

# Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ochrany lesa a entomologie



## **Verifikace vlivu hydrogelu aplikovaného k mykorhizovaným sazenicím smrku ztepilého stresovaných suchem**

Diplomová práce

Autor: Bc. Otakar Gryga

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

2022



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Otakar Gryga
Studijní program:	Lesní inženýrství
Obor:	Lesní inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Vítězslava Pešková, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra ochrany lesa a entomologie
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	<b>Verifikace vlivu hydrogelu aplikovaného k mykorrhizovaným sazenicím smrku ztepilého stresovaných suchem</b>
Název anglicky:	<b>Effect verification of the mycorrhizal inoculum and hydrogel applied to Norway spruce seedlings stressed by drought</b>
Cíle práce:	Cílem diplomové práce je zhodnotit úspěšnost inokulace smrkových sazenic houbou <i>Hebeloma crustuliniforme</i> . Vyhodnotit vliv hydrogelu a mulčovací plachetky na množství mykorrhiz a posoudit význam těchto opatření na růst a rozvoj sazenic.
Metodika:	<p>V roce 2019 byly Krušných horách (Lesní správa Klášterec nad Ohří) vysazené na dvou plochách jednoleté obalované sazenice smrku ztepilého. Polovina sazenic byla ošetřena mykorrhizní houbou <i>Hebeloma crustuliniforme</i>. Při výsadbě byl k části sazenic přidán hydrogel, k dalším sazenicím mulčovací plachetky a část sazenic byla obohacena jak hydrogelem, tak doplněna mulčovací plachetkou. Na podzim roku 2021 bude část sazenic z každé varianty vyzvednuta a následně bude provedeno vyhodnocení mykorrhizních charakteristik (podíl, hustota aktivních a neaktivních mykorrhiz). Získané výsledky budou doplněny o údaje růstových parametrů sazenic jednotlivých variantách. Získaná data budou statisticky vyhodnocena. Následně bude porovnán vliv hydrogelu, inokulace mykorrhizní houbou na růst sazenice na exponovaných stanovištích.</p> <p>Harmonogram Duben – říjen 2021 – hodnocení pokusných ploch, sběr dat v terénu, odběry vzorků, Listopad – prosinec 2021 – zpracování odebraných vzorků sazenic, sestavení získaných dat Ledna 2022 – předložení literární rešerše a zpracovaných dat ke kontrole Březen 2022 – předložení a zhodnocení výsledků a diskuze diplomové práce</p>
Doporučený rozsah práce:	50-60
Klíčová slova:	smrk ztepilý, ektomykorrhiza, inokulace, hydrogel, mulč, mykorrhiza, sazenice

## **Prohlášení**

"Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Verifikace vlivu hydrogelu aplikovaného k mykorhizovaným sazenicím smrku ztepilého stresovaných suchem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vítězslavy Peškové, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V Praze dne 10.4.2022

.....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval své vedoucí práce paní doc. Ing. Vítězslavě Peškové, Ph.D., za její cenné rady, připomínky a odborné vedení v průběhu psaní práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Mgr. et Mgr. Danieli Baťovi za pomoc při odběru a zpracování dat a také ostatním členům Katedry ochrany lesa a entomologie, kteří mi pomohli k úspěšnému dokončení této práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval celé své rodině za jejich trpělivost a oporu, kterou mi v celém procesu poskytovali.

## Abstrakt

V diplomové práci byl vyhodnocen vliv umělé mykorrhizace houbou *Hebeloma crustuliniforme* a dále vliv hydrogelu a mulčovacích rohoží na sazenice smrku ztepilého (*Picea abies*) na lokalitě stresované suchem. Výzkum byl prováděn v Krušných horách na území LČR, s. p., Lesní správy Klášterce nad Ohří. Zde byly založeny v roce 2019 dvě pokusné plochy a na každé z nich bylo vysazeno 8 variant jednoletých sazenic. Každá z variant obsahovala v různých kombinacích mykorrhizované a nemykorrhizované sazenice spolu s hydrogelem a mulčem, které sloužily jako podpůrný materiál.

Předmětem výzkumu bylo zjistit vliv umělé mykorrhizace a podpůrných materiálů na výšku, tloušťku kořenového krčku a vitalitu sazenic. Spolu s tím byly hodnoceny parametry hustoty aktivních a neaktivních mykorrhizních špiček na kořenech. Jednotlivá data byla mezi sebou porovnávána, s cílem posoudit efektivnost využití jednotlivých přípravků.

Z výsledků vyplývá statisticky neprůkazný pozitivní vliv umělé mykorrhizace na růstové parametry sazenic. Obdobného efektu bylo docíleno i u podpůrných materiálů. Významný podíl na vitalitu sazenic měl hydrogel, který dosahoval nejlepších výsledků. U hodnocení hustoty aktivních mykorrhizních špiček, byl taktéž nejlépe hodnocen hydrogel, avšak v kombinaci s mulčovací rohoží. Druhých nejlepších výsledků v tomto parametru dosahovaly sazenice, u nichž byl použit pouze hydrogel. Efektivnost hydrogelu na vitalitu a hustotu aktivních mykorrhizních špiček je tedy prokazatelná.

Pozitivních výsledků v oblasti mykorrhiz bývá obvykle dosaženo po více letech. Je proto nutné s výzkumem nadále pokračovat a za pomoci získaných dat hodnotit efektivnost použití umělé mykorrhizace společně s podpůrnými materiály v příštích letech.

**Klíčová slova:** smrk ztepilý, ektomykorrhiza, inokulace, hydrogel, mulč, mykorrhiza, sazenic

1	Úvod.....	7
2	Cíl práce .....	8
3	Literární rešerše.....	8
3.1	Mykorhiza.....	8
3.2	Druhy mykorhiz.....	9
3.2.1	Arbuskulární mykorhiza (endomycorhiza) .....	9
3.2.2	Ektomykorhizní soužití .....	10
3.2.3	Erikoidní mykorhiza.....	11
3.3	Dřeviny tvořící mykorhizu .....	12
3.4	Odolnost rostlin ke klimatickým změnám a dalším extrémům v počasí.....	13
3.4.1	Rostliny a jejich odolnost proti extrémním prostředím.....	13
3.4.2	Vliv na dřeviny v Evropě .....	14
3.4.3	Působení na mykorhizu .....	15
3.4.4	Vliv zvyšujících se teplot a CO <sub>2</sub> .....	16
3.4.5	Vliv ultrafialového záření.....	16
3.5	Hydrogel .....	17
3.6	Použití mulče při obnově lesa.....	18
3.7	Sazenice a jejich umělá mykorhizace .....	20
3.7.1	Přírodní zdroje inokulace .....	22
3.7.2	Metody inokulace .....	22
4	Metodika .....	24
4.1	Lokalizace a popis výzkumné plochy .....	25
4.2	Použitý podpůrný materiál.....	29
4.3	Metody a způsob hodnocení .....	29
4.4	Vyzvednutí sazenic a jejich hodnocení .....	30
4.5	Statistické hodnocení dat .....	32
5	Výsledky .....	33
5.1	Vyhodnocení růstových parametrů v roce 2019 a 2021 .....	33
5.2	Vyhodnocení vitality sazenic v roce 2019 a 2021 .....	37
5.3	Vyhodnocení hustoty, procentuálního podílu aktivních a neaktivních mykorhizních špiček v roce 2021 .....	40
5.4	Srovnání vitality, výšky sazenic a tloušťky kořenového krčku v rámci plochy Apolenka a Halže .....	44
6	Diskuse.....	46
7	Závěr .....	50
8	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	51
9	Přílohy.....	61

# 1 Úvod

Zvyšující se tlak na lesy způsobený globální klimatickou změnou se v poslední době stal jedním z hlavních předmětů zájmu lesníků po celém světě. I v České republice došlo vlivem kombinace faktorů, z nichž jedním z hlavních byly změny v průměrné teplotě vzduchu a rozložení srážek, k rozpadu smrkových porostů na stovkách hektarů. Prioritou se tak nyní stává provedení zalesnění těchto ploch, přičemž důležitým faktorem k posouzení vhodnosti sadebního materiálu a techniky zalesnění je celkový vliv těchto faktorů na životaschopnost sazenic.

Kromě problémů způsobených přímo změnou klimatických veličin však lesníci čelí ještě dalším výzvám, které by neměly zůstat opomenuty. Takovou výzvou je například zalesňování nelesních půd, zalesňování půd s ovlivněným chemismem a zalesňování oblastí po požárech. Zejména v souvislosti s posledním jmenovaným problémem je zkoumána možnost extenzivního využití mykorhizních hub pro zlepšení ujmavosti a životaschopnosti sazenic.

V prostředí Krušných hor se setkáme hned s několika z výše uvedených problémů. Následky imisní kalamity z druhé poloviny minulého století stále nevymizely, a přestože se imisní situace zlepšila, pH půdy zůstává velmi kyselé. Rovněž se zde objevují oblasti dlouhodobě odlesněné a oblasti s přetvořenými půdními horizonty, a to jak vlivem těžby nerostů, tak vlivem asanačních zásahů po imisní kalamitě. Volba správné techniky zalesnění a volba vhodného sadebního materiálu tak hraje klíčovou roli při zalesňování i v této oblasti, která byla rozpadem smrkových porostů vlivem změny klimatu a gradací podkorního hmyzu zasažena zatím jen okrajově.

V návaznosti na tyto dané podmínky prostředí jsme se rozhodli v prostředí Krušných hor otestovat a statisticky zhodnotit vliv několika způsobů ošetření sazenic s ohledem na jejich výslednou vitalitu.

Kromě mykorhizace, která je celou řadou autorů doporučována zvláště v oblastech se špatnou dostupností živin, byl testován také hydrogel a mulčovací plachetky, a to samostatně i v kombinaci. Výsledky této práce by mohly dopomoci při racionalizaci výsadeb a zároveň přispět k obecnějšímu povědomí o problematice mykorhizace a přínosech použitých typů ošetření při zakládání kultur.

U mykorhizy a hydrogelu bývá často zmiňován nulový nebo neměřitelný efekt, v případě hydrogelu někdy i záporný. Cílem této studie je tedy ověřit využitelnost

mykorhizace a hydrogelu houbou *Hebeloma crustuliniforme* v podmínkách horského prostředí na nelesních půdách.

## 2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je zhodnotit úspěšnost inokulace smrkových sazenic houbou *Hebeloma crustuliniforme* a dále vyhodnotit vliv hydrogelu a mulčovacích plachetek na množství mykorhiz a posoudit význam těchto opatření na růst a rozvoj sazenic.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Mykorhiza

Mykorhiza je nedílnou součástí většiny rostlinných systémů. Její důležitost je především v příjmu živin a vody. Relativně málo je však známo o faktorech, které řídí rozšíření a rozsah mykorhizní kolonizace (*NYLUND 1988*).

Hostitelská rostlina poskytuje houbě uhlíkaté sloučeniny. Dále rostlina prokazuje zvýšený příjem makroživin včetně dusíku, draslíku a hořčíku (*SMITH et al. 1997*).

Mykorhizní soužití hraje jednu ze zásadních rolí v několika terestrických ekosystémech. Díky své fyziologii a stavbě má mykorhiza velkou část aspektů společnou jak s půdními mikroorganismy, tak i s kořeny rostlin. Jednou z mnoha výhod mykorhizního soužití s vyššími rostlinami je pomoc mykorhizních hub s ukládáním uhlíku do půdy z atmosféry. Dalším přínosem je minerální výživa hostitelských dřevin. U spousty rostlin převládají různé druhy mykorhiz. Mykorhizní soužití se tak nachází u více jak 90 % všech druhů rostlin a kořeny bez mykorhiz jsou v přírodě pouze ojedinělé (*MEJSTŘÍK 1988*).

Pro vznik mykorhizního soužití je podstatné, aby daná lokalita, především tedy půda, obsahovala živé části mykorhizních hub. Platí to tak u všech druhů mykorhizního soužití. Obvykle se pak vyskytují v podobě spor nebo také jako rostoucí podhoubí. Toto podhoubí, zejména pak mycelium, se může také vyskytovat ve vegetativním stavu, tedy ve stavu, ve kterém přežívá bez hostitele. Houba tak kolonizuje kořen přímo jak ve vegetativní formě, tak i v symbiotické. Je ale zapotřebí, aby spory vyklíčily. Mycelium hub je velmi citlivé na rozdíly teplot, výkyvy vlhkosti, a především pak na sucho, které jej může zahubit. Tyto nepříznivé podmínky přežívají spory hub, které následně znovu osidlují kořeny rostlin (*GRYNDLER et al. 2004*).



Jedním z nejvíce užívaných druhů mykorhizní inokulace je houba *Pisolithus tinctorius* (CASTELLANO 1994). Jedná se o velmi účinný druh houby u semenáčků smrku v suchých oblastech (DIXON *et al.* 1987, WALKER 2001).

## 3.2 Druhy mykorhiz

### 3.2.1 Arbuskulární mykorhiza (endomykorhiza)

Tento druh mykorhiz vzniká mezi houbami třídy Zygomycetes (řád Glomales) a většinou druhů krytosemenných rostlin. Toto oboustranně výhodné soužití existuje již po mnoho milionů let. Arbuskulární mykorhizní houby byly pozorovány ve zkamenělinách devonských pūd (REMY *et al.* 1994) a předpokládá se, že asistovaly rostlinám při kolonizování země (PIROZYNSKI *et al.* 1975). Jedná se o nejvíce rozšířený a zároveň nejvíce univerzální typ mykorhizního soužití. Předpokládá se, že se nachází asi u 95 % druhů cévnatých rostlin, které dnes na Zemi rostou - jedná se asi o 11 000 rodů, 225 000 druhů (TRAPPE 1987).

Vývoj arbuskulární mykorhizy zahrnuje komplexní sérii interakcí mezi rostlinou a houbou s významným dopadem na buněčný vývoj u obou aktérů. U obou symbiontů je zapotřebí dosažení funkčního symbiotického stavu, ve kterém dochází k vzájemnému přenosu živin (HARLEY *et al.* 1983).

Mycelium arbuskulárních mykorhizních hub je nepřehrádkované (cenocytické), je tvořeno jednou velkou trubicovitou větvenou buňkou, v jejíž cytoplazmě se nachází mnoho jader. Hyfy žijí v průměru jen asi 5-6 dnů a jsou rychle nahrazovány hyfami novými. Mycelium má tedy v půdě až překvapivě krátkou dobu života (STADDON *et al.* 2003).

Arbuskulární mykorhiza prospívá svému hostiteli především zvýšeným příjmem fosfatových iontů (SANDERS *et al.* 1971). Mezi další výhody patří nejen zvýšený příjem vody, čímž rostlina prokazuje vyšší odolnost proti suchu (AUGÉ *et al.* 1994), ale také prokazuje větší odolnost vůči hmyzu živícímu se listy dané rostliny (GANGE *et al.* 1994), dále vyšší odolnost proti půdním patogenům (NEWSHAM *et al.* 1995) a vyšší toleranci proti zhoršeným půdním podmínkám, jako je slanost a přítomnost těžkých kovů (SHETTY *et al.* 1995).

V současnosti je prosazován názor, že mycelium arbuskulárních mykorhizních hub žije přísně biotrofně, z toho vyplývá, že dokáže přijímat výživu především z kořene živé hostitelské rostliny. K tomu musí houba překonat chemické obranné mechanismy, pomocí těchto chemických ochranných mechanismů se totiž rostlina chrání proti vniknutí původních mikroorganismů. Musí překonat buněčnou stěnu hostitele až do buněk kořenové kůry, a tam

následně vytvořit orgány. Pomocí vytvořených orgánů je následně schopna získávat od hostitelské rostliny energeticky bohaté látky, kterými se živí. Na závěr musí svou výživu omezit do té míry, aby neohrozila hostitele tím, že by mu odebrala příliš mnoho energie, a tím ohrozila jeho životaschopnost – kdyby se tak stalo, tak by o hostitele přišla (*GRYNDLER et al. 2004*).

### 3.2.2 Ektomykorhizní soužití

Na rozdíl od arbuskulárních mykorhizních hub nejsou ektomykorhizní (EKM) houby, stejně jako jejich hostitelé, závislé na sobě navzájem. V přírodních lesních ekosystémech jsou hlavní živiny (dusík, fosforečnany) fixovány v organické vrstvě nebo jsou obsaženy v mikroorganismech a nižších zvířatech. Stromy mají k tomuto zdroji pouze omezený přístup (*HARLEY et al. 1983*) a jejich příjem je závislý na EKM houbových partnerech. I přesto, že je humusová vrstva půdy bohatá na komplexní sacharidy (např. celulózu a lignin), většina EKM hub je závislá na jednoduchých, snadno použitelných sacharidech, které jsou obsaženy v organismech, ale jsou vzácné v lesních půdách (*WAINWRIGHT 1993*). EKM mají pouze omezenou schopnost rozkládat komplexní sacharidy, které by mohly využít jako zdroj uhlíku (*COLPAERT et al. 1996*). Zdrojem uhlíku se tak mohou stát exsudáty na kořenech rostlin, které jsou z části tvořené jednoduchými sacharidy, a které houba může přímo použít při kolonizaci povrchu kořenu. EKM houby, které tak vytváří symbiotický vztah s vyšší rostlinou, mají přístup k mnohem většímu množství uhlíku než ty, které se na žádnou rostlinu nevážou, čímž se zvyšuje jejich konkurenceschopnost (*SMITH et al. 1997*).

Při vzniku mykorhizy (orgánu vzniklého propojením symbiotické houby s hostitelskou rostlinou) se značně mění nastavení exprese genů, a to u obou partnerů. Toto platí jak u arbuskulární mykorhizy, tak u ektomykorhizy. Kořenový systém stromů a keřů se dělí různými způsoby. Na tomto základě můžeme rozeznávat dva typy kořenů. Kořeny s potenciálně neomezeným růstem do délky a kořeny s omezeným růstem a omezenou životností. Rostlinné druhy, v jejichž kořenovém systému se nachází hlavně krátké kořínky s omezeným růstem a životností, jsou heterorhizní. Téměř všechny rostlinné druhy vytvářející EKM jsou heterorhizní. Všechny krátké kořeny rostou jen po určité období, ve kterém jsou infikovány mykorhizní houbou, a téměř celý kořenový systém se stává mykorhizní. Na povrchu kořínků, které jsou infikovány mykorhizní houbou, se tvoří hyfový plášť, následně se zpomalí růst kořínků a dochází k jejich větvení. Vytváří se systém hroznovitého a jiného

větvení. Například pro druhy rodu *Pinus* je charakteristické vidličnaté větvení kořenů (dichotomické). Téměř všichni badatelé popisují mykorhizní orgány jako krátké, větvené kořínky s hyfovým pláštěm. Také je třeba upozornit, že všechny kořínky, jak krátké, tak i dlouhé, mohou být kolonizovány mykorhizní houbou. Kolonizace kořenového systému je zcela permanentní, i když mykorhiza sama o sobě může žít několik měsíců a maximálně 2 roky (MEJSTŘÍK 1988).

Vědecké informace zaměřené na výzkum EKM a jejich pozitivní vliv na kořenový systém dřevin jsou dostupné zejména z oblasti mírného pásma. O něco méně informací máme o kořenových systémech z oblasti tropů a subtropů. V mírném pásmu se EKM kořenový systém vyskytuje z největší části v nejsvrchnějších vrstvách půdy, kde je poměrně vysoký obsah humusu (MEYER 1973, MEJSTŘÍK 1975). Mykorhizní kořeny se nevyznačují značnou schopností prorůstání do hlubších vrstev půdy, naopak většinou prorůstají do nových vrstev odpadu a surového humusu (MEJSTŘÍK 1988).

### 3.2.3 Erikoidní mykorhiza

Dalším typem endomykorhizy je erikoidní mykorhyza. Rostliny, které tvoří erikoidní mykorhizu, byly umísťovány do tří čeledí Ericaceae, Empetraceae a Epacridaceae. Nyní jsou však všechny zařazovány do čeledi Ericaceae (CRAYN *et al.* 2002).

Zástupci této čeledi se vyskytují v rozmanitých biomech téměř po celé zeměkouli. Mezi tyto stanoviště patří vřesoviště na severní polokouli, středomořské lesy a tropické pralesy v některých oblastech Austrálie (CULLINGS 1996). Tato stanoviště jsou velmi odlišná z hlediska klimatických podmínek, tedy zejména z hlediska teploty a dostupnosti vody. Společným rysem je velmi nízké pH a nízký obsah živin (JAL *et al.* 1983).

Úspěch erikoidních hub a rostlin čeledi Ericaceae do značné míry závisí na schopnosti odolávat těmto nepříznivým podmínkám a vzájemně výhodném soužití (CAIRNEY *et al.* 1998).

Houby vytvářející erikoidní mykorhizní typ soužití se vyznačují polosaprophytním způsobem života. Transport uhlíku z kořene rostlin rodů *Calluna* a *Vaccinium* do mycelia byl prokázán díky radioaktivnímu značení (PEARSON A READ 1973). Transport uhlíku v opačném směru prokázán nebyl. V mykorhizních kořenech *Vaccinium makrospora* byly mezi dominantními rozpustnými látkami zjištěny dvě důležité látky, manitol a trehalóza, tyto látky byly nalezeny v nemykorhizních kořenech a nejspíš byly houbového původu. Také bylo

zjištěno, že trehalóza byla vytvořena z organických látek získaných z rostliny (*STRIBLEY A READ 1973*).

Erikoidní mykorhizní soužití vzniklo pravděpodobně před zhruba 140 miliony let. Zdá se, že se toto soužití vyvinulo ze saprotrofních askomycetů. Kořeny erikoidních rostlin jsou jemné bez kořenových vlásečnic, ty mohou mít pod rhizodermis s jedinou vrstvou korových buněk, a jsou napojeny na houbovou síť hyf. Erikoidní mykorhiza je o něco více specifická (tj. partneři – hostitelská rostlina a izolát mykorhizní houby – jsou vzájemně více vybíraví) v porovnání s arbuskulární mykorhizou a ve většině případů i v porovnání s ektomykorhizou. Určitá volnost ve výběru partnera však byla také zaznamenána (*STRAKER 1996*).

### 3.3 Dřeviny tvořící mykorhizu

Téměř všechny jemné kořeny v lesích využívají mykorhizní houby, avšak málo je známo o vlivu mykorhiz na rhizosférický cyklus (*GRAYSTON et al. 1996*). Většina lesních společenstev mírného pásma se skládá ze směsi arbuskulárních mykorhizních a ektomykorhizních druhů stromů.

Mezi dřeviny nabývající na významu díky široké ekologické nise patří v dnešní době *Tilia*, *Carpinus*, *Fraxinus* a *Acer* (*ELLENBERG 1996*). Smíšené lesy s těmito druhy stromů mohou být odolnější proti klimatickým změnám. Ve střední Evropě lze předpokládat např. zvýšení stresu suchem, díky změnám v rozložení srážek a zvyšující se teplotě (*GESSLER et al. 2007*). Očekává se, že s rostoucí druhovou rozmanitostí lesů se zvýší i diverzita mykorhizních hub, které se v těchto lesích budou vyskytovat. Tento předpoklad se týká především boreálních lesů a lesů mírného pásma (*KERNAGHAN et al. 2003*).

Některé rostliny jsou schopny využívat jak EKM, tak i arbuskulární mykorhizu. Ty druhy rostlin, které toho jsou schopny, spadají především do rodu: *Juniperus*, *Cupressus*, *Salix*, *Malus*, *Pyrus*, *Tilia*, *Accacia*, *Eucalyptus* aj. EKM jsou nejčastější pro čeledi: *Pinaceae*, *Fagaceae*, *Batulaceae* a *Myrtaceae* aj. (*HARLEY A SMITH 1983*).

EKM hraje významnou roli v zajišťování výživy hostitelské rostliny (*HARLEY A SMITH 1983*), rovněž je ale prokázáno, že rostliny se mohou vyvíjet a růst také bez houbového symbionta na kořenech. Stejně tak houbový symbiont může růst bez úzkého styku s kořeny rostlin. V praxi v přírodních podmínkách neexistují stromy a keře, které by rostly bez mykorhizního soužití. V umělých společenstvech zemědělských i lesních kultur a při vysokém stupni chemizace rostliny mykorhizu nevytváří, jelikož v půdě je nadbytek lehce

přijatelných živin. U EKM dřevin je známo, že se toto soužití může tvořit pouze tam, kde jsou v půdě přítomny EKM druhy hub. Při výsadbě lesních pásů v bývalém SSSR prokázal (LOBANOV 1953), že na stepních územích SSSR nebyly vhodné druhy symbiontů pro dub, který pak EKM nemůže tvořit. Podobných zkušeností bylo dosaženo také při zalesňování prérií v USA, stepí v Austrálii, ale i při zalesňování a osazování poldrů v ČR (MEJSTŘÍK 1975). Stejně tak bylo prokázáno, že *Pyrus communis* tvoří EKM jen v lesní půdě, v půdě zahradní nikoliv. Zpravidla EKM druhy stromů jsou z rodů *Abies*, *Larix*, *Pinus*, *Fagus*, *Quercus* a *Carpinus*. V umělých výsadbách mohou sice dřeviny růst bez EKM, avšak tento jev se může projevit sníženým přírůstem, či horším zdravotním stavem. Pokud tyto dřeviny nerostou v dobrých podmínkách, EKM nemusí vytvářet vůbec (MEJSTŘÍK 1988).

### **3.4 Odolnost rostlin ke klimatickým změnám a dalším extrémům v počasí**

#### **3.4.1 Rostliny a jejich odolnost proti extrémním prostředím**

Úroveň, jakou charakterizujeme citlivost či odolnost ektomykorhiz na působení kovů, je udána na základě pozorování zdravotního stavu rostlin a obsahu kovů u uměle mykorhizovaných semenáčků v porovnání s nemykorhizovanými, nebo na základě obsahu kovů v ektomykorhizovaných semenáčcích, odebraných z lesních půd. Výsledky těchto experimentů jsou sice různé a poukazují na mezidruhovou variabilitu, ale i přesto v mnoha případech vykazují určitou míru ochrany mykorhizovaných lesních dřevin vůči kovům, které na ně působí toxicky (BERTHELSEN *et al.* 1995, HARTLEY *et al.* 1997).

Zjištění rozdílnosti druhového spektra a početnosti EKM typů ve vzorcích půd odebraných z exhalacemi poškozených a zdravých porostů učinili (KRAIGHER *et al.* 1995). Toto zjištění dokazuje bioindikační význam EKM a zvýšení odolnosti některých typů vůči působení emisí (WALLANDER *et al.* 1998).

Téměř všem EKM houbám se také daří v podmínkách *in vitro* v teplotním rozmezí 8–27 °C, následně však v reakci na teplotu vznikají rozdíly v genotypu (HARLEY A SMITH 1983). Odolnost na vysoké teploty prokázala houba *Pisolithus tinctorius*, ta formovala EKM v největším rozsahu 34 °C, dokonce ještě při 40 °C se u ní vyskytovala velká schopnost přežití (MARX *et al.* 1971).

### 3.4.2 Vliv na dřeviny v Evropě

Extrémní klimatické jevy, jako jsou velká sucha, vlny veder a jejich kombinace zvaná „horká sucha“ (ALLEN *et al.* 2015) nebo pozdní jarní mrazíky, jsou vzácné. Mohou však mít do značné míry dopad na lesní ekosystémy. Celosvětově byly tyto podmínky označeny za hlavní enviromentální faktory, které přímo či nepřímo působí na růst, úmrtnost a obnovu široké škály stromů (ALLEN *et al.* 2015) a v konečném důsledku řídí jejich prostorové rozšíření (SMITH 2011). To platí zejména pro lesy mírného pásma s nízkou nadmořskou výškou, jejich funkci a dynamiku do značné míry formují extrémní sucha (PEDERSON *et al.* 2014). Například horké sucho v Evropě na jaře a v létě roku 2003 způsobilo náhlý a výrazný pokles produktivity a zhoršení zdravotního stavu stromů v západní a střední Evropě (CIAIS *et al.* 2005). Očekává se, že četnost a prostorový dosah extrémně suchých období se bude nadále rozšiřovat (BALLESTER *et al.* 2010).

Druhy mírného pásma jsou navíc vysoce citlivé na pozdní jarní mrazíky během vzniku olistnění (BIGLER *et al.* 2018). Načasování olistnění stromů, ve vztahu k jarním mrazům, může být často klíčovým prvkem ovlivňujícím výškový přírůst, či produkci semen (KÖRNER *et al.* 2016). Vysoké riziko poškození mrazem se vyskytuje zejména tehdy, pokud dojde k výskytu tzv. falešného jara. To je podmíněno hlavně neobvykle dlouhým a teplým obdobím na počátku jara. (CHAMBERLAIN *et al.* 2019). K tomuto jevu došlo v roce 2017 v širokých oblastech západní a střední Evropy (VITASSE *et al.* 2018).

Do jaké míry se může změnit četnost jarních mrazů zůstává zatím nejisté, stejně tak jako závažnost změn pro různé lokality a úroveň působení na jednotlivé druhy. Stromy mírného pásma tak mohou v nižších polohách v příštích desetiletích více trpět suchem (PEDERSON *et al.* 2014), stromy ve vyšších polohách mohou být stále častěji vystavovány jarním mrazům (VITASSE *et al.* 2018). Za účelem přizpůsobení lesního hospodářství a rozvoje ekosystémových služeb, by mělo být v blízké budoucnosti největší prioritou studium klimatických změn a jejich dopad na lesní ekosystémy. Je třeba posoudit krátkodobou a dlouhodobou reakci hlavních druhů stromů, jako je jejich odolnost na extrémní sucha a jarní mrazy, které jsou mnohem méně studovány (LINDNER *et al.* 2010).

Jarní mrazíky mohou silně poškodit nové listy, což vede k dramatickému poklesu fotosyntetické aktivity zejména u opadavých druhů stromů, následně dochází k výraznému poklesu rezerv a alokací k radiálnímu růstu (AUGSPURGER 2011). Během výjimečně

dlouhého nebo extrémního sucha mohou být stromy nuceny uzavřít průduchy, aby ušetřily vodu, což může současně způsobit úbytek uhlíku. Snížený přísun vody může také zapříčinit kavitaci xylému (*CHOAT et al. 2012*). V důsledku toho může sucho předčasně ukončit xylogenezi (*FERNÁNDEZ-DE-UÑA et al. 2017*) nebo také ovlivnit radiální růst v následujících letech (*ANDEREGG et al. 2015*). Přestože dopady na růst a zdravotní stav stromů mohou být velmi různorodé, s ohledem na specifické stanovištní podmínky, druhově specifickou odolnost atd., panuje shoda na tom, že v následujících letech lze očekávat výrazný dopad na růst a fungování stromů vlivem změněných klimatických podmínek (*D'ORANGEVILLE et al. 2018*).

Kyselá srážky mohou značně poškodit kořeny, můžou totiž způsobit zvýšenou kyselost půdy, ovlivnit přístup živin či zvýšit rozpustnost těžkých kovů. V laboratorních podmínkách umělé okyselení dospělého porostu *Picea sitchensis* způsobilo mimo jiné také zvýšení aktivní houbové biomasy ve vrchní půdní vrstvě (*RUESS et al. 1996*). Lesy, které jsou nadměrně zatíženy emisemi, jsou chudší na druhovou biodiverzitu a početnost plodnic EKM hub (*Pavlík 1999*).

### **3.4.3 Působení na mykorhizu**

Kořeny mykorhizních rostlin plní několik funkcí, z nichž nejzásadnější je absorpce živin (*DOUDS et al. 2000*). Kolonizace mykorhizními houbami redukuje vliv globálního oteplování a změn životního prostředí na rostliny (*SMITH AND READ 2008*).

Změna klimatu spojená se změnou vlastností půdy vyvolává změny v růstu a vývoji rostlin. Ztráta vitality rostlin tak může ohrozit existenci mykorhizních hub (*KAMEL et al. 2017*). Podobně tak i změny prostředí, které jsou škodlivé pro mykorhizní houby, mohou omezit vývoj fotobiontů, a to zejména u rostlin s vysokou mykorhizní závislostí (*VAN DER HEIJDEN 2002*).

Půda je ovlivněna rostlinami stejně tak jako mykorhizními houbami, které se podílejí na struktuře a tvarování půdního prostředí (*AMBRIZ et al. 2010*). Snížení hustoty kořenů rostlin a mycelia hub, tak neovlivňuje pouze mykorhizu, ale také narušuje kvalitu půdy a produktivitu daného ekosystému (*WAGG et al. 2011*).

Několik studií demonstrovalo a následně prokázalo vliv změn globálního klimatu na půdu a rostliny v prostředí, ve kterém se nachází mykorhizní houby. Je potřeba pochopit,

jakým způsobem rostliny a mykorhizní houby reagují na zvyšující se teploty, a nadále pak tuto reakci sledovat.

### **3.4.4 Vliv zvyšujících se teplot a CO<sub>2</sub>**

Dalším faktorem prostředí, který se v posledních dekadách proměňuje, je koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře (*ROSILAINE CARRENHO et al. 2020*).

Přímý vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře na půdní prostředí je však nepravděpodobný, protože půda má 1 015x vyšší hodnoty CO<sub>2</sub> než je v atmosféře (*COAKLEY et al. 1999*). Nicméně několik studií prokázalo, že v různých situacích má plyn stimulační účinek na vývoj mykorhizních hub. Souběžně zvýšení CO<sub>2</sub> a teploty souvisí se zvýšením infekčnosti například u arbuskulárních mykorhizních hub (*RILLIG AND ALLEN 1998*), kolonizací a růstem mycelia (*TRESEDER A ALLEN 2000*).

Účinky zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub> se také mohou v průběhu času lišit. Arbuskulární mykorhizní houby na počátku zvyšují nárůst kolonizace a mycelia. Avšak tenhle jev se v průběhu času snižuje (*STADDON et al. 1999*). Zvýšením CO<sub>2</sub> lze také stimulovat produkci spor (*WOLF et al. 2003*).

Přibývající hladina CO<sub>2</sub> u ektomykorhizních hub zvyšuje počet kořenových špiček jak u jehličnatých, tak i u listnatých dřevin (*CUDLIN et al. 2007*). Tento stimul rovněž přispívá k tvorbě sporokarpů, které vykazují vyšší biomasu (*ANDREW AND LILLESKOV 2009*).

### **3.4.5 Vliv ultrafialového záření**

Ultrafialové záření (UVB) o vlnové délce 280-315 nm. může proniknout do povrchových půdních horizontů zhruba do hloubky 100 mikrometrů. Předpokládá se, že půdní mikrobiální společenství tímto není dotčeno. Toto platí pro arbuskulární a ektomykorhizní houbová společenstva. Očekává se však, že reakce na tento jev se bude lišit od typu mykorhiz a druhu rostlin (*ROSILAINE CARRENHO et al. 2020*).

Houby s epigeickými sporokarpy mohou být ultrafialovým zářením ovlivněny více, avšak žádná studie zatím nehodnotila, zda se účinky ektomykorhizního soužití mění při kontaktu s těmito paprsky. Je ale známo, že tento environmentální faktor nepodporuje rozmanitost morfotypů a četnost kolonizovaných kořenů (*NEWSHAM et al. 1999*).

U arbuskulární mykorhizy byla expozice rostlin ultrafialovému záření spojená s poklesem mykorhizální kolonizace a podílem arbuskulí (*JOHNSON et al. 2003*). Pokles kolonizace může být spojen se změnami vyvolanými v důsledku radiace, které ovlivňují



produkcii rostlinných hormonů, jako je auxin (*ROS AND TEVINI 1995*), které jsou známé svou reaguací akribuskulárního mykorhizního vývoje (*BEYRLE 1995*).

### 3.5 Hydrogel

Rostliny jsou v nynějších zhoršujících se klimatických podmínkách vystaveny častému stresu v důsledku nedostatku vody (*DI CASTRI 1973*). Za těchto nepříznivých podmínek je odumření sazenic po přesazení v prvním roce vysoká (*VILAGROSA et al. 1997*). Očekává se, že se tato situace v budoucnu zhorší podle projekce globálních změn klimatu Evropy, které předpokládají zvyšující se teploty a frekvence sucha (*IPPC 2007*). Je zde tedy potřeba zlepšit techniku obnovy lesů na ohrožených stanovištích, počínaje aplikací inovativních technologií s cílem zlepšit vitalitu rostlin a snížit tak jejich případnou mortalitu (*CORTINA et al. 2006*). V tomto kontextu je snaha zajistit sazenicím po přesazení dostatečný přísun vody. To by umožnilo sazenicím udržet dostatečnou hydrataci, snížilo stres po přesazení a zajistilo lepší přísun vody v prvním měsíci (*CHIRINO et al. 2009*).

Super absorpční hydrogely nazývané také jako SAH (superabsorbent hydrogels), jsou zesíťované trojrozměrné polymerní sítě, které mohou absorbovat a zadržovat velké množství vody. Zároveň rozpouští molekuly v tekutém stavu díky různým hydrofilním skupinám, jako jsou karboxylové skupiny, amino skupiny a hydroxylové skupiny, vázající se na polymer hydrogelu (*SPAGNOL et al. 2012*). Tento hydrofilní polymer může zvýšit schopnost zadržovat vodu v půdě a snížit tak stresový faktor spojený s nedostatkem vláhy. Komerčně dostupný SAH má schopnost pohlcovat vodu v rozmezí od 100-500 g na jeden gram SAH (*AKHTER et al. 2004*). V době srážek SAH absorbuje a zadržuje obrovské množství vody. Jak půda během období sucha vysychá, absorbovaná voda v SAH se uvolňuje do půdy a kořeny rostlin ji mohou využít (*ABHISEKH et al. 2020*).

Dále existují dvojité síťové hydrogely, které byly nedávno navrženy jako adsorbenty (*SUN et al. 2012*). Tyto hydrogely jsou získány křížovým propojením hydrofilních polymerů, které zadržují velké množství vody a jejich dvousíťová struktura efektivně zlepšuje pevnost hydrogelu (*DRAGAN 2014*). Materiály, které se v současnosti používají k syntéze adsorbentových hydrogelů, jsou chitosan, modifikovaný škrob, modifikovaná celulóza, kyselina akrylová, akrylamid a polyvinyl alkohol (*CHU et al. 2015*). Hydrogel vyrobený z těchto materiálů obsahuje velké množství polárních skupin jako jsou -OH, -COOH, -NH<sub>3</sub> apod. Hydrogely s vysokým obsahem -COOH a -NH<sub>3</sub> mají tendenci vykazovat vyšší kapacitu adsorpce (*ZHIKE et al. 2021*).

V současné době je široká škála organického i anorganického materiálu, např. rašelina, kokosové vlákno, vermikulit, perlit, písek, jíl, kompostovaný lesní odpad, dobytčí hnůj apod. Tyto materiály jsou využívány k výrobě různého pěstebního materiálu využívaného jak v lesních školkách, tak i v lesních ekosystémech. Nicméně jen zřídka byly použity hydroabsorpční polymery jako Stockosorb® (*CHIRINO et al. 2011*).

Stockosorb® je draselný amonný polyakrylát/polyakrylamidový kopolymer. Jedná se o polymer s vysokou schopností absorbovat velký objem vody. Termín hydrogel, s jakým bývá Stockosorb® spojován, se někdy používá k popisu zesíťovaných kopolymerů díky schopnosti krystalů, které absorbují vodu a vytváří konzistenci podobnou gelu (*AMERICAN SOIL TECHNOLOGIES INC. 2010*). Hydrogel dokáže absorbovat objem vody 400krát větší jeho vlastní hmotnosti (*BOURANIS et al. 1995*), a díky této vysoké schopnosti zadržovat vodu byl úspěšně použit např. v zemědělství, či při obnově lesních porostů (*VIERO et al. 2000*).

Kromě toho že hydrogel samotný uvolňuje vodu, může také zvýšit hladinu podzemní vody (*CHATZOUDIS et al. 1999*). Nicméně nadměrné množství hydrogelu může v některých případech působit negativně a způsobit vyšší mortalitu sazenic. Tato vysoká úmrtnost může být způsobena předávkováním hydrogelem. Toto tvrzení platí u hydrogelových granulí. Déšť způsobí, že hydrogelové granule nabobtnají a vytlačí sazenici nahoru. Aplikace hydrogelových granulí je jednoduchá, avšak je velmi složité nezpůsobit předávkování z důvodu vysoké bobtnavé kapacity hydrogelu. 7 gramů hydrogelu dokáže teoreticky absorbovat až 2 litry vody. Není tedy zcela jasné, jaká je optimální dávka granulí STOCKOSORB při aplikaci do sázecí díry. Krom toho, pokud nebude po výsadbě a současné aplikaci hydrogelu dostatek srážek, nedojde k absorpci vody a aplikace nebude mít žádný vliv na přežití sazenic (*SARVAŠ et al. 2007*).

### **3.6 Použití mulče při obnově lesa**

Vlivem intenzivního využívání půdy dochází k její degradaci, a to na více jak 2 miliardách hektarů po celém světě (*POTAPOV et al. 2011*). V mnoha oblastech tak hrozí nebezpečí erozí. V těchto podmínkách a zejména v polosuchých oblastech, je spontánní obnova lesních porostů omezena pomalou dynamikou růstu spojenou s nepravidelností a nízkou dostupností vody. Problémem je také vysoká míra evapotranspirace (*VALLEJO et al. 2012*). Očekává se, že se tyto podmínky v nadcházejících desetiletích zhorší vzhledem k předpokládanému vzestupu teplot, vln veder a poklesu srážek (*INTERGOVERNMENTAL*

PANEL ON CLIMATE CHANGE 2014). Obnova porostů tak bude silně záviset na počasí a podmínkách dané lokality, jako jsou půdní prvky, strmost svahu, expozice svahu apod. (ALRABABAH *et al.* 2007).

Jedním ze způsobů, jak omezit vliv extrémního stanoviště, je omezení evapotranspirace za použití mulčovacích plachetek. Jednou z výhod této metody je, že nedochází k ovlivnění chemického prostředí půdy. Podstatou je zakrytí půdy kolem sazenic neprůhledným materiálem (MAGGARD *et al.* 2012).

Mulčovací plachetky, známé jako podložky nebo rohože pro plevel, také redukuje konkurenceschopnost nežádoucí vegetace. Tato technika spočívá v zakrytí půdy kolem sazenic neprůhlednou vrstvou, která brání pleveli v klíčení a usazení se tak v blízkosti sazenice (MAGGARD *et al.* 2012). Kromě hubení plevelu také regulují mulčovací rohože teplotu půdy a snižují ztrátu půdní vody způsobenou evapotranspirací, čímž se zvyšuje vlhkost půdy (BENIGNO *et al.* 2013). Na dané lokalitě se tak zlepšuje stabilita půdy a dostupnost živin, což v konečném důsledku omezuje erozi půdy (JIMÉNEZ *et al.* 2016). Díky těmto faktorům by se tak mohl zvýšit zájem o tuto techniku vzhledem k snížené nutnosti opakujícího se chemického nebo mechanického pletí. Široká škála mulčovacích materiálů umožňuje doladit požadované vlastnosti s ohledem na vodu, propustnost vzduchu a teplotní dynamiku (COELLO *et al.* 2017).

Nejčastějším mulčovacím materiálem bývá plast, díky nízkým nákladům na jeho pořízení, dopravu a instalaci (ARENTOFT *et al.* 2013). Nicméně jeho hlavní nevýhodou je jeho neudržitelnost s ohledem na životní prostředí. Na konci své životnosti je nutno jej odstranit, aby se zabránilo znečištění dané plochy. Řešení tohoto problému spočívá v použití biologicky rozložitelných mulčovacích materiálů z obnovitelných zdrojů surovin, jejichž dostupnost na trhu nyní stoupá. Často jsou vyráběny z rostlinných vláken nebo bioplastů (ÁLVAREZ-CHÁVEZ *et al.* 2012). Tyto materiály nemají negativní dopad na životní prostředí a není třeba je z dané plochy odstraňovat, jako je tomu u plastových mulčovacích rohoží, jelikož se jedná o biologicky odbouratelný materiál (EVROPSKÁ KOMISE 2015). Je však třeba zmínit, že mnohé možnosti nových materiálů jsou ve fázi prototypu a vyžadují testování, kterým se posoudí jejich potenciál (ÁLVAREZ-CHÁVEZ *et al.* 2012).

Kombinované použití mulčů a půdních kondicionérů by umožnilo zlepšit pět prioritních faktorů, a to je: zvýšení objemu zakořeněné půdy, větší dostupnost živin, vyšší vlhkost půdy, udržení vody v půdě a snížení zarůstání okolní vegetací (CORTINO *et al.* 2011).

### 3.7 Sazenice a jejich umělá mykorrhizace

Umělá mykorrhizace sazenic se využívá zejména tam, kde hrozí, že symbiotické houby nebudou v daném prostředí přítomné v dostatečném množství, nebo kde je půda chudší na přítomnost minerálních látek. Zde je snaha obohatit prostředí o konkrétní druhy hub. Obecně je cílem zajištění lepšího zdravotního stavu sazenic, stejně tak jako zvýšení odolnosti vůči abiotickým i biotickým faktorům.

Jen několik mykorrhizních hub vytváří stejně prospěšné prostředí pro hostitele, a proto je třeba v prvním kroku zvolit vhodnou houbu pro umělou inokulaci (*KOWALSKI 2007*). Je třeba pochopit nároky jednotlivých mykorrhizních hub a soustředit se především na konkurenční schopnosti, stejně tak jako na schopnost přežití v extrémních podmínkách (*MARIN 2011*). Mezi tyto podmínky patří například kyselé půdy, půdy s nízkým obsahem živin, či velmi vysychavá stanoviště. Jedním z dalších požadavků kladených na mykorrhizní houby je jejich odolnost vůči pesticidům, dusíkatým hnojivům, vápnění nebo odolnost při technické úpravě půdy (*KOWALSKI 2007*).

I přesto, že se v přírodě nachází velké množství mykorrhizních hub v soužití s hostitelskou rostlinou, jen některé druhy si vedou stejně dobře jak v laboratorních podmínkách, tak i při použití přímo v terénu (*GRYNDLER et al. 2004*). Někteří autoři, např. (*BREARLEY 2011*), přitom považují přežití sazenic za nejméně tak významné jako přírůsty, přičemž význam tohoto parametru se ještě zvyšuje v případě nepříznivých stanovišť. (*BREARLEY 2011*) dále zmiňuje, že proto se výzkum nyní zaměřuje na sledování přežití inokulovaných sazenic po přesazení do volné přírody. Z většiny výzkumů vyplývá, že je vhodné a nejefektivnější vysazovat inokulované sazenice na stanoviště, kde se nachází houby, kterými jsou již semenáčky ošetřeny (*KOWALSKI 2011*). *KOWALSKI (2007)* uvádí, že je vhodné, aby mykorrhizní houba byla schopná přežít v půdě 4-6 týdnů, aniž by byla v kontaktu s kořeny jejího hostitele. Dlouhověkost odlišných druhů inokula by měla být jedním z posuzovaných faktorů při výběru vhodného symbionta (*KOWALSKI 2007*).

Jednou z dalších důležitých fází umělé inokulace sazenic je izolování houbových kultur a jejich kultivace. Houbová složka a její tkáň se izoluje především od mladých rostlin. Je potřebné, aby se jednalo o zdravé rostliny a aby byla složka izolována ihned po sběru (*REPÁČ 2011*).

Výrobou inokula, která podpoří komerční složku mykorrhizace, se zabývá mnoho národních i mezinárodních subjektů. V Evropě pro tento účel vznikla organizace s názvem

„Federace evropských výrobců mykorhizních hub (FENFiP)“, jejichž snahou byl rozvoj technologií a kvality v oblasti produkce mykorhizních přípravků. Bohužel však většina produkovaných výrobků se zaměřuje na oblast zahradnictví a zemědělství (REPÁČ 2011). Jedná se především o kombinaci vegetativních a sporových vakcín (PAR DUPONNOIS *et al.* 2011).

Kromě samotné houby jsou součástí preparátů také přísady podporující růst houby - například výtažky z mořských řas (např. BioAlgeen), nebo také materiály na fosilní bázi (např. Alginit) (REPÁČ 2011).

### **Alginit a Bio-Algeen**

U Bio-Algeenu jde o preparát, jež je na bázi řas. V případě Alginitu se jedná o fosilní materiál, který je vyráběn ze sladkovodních kvartérních sedimentů (KUPKA *et al.* 2015). Z výsledků pak bylo zjištěno, že sazenice, při jejichž ošetření byl použit Bio-Algeen, vykazují zvýšený růst nadzemní části (KLEINOVÁ 2015). Následně bylo prokázáno, že oba přípravky vykazují významný přínos při pěstování vhodného sadebního materiálu v lesních školkách (Bio-Algeen) nebo při zalesňování zemědělsky využívaných půd (Alginit) (KUPKA *et al.* 2015).

### **Ectovit**

Jde o mykorhizní přípravek na bázi gelu, jehož výrobcem je společnost SYMBIOM s.r.o. Jeho příprava spočívá ve smíchání suché složky (rašelina ve směsi s perlitem, která obsahuje spory hub, práškový hydrogel a přírodní složky) s přiměřeným obsahem vody a houbovým myceliem. Přírodní látky v přípravku jsou nezbytnou složkou pro vznik a podporu mykorhiz. Jde o směs dusíku, hořčíku, draslík a výtažků z mořských řas (PEŠKOVÁ, TUMA 2010). Přípravek obsahuje 4 druhy mykorhizních hub – *Laccaria proxima*, *Hebeloma velutipes*, *Paxillus involutus*, *Cenococcum geophilum*. A dále pak 2 druhy ektomykorhizních hub – *Sclerodermacitrinum* a *Pisolithus arrhizus*. Kombinace s hydrogelem zlepšuje přilnavost směsi na kořeny rostlin (REPÁČ 2013).

### **Vambac**

U výrobku Vambac se jedná o mykorhizní přípravek s obsahem 5 druhů ektomykorhizních hub (*Paxillus*, *Rhizopogon*, *Hebeloma*, *Cenococcum*, *Scleroderma*), jehož výrobcem je firma Biotechnology a. s. (HOLUŠA *et al.* 2015). Přípravek a jeho účinnost byla zkoumaná na sazenicích dubu, kde výsledky hustoty aktivních mykorhizních špiček, stejně

tak jako výška nadzemní části a průměr kořenového krčku, byly výrazně lepší v porovnání se sazenicemi, které přípravkem ošetřeny nebyly (*HOLUŠA et al 2015*).

### **Mykorhizní tablety**

Méně častou metodou inokulace, jež využívá jak přírodní, tak i komerční způsob inokulace, jsou mykorhizní tablety. Do kořenových zón semenáčků jsou aplikovány tablety, jejichž složení se skládá zejména ze spor nebo mycelia mykorhizních hub, jež však neobsahují žádné podpůrné látky pro jejich růst (*BREARLEY 2011*).

#### **3.7.1 Přírodní zdroje inokulace**

Další možností obohacení substrátu o symbiotické houby je přimíchání nějaké složky, která houby obsahuje přirozeně. Jde především o humus, půdu, ztrouchnivělý dřevní materiál apod. Jedná se o jednoduchý způsob, jehož nevýhodou může být nekontrolovatelné složení hub, nacházejících se v inokulu. V tomto případě jde především o možnost obsahu škodlivých organismů v přípravku (*REPÁČ 2011*). Výhodou naopak je, že získáním materiálu z prostředí výsadby může dojít k inokulaci houbami, které jsou specifickým podmínkám daného prostředí nejlépe přizpůsobeny. Je však třeba zmínit, že ze zákona č. 289/1995 Sb. je v lesích zakázáno narušovat půdní kryt, či hrabat stelivo (*zakonyprolidi.cz*).

#### **3.7.2 Metody inokulace**

Sazenice mohou být naočkovány inokulem různými způsoby. Buď před jejich samotným výsevem, nebo v průběhu jejich vzklíčení. Mezi nejčastější metody bývají aplikovány tyto způsoby (*REPÁČ 2011*):

- semena sazenic se namáčí před samotným výsevem;
- spory se smíchají, např. s navlhčeným pískem, a poté promísí s půdou;
- rozdrcení sporokarpů a jejich následné smíchání s půdou;
- spory se aplikují přímo do půdy v bezprostřední blízkosti sazenic s následným vyplavováním do jejich kořenové zóny;
- zavlažování, vstřikování substrátu do růstové zóny nebo máčení kořenového systému sazenice ve vodní suspenzi.

Doporučuje se, aby před samotnou inokulací byly použity vhodné fungicidy, díky kterým můžeme zabránit nežádoucím účinkům, které by mohly způsobit půdní

mikroorganismy nebo jiné ektomykorhizní houby, jejichž výskyt je v přírodě běžný a mohly by tak svou konkurencí negativně ovlivnit samotnou inokulaci. Použití vhodných fungicidů tak zajišťuje bezpečný vývoj inokula (*REPÁČ 2011*).

## 4 Metodika

Založení pokusu probíhalo v jarním období roku 2019 na vysychavých stanovištích v oblasti Krušných hor. K testování sazenic pro jejich přežití v extrémních podmínkách byly využity dva podpůrné materiály, které udržují vlhkost v půdě - hydrogel a mulčovací podložky. Část sadby byla inokulovaná mykorhizní houbou **slzivka oprahlá** – *Hebeloma crustuliniforme*, přičemž obdobné sazenice byly použity při obnově lesa v oblasti Rudy Raciborskie, Polsko; po rozsáhlém lesním požáru zhruba před 30 lety (KOWALSKI 2007).

Dvě výzkumné plochy byly založené na majetku LČR, s. p., lesní správa Klášterec nad Ohří v oblasti Krušných hor. Rozloha každé plochy byla 0,15-0,2 ha. Plochy byly oplocené pro zamezení poškození sazenic okusem zvěří. Některé varianty sazenic byly ošetřeny hydrogelem, který byl aplikován ke kořenům sazenic v dávce 3-4 g na 300 ml vody. K dalším variantám byla aplikována mulčovací rohož, jejíž hlavním cílem bylo zejména udržet vlhkost v půdě a zabránit tak rychlému vysušení půdy kolem kořenů sazenice. Tato ošetření byla různě kombinována, podle čehož byly sazenice rozděleny na varianty M1, M2, M3, M4 a B1, B2, B3, B4 (Tab. Xx). Na každé ploše bylo založeno 8 variant po 81 sazenicích. Jedna plocha zahrnovala 648 sazenic. V celkovém počtu bylo použito 1 296 sazenic.



## 4.1 Lokalizace a popis výzkumné plochy

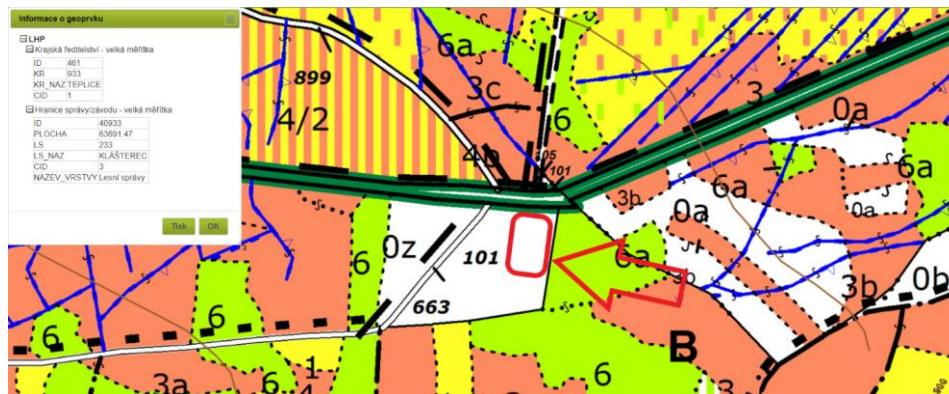


Obr. 1: Umístění plochy č. 1 Halže (Zdroj: Geoportál, LČR, s. p.)

### Plocha číslo 1 Halže

Jedná se o rovinný terén s travním a bylinným pokrytím s nulovým zastoupením dřevin. Pouze v sousední části se vyskytují dřeviny bříza bělokora (*Betula pendula*), smrk pichlavý (*Picea pungens*) a jedle bělokora (*Abies alba*).

Daná lokalita se řadí do lesního typu: 7K1. Název lesního typu: Kyselá buková smrčina modální. Cílový hospodářský soubor 73a. Přírodní lesní oblast 1. Pásmo ohrožení imisemi: A.



Obr. číslo 2: Umístění plochy č. 2 U Apolenky (Zdroj: Geoportál, LČR, s. p.)

### Plocha číslo 2 Apolenka

Jedná se o rovinný terén s travním a bylinným pokrytím s nulovým zastoupením dřevin. V sousední části se vyskytují dřeviny smrk ztepilý, smrk pichlavý a jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*).

Daná lokalita se řadí do lesního typu: 7K5. Název lesního typu: Kyselá buková smrčina vlhčí. Cílový hospodářský soubor a podsoubor 73a. Přírodní lesní oblast 1. Pásmo ohrožení imisemi A.



Obr. číslo 3: Umístění plochy č. 1 Halže s již vysazenými a ošetřenými sazenicemi přípravkem Aversol, proti okusu zvěří.



Obr. číslo 4: Umístění plochy č. 2 U Apolenky s již vysazenými a ošetřenými sazenicemi přípravkem Aversol, proti okusu zvěří.

## **Charakteristika jednotlivých variant aplikovaných k sazenicím**

1. **Varianta M1**-s mykorhizním ošetřením, bez mulče, bez hydrogelu
2. **Varianta M2**-s mykorhizním ošetřením, s mulčem, bez hydrogelu
3. **Varianta M3**-s mykorhizním ošetřením, bez mulče, s hydrogelem
4. **Varianta M4**-s mykorhizním ošetřením, s mulčem, s hydrogelem
5. **Varianta B1**-bez mykorhizního ošetření, bez mulče, bez hydrogelu
6. **Varianta B2**-bez mykorhizního ošetření, s mulčem, bez hydrogelu
7. **Varianta B3**-bez mykorhizního ošetření, bez mulče, s hydrogelem
8. **Varianta B4**-bez mykorhizního ošetření, s mulčem, s hydrogelem

Sazenice byly vypěstovány ve státní lesní školce Nędza v Polsku (Nadleśnictwo Rudy Raciborskie), která se zabývá výhradně pěstováním krytokořených sazenic. V tomto případě se jednalo o jednoleté krytokořenné sazenice smrku ztepilého. Osivo a datum výsevu je jednotné. Osivo pochází z nadmořské výšky 580-840 m n. m.

Číslo certifikátu osiva: **MR/48590/16/PL**

Registrační číslo množitelského porostu: **MP/1/49321/10**

Spon výsadby byl 1x1m.

Mykorhizovaná krytokořenová výsadba byla využita na mnohých místech v Polsku. Díky tomuto druhu výsadby se podařilo založit lesní porosty na plochách zasažených požárem, emisemi, v bývalých povrchových dolech, atd. Jedná se o etablovanou metodu produkce sazenic, přičemž tato technologie je v ČR stále nedostupná, což je hlavním důvodem využití importovaného sadebního materiálu (*KOWALSKI 2007*).



Obr. číslo 5: Smrkové sazenice bez inokulace



Obr. číslo 6: Smrkové sazenice s mykorhizním inokulem

## 4.2 Použitý podpůrný materiál

### Mulčovací rohož EKOCover 0,7x0,7 m. Specifikace výrobku výrobcem:

- nahrazuje plasty, výrobky z juty
- zcela biologicky odbouratelná
- zabraňuje růstu plevelů, uchovává vodu, snižuje počet uhynulých rostlin, urychluje růst rostlin
- životnost rohože je rozdílná v závislosti na terénu, klimatických podmínkách a způsobu aplikace

### Hydrogel – STROCKSORB 660 MEDIUM. Specifikace výrobku výrobcem:

- STROCKSORB 660 MEDIUM je organická polymerní sloučenina ve formě mikrogranulátu - Akrylamid/kopolymer kyseliny akrylové, draselná sůl ( $C_6H_7KO_4$ ), která je schopná do své struktury vázat extrémní množství vody, kterou je schopna v průběhu vegetace předávat kořenům vysázených rostlin. V průběhu dešťů je schopen na sebe vázat dešťovou vodu a zabránit tak jejímu proplavení do spodních půdních vrstev. V období sucha ji opět uvolňuje pro kořeny pěstovaných rostlin. Po aplikaci na dno jamek a jejím promíchání s okolní půdou urychluje kontakt kořenů vysazovaných rostlin s okolní půdou a přispívá ke zmírnění přesazovacího šoku.

### Výhody použití:

- chrání rostliny před vlivem sucha,
- podporuje zdravý a intenzivní rozvoj kořenového systému,
- významně snižuje podíl sazenic a přísad, které v důsledku přesazování odumírají,
- žádné fyto toxické účinky na ošetřené rostliny.

## 4.3 Metody a způsob hodnocení

Výška sazenic byla měřena a hodnocena v centimetrech, tloušťka v milimetrech. Dále probíhalo počítání počtu výhonů u každé jednotlivé sazenice. Jejich vitalita byla následně stanovena podle metody AOPK, kterou zpracovala v r. 2013-2015 Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, s následující stupnicí (Kolařík *et al.* 2015):

- 1. výborná až mírně snižená,
- 2. zřetelně snižená (stagnace růstu, prosychání koruny na periferních oblastech koruny),
- 3. výrazně snižená (začínající ústup koruny, odumřelý vrchol koruny),
- 4. zbytková vitalita (větší část koruny odumřelá),

- 5. suchý strom.

Tato data byla následně použita k porovnání a vyhodnocení účinnosti inokulovaných a neinokulovaných sazenic, které byly ošetřeny dalšími přípravky, jejichž účinek by měl zajistit jejich přežití a větší výškový i tloušťkový přírůst.

#### **4.4 Vyzvednutí sazenic a jejich hodnocení**

V září roku 2021 proběhlo opětovné měření výškových a tloušťkových parametrů všech sazenic na obou plochách společně s jejich vyzvednutím. Z každé varianty bylo vyzvednuto 10 sazenic, dohromady 80. U každé sazenice byla dále hodnocena délka nejdelšího kořene (cm), výška nadzemní části (cm), tloušťka (mm) a délka kulové části kořene (cm).



Obr. číslo 7: ukázka sazenice po vyzvednutí

## Hodnocení sušiny

Jednotlivé sazenice a jejich nadzemní části byly nastříhány na menší části a společně s jehlicemi byly dány na petriho misku. Sazenice pak byly vloženy dosušárny, kde byly vystaveny teplotě 80 °C po dobu 4 hodin. Po vysušení proběhlo vážení všech 80 vzorků v gramech.



Obr. číslo 8: sazenice při sušení

## Hodnocení mykorhizních špiček

U každé sazenice byly ostrihány jemné kořínky, které byly následně vloženy do skleněné nádoby s identifikačním popiskem dané sazenice. Dále se do skleněné nádoby nalil roztok glutaraldehydu v koncentraci 0,02 %, který sloužil jako konzervant a kořínky byly uloženy do chladu.

Následné hodnocení mykorhizních špiček probíhalo pod binokulární lupou. Vzorek kořínku byl vyjmut, důkladně opláchnut, čímž byl zbaven přebytečných nečistot a ponechán v nádobě s vodou, aby nedošlo k vyschnutí kořínků, což by mohlo zkreslit výsledky při následném měření. Poté bylo postupně odebráno 20 pěticentimetrových segmentů kořínků a na milimetrovém papíru bylo změřeno rozvětvení kořenů, které bylo hodnoceno v centimetrech. Po změření následovalo počítání aktivních a neaktivních mykorhizních špiček, jejichž determinace probíhala detailní prohlídkou kořene. Za aktivní byly považovány špičky s rozvinutým pláštěm, turgorem, Hartigovou sítí a viditelným tzv. bílým „kloboučkem“ světlejší barvy na jejich konci. Opakem pak byly neaktivní mykorhizní

špičky, u nichž byla patrná ztráta turgoru, jejich povrch byl svrasklý, chyběla zde Hartigova síť a houbový plášť. Hodnocen byl i součet aktivních a neaktivních mykorhizních špiček.



Obr. číslo 9: aktivní mykorhizní špičky pod binokulární lupou při 40x zvětšení

#### **4.5 Statistické hodnocení dat**

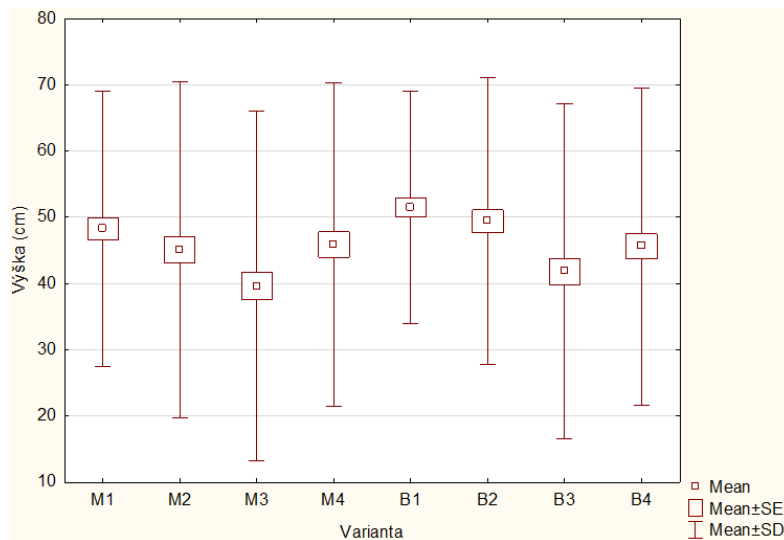
K vyhodnocení dat a následnému porovnání vitality mezi lety 2019 a 2021 byl použit párový t-test. Pro porovnání jednotlivých ploch byl použit Mann-Whitneyho test. U ostatních dat byl použit Kruskal-Wallisův test. Hodnoceny byly také signifikantní rozdíly, které se vyskytovaly jen u některých měření, které jsou znázorněny níže. Odlišnost mezi jednotlivými variantami sazenic se vyhodnocovala podle regresivního modelu a následně pomocí diagnostických grafů byla vyhodnocena nejlepší varianta, případně se model logaritmicky transformoval. U výsledného modelu byla použita analýza rozptylu (ANOVA). Vyhodnocení dat a jejich grafický výstup byl vytvořen v programu Statistika verze 13.



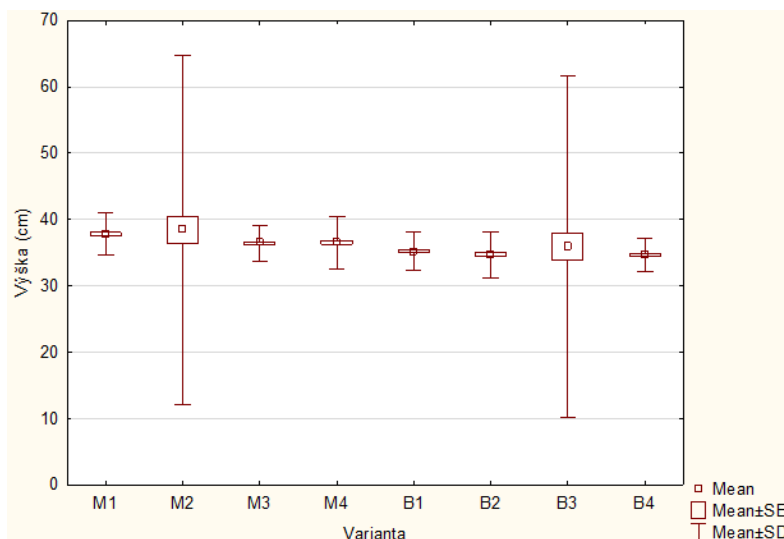
## 5 Výsledky

Cílem výzkumu bylo porovnání účinnosti jednotlivých testovaných přípravků na růstové a mykorhizní parametry sazenic. Mezi tyto testované přípravky patřil hydrogel a mulčovací rohož, jež byly použity v různých kombinacích u mykorhizovaných a nemykorhizovaných sazenic. Statistické vyhodnocení bylo provedeno souhrnně ze všech měřených dat.

### 5.1 Vyhodnocení růstových parametrů v roce 2019 a 2021



Obr. číslo 10: Porovnání výšky sazenice v roce 2021 podle jednotlivých variant (n= 1 295, p= 0,0037)

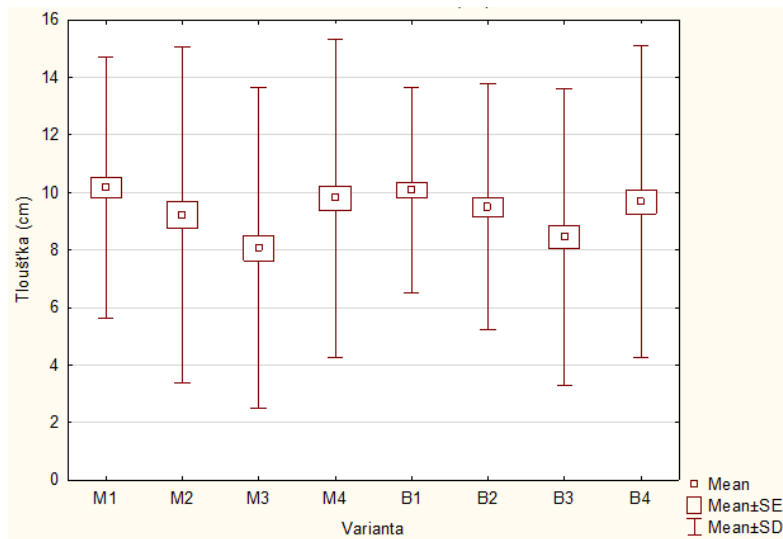


Obr. číslo 11: Porovnání výšky sazenice v roce 2019 podle jednotlivých variant (n= 1 296, p= 0)

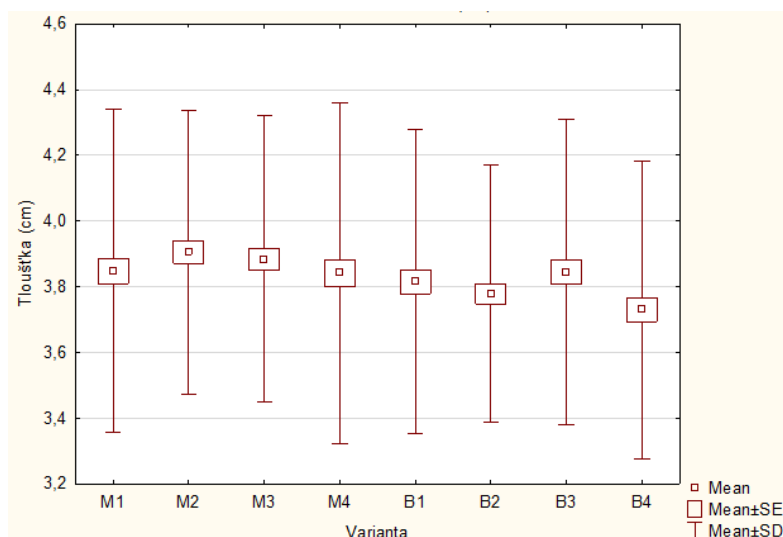
Čtverec uvnitř jednotlivých obdélníků znázorňuje průměr, spodní část příčné linie vyjadřuje 25% kvartil a horní část 75% kvartil.

Hodnocen byl růstový parametr výšky sazenic. Výsledky porovnání mezi jednotlivými variantami (Obr. 10) ukazují, že rozptyl mezi variantami v roce 2021 není významný. Signifikantní rozdíl byl zjištěn mezi variantou M3 a B1 a dále M3 a B2. V rámci jednotlivých mykorhizovaných a nemykorhizovaných variant je z grafu patrné, že vyšší hodnoty vykazovala varianta M1 a B1 kde nebyl použit ani hydrogel a ani mulč. Naopak nejnižších hodnot dosahovala varianta M3 a B3, kde byl jako podpůrný materiál použit pouze hydrogel. Celkově nejlepší hodnoty vykazovala nemykorhizovaná varianta B1, kde nebyl použit ani jeden z výše jmenovaných podpůrných materiálů. Negativního výsledku dosáhla mykorhizovaná varianta M3, kde byl použit pouze hydrogel. Z výsledků je patrné, že podpůrné přípravky ani mykorhizní ošetření nemělo vliv na výšku sazenic.

Výsledky porovnání výšky sazenic v roce 2019 mezi variantami (Obr. 11) byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi variantami M1, M2, M3, M4 v závislosti na variantách B1, B2, B3 a B4. Nejlepších výsledků v rámci výšky dosahovala varianta M2, kde byl použit jako podpůrný materiál pouze mulč. Naopak nejhorších výsledků dosahovala varianta B4, kde byly použity oba podpůrné materiály. Pouze varianta B3 si v porovnání s mykorhizovanými sazenicemi vedla lépe než varianta M3 a M4. Z výsledků je patrné, že podpůrné přípravky ani mykorhizní ošetření nemělo vliv na výšku sazenic.



Obr. číslo 12: Porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic v roce 2021 podle jednotlivých variant (n= 1 296, p = 0,0001)

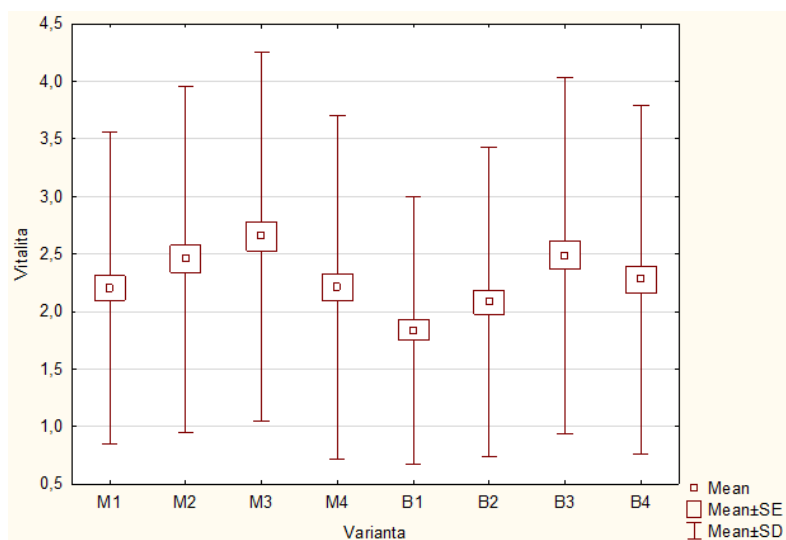


Obr. číslo 13: Porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic v roce 2019 podle jednotlivých variant (n= 1 296, p = 0,0080)

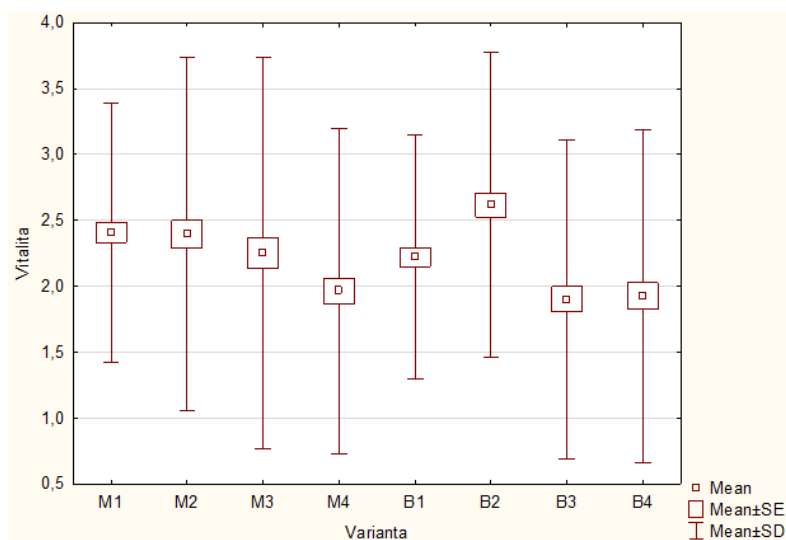
Rozptyl mezi jednotlivými variantami (Obr. 12) není významný. Signifikantního rozdílu bylo dosaženo mezi variantami M3 a M4, M3 a B4, M4 a B3, B3 a B4. Nejlepších výsledků v rámci tloušťky kořenového krčku dosahovala mykorhizovaná varianta M1, kde nebyl použit žádný podpůrný materiál. Nejhůře dopadla mykorhizovaná varianta M3, kde byl jako podpůrný materiál použit pouze hydrogel. Z výsledků je patrný pozitivní vliv umělé mykorhizace sazenic bez použití podpůrného materiálu. Dobrých výsledků bylo dosaženo i u nemyorhizovaných sazenic varianty B1, kde také nebyl použit žádný podpůrný materiál a varianta byla hodnocena jako druhá nejlepší. Nejnižších hodnot bylo dosaženo u sazenic, kde byl použit jako podpůrný materiál hydrogel. Mezi tyto varianty patří M3 a za ní B3, kde tyto sazenice dosahovaly nejmenší tloušťky kořenového krčku.

Rozptyl mezi jednotlivými variantami (Obr. 13) není příliš významný. Signifikantního rozdílu bylo dosaženo mezi variantou M2 a B4, M3 a B4. Nejlepší výsledků v rámci tloušťky kořenového krčku dosahovala mykorhizovaná varianta M2, kde byl jako podpůrný materiál použit pouze mulč. Nejhorších výsledků dosahovala nemyorhizovaná varianta B4, kde byly použity oba podpůrné materiály. Získané výsledky ukazují, že kombinace mulče a hydrogelu u varianty B4 neměla vliv na tloušťku kořenového krčku. Byl zjištěn pozitivní vliv umělé mykorhizace sazenic, jelikož všechny varianty M dosahovaly vyšších hodnot než varianty B, které byly bez mykorhizního ošetření.

## 5.2 Vyhodnocení vitality sazenic v roce 2019 a 2021



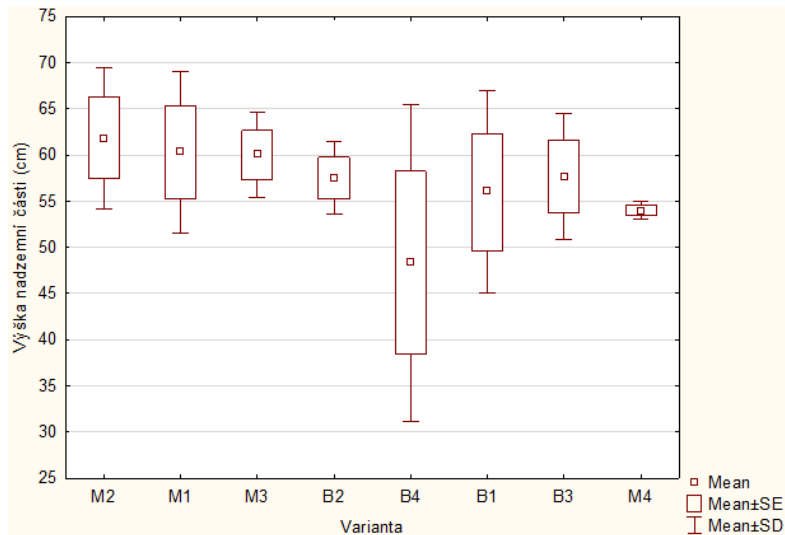
Obr. číslo 14: Porovnání vitality sazenic v roce 2021 podle jednotlivých variant (n= 1 296, p= 0)



Obr. číslo 15: Porovnání vitality sazenic v roce 2019 podle jednotlivých variant (n= 1 296, p= 0)

Nejvyššího rozptylu mezi vitalitou sazenic (Obr. 14) bylo dosaženo mezi variantou M3 a B1. Signifikantní rozdíl byl zjištěn mezi variantou M2 a B1, M3 a B1, M3 a B2, B1 a B3. Nejlepších výsledků dosahovala mykorhizovaná varianta M3, kde byl jako podpůrný materiál použit pouze hydrogel. Nejhorších výsledků pak dosahovala varianta B1. Z grafu je viditelný pozitivní vliv umělé mykorhizace na vitalitu sazenic v porovnání s nemykorhizovanými sazenicemi. Dále je z výsledků patrný pozitivní vliv hydrogelu na vitalitu sazenic, jelikož nejlépe dopadla varianta M3 a za ní varianta B3.

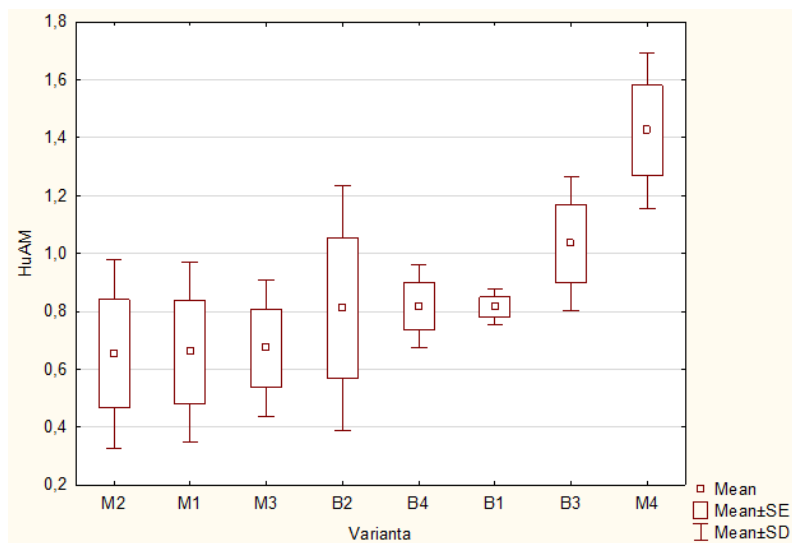
Nejvyššího rozptylu mezi vitalitou sazenic (Obr. 15) bylo dosaženo mezi variantou B4 a B2. Nejvýznamnějších signifikantních rozdílů bylo dosaženo mezi variantami B2 a B3, B2 a B4, M1 a M4, M1 a B3, M1 a B4. Nejlepších výsledků dosahovala varianta B2, kde byl jako podpůrný materiál použit pouze mulč. Nejhůře dopadla varianta B3, kde byl použit pouze hydrogel. Z výsledků tak vyplývá negativní vliv použití umělé mykorhizace sazenic, jelikož nejlépe si vedla nemykorhizovaná varianta B2. V rámci podpůrných materiálů vyplývá záporný vliv hydrogelu na vitalitu sazenic u varianty B3, a naopak pozitivní vliv mulče u varianty B2.



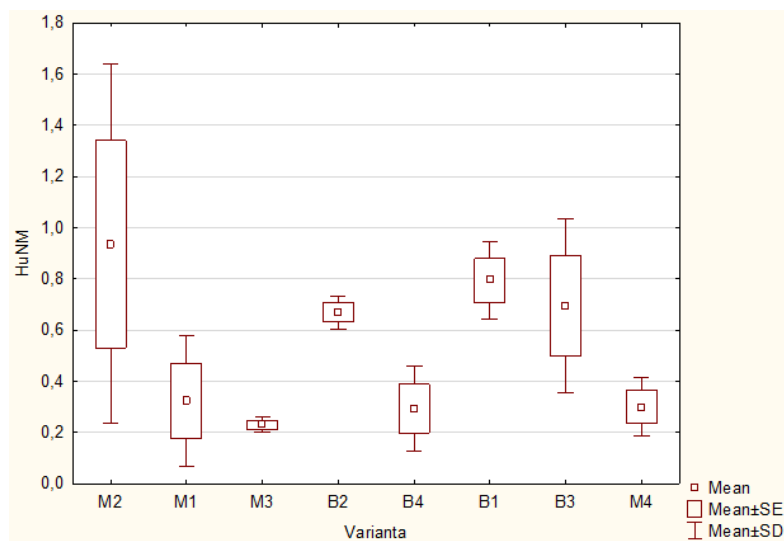
Obr. číslo 16: Porovnání výšky nadzemní části sazenic v roce 2021 podle jednotlivých variant. (n= 24, p= 0,7361)

Nejvyššího rozptylu mezi výškou nadzemní části sazenic (Obr. 16) bylo dosaženo mezi variantou B4 a M2. Signifikantní rozdíl nebyl zjištěn mezi žádnou variantou sazenic. Nejlepšího výsledku dosáhla mykorrhizovaná varianta M2, kde byl jako podpůrný materiál použit pouze mulč. Naopak nejhůře dopadla nemykorrhizovaná varianta B4, kde byly použity oba podpůrné materiály. Pozitivní vliv umělé mykorrhizace vyplývá pouze u variant M1, M2 a M3. Varianta M4 těchto pozitivních výsledků nedosahuje. Dále z výsledků vyplývá záporný dopad použití kombinace mulče s hydrogelem u varianty B4. Pozitivního vlivu bylo dosaženo u varianty M2, kde byl použit pouze mulč.

### 5.3 Vyhodnocení hustoty, procentuálního podílu aktivních a neaktivních mykorhizních špiček v roce 2021



Obr. číslo 17: Porovnání hustoty aktivních mykorhizních špiček u sazenic v roce 2021 podle jednotlivých variant (n= 24, p= 0,1986)

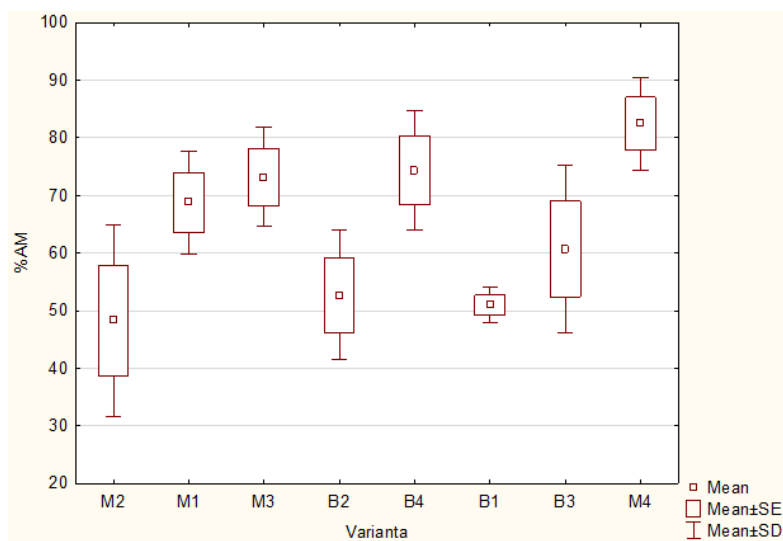


Obr. číslo 18: Porovnání hustoty neaktivních mykorhizních špiček u sazenic v roce 2021 podle jednotlivých variant (n= 24, p= 0,1404)

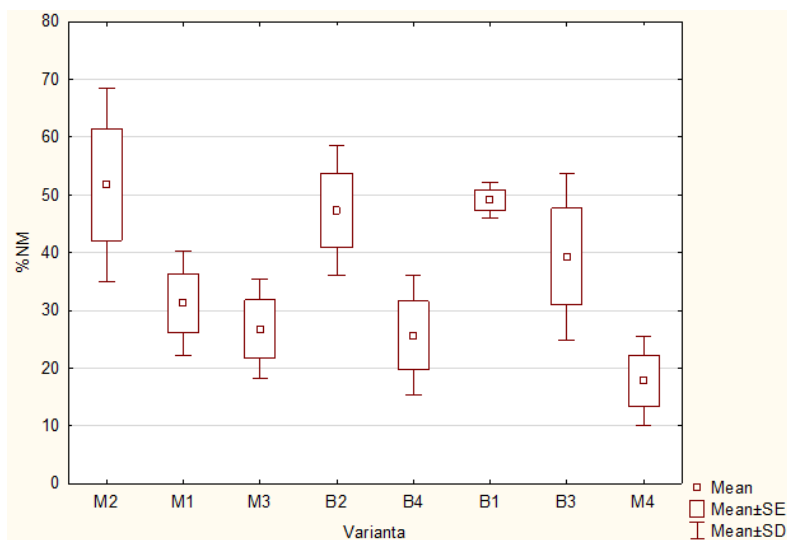


Nejvyššího rozptylu mezi hustotou aktivních mykorhizních špiček (Obr. 17) bylo dosaženo mezi variantou M4 a M2. Signifikantní rozdíl nebyl zaznamenán mezi žádnou variantou. Nejlepšího výsledku dosáhla mykorhizovaná varianta M4, kde byl jako podpůrný materiál použit mulč i hydrogel. Nejhůře dopadla varianta M2, kde byl jako podpůrný materiál použit pouze mulč. Z výsledků tak vyplývá pozitivní vliv umělé mykorhizace v kombinaci s mulčem na hustotu mykorhizních špiček u varianty M2. Téměř stejného pozitivního vlivu bylo dosaženo i u varianty B3, která dopadla jako druhá nejlepší i přesto, že u ní nebyla použita umělá mykorhizace a jako podpůrný materiál byl použit pouze mulč. Záporného výsledku bylo docíleno u mykorhizované varianty M2 v kombinaci s mulčem, kde byla zjištěna nejnižší hustota aktivních mykorhizních špiček.

Nejvyššího rozptylu mezi hustotou neaktivních mykorhizních špiček (Obr. 19) bylo dosaženo mezi variantou M2 a M3. Signifikantní rozdíl nebyl zaznamenán mezi žádnou variantou. Nejlepšího výsledku dosáhla mykorhizovaná varianta M3 v kombinaci s hydrogelem, kde se nacházela nejmenší hustota neaktivních mykorhizních špiček. Negativního výsledku bylo docíleno u mykorhizované varianty M2, kde byl jako podpůrný materiál použit mulč a nacházela se zde největší hustota neaktivních mykorhizních špiček.



Obrázek číslo 19: Porovnání procentuálního zastoupení aktivních mykorhizních špiček u sazenic v roce 2021 podle jednotlivých variant (n= 24, p= 0,458)

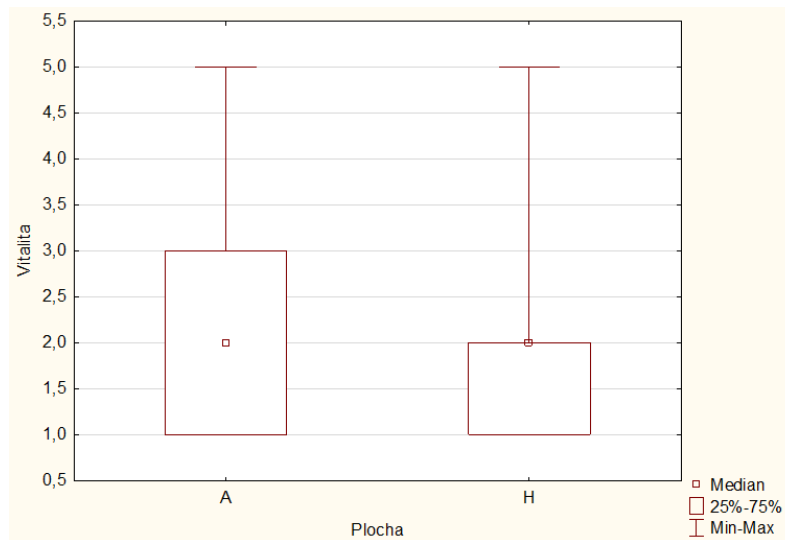


Obr. číslo 20: Porovnání procentuálního zastoupení neaktivních mykorhizních špiček u sazenic v roce 2021 podle jednotlivých variant (n= 24, p= 0,458)

Nejvyššího rozptylu mezi procentuálním zastoupením aktivních mykorhizních špiček (Obr. 19) bylo dosaženo mezi variantou M4 a M2. Signifikantní rozdíl nebyl zaznamenán mezi žádnou variantou. Nejlepších výsledků dosáhla mykorhizovaná varianta M4, kde byl použit jako podpůrný materiál mulč i hydrogel. Naopak nejhůře dopadla varianta M2, kde byl použit jako podpůrný materiál pouze mulč. Z výsledků tak plyne pozitivní vliv umělé mykorhizace sazenic v kombinaci s oběma podpůrnými materiály. Záporného výsledku bylo dosaženo v rámci mykorhizovaných sazenic v kombinaci s mulčem, jelikož tato varianta dosahovala nejnižších hodnot v rámci procentuálního zastoupení aktivních mykorhizních špiček.

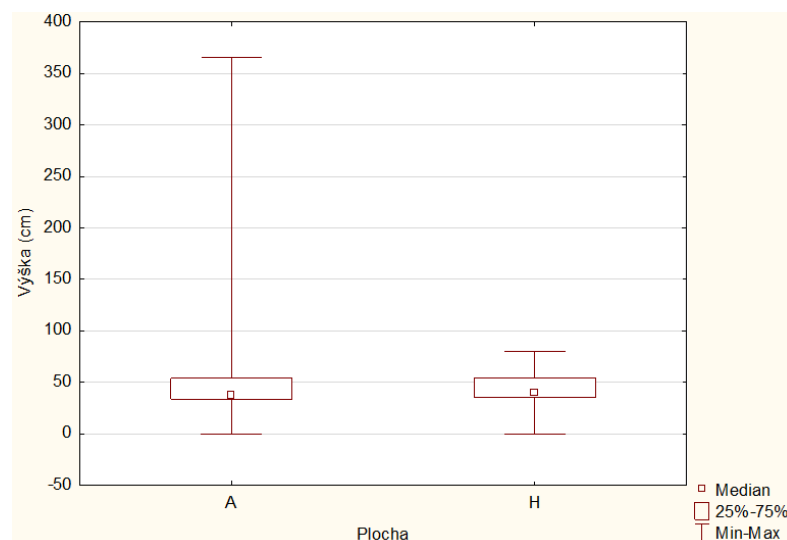
Nejvyššího rozptylu mezi procentuálním zastoupením neaktivních mykorhizních špiček (Obr. 20) bylo dosaženo mezi variantou M4 a M2. Signifikantní rozdíl nebyl zaznamenán mezi žádnou variantou. Nejvyššího procentuálního počtu neaktivních mykorhiz bylo dosaženo u mykorhizované varianty M2, kde byl použit jako podpůrný materiál pouze mulč. Naopak nejnižšího počtu bylo dosaženo u varianty M4, kde byl použit hydrogel i mulč. Z výsledků tak vyplývá pozitivní vliv umělé mykorhizace sazenic v kombinaci s hydrogelem a mulčem. Naopak záporného výsledku bylo docíleno u mykorhizovaných sazenic v kombinaci pouze s mulčem.

## 5.4 Srovnání vitality, výšky sazenic a tloušťky kořenového krčku v rámci plochy Apolenka a Halže



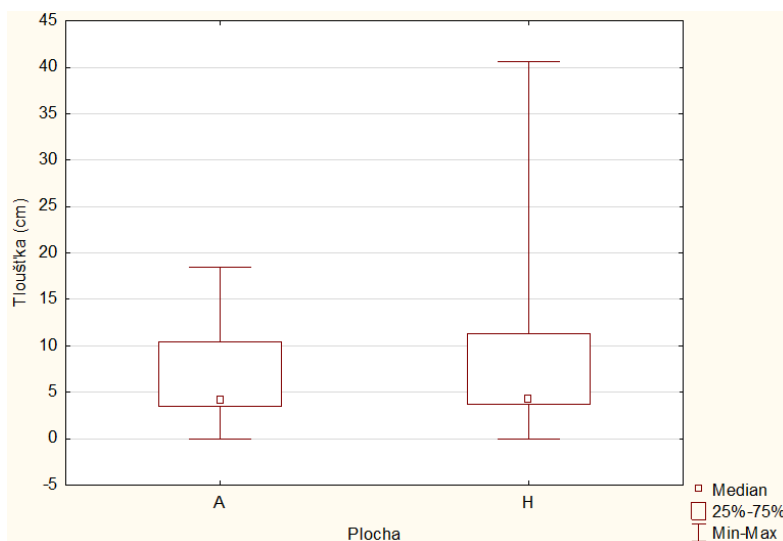
Obr. číslo 21: Porovnání vitality sazenic mezi plochou Apolenka (A) a Halže (H) v roce 2021

Na základě porovnání obou lokalit (Obr. 21) Apolenka a Halže je patrné, že lokální podmínky mohou mít vliv na růst a rozvoj sazenic. Z grafu je viditelný rozdíl mezi horním kvantilem obou ploch, kde varianta A dosahovala téměř o polovinu lepších výsledků. Konkrétně hodnota horního kvartilu varianty A je 3 a varianty H 2. Dolní kvartil obou variant se nachází na hodnotě 1. Medián obou variant se taktéž nachází na stejné hodnotě a tou je hodnota 2. Z výsledků vychází statisticky průkazná vyšší vitalita sazenic na ploše Apolenka.



Obr. číslo 22: Porovnání výšky sazenic mezi plochou Apolenka (A) a Halže (H) v roce 2021

Nejvyššího rozptylu mezi jednotlivými variantami (Obr. 22) dosahuje varianta A. Spodní a dolní kvartil u obou variant dosahuje stejných hodnot. Stejně tak medián. Signifikantní rozdíl byl pozorován ve prospěch varianty A. Z výsledků tak vychází pozitivní vliv na sazenice na ploše Apolenka, která dosahovala nejlepších výsledků.



Obr. číslo 23: Porovnání tloušťky sazenic mezi plochou Apolenka (A) a Halže (H) v roce 2021

Nejvyššího rozptylu mezi jednotlivými variantami (Obr. 23) dosahuje varianta H. Rozdíl mezi kvartily se nachází pouze u horního, a to ve prospěch varianty H. Medián u obou variant dosahuje stejných hodnot. Signifikantního rozdílu bylo dosaženo ve prospěch varianty H. Z výsledků tak vyplývá pozitivní vliv na sazenice na ploše Halže, kde sazenice dosahovaly vyššího tloušťkového přírůstu.

Při porovnání výsledků vitality, výšky a tloušťky mezi plochou Apolenka a Halže, dosahuje v prvních dvou případech plocha Apolenka lepších výsledků. Na této ploše je viditelný pozitivní vliv na parametr vitality a výšky. Naopak negativního vlivu bylo dosaženo u tloušťky sazenic. Na ploše Halže bylo dosaženo pozitivního vlivu pouze u parametru tloušťky sazenic. Z výsledků tak vyplývá kladný dopad na růstové parametry na ploše Apolenka oproti ploše Halže.

## 6 Diskuse

Jedním z cílů výzkumu bylo zhodnotit úspěšnost inokulace smrkových sazenic houbou *Hebeloma crustuliniforme* a dále pak vyhodnotit vliv hydrogelu a mulčovacích plachetek na množství mykorhiz a posoudit význam těchto opatření na růst a rozvoj sazenic. Obě varianty sazenic (inokulované a neinokulované) byly odebrány v Polsku z lesní školky v Nędza (Nadleśnictwo Rudy Raciborskie). Pro ověření přežití a podpory růstu sazenic se testovala varianta hydrogelu STOCKSORB 660 MEDIUM společně s mulčovací rohoží EKOCover, jejichž společným cílem bylo udržet vlhkost v půdě. Jedním z dalších cílů mulčovací rohože bylo potlačení okolní vegetace. Pokus probíhal na dvou lokalitách, kde byl dále hodnocen rozdíl růstových parametrů mezi oběma plochami.

Pozitivní vliv mykorhizovaných sazenic byl pozorován především u vitality v roce 2021, kde nejlepší hodnoty vykazovala varianta M3 (s hydrogelem). Naopak v roce 2019 dosahovala nejlepších výsledků nemykorhizovaná varianta B2 (s mulčem). Můžeme zde tedy sledovat určité zvýšení vitality mykorhizovaných sazenic v období dvou let. Dále při hodnocení výšky sazenic nebyl pozorován pozitivní vliv umělé mykorhizace v kombinaci s hydrogelem a mulčem. Nemykorhizovaná varianta B1 (bez mulče a hydrogelu) si v tomto případě vedla nejlépe.

Obdobných výsledků dosahovala práce (PEŠKOVÁ, TUMA 2010), v jejichž výzkumu byl hodnocen vliv přípravku Ectovit. Předmětem výzkumu byly růstové parametry sazenic. Přípravek byl v tomto případě použit k umělé mykorhizaci, při čemž nebyl zjištěn žádný vliv na růst sazenic. V některých případech byl dokonce zaznamenán negativní vliv na hodnocení růstových parametrů.

Je však třeba uvést, že tato nejednoznačnost výzkumu může být způsobena obtížným srovnáním uměle mykorhizovaných sazenic od sazenic nemykorhizovaných, jejichž výskyt je v lesním prostředí téměř minimální (PEŠKOVÁ, TUMA 2010). Při prokázání účinnosti umělé mykorhizace může docházet ke zkreslení výsledků působením vnějších vlivů jako je např. přítomnost přirozeného mycelia, spor mykorhizních hub, které mohou ovlivnit získané výsledky. Prokazatelného vlivu pozitivní účinnosti umělé mykorhizace bývá dosahováno především ve sterilních laboratorních podmínkách (HATCH 1937, THEODOROU 1968, aj., CUDLÍN *et al.* 1983, PARKE *et al.* 1984, KROPÁČEK 1987, MORTIER *et al.* 1989, DIXON *et al.* 1998, SZABLA 2005, KOWALSKI 2007).

Při hodnocení podpůrného materiálu, kterým byl hydrogel a mulčovací rohož, bylo dosaženo pozitivních výsledků jen v určitých případech. Mykorhizované i nemykorhizované sazenice (M3, B3) dosahovaly v kombinaci s hydrogelem lepší vitality oproti ostatním variantám. U hodnocení růstových parametrů (výška, tloušťka) tomu však bylo naopak a tyto varianty dosahovaly výsledků nejhorsích. Pozitivní vliv hydrogelu byl zjištěn u vitality sazenic. Stejného vlivu bylo docíleno i u procentuální hustoty aktivních mykorhiz, kde hydrogel dosahoval druhých nejlepších výsledků. V kombinaci s mulčem pak nejlepších. Při zkoumání vlivu mulčovacích rohoží na vitalitu a růstové parametry sazenic nebylo dosaženo jednoznačných výsledků v případě žádné varianty (M2, B2). Stejných výsledků nebylo dosaženo i u variant (M4, B4), u kterých byla použita kombinace obou podpůrných materiálů (hydrogel, mulčovací rohož).

Výzkumem vlivu hydrogelu na růstové parametry sazenic se zabýval (*MATRAIMOV 2011*), jež tento vliv zkoumal na sazenicích lípy. Pokus probíhal na pozemku Zahradnické fakulty Mendelovy univerzity v Brně, v Lednici. Jedna varianta rostlin byla vysázena volně v půdě, druhá v kontejnerech a třetí v pěstebních air-pot taškách. Hydrogel byl aplikován ve třech dávkách, přičemž ta největší vykazovala nejlepších hodnot. Z hlediska statistiky však nebyl zaznamenán žádný významný rozdíl. Výzkum taktéž poukazuje na rozdíl mezi jednotlivými pěstitelskými variantami, kde na základě fyziologických parametrů dosahovala lepších výsledků varianta sazenic ve volné půdě. Na základě výsledků však nebylo možno jednoznačně stanovit závěr v porovnání jednotlivých variant (*MATRAIMOV 2011*).

Studie poukazuje na to, že vliv hydrogelu neměl statisticky významný vliv na zvýšený růst sazenic. V porovnání s výzkumem (*MATRAIMOV 2011*) bylo dosaženo obdobných výsledků, jelikož varianty, u kterých byl použit pouze hydrogel, si z hlediska růstových parametrů vedly nejhůře (M3, B3). Je však třeba zmínit, že lepších výsledků mohlo být dosaženo při vyšší koncentraci hydrogelu, jak uvádí výsledky studia (*MATRAIMOV 2011*).

Jedním z dalších výzkumů zabývajících se vlivem hydrogelu je práce (*TOMÁŠKOVÁ et al.*), kde byl hydrogel aplikován k různým druhům dřevin dle jejich citlivosti na sucho, společně s dalšími mulčovacími substráty. Dřeviny více citlivé na sucho vykazovaly v kombinaci s hydrogelem lepších výsledků než dřeviny méně citlivé. Zároveň lepších hodnot dosahovaly varianty v kombinaci s propustným mulčovacím substrátem (*TOMÁŠKOVÁ et al.*). Obdobných hodnot bylo dosaženo u námi zkoumaných sazenic, jež v kombinaci s

hydrogelem a mulčovací rohoží EKOCover, která je vyrobena z propustného biologicky odbouratelného materiálu, dosahovaly nejlepších výsledků.

Na Slovensku je nejvíce využívaným přípravkem na ochranu kořenů přípravek Agricol. Jedná se o hydrogel, který patří do skupiny alginátu sodného. Pozitivní účinek tohoto přípravku byl potvrzen v rámci výzkumu (*CHALUPA 1997*). Přípravek byl použit při manipulaci a přepravě sazenic před jejich vysazováním. Cílem bylo pasivně chránit kořenový systém rostlin. Obdobných hodnot bylo dosaženo po výsadbě sazenic u námi testovaných variant M3 a B3, které taktéž vykazovaly nižší vitalitu a z tohoto hlediska dosahovaly nejlepší výsledků.

Dalším významným problémem, který může negativně ovlivňovat zdárný růst sazenic je vyšší konkurence okolní travní vegetace, při současném použití hydrogelu. Sazenice mohou být následně rychle předrůstány a zastiňovány vegetací, čímž je zvýšen tlak na potřebu pletí a častého odstraňování buřeně (*COGLIASTROET et al. 2001*).

Jedním z řešení tohoto problému by tak mohlo být použití mulčovacích plachetek neboli rohoží na plevel, čímž se omezí konkurence okolní travní vegetace. Jde o techniku, která profituje v zastínění půdy okolo sazenic neprůhlednou vrstvou. Ta pak zabraňuje klíčení okolního plevelu a potlačuje zarůstání buřeně v okolí sazenic (*MAGGARD et al. 2012*).

Nejpoužívanějším mulčovacím materiálem je plast, a to zejména díky nízkým ekonomickým nákladům z hlediska dopravy a instalace (*ARENTOFT et al. 2013*). Jednou z nevýhod je však nutnost jeho následného odstranění, aby nedošlo ke znečištění okolního prostředí, jelikož se nejedná o ekologicky odbouratelný materiál, jako je tomu u jiných druhů mulčů. Na trhu se nachází velké množství biologicky odbouratelných mulčovacích rohoží, které jsou vyrobeny z obnovitelných zdrojů a nemají tak za následek negativní dopad na životní prostředí (*LVAREZ-CHÁVEZET et al. 2012*). Mnohé z těchto ekologicky odbouratelných mulčovacích rohoží jsou ve fázi prototypu a je třeba dalšího výzkumu, pro posouzení jejich účinnosti.

Jedny z těchto mulčovacích rohoží byly použity na obou výzkumných plochách (Apolenka, Halže), kde však jejich pozitivní ale ani negativní účinek v oblasti růstových parametrů a vitality nebyl zcela prokázán. Je však třeba poznamenat jejich účinnost v oblasti ekologické odbouratelnosti, jak uvádí autor (*LVAREZ-CHÁVEZET et al. 2012*), jelikož se po dvou letech na obou plochách již nenacházely, a nebylo je tedy třeba odstraňovat.



Při vyhodnocování procentuální hustoty aktivních a neaktivních mykorhizních špiček byl sledován pozitivní účinek použití obou podpůrných materiálů najednou (mulč, hydrogel) u variant M4 a B4. Mykorhizované sazenice vykazovaly vyšší procentuální zastoupení aktivních mykorhiz oproti sazenicím nemykorhizovaným. Vliv na počet aktivních mykorhiz má zcela rozhodně hydrogel, jehož varianty dosahovaly nejlepších výsledků a v kombinaci s mulčovací rohoží tak tvořil nejlepší kombinaci. Kombinace, při níž byl použit pouze mulč, však dopadly nejhůře. Z výsledků tak vyplývá, že pro přežití mykorhiz je důležitá především vlaha, kterou poskytuje hydrogel.

Obdobných výsledků dosáhl výzkum (*LORENCE et al. 2018*), který zkoumal vliv vodního režimu na vzrostlých monokulturách smrku ztepilého. Výzkum byl během vegetačního období (jaro až podzim) prováděn na dvou plochách, na kterých byl vodní režim regulován přístřešky a izolačním příkopem. Analýza kořenů stromů odhalila výrazný vliv sucha na počty aktivních mykorhizních špiček, jejichž hustota byla v oblasti zatížené suchem o zhruba 34 % nižší než u stromů, u nichž vodní režim regulován nebyl.

## 7 Závěr

Sazenice u nichž bylo použito umělé mykorrhizace, vykazovaly jen mírné zlepšení v oblasti růstových parametrů výšky a tloušťky kořenového krčku. Nejlepších výsledků v této oblasti dosahovala nemykorrhizovaná varianta B1 a mykorrhizovaná M1, obě bez hydrogelu a mulče. Vitalita mykorrhizovaných sazenic u nichž v roce 2019 nebyl prokázán výrazný vliv, se v roce 2021 významně zlepšila a je zde vidět postupné zlepšení oproti nemykorrhizovaným sazenicím. Nejlepších hodnot v rámci podpůrných přípravků dosahoval hydrogel, jehož obě varianty M3 a B3 dosahovaly nejlepších výsledků vitality. Zároveň byl prokázán výrazný vliv hydrogelu v kombinaci s mulčem u variant M4 a B4 na hustotu aktivních mykorrhizních špiček v porovnání s ostatními variantami. Tento vliv však neplatí pro růstové parametry sazenic, kde tento přípravek dosahoval nejhorších výsledků u variant M3 a B3. V rámci srovnání plochy Apolenka a Halže byly zjištěny lepší hodnoty vitality a výšky sazenic na ploše Apolenka díky expozici stanoviště a vlhčím půdním podmínkám.

Vliv mykorrhizace tedy nebyl statisticky prokazatelný, avšak použití hydrogelu by v budoucnu mohlo dopomoci ke zlepšení vitality sazenic při zalesňování na plochách postižených suchem. Je ale zapotřebí posoudit ekonomickou náročnost, která je spojena s použitím umělé mykorrhizace a aplikace podpůrných materiálů, jako je hydrogel a mulč.

Dále je třeba zmínit, že při pokusech, které bývají uskutečňovány ve venkovních podmínkách, jsou výsledky v mnoha případech ovlivněny vnějšími faktory, které nemůžeme ovlivnit, díky čemuž dochází k určité nejednoznačnosti výsledků v porovnání s pokusy prováděnými v laboratorních podmínkách. Musíme také brát v úvahu, že společně s umělou mykorrhizací zavádíme do lesního prostředí látky, které mohou být pro dané prostředí nepřírozené a není znám jejich dlouhodobý dopad. Existuje zde tedy pozitivní, ale i negativní vliv v oblasti umělé mykorrhizace a jejího použití v lesních ekosystémech.

## 8 Seznam literatury a použitých zdrojů

Abhisekh S., Sreedeeep S., Uttam M., 2020. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management. 17 s.

Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K.A., Mardan, A., Ahmad, M., Iqbal, M.M., 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant Soil Environ*, 50 s.

Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene Ecosphere, 1–55 s.

Alrababah, M.A., Alhamad, M.A., Suwaileh, A., Al-Gharaibeh, M., 2007. Biodiversity of semi-arid Mediterranean grasslands: impact of grazing and afforestation. *Appl. Veget. Sci.* 1, 257–264 s.

Álvarez-Chávez C.R., Edwards S., Moure-Eraso R., Geiser K., 2012. Sustainability of bio-based plastics: general comparative analysis and recommendations for improvement. *J. Clean. Prod.* 47–56 s.

Álvarez-Chávez, C.R., Edwards, S., Moure-Eraso, R., Geiser, K., 2012. Sustainability of bio-based plastics: general comparative analysis and recommendations for improvement. *J. Clean. Prod.* 47–56 s.

Ambriz, E., Ba'ez-Pérez, A., Sa'nchez-Ya'n'ez, J.M., Moutoglis, P., Villegas, J., 2010. *Fraxinus\_Glomus\_Pisolithus* symbiosis: plant growth and soil aggregation effects. *Pedobiologia*, 369-373 s.

American Soil Technologies Inc. 2010. Agricultural technical use guide for stockosorb® and stockosorb® F. In *Products & Services Agriculture*. Stockosorb®. Accessed 03 august.

Anderegg, W. R. L., Schwalm, C., Biondi, F., Camarero, J. J., Koch, G., Litvak, M., Pacala, S. 2015. Pervasive drought legacies in forest ecosystems and their implications for carbon cycle models. *Science*, 528–532 s.

Andrew, C., Lilleskov, E.A., 2009. Productivity and community structure of ectomycorrhizal fungal sporocarps under increased atmospheric CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. *Ecol. Lett.* 813-822 s.

Arentoft B.W., Ali A., Streibig J.C., Andreasen C., 2013. A new method to evaluate the weed-suppressing effect of mulches: a comparison between spruce bark and cocoa husk mulches. *Weed Res.* 169–175 s.

Auge', R.M., Duan, X., Ebel, R.C., Stodola, A.J.W., 1994. Nonhydraulic signalling of soil drying in mycorrhizal maize. *Planta*, 74–82 s.

Augspurger, C. K., 2011. Frost damage and its cascading negative effects on *Aesculus glabra*. *Plant Ecology*, 1193–1203 s.

Ballester, J., Rodó, X., & Giorgi, F., 2010. Future changes in Central Europe heat waves expected to mostly follow summer mean warming. *Climate Dynamics*, 1191–1205 s.

Benigno, S.M., Dixon, K.W., Stevens, J.C., 2013. Increasing soil water retention with native-sourced mulch improves seedling establishment in postmine Mediterranean sandy soils. *Restor. Ecol.* 617–626 s.

Beyrle, H., 1995. The role of phytohormones in the function and biology of mycorrhizas. *Mycorrhiza*. Springer, Berlin, pp. 365–390 s.

Bigler, C., & Bugmann, H., 2018. Climate-induced shifts in leaf unfolding and frost risk of European trees and shrubs. *Scientific Reports*, 98 s.

Bouranis DL, Theodoropoulos AG, Drossopoulos JB., 1995. Designing synthetic polymers as soil conditioners. *Commun Soil Sci Plant Anal* 1455–1480 s.

Brearley, F. Q., 2011. The Importance of Ectomycorrhizas for the Growth of Ipterocarps and the Efficacy of Ectomycorrhizal Inoculation Schemes. 24 s.

Cairney, J.W.G. & Burke, R.M., 1998. Extracellular enzyme activities of the ericoid mycorrhizal endophyte *Hymenoscyphus ericae* (Read) Korf & Kernan: their likely roles in decomposition of dead plant tissue in soil. *Plant and Soil*, 181–192 s.

Castellano ma., 1994, Current status of outplanting studies using ectomycorrhiza-inoculated forest trees. in Pflieger FL, Linderman RG (ed.): *Mycorrhizae and plant health.*, The American Phytopathological Society, Minnesota, 261–281 s.

Ciais, P. H., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Valentini, R., 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 529–533 s.

Coakley, S.M., Scherm, H., Chakraborty, S., 1999. Climate change and plant disease towards an integrated approach. *Sci. Total. Environ.* 404 s.

Coello, J., Coll, L., Piqué, M., 2017. Can bioplastic or woodchip groundcover replace herbicides or plastic mulching for valuable broadleaf plantations in Mediterranean areas? *New Forest*, 415–429 s.

Coello, J., Piqué, M., 2016. Soil conditioners and groundcovers for sustainable and cost-efficient tree planting in Europe and the Mediterranean-Technical guide. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona, Spain, pp. 60 s.

Cogliastro A., Domon G., Daigle S., 2001. Effects of wastewater sludge and woodchip combinations on soil properties and growth of planted hardwood trees and willow on a restored site. *Ecol. Eng.* 471–485 s.

Colpaert JV, van Tichelen KK., 1996. Decomposition, nitrogen and phosphorus mineralization from beech leaf litter colonized by ectomycorrhizal or litter-decomposing basidiomycetes. *New Phytologist*, 123–132 s.

Cortina J, Peñuelas JL, Puertolas J, Savé R, Vilagrosa A., 2006. Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos: Estado actual del conocimiento. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 42 s.

Cortina, J., Amat, B., Castillo, V., Fuentes, D., Maestre, F.T., Padilla, F.M., Rojo, L., 2011. The restoration of vegetation cover in the semi-arid Iberian southeast. *J. Arid Environ*, 1377–1384 s.

Crayn, D.M. & Quinn, C.J., 2000. The evolution of the *atp-rbcL* intergenic spacer in the epacrids (Ericales) and its systematic and evolutionary implications. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 238–252 s.

Cudlín P., Mejstřík V., Skoupy J., 1983. Effect of pesticides on ectomycorrhizae of *Pinus sylvestris* seedlings. *Plant Soil*. 353-361 s.

Cudlín, P., Kieliszewska-Rokicka, B., Rudawska, M., Grebenc, T., Alberton, O., Lehto, T., et al., 2007. Fine roots and ectomycorrhizas as indicators of environmental change. *Plant Biosyst*, 406-425 s.

Cullings, K.W., 1996. Single phylogenetic origin of ericoid mycorrhizae within the Ericaceae. *Canadian Journal of Botany*, 1896–1909 s.

Del Campo, A.D., Hermoso, J., Flors, J., Lidón, A., Navarro-Cerrillo, R.M., 2011. Nursery location and potassium enrichment in Aleppo pine stock 2. Performance under real and hydrogel-mediated drought conditions. *Forestry*, 235–245 s.

Di Castri F., 1973. Climatographical comparisons between Chile and the western coast of North America. In: Di Castri F, Mooney HA (eds) Mediterranean typeecosystems. Springer, Berlin, 21–36 s.

Dixon R. K., Garrett H. E., Cox G. S., Marx D. H., Sander I. L., 1998. Inoculation of three *Quercus* species with eleven isolates of ectomycorrhizal fungi. I. Inoculation success and seedling growth relationships. *Forest Science*. 364-372 s.

Dixon r. k., Garrett h. e., Stelzer h. e., 1987, Growth and ectomycorrhizal development of loblolly pine progenies inoculated with three isolates of *Pisolithus tinctorius*. *Silvae Genetica*, 240-245 s.

D'Orangeville, L., Maxwell, J., Kneeshaw, D., Pederson, N., Duchesne, L., Logan, T., Phillips, R. P., 2018. Drought timing and local climate determine the sensitivity of eastern temperate forests to drought. *Global Change Biology*, 24 s.

Douds, D.D., Pfeffer, P.E., Shachar-Hill, Y., 2000. Carbon partitioning, cost, and metabolism of arbuscular mycorrhizas. In: Kapulnik, Y., Douds, D.D. (Eds.), *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer, Dordrecht, 107-129 s.

Dragan, E.S., 2014. Design and applications of interpenetrating polymer network hydrogels. A review. *Chem. Eng. J.*, 243 s.

Ellenberg H., 1996. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*, 5th edn. Ulmer, Stuttgart, 25 s.

European Commission, 2015. *Closing the Loop – An EU Action Plan for the Circular Economy*. COM (2015) 614 final. (Accessed February 2018).

Fernández-de-Uña, L., Rossi, S., Aranda, I., Fonti, P., González-González, B. D., Cañellas, I., & Gea-Izquierdo, G., 2017. Xylem and leaf functional adjustments to drought in *Pinus sylvestris* and *Quercus pyrenaica* at their elevational boundary. *Frontiers in Plant Science*, 8 s.

Gange, A.C., West, H.M., 1994. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and foliar-feeding insects in *Plantago lanceolata* L. *New Phytol*, 128 s.

Gessler A, Keitel C, Kreuzwieser J, Matyssek R, Seiler W, Rennenberg H., 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*, 21 s.

Grayston, S.J., D. Vaughan and D. Jones., 1996. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison to annual plants: The importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Appl. Soil Ecol.* 22 s.

Gryndler M., Baláž M., Hršelová H., Jansa J., Vosátka M., 2004. Mykorhizní symbióza, o soužití hub s kořeny rostlin, Academia, 1. vydání, Praha, 366 s.

Harley J.L., Smith S.E., eds., 1983. Mycorrhizal symbiosis. New York: Academic Press. 15 s.

Hatch A. B., 1937. The physical basis of mycotrophy in genus Pinus. Black Rock Forest Bull. 168 s.

Holuša, J., Pešková, V., Lorenc, F., 2015. The impact of artificial mycorrhizal inoculation on the growth of common oak seedlings and development of mycorrhiza: Inoculation may not positively affect growth of seedlings. Periodicum Biologorum, 4 s.

Holuša, J., Pešková, V., Vostra, L., Pernek, M., 2009. Impact of mycorrhizal inoculation on spruce seedling: comparisons of a 5 - year experiment in forests infested by honey fungus. Periodicum Biologorum, 111 s.

Chalupa V., 1977. Možnosti zvýšení ujmavosti prostokořenných sazenic při výsadbě. Lesn. Práce. 350–353 s.

Chamberlain, C. J., Cook, B. I., Garcia de Cortazar-Atauri, I., & Wolkovich, E. M., 2019. Rethinking false spring risk. Global Change Biology, 25 s.

Chatzoudis G.K., Rigas F., 1999. Soil salts reduce hydration of polymeric gels and affect moisture characteristics of soil. Commun Soil Sci Plant Anal, 30 s.

Chirino E, Vilagrosa A., Cortina J, Valdecantos A, Fuentes D, Trubat R, Luis VC, Puértolas J., Bautista S., Baeza J., Peñuelas J.L., Vallejo V.R., 2009. Ecological restoration in degraded drylands: the need to improve the seedling quality and site conditions in the field. In: Grossberg SP (ed) Forest management. Nova Publisher, New York, 85 s.

Chirino, E., Vilagrosa, A., Vallejo, V., 2011. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration, 12 s.

Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T. J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., Zanne, A. E. 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. Nature, 491 s.

Chu, L., Liu, C., Zhou, G., Xu, R., Tang, Y., Zeng, Z., Luo, S., 2015. A double network gel as low cost and easy recycle adsorbent: Highly efficient removal of Cd (II) and Pb (II) pollutants from wastewater. J. Hazard. Mater, 300 s.

IPCC, 2007. Cambio climático, 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Exper-

tos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri RK y Reisinger A (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 s.

IPCC, 2014. Climate Change, 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. In: Barros, V.R., Field, C.B., Dokken, D.J., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 668 s.

Jalal, M.A.F. & Read, D.J., 1983. The organic acid composition of Calluna heathland soil with special reference to phyto-toxicity and fungitoxicity. II. Monthly quantitative determination of the organic acid content of Calluna and spruce dominated soils. *Plant and Soil*, 70 s.

Jiménez, M.N., Fernández-Ondoño, E., Ripoll, M.A., Castro-Rodríguez, J., Huntsinger, L., Navarro, F.B., 2016. Stones and organic mulches improve the *Quercus ilex* L. afforestation success under Mediterranean climatic conditions. *Land Degrad. Develop.*, 27 s.

Johnson, N.C., Wolf, J., Koch, G.W., 2003. Interactions among mycorrhizae, atmospheric CO<sub>2</sub> and soil N impact plant community composition. *Ecol. Lett.*, 6 s.

Kamel, L., Keller-Pearson, M., Roux, C., Ane', J.M., 2017. Biology and evolution of arbuscular mycorrhizal symbiosis in the light of genomics. *New Phytol.*, 213 s.

Kernaghan G, Widden P, Bergeron Y, Légaré S, Paré D., 2003 Biotic and abiotic factors affecting ectomycorrhizal diversity in boreal mixed-woods. *Oikos*, 103 s.

Kleinová, D. Ověření možnosti vlivu přípravku Bio-Algeen na růst a vývoj smrkových sazenic. Praha, 2015. Bakalářská práce. České zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. Katedra ochrany lesa a entomologie. 58 s.

Kolařík, J., Janíková, J., Krása, A., Mikita, T., Praus, L., Romanský, M. Šimek, P.; Štěrbá, P., Vojáčková, B., Weberová, Š., 2015. Standarty péče o přírodu a krajinu, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, 62 s.

Körner, C., Basler, D., Hoch, G., Kollas, C., Lenz, A., Randin, C. F., Zimmermann, N. E., 2016. Where, why and how? Explaining the low temperature range limits of temperate tree species. *Journal of Ecology*, 104 s.

Kowalski S., 2007. Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, 398 s.



Kropáček K., 1987. Testování granulovaného inokula za sterilních a polosterilních podmínek. In: Ekologie mykorrhiz a mykorrhizních hub. Sborník referátů, DT Pardubice, ČSVTS, 65-71 s.

Kupka, I.; Prknová, H.; Holubík, O.; Tužinský, M., 2015. Účinek přípravků na bázi řas na ujímavost a odrůstání výsadeb lesních dřevin. Zprávy lesnického výzkumu, 60 s.

Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Marchetti, M., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259 s.

Maggard A.O., Will R.E., Hennessey T.C., Mckinley C.R., Cole J.C., 2012. Tree-based mulches influence soil properties and plant growth. *Hortic. Technol.* 353–361 s.

Marin, M. Effects of Pesticides on the Growth of Ectomycorrhizal Fungi and Ectomycorrhiza Formation. In RAI, M.; VARMA, A., 2011. *Diversity and Biotechnology of Ectomycorrhizae*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 323 s.

Matraimov M. B., Salaš P., Achmatov M. K., 2011. Monitoring of young seedlings *Tilia platyphyllos* L. for resistance to stress factors, Mendelova univerzita v Brně. 359–367 s.

Mejstřík v., 1988. *Mykorrhizní symbióza*, Academia nakladatelství Československé akademie věd, 1. vydání, Praha, 152 s.

Mortier F., Le Tacon F., Garbaye J., 1989. Effect of dose and formulation of *Laccaria laccata* inoculum on mycorrhizal infection and growth of Douglas-fir in a nursery. *Agric., Ecosystems Environ.* 351-354 s.

Newsham, K.K., Fitter, A.H., Watkinson, A.R., 1995. Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends Ecol. Evol.* 10 s.

Newsham, K.K., Greenslade, P.D., Kennedy, V.H., McLeod, A.R., 1999. Elevated UVB radiation incident on *Quercus robur* leaf canopies enhances decomposition of resulting leaf litter in soil. *Glob. Chang. Biol.* 5 s.

Nylund, J.-E., 1988. The regulation of mycorrhiza formation--Carbohydrate and hormone theories reviewed. *Scand. J. For. Res.*, 79 s.

Par Duponnois, R.; Ba, A.; Mousain, D.; Galiana, A.; Baudoin, E.; Dreyfus, B.; Prin, Y., 2011. Biotechnological Processes Used in Controlled Ectomycorrhizal Practices. In RAI, M.; Varma, A. *Diversity and Biotechnology of Ectomycorrhizae*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 114 s.

Parke J. L., Linderman R. G., Trappe J. M., 1984. Inoculum potential of ectomycorrhizal fungi in forest soils of Southwest Oregon and Northern California. *Forest Science*, 300-304 s.

Pederson, N., Dyer, J.M., McEwan, R.W., Hessl, A.E., Mock, C. J., Orwig, D. A., Cook, B. I., 2014. The legacy of episodic climatic events in shaping temperate, broadleaf forests. *Ecological Monographs*, 84 s.

Pešková, V.; Tuma, M., 2010. Ověření vlivu mykorrhizního preparátu na růst a vývoj smrkových sazenic na LS Jablunkov. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55 s.

Pirozynski, K. A. and D. W. Malloch., 1975. The origin of land plants: A matter of mycotrophism. *Biosystems*, 153 s.

Potapov, P., Laestadius, L., Minnemeyer, S., 2011. Global Map of Forest Landscape Restoration Opportunities. Online at (Accessed December 2017). World Resources Institute, Washington, DC.

Remy, W., T. N. Taylor, H. Hass, and H. Kerp., 1994. Four-hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 91 s.

Repáč, I., 2011. Ectomycorrhizal Inoculum and Inoculation Techniques. In RAI, M.; Varma, A. *Diversity and Biotechnology of Ectomycorrhizae*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 43 s.

Repáč, I.; Kmet', J.; Vencurik, J.; Balanda, M., 2013. Účinky aplikácie komerčných stimulačných prípravkov na prežívanie, rastové a fyziologické parametre výsadby smreka obyčajného a buka lesného. *Zpravy lesnickeho vyzkumu*, 58 s.

Rillig, M.C., Allen, M.F., 1998. Arbuscular mycorrhizae of *Gutierrezia sarothrae* and elevated carbon dioxide: evidence for shifts in C allocation to and within the mycobiont. *Soil Biol. Biochem.*, 30 s.

Ros, J., Tevini, M., 1995. Interaction of UV-radiation and IAA during growth of seedlings and hypocotyl segments of sunflower. *J. Plant Physiol*, 146 s.

Rosilaine Carrenho and Heloisa de Cesaro Krzynazski, 2020. The effect of climate change on mycorrhizae, Department of biology, chapter, 20 s.

Rustad, L.E., 2008. The response of terrestrial ecosystems to global climate change: management. *Annu. Rev. Phytopathol*, 37 s.

Sanders, F.E., Tinker, P.B., 1971. Mechanism of absorption of phosphate from soil by *Endogone mycorrhizas*. *Nature*, 233 s.

Sarvaš M, Pavlenda P, Takáčová E., 2007. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. *J For Sci*, 53 s.

Shetty, K.G., Hetrick, B.A.D., Schwab, A.P., 1995. Effects of mycorrhizae and fertilizer amendments on zinc tolerance of plants. *Environ. Pollut*, 88 s.

Smith, M.D., 2011. An ecological perspective on extreme climatic events: a syn-thetic definition and framework to guide future research. *Journal of Ecology*, 99 s.

Smith, S.E., Read, D., 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, San Diego. 803 s.

Spagnol, C., Rodrigues, F.H., Pereira, A.G., Fajardo, A.R., Rubira, A.F., Muniz, E.C., 2012. Superabsorbent hydrogel composite made of cellulose nanofibrils and chitosan-graft-poly (acrylic acid). *Carbohydr. Polym.* 87 s.

Staddon P.L., Fitter A.H., Graves J.D., 1999. Effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on mycorrhizal colonization, external mycorrhizal hyphal production and phosphorus inflow in *Plantago lanceolata* and *Trifolium repens* in association with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*, *Global Change Biol*, 55 s.

Sun, J.Y., Zhao, X., Illeperuma, W.R.K., Chaudhuri, O., Oh, K.H., Mooney, D.J., Vlassak, J.J., Suo, Z., 2012. Highly stretchable and tough hydrogels. *Nature* 489, 133–136.

Szabla K., 2005. Mikoryzacja sadzonek a efekty hodowlane w uprawach. Autoreferát disertační práce. Warszawa, Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych, 67 s.

Treseder, K.K., Allen, M.F., 2000. Mycorrhizal fungi have a potential role in soil carbon storage under elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen deposition. *New Phytol*, 147 s.

Tomášková I., Svatoš M., Macků J., Vanická H., Resnerová K., Čepl J., Holuša J., Hosseini S., Dohrenbusch A., 2019. Effect of different soil treatment with hydrogel on the performance of drought-sensitive and tolerant tree species in a semi-arid region. 15 s.

Tu, Y., Wang, R., Zhang, Y., Wang, J., 2018. Progress and expectation of atmospheric water harvesting. *Joule*, 2 s.

Valentine, A.J., Mortimer, P.E., Kleinert, A., Kang, Y., Benedito, V.A., 2013. Carbon metabolism and costs of arbuscular mycorrhizal associations to host roots. In: Aroca, R. (Ed.), *Symbiotic Endophytes*. Springer-Verlag, Berlin, 223 s.

Vallejo, V.R., Smanis, A., Chirino, E., Fuentes, D., Valdecantos, A., Vilagrosa, A., 2012. Perspectives in dryland restoration: approaches for climate change adaptation. *New Forest*, 43 s.

Van der Heijden, M.G.A., 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi as a determinant of plant diversity: in search of underlying mechanisms and general principles. In: van der Heijden, M.G.A., Sanders, I.R. (Eds.), *Mycorrhizal Ecology*. Springer-Verlag, Berlin, 243 s.

Viero PWM, Little KM, Ocroft DG., 2000. The effect of a soilamended hydrogel on the establishment of a *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* clone grown on the sandy soils of Zululand. *Southern Afr For J.*, 188 s.

Vilagrosa A, Seva JP, Valdecantos A, Cortina J, Alloza JA, Serrasolsas I, Diego V, Abril M, Ferran A, Bellot J, Vallejo VR., 1997. Plantaciones para la restauración forestal en la Comunidad Valenciana. In: Vallejo VR (ed) *La restauración de la cubierta vegetal en la Comunidad Valenciana*. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, Valencia, 445 s.

Vitasse, Y., Signarbieux, C., & Fu, Y. H., 2018. Global warming leads to more uniform spring phenology patterns across elevations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115 s.

Wagg, C., Jansa, J., Schmid, B., van der Heijden, M.G.A., 2011. Belowground biodiversity effects of plant symbionts support aboveground productivity. *Ecol. Lett.*, 114 s.

Wainwright M., 1993. Oligotrophic growth of fungi—stress or natural state. In: Jennings DH, ed. *Stress tolerance of fungi*. New York: Marcel Dekker, 127 s.

Walker rf., 2001. Growth and nutritional responses of containerized sugar and Jeffrey pine seedlings to controlled release fertilization and induced mycorrhization. *Forest Ecology and Managment*, 169 s.

Wolf, J., Johnson, N.C., Rowland, D.L., Reich, P.B., 2003. Elevated CO<sub>2</sub> and plant species richness impact arbuscular mycorrhizal fungal spore communities. *New Phytol*, 157 s.

Zákon č. 289/1995 Sb., Zákon o lesích a o změně některých zákonů (lesní zákon), In: *Sbírka zákonů 3.11.1995*, ISSN 1211-1244 s.

Zhike W., Ting-Ting L., Hao-Kai P., Hai-Tao R., Ching-Wen L., Jia-Horng L., 2021. Low-cost hydrogel adsorbent enhanced by trihydroxy melamine and  $\beta$ -cyclodextrin for the removal of Pb(II) and Ni(II) in water. 10 s.

## 9 Přílohy

Příloha 1: Kruskal-Wallisův a Mann-Whitneyho test u měřených parametrů v roce 2021

Multiple Comparisons z' values; Výška (cm) (Spreadsheet1)								
Independent (grouping) variable: Varianta								
Kruskal-Wallis test: H ( 7, N= 1295) =21,01505 p =,0037								
Depend.: Výška (cm)	M1 R:654,01	M2 R:652,72	M3 R:563,09	M4 R:683,07	B1 R:694,71	B2 R:695,67	B3 R:578,42	B4 R:662,60
M1		0,031048	2,188108	0,699312	0,979334	1,000906	1,819177	0,206785
M2	0,031048		2,157060	0,730360	1,010382	1,031905	1,788130	0,237833
M3	2,188108	2,157060		2,887420	3,167442	3,185624	0,368931	2,394893
M4	0,699312	0,730360	2,887420		0,280022	0,302677	2,518489	0,492527
B1	0,979334	1,010382	3,167442	0,280022		0,023089	2,798511	0,772549
B2	1,000906	1,031905	3,185624	0,302677	0,023089		2,817265	0,794441
B3	1,819177	1,788130	0,368931	2,518489	2,798511	2,817265		2,025963
B4	0,206785	0,237833	2,394893	0,492527	0,772549	0,794441	2,025963	

Kruskal-Wallis test: H ( 7, N= 1296) =31,10707 p =,0001								
Depend.: Tloušťka (cm)	M1 R:688,27	M2 R:656,64	M3 R:559,49	M4 R:725,48	B1 R:641,44	B2 R:619,92	B3 R:576,50	B4 R:720,27
M1		0,760449	3,096717	0,894860	1,125904	1,643582	2,687696	0,769578
M2	0,760449		2,336269	1,655308	0,365455	0,883133	1,927247	1,530027
M3	3,096717	2,336269		3,991577	1,970814	1,453136	0,409021	3,866295
M4	0,894860	1,655308	3,991577		2,020763	2,538441	3,582556	0,125282
B1	1,125904	0,365455	1,970814	2,020763		0,517678	1,561792	1,895481
B2	1,643582	0,883133	1,453136	2,538441	0,517678		1,044114	2,413160
B3	2,687696	1,927247	0,409021	3,582556	1,561792	1,044114		3,457274
B4	0,769578	1,530027	3,866295	0,125282	1,895481	2,413160	3,457274	

Multiple Comparisons p values (2-tailed); Vitalita (Spreadsheet1)								
Independent (grouping) variable: Varianta								
Kruskal-Wallis test: H ( 7, N= 1296) =34,29956 p =,0000								
Depend.: Vitalita	M1 R:644,44	M2 R:699,78	M3 R:736,05	M4 R:619,63	B1 R:546,12	B2 R:605,23	B3 R:700,33	B4 R:636,42
M1		1,000000	0,772857	1,000000	0,505664	1,000000	1,000000	1,000000
M2	1,000000		1,000000	1,000000	0,006151	0,643550	1,000000	1,000000
M3	0,772857	1,000000		0,143289	0,000138	0,046381	1,000000	0,464272
M4	1,000000	1,000000	0,143289		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
B1	0,505664	0,006151	0,000138	1,000000		1,000000	0,005841	0,837167
B2	1,000000	0,643550	0,046381	1,000000	1,000000		0,621747	1,000000
B3	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,005841	0,621747		1,000000
B4	1,000000	1,000000	0,464272	1,000000	0,837167	1,000000	1,000000	

Multiple Comparisons p values (2-tailed); Délka kořene (cm) (Spreadsheet31)								
Independent (grouping) variable: Varianta								
Kruskal-Wallis test: H ( 7, N= 24) =8,215488 p =,3140								
Depend.: Délka kořene (cm)	M2 R:10,000	M1 R:12,667	M3 R:13,667	B2 R:11,000	B4 R:19,333	B1 R:6,6667	B3 R:8,6667	M4 R:18,000
M2		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
B2	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
B4	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		0,790730	1,000000	1,000000
B1	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,790730		1,000000	1,000000
B3	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
M4	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	

		Multiple Comparisons p values (2-tailed); Výška nadzemní části (cm) (Spreadsheet31) Independent (grouping) variable: Varianta Kruskal-Wallis test: $H(7, N=24) = 4,371845$ $p = ,7361$							
Depend.:	M2	M1	M3	B2	B4	B1	B3	M4	
Výška nadzemní části (cm)	R:16,167	R:14,833	R:15,167	R:13,667	R:7,5000	R:13,000	R:11,500	R:8,1667	
M2		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
M1	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
M3	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
B2	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
B4	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	
B1	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	
B3	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	
M4	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		

		Multiple Comparisons p values (2-tailed); Délka kůlu (cm) (Spreadsheet31) Independent (grouping) variable: Varianta Kruskal-Wallis test: $H(7, N=24) = 9,225702$ $p = ,2369$							
Depend.:	M2	M1	M3	B2	B4	B1	B3	M4	
Délka kůlu (cm)	R:22,333	R:15,000	R:10,667	R:9,8333	R:8,5000	R:12,833	R:13,000	R:7,8333	
M2		1,000000	1,000000	0,850719	0,464098	1,000000	1,000000	0,336639	
M1	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
M3	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
B2	0,850719	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
B4	0,464098	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	
B1	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	
B3	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	
M4	0,336639	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		

		Multiple Comparisons p values (2-tailed); Hmotnost nadzemní části (g) (Spreadsheet31) Independent (grouping) variable: Varianta Kruskal-Wallis test: $H(7, N=24) = ,8933333$ $p = ,9964$							
Depend.:	M2	M1	M3	B2	B4	B1	B3	M4	
Hmotnost nadzemní části (g)	R:12,333	R:11,333	R:15,333	R:14,000	R:11,000	R:12,333	R:11,667	R:12,000	
M2		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
M1	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
M3	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
B2	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
B4	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	
B1	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	
B3	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	
M4	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		

		Multiple Comparisons p values (2-tailed); HuAM (Spreadsheet31) Independent (grouping) variable: Varianta Kruskal-Wallis test: $H(7, N=24) = 9,826667$ $p = ,1986$							
Depend.:	M2	M1	M3	B2	B4	B1	B3	M4	
HuAM	R:9,0000	R:9,3333	R:8,6667	R:10,333	R:11,667	R:11,333	R:17,333	R:22,333	
M2		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,585797	
M1	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,681615	
M3	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,501937	
B2	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
B4	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	
B1	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	
B3	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	
M4	0,585797	0,681615	0,501937	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		

		Multiple Comparisons p values (2-tailed); HuNM (Spreadsheet31)							
		Independent (grouping) variable: Varianta							
		Kruskal-Wallis test: H ( 7, N= 24) =10,96000 p =,1404							
Depend.:		M2	M1	M3	B2	B4	B1	B3	M4
HuNM		R:16,000	R:7,6667	R:7,6667	R:17,333	R:7,3333	R:19,333	R:16,000	R:8,6667
M2			1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1		1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3		1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
B2		1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
B4		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
B1		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
B3		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
M4		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	

		Multiple Comparisons p values (2-tailed); %AM (Spreadsheet31)							
		Independent (grouping) variable: Varianta							
		Kruskal-Wallis test: H ( 7, N= 24) =14,32000 p =,0458							
Depend.:		M2	M1	M3	B2	B4	B1	B3	M4
%AM		R:5,3333	R:14,000	R:16,667	R:7,3333	R:17,667	R:6,6667	R:11,000	R:21,333
M2			1,000000	1,000000	1,000000	0,914576	1,000000	1,000000	0,156341
M1		1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3		1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
B2		1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	0,428787
B4		0,914576	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
B1		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	0,310084
B3		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
M4		0,156341	1,000000	1,000000	0,428787	1,000000	0,310084	1,000000	

		Multiple Comparisons p values (2-tailed); %NM (Spreadsheet31)							
		Independent (grouping) variable: Varianta							
		Kruskal-Wallis test: H ( 7, N= 24) =14,32000 p =,0458							
Depend.:		M2	M1	M3	B2	B4	B1	B3	M4
%NM		R:19,667	R:11,000	R:8,3333	R:17,667	R:7,3333	R:18,333	R:14,000	R:3,6667
M2			1,000000	1,000000	1,000000	0,914576	1,000000	1,000000	0,156341
M1		1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3		1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
B2		1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	0,428787
B4		0,914576	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
B1		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	0,310084
B3		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
M4		0,156341	1,000000	1,000000	0,428787	1,000000	0,310084	1,000000	

		Multiple Comparisons p values (2-tailed); Vitalita (Spreadsheet31)							
		Independent (grouping) variable: Varianta							
		Kruskal-Wallis test: H ( 7, N= 24) =16,22257 p =,0232							
Depend.:		M2	M1	M3	B2	B4	B1	B3	M4
Vitalita		R:5,5000	R:16,000	R:12,500	R:9,0000	R:21,000	R:18,000	R:12,500	R:5,5000
M2			1,000000	1,000000	1,000000	0,203279	0,850719	1,000000	1,000000
M1		1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3		1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
B2		1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
B4		0,203279	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	0,203279
B1		0,850719	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	0,850719
B3		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
M4		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,203279	0,850719	1,000000	

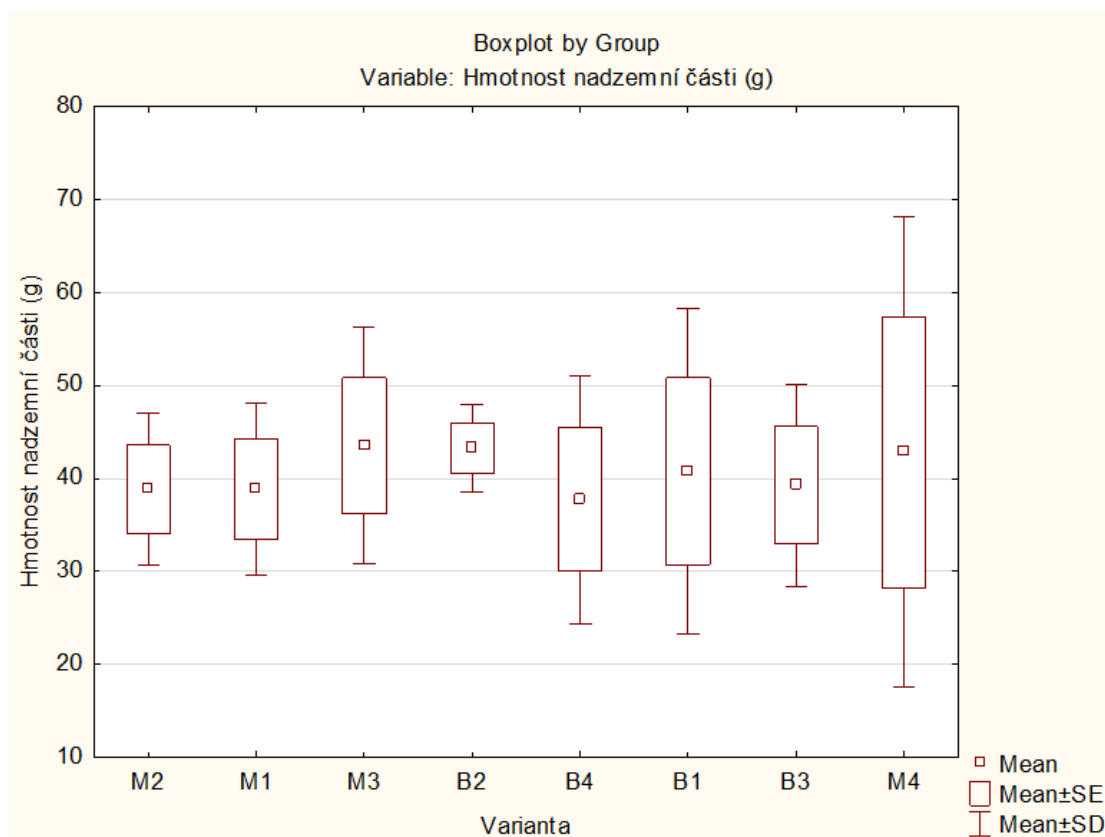
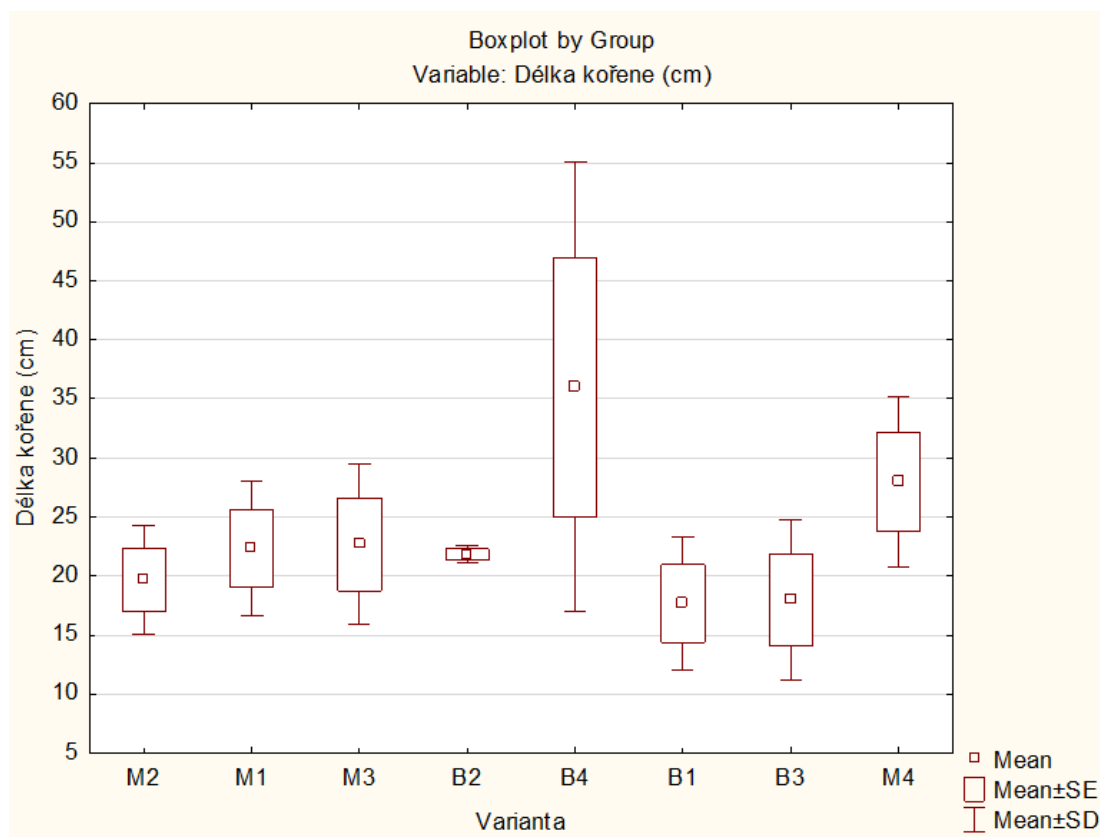
Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (Spreadsheet1)										
By variable Plocha										
Marked tests are significant at p <,05000										
variable	Rank Sum A	Rank Sum H	U	Z	p-value	Z adjusted	p-value	Valid N A	Valid N H	
Vitalita	1771848	1588681	748224,5	4,807278	0,000002	5,074687	0,000000	1296	1296	

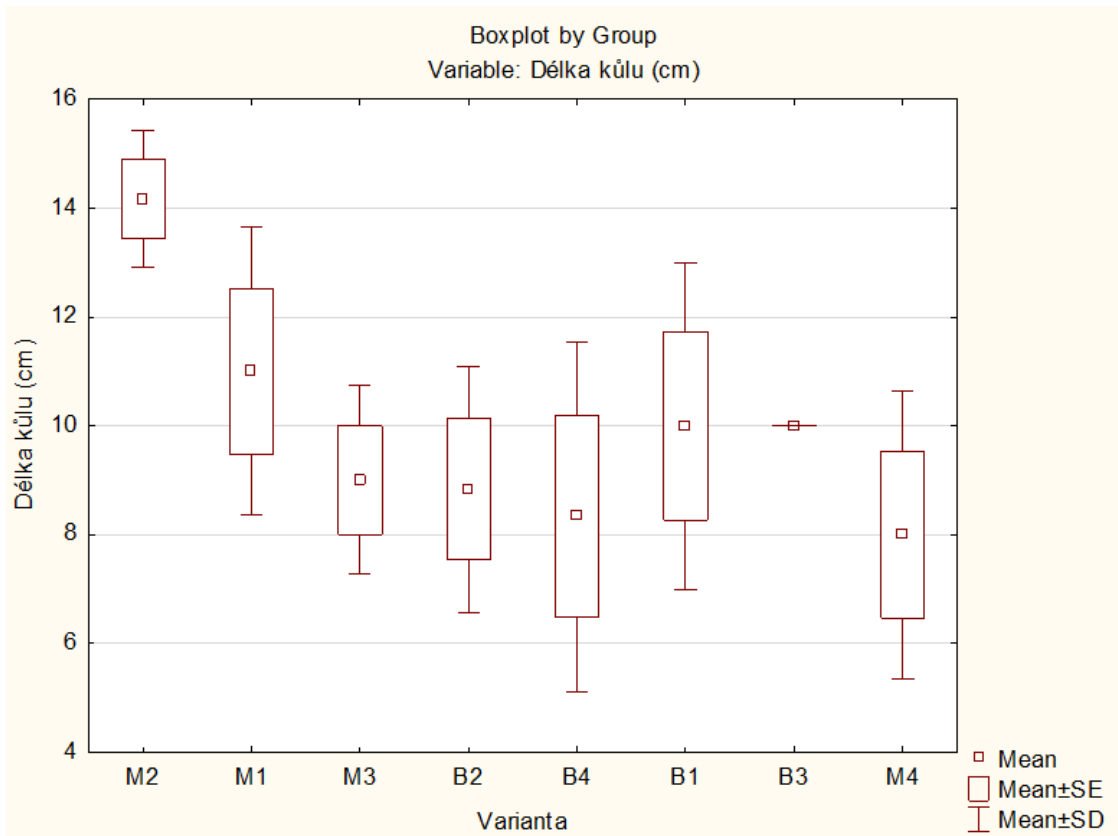
Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (Spreadsheet1)										
By variable Plocha										
Marked tests are significant at p <,05000										
variable	Rank Sum A	Rank Sum H	U	Z	p-value	Z adjusted	p-value	Valid N A	Valid N H	
Výška (cm)	1609164	1748772	768708,0	-3,70021	0,000215	-3,70279	0,000213	1296	1295	

Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (Spreadsheet1)										
By variable Plocha										
Marked tests are significant at p <,05000										
variable	Rank Sum A	Rank Sum H	U	Z	p-value	Z adjusted	p-value	Valid N A	Valid N H	
Tloušťka (cm)	1582720	1777808	742264,0	-5,12015	0,000000	-5,12254	0,000000	1296	1296	



## Příloha 2: Krabicové grafy





### Příloha 3: Vyzvedávání a zpracování sazenic





Příloha 4: Výsadba sazenic na výzkumné ploše Apolenka v roce 2019



Příloha 5: Aplikace hydrogelu k sazenicím v roce 2019



Příloha 6: Instalace mulčovacích rohoží v roce 2019



Příloha 7: Detailní záběr mykorhizovaných sazenic

