* zavedené Carlem von Linné se uchytilo a v roce 1881 Karsten poprvé popsal a použil název *Picea abies*, který se pro SM stal všeobecně uznávaným názvem. Nahradil i názvy dříve zavedené Linkem a Lamarcem.

3.1.2 Původní rozšíření

Podle Tjoelkera, Boratyňského, Bugały (2007) pocházejí nejstarší fosilní nálezy SM z období Křídý a byly popsány pod názvem *Picea protopicea*. Co se týče rozšíření v Evropě, Musil, Hamerník (2003) se domnívají, že v minulosti na starém kontinentu existoval jeden rozsáhlý souvislý areál SM. Ten se však v průběhu doby ledové a v důsledku rozšíření evropského kontinentálního ledovce roztříštil a SM se v Evropě stáhl pouze do refugií, kde zůstaly pro jeho přežití zachovány příznivé podmínky. Jednalo se např. o jižní svah Alp, Jižní Karpaty, Dinárské hory v bývalé Jugoslávii, Apeniny či jihovýchodní Rusko. Po skončení doby ledové došlo ke zpětnému navrácení SM do ostatních částí Evropy. Podle technických vodítek mezinárodní organizace zaměřené na ochranu lesního genetického fondu EUFORGEN (2003) rozmanitost SM v Evropě odráží mimo jiné i genetické stopy původního refugia SM během doby ledové a jeho následný postglaciální fylogenetický vývoj. Důležitým faktorem pak byla také adaptace na místní klimatické podmínky. Jedná se však o složitou problematiku, která je navíc ztížena – zejména ve střední Evropě – introdukcí dřevin. Zmíněná technická vodítka v této souvislosti dále uvádí, že je ve střední Evropě v porovnání s východní a severní Evropou genetická rozmanitost SM nižší. Analýzy DNA a studium fosilií naznačují, že ke zpětnému rozšíření SM do severní Evropy došlo primárně z refugia v jihoevropské části Ruska. Dnešní východní hranici rozšíření SM tvoří spojnice ruských měst Petrohrad – Tula a od této linie dále směrem k pohoří Ural dochází k postupnému nahrazování SM smrkem sibiřským *Picea obovata* (Ledeb.). Ve střední

Evropě se z hlediska rozšíření SM vylišují 4 podoblasti, a to Hercynsko-Karpatská podoblast (zejména oblast středního Německa, ČR, východních a jižních Karpat), Alpská podoblast (Alpy), Dinárská podoblast (Dinárské hory) a Rodopská podoblast (Bulharsko). Celé území v ČR spadá do Hercynsko-Karpatské podoblasti. Podle Musila, Hamerníka (2003) se do ČR SM rozšířil z refugií na jižním úpatí Karpat tzv. sudetskou cestou přes Jeseníky, Krkonoše a Krušné hory a dále z refugií na jihovýchodním okraji Alp přes rakouské pohoří Waldviertel směrem k Českomoravské vrchovině, Šumavě a Českému lesu, s tím že se koncentroval do oblastí s nadmořskou výškou 600–1000 m n. m. Stále intenzivnější využívání SM v průmyslu a lesní řády vydané pro Čechy a Moravu Marií Terezií v roce 1754, které doporučovaly vzniklé holiny zalesňovat výhradně jehličnany, nicméně vedly k dalšímu rozšíření SM v ČR. Původní jedlobukové oblasti byly přeměněny na umělé SM monokultury. V současnosti je tedy distribuční areál SM značně pozměněný a jeho rozšíření do oblastí, které nejsou pro SM zcela optimální, je často uváděno jako důvod odumírání SM v ČR. V současné době rozšíření SM v ČR tvoří 53 % lesních porostů, přičemž podle Musila, Hamerníka (2003) by přirozené zastoupení tvořilo jen 11 %.

3.1.3 Ekologické nároky

Areál rozšíření rodu *Picea* se rozkládá zejména na severní polokouli. Autoři Tjoelker, Boratyński, Bugała (2007) areál SM specifikují následovně: 71° s. š. v severní Americe a Eurasii až 32° s. š. v Severní Americe a 23° s. š. v jihovýchodní Asii. V Asii je rozšířen zejména smrk sibiřský *Picea obovata* (Ledeb.), v Evropě SM a v Severní Americe smrk sivý *Picea glauca* (Moench) Voss. a smrk černý *Picea mariana* (Mill.) Britt. Mezinárodní program zaměřený na problematiku genových základů EUFORGEN (2003) rozšíření SM uvádí takto: 41°27' s. š. (Balkánský poloostrov) až 72°15' s. š. (po řeku Chatanga na Sibiři), 5°27' v. d. (francouzské Alpy) až 154° v. d. (Ochotské moře ve východní Sibiři). Z hlediska výškového pak areál SM specifikuje od úrovně moře až po výšky i nad 2 300 m v italských Alpách.

Divíšek, Culek, Jiroušek (2010) specifikují primární výškové rozšíření SM v ČR v nadmořských výškách v rozmezí 300–1350 m n. m., s tím že se těžiště jeho rozšíření nachází zejména v okrajových pohořích. Bez SM jsou pak zejména teplé nivy řek a v nejvyšších nadmořských výškách v 8. LVS lze nalézt hloučky zakrslých SM. V ČR lze nalézt SM i na Sněžce. SM monokultur pak lze nalézt již ve 3. dubobukovém LVS,

ve 4. bukovém LVS pak převládají, případně se zde rozkládají ve větší míře smíšené porosty SM, BO, MD a JD a v 5. jedlobukovém LVS a v 6. smrkobukovém LVS zcela dominují. 5. jedlobukový LVS byl, alespoň dosud, uváděn jako LVS, ve kterém má SM své produkční optimum a dobře přirozeně zmlazuje. V 6. smrkobukovém, 7. bukosmrkovém i 8. LVS jsou SM porosty často poškozeny imisní zátěží. SM je jednodomou rostlinou, v případě zapojených porostů plodí zpravidla po dosažení 60 let, v případě solitérních nebo okrajových jedinců i dříve, a to ve 4 až 5letých intervalech.

Co se týče nároků na světlo, autoři Tjoelker, Boratyński, Bugała (2007) považují SM za světlomilnou dřevinu s vysokým stupněm tolerance k zástině s tím, že maximální úroveň tolerance dosahuje v mladém věku a v optimálních podmínkách. Tolerance k zástině podle stejných autorů klesá s věkem a nevhodností podmínek a starší SM v horní hranici lesa mají na světlo značné nároky. Naopak Schmidt-Vogt (1977) považuje SM za dřevinu s mírnou tolerancí na zástin. Autor rovněž upozorňuje na dopady zástině na morfologii jedince (např. zploštělé větve v nižší zastíněnější oblasti koruny SM). Podle Piska, Winklera (1959) jsou větve s nedostatkem slunečního svitu spíše povadlé, jehlice jsou tmavé, tenké a měkké, rozmístěné v jedné vrstvě. Naopak osluněné větve s dostatkem slunečního svitu disponují olivově zelenými, tlustými a pevnými jehlicemi, které jsou hustě rozmístěné v několika rovinách. Křístek, Žárník (2007) považují SM za dřevinu vysoce náročnou na světlo a za jeden ze základních faktorů limitujících rozšíření smrčín uvádí nízkou schopnost SM konkurovat dřevinám, které vytváří a lépe snáší zástin (zejména BK, JD). Autoři odhadují, že přibližně od výšky 900 m n. m. pro tyto dřeviny končí příhodné podmínky, čehož využívá ve svůj prospěch SM a stává se tak od výšky 1 100 m n. m. přirozeně dominantní dřevinou.

Pokud jde o požadavky na vlhkost, SM patří, mimo jiné i s ohledem na svůj plytký kořenový systém, mezi dřeviny s vysokými nároky na vlhkost a s nízkou tolerancí na sucho. Díky plytkému kořenovému systému je SM lépe přizpůsoben k využívání srážek, spíše než zdrojů podzemní vody. Pro SM jsou pak významným zdrojem vlhkosti rovněž horizontální srážky. Schmidt-Vogt (1977) vysvětluje nízkou toleranci SM k suchu také nízkou schopností SM regulovat výdej vody v situacích, kdy je jí nedostatek. V této souvislosti uvádí, že hektar SM porostů na sušším stanovišti odpařuje za 24 hodin přibližně 19 t vody a na vlhkém stanovišti dokonce 34 t vody.

Z hlediska teplot se SM řadí k tolerantním dřevinám. Autoři Musil, Hamerník (2003) zmiňují souvislost tepla s přírůstem a upozorňují na vyšší citlivost SM na vysoké spíše než na nízké teploty. Podle Nováka, Slodičáka (1998) však byla potvrzena vyšší závislost tloušťkového přírůstu SM spíše na srážkách než na teplotě. Podle Musila, Hamerníka (2003) i Nebeho (1968) je pro SM u nás optimální spíše kratší a chladné léto, průměrná roční teplota 6 °C a srážky ve vegetačním období 490–580 mm. Maximálního ročního přírůstu je pak podle Nebeho (1968) dosahováno při ročním srážkovém úhrnu 900 mm. Schmidt-Vogt (1977) charakterizuje makroklimatické kontinentální optimum SM následovně: vegetační období s teplotami nad 10 °C v délce alespoň 150 dní, srážky ve vegetačním období považuje v našich podmínkách za optimální ve stejné výši jako Nebe (1968) a roční kolísání teplot je dle autora pro SM nevýznamné. Schmidt-Vogt (1977) v souvislosti s teplotní citlivostí SM dále zmiňuje, že SM roste i na místech s průměrnými lednovými teplotami -35 °C, je však schopen tolerovat až teplotní výkyvy do výše -60 °C. Na druhou stranu však špatně snáší mrazíky v průběhu vegetačního období.

Pokud jde o nároky SM na půdní prostředí, SM je obecně považován spíše za dřevinu nenáročnou a tolerantní k nejrůznějším půdním podmínkám. Preferuje však spíše kyselé půdy a podle Tjoelkera, Boratyňského, Bugały (2007) je pro SM optimálním rozmezím pH 5,3–6,0 nicméně SM nalezneme i na půdách s pH 3,4. Divíšek, Culek, Jiroušek (2010) pak upozorňují, že na vápenitých půdách SM ustupuje BK. SM monokultury však půdy spíše okyselují a Šrámek a kol. (2014) upozorňují, že se hodnoty pH v ČR s ohledem na vysokou aciditu půd pohybují spíše pod spodní hranicí optimálního pH.

3.1.4 Škodliví činitelé

Poškození SM je způsobováno řadou biotických či abiotických činitelů a v řadě případů se jedná o spolupůsobení vícero faktorů. Spolupůsobením vícero činitelů vysvětluje chřadnutí SM i Manion (1981), který na proces chřadnutí nahlíží komplexně a bere v úvahu mimo jiné i predispoziční faktory (genetika, počáteční stresy způsobené poškozeným životním prostředím atd.). Mezi nejvýznamnější biotické škůdce na SM patří podkorní hmyz (zejména kůrovci) a další zástupci třídy *Insecta* (např. klikoroh borový *Hyllobius Abietis* (Linnaeus)), václavka *Armillaria* sp. a zvěř (škody okusem, ohryzem, loupáním, vytloukáním). Mezi abiotické faktory spadá extrémní počasí

(teploty, nedostatečné srážky či naopak záplavy), vítr, sníh, námraza, ale také antropogenní činnost člověka (poškození stromů harvestorem atd.).

3.1.5 Morfologie nadzemní části

Morfologie SM je mimo jiné i s ohledem na rozsáhlý areál SM, rozdílné životní podmínky a genetické faktory značně variabilní. SM je stálezeleným jehličnatým stromem, který v našich klimatických podmínkách dosahuje výšky 30–50 m a výčetní tloušťky $d_{1,3}$ až 1,5 m. Dožívá se až 200–400 let, mýtný věk SM porostů však z důvodu zpracovatelnosti a ekonomiky bývá obvykle stanoven na nižší úrovni (100–120 let). Čížek (2011) označuje za nejvyšší skácený SM v Evropě tzv. Želnavský smrk, který byl ve věku 585 let skácen v roce 1864 na Šumavě na příkaz Jana Adolfa Schwarzenberga a měřil 68,9 m. Části Želnavského SM byly vystaveny na světových výstavách v Paříži, v Londýně, Berlíně a Vídni.

Musil, Hamerník, 2003 uvádí v souvislosti s morfologií SM následující charakteristiku. Koruna SM je kuželovitého tvaru s pravidelně rostoucími přesleny. U stromů, které jsou v zápoji, přesleny ve spodní části postupně odumírají a opadávají (vlastnost samočištění kmene), kdežto solitérní jedinci mají větve až k bázi stromu. Kmen SM je štíhlý, válcovitého tvaru s borkou v mládí převážně červenohnědé barvy, v pozdějším věku barvy spíše šedivé. Z hlediska struktury je borka SM značně variabilní, v mládí spíše hladká, v pozdějším věku spíše lasturovitá nebo s podélnými šupinami. SM má jádro bělové, barva dřeva je žlutobílá až světle žlutohnědá, hustota dřeva je $420 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, tvrdost 26 MPa. Jehlice jsou dlouhé zpravidla 10–25 mm, tuhé, z obou stran s jemným světlým proužkem, v průřezu čtyřhranné, zašpičatěle zakončené. Jehlice jsou na větvi uspořádány přeslenovitě a směřují dopředu.

3.1.6 Kořenový systém

Zkoumání kořenového systému je obecně poměrně obtížnou vědní disciplínou, poněvadž přímému pozorování brání půdní prostředí, s čímž je spojena vyšší pracnost, ale i nákladnost studia této oblasti. Přirozeně je však nepoškozený a správně fungující kořenový systém základním předpokladem pro zdravý růst jedince a deformace či poškozená přirozená stavba kořenového systému patří mezi významné předpoklady narušení stability jedince, jeho chřadnutí či dokonce odumírání. Tuto skutečnost potvrzuje i výzkum Mauera, Palátové, Rychnovské (2004), který se zaměřil na korelaci

mezi vývinem kořenového systému a zdravím nadzemní části. Během šetření bylo zjištěno, že poškození jedinci SM v Orlických horách, Jizerských horách a v nižších polohách střední Moravy měli slabší kořenový systém a byl u nich identifikován stoprocentní výskyt poškození václavkou *Armillaria* sp., častý výskyt hniloby kořenů, vysoký výskyt deformací kořenového systému či podstatná redukce biomasy jemných kořenů. S ohledem na zaměření práce je třeba také zmínit, že funkční mykorhizu měly poškozené i nepoškozené stromy. U poškozených jedinců však byl zjištěn častý výskyt černé ektomykorhizy příznačné pro houbu *Cenococcum geophilum* Fr.

Radix má pro dřeviny řadu důležitých funkcí. Dřeviny kotví v půdě, stabilizuje je, slouží jako „zásobárna“ látek, syntetizuje organické látky, aminokyseliny, alkaloidy či regulátory růstu a přijímá živiny a vodu, které jsou následně z kořene rozváděny do celého organismu jedince a vstupuje do symbiotických vztahů s houbovými či bakteriálními organismy.

Podle Mauera, Palátové (2004a) se pro základní rozdělení jednotlivých částí kořenového systému většinou používá dělení podle tloušťky (průměru) kořene, a to na hrubé (kosterní) a jemné (nekosterní) kořeny. Za jemný kořen je obvykle označován kořen s průměrem menším než 1 mm příp. 2 mm. Diplomová práce mezi jemné (nekosterní) kořeny řadí kořeny s tloušťkou menší než 2 mm. Do kategorie jemných kořenů spadají i krátké (postranní) kořeny, často označované také jako tzv. kořeny omezeného růstu.

Hrubé (kosterní) kořeny tvoří základní kostru a stanovují prostorové limity kořenového systému. Co se týče směrového rozložení kořene, u SM je sice kořenový systém značně variabilní, obecně je však zřetelně rozdělen na horizontální a vertikální kořeny. Hrubé horizontální kořeny SM jsou talířovitě rozloženy zejména při povrchu a v horní půdní vrstvě se mohou rozkládat do vzdálenosti až několika metrů a stanovují tak horizontální sféru vlivu kořenového systému. Zejména u mladších SM plní významnou funkci zajištění mechanické stability dřeviny. Z horizontálních kořenů pak mohou prorůstat vertikální tenčí kořeny či výběžky, které Schmidt-Vogt (1977) označuje výrazem „kotvy“. Mauer, Palátová (2004a) za vertikální kořeny považují kořeny obecně pozitivně geotropické, které rostou kolmo směrem dolů, případně v šikmém směru s odklonem větším než 45°. Vertikální kořeny tak stanovují vertikální sféru vlivu kořenového systému. Dosah a růst kořenového systému je přirozeně ovlivněn vlastnostmi půdního prostředí – provzdušněním, hloubkou zahřátí půdy, půdní

reakcí (hodnotou pH), vlhkostí, hladinou podzemní vody, fytotoxickými látkami v půdním prostředí (herbicidey atd.), skeletovitostí půdy, množstvím disponibilních živin, kořenovou konkurencí či humusem. Podle Musila, Hamerníka (2003) bývá kořenový systém SM v nepříznivých podmínkách s nízkým obsahem vody či živin „rozložitější“, s vyhledávacími kořeny až 10 m dlouhými. Kořenový systém SM v prostředí bohatém na živiny je na druhou stranu hustěji prokořeněný, a to zejména ve svrchních humusových vrstvách. Kořenový systém je pak ještě více horizontálního charakteru, podobně jako v případě vysoké hladiny podzemní vody, tj. v prostředí s nízkým obsahem kyslíku, poněvadž kořeny mají obecně tendenci vyhledávat spíše oblasti s vyšším obsahem kyslíku. Vyšší hustota prokořenění je častá rovněž na obvodu půdorysného průmětu koruny, poněvadž zde dochází k nejintenzivnějšímu ztékání vody z koruny.

Sutton (1960) dále rozděluje kořeny na hlavní a postranní, tzv. heterorhizie, kdy z primárního hlavního kořene postembryonálně vyrůstají postranní kořeny prvního řádu, ze kterých následně vyrůstají další postranní kořeny druhého a dalších řádů. Kořeny posledních řádů se označují jako již výše zmiňované krátké kořeny či kořeny omezeného růstu. U třídy jehličnanů *Pinopsida* jsou postranní kořeny zakládány v pericyklu středního válce, primordium se postupně zvětšuje a prorůstá do kortextu (endogenní větvení). Místo vzniku postranních kořenů lze přitom do jisté míry předvídat. Obecně se odvíjí od postavení cévního svazku a vzdálenosti od apikálního meristému. Podle Esau (1960) se nachází místo vzniku postranních kořenů u triarchního uspořádání cévních svazků se sedmi vodivými elementy, které se uplatňuje u SM, naproti xylému. Vznik primordií postranních kořenů je obecně akropetální, tj. tvorba postranních kořenů postupuje od napojení postranního kořene na kořen mateřský směrem ke kořenové špičce. Ukončení růstu postranního kořene signalizuje zhnědnutí kořenové špičky, která je jinak obvykle bílá či světlá, pro které se v cizojazyčné literatuře používá termín zavedený Müllerem (1906) - *metacutization* (zkorkovatění kořenové špičky). Podle Suttona (1960) zhnědne u většiny jehličnanů kořenová špička během 8–20 dnů po ukončení růstu postranního kořene. Podle Mauera, Palátové (2004a) se však nemusí vždy jednat o odumřelé kořenové špičky, ale v některých případech o špičky zestárlých krátkých kořenů, u kterých po skončení klidového růstového období zkorkovatělá špička popraská a přes svrasklou kůru mohou obnovit růst další kořeny. Bílá aktivní růstová kořenová zóna podle Mejstříka (1988) dosahuje u nemykorhizních

kořenů délky až 1 cm, u krátkých ektomykorhizních (dále jen „EKM“) kořenů většinou pouze několik milimetrů. Podle stejného autora je u silnějších, rychle rostoucích kořenů postranní větvení často potlačováno. Dlouhé postranní kořeny jsou tedy spíše řídké větvené a podle Suttona (1960) často vyrůstají v oblasti kořenového krčku. Celkový kořenový přírůst dlouhých postranních kořenů je značně variabilní. Podle Lainga (1923) byl ve skotské lesní školce průměrný přírůst dvouletých kultur SM ve vegetačním období (polovina června – září) 17,3 cm. Nicméně podle poznatků Büsgena, Müncha (1929) mohou být jednotlivé dlouhé postranní kořeny dvouletého SM dlouhé i 1 m a Laing (1923) dokonce popisuje dvouletou sazenici SM s postranními kořeny dlouhými až 1,5 m.

Krátké postranní kořeny jsou obdobou dlouhých postranních kořenů, jsou však znatelně kratší a dle Suttona (1960) mají většinou zaoblené špičky. Vyznačují se pomalým dělením buněk apikálního meristému, tedy pomalým růstem. Životnost těchto kořenů může být poměrně krátkodobá a Orlov (1960) u SM uvádí následující životnosti: 10 % kořenů žilo méně než rok, většina krátkých postranních kořenů žila 3–4 roky, 20 % žilo déle než 4 roky, nepřilíš početná skupina kořenů žila více než 5 let. Podle Mauera, Palátové (2004a) skupina jemných kořenů, které zahrnují i krátké postranní kořeny, u většiny dřevin mírného pásma tvoří mykorhizy a jsou stěžejní pro zajištění výživy dřeviny.

Mauer, Palátová (2004b) upozorňují, že některé dřeviny, zejména SM, OL, DG a MD, vytváří rovněž nové přídatné či náhradní (adventivní) kořeny, které vznikají většinou nad kořenovým krčkem v důsledku zranění či působení stresových faktorů. Adventivní kořeny se mohou vyskytovat, jak v případě umělé, tak přirozené obnovy. K jejich tvorbě většinou dochází na kořenu druhotné stavby vznikajícím v důsledku činnosti druhotných dělivých pletiv kambia a felogénu (exogenní větvení), a to často po nadměrném překrytí spodní části kmene sazenice půdou, opadem či rozkládající se bušením. Adventivní kořeny mohou obecně vznikat na jakémkoliv orgánu dřevin a podobně jako kořen hlavní mohou tvořit postranní kořeny 1. a dalších řádů. Podle pozorování Bačeho, Svobody, Jandy (2014) realizovaného v českých podmínkách (Šumava) má na intenzitu tvorby adventivních kořenů u přirozeného zmlazení SM vliv mikrostanoviště. Výstupy šetření ukázaly, že přirozené zmlazení SM na půdě vytváří více adventivních kořenů ve srovnání s přirozeným zmlazením SM vyrůstajícím na mrtvém dřevě. U většiny dřevin se adventivní kořeny ve větším měřítku tvoří

v období 30–70 věku (překrytí kořenového krčku rozloženou buřením, opadem), Mauer, Palátová (2004b) však uvádí, že při „utopení“ dřeviny při výsadbě dochází k tvorbě adventivních kořenů často i dříve. Podle poznatků Mauera, Palátové (2004b) jsou adventivní kořeny vzniklé do 30 let věku stromu ve většině případů horizontálního charakteru, oproti standardním horizontálním kořenům jsou však slabší a kratší.

SM patří obecně mezi stromy s mělkým kořenovým systémem, čerpá tedy vláhu zejména z okolního vzduchu, horizontálních srážek a svrchní půdní vrstvy. Přirozeně je tedy náchylnější na nedostatečné srážky a nízké hladiny spodní vody. Vysoká hladina spodní vody však pro SM rovněž není optimální, a jak je uvedeno výše v této kapitole, vede k architektuře kořenového systému spíše horizontálního charakteru, který má nižší stabilitu vůči vývrátům. Šetření realizované Mauera, Palátovou (2004c) naznačilo, že od 20 let věku mají SM porosty vzniklé přirozeným zmlazením lepší předpoklady pro zajištění mechanické stability než SM z umělé obnovy, což autoři vysvětlují zejména tím, že u přirozené obnovy dřevina již od samého počátku vytváří kořenový systém adaptovaný na místní podmínky s cílem zajistit co nejlepší plnění všech funkcí.

3.2. MYKORHIZNÍ SYMBIÓZA

Mykorhizní symbióza byla podle Selosse, Roye, Těšitelové (2014) popsána Albertem Bernhardem Frankem, který je považován za prvního vědce, který zavedl výraz „mykorhiza“, a to v roce 1885 v díle „Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze“. Podle Peškové (2008) se jedna z prvních zmínek o mykorhize v ČR objevuje v roce 1899 v díle Oldřicha Kramáře „Studie o mykorhize u hruštičky okrouhlosté: (*Pirola rotundifolia* L.)“. K vyššímu zájmu o problematiku symbiotického vztahu hub (mykobiontů) a rostlin (fytoiontů) však došlo až po roce 1945. Studiu mykorhizní symbiózy a mapování jednotlivých mykorhizních hub se věnovala řada vědců např. Voigt (1971), Tinker, Gildon (1983), v ČR pak Mejstřík (1988), Gryndler (2004), Mauer O., Chmelíková E., Cudlín P. ad. Z organizací se problematice mykorhizních symbióz intenzivně věnuje např. Švýcarský federální institut pro výzkum lesa, sněhu a krajiny WSL (Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL) či francouzská společnost Robin Pépinière, která ve firemních laboratořích a školkách provádí řízenou umělou mykorhizaci sadebního materiálu. V ČR je mykorhiza zejména v popředí zájmu Botanického ústavu Akademie věd ČR, Oddělení mykorhizních symbióz, Výzkumného

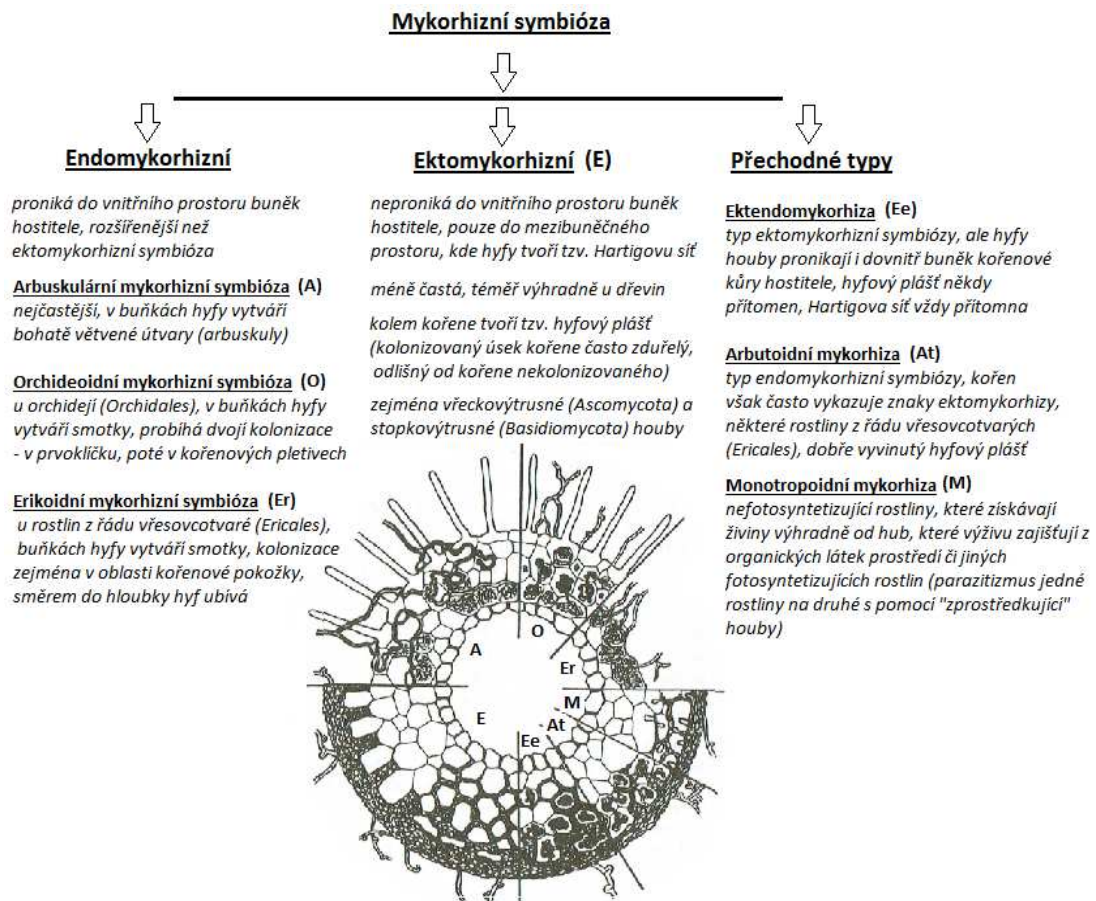
ústavu lesního hospodářství a myslivosti v.v.i., vysokých škol s odborným zaměřením na oblast lesnictví a zemědělství či komerčních subjektů (např. společnost Symbiom s. r. o.)

Mykorhiza patří mezi významné a značně rozšířené přírodní jevy, které mohou výrazně ovlivňovat zdravotní stav, odolnost, růst a konkurenční schopnost hostitelské rostliny. Podle Mejstříka (1988) některou z forem mykorhizní spolupráce využívá více než 90 % rostlin a podle Chmelíkové, Cudlína (2004) je mykorhiza nedílnou součástí všech lesních dřevin rostoucích v ČR ve volné přírodě. Jedná se o vzájemně prospěšnou „spolupráci“ specifické skupiny půdních hub s vyššími rostlinami, při které dochází k obousměrné výměně látek. Půdní houby poskytují rostlinám lepší přístup k vodě, anorganickým sloučeninám a stopovým prvkům, stimulují tak jejich růst a zvyšují chemickou i fyzikální odolnost vůči pronikání patogenů, těžkých kovů či toxických sloučenin a vůči jiným stresovým faktorům a šetří jim energii. Ty naopak houbám poskytují uhlíkaté sloučeniny asimilované při fotosyntéze. Anorganické prvky jsou v půdním prostředí značně rozptýlené, rostlina by tak musela pro pokrytí svých potřeb využívat značný objem půdy při současném vynaložení značné energie. Tyto látky se navíc v půdě mohou nacházet v různých chemických sloučeninách, z nichž některé jsou snadno rozpustné a snadno využitelné kořeny rostlin, některé jsou však nerozpustné a pro rostliny tudíž nedostupné. Hyfy mykorhizních hub vyrůstají z kořenového systému a významným způsobem tak zvětšují specifický povrch a tedy i objem půdního prostoru, ze kterého je kořenový systém schopen jímat živiny. Jsou navíc schopny dosáhnout i drobných půdních prostor, které jsou pro kořenový systém nedostupné a zvětšují tak absorpční plochu a tedy i kapacitu kořene jímat živiny z půdy. Mycelium hub může být značně rozsáhlé, umožňuje tak transport na větší vzdálenosti. Další funkcí hub je funkce zásobní. Houby jsou schopny živiny v době dostatku kumulovat a zajistit tak přísun živin fytoobiontu i v době nedostatku.

Vohník (2008) objasňuje, že houba navíc nemusí být „napojena“ jen na jednoho hostitele a může tak fungovat jako prostředník a zásobovat uhlíkem nefotosyntetické rostliny či znevýhodněné hostitele ve stínu, který byl asimilován fotosyntetickým hostitelem umístěným na příhodnějším místě. Tato komunikační síť houbového mycelia spojující jednotlivé hostitele je někdy označována jako *wood wide web*.

Typů mykorhizní spolupráce je vícero, základní rozdělení se liší zejména tím, zda hyfy pronikají do vnitřního prostoru buněk nebo se naopak soustřeďují pouze

do intercelulárních prostorů. Schéma zobrazující rozdělení typů mykorhizní symbiomy a jejich základní charakteristiku, včetně vyobrazení v příčném řezu kořene, je zobrazeno na Obr. 1. Někteří autoři, např. Pešková (2008), řadí arbutoidní a monotropoidní symbiomy mezi podtypy endomykorhizní erikoidní symbiomy.



Obr. 1 Schéma typů mykorhizní symbiomy a jejich základní charakteristika. Obrázek znázorňující typy mykorhiz v příčném řezu převzat od Gryndlera (2004).

U interakce, kdy dochází k narušení rovnováhy oboustranné prospěšnosti, se jedná o parazitismus. Typickým příkladem parazitismu je kolonizace kořenů václavkou, která odebírá SM asimiláty a která v současné době patří mezi významné stresory SM na Libavé. Chmelíková, Cudlín (2004) upozorňují, že k narušení vyrovnaného symbiotického vztahu v neprospěch rostliny může dojít i narušením stanovištních podmínek (vysoká depozice dusíku, přehnojení půdy, pesticidy atd.), kdy převládá energetická náročnost symbiomy (cukry dodávané houbě) nad množstvím látek, které houba rostlině dodává. Vztah mikroorganismů a dřeviny může být také neutrální bez vzájemného ovlivňování.

Vzájemné spolupůsobení probíhá v půdním prostředí na koncových kořincích a v jejich pletivech. Rhizosféra a půda obklopující kořeny je obecně ve srovnání s okolním volným půdním prostředím osídlena značně vysokým výskytem mikroorganismů – mikroflóry, včetně mykorhizních hub i mikrofauny. Tato společenstva mají velký význam pro absorpci minerálních živin kořenovým systémem. Podle Gryndlera (2004) spadají mezi mykorhizní houby zejména stopkovýtusné houby (bazidiomycety) *Basidiomycota*, zástupci několika rodů z vřeckovýtusných hub (askomycety) *Ascomycota*, zástupci jednoho rodu hub spájivých (zygomycety) *Zygomycota* a zástupci česky nepojmenované skupiny *Glomeromycota*. V této souvislosti je třeba zmínit, že základním předpokladem pro vznik mykorhizní spolupráce je přítomnost mykorhizních hub (v klidovém stádiu ve formě spor nebo v aktivním stádiu ve formě mycelií) v půdě. V případě jejich nedostatku v půdním prostředí je třeba zvažovat dodání těchto hub a tedy umělou inokulaci kořenů rostlin.

Krom populační hustoty mikroorganismů je pro růst hostitele důležitý typ mikroorganismů kolonizujících kořen a jeho charakteristiky. Populační hustotu mikroorganismů ovlivňuje zejména půdní složení, množství kyslíku v půdě, ale také dostatečná vlhkost. Průzkum provedený Lorenzem (2012) potvrdil, že má stresový faktor sucha na mykorhizní podmínky negativní vliv. Z rozsáhlých šetření prováděných Mauerem, Mauerovou (2007) na sadebním materiálu SM a BK, kdy byly zkoumány dopady volby technologie pěstování sadebního materiálu a různé vlivy (desinfekce, vlhkost, acidita, způsoby hnojení) na rozvoj EKM symbiózy dospěly, co se týče vlhkosti, k obdobným výsledkům. Dle šetření pěstování v suchých, ale i přemokřených substrátech, a to i krátkodobě, tvorbu mykorhiz inhibuje.

3.2.1. Ektomykorhizní symbióza

V lesnictví se uplatňuje zejména EKM symbióza, která se vyskytuje u všech jehličnatých dřevin a některých listnatých dřevin (např. *Fagus*, *Quercus*, *Betula*). Mezi tzv. obligátně mykorhizní dřeviny spadají zejména rody dřevin např. *Abies*, *Larix*, *Pinus*, *Picea* aj. Podle Mejstříka (1988) mohou tyto dřeviny sice v umělých výsadbách existovat bez EKM symbiózy, tato skutečnost se však odrazí na vitalitě jedince, nižších přírůstech atd. Mezi fakultativně mykorhizní dřeviny, které vstupují do EKM i endomykorhizní symbiózy, pak spadají rody např. *Juniperus*, *Salix* či *Tilia* aj. a podle Mejstříka (1988) se nedostatek symbiózy na stanovištích s vhodnými podmínkami

většinou neprojeví. EKM symbiózu tvoří zejména zástupci stopkovýtrusných a vrčkovýtrusných hub, z hub spájitvých jen několik málo druhů. Do EKM symbiózy vstupují např. zástupci rodů hub lakovky *Laccaria*, slzivky *Hebeloma*, klouzci *Suillus*, čechratky *Paxillus*, kořenovci *Rhizopogon*, rod *Pisolithus* ad. Podle Chmelíkové, Cudlína (2004) patří první dva jmenovaní zástupci rodů rovněž mezi nejčastější druhy používané ve školkařství. Veřejnosti jsou pak známé zejména plodnice EKM hub např. ryzec *Lactarius*, klouzek *Suillus*, zástupci rodu hřibů *Boletus* ad.

Jak je uvedeno v předcházející kapitole 3.2., v případě EKM symbiózy dochází k prorůstání houbového mycelia do intercelulárních prostorů kořenové pokožky (rhizodermis) a primární kořenové struktury, nikoliv však do buněk samotných. Hyfy v mezibuněčných prostorech vytváří prostorovou síť, která je známa pod pojmem Hartigova síť, na povrchu kořene pak vytváří hyfový plášť. Hartigova síť byla pojmenována po německém vědci Robertu Hartigovi, který v 19. století rozpoznal, že se jedná o strukturu vytvořenou symbiotickými houbami. Podle Mehrotra (2005) dochází k tvorbě Hartigovy sítě obvykle v období 2–4 dnů po inokulaci houbou. Směrem ke středové části kořene hustota mycelia postupně klesá a ve středové části mycelium zpravidla zcela chybí.

U SM, stejně jako u řady dalších rostlin, které vstupují do EKM vztahů, dominují krátké (koncové) kořínky s omezeným růstem a životností (heterorhizní typ kořene). Podle Mejstříka (1988) však mohou být houbou infikovány jak dlouhé, tak krátké kořínky. Kořen kolonizovaný EKM houbou vykazuje specifické morfologické a anatomické znaky. U SM krátké kořínky disponují kořenovým vlášením, ovšem v případě kolonizace kořínků EKM houbou zpomalují svůj růst a dochází k eliminaci vlášení. Podle Mejstříka (1988) typickým EKM kořínkům také často chybí kořenová čepička. Rovněž dochází ke změnám ve větvení kořínků kolonizovaných EKM houbou, v případě SM či BO se jedná o vidličnaté (dichotomické) větvení příp. nevětvené formy. Další odezvou kořenů, které jsou EKM houbou kolonizovány, jsou zpravidla morfologické změny kořene – zduření – které je často rozpoznatelné okem. Morfologické změny kořene nicméně nejsou, až na výjimky, pro ten který mykobiont příznačné a je tedy obtížné na základě tvarů ektomykorhiz (mofotypů) určovat druh symbiotické houby. Podle Mejstříka (1988) neprojevují mykorhizní kořeny velkou schopnost prorůst do hlubších vrstev, spíše prorůstají do svrchních a nových vrstev

opadu a surového humusu. Podle Peškové (2008) lze maximální životnost EKM kořínků odhadovat na dva roky.

Podle Chmelíkové, Cudlína (2004) je většina EKM hub druhově specifická, tj. tvoří mykorhizy pouze s jedním nebo několika druhy dřevin. Studium EKM hub nicméně stěžuje fakt, že se tyto houby na některých stanovištích chovají jako houby saprotrofní, kdežto na jiných stanovištích jako EKM houby. Při mykorhizní symbióze dochází podle Gryndlera (2004) k aktivaci příp. deaktivaci vybraných genů a tedy ke změnám v regulaci genů. Princip rozhodovacího procesu, toky energií mezi fytohostitelem a půdou či povaha a fungování signálních látek, na základě kterých mykorhizní houby upravují své chování vůči okolním organismům, však zatím nebyly dosud uspokojivě objasněny. Jak však uvádí Gryndler (2004), dvojí povaha hub na druhou stranu umožňuje některé houby kultivovat na umělých živných půdách bez přítomnosti hostitele. Výzkumy Zhoua, Hogetsy (2002) naznačují, že kořenový systém zpravidla kolonizuje vícero druhů EKM společenstev, s tím že žádný z nich pravděpodobně není druhem dominantním.

Hostitel EKM houbě poskytuje uhlíkaté sloučeniny a Hobbie (2006) v této souvislosti zmiňuje výši až 22 % uhlíku získaného stromem v rámci fotosyntézy. Wu a kol. (2002) pak na základě výzkumu provedeném s atmosférickým uhlíkem označeným radioaktivním markerem na borovici hustokvěté *Pinus densiflora* odhadují, že bylo předáno myceliu EKM houby až 24 % asimilovaného uhlíku. Houby pak rozvádí uhlík získaný z kořenů do lesní půdy a představují tak zřejmě důležitý faktor v koloběhu uhlíku v lesním ekosystému.

Rozšíření EKM hub přirozeně závisí na půdním prostředí. V poslední době se na trhu objevila řada přípravků, které umožňují umělou inokulaci mykorhizní houbou příp. mykorhizními houbami. Základem pro výrobu inokula je získání kultur mykorhizních hub, které jsou získávány z plodnic hub. Kultury jsou následně rozmnoženy a smíchány s nosnou látkou (obvykle perlit, rašelina nebo vermikulit). Získané inokulum se následně aplikuje do výsadbových jamek, substrátů, u vzrostlých stromů do jamek, které umožní přístup ke kořenovému systému, či formou postřiku nebo namáčením kořenů do roztoku obsahujícím mykorhizní inokulum. Podle Mauera, Mauerové (2007) je jistější a ekonomicky výhodnější aplikovat mykorhizní inokulum na sadební materiál již v lesních školkách, spíše než při výsadbě v porostech. Je zřejmé, že v lesních školkách lze lépe zajistit správnou aplikaci inokula a vhodné podmínky pro

rozvoj mykorhiz, na rozdíl od aplikace *in situ*, kde nelze vždy vyloučit zejména lidský faktor (nedodržení technologického postupu při přípravě preparátu na aplikaci *in situ*, nedůsledné obalení kořenového systému sazenice preparátem atd.) a zajistit vhodné podmínky (počasí, vlhkost atd.).

Řada vazeb, procesů a dalších aspektů mykorhizní symbiózy nám zatím zůstává utajena. Význam tohoto jevu pro zdravý lesní ekosystém je však nezpochybnitelný. I s ohledem na probíhající klimatické změny a související vyšší vystavení dřevin stresovým faktorům probíhá v této oblasti intenzivní výzkum. Řada výzkumů, kde byl zkoumán dopad mykorhizních přípravků na rozvoj kořenového systému, proběhla i v českých podmínkách. Holuša a kol. (2009) zkoumali dopad preparátu Ectovit na rozvoj kořenového systému SM v oblasti Nížkého Jeseníku (Skřipov). Přípravek byl aplikován na dvouletý sadební materiál v květnu 2004, hodnocení proběhlo v září 2008. Aplikace přípravku vykazovala pozitivní dopady na kořenový systém, růst a vývoj SM sazenic, a to i v oblastech značně zamořených václavkou. Efekt přípravku Ectovitu na sazenice SM a BK byl rovněž hodnocen v lesní správě Libavá, VLS Lipník nad Bečvou. Výsadba proběhla na jaře a na podzim 2013, hodnocení proběhlo v říjnu 2014. Hodnocení bylo realizováno společností Symbiom, s. r. o. Šetření potvrdilo dopad preparátu Ectovit na výšku kultur – v případě SM se jednalo o nárůst o 8 % u prostokořenné sadby a o 18 % u krytokořenné sadby. Výzkum rovněž potvrdil dobrou introdukci hub obsažených v přípravku Ectovit, zejména *Amanita muscaria* a *Paxillus involutus*, které se přirozeně na výzkumných plochách nevyskytovaly. Pokusy provedené Repáčem a kol. (2009) na semenáčích BO nebyly ohledně výsledků Ectovitu již natolik optimistické. Autoři zkoumali dopady vícero preparátů, včetně Ectovitu, na růst semenáčků BO. Hodnocení růstu a tvorby ektomykorhiz probíhalo již po prvním vegetačním období. V těchto pokusech nebyl u žádného z přípravků zjištěn statisticky významný vliv na růst semenáčků, ani na rozsah kolonizace kořínků EKM houbami. Autoři tuto skutečnost připisují příznivým růstovým podmínkám a upozorňují, že očekávaným hlavním efektem těchto přípravků v lesních školkách by neměl být růst, ale spíše zvýšení vitality a kvality sadebního materiálu. Před formulací výslovných doporučení tak autoři upozorňují na potřebu dalšího výzkumu. Zcela přesvědčivé nebyly ani výsledky výzkumu Tučkové (2009) týkající se aplikace mykorhizního preparátu Vambac, který byl aplikován na sadební materiál v oblasti slovenských Kysúc. Preparát ukázal slabý pozitivní dopad na výšku nadzemní části a tloušťku

kořenových krčků, pozitivní vliv měl na vývoj jemných kořenů. Obdobný dopad na jemné kořeny však měly i další testované hnojivové preparáty.

3.2.2. Půdní prostředí

Lesní půdy patří mezi základní součásti lesních ekosystémů. Příhodné půdní prostředí patří mezi základní předpoklady pro vitalitu a správný růst jedince. Dřeviny z půdy čerpají řadu důležitých prvků, jejichž nedostatek se projevuje žloutnutím, defoliací, stresem a snížením odolnosti stromu, zpomalením růstu, chřadnutím či dokonce odumřením stromu. Rozsah a zaměření práce neumožňuje postihnout veškeré aspekty půdního prostředí. Práce z tohoto důvodu zmiňuje jen vybrané elementy půdního prostředí.

Mezi nejdůležitější stavební prvky rostlin patří zejména C, O₂ a H, které jsou získávány z vody nebo ze vzduchu v plynné podobě. Další prvky a minerální živiny jsou získávány z půdy ve formě sloučenin (Mg, N, P, K, Ca, S, ale také Cl, B, Mn ad.).

S rozvojem průmyslu došlo k výraznému zhoršení kvality ovzduší a ke značnému nárůstu koncentrací SO_x, NO_x a dalších polutantů. Neutěšivá imisní situace trvajících řadu desetiletí se transformovala do ekologické zátěže v podobě změny chemismu lesních půd, který negativně ovlivňuje zdravotní stav dnešních lesních ekosystémů. V jehličnatých lesích je problém výraznější s ohledem na vyšší specifický povrch jehlic a tedy i vyšší atmosférickou depozici. Pokusy Mauera, Palátové (2004d) provedené v nádobových pokusech příp. ve SM porostech poukázaly na podstatné snižování biomasy jemných kořenů, ale i počtu kořenových špiček v důsledku simulovaných depozic síry. Ty měly naopak spíše stimulační vliv na rozvoj mykorhizních hub. Podle Šrámka a kol. (2014) je kritická zátěž depozicemi síry v současnosti překračována jen na malé části území ČR, jiná situace je v současnosti s dusíkem. Dle autorů překračuje depozice dusíku na Libavé pufrací kapacitu lesních ekosystémů až o 7 kg. ha⁻¹. rok⁻¹. Dusík přitom podle Mauera, Palátové (2004d) nepříznivě ovlivňuje kořenový systém (přestože na nadzemní část rostlin má spíše stimulační efekt), ale i mykorhizní symbiózu. Brunner, Scheidegger (1994) ve svých pokusech pozorovali inhibiční vliv vysokých koncentrací dusíku na rozvoj Hartigovy sítě, ačkoliv docházelo k pronikání houbových hyf do mezibuněčných prostorů.

V dlouhodobě acidifikovaných lesních půdách dochází k rozpouštění hliníku, který se v půdním prostředí obecně vyskytuje v nerozpustné formě a k vyplavování

bazických látek (zejména kationty Ca, K, Mg ad.). Současným intenzivním hospodařením v lesích, kdy je často veškerá lesní biomasa, včetně potěžeblní, zpracovávána a odvážena k energetickému využití, navíc dochází k dalšímu odnosu živin z lesních ekosystémů. Nepříznivou situaci lesních půd dokazují i poslední půdní průzkumy Novotného a kol. (2014) či Šrámka a kol. (2013), (2014) a je tedy na místě uvažovat o chemické melioraci lesních půd. Na druhou stranu však nelze k chemické melioraci přistupovat paušálně a její aplikace by měla vycházet ze znalosti místních podmínek, poněvadž vysoká koncentrace živin může na porosty rovněž působit negativně. Co se týče dopadu na tvorbu mykorhiz, výzkumy realizované Mauerem, Mauerovou (2007) poukázaly na negativní dopad vysoké koncentrace živin na vývin EKM. Výzkum Šrámka a kol. (2013) byl realizován v rámci evropského projektu Biosoil v letech 2005-2008 na 146 lokalitách v ČR a naznačuje dominanci silně kyselých půd v ČR a špatné zásobení lesních půd bazickými prvky. Přestože je síť výzkumných ploch v rámci projektu Biosoil velmi hrubá a pro oblast Libavé lze dovozovat výsledky pouze ze dvou výzkumných lokalit (lokalita č. 1948 – Libavá, lokalita č. 1951 – Odry), je možné výsledky projektu Biosoil použít jako vodítko o stavu půd na Libavé. Pro oblast Libavé projekt Biosoil naznačuje silnou kyselost povrchových horizontů (pH (H₂O) 3,5–4,5). Přitom již zmiňovaný průzkum prováděný Mauerem, Mauerovou (2007) naznačuje kritickou hranici acidity pro mykorhizu na úrovni (pH (H₂O) 3,0). Je tedy třeba věnovat této otázce vyšší pozornost, poněvadž se současná acidita povrchových horizontů na Libavé spodní kritické hranici blíží. Výzkum Biosoil rovněž poukázal na skutečnost, že se významný nedostatek bazických prvků nevyhýbá ani edafické kategorii B – bohatá, do které spadají i některé výzkumné lokality. Za nejzávažnější závěrečná zpráva projektu Biosoil označuje nedostatek vápníku v půdách v ČR, který je důležitým stavebním prvkem buněčné stěny a je důležitý pro přístupnost některých dalších bazických prvků a fosforu z půdy. Nižší množství vápníku v půdě zpráva naznačuje i pro oblast Libavé. Dle zprávy byl zjištěn ve výše uvedených lokalitách posuzovaných v rámci projektu Biosoil nízký (lokalita 1948 – Libavá: 140–350 mg. kg⁻¹ ve svrchních 40 cm půdy) až kriticky nízký (lokalita 1951 – Odry: nižší než 50 mg. kg⁻¹ ve svrchních 40 cm půdy) nedostatek vápníku. Nedostatek vápníku se obvykle projevuje zpomalením růstu či deformacemi, na rozdíl od hořčíku (součást chlorofylu) a draslíku (řídí vodní provoz rostlin), které se projevují žloutnutím či defoliací jedince. Podle závěrečné zprávy Biosoil asimilační orgány

naznačují spíše deficit hořčíku než deficit draslíku, jehož obsahy v asimilačních orgánech zpráva označuje za „spíše dobré“. Pro oblast Libavé nicméně zpráva uvádí nízký (lokalita 1948 – Libavá: 30–50 mg. kg⁻¹ ve svrchních 40 cm půdy) až velmi nízký nedostatek draslíku (lokalita 1951 – Odry: 15–30 mg. kg⁻¹ ve svrchních 40 cm půdy). Co se týče hořčíku, za příčinu nedostatku hořčíku je obecně považován nedostatek hořčíku v matečné hornině, vyčerpání z půdního prostředí (odvoz veškeré biomasy), eroze či vyplavování hořčíku v důsledku acidity půd. Jedná se nicméně o složitý proces a metody dodání hořčíku např. formou hořečnatých hnojiv jsou stále předmětem vědeckého zkoumání. Pro oblast Libavé zpráva uvádí nízký (lokalita 1948 – Libavá: 20–40 mg. kg⁻¹ ve svrchních 40 cm půdy) až kriticky nízký nedostatek hořčíku (lokalita 1951 – Odry: < 10 mg. kg⁻¹ ve svrchních 40 cm půdy). V ČR proběhl pokus realizovaný Semelovou, Vackem (2010) na Šumavě, kde použití hořečnatého hnojiva (SILVAMIX) vykazovalo pozitivní efekt. Pokusy Mauera, Palátové (2004d) prokázaly pozitivní vliv meliorace hořečnatými hnojivy na růst jemných kořenů SM, poukázaly však také na rozdílné vertikální rozložení zvýšení obsahu hořčíku a s tím i související rozdílnou distribuci jemných kořenů v půdním profilu v závislosti na použitém hořečnatém hnojivu. Dolomitický vápenec, který tvoří uhličitan $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (uhličitan hořečnatovápenatý) a který byl použit na výzkumných plochách, se rozpouští pomaleji než např. soli hořčíku (přípravek Kieserit – MgSO_4) či směs kysličníku a hydroxidu hořčíku (hydromagnezit – $\text{MgO} / \text{Mg}(\text{OH})_2$). Na rozdíl od těchto hnojiv, dolomitický vápenec v pokusech neovlivnil chemismus minerálního horizontu, ale omezil se pouze na obohacení humusového horizontu, resp. až po 4 letech na obohacení i humusem obohaceného horizontu. Pokud jde o poměr uhlíku a vodíku v humusové vrstvě, zpráva Biosoil pro oblast Libavé uvádí hodnoty: lokalita 1948 – Libavá: < 18 mg. kg⁻¹ a lokalita 1951 – Odry: 22–25 mg. kg⁻¹, což podle Šrámka a kol. (2014) naznačuje výskyt příznivějších humusových typů (mull, moder), na druhou stranu však také naznačuje nasycení ekosystému dusíkem a tedy riziko vyplavování nitrátů.

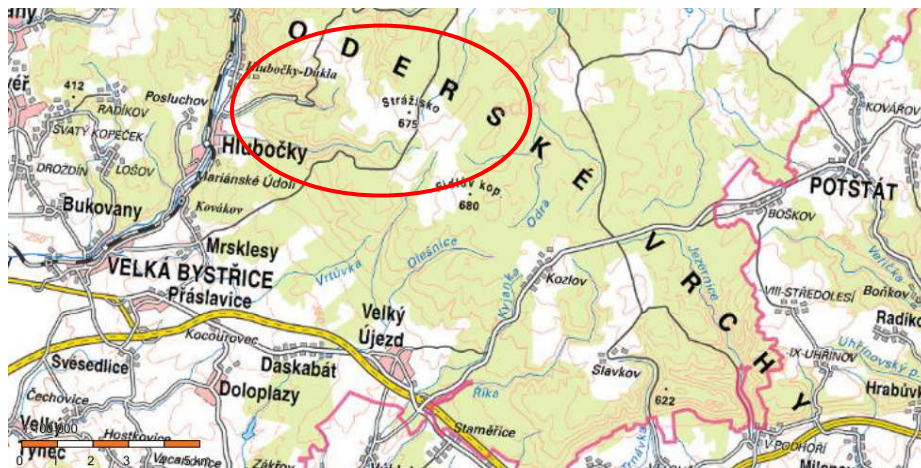
Mejstřík (1988) zmiňuje vyšší příjem fosforu kořeny kolonizovanými EKM houbami a rovněž skutečnost, že jsou tyto kořeny schopny fosfor rychleji přijímat z roztoků o nižších koncentracích, které jsou běžné pro půdní prostředí. Autor dále v této souvislosti zmiňuje, že je schopnost přijímat fosfor ovlivněna druhem symbionta, bližší podrobnosti však k této skutečnosti neuvádí.

4. METODY A POUŽITÝ MATERIÁL

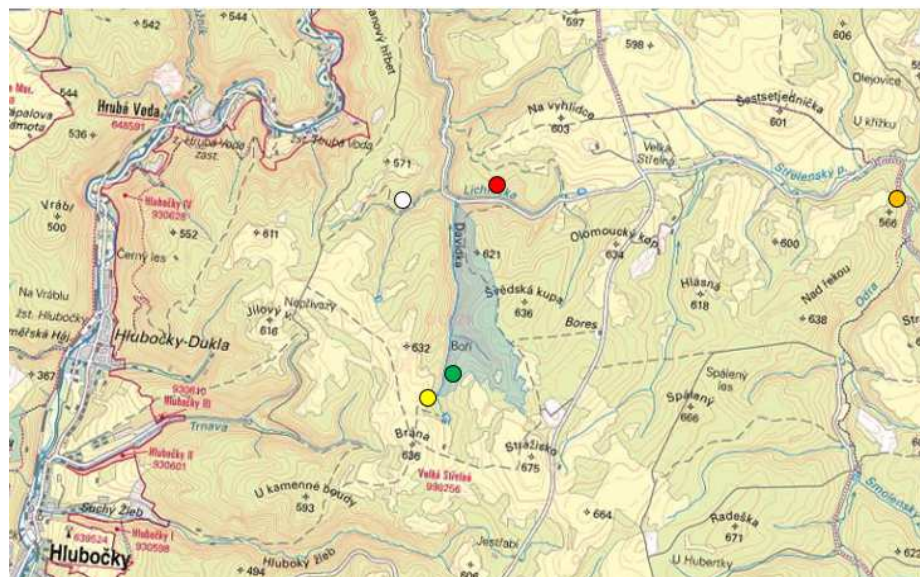
4.1. LOKALITA

4.1.1. Základní specifikace a administrativně-správní zařazení lokalit

Výzkumné plochy se nachází na Libavě, vojenském výcvikovém prostoru nacházejícím se přibližně 20 km severovýchodním směrem od města Olomouc, v lesní správě Hlubočky, lokalizace zájmové oblasti viz Obr. 2, lokalizace výzkumných ploch viz Obr. 3.



Obr. 2 Lokalizace oblasti, M: 1:100 000



Obr. 3 Lokalizace výzkumných ploch, M: 1:50 000. ● výzkumná plocha č. 1, odd. 766 A, PS 1b; ● výzkumná plocha č. 2, odd. 893 A, PS 1a; ● výzkumná plocha č. 3, odd. 894 C, PS 1; ● výzkumná plocha č. 4, odd. 906 A, PS 1a; ○ výzkumná plocha č. 5, odd. 907 A, PS 1a.

4.1.2. Širší územní vztahy a přírodní poměry

4.1.3. Geomorfologické poměry

Lokalita spadá do následujících geomorfologických jednotek (zdroj: <http://mapy.nature.cz/>):

Systém: Hercynský

Provincie: Česká vysočina

Subprovincie: IV Krkonošsko-jesenická soustava

Podsoustava: IVC Jesenická podsoustava

Celek: IVC-8 Nízký Jeseník

Podcelek: IVC-8G Oderské vrchy

Okrsek: IVC-8G-a Kozlovská vrchovina

Oderské vrchy se nachází na jižním okraji Nízkého Jeseníku, jsou členitou vrchovinou o rozloze 174 km² se střední výškou 545,8 m n. m. Náhorní plošina Oderských vrchů je rovinatého charakteru, která se na jihovýchodním okraji strmě láme do Moravské brány a na jihozápadě svažuje k níže položené Tršické pahorkatině. Oderské vrchy jsou budované spodnokarbonskými břidlicemi a drobami. Nejvyšším vrcholem Libavé je Fidlův kopec (680 m n. m.), nejvyšším vrcholem v okolí zájmové lokality (přibližně 2 km jižním směrem) je podle Šťastné (2007) vrchol Strážisko (675 m n. m.).

4.1.4. Biogeografický region

Z hlediska biogeografického členění, spadá zájmová lokalita do následujících kategorií (zdroj: <http://mapy.nature.cz/>):

Provincie: Středoevropských listnatých lesů

Podprovincie: Hercynská

Biogeografický region: 1.54. Nízkojesenický

4.1.5. Geologické poměry

Podle Šmídové (2015) a podkladů Vojenského Újezdu Libavé náleží zájmové území z regionálně geologického hlediska k soustavě Český masiv, oblasti Moravskoslezské, regionu moravskoslezské paleozoikum, jednotky jesenického kulmu. Geologické podloží celé oblasti tvoří sedimenty stáří spodního karbonu (svrchní visé).

Východní část Libavé (směrem na východ od linie Potštát – Dolní Životice) tvoří hradecko-kyjovické souvrství. Ve zbývající části Libavé, kde se nachází i zájmová lokalita, se rozkládá Moravické souvrství, ve kterém se střídají jílovité a prachové břidlice, prachovce a jemnozrnné droby.

4.1.6. Pedologické poměry

V zájmové lokalitě převládají kyselé kambizemě, s výjimkou výzkumné lokality č. 3, viz přehled výzkumných lokalit v Tab. 1, ve které převládá kambizem dystrická (zdroj: geoportal.gov.cz). Dle příslušného LHP jsou půdy na náhorní plošině obecně provzdušnělé a chudší na živiny. Co se týče trofnosti půd, v zájmové lokalitě dominuje ekologická řada živná (100 %). Z edafických kategorií se jedná o kategorii S – svěží (47 %), F – svahová (37 %) a kategorii B – normální (16 %). Z hlediska lesnické typologie se v zájmové lokalitě vyskytují 3 lesní typy: svěží bučina šřavelová 4S1, bohatá bučina mařinková 4B1 a svahová jedlová bučina kapradinová 5F1.

4.1.7. Hydrologické poměry

Významnou skutečností je, že přibližně 5 km jihovýchodním směrem od zájmové lokality pramení řeka Odra (vodní tok I. řádu, hydrologické pořadí 2 – Odra), která dále odtéká jihovýchodním směrem. Po přibližně 55 km se tok Odry láme pravouhle vstupem od Moravské Brány, která dále odtéká severovýchodně směrem k Ostravské oblasti a do Polska. Zde se následně vlévá do Baltského moře. Celé zájmové území se tak nachází v povodí řeky Odry. Nejbližší stanicí je stanice Odry (číslo hydrologického pořadí dle ČHMÚ: 2-01-01-0440, staničení: 81,98 km; plocha povodí: 411,36 km²; průměrný roční stav: 93 cm, průměrný roční průtok: 3,58 m³ · s⁻¹). Pro úplnost je třeba uvést, že západní část Libavé, přibližně od linie Mrsklesy – město Libavá, spadá do povodí řeky Bystřice a pomoří Černého moře.

V těsné blízkosti výzkumných ploch č. 2 a č. 3 protéká potok Davídka, který se následně přes potok Lichnička vlévá do řeky Bystřice. Potok Lichnička pak protéká v bezprostřední blízkosti ploch č. 4 a č. 5. Nedaleko výzkumné plochy č. 1 protéká Střelenský potok, který se následně vlévá do řeky Odry nacházející se přibližně 150 m východním směrem od výzkumné plochy č. 1.

Tab. 1 Charakteristika výzkumných ploch v Lesní správa Hlubočky. Zdroj: VLS Lipník, Lesní správa Hlubočky; MapoMap, <http://mapy.nature.cz/>; Státní správa zeměměřičství a katastru, <http://nahlizenidokn.cuzk.cz/>; Quitt (1971).

Poř. číslo	Plocha výzkumné plochy	Porost	K.ú. Velká Střelná - parc. č.	Datum zalesnění	Nadmořská výška	Lesní typ	CHS	Terénní typ	Terénní skupina	Svah	Klim. oblast	Pot. přír. vegetace
-	ha	-	-	-	m n. m.	-	-	-	-	-	-	-
1	0,20	766 A PS 1b LÚ Bores	111/1	jaro 2012	540	4B1	45	13	A	SV expozice 5°–15°	CH6	kostravová bučina
2	0,25	893 A PS 1a LÚ Jasanový hřeben	270	jaro 2012	580	4S1	45	13	A	V expozice 15°–35°	CH6	biková bučina, kostravová bučina
3	0,45	894 C PS 1 LÚ Jasanový hřeben	239	jaro 2013	580	5F1	51	13	A	Z expozice 15°–35°	CH6	biková bučina, kostravová bučina
4	0,16	906 a PS 1a LÚ Bores	49/11	jaro 2013	500	4S1	45	12	A	J expozice 5°–15°	MT7	biková bučina, kostravová bučina
5	0,16	907 A PS 1a LÚ Jasanový hřeben	55	jaro 2012	510	4S1	45	13	A	J expozice 5°–15°	MT7	biková bučina, kostravová bučina

4.1.8. Klimatické poměry

Podle Quitta (1971) zájmová lokalita spadá do dvou klimatických oblastí. CH 6 se vyznačuje velmi krátkým až krátkým, mírně chladným, vlhkým až velmi vlhkým létem. Zima je velmi dlouhá, mírně chladná, vlhká s dlouhým trváním sněhové pokrývky. Přechodné období je dlouhé, jaro je chladné, podzim mírně chladný. MT 7 se vyznačuje normálně dlouhým, mírným a mírně suchým létem. Zima je normálně dlouhá, mírná až mírně chladná, suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Přechodné období je normálně dlouhé s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem. Dle příslušného LHP činí průměrná délka vegetační doby 135–150 dní. Nebezpečné větry převládají ze SZ, Z a JZ. Průměrná roční teplota činí na náhorní plošině 6 °C. Průměrný roční srážkový úhrn v období 2005–2014 činí dle podkladů Kašpara (2015) pro lokalitu Kozlov, kde se nachází stanice Českého hydrometeorologického úřadu (dále jen „ČHMÚ“) situovaná nejbližze zájmové lokalitě, 705,18 mm. Vzhledem k tomu, že neexistuje delší časová řada z Meteorologické stanice Kozlov, lze získat základní orientaci o srážkách na Libavě i ze statistických dat pro Olomoucký kraj evidovaných ČHMÚ (2016), dle kterých dlouhodobý srážkový normál 1961–1990 pro Olomoucký kraj činí 732 mm.

Tab. 2: Klimatické charakteristiky teplotní oblasti CH 6 a MT 7 dle Quitta (1971).

Klimatická oblast	CH 6	MT 7
Výzkumné plochy	1, 2, 3	4, 5
Počet letních dnů	10–30	30–40
Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	120–140	140–160
Počet mrazových dnů	140–160	110–130
Počet ledových dnů	60–70	40–50
Průměrná teplota v lednu [°C]	(-4)–(-5)	(-2)–(-3)
Průměrná teplota v červenci [°C]	14–15	16–17
Průměrná teplota v dubnu [°C]	2–4	6–7
Průměrná teplota v říjnu [°C]	5–6	7–8
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	140–160	100–120
Srážkový úhrn ve vegetačním období	600–700	400–450
Srážkový úhrn v zimním období	400–500	250–300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	120–140	60–80
Počet dnů zamračených	150–160	120–150
Počet dnů jasných	40–50	40–50

4.1.9. Přírodní lesní oblast a vegetační poměry

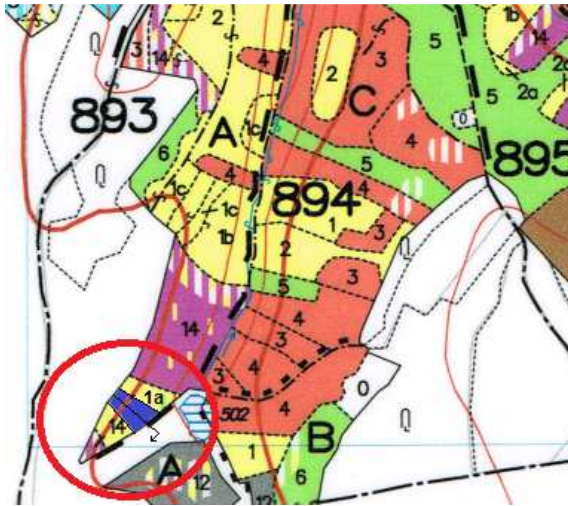
Zájmové území se nachází v přírodní lesní oblasti (dále jen „PLO“) 29 – Nízký Jeseník a spadá do 4. bukového (výzkumné plochy č. 1, č. 4 a č. 5) příp. 5. jedlobukového LVS (výzkumné plochy č. 2 a č. 3). Hlavními dřevinami 4. LVS jsou BK, dále v závislosti na vlhkostních podmínkách se uplatňuje BO a SM. Co se týče 5. LVS, převažují zejména BK a JD s příměsí SM, který v oblastech s dostatečnými srážkami může být i hlavní dřevinou. Vzhledem k tomu, že byl v minulosti prostor Libavé obdobně, jako řada jiných oblastí v ČR uměle zalesňován porosty SM, je v zájmové oblasti zastoupení SM poměrně vysoké.

4.1.10. Popis porostů

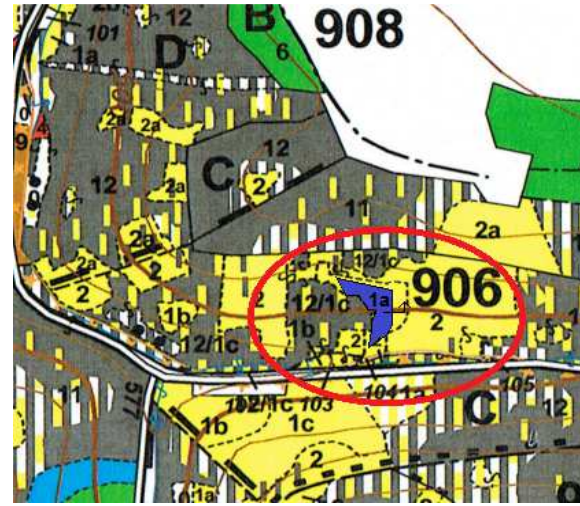
Počet ploch, jejich rozloha, datum zalesnění a základní specifikace porostních skupin, ve kterých se nachází analyzované výzkumné plochy, jsou uvedeny v přehledu v Tab. 1. Údaje o jednotlivých plochách byly získány z LHC příp. od lesní správy Hlubočky. U každé z výzkumných ploch byla při zalesňování holina rozdělena na dvě části stejné rozlohy. Jedna část holiny - zkušební plocha - byla zalesněna s využitím přípravků na podporu umělé mykorhizace a na zvýšení obsahu vápníku v půdním prostředí, druhá část holiny - kontrolní plocha - byla zalesněna bez použití těchto přípravků. Část plochy, na kterou byly aplikovány výše uvedené přípravky, se nachází ve směru šipky, která je v porostní mapě u každé z výzkumných ploch vyznačena. Výzkumné plochy jsou pro názornost v porostních mapách na Obr. 4–7 a Obr. 9 vyznačeny modrou barvou.

4.1.10.1. Výzkumné plochy č. 2, 4, 5

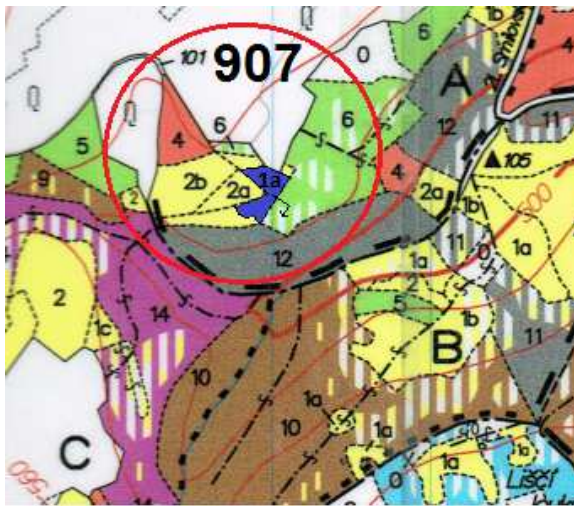
Pro účely diplomové práce byly s ohledem na značný výskyt deformací kořenového systému spojeného s potřebou velkého množství vzorků zvoleny dvě plochy, a to výzkumná plocha č. 1 (766 A, PS 1b) a výzkumná plocha č. 3 (894 C, PS 1). Vliv preparátů na výzkumných plochách č. 2, 4 a 5 tedy není v rámci diplomové práce hodnocen a plochy již nebudou dále v práci analyzovány. Pro úplnost je však na Obr. 4, 5 a 6 nastíněna jejich lokalizace.



Obr. 4 Lokalizace výzkumné plochy č. 2



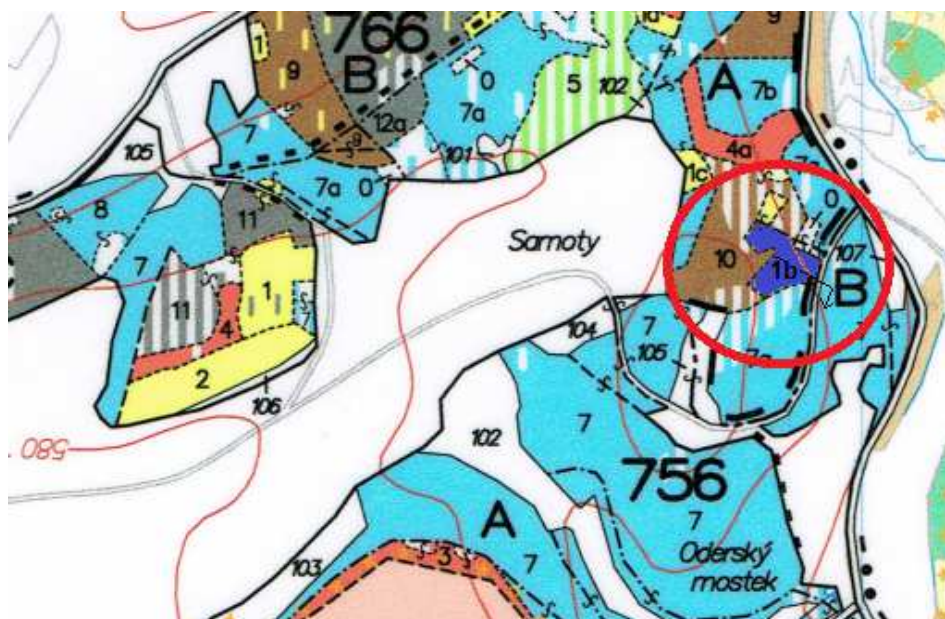
Obr. 5 Lokalizace výzkumné plochy č. 4



Obr. 6 Lokalizace výzkumné plochy č. 5

4.1.10.2. Výzkumná plocha č. 1

Na Obr. 7 je nastíněna lokalizace výzkumné plochy č. 1, 766 A, PS 1b a na Obr. 8 je fotografie, která demonstruje stav zalesněné plochy v červenci 2016. Současná holina vznikla několikaletým postupným odtěžováním napadených a odumírajících stromů. Na výzkumnou plochu, která byla zalesněna v roce 2013, tak navazují další plochy, které jsou postupně zalesňovány. V horní části holiny se nachází bukové zmlazení, které zasahuje i do výzkumné plochy. V kontrolní části holiny se dále nachází výstavek JD. Terén výzkumné plochy se svažuje k SV směrem k řece Odře. Půda je značného skeletovitého charakteru. Znamky poškození zvěří na ploše dosahují významného stupně, viz kapitola 5.1.



Obr. 7 Lokalizace výzkumné plochy č. 1

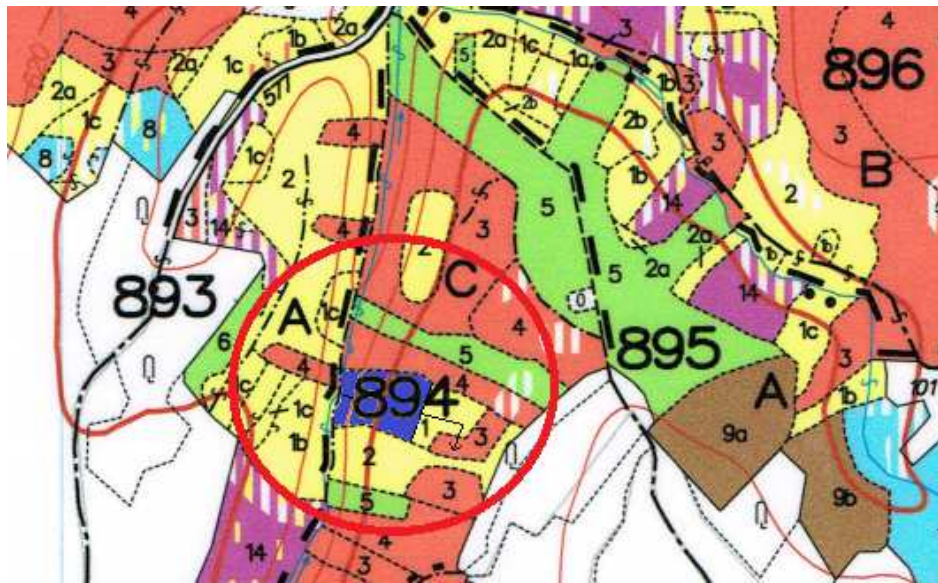


Obr. 8 Výzkumná plocha č. 1

4.1.10.3. Výzkumná plocha č. 3

Na Obr. 9 je nastíněna lokalizace výzkumné plochy č. 3, 894 C, PS 1 a na Obr. 10 je fotografie, která demonstruje stav zalesněné plochy v červenci 2016. Holina byla zalesněna na jaře 2013. Terén paseky se svažuje západním směrem. Ve spodní části holiny protéká potok Davidka. Půda je, obdobně jako u výzkumné plochy č. 1, značně skeletovitého charakteru, viz Obr. 11. Holina je obklopena bukovými mlaziny

a i mezi SM výsadbou se nachází značné množství semenáčků BK. Znamky poškození zvěří na ploše dosahují významného stupně, viz kapitola 5.1.



Obr. 9 Lokalizace výzkumné plochy č. 3



Obr. 10 Výzkumná plocha č. 3



Obr. 11 Výzkumná plocha č. 3 – skeletovitá půda.

4.1.11. Sadba a zajištění kultur na výzkumných lokalitách

Šetření probíhalo na 2 výzkumných lokalitách. Výzkumná plocha č. 1 byla zalesněna na jaře 2012, výzkumná plocha č. 3 na jaře 2013. Při výsadbě byl použit prostokořenný sadební materiál (1 + 2) z lesní školky Osina Krumsín (svahy Dražanské vrchoviny, 390 m n. m.). Na výzkumných lokalitách byla výsadba provedena formou celoplošné výsadby SM s řadovým sponem (2 x 1,2) m, 2 m – vzdálenost řad, jednalo se o ruční jamkovou výsadbu. Na lokalitách byla do doby zajištění každoročně prováděna ochrana kultur proti bušení formou postřiku přípravkem Roundup. Každoročně bylo rovněž prováděno ošetření sazenic kurativním postřikem proti klikorohu borovému *Hylobius Abietis* (Linnaeus). Co se týče škod zvířít, u kultur bylo každoročně prováděno ošetření proti zvířít repelentním přípravkem Morsuvin.

Na zkušebních plochách byl sadební materiál bezprostředně před sadbou namáčen do směsi preparátu Ectovit připravené v souladu s principy uvedenými v kapitole 5.1. Přirozeně, jako při každé lidské činnosti, nelze vyloučit lidský faktor (nedůsledné obalení kořenového systému sazenice přípravkem, zkrácení technologické 10minutové lhůty potřebné pro zgelovatění přípravku, vynechání aplikace hnojiva atd.). Při výsadbě bylo přidáváno hnojivo Vápnitý dolomit.

4.2. PREPARÁTY

4.2.1. Ektomykorhizní preparát Ectovit

Na výzkumných plochách byl aplikován EKM přípravek Ectovit vyráběný společností Symbiom s. r. o., která má na trhu mykorhizních preparátů zřejmě největší podíl. Aktivní složka preparátu Ectovit dle technického listu přípravku obsahuje následujících 6 druhů EKM hub – mycelium čtyř hub je vázáno na agarové médium (*Paxillus involutus*, *Hebeloma crustuliniforme*, *Amanita rubescens*, *Amanita muscaria*) a spory dvou hub (*Pisolithus arrhizus*, *Scleroderma citrinum*), které jsou součástí inertní suché rašelino-perlitové směsi s přidávkem látek podporujících rozvoj symbiózy (výtažky z mořských organismů, přírodní minerály atd.). Obě složky jsou v granulované formě, které jsou před aplikací smíchány a rozpuštěny ve vodě do formy gelové směsi. Na 1 objemový díl gelové složky A připadají 2 objemové díly suché složky B a 11 objemových dílů vody. Po smíchání je třeba směs před aplikací přibližně 10 min ponechat gelovatět. Pro správné fungování přípravku je třeba kořenový systém sadebního materiálu důsledně celý namočit do gelové směsi, tak aby došlo k obalení celého kořenového systému gelovou směsí. Krom SM, lze přípravek aplikovat i na řadu dalších jehličnanů (BO, JD, MD, DG, jedlovec, cedr) a vybrané listnaté dřeviny (zejména čeledi *Betulaceae* a *Fagaceae* – BK, DB, BŘ, OL, VR, TP, LP atd.). Nevhodný je naopak pro okrasné jehličnany a většinu ovocných a okrasných stromů a keřů.

Cena 3 kg balení přípravku činí 2 002 Kč s DPH a vystačí v závislosti na velikosti kořenového balu na přibližně 1000 malých stromků.

4.2.2. Hnojivo Vápnitý dolomit

S ohledem na značnou kyselost půd na Libavé, viz také kapitola 3.2.2. a nízký obsah bazických látek v půdě, byl na výzkumných plochách dále aplikován Vápnitý dolomit (dolomitický vápenec). Jedná se o přírodní hnojivo s 55% obsahem Ca (CaCO_3), 35% obsahem Mg (MgCO_3) a obsahem stopových prvků. Hnojivo snižuje pH lesní půdy a dodává do půdy potřebné živiny.

Cena 5 kg balení přípravku činí 42 Kč s DPH, dávkování je odvislé od kyselosti půdy: 2–2,5 kg / 10 m² u kyselých půd a 1–1,4 kg / 10 m² u slabě kyselých půd. Přesná intenzita vápnění aplikovaná ve výzkumných lokalitách LS Hlubočky nám není známa.

4.3. METODY MĚŘENÍ

Měření bylo realizováno v průběhu měsíce června a července 2016, a to ve třech krocích. V rámci prvního kroku byl na každé ploše (zkušební i kontrolní) hodnocen vývoj nadzemní části, a to na reprezentativním vzorku 100 jedinců, tj. na každé výzkumné ploše bylo hodnoceno celkem 200 jedinců. Jedinci pro hodnocení byli voleni náhodným výběrem. Během měření byly zaznamenávány následující parametry:

- délka nadzemní části: vzdálenost mezi terminálním pupenem a kořenovým krčkem zaokrouhlená na celé centimetry;
- tloušťka kořenového krčku: tloušťka kmene měřená 1 cm nad zemí zaokrouhlená na celé milimetry. Měření bylo prováděno s pomocí posuvného měřítka.;
- barva asimilačního aparátu: barva jehlic posuzovaná subjektivně vizuálním způsobem. Pro účely diplomové práce se rozlišovaly následující kategorie barvy jehlic, kterým byly přiřazeny číselné kódy uvedené v závorce: zelená (1), světle žlutá (2) a žlutá (3).;
- výškové přírůsty v letech 2012–2016 (resp. 2013–2016): velikost přírůstů nadzemní části v jednotlivých letech zaokrouhlená na celé centimetry;
- délka jehlic: délka jehlic měřená uprostřed přírůstu daného roku na hlavní (nejdelší) větvi čtvrtého (výzkumná plocha č. 3) resp. pátého (výzkumná plocha č. 1) přeslenu od vrcholu jedince, zaokrouhlená na celé milimetry. U každého ročníku jehlic byly měřeny 3 jehlice. Měření bylo prováděno s pomocí posuvného měřítka.;
- poškození: z hlediska poškození se sledovaly následující kategorie poškození, kterým byly přiřazeny číselné kódy uvedené v závorce: poškození zvěří (1), poškození mrazem (2), poškození větrem (3), chybějící terminální pupen (4), výskyt vícečetného vrcholu (5), výskyt dvojáku (6), poškození klikorohem (7).

Další znaky týkající se nadzemní části, které byly sledovány:

- ztráty: procenticky vyjádřený počet jedinců, který od výsadby (jaro 2012 resp. jaro 2013) do doby měření (červen/červenec 2016) uhynul. Za uhynulý strom se pro účely diplomové práce považuje chybějící jedinec, jedinec bez jehlic příp. se silně nažloutlými jehlicemi, uschlý jedinec, jedinec bez živých pupenů. Ztráty byly stanoveny z celé plochy;
- případný výskyt poškození způsobeného dalšími biotickými či abiotickými faktory (kůrovci, poškození stromu těžební technikou či při činnostech souvisejících se zajištěním kultur atd.).

Pro účely studia vlivu preparátů na vývin kořenového systému bylo v rámci druhé fáze na obou výzkumných plochách č. 1 a č. 3 vyzvednuto 10 stromů, a to 5 jedinců ze zkušební části plochy a 5 jedinců z kontrolní části plochy, viz Obr. 12. Jedinci byli vybráni na základě náhodného výběru. Pro studium kořenového systému byla zvolena destruktivní metoda studia kořenového systému, kdy byl kořenový systém každého vzorku s pomocí malé motyky, hrábí a rýče, případně ručně, celý odkryt a vyzvednut z půdy. Kořenový systém byl opatrně dočištěn ve vodě od zbytků půdy, tak aby nedošlo k narušení struktury kořenů. Vzorky u výzkumné plochy č. 1 byly postupně vyzvedávány v období od 24. června – 1. července 2016. Vzorky u výzkumné plochy č. 3 byly vyzvedávány v období od 10.–16. července 2016. U všech vyzvednutých vzorků byly následně změřeny všechny výše uvedené parametry nadzemní části, které byly následně přiřazeny k výběrovým souborům 100 jedinců příslušné plochy.



Obr. 12 Strom vyzvednutý z výzkumné plochy č. 3 (kontrolní část).

Kořenový systém stromů vyzvednutých z výzkumné plochy č. 1 byl podroben pouze omezenému hodnocení, poněvadž přirozená architektura kořenového systému

všech vyzvednutých vzorků byla narušena závažnou deformací – strboulem, který vzniká vzájemným proplétáním kořenů, viz Obr. 13. Jejich následným tloustnutím dochází k zaškrcování a případně i k narušení výživy stromu. S ohledem na stoprocentní výskyt deformace kořenového systému u stromů vyzvednutých z výzkumné plochy č. 1 a tedy pravděpodobnou vysokou potřebu stromů, které by bylo třeba z plochy vyzvednout pro získání vzorků bez deformace kořenového systému, bylo rozhodnuto, že kořenový systém na výzkumné ploše č. 1 bude dále hodnocen pouze z hlediska hmotnosti sušiny hrubých a jemných kořenů, viz níže, s cílem získat alespoň orientační informaci o případném dopadu preparátů na vývin kořenů. Jemné kořeny již dále nebyly analyzovány z důvodu pravděpodobného vlivu existence strboulu na index větvení a specifickou délku jemných kořenů.



Obr. 13 Výzkumná plocha č. 1 – strboul.

Níže uvedené parametry byly tedy hodnoceny pouze u stromů vyzvednutých z výzkumné plochy č. 3:

- typ kořenového systému, který se pro účely diplomové práce rozlišoval na: povrchový (1), kúlový (2), všestranně rozvinutý (3) a panohovitý (4);
- hloubka prokořenění: průměrná vertikální vzdálenost od půdního povrchu po špiče vertikálních kořenů, zaokrouhlená na celé cm.;
- počet, tloušťka a délka horizontálních kořenů, tj. kořenů, které rostou v horizontálním směru případně v šikmém směru s odklonem do 45°. Délka horizontálních kořenů byla měřena ve vzdálenosti 1 cm od kmene.;
- počet, tloušťka a délka vertikálních kořenů, tj. kořenů, které rostou směrem dolů případně v šikmém směru s odklonem větším než 45°. Délka vertikálních kořenů byla měřena ve vzdálenosti 1 cm od kmene.;
- počet jemných (nekosterních) kořenů s tloušťkou menší než 2 mm;
- případný výskyt deformací, hnilob či jiného typu poškození.

V rámci třetí fáze bylo z koncových částí jemných kořenů každého stromu vyzvednutého z výzkumné plochy č. 3 odebráno 5 segmentů délky přibližně 5 cm, viz Obr. 14. Pro analýzu byly voleny vzorky s průměrným výskytem postranních jemných kořenů, tak aby co nejlépe reprezentovaly hustotu postranních kořínků na koncových částech jemných kořenů v celém kořenovém systému. Koncové segmenty k další analýze byly voleny subjektivně na základě vizuálního hodnocení.



Obr. 14 Koncový segment jemného kořene určený k dalšímu měření.

Následně byla změřena přesná délka koncového segmentu zaokrouhlená na mm a s pomocí binokulárního stereomikroskopu PZO MST 127 určen počet kořenových špiček a změřena délka všech jemných kořenů koncového segmentu v mm. Odebrané segmenty byly následně rozprostřeny k proschnutí a uloženy do papírových sáčků k pozdějšímu určení hmotnosti sušiny. Sáčky byly řádně označeny, tak aby bylo možné v pozdějších fázích identifikovat vzorek a plochu, ze které vzorek pochází. Zjištěné údaje byly použity pro výpočet následujících relativních charakteristik:

- 1) indexu větvení jemných kořenů, který vyjadřuje počet kořenových špiček vyskytujících se na jednotkové délce jemného kořene. Jedná se o podíl zjištěného počtu kořenových špiček a délky koncového segmentu.
- 2) specifické délky jemných kořenů, která vyjadřuje „velikost povrchu schopného absorbovat živiny“ na jednotkové délce jemného kořene. Jedná se o podíl zjištěné celkové délky jemných kořenů a hmotnosti sušiny koncového segmentu. Vyšší specifická délka naznačuje větší rozvětvení jemných kořenů, tedy i vyšší plochu povrchu dané hmotnosti kořenů a větší potenciál absorpce živin. Podle Mauera a kol. (2013) se však s věkem a půdními podmínkami mění.

$$D = \frac{d}{m}$$

kde:

- D specifická délka jemných kořenů [m/g];
d celková délka všech jemných kořenů [m];
m hmotnost sušiny [g].

Závěrem byly u stromů vyzvednutých z obou výzkumných ploch odebrány hrubé a jemné kořeny, viz Obr. 15, které byly obdobně, jako koncové kořenové segmenty, rozprostřeny k proschnutí a uloženy do papírových sáčků k pozdějšímu určení hmotnosti sušiny. Sáčky byly řádně označeny, tak aby bylo možné v pozdějších fázích identifikovat vzorek a plochu, ze které vzorek pochází.



Obr. 15 Hrubé a jemné kořeny odebrané z 1 stromu určené k vážení sušiny.

4.4. ZPRACOVÁNÍ DAT

Naměřené údaje byly následně hodnoceny v rámci matematicko-statistických metod. Pro spojité veličiny (délka nadzemní části, tloušťka kořenového krčku, délky jehlic a přírůsty v jednotlivých letech atd.) byla s pomocí programu Excel stanovena střední hodnota (aritmetický průměr) \bar{x} a směrodatná odchylka s . Příslušné minimální a maximální hodnoty a kvantily $u_{0,25}, u_{0,5}$ (tj. medián) a $u_{0,75}$ byly vizualizovány pomocí krabicového grafu (tzv. *boxplotu*), k čemuž byl použit software Statistica společnosti StatSoft, Inc., verze 12. U diskrétních veličin (barva jehlic, poškození atd.) byla zkoumána četnost výskytu daného parametru ve výběrovém souboru (např. počet výskytu poškození zvěří ve výběrovém souboru 105 stromů), zapsána do četnostních tabulek a použita pro procentuální vyjádření výskytu daného jevu. Zjištěné skutečnosti byly okomentovány.

Následně bylo provedeno hodnocení v programu Statistica. Hladina významnosti byla pro všechny testy zvolena 5 % ($\alpha = 0,05$). V prvním kroku bylo pomocí Shapiro-Wilkova testu provedeno hodnocení normality, na jehož základě lze rozhodnout, zda lze pro testování vlivu preparátů na daný parametr (délka nadzemní části, délka jehlic atd.) zvolit parametrický případně neparametrický test.

Testové kritérium Shapiro-Wilkova testu se stanoví ze vztahu:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^N a_i x_{(i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

kde:

- x_i naměřená hodnota;
- \bar{x} průměr naměřených hodnot;
- a_i koeficienty pro Shapiro-Wilkův test.

Výše uvedeným testovým kritériem se testuje nulová hypotéza „*data mají normální rozdělení*“. Alternativní hypotézou je „*data mají jiné rozdělení*“. Nulová hypotéza se zamítá, tj. data mají jiné rozdělení, jestliže je kritérium W menší než tabelovaná kritická hodnota $W_{1,\alpha}$.

V následujícím hodnocení byly testovány pravdivosti nulových hypotéz H_0 „*Přípravky nemají vliv na růst nadzemní části (tloušťku kořenového krčku, délku jehlic atd.)*“ a alternativních hypotéz H_A „*Přípravky mají vliv na růst nadzemní části (tloušťku kořenového krčku, délku jehlic atd.)*“. Vzhledem k tomu, že se jedná o testování rozdílu

mezi dvěma skupinami dat (zkušební a kontrolní skupina), byl pro další testování spojitých veličin, kde nebyla potvrzena normalita, použit neparametrický Mann-Whitneyův test. Pro ostatní spojitě veličiny s potvrzeným normálním rozdělením bylo navrženo použití parametrického dvouvýběrového (nepárového) t-testu. Nicméně, s ohledem na skutečnost, že výstupy Shapiro-Wilkova testu prokázaly u hodnocení nadzemní části splnění normality pouze u 3 parametrů, viz následující kapitola, byl z důvodu jednotného výsledku použit pro testování Mann-Whitneyův test. T-test byl u příslušných parametrů proveden pro kontrolu, avšak se stejným závěrem a z tohoto důvodu není t-test v této kapitole dále rozebírán. Mann-Whitneyův test byl rovněž použit pro hodnocení podzemní části z důvodu jednoty výsledku a malého rozsahu dat (5 stromů/plocha).

Jak se uvádí v předcházejícím odstavci, pro spojitě veličiny, u kterých nebylo potvrzeno normální rozdělení pravděpodobností daného parametru, není nám tedy známo jejich rozdělení a nelze je charakterizovat pomocí střední hodnoty a směrodatné odchylky, bylo navrženo použití neparametrického Mann-Whitneyova testu. Mann-Whitneyův test ověřuje shodnost parametrů ve dvou populacích (kontrolní a zkušební plocha) na základě dvou nezávislých výběrů (105 stromů měřených na každé ploše). V rámci testu se testuje nulová hypotéza „*oba výběrové soubory stromů pochází ze stejného rozdělení*“, jinými slovy mezi parametry naměřenými na kontrolní a zkušební ploše není rozdíl a vlivy preparátů na odrůstání kultur nejsou statisticky významné. Alternativní hypotézou je, že mezi stromy na jednotlivých plochách existuje rozdíl, a sice že parametry na jedné ploše mají tendenci dosahovat vyšších hodnot než na ploše druhé.

Testová kritéria Mann-Whitneyova testu se stanoví ze vztahu:

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \quad U' = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2$$

kde:

n_1, n_2 celkový rozsah měření ve výběrovém souboru z kontrolní a zkušební plochy ($n_1 = 105$ stromů, $n_2 = 105$ stromů);

R_1, R_2 suma pořadí měření na kontrolní, resp. zkušební ploše (Pozn. jedná se o test založený na pořadí, tj. hodnoty ze všech výběrových souborů je třeba sloučit, seřadit dle velikosti a přiřadit pořadí, následně je vypočítána suma pořadí pro kontrolní a pro zkušební plochu (R_1 resp. R_2)).

Menší z hodnot U a U' je použita jako testovací kritérium a porovnána s tabulkovou kritickou hodnotou Mann-Whitneyova testu pro příslušné n_1 a n_2 . Nulová hypotéza se zamítá, je-li menší z hodnot U a U' menší než kritická hodnota $U_{\text{krit.}}$, tj. mezi parametry naměřenými na kontrolní a zkušební ploše existuje statisticky významný rozdíl (na zvolené hladině významnosti 5 %) a projevil se vliv preparátů.

5. VÝSLEDKY

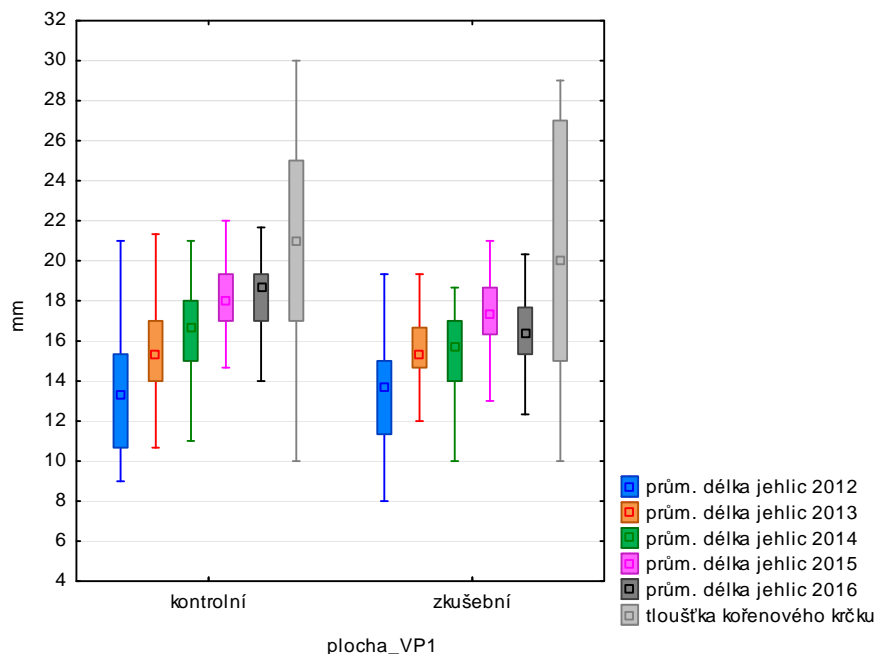
5.1. Vliv preparátů na odrůstání nadzemní části kultur

V Tab. 3 jsou uvedeny průměry a směrodatné odchylky měřených parametrů – výška nadzemní části, tloušťka kořenového krčku, přírůsty a délky jehlic v jednotlivých letech. Výstupy byly vypočteny z dat naměřených pro 105 stromů na každé ploše (kontrolní i zkušební ploše).

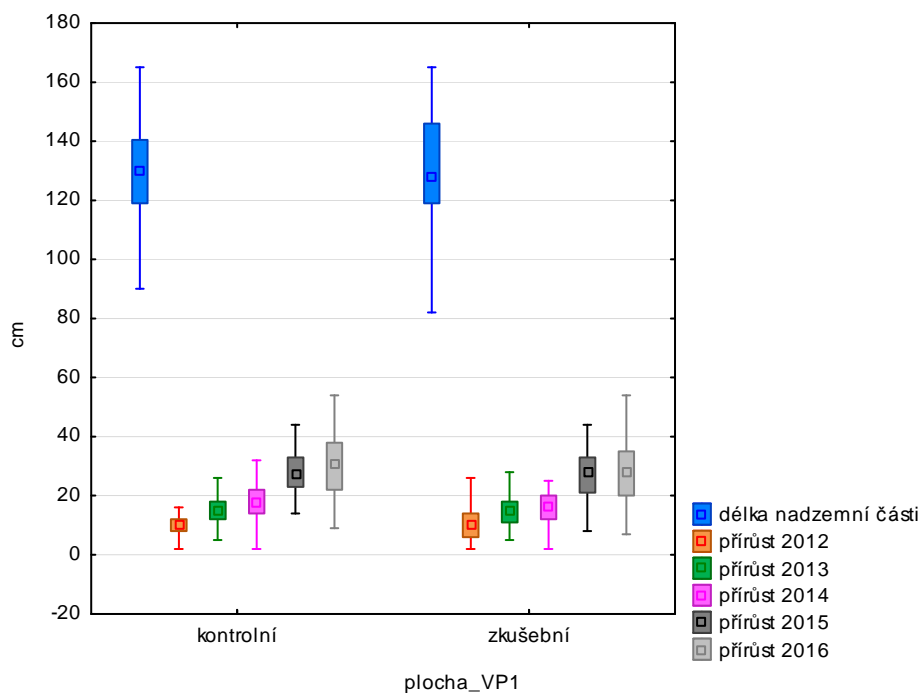
Tab. 3: Data (střední hodnoty \bar{x} a směrodatné odchylky s) týkající se nadzemní části naměřené pro výzkumnou plochu č. 1 a č. 3. Pozn. * hodnoty, u kterých existuje statisticky významný rozdíl na hladině 10 %; ** hodnoty, u kterých existuje statisticky významný rozdíl na hladině 5 %, viz text dále.

Výzkumná plocha		Výzkumná plocha č. 3		Výzkumná plocha č. 1	
Příslušná plocha bez/s aplikací		Kontrolní plocha	Zkušební plocha	Kontrolní plocha	Zkušební plocha
Měřený parametr	m.j.	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Výška nadzemní části	cm	132,8 ± 20,3	135,2 ± 16,6	130,5 ± 16,8	132,4 ± 17,7
Tloušťka kořenového krčku	mm	27,1 ± 8,2	28,0 ± 6,4	20,5 ± 5,2	20,7 ± 6,3
Přírůst nadzemní části	cm				
2012	cm	-	-	10,2 ± 3,8	10,0 ± 4,3
2013	cm	17,3 ± 6,0	16,1 ± 3,8	15,4 ± 5,6	15,3 ± 6,1
2014	cm	15,5 ± 3,9**	18,4 ± 4,7**	17,4 ± 6,7*	15,5 ± 6,0*
2015	cm	33,9 ±	36,5 ± 6,1**	27,5 ± 7,1	27,1 ± 8,4
2016	cm	42,5 ± 11,0	43,0 ± 11,2	29,9 ± 10,5*	27,1 ± 10,4*
Délka jehlic	mm				
2012	mm	-	-	13,3 ± 2,8	13,5 ± 2,7
2013	mm	13,0 ± 3,0**	11,7 ± 2,3**	15,4 ± 2,1	15,6 ± 1,8
2014	mm	15,0 ± 3,0	14,9 ± 2,9	16,3 ± 2,4**	15,4 ± 2,0**
2015	mm	16,3 ± 2,5	16,1 ± 2,9	18,3 ± 2,0**	17,5 ± 2,0**
2016	mm	16,4 ± 3,2	15,8 ± 3,2	18,1 ± 2,2**	16,5 ± 2,2**

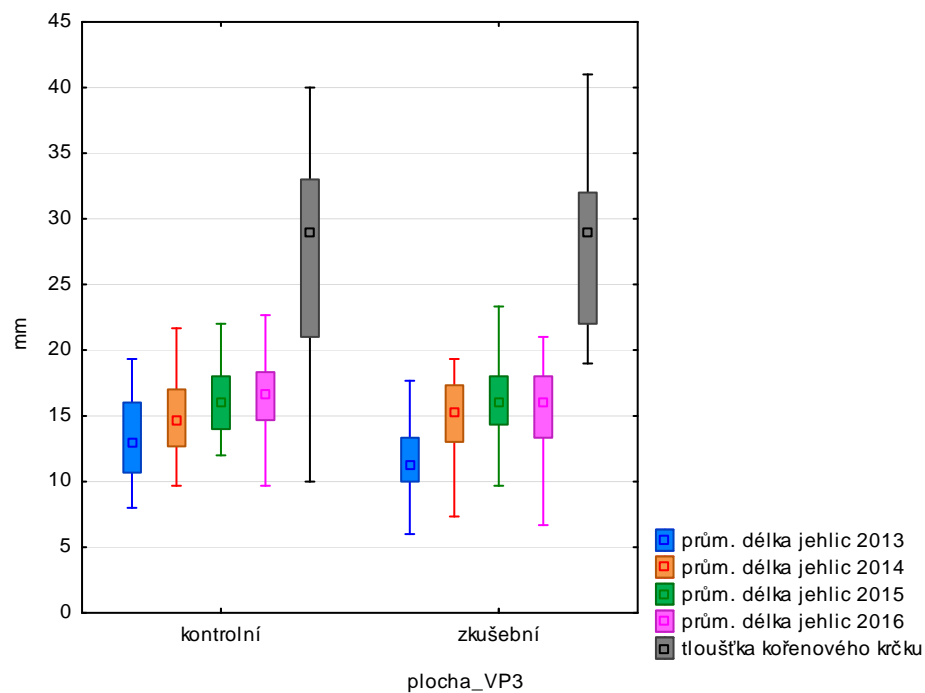
Příslušné kvantily ($u_{0,25}$; $u_{0,5}$; $u_{0,75}$) doplněné o extrémní hodnoty jsou pro jednotlivé parametry s ohledem na rozsah jednotek zaneseny do dvou krabicových grafů, a to pro výzkumnou plochu č. 1 na Obr. 16 a na Obr. 17 a pro výzkumnou plochu č. 3 na Obr. 18 a Obr. 19.



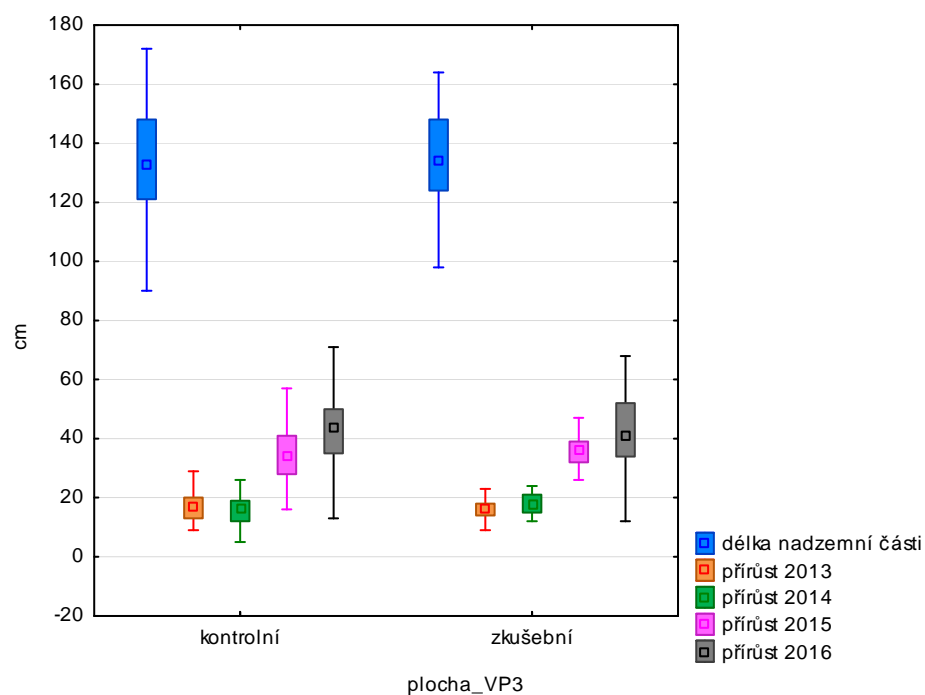
Obr. 16 Krabicový graf hodnot naměřených pro nadzemní část stromů z výzkumné plochy č. 1. V grafu jsou vizualizovány extrémní hodnoty a kvantily $u_{0,25}$; $u_{0,5}$; $u_{0,75}$.



Obr. 17 Krabicový graf hodnot naměřených pro nadzemní část stromů z výzkumné plochy č. 1. V grafu jsou vizualizovány extrémní hodnoty a kvantily $u_{0,25}$; $u_{0,5}$; $u_{0,75}$.



Obr. 18 Krabicový graf hodnot naměřených pro nadzemní část stromů z výzkumné plochy č. 3. V grafu jsou vizualizovány extrémní hodnoty a kvantily $u_{0,25}$; $u_{0,5}$; $u_{0,75}$.



Obr. 19 Krabicový graf hodnot naměřených pro nadzemní část stromů z výzkumné plochy č. 3. V grafu jsou vizualizovány extrémní hodnoty a kvantily $u_{0,25}$; $u_{0,5}$; $u_{0,75}$.

Pro každou výzkumnou plochu byl následně proveden Shapiro-Wilkův test s cílem ověřit normalitu dat, viz Tab. 5. Normalita dat se zamítá, je-li vypočtená hodnota testového kritéria W nižší než 0,05. Aby bylo možné použít parametrický test, musí být potvrzena normalita u obou výběrových souborů, tj. jak u stromů měřených na zkušební, tak u stromů měřených na kontrolní části plochy. Data, u kterých je potvrzena normalita, jsou v Tab. 4 podbarvena červeně. Vzhledem k tomu, že výsledky Shapiro-Wilkova testu ukázaly, že data splňují normalitu pouze u jedné výzkumné plochy, a to ve 3 parametrech, (výzkumná plocha č. 1 – přírůsty v letech 2015 a 2016, délka jehlic v roce 2013), bylo z důvodu jednotného výsledku použito pouze neparametrické testování.

Tab. 4: Ověření normality dat Shapiro-Wilkovým testem. Červeně podbarvené hodnoty splňují kritérium normality. Pozn. KP = kontrolní plocha, ZP = zkušební plocha.

Výzkumná plocha		Výzkumná plocha č. 3			Výzkumná plocha č. 1		
Příslušná plocha		KP	ZP	Normalita	KP	ZP	Normalita
Měřený parametr	m.j.						
Výška nadzemní části	cm	0,025	0,035	ne	0,135	0,001	ne
Tloušťka kořenového krčku	mm	0,001	0,000	ne	0,052	0,000	ne
Přírůst nadzemní části	cm						
2012	cm	-	-	-	0,001	0,001	ne
2013	cm	0,001	0,003	ne	0,004	0,000	ne
2014	cm	0,004	0,000	ne	0,285	0,001	ne
2015	cm	0,074	0,014	ne	0,153	0,054	ano
2016	cm	0,112	0,014	ne	0,150	0,359	ano
Délka jehlic	mm						
2012	mm	-	-	-	0,004	0,177	ne
2013	mm	0,003	0,281	ne	0,335	0,064	ano
2014	mm	0,009	0,009	ne	0,000	0,000	ne
2015	mm	0,008	0,008	ne	0,001	0,065	ne
2016	mm	0,016	0,003	ne	0,001	0,000	ne

Pro výše uvedené 3 parametry, u kterých byla potvrzena normalita, byl nicméně proveden i parametrický test. Výsledky ukázaly, viz Tab. 5, že přestože má t-test u zmiňovaných třech parametrů větší citlivost než Mann-Whitneyův test, závěry obou

testů jsou totožné. Jinými slovy, ve všech třech případech nebyl t-testem ani Mann-Whitneyovým testem na hladině významnosti 5 % potvrzen rozdíl v parametrech mezi kontrolní a zkušební plochou, poněvadž v žádném případě nedosahuje p-hodnota nižších hodnot než 0,05.

Tab. 5: Ověření výstupů parametrického a neparametrického testu pro 3 parametry, u kterých byla potvrzena normalita dat.

Výzkumná plocha		Výzkumná plocha č. 1	
Měřený parametr/test	m.j.	Parametrický t-test	Neparametrický Mann-Whitneyův test
Přírůst nadzemní části	cm		
2015	cm	0,700	0,930
2016	cm	0,052	0,050
Délka jehlic	mm		
2013	mm	0,550	0,400

Dále bylo provedeno testování rozdílů parametrů nadzemních částí mezi zkušební a kontrolní částí obou výzkumných ploch. Tab. 6 obsahuje výstupy Mann-Whitneyova testu pro výzkumnou plochu č. 1 a Tab. 7 obsahuje výstupy uvedeného testu pro výzkumnou plochu č. 3. Červeně podbarvené p-hodnoty označují parametry, u kterých existuje mezi kontrolní a zkušební částí plochy statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 5 %. U výzkumné plochy č. 1 stojí za povšimnutí i přírůsty v letech 2014 a 2016, u kterých p-hodnoty dosahují hodnot blízkých hladině významnosti 0,05 (uvedené hodnoty jsou v Tab. 6 podbarveny modrou barvou). Hodnoty parametrů, mezi kterými existují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 5 % resp. 10 %, jsou formou „*“ resp. „**“ vyznačeny i v Tab. 3.

Tab. 6: Výstupy hodnocení rozdílů mezi parametry na zkušební a kontrolní ploše výzkumné plochy č. 1 pomocí Mann-Whitneyova testu. Červeně podbarvené p-hodnoty označují parametry, u kterých je mezi kontrolní a zkušební částí plochy statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 5 %. Modře podbarvené p-hodnoty označují parametry, u kterých je statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 10 %.

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka v data_vyzkumnaplocha1) Dle proměn. oblast_VP1 Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$								
	Sčt poř. (kontrolní)	Sčt poř. (zkušební)	U	Z	p-hodn.	Z (upravené)	p-hodn.	N platn. (kontrolní)	N platn. (zkušební)
Délka nadzemní části	10997,5	11157,5	5432,50	-0,18	0,86	-0,18	0,86	105	105
Tloušťka kořenového krčku	10971	11184	5406,00	-0,24	0,81	-0,24	0,81	105	105
Přírůst 2012	11129,5	11025,5	5460,50	0,12	0,91	0,12	0,91	105	105
Přírůst 2013	11241	10914	5349,00	0,37	0,71	0,37	0,71	105	105
Přírůst 2014	11916,5	10238,5	4673,50	1,90	0,06	1,91	0,06	105	105
Přírůst 2015	11037	11118	5472,00	-0,09	0,93	-0,09	0,93	105	105
Přírůst 2016	11938,5	10216,5	4651,50	1,95	0,05	1,96	0,05	105	105
Délka jehlic 2012	10879	11276	5314,00	-0,45	0,65	-0,45	0,65	105	105
Délka jehlic 2013	10709	11446	5144,00	-0,84	0,40	-0,84	0,40	105	105
Délka jehlic 2014	12579,5	9575,5	4010,50	3,41	0,00	3,42	0,00	105	105
Délka jehlic 2015	12298,5	9856,5	4291,50	2,77	0,01	2,78	0,01	105	105
Délka jehlic 2016	13660,5	8494,5	2929,50	5,87	0,00	5,87	0,00	105	105

Tab. 7: Výstupy hodnocení rozdílů mezi parametry na zkušební a kontrolní ploše výzkumné plochy č. 3 pomocí Mann-Whitneyova testu. Červeně podbarvené p-hodnoty označují parametry, u kterých je mezi kontrolní a zkušební částí plochy statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 5 %.

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka v data_vyzkumnaplocha3) Dle proměn. oblast_VP3 Označené testy jsou významné na hladině p <,05000								
	Sčt poř. (kontrolní)	Sčt poř. (zkušební)	U	Z	p-hodn.	Z (upravené)	p-hodn.	N platn. (kontrolní)	N platn. (zkušební)
Délka nadzemní části	10806	11349	5241,00	-0,62	0,54	-0,62	0,54	105	105
Tloušťka kořenového krčku	10923	11232	5358,00	-0,35	0,73	-0,35	0,73	105	105
Přírůst 2013	11546	10609	5044,00	1,06	0,29	1,07	0,29	105	105
Přírůst 2014	9248	12907	3683,00	-4,15	0,00	-4,17	0,00	105	105
Přírůst 2015	10139	12016	4574,00	-2,13	0,03	-2,13	0,03	105	105
Přírůst 2016	11146,5	11008,5	5443,50	0,16	0,88	0,16	0,88	105	105
Délka jehlic 2013	12324	9412	4056,00	3,11	0,00	3,12	0,00	105	105
Délka jehlic 2014	10891,5	10844,5	5326,50	-0,19	0,85	-0,19	0,85	105	105
Délka jehlic 2015	11172,5	10563,5	5207,50	0,46	0,65	0,46	0,65	105	105
Délka jehlic 2016	11690,5	10464,5	4899,50	1,39	0,16	1,39	0,16	105	105

Co se týče diskrétních veličin, Tab. 8 obsahuje přehled výskytu četnosti daného jevu u stromů měřených na jednotlivých plochách, včetně procentuálního vyjádření. Z Tab. 8 je zřejmé, že pohyb zvěře je v obou oblastech intenzivní a jak je již uvedeno výše, některé parametry mohou být přímo či nepřímo tímto faktorem dosti ovlivněny. Škody zvěří zahrnovaly nejen výše uvedené sledované parametry (chybějící terminální pupen, výskyt dvojáku, výskyt vícečetného vrcholu), ale i např. okusy bočních výhonů či mechanické známky poškození. Co se týče barvy asimilačního orgánu, jehlice všech hodnocených jedinců měly zelenou barvu. Poškození způsobené dalšími biotickými či abiotickými faktory (kůrovci, klikoroh borový, poškození v důsledků lidské činnosti atd.) na výzkumných plochách nebylo identifikováno.

Tab. 8: Četnostní tabulka a procenticky vyjádřený výskyt sledovaných parametrů (barva asimilačního orgánu, poškození).

Parametr/výzkumná plocha	Výzkumná plocha č. 3				Výzkumná plocha č. 1			
	Kontrolní plocha		Zkušební plocha		Kontrolní plocha		Zkušební plocha	
Barva asimilačního orgánu								
1. zelená	105	100%	105	100%	105	100%	105	100%
2. sv.žlutá	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
3. žlutá	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Typ poškození	Kontrolní plocha		Zkušební plocha		Kontrolní plocha		Zkušební plocha	
1. zvěř (poškození bočních výhonů)	98	93%	99	94%	105	100%	105	100%
2. mráz	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
3. vítr	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
4. chybějící terminální pupen	14	13%	12	11%	15	14%	17	16%
5. výskyt vícečetného vrcholu	0	0%	2	2%	0	0%	0	0%
6. výskyt dvojáku	3	3%	4	4%	6	6%	5	5%
7. klikoroh borový	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
8. ztráty	3	3%	5	5%	6	6%	6	6%

Výzkumná plocha č. 1

Shrnutí závěrů pro výzkumnou plochu č. 1:

- průměrná délka jehlic byla ve všech statisticky významných letech (2014, 2015, 2016) menší na zkušební ploše => preparáty měly na délku jehlic vliv spíše negativní;

- přírůsty byly ve všech letech menší na zkušební ploše, statisticky významné na úrovni spolehlivosti 10 % jsou rozdíly v letech 2014 a 2016 => faktor zvěře (zjištěny škody zvěří u 100 % jedinců) nicméně vnáší u tohoto parametru značný prvek nejistoty a nelze jednoznačně potvrdit negativní vliv preparátů na přírůst stromů;
- průměrná výška nadzemní části byla větší na zkušební ploše, rozdíl nicméně není statisticky významný => i u tohoto parametru vnáší faktor zvěře do výstupů měření značný prvek nejistoty a nelze jednoznačně potvrdit pozitivní vliv preparátů na celkovou výšku nadzemní části. Skutečnost, že průměrná výška stromů je na zkušební ploše větší, a to o 1,9 cm, kdežto přírůsty ve sledovaných letech menší, může být způsobena variabilitou výšky vysazovaných sazenic. Prvek nejistoty vnáší do tohoto již i zmiňovaný faktor zvěře (např. koncentrace zvěře na ochozech);
- tloušťka kořenového krčku je na obou částech plochy téměř totožná, rozdíl není statisticky významný => nelze jednoznačně vyvodit pozitivní vliv preparátů na tloušťku kořenového krčku;
- Barva asimilačního orgánu všech hodnocených jedinců byla zelené barvy. Co se týče poškození, na ploše bylo identifikováno poškození zejména zvěří: poškození bočních výhonů (100 % jedinců na zkušební i kontrolní části plochy), výskyt dvojáku (5 % na zkušební a 6 % na kontrolní části plochy) resp. chybějící terminální pupen (16 % na zkušební a 14 % na kontrolní části plochy).

Lze vyvodit, že preparáty na růst nadzemní části neměly na výzkumné ploše č. 1 jednoznačný pozitivní vliv, či mohly mít vliv dokonce negativní (statisticky významná kratší délka jehlic v posledních 3 letech či významnější menší přírůsty v letech 2014 a 2016). Je však třeba mít na paměti intenzivní výskyt zvěře v této oblasti. Tato skutečnost mohla významně zkreslit měření některých parametrů (zejména přírůstů a délky nadzemní části).

Výzkumná plocha č. 3

Shrnutí závěrů pro výzkumnou plochu č. 3:

- průměrná délka jehlic byla ve všech letech menší na zkušební ploše, za významný rozdíl byl však označen jen rozdíl v roce 2013 => preparáty neměly na délku jehlic vliv případně mohly mít vliv dokonce negativní;
- přírůsty byly s výjimkou roku 2013 větší na zkušební ploše, za významné byly označeny rozdíly v letech 2014 a 2015 => faktor zvěře nicméně vnáší u tohoto

parametru značný prvek nejistoty a nelze jednoznačně potvrdit pozitivní vliv preparátů na přírůst stromů;

- průměrná výška nadzemní části byla větší na zkušební ploše, rozdíl není statisticky významný => i u tohoto parametru vnáší faktor zvěře do výstupů měření značný prvek nejistoty a nelze jednoznačně potvrdit pozitivní vliv preparátů na celkovou výšku nadzemní části;
- tloušťka kořenového krčku je na obou částech plochy téměř totožná, rozdíl není statisticky významný => preparáty neměly na tloušťku kořenového krčku jednoznačný pozitivní vliv;
- Barva asimilačního orgánu všech hodnocených jedinců byla zelené barvy. Co se týče poškození, na ploše bylo identifikováno poškození zejména zvěří: poškození bočních výhonů (94 % jedinců na zkušební části plochy a 93 % na kontrolní části plochy), výskyt dvojáku (4 % na zkušební a 3 % na kontrolní části plochy), výskyt vícečetného vrcholu (2 % na zkušební části plochy), chybějící terminální pupen (11 % na zkušební a 13 % na kontrolní části plochy).

Lze tedy konstatovat, že podobně jako u výzkumné plochy č. 1, byly i u výzkumné plochy č. 3 zjištěny značné škody zvěří. Navzdory významnějším přírůstkům v letech 2014 a 2015 na ploše s aplikací tak nemusí být tento parametr z hlediska posouzení vlivů preparátů zcela vypovídající. Obdobně jako u výzkumné plochy č. 1, lze tedy i v případě výzkumné plochy č. 3 vyvodit, že preparáty nevykázaly na růst nadzemní části jednoznačný pozitivní vliv, či mohly mít vliv dokonce negativní (kratší délka jehlic v roce 2013).

5.2. Vliv preparátů na odrůstání podzemní části kultur

V Tab. 9 je uveden přehled středních hodnot (průměrů) a směrodatných odchylek parametrů týkajících se kořenového systému vyzvednutých stromů. S ohledem na nízký rozsah dat (5 stromů / plochu) nejsou hodnoty dále podrobněji popisovány (extrémy; kvantily).

U dat byla ověřena statistická významnost rozdílů na hladině spolehlivosti 5 %. S ohledem na velikost výběrových souborů a z důvodu jednotného výsledku byl pro testování použit pouze neparametrický Mann-Whitneyův test, výsledky jsou uvedeny v Tab. 10 a v Tab. 11. U žádného z parametrů (hmotnost jemných kořenů, hmotnost hrubých kořenů, počet jemných kořenů, hloubka prokořenění, specifická délka jemných kořenů) s výjimkou indexu větvení nebyl identifikován statisticky

významný rozdíl. Index větvení byl s ohledem na výskyt strboulů na výzkumné ploše č. 1 ověřován pouze u výzkumné plochy č. 3 a existence statisticky významného rozdílu byla prokázána.

Tab. 9: Data (střední hodnoty \bar{x} a směrodatné odchylky s) týkající se podzemní části naměřené pro výzkumnou plochu č. 1 a č. 3. Pozn. ** hodnoty, u kterých existuje statisticky významný rozdíl na hladině 5 %, viz text dále.

Výzkumná plocha		Výzkumná plocha č. 3		Výzkumná plocha č. 1	
Příslušná plocha bez/s aplikací		Kontrolní plocha	Zkušební plocha	Kontrolní plocha	Zkušební plocha
Měřený parametr	m.j.	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Hmotnost 5 segmentů jemných kořenů	g	0,012 ± 0,006	0,008 ± 0,004	-	-
Index větvení	ks/cm	55,21 ± 51,13**	140,82 ± 16,63**	-	-
Specifická délka jemných kořenů	cm/g	143,07 ± 69,07	260,87 ± 101,68	-	-
Hmotnost jemných kořenů	g	35,12 ± 14,65	29,02 ± 11,87	19,40 ± 12,02	25,66 ± 9,53
Hmotnost hrubých kořenů	g	46,78 ± 16,86	44,92 ± 11,42	18,16 ± 5,84	18,50 ± 6,65
Počet jemných kořenů	ks	50,6 ± 14,4	52,4 ± 20,5	41,4 ± 9,9	41,8 ± 10,8
Hloubka prokořenění	cm	34,4 ± 3,1	41,8 ± 10,7	38,2 ± 10,6	34,6 ± 7,9

Tab. 10: Výstupy hodnocení rozdílů mezi parametry na zkušební a kontrolní ploše výzkumné plochy č. 1 pomocí Mann-Whitneyova testu.

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka v data_vyzkumnaplocha1) Dle proměn. oblast_VP1 Označené testy jsou významné na hladině $p <,05000$								
	Sčt poř. (kontrolní)	Sčt poř. (zkušební)	U	Z	p-hodn.	Z (upravené)	p-hodn.	N platn. (kontrolní)	N platn. (zkušební)
Hmotnost jemných kořenů	23,00	32,00	8,00	-0,84	0,40	-0,84	0,40	5	5
Hmotnost hrubých kořenů	25,00	30,00	10,00	-0,42	0,68	-0,42	0,68	5	5
Počet jemných kořenů	28,00	27,00	12,00	0,00	1,00	0,00	1,00	5	5
Hloubka prokořenění	30,00	25,00	10,00	0,42	0,68	0,42	0,68	5	5

Tab. 11: Výstupy hodnocení rozdílů mezi parametry na zkušební a kontrolní ploše výzkumné plochy č. 3 pomocí Mann-Whitneyova testu. Červeně podbarvená p-hodnota označuje parametr, u kterého je statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 5 %.

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka v data_vyzkumnaplocha3) Dle proměn. oblast_VP3 Označené testy jsou významné na hladině $p <,05000$								
	Sčt poř. (kontrolní)	Sčt poř. (zkušební)	U	Z	p-hodn.	Z (upravené)	p-hodn.	N platn. (kontrolní)	N platn. (zkušební)
Index větvení	15,00	40,00	0,00	-2,51	0,01	-2,51	0,01	5	5
Specifická délka	19,00	36,00	4,00	-1,67	0,09	-1,67	0,09	5	5
Hmotnost jemných kořenů	30,00	25,00	10,00	0,42	0,68	0,42	0,68	5	5
Hmotnost hrubých kořenů	28,00	27,00	12,00	0,00	1,00	0,00	1,00	5	5
Počet jemných kořenů	26,00	29,00	11,00	-0,21	0,83	-0,21	0,83	5	5

Horizontální a vertikální dělení kořenového systému bylo zkoumáno rovněž pouze u výzkumné plochy č. 3. U výzkumné plochy č. 1 neměl tento parametr s ohledem na výskyt strboulů význam. S cílem zjistit poměr horizontální a vertikální části kořenového systému jsou parametry týkající se tloušťky a délky horizontálních a vertikálních kořenů v Tab. 12 uvedeny formou aproximovaného „obsahu vertikálního systému“ a „obsahu horizontálního systému“, tj. součtu násobků délek a tloušťek horizontálních případně vertikálních kořenů se zanedbáním proměnlivosti tloušťek kořenů. Jak bylo možné s ohledem na typ dřeviny (SM) předpokládat, horizontální kořeny u vyzvednutých jedinců převažují, a v případě kontrolní plochy jejich „obsah“ činí přibližně 85 % a v případě zkušební plochy přibližně 75 % „kořenové plochy“.

Tab. 12: Počet horizontálních, resp. vertikálních kořenů a aproximovaný obsah horizontálního resp. vertikálního systému zjištěný na výzkumné ploše č. 3.

Výzkumná plocha č. 3		Kontrolní plocha	Zkušební plocha
Měřený vzorek	m.j.	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Horizontální kořeny			
Počet	ks	11,8 ± 4,9	10,0 ± 2,3
"Obsah" horizontálního systému	cm ²	41,7 ± 13,1	33,7 ± 11,3
Vertikální kořeny			
Počet	ks	8 ± 2,8	9,6 ± 4,0
"Obsah" vertikálního systému	cm ²	7,6 ± 1,7	12,8 ± 3,2

U zjištěných hodnot uvedených v Tab. 12 byla dále neparametrickým Mann-Whitneyovým testem opět ověřena statistická významnost rozdílů na hladině spolehlivosti 5 %, výsledky jsou uvedeny v Tab. 13. U žádného z testovaných parametrů nebyl prokázán statisticky významný rozdíl.

Shrnutí závěrů týkající se vlivu preparátů na podzemní část

Co se týče vlivu na rozvoj kořenového systému, hodnocení neprokázalo statisticky významný rozdíl u žádného z hodnocených parametrů (hmotnost jemných kořenů, hmotnost hrubých kořenů, počet jemných kořenů, hloubka prokořenění, specifická délka jemných kořenů, počet vertikálních příp. horizontálních kořenů) s výjimkou indexu větvení, který byl analyzován pouze u výzkumné plochy č. 3. Z výsledku lze tedy vyvodit, že preparáty neměly vliv na rozvoj kořenového systému, resp. pouze na jeden z parametrů - na index větvení.

Tab. 13: Výstupy hodnocení rozdílů mezi parametry na zkušební a kontrolní ploše výzkumné plochy č. 3 pomocí Mann-Whitneyova testu.

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka v data_vyzkumnaplocha3) Dle proměn. oblast_VP3 Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$								
	Sčt poř. (kontrolní)	Sčt poř. (zkušební)	U	Z	p-hodn.	Z (upravené)	p-hodn.	N platn. (kontrolní)	N platn. (zkušební)
Horizontální kořeny - počet	29,00	26,00	11,00	0,21	0,83	0,21	0,83	5	5
Horizontální kořeny - obsah	32,00	23,00	8,00	0,84	0,40	0,84	0,40	5	5
Vertikální kořeny - počet	25,50	29,50	10,50	-0,31	0,75	-0,32	0,75	5	5
Vertikální kořeny - obsah	18,00	37,00	3,00	-1,88	0,06	-1,88	0,06	5	5

Závěrem je pro lepší orientaci do Tab. 14 zapracován přehled všech hodnocených parametrů, přičemž u každého parametru je uvedeno, zda byl identifikován statisticky významný rozdíl. Jestliže byl rozdíl identifikován, Tab. 14 uvádí, zda rozdíl hovoří ve prospěch aplikace preparátů příp. v jejich neprospěch.

Tab. 14: Přehled rozdílů mezi jednotlivými parametry na kontrolní a zkušební části výzkumné plochy č. 1 a č. 3. Zeleně podbarvené pole označuje parametry, u kterých rozdíl hovoří ve prospěch aplikace preparátů.

Výzkumná plocha	Výzkumná plocha č. 3	Výzkumná plocha č. 1
Měřený parametr	rozdíl ANO / NE	
Výška nadzem. části	NE	NE
Tloušťka koř. krčku	NE	NE
Přírůst nadzemní části		
2012	-	NE
2013	NE	NE
2014	ANO pro aplikaci	ANO proti aplikaci
2015	ANO pro aplikaci	NE
2016	NE	ANO proti aplikaci
Délka jehlic		
2012	-	NE
2013	ANO proti aplikaci	NE
2014	NE	ANO proti aplikaci
2015	NE	ANO proti aplikaci
2016	NE	ANO proti aplikaci
Hmotnost 5 segmentů	NE	-
Index větvení	ANO pro aplikaci	-
Specifická délka jemných kořenů	NE	-
Hmotnost jemných kořenů	NE	NE
Hmotnost hrubých kořenů	NE	NE
Počet jemných kořenů	NE	NE
Hloubka prokořenění	NE	NE
Počet horizontálních kořenů	NE	NE
„Obsah“ horizontálního systému	NE	NE
Počet vertikálních kořenů	NE	NE
„Obsah“ vertikálního systému	NE	NE

6. DISKUSE

Současný stav SM porostů na Libavé se stává alarmující a těžiště problémů se často přesouvá do stále mladších porostů. Dnešní SM porosty se musí potýkat s řadou nových aspektů, na které nejsou zcela adaptované. Výzkumy potvrzují trend vysoké acidity lesních půd s dopadem pro půdní chemismus a přirozeně tedy i pro půdní organismy, které půdní prostor osídlují. Co se týče mykorhizy, výzkumy Mauera, Palátové (2004d), Brunnera, Scheideggera, (1994) naznačují, že nadměrné depozice dusíku, které jsou překračovány na velkém území ČR, včetně Libavé, mají nepříznivý vliv na kořenový systém i mykorhizní symbiózu. Depozice síry sice v současnosti nejsou na většině území ČR překračovány, pakliže k nim však dochází, mají na rozvoj mykorhizy naopak stimulační dopad, na druhou stranu negativně ovlivňují kořenový systém. Vyčerpané nadměrně kyselé půdní prostředí bez potřebných bazických prvků příp. s potlačenou mykorhizní aktivitou dřevinám přirozeně vytváří od samotného počátku permanentní stres. Stávající SM porosty na Libavé byly navíc v minulosti zvyklé na vyšší přísun srážek a změny klimatu spojené s vyššími extrémy a nižšími srážkami stres dřevin ještě dále zvyšují. Výhledy do budoucna bohužel nepředpokládají zlepšení situace. Je zřejmé, že dřeviny jsou v současnosti vystavované extrémnímu stresu, což přirozeně snižuje jejich schopnost odolávat podkornímu hmyzu, václavce či jiným škůdcům. Na druhou stranu, extrémnější podmínky mohou u SM vést ke snaze adaptovat se na nové podmínky a mohou ovlivnit architekturu kořenového systému na Libavé. Do budoucna tak bude zajímavé na Libavé sledovat, zda nižší srážky v posledních letech a vyčerpané půdní prostředí povedou u nových SM na Libavé k vývinu hlubšího či rozložitějšího kořenového systému.

Dle interní statistiky VLS Lipník nad Bečvou se SM v roce 2016 podílel na přirozené obnově dřevin na Libavé 51%, co se týče umělé obnovy 38%. Jedná se o naši nejdůležitější hospodářskou dřevinu a zachování jejího podílu v dřevinném mixu je potřebné. S ohledem na vznik nových permanentních stresorů je tedy třeba hledat cesty, jak zvýšit stabilitu SM porostů a jejich schopnost odolávat těmto stresům. Mykorhizní symbióza je nedílnou součástí lesních ekosystémů a umělá inokulace mykorhizními přípravky může být, podobně jako chemická meliorace, jednou z možností, jak alespoň částečně zvýšit odolnost stresovaných dřevin. Jejich použití však nelze doporučit paušálně, vyžaduje znalosti místních podmínek, nejlépe podložené půdními průzkumy, přičemž by měly být monitorovány nejen dopady na rostliny, ale

i samotné půdní prostředí tak, aby bylo možné zamezit případnému vychýlení půdní rovnováhy druhým směrem (převápění půdy, nadměrné hnojení dusíkem atd.).

Význam mykorhizní symbiózy potvrzuje řada výzkumů, nikoliv však všechny průzkumy prováděné *in situ*. Pozitivní dopady mykorhizních preparátů prokázaly např. výzkumy Holuшы a kol. (2009) či výzkum provedený v roce 2014 na Libavé společností Symbiom s. r. o. Naopak výstupy výzkumů provedené Repáčem a kol. (2009) či Tučekovou (2009) nebyly, podobně jako v případě výzkumu provedeného v rámci diplomové práce, již natolik přesvědčivé. Tato skutečnost by mohla mj. souviset s místními specifiky, respektive s příznivostí místních podmínek. Rovněž výstupy výzkumu prováděného v rámci práce byly nepochybně ovlivněny místními specifiky. Na nepříznivých stanovištích budou kultury pravděpodobně více využívat pomoci „mykorhizních pomocníků“, který jim poskytne výhodu využívání většího objemu půdního prostoru při získávání živin či vody. V příznivých podmínkách naopak nebude vliv mykorhizy zřejmě natolik patrný, poněvadž si kultury budou schopny zajistit potřebné živiny či vodu snadno i samy. Nicméně vzhledem k tomu, že nejsou k dispozici bližší informace o půdních podmínkách ve výzkumných lokalitách, nelze tento vliv v případě práce více posoudit. Dalším faktorem, který mohl hrát roli v jednotlivých výzkumech, je skutečnost, že výzkumy byly prováděny v různých časových obdobích, což je spojeno s různými klimatickými či jinými environmentálními podmínkami a stresory, kterým byly ty které sazenice v době výzkumu vystaveny. V této souvislosti je třeba zmínit výzkumy provedené Lorenzem (2012) a Mauerem, Mauerovou (2007), které naznačují negativní dopad sucha na mykorhizní podmínky. Tato skutečnost mohla inhibovat vlivy mykorhizního preparátu na kultury na výzkumných plochách. Co se týče srážek, jednalo se celkově o období s podprůměrnými srážkami. ČHMÚ (2016) mapující úhrny srážek v Olomouckém kraji uvádí pro období 2011–2015 následující hodnoty úhrnů srážek: 2011: 621 mm, 2012: 683 mm, 2013: 716 mm, 2014: 659 mm, 2015: 516 mm. Přitom, jak se uvádí v kapitole 4.1.8., dlouhodobý srážkový normál 1961–1990 pro Olomoucký kraj činil dle ČHMÚ (2016) 732 mm a dle podkladů Kašpara (2015) činil pro lokalitu Kozlov průměrný roční srážkový úhrn v období 2005–2014 705,18 mm. Z uvedeného přehledu je zřejmé, že z hlediska srážek byl ve sledovaném období podprůměrný zejména rok 2015. Na boxplotech na Obr. 16 a Obr. 18, na kterých jsou vizualizovány délky jehlic v jednotlivých letech, lze v roce 2016 vysledovat náznak změny trendu v růstu jehlic. Je

otázkou, zda tato změna (zpomalení růstové tendence délky jehlic) mohla nastat v důsledku podprůměrných srážek v roce 2015. Výzkumy Riederera, Kurbasika (1988), kteří analyzovali 38 000 jehlic ze stromů pocházejících ze 4 lokalit v německých Smrčinách (Bavorsko) s různými půdními a klimatickými podmínkami, nicméně neidentifikovaly žádný vztah mezi těmito lokálními faktory a velikostí jehlic.

Je třeba si rovněž uvědomit, že průzkum prováděný v rámci této diplomové práce byl prováděn v polních podmínkách, nikoliv v řízených laboratorních podmínkách, a lze tak předpokládat infekci dalšími neznámými symbiotickými houbami. Jejich případná „kooperace“ či naopak „antagonismus“ s umělým inokulantem vnáší do výstupů prvek nejednoznačnosti.

Není rovněž možné ověřit vzájemné ovlivnění preparátů Ectovit a Vápnitý Dolomit, či který preparát měl pro stav daného parametru význam. V důsledku nedostatečné informace o dostupnosti vápníku v dané lokalitě mohlo rovněž například teoreticky dojít k převápnění půdy, což mohlo mít neblahý dopad na přístupné formy půdního fosforu, což mohlo mít inhibiční vliv na růst kořenů a nadzemní části, a tedy zkreslit výsledky šetření. V tomto kontextu je tedy obtížné stanovit generální doporučení pro všechny oblasti v ČR či Libavou ohledně dalšího využívání jednoho, druhého či kombinaci těchto preparátů. K dispozici jsou navíc hodnoty za poměrně velmi krátké období. Základní představu o vlivu těchto preparátů na dosavadní odrůstání testovaných kultur však výsledky poskytují.

Co se týče nadzemní části, výzkum poukázal na rozdíly v přírůstech v některých letech. V některých letech se nicméně jednalo o rozdíl ve prospěch zkušební části plochy, v některých letech naopak ve prospěch plochy bez aplikace preparátů. Tyto výsledky však mohly být ovlivněny zvěří, jejíž výskyt v oblasti je značný, viz kapitola 5.1. Výsledek tedy nelze považovat za spolehlivý základ pro přijetí rozhodnutí, zda měly preparáty na odrůstání kultur dopad. Přírůsty v prvním roce jsou většinou menší z důvodu šoku sazenice z přesazení a u výzkumné plochy č. 1 dosahoval na obou částech plochy obdobné hodnoty přibližně 10 cm, v následujícím roce již dosahoval hodnoty přibližně 15 cm. Obdobný vývoj nastal i u výzkumné plochy č. 3, i když s mnohem menším rozdílem přírůstu v prvních dvou letech (průměrný přírůst v prvním roce dosahoval přibližně 16,7 cm, v následujícím roce 17 cm, v následujících letech však již průměrný přírůst přesahoval 34 cm).

Co se týče jehlic, ve čtyřech letech výstupy poukázaly na kratší délku jehlic na ploše s preparáty. V případě jedné plochy se jednalo o poslední tři roky života kultur, u druhé plochy naopak o první rok po výsadbě. V provedeném výzkumu tak mohly mít preparáty na odrůstání kultur dokonce vliv negativní. Je však otázkou, zda kratší jehlice na plochách s přípravky souvisí s aplikací preparátů. Jako jedno z vysvětlení by se nabízela možnost, že EKM inokulanty v prvních letech sazenic mohou vkládat větší energii do růstu kořenové části na úkor části nadzemní. Tato úvaha však nebyla potvrzena ve všech sledovaných letech, poněvadž s výjimkou zmiňovaných 4 let nebyl v ostatních letech rozdíl v délce jehlic identifikován. Navíc v případě výzkumné plochy č. 1 byla průměrná délka jehlic v roce výsadby nepatrně větší než u plochy s aplikací preparátů (ačkoliv rozdíl nebyl testem vyhodnocen jako statisticky významný). Myšlenka nebyla jednoznačně potvrzena ani v rámci výzkumu dopadů na kořenový systém kultur, poněvadž u kořenové části byl potvrzen pouze pozitivní vliv na jeden z parametrů, a to na index větvení.

Pokud jde o mykorhizní symbiózu, je na místě rovněž princip předběžné opatrnosti při jejím zavádění do přírody. V některých případech se totiž může jednat o umělou introdukci zcela nového elementu do půdního prostředí. Společnost Symbiom s. r. o. (2014) v této souvislosti ve svých závěrech např. uvádí: „*Nicméně porovnání ošetřených a neošetřených sazenic potvrdilo velmi dobrou introdukci EKM hub obsažených v přípravku Ectovit Forest, zejména pak druhů Amanita muscaria a Paxillus involutus, které se přirozeně na daných lokalitách nevyskytovaly (u neošetřených sazenic nebyly na kořenech nalezeny)*“. Tyto kroky nicméně mohou mít na lesní ekosystémy nám zatím neznámé dopady. Je otázkou, zda by tato oblast měla podléhat alespoň nějaké základní regulaci, která zamezí nekontrolovanému a neřízenému šíření mykorhizních hub v přírodě.

V souvislosti se složením preparátu Ectovit je třeba nadněst otázku, do jaké míry může být odrůstání kultur ovlivněno ostatními složkami mykorhizního preparátu. Technický list preparátu Ectovit uvádí, že preparát obsahuje krom mykorhizních hub také „*bioaditiva, která podporují rozvoj mykorhizní symbiózy*“ s tím, že ve výčtu těchto bioaditiv uvádí mj. „*přírodní minerály*“. Holuša a kol. (2009) ve věci složení preparátu odkazují na stránky spol. Symbiom s. r. o. a „*přírodní minerály*“ specifikují jako „*přírodní zdroje dusíku, hořčíku a draslíku*“. Aktuální technický list preparátu Ectovit „*přírodní minerály*“ konkrétněji nerozvádí. Uvedené prvky ovlivňují růst nadzemní,

resp. podzemní části rostlin. Pakliže jsou tyto prvky skutečně součástí preparátu, vzniká otazník nad výstupy hodnocení analyzujících příspěvků mykorhizních hub obsažených v preparátu Ectovit k růstu nadzemní či podzemní části hostitelské dřeviny.

Zkoumání mykorhizní symbiózy nicméně stále spadá mezi poměrně „mladé obory“ a oblast nepochybně vyžaduje další zkušenosti a výzkumy. Je však zřejmé, že vhodné půdní prostředí a „mykorhizní pomocníci“ jsou pouze jedním z faktorů a je třeba mít na paměti, že žádný preparát nedokáže vyléčit veškeré problémy lesních ekosystémů sám a na celou oblast regenerace lesních ekosystémů je tak třeba nahlížet komplexně. Je tedy potřeba svědomitě přistupovat již k samotné výsadbě (deformace kořenových systémů při výsadbě, znehodnocení sadebního materiálu zapařením, teplotním šokem či nevhodnou manipulací atd.), přípravě stanoviště (odvoz veškeré potěžební biomasy, vhodná chemická meliorace atd.) a během života dřeviny minimalizovat negativní vlivy (důsledné zajištění kultur, pohyb těžké vyvážecí a těžební techniky, škody způsobované při těžbě atd.), které mohou působit jako spouštěče dalšího zhoršování lesních ekosystémů (napadení václavkou, kořenovníkem vrstevnatým *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., kůrovci atd.).

Význam pečlivého dodržování zásad správné lesnické praxe stoupá s ohledem na zhoršení stanovištních podmínek (zvýšení acidity půdního prostředí, změny klimatu, vyšší výskyt polutantů v ovzduší atd.) a rostoucí tlak na využívání krajiny (intenzifikace zemědělství a výroby, rozšiřování osídlení krajiny atd.). Zásady správné lesnické praxe by se měly stát předmětem (re)kvalifikace všech lesníků a jejich uplatňování v praxi by mělo být důsledně vyžadováno.

7. ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Práce hodnotí dopady preparátu Ectovit a hnojiva Vápnitý dolomit na rozvoj kořenového systému a odrůstání kultur SM. Tématika práce je aktuální, poněvadž SM porosty jsou v důsledku řady stresorů (změna chemismu půd, klimatické změny atd.) vystaveny permanentnímu stresu, který dřeviny oslabuje a činí je náchylnými vůči dalším sekundárním škůdcům (václavka, kůrovci atd.). Je tedy třeba hledat cesty, jak SM porosty podpořit. Jednou z cest je snaha o zlepšení půdních podmínek formou umělého navrácení chybějících bazických látek do půdy či podpora rozvoje kořenového systému potažmo nadzemní části a odolnosti dřeviny prostřednictvím umělého očkování EKM houbou či jejich směsí. Pro obě oblasti jsou velmi cenné zpětné reakce o dopadech aplikace preparátů v praxi a práce tak svými výstupy přispěla k rozšíření poznatků o zkušenostech s těmito preparáty.

V rámci hodnocení byly studovány dopady přípravků na odrůstání nadzemní části kultur (100 stromů z každé části plochy, tj. celkem 200 stromů na každé výzkumné ploše). Vlivy přípravků na rozvoj kořenového systému byly studovány na 5 stromech, které byly vyzvednuty z každé části plochy, tj. bylo vyzvednuto celkem 10 stromů z každé výzkumné plochy. Výzkumná plocha č. 1 musela být nicméně z dalšího hodnocení rozvoje kořenového systému vynechána z důvodu značného výskytu deformací (100% výskyt závažné deformace – strboulu – u vyzvednutých vzorků). S touto skutečností by bylo spojeno vyzvednutí a destrukce enormního množství stromů s cílem získat vzorky s nedeformovaným systémem. U vyzvednutých 20 stromů byly rovněž změřeny parametry nadzemní části, které byly přiřazeny do příslušných skupin dat pro hodnocení vlivu na odrůstání nadzemní části stromů.

Co se týče vlivu přípravků na odrůstání nadzemní části, výstupy pro obě části obou ploch neprokázaly jednoznačný pozitivní vliv, či mohly mít vliv dokonce negativní (statisticky významná kratší délka jehlic v posledních 3 letech či menší přírůsty v letech 2014 a 2016 na ploše s preparáty u výzkumné plochy č. 1; kratší délka jehlic v roce 2013 na ploše s preparáty u výzkumné plochy č. 3). Statisticky významný pozitivní dopad vykazují na zkušební ploše *de facto* pouze přírůsty v letech 2014 a 2015, a to u výzkumné plochy č. 3. Některé parametry, včetně např. výškového přírůstu, však mohou být značně ovlivněny škodami zvěří či jinými faktory (např. značná skeletovitost půdy v některých částech ploch). S ohledem na uvedené tak nelze jednoznačně potvrdit pozitivní dopad preparátů na odrůstání SM kultur.

Co se týče vlivu preparátů na rozvoj kořenového systému, hodnocení neprokázalo statisticky významný rozdíl u žádného z hodnocených parametrů (hmotnost jemných kořenů, hmotnost hrubých kořenů, počet jemných kořenů, hloubka prokořenění, specifická délka jemných kořenů) s výjimkou indexu větvení, který byl analyzován pouze u výzkumné plochy č. 3. Z hodnocení lze tedy vyvodit, že preparáty měly vliv na rozvoj kořenového systému, resp. jeden z parametrů - na index větvení.

Přestože preparáty na měřených výzkumných plochách v LS Hlubočky nevykázaly jednoznačný pozitivní dopad na odrůstání nadzemní části sazenic a u kořenů byl dopad prokázán pouze u jednoho z hodnocených parametrů (index větvení), indikace pozitivního vlivu o využití přípravku Ectovit pochází z LS Libavá, příp. jiných výzkumů. Z těchto důvodů doporučuje autor VLS Lipník nad Bečvou ve výzkumu dopadů těchto preparátů pokračovat a pro potvrzení výsledků hodnocení provést měření na zbývajících třech plochách, příp. po pěti letech zopakovat hodnocení na výzkumných plochách hodnocených v rámci této práce, variantně výzkumy rozšířit o další výzkumné plochy. S ohledem na značné poškození sazenic zvěří a deformaci kořenového systému většiny sazenic na jedné z ploch se však doporučuje případné nově zakládané výzkumné plochy oplotit s cílem zamezit případnému ovlivnění výsledků škodami zvěří a dbát na důsledné uplatňování zásad správné praxe při výsadbě. Co se týče chemické meliorace, projekt Biosoil naznačuje významné zhoršení půdního prostředí a z tohoto důvodu se doporučuje aplikaci hnojiv (Mg, Ca, K) plošně více rozšířit, ovšem formou výzkumných ploch, které budou podléhat monitoringu a následnému hodnocení. Obdobně jako v případě mykorrhizních preparátů se však doporučuje výzkumné plochy umístit do oplocení a zajistit důsledné dodržování správných sadebních postupů.

S ohledem na zásadní význam půdního prostředí pro vitalitu dřevin a „hrubou síť“ půdních sond realizovaných v rámci projektu Biosoil (pro Libavou lze vyvozovat závěry pouze ze dvou půdních sond) se rovněž doporučuje spol. VLS Lipník nad Bečvou finančně podpořit projekt, v rámci kterého by byly provedeny další půdní sondy v prostoru Libavá. Průzkum by přispěl k lepšímu poznání stavu půd na Libavě a poskytl spolehlivý podklad pro další rozhodování o případné chemické melioraci půd.

8. SUMMARY

The diploma thesis evaluates the effects of artificial mycorrhization by means of the Ectovit preparation and the effects of the fertiliser Vápnitý dolomit on the growth and on the root development of *Picea abies* in the forest administration Hlubočky. Both preparations were applied at five sites that were afforested in spring 2012, or 2013. Every site consists of a test part (with the application of preparations) and of a check part (without the application of preparations). The thesis focused on the evaluation of the effects of the preparations at two sites. The effects of preparations on the development of the above-ground part of trees were evaluated on hundred of trees in every part of the two sites, i.e. on two hundred of trees in total at one site. Further, five samples were taken from every part, i.e. twenty trees in total were taken up from the soil in order to evaluate effects on the development of root system. Regrettably, one site had to be omitted from further evaluation of roots due to the high root deformations occurrence (tangled root deformations in 100 % of taken-up samples) as the fact would have been otherwise linked with the need for destruction of a high number of trees to get undeformed samples. The above-ground parameters of the twenty taken-up trees were also measured and added to the set of data determined for the evaluation of the above-ground part of trees. Consequently, the measured parameters were assessed by means of mathematical-statistical tests in order to confirm or to displace the hypothesis about the effects of preparations. As regards the above-ground parameters, the results at both sites has not shown significant differences between the data samples speaking for the preparations with the exception of high increments in years 2014 and 2015 at site no. 3. Though, some results (including e.g. high increments) might be considerably influenced by damage caused by wildlife. Concerning the effects of preparations on the root development, the evaluation has not proved statistically significant differences for none of the parameters (the weight of dry mass of both fine and coarse roots; the number of fine roots, the depth of root system, the specific length of fine roots). The only parameter with an identified statistically significant difference is branching index that was evaluated only for the site no. 3. However, the existence of statistically significant difference has been proved only at significance level of 10 %, i.e. with higher probability of mistake than at the chosen significance level 5 %.

To conclude, the outputs of the measurements have not laid a sufficient basis to prove positive preparations' effects on the *Picea Abies* cultures development.

In theoretical part, the thesis contains literature search in *Picea abies* features and looks into the issue of mycorrhizal symbiosis with the emphasis on the ectomycorrhizal symbiosis that takes part in the cooperation with conifers.

Last but not least, based on the results, the diploma thesis tries to develop recommendations for the administrator regarding the preparations and the next steps.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Esau K., 1960. Anatomy of Seeds Plants, New York, John Wiley & Sons, 376 s.
- [2] Gryndler M. a kol., 2004. Mykorrhizní symbiózy. 1. vydání. Praha, Academia, 366 s.
- [3] Holuša J. a kol., 2009. Impact of mycorrhizal inoculation on spruce seedling: comparisons of a 5-year experiment in forests infested by honey fungus. *Periodicum Biologorum*, svazek 111, č. 4, 413–417.
- [4] Chmelíková E., Cudlín P., 2004. Mykorrhiza a její význam pro lesní dřeviny. In Sborník z konference „Kořenový systém – základ stromu“, Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta – Ústav zakládání a pěstění lesů ve spolupráci s firmou MVDr. Václav Prokop – INPROF, 5–20.
- [5] Kašpar J., 2015. Časová řada srážek 2005–2014 pro Meteorologickou stanici Kozlov.
- [6] Kramář O., 1899. Studie o mykorrhize u hruštičky okrouhlohlísté: (*Pirola rotundifolia* L.). Rozpravy České akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, třída II, svazek 8, číslo 29. Česká akademie císaře Františka Josefa pro vědy slovesnost a umění, 28 s.
- [7] Mauer O., Palátová E., Rychnovská A., 2004. Kořenový systém a chřadnutí smrku ztepilého. In Sborník z konference „Kořenový systém – základ stromu“, Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta – Ústav zakládání a pěstění lesů ve spolupráci s firmou MVDr. Václav Prokop – INPROF, 64–74.
- [8] Mauer O., Palátová E., 2004a. Metody studia kořenového systému lesních dřevin. In Sborník z konference „Kořenový systém – základ stromu“, Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta – Ústav zakládání a pěstění lesů ve spolupráci s firmou MVDr. Václav Prokop – INPROF, 5–20.
- [9] Mauer O., Palátová E., 2004c. Vývin kořenového systému lesních dřevin z umělé a přirozené obnovy. In Sborník z konference „Kořenový systém – základ stromu“, Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta – Ústav zakládání a pěstění lesů ve spolupráci s firmou MVDr. Václav Prokop – INPROF, 115–124.

- [10] Mauer O., Palátová E., 2004d. Reakce jemných kořenů smrku ztepilého na zvýšené depozice síry, dusíku, působení sucha a hnojení hořečnatými hnojivy. In Sborník z konference „Kořenový systém – základ stromu“, Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta – Ústav zakládání a pěstění lesů ve spolupráci s firmou MVDr. Václav Prokop – INPROF, 49–63.
- [11] Mauer O., Mauzerová P., 2007. Kvalita reprodukčního materiálu lesních dřevin. In Sborník z konference „Kvalita reprodukčního materiálu lesních dřevin“, Strážnice, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. ve spolupráci se Sdružením lesních školkařů ČR, 26–27.
- [12] Mauer a kol., 2013. Rhizologie lesních dřevin, Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta – Ústav zakládání a pěstění lesů, Oddělení zakládání lesů, 261 s.
- [13] McCully M. E., 1975. The Development of lateral roots. New York, John Wiley & Sons, 376 s.
- [14] Mejstřík V., 1988. Mykorrhizní symbiózy. 1. vydání. Praha, Academia, 150 s.
- [15] Müller H., 1906. Über die Metakutisierung der Wurzelspitze und über die verkorkten Scheiden in den Achsen der Monokotyledonen. Botanische Zeitung, svazek 64, 53–84.
- [16] Musil I., Hamerník J., 2003. Jehličnaté dřeviny, Přehled nahosemenných i výtrusných dřevin, Lesnická dendrologie 1. Praha, Academia, 177 s.
- [17] Nebe W., 1968. Über Beziehungen zwischen Klima und Wachstum der Fichte (*Picea abies* L.) in ihrem europäischen Verbreitungsgebiet. Archiv für Forstwesen. 17. Band, 12 Heft. Berlin, Akademie, 1219–1236.
- [18] Quitt E., 1971. Klimatické oblasti Československa. Studia geographica 16. Praha, Academia, 73 s.
- [19] Repáč I. a kol., 2009. Vplyv aplikacie mikrobiálních přípravkov do rastového substrátu na rast semenáčikov borovice lesnej. In Sborník „Pěstování lesů v nižších vegetačních stupních“, Brno, Mendelova Univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav zakládání a pěstění lesů, 116–120.
- [20] Riederer M., Kurbasik K. a kol., 1988. Surface areas, lengths and volumes of *Picea abies* (L.) Karst. needles: determination, biological variability and effect of environmental factors. Trees, Vol. 2(3), 165–172.

- [21] Schmidt-Vogt, H., 1977. Die Fichte – Band I., Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschaften. 1. vydání. Hamburg, Paul Parey, 647 s.
- [22] Symbiom s. r. o., 2014. Výzkumná zpráva – rok šetření 2014, Srovnání přírůstků sadebního materiálu lesních dřevin ošetřeného mykorrhizním preparátem, 2 s.
- [23] Šrámek V. a kol., 2014. Vápnění lesů v České republice. Praha, Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Výzkumným ústavem lesního hospodářství, v. v. i., 94 s.
- [24] Tinker P. B. a Gildon A., 1983. Mycorrhizal fungi and ion uptake. New York, Academic Press. Phytochemical Society of Europe Symposia č. 21, 21–30.
- [25] Tjoelker M. G., Boratyński A., Bugała W., 2007. Biology and Ecology of Norway Spruce. Dordrecht, Springer, 472 s.
- [26] Tučeková A. a kol., 2009. Poznatky z testovania mykorizovaného preparátu Vambac na smreku (*Picea abies* L.) v oblasti s dlhodobou zvýšeným stavom *Armillaria* sp. In Sborník z konferencie „Mykorrhiza v lesích a možnosti její podpory“, Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, s. r. o., 52–58.
- [27] VLS ČR, s.p. Praha, 2014. Hospodářská kniha 1.1.2014 – 31.12.2023, LS/LHC Hlubočky, LÚ Boreš.
- [28] Voigt G. K., 1971. Mycorrhiza and nutrient mobilization., Washington, U.S. Government Printing Office, 122–131.

Internetové zdroje

- [29] Bače R., Svoboda M., Janda P., 2014. Přirozené vytváření adventivních kořenů zmlazení smrku v horských lesích: odborné sdělení. Zprávy lesnického výzkumu č. 1, číslo 2/2014, svazek 59. Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., 140–144, [online] citováno 4.2.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/351.pdf>.
- [30] Brunner I., Scheidegger Ch., 1994. Effects of high nitrogen concentrations on ectomycorrhizal structure and growth of seedlings of *Picea Abies* (L.) Karst. New Phytologist, 129, 83–95, [online] citováno 4.3.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://www.wsl.ch/wsl/info/mitarbeitende/scheideg/pdf/595.pdf>.
- [31] Büsgen M., Münch E., Thomson T., 1929. The Structure and Life of Forest Trees. 3. vydání. London, Chapman & Hall, 436 s.

- [32] Český hydrometeorologický ústav, Územní srážky [online], citováno 14.11.2016. Dostupné na World Wide Web: http://portal.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_5_Uzemni_srazky
- [33] Čížek V., 2011. Želnavský smrk. Želnavské novinky, I. ročník, 4. číslo, 1–2, [online] citováno 8.12.2015. Dostupné na World Wide Web: zelnava.wbs.cz/zelnavske_novinky_-_4.doc.
- [34] Divíšek J., Mgr., Culek M., RNDr., Ph.D., Jiroušek M., Mgr., 2010. Příručka Geografického ústavu, Přírodovědecké fakulty, Masarykovy univerzity, [online] citováno 13.11.2016. Dostupné na World Wide Web: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0005/18118868/index_Pic_abi.html.
- [35] Hobbie E. A., 2006. Carbon allocation to ectomycorrhizal fungi correlates with belowground allocation in culture studies. Ecology, svazek 87, číslo 3, 563–569, [online] citováno 20.3.2016. Dostupné na World Wide Web: https://www.researchgate.net/publication/7178113_Hobbie_E_A_Carbon_allocation_to_ectomycorrhizal_fungi_correlates_with_belowground_allocation_in_culture_studies_Ecology_87-Abstract.
- [36] Kalliokoski T., 2011. Root system traits of Norway spruce, Scots pine, and silver birch in mixed boreal forests: an analysis of root architecture, morphology, and anatomy. Diplomová práce. University of Helsinki. Faculty of Agriculture and Forestry. Department of Forest Sciences. 67 s., [online] citováno 11.2.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://www.metla.fi/dissertationes/df121.pdf>
- [37] Křístek Š., Žárník M., 2007. Aktuální versus přirozené rozšíření smrku ztepilého v ČR. Vesmír, ročník 86, číslo 12, 778–779, [online] citováno 24.2.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/aktualni-versus-prirozene-rozsireni-smrku-ztepileho-v-cr>
- [38] Laing E. V., 1923. Tree-roots: their action and development. Transactions of the Royal Scottish Arboricultural Society, svazek 37. Edinburgh, Douglas & Foulis, 6–21, [online] citováno 1.2.2016. Dostupné na World Wide Web: <https://ia600300.us.archive.org/16/items/transactionsofro3738roya/transactionsofro3738roya.pdf>.
- [39] Lorenz F., 2012. Vliv sucha na růst mykorhiz u smrku ztepilého. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta životního prostředí, 41 s.,

- [online] citováno 28.12.2015. Dostupné na World Wide Web: <http://invenio.nusl.cz/record/133062>.
- [40] MapoMap [online], citováno 24.2.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://mapy.nature.cz/>.
- [41] Mauer O., Palátová E., 2004b. Deformace kořenového systému a stabilita lesních porostů. In Sborník z konference „Možnosti použití sadebního materiálu z intenzivních školkařských technologií pro obnovu lesa“. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, s. r. o., 22–26, [online] citováno 16.3.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://vulhm.opocno.cz/on-line/mp040608.html>.
- [42] Mehrotra V. S., 2005. Mycorrhiza: Role and applications, 359 s., [online], cit. 27.1.2016. Dostupné z WWW: https://books.google.cz/books?id=-qDfgly-I4cC&pg=PA268&hl=cs&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false.
- [43] Národní geoportál INSPIRE [online], citováno 19.1.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://geoportal.gov.cz/>.
- [44] Pisek A., Winkler E., 1959. Licht- und Temperaturabhängigkeit der CO₂-Assimilation von Fichte (*Picea excelsa* Link), Zirbe (*Pinus cembra* L.) und Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.). *Planta – An International Journal of Plant Biology*, svazek 53, číslo 1, 532–550, [online] citováno 3.2.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/425>.
- [45] Novák J., Slodičák M., 1998. Růstová reakce smrkových porostů 5. lesního vegetačního stupně na teplotní a srážkové výkyvy za období 1965–1996. Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., Zprávy lesnického výzkumu č. 1, [online] citováno 10.1.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://www1.sysnet.cz/projects/env.ris/ekodisk.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/41a042f72216b03180256856004e7de4!OpenDocument>.
- [46] Novotný R. a kol., 2014. Stav lesních půd jako určující faktor vývoje zdravotního stavu, biodiverzity a naplňování produkčních i mimoprodukčních funkcí lesů (FORSOIL). Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., 12 s., [online] citováno 14.2.2016. Dostupné na World Wide Web: http://www.vulhm.cz/sites/files/soubory/23_ekologie_lesa/QI112A168_FORSOIL_redakcne_upravena_ZZ.pdf.

- [47] OECD, 1999. Consensus document on the biology of *Picea Abies* (L.) Karst (Norway Spruce). Č. ENV/JM/mono(99)14. Paříž, 42 s., [online] citováno 17.1.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://www.oecd.org/env/ehs/biotrack/46815638.pdf>.
- [48] Orlov A., 1960. Rost i vozrastnye izmeneniya Sosuscih kornej eli *Picea excelsa* Link. Botanische Zeitung, svazek 45, vyd. A. Förstner, 888–896.
- [49] Pešková V, 2008. Houby na kořenech lesních dřevin, Mykorrhizy. Lesnická práce, ročník 12(2008), Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce s. r. o., [online] citováno 14.2.2016. Dostupné na World Wide Web: http://www.silvarium.cz/images/letaky-los/2008/2008_houby.pdf
- [50] Selosse, Roy, Těšitelová. Rostliny, které se živí houbami. Časopis Živa, č. 6/2014, 266-269, [online] citováno 1.2.2017. Dostupné na World Wide Web: <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/wood-wide-web-rostliny-na-siti.pdf>.
- [51] Skrøppa, T., 2003. European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN): Technical guidelines for genetic conservation and use for Norway Spruce *Picea abies*, 6 s., [online] citováno 15.2.2016. Dostupné na World Wide Web: http://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Publications/Technical_guidelines/856_Technical_guidelines_for_genetic_conservation_and_use_for_Norway_spruce__Picea_abies_.pdf.
- [52] Státní správa zeměměřičství a katastru, Nahlížení do katastru nemovitostí [online], citováno 27.1.2016. Dostupné z WWW: <<http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>>.
- [53] Sutton R. F., 1960. Root system morphogenesis. New Zealand Journal of Forestry Science. Svazek 10, 264–292, [online] citováno 4.2.2016. Dostupné na World Wide Web: http://www.scionresearch.com/__data/assets/pdf_file/0008/36809/NZJFS1011980_SUTTON264_292.pdf.
- [54] Symbiom, s. r. o., Technický list - ECTOVIT, výrobce Symbiom, s. r. o., Sázava 170, Lanškroun, Česká republika, [online] citováno 5.2.2016. Dostupné na World Wide Web: www.symbiom.cz.
- [55] Semelová V., Vacek S., 2010. Deficit hořčíku v lesních ekosystémech. Lesnická práce 8/10, ročník 89(2010), Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce s. r. o., [online] citováno 3.1.2016. Dostupné na World Wide Web:

- <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-89-2010/lesnicka-prace-c-8-10/deficit-horciku-v-lesnich-ekosystemech>.
- [56] Šmídová V., 2015. Rostlinné fosílie spodního karbonu ze sbírek ÚGV. Rešerše k bakalářské práci. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd, 16 s., [online] citováno 19.1.2016. Dostupné na World Wide Web: https://is.muni.cz/th/423973/prif_b/reserse_Smidova.pdf.
- [57] Šťastná P., 2007. Geomorfologické poměry vybraných vrcholů Nízkého Jeseníku. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geografie. 92 s., [online] citováno 25.1.2016. Dostupné na World Wide Web: http://geography.upol.cz/soubory/studium/dp/2007/2007_Stastna.pdf.
- [58] Šrámek V. a kol., 2013. Chemismus lesních půd ČR podle typologických kategorií - výsledky monitoringu lesních půd v rámci projektu EU „Biosoil“. Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., Zprávy lesnického výzkumu, č. 4/2013, svazek 58, 314–323, [online] citováno 4.2.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/324.pdf>.
- [59] Vohník M., 2008. Wood wide web – rostliny na síti. Časopis Živa, č. 5/2008, 199–201, [online] citováno 5.2.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/wood-wide-web-rostliny-na-siti.pdf>.
- [60] Vojenský újezd Libavá, Újezdní úřad Libavá, [online] citováno 5.2.2016. Dostupné na World Wide Web: <http://www.vojujezd-libava.cz/vojensky-ujezd-libava/d-3381>.
- [61] Wu B. a kol., 2002. Spatiotemporal transfer of carbon-14-labelled photosynthate from ectomycorrhizal *Pinus densiflora* seedlings to extraradical mycelia. *Mycorrhiza*, 12(2), 83–88, [online] citováno 17.2.2016. Dostupné na World Wide Web: https://www.researchgate.net/publication/11336369_Spatiotemporal_transfer_of_carbon-14-labelled_photosynthate_from_ectomycorrhizal_Pinus_densiflora_seedlings_to_extraradical_mycelia.
- [62] Zhou Z., Hogetsu T., 2002. Subterranean community structure of ectomycorrhizal fungi under *Suillus grevillei* sporocarps in a *Larix kaempferi* forest. *New*

Phytologist, č. 154, 529–539, [online] citováno 12.1.2016. Dostupné na World Wide Web:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1469-8137.2002.00395.x/pdf>.