

HODNOTENIE VÝVOJA LESNEJ KULTÚRY BUKA LESNÉHO A SMREKA OBYČAJNÉHO PÄŤ ROKOV PO APLIKÁCII MYKORÍZNYCH A HYDROABSORPČNÝCH PRÍPRAVKOV PRI VÝSADBE

ESTIMATION OF DEVELOPMENT OF EUROPEAN BEECH AND NORWAY SPRUCE PLANTATIONS FIVE YEARS AFTER APPLICATION OF MYCORRHIZAL AND WATER-HOLDING ADDITIVES AT PLANTING

IVAN REPÁČ

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovak Republic

e-mail: repac@tuzvo.sk

ABSTRACT

This study estimates the effect of application of mycorrhizal additives Ectovit and Mycorrhizaroots and hydro-absorbent Stockosorb on survival, growth and foliar nutrients of Norway spruce and European beech seedlings five years after outplanting. Survival rate was 74% for spruce and 56% for beech seedlings, regardless of treatments. Ectovit- and Stockosorb-treated spruce survived by 8% better than control, Mycorrhizaroots-treated beech survived by 10% worse than in the other treatments. Damage rate of spruce was higher than that of beech in consequence of dying of severe damaged beech seedlings (deer browsing, mechanical damage at weed control, shoots drying) that were not counted to damage rate. Growth of spruce was slightly more intensive than growth of beech. A slightly positive effect of Stockosorb on the growth of spruce and slightly negative effect on the growth of beech was detected, however, these effects were not significant. Foliar analyses revealed sufficient nutritional status for spruce, but insufficient content of potassium and magnesium for beech. Concentrations of nutrients in spruce needles were slightly higher in control than in Ectovit-treated seedlings, whereas nutrients in beech foliage were almost equal in all treatments. The results suggest a different response of the species tested to the additives, however, the additives effects were not marked on intraspecific level, probably due to favorable soil and climatic conditions of the planting site.

For more information see Summary at the end of the article.

Kľúčové slová: výsadba; voľnokorenné sadenice; mykorrhízny prípravok; hydroabsorbent; buk lesný; smrek obyčajný

Key words: reforestation; bareroot seedlings; mycorrhizal inoculum; hydro-absorbent; European beech; Norway spruce

ÚVOD

Napriek tomu, že prirodzená obnova je racionálny spôsob obnovy lesa, často neumožňuje vznik nového lesného porastu požadovaného drevinového zloženia, napr. v nevhodných podmienkach prostredia (vrátane rozsiahlych kalamitných plôch) alebo pri premenách drevinového zloženia. Vzhľadom na túto skutočnosť hrá významnú úlohu v obnove lesa na Slovensku umelá obnova. V poslednom desaťročí bol podiel umelej obnovy na plnení zalesňovacích povinností okolo 60 %; posledný oficiálny údaj je 60,5 % (Správa 2017). Jednou z možností na zmiernenie šoku z presadenia, zlepšenia adaptačnej schopnosti, prežívania a odrastania vysadených sadeníc je použitie rôznych prírodných organických a minerálnych materiálov, syntetických prípravkov, hnojív a iných, tzv. pôdnych kondicionérov (KUNEŠ et al. 2004; TUČEKOVÁ 2004; MAUER 2007; KUPKA et al. 2015; REPÁČ et al. 2017). Tie môžu podľa mechanizmu pôsobenia zlepšovať príjem a hospodárenie rastlín s vodou a živinami, ovplyvňovať mikrobiálne procesy, stimulovať účinnosť iných látok alebo absorbovať cudzorodé škodlivé látky.

Obligátne ektotrofné dreviny (hlavne rody *Picea*, *Abies*, *Pinus*, *Larix*, *Fagus*, *Quercus*, *Betula*) sú v nepriaznivých podmienkach pôdneho prostredia existenčne závislé na symbióze s ektomykorrhízny (EKM) hubami (HARLEY, SMITH 1983). Najúžitocnejším prospechom mykorrhíznej symbiózy pre lesné dreviny môže byť zvýšený príjem živín a vody, ale tiež ochrana pred extrémami prostredia a pôdnymi patogénmi. Viaceré práce potvrdili pozitívny vplyv inokulácie EKM hubami na adaptačnú schopnosť sadeníc na podmienky výsadbových plôch (RUEHLE 1982; MARX 1991; CASTELLANO 1996; SANCHEZ-ZABALA et al. 2013). Vzhľadom na zložitosť symbiotického vzťahu EKM húb a drevín, ovplyvňovaného mnohými okolnosťami, pozitívny účinok mykorrhízácie nie je zaručený. V prípade potreby vyrovnávania vlhových extrémov a zmiernenia stresu zo sucha by mohla byť spoľahlivejšia aplikácia hydroabsorbentov. V poslednom období boli aj na Slovensku pri zakladaní lesných kultúr testované komerčné bakteriálne a hubové prípravky aj hydroabsorbenty, s variabilnými účinkami na sadbový materiál (TUČEKOVÁ 2004; TUČEKOVÁ et al. 2008; REPÁČ et al. 2011, 2013; REPÁČ, VENCURIK 2015).

V lesoch Slovenska majú dlhodobu najvyššie zastúpenie buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) a smrek obyčajný (*Picea abies* [L.] Karst.). Za ostatných desať rokov sa v dôsledku pôsobenia škodlivých činiteľov znížilo zastúpenie smreka o 2,9 % (na súčasných 23,4 %), naopak sa zvýšilo zastúpenie buka o 2,2 % (na 33,2 %), čo možno hodnotiť pozitívne z hľadiska stability lesov (Správa 2017). V prirodzenom areáli rozšírenia vo vyšších polohách severného Slovenska smrek zostane naďalej jednou z hlavných drevín, napriek intenzívnemu poškodeniu rovnodenných dospelých porastov vetrom a podkôrnym hmyzom. S bukom sa v týchto oblastiach ráta ako s hlavnou drevinou premeny smrečín. Smrek je pomerne hojne zastúpený aj vo výškovo alebo edaficky okrajových zónach areálu jeho prirodzeného rozšírenia, zvlášť v horských oblastiach stredného Slovenska. Príkladom takéhoto výskytu je aj územie Kremnických vrchov. Hoci je v dôsledku zmeny klímy pravdepodobný ústup smreka z týchto pozícií, stále tu má značný hospodársky význam. Buk je v tejto oblasti dominantnou pôvodnou drevinou s veľmi dobrými schopnosťami prirodzenej obnovy. Časť zalesňovacích povinností je však zabezpečovaná aj sadbou, zvlášť na rozsiahlejších kalamitných holinách. Obnova smreka je realizovaná takmer výhradne sadbou. Vzhľadom na nepriazeň holej plochy pre tieto dreviny, zvýraznenú možnými periódami nedostatku zrážok a nadpriemerných teplôt, potenciálnym prostriedkom zlepšenia výsledkov umelej obnovy môže byť aplikácia prípravkov zmiernujúcich stres zo sucha.

V roku 2010 bola v Kremnických vrchoch založená výskumná výsadbová plocha za účelom sledovania vplyvu aplikácie komerčných mykorrhíznych prípravkov Ectovit a Mycorrhizaroots a hydroabsorbenta Stockosorb na vývoj lesnej kultúry buka lesného a smreka obyčajného. Výsledky hodnotenia výsadby po prvom a druhom vegetačnom období boli publikované v Zprávkach lesníckeho výzkumu (REPÁČ et al. 2013). Prežívanie, poškodenie a rast lesnej kultúry boli hodnotené po každom vegetačnom období aj v nasledujúcich troch rokoch, a po piatom vegetačnom období bol tiež zistený obsah živín v asimilačných orgánoch vysadených drevín. Cieľom tejto práce je analýza účinkov uvedených prípravkov na vývoj lesnej kultúry po piatich rokoch po jej založení.

MATERIÁL A METODIKA

Charakteristika výskumnej výsadbovej plochy

Výskumná výsadbová plocha (VVP) bola založená v apríli 2010 v geomorfologickom celku Kremnické vrchy, na území Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene, lokalita Kamenná. VVP sa nachádza v 4. lesnom vegetačnom stupni (bukovom), v nadmorskej výške 750 m, expozícia Z, sklon 30–40 %. Materská hornina lokality je andezit, dominantný pôdny typ kambizem, pôda je skalnatá, miestami balvanitá. VVP bola založená na holej ploche, ktorá vznikla po obnovno-rubnej ťažbe v rámci plánovanej obnovy porastu. Pôvodný porast mal priemerný vek 100 rokov, zakmenenie 0,8 nerovnomerné, bol tvorený drevinami buk lesný 70 %, jedľa biela 25 %, javor horský 3 % a jaseň štíhly 2 %. Porast je obhospodarovateľný podrastovým hospodárskym spôsobom, maloplošná forma, rubná doba 110 rokov. Obnovovaný je okrajovým clonným rubom v pásoch širokých na 2 výšky porastu, obnovné zastúpenie drevín buk 60 %, jedľa 20 %, jaseň 10 %, smrek 10 % (očakávaná prirodzená obnova buka, jaseňa a jedle), obnovná doba 30 rokov.

Prípravky a ich aplikácia

V experimente boli použité prípravky Mycorrhizaroots (Lebanon Turf, Pennsylvania, USA), Ectovit (Symbiom, s. r. o., Česká republika) a Stockosorb (Evonik Stockhausen, GmbH, Nemecko). Mycorrhizaroots obsahuje spóry EKM húb *Pisolithus tinctorius* (1 600 000 spór

na 1 gram inokula), štyroch druhov rodu *Rhizopogon* (80 000 spór g⁻¹ z každého druhu), dvoch druhov rodu *Scleroderma* (40 000) a dvoch druhov rodu *Laccaria* (16 000), spóry endomykorrhíznych húb rodu *Glomus* (8 druhov) a *Gigaspora margarita*. Podiel všetkých spór je 23,3 % z celkovej hmotnosti inokula. Okrem nich pôdny kondicionér obsahuje kyselinu humínovú (28,9 %), výťažok morských rias (18,0 %), vitamín C (12,3 %), aminokyseliny (8,5 %), myo-Inositol (3,5 %), maltodextrín (2,25 %), vitamín B1 (2,0 %), vitamín E (1,0 %) a aktivačné činidlo (0,25 %). Prípravok sa aplikoval vo forme zálievky, ktorá sa vykonala niekoľko dní po výsadbe a ešte raz počas vegetačného obdobia (v júli). Do bezprostredného okolia sadenice bola aplikovaná dávka 0,3 g prípravku dôsledne premiešaného v 0,5 l vody.

Ectovit je kombinovaný hydroabsorbčný a mykorrhízny prípravok, ktorý obsahuje mycélium štyroch druhov EKM húb (*Cenococcum geophilum*, *Hebeloma velutipes*, *Laccaria proxima* a *Paxillus involutus*) a spóry dvoch druhov EKM húb (*Pisolithus tinctorius* a *Scleroderma citrinum*). Ectovit bol aplikovaný v kašovitej (gélovej) forme, ktorá bola pripravená zmiešaním sypkej zložky prípravku (jemná rašelina, spóry húb, granule absorpčného gélu, prírodné zložky podporujúce tvorbu mykorrhíznej symbiózy – humáty, mleté horniny, výťažky z morských organizmov), hubového mycélia a primeraného množstva vody. Koreňové systémy sadeníc boli do prípravku namáčané bezprostredne pred výsadbou. Na jednu sadenicu boli aplikované približne 3 ml mycélia húb. Množstvo spór v prípravku producent neuvádza. Stockosorb patrí do skupiny hydroabsorbentov, z chemického hľadiska sa jedná o polyakrylamidovú zlúčeninu vo forme práškoveho koncentráta. Korene sadeníc sa pred vysadením namočili rovnako ako pri aplikácii Ectovitu do gélovej formy tohto hydroabsorbenta, ktorá sa pripravila zmiešaním práškoveho prípravku s primeraným množstvom vody. Každý prípravok bol aplikovaný k 50 ks sadeníc obidvoch drevín v každom z troch opakovaní (blokov). Päťdesiat sadeníc v každom bloku bolo tiež vysadených bez aplikácie prípravku (kontrola).

Sadenice, sadba, ošetrovanie výsadiieb

Na VVP boli sadené štvorročné voľnokorenné sadenice smreka obyčajného (f1+3) a buka lesného (1+3), ktoré boli vypěstované zo semenáčikov škólkovaných v malej lesnej škôlke Mláčik, lokalizovanej neďaleko VVP v nadmorskej výške 860 m. Z hľadiska pôvodu sadenice spĺňali podmienky ustanovené zákonom o lesnom reprodukčnom materiáli, teda pochádzali z uznaného zdroja lesného reprodukčného materiálu a vyhovovali zásadám horizontálneho a vertikálneho prenosu (zdroj reprodukčného materiálu z príslušnej semenárskej oblasti a lesného vegetačného stupňa).

Sadenice boli vysádzané jamkovou sadbou v štvorcovom spone, smrek v rozstupe 2,0 × 2,0 m (2500 ks ha⁻¹, 50 ks na ploche 200 m²), buk 1,6 × 1,6 m (4000 ks ha⁻¹, 50 ks na ploche 130 m²). Z dôvodu výskytu hromád zostatkov po ťažbe a koreňových balov po vývratoch nebolo vždy možné dodržať pravidelný spon výsadby. Spolu bolo vysadených 1200 ks sadeníc (50 ks × 2 dreviny × 4 varianty × 3 bloky). Veľkosť jedného bloku (2 dreviny, 4 varianty) bola 1320 m², celej pokusnej plochy 3960 m² (0,40 ha).

Pred zimou v každom roku od založenia VVP bola vykonaná individuálna ochrana sadeníc proti zveri náterom terminálneho výhonka chemickým repelentom. V priebehu 1.–3. vegetačného obdobia bola na ploche dvakrát, v 4.–5. vegetačnom období jedenkrát vykonaná individuálna ochrana proti burine ručne vyžínaním.

Hodnotenie lesnej kultúry

Po ukončení rastu v treťom až piatom roku po výsadbe bol zistený počet prežitých a poškodených jedincov na VVP. Prežívanie sadeníc bolo vyjadrené ako percento počtu prežitých jedincov (zdravé + poškodené) z počtu vysadených jedincov, poškodenie ako percento poč-

tu poškodených z počtu prežitých jedincov. Rozlišované bolo poškodenie zverou (odhryz, zašlapávanie, vyťahovanie), vysychaním terminálneho výhonka a iné poškodenie (vyžínaním, iným mechanickým poškodením, dvojak a útlakom burinou ako dôsledok nedôsledne vykonaného vyžínania). Na nepoškodených sadenicach boli zmerané rastové parametre ako výška stonky, výškový prírastok a hrúbka krčka. Podľa RUEHLA (1982) bol z hodnôt hrúbky a výšky ($h^2 \cdot v$) vypočítaný objem nadzemnej časti. Rastové charakteristiky sadenic boli analyzované jednofaktorovou analýzou rozptylu a na posúdenie významnosti rozdielov priemerných hodnôt úrovni sledovaného faktora sa použil Tukeyov test ($p \leq 0,05$). Výpočet analýzy rozptylu a následné štatistické testovanie boli urobené na PC v programe SAS (SAS Institute Inc., Cary, USA). Po 5. vegetačnom období boli z viacerých jedincov z každého z troch opakovaní odobrané vzorky asimilačného aparátu pre chemické analýzy. Analýzy boli robené len z jednej zmiešanej vzorky pre každý variant. Uhlík a dusík boli stanovené analyzátorom NCS-FLASH 1112, ďalšie základné živiny fosfor, draslík, vápnik a horčík po zmineralizovaní vzoriek použitím metódy AES-ICP.

VÝSLEDKY

Prežívanie smreka po treťom vegetačnom období (treťom roku) po výsadbe bolo 85 %, o 16 % vyššie než buka (69 %). V priebehu ďalších dvoch rokov boli straty buka len o 2 % vyššie než smreka, takže rozdiel v prežívaní drevín po piatom vegetačnom období bol 18 % (smrek 74 %, buk 56 %) (tab. 1). Najvyššie, približne rovnaké hodnoty prežívania smreka na konci každého z hodnotených vegetačných období boli zistené pri sadenicach s aplikáciou Ectovitu a Stockosorb, najnižšie pre kontrolu. Najvyšší rozdiel v prežívaní medzi aplikáciou hy-

drogélových prípravkov a kontrolou bol 13–14 % po štyroch rokoch, po piatom roku sa rozdiel znížil na 8 %, v dôsledku vyšších strát sadenic vo variantoch Ectovit a Stockosorb než kontrola. Po treťom roku po výsadbe o niečo lepšie preživali sadenice buka s aplikáciou Stockosorb (75 %) a bez aplikácie prípravku (76 %), než sadenice ošetrované mykORIZNÝMI prípravkami Mycorrhizaroots (64 %) a Ectovit (61 %) (tab. 1). Po ďalších dvoch rokoch, vzhľadom na najnižšie straty sadenic ošetrovaných Ectovitom, sa hodnoty prežívania vo variantoch Ectovit, Stockosorb a kontrola vyrovnali (57–60 %), o niečo menej prežilo sadenic s prípravkom Mycorrhizaroots (49 %).

Po 3. roku bol rozsah poškodenia oboch drevín pomerne vyrovnaný (tab. 1). Poškodenie bolo spôsobené približne v rovnakom rozsahu zverou a uschnutím terminálneho výhonka, zvlášť pri smreku sa vyskytlo aj iné poškodenie. Po 4. a najmä po 5. roku výrazne prevažovalo poškodenie sadenic smreka (19 %), buk bol poškodený len minimálne (5 %). Najčastejšie sa vyskytovalo poškodenie zverou, v menšej miere boli sadenice poškodené mechanicky pri vyžínaní, útlakom burinou, vytvorením dvoch terminálnych výhonov a vyschnutím výhonka. Uschýnanie výhonkov, ktoré mohlo byť ovplyvnené aplikovanými prípravkami, sa po 3. roku pri smreku vyskytlo vo väčšom rozsahu po aplikácii Stockosorb než iných prípravkov. Pre buk boli tiež pozorované rozdiely vo výskyte suchého vrchola po 3. roku, keď sadenice s aplikáciou Ectovitu boli poškodené menej než v ostatných variantoch (tab. 1). V posledných dvoch hodnotených rokoch neboli vo vysychaní výhonkov medzi prípravkami väčšie rozdiely.

Po celú dobu hodnotenia experimentu nemala aplikácia komerčných prípravkov významný vplyv na hodnoty meraných rastových parametrov sadenic smreka a buka. Hoci rozdiely medzi hodnotami rastových ukazovateľov neboli významné, zaznamenali sme mierne pozitívny

Tab. 1.

Prežívanie a poškodenie výsadiel smreka obyčajného a buka lesného po treťom až piatom vegetačnom období po výsadbe s aplikáciou komerčných prípravkov Mycorrhizaroots, Ectovit a Stockosorb

Survival and damage of Norway spruce and European beech plantations after the third to fifth growing season following the outplanting with application of commercial additives Mycorrhizaroots, Ectovit and Stockosorb

Prípravok ¹	Smrek obyčajný ⁵				Buk lesný ⁶			
	Prežívanie ⁴ (%)	Poškodené z prežitých ⁷ (%)			Prežívanie ⁸ (%)	Poškodené z prežitých ⁷ (%)		
		Zver ⁹	Suchý vrchol ⁹	Iné poškodenie ¹⁰		Zver ⁹	Suchý vrchol ⁹	Iné poškodenie ¹⁰
Po 3. vegetačnom období ¹¹								
Mycorrhizaroots	84,7	8,7	0,8	4,7	64,0	7,3	6,3	2,1
Ectovit	88,7	4,5	2,3	7,5	61,0	6,7	1,9	5,7
Stockosorb	87,3	4,6	7,6	6,9	74,7	4,5	5,4	0,0
Kontrola ²	80,0	5,0	1,7	9,2	76,0	4,4	7,0	0,0
Priemer ³	85,2	5,7	3,1	6,9	68,9	5,7	5,2	2,0
Po 4. vegetačnom období ¹²								
Mycorrhizaroots	80,7	3,3	1,7	2,5	50,7	1,3	1,3	0,0
Ectovit	85,3	10,2	0,8	4,7	61,0	3,2	1,1	0,0
Stockosorb	86,0	7,0	0,0	4,7	69,3	1,9	1,9	1,0
Kontrola ²	72,0	13,0	1,9	1,9	63,3	1,1	0,0	0,0
Priemer ³	81,0	8,4	1,1	3,5	61,1	1,9	1,1	0,3
Po 5. vegetačnom období ¹³								
Mycorrhizaroots	74,0	10,2	3,7	9,3	49,3	2,6	0,0	0,0
Ectovit	76,0	15,0	0,0	10,0	57,3	1,2	0,0	0,0
Stockosorb	76,7	6,2	2,3	7,0	60,0	4,2	0,0	5,2
Kontrola ²	68,7	11,2	0,9	0,0	58,7	3,2	0,0	4,3
Priemer ³	73,8	10,7	1,7	6,6	56,3	2,8	0,0	2,4

¹Additive, ²Control, ³Average, ⁴Survival, ⁵Norway spruce, ⁶European beech, ⁷Damaged seedlings from survived, ⁸Game, ⁹Dry leading shoot, ¹⁰Another damage, ^{11,12,13}After 3rd to 5th growing season

účinnok hydroabsorbenta Stockosorb na rast smreka, hlavne v komplexnejšom ukazovateli rastu – objeme nadzemnej časti (tab. 2). Naopak, pre sadenice buka ošetrené Stockosorbom boli zistené o niečo nižšie hodnoty než v ostatných variantoch. Bez ohľadu na aplikovaný prípravok, obidve dreviny prejavili podobný rytmus výškového rastu, s mierne rýchlejšim rastom smreka s pribúdajúcim vekom výsadby. Aj v závislosti od hrúbky koreňového krčka v čase výsadby, tiež hrúbkový prírastok smreka bol intenzívnejší než buka, čo vyústilo do vyššej

produkcie biomasy smreka, vyjadrenej hodnotami objemu nadzemnej časti (tab. 2).

Hodnoty koncentrácie minerálnych živín v asimilačnom aparáte medzi jednotlivými variantmi boli v rámci obidvoch drevín v podstate vyrovnané, len s menšími rozdielmi (tab. 3). V ihliciach smrekových sadeníc bol zistený najvyšší obsah dusíka, fosforu, draslíka a horčíka pre kontrolu a najmenší pre Ectovit (rozdiel 18–25 % podľa prvku). Pre buk bol rovnako zistený najnižší obsah dusíka, ale naopak najvyšš-

Tab. 2.

Priemerné hodnoty ± smerodajné odchýlky rastových parametrov sadeníc smreka obyčajného a buka lesného po treťom až piatom vegetačnom období po výsadbe s aplikáciou komerčných prípravkov Mycorrhizaroots, Ectovit a Stockosorb
Mean values (± standard deviations) of growth parameters of Norway spruce and European beech plantations after the third to fifth growing season following the outplanting with application of commercial additives Mycorrhizaroots, Ectovit and Stockosorb

Prípravok ¹	Smrek obyčajný ⁷			Buk lesný ⁸		
	3. rok ⁹	4. rok ¹⁰	5. rok ¹¹	3. rok ⁹	4. rok ¹⁰	5. rok ¹¹
Výška kmienka (cm)³						
Mycorrhizaroots	65,0±18,9	88,5±27,9	134,0±28,5	68,7±23,1	96,3±31,5	123,4±40,2
Ectovit	69,0±15,8	94,3±24,6	130,9±34,6	66,0±21,8	99,5±25,9	137,6±32,8
Stockosorb	69,6±16,8	99,3±26,4	135,4±30,3	60,7±15,2	90,2±27,0	126,9±37,0
Kontrola ²	66,2±19,8	92,7±32,6	123,0±29,2	61,4±19,9	97,2±30,8	136,2±33,3
Výškový prírastok (cm)⁴						
Mycorrhizaroots	24,3±9,4	31,3±13,1	36,3±17,0	16,8±9,3	33,9±19,1	26,6±11,9
Ectovit	24,2±8,1	33,8±14,3	35,7±10,7	16,9±9,0	32,6±13,2	25,6±14,5
Stockosorb	25,9±9,8	37,4±13,9	35,3±11,2	17,5±9,4	31,5±15,8	21,4±11,8
Kontrola ²	26,6±11,3	35,5±15,0	32,1±11,0	17,7±9,5	29,2±12,5	28,1±13,0
Hrúbka kmienka (mm)⁵						
Mycorrhizaroots	13,6±3,8	16,9±4,8	25,1±6,8	11,4±3,9	15,1±4,5	18,9±5,5
Ectovit	15,2±4,2	18,4±4,7	24,7±7,8	10,5±3,2	15,4±3,4	19,5±4,6
Stockosorb	15,5±4,4	19,5±4,3	27,9±6,8	10,8±2,9	14,1±3,4	17,3±4,8
Kontrola ²	14,4±4,0	18,7±4,6	25,9±6,7	10,6±3,2	15,1±4,0	21,2±16,1
Objem nadzemnej časti (cm³)⁶						
Mycorrhizaroots	142±113	300±243	976±687	116±116	264±234	536±446
Ectovit	184±128	365±267	977±744	90±87	263±172	616±437
Stockosorb	197±140	427±267	1199±730	82±65	206±145	450±332
Kontrola ²	166±145	388±300	952±667	85±67	262±198	954±338

¹Additive, ²Control, ³Stem height, ⁴Height increment, ⁵Stem diameter, ⁶Volume of aboveground part, ⁷Norway spruce, ⁸European beech, ^{9,10,11}Po 3.–5. vegetačnom období po výsadbe/After 3rd–5th growing season after outplanting

Tab. 3.

Chemická analýza asimilačného aparátu sadeníc smreka obyčajného a buka lesného po piatom vegetačnom období na výsadbovej ploche s aplikáciou komerčných prípravkov Mycorrhizaroots, Ectovit a Stockosorb
Foliar chemical analysis of Norway spruce and European beech seedlings after fifth growing season following the outplanting with application of commercial additives Mycorrhizaroots, Ectovit and Stockosorb

Prípravok ¹	Sušina ³ (%)	C (%)	N (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)
Smrek obyčajný⁴							
Mycorrhizaroots	93,90	50,2	2,04	1980	8360	10000	1040
Ectovit	94,95	50,1	1,81	1680	7770	9360	926
Stockosorb	94,73	53,0	2,14	1860	8270	10500	989
Kontrola ²	94,27	54,0	2,18	2030	9150	9320	1160
Buk lesný⁵							
Mycorrhizaroots	94,48	53,7	2,35	1770	7440	14600	1370
Ectovit	94,21	50,4	1,98	1830	8080	15100	1380
Stockosorb	94,72	53,6	2,08	1630	7870	14300	1420
Kontrola ²	94,43	54,5	2,22	1620	7520	12300	1320

¹Additive, ²Control, ³Dry matter, ⁴Norway spruce, ⁵European beech

šie hodnoty fosforu, draslíka a vápnika v listoch sadeníc ošetrených Ectovitom. Rozdiely medzi variantmi v obsahu makroelementov pri buku však boli menšie než pri smreku.

DISKUSIA

Z dôvodu komplexnosti a kontinuity hodnotenia vývoja lesnej kultúry od jej založenia, v diskusii uvedieme aj niektoré výsledky po 1. a 2. roku po výsadbe, zvlášť ak došlo v ďalších rokoch k zmene vo vývoji kultúry. Priemerná ujatnosť oboch drevín (aj kontrolných sadeníc bez aplikácie prípravku) bola po 1. roku viac ako 90 % (REPÁČ et al. 2013), čo je považované za uspokojivý výsledok v súvislosti s poznatkami a skúsenosťami o priemernej ujatosti voľnokorenného sadbového materiálu v SR (REPÁČ, VENCURIK 2015). Poukazuje to na priaznivé podmienky prostredia a dobrú adaptačnú schopnosť škólkovaných sadeníc s vyspelejším koreňovým systémom a vyšším podielom jemných koreňov. Potrebu použitia vyspelého materiálu potvrdzujú výsledky REPÁČA et al. (2011), TUČEKOVEJ (2013) a REPÁČA, VENCURIKA (2015), ktorí zistili zvýšené straty semenáčikov smreka a borovice, pokiaľ nedosahovali normou odporúčané biometrické parametre. Najvyššie straty pri oboch drevinách za celé obdobie od výsadby sadeníc boli medzi koncom prvého a druhého vegetačného obdobia (smrek 10 %, buk takmer 20 %). Popri neukončenej adaptácii sadeníc na podmienky plochy, tieto straty, ale aj menšie výškové prírastky než v nasledujúcich rokoch, boli pravdepodobne aj dôsledkom nadmerného sucha v roku 2011 (v druhom roku od založenia kultúry), aj keď prerušeného mierne nadpriemernými zrážkami v júni a júli.

Jedným zo zámerov tejto práce bolo sledovanie a porovnanie strát a poškodenia sadeníc testovaných drevín a vplyvu podporných prípravkov v prípade výskytu nadnormálnej teploty ovzdušia a zvlášť nedostatku zrážok. MAUER (2007) zistil, že morfológicky a fyziologicky kvalitné sadenice smreka a buka vysádzané v dormancii odolávajú jednorazovému až trojtýždňovému prísušku. Pri použití menej kvalitného sadbového materiálu, pri opakovaných trojtýždňových prísuškoch alebo prísuškoch dlhších odolávajú len sadenice chránené. Vzhľadom na porovnávanie vývinu drevín a účinku prípravkov na jednej ploche s rovnakým priebehom počasia, za postačujúce sme považovali subjektívne sledovanie priebehu počasia (zrážok) v spojení s dostupnými publikovanými údajmi (napr. LAPIN 2018). Podobný suchý rok ako 2011 bol 2012, s výnimkou nadnormálnych zrážok od začiatku roka do začiatku vegetačného obdobia. Avšak roky 2010 a 2014, teda rok založenia výsadby a piaty, posledný rok hodnotenia kultúry, boli zrážkovo mimoriadne bohatými, a len o niečo menej zrážok spadlo v roku 2013, čo nebola priaznivá situácia pre testovanie potenciálneho podporného účinku prípravkov, určených na vyrovnávanie vlahového deficitu.

Pomerne vysoké straty, takmer 10 %, sme zaznamenali pri smreku ošetrenom Ectovitom a Stockosorbom a pri buku Stockosorbom aj medzi 4. a 5. rokom po výsadbe. Jedným z vysvetlení môže byť nadmerná vlhkosť pôdy (nepriaznivý pôdny vodno-vzdušný režim) v dôsledku spoločného účinku nadnormálnych zrážok a hydroabsorpčného účinku prípravkov, čo mohlo viesť až k úhynu sadeníc. Túto domnienku nepotvrdzuje úspešné prežívanie buka s Ectovitom, čo ale môže poukazovať na rôznu reakciu drevín s rozdielnymi koreňovými systémami na hydrogélový prípravok. Účinky hydroabsorbentov majú pravdepodobne súvislosť s veľkosťou a kvalitou koreňového systému sadeníc, vrátane podielu jemných koreňov, a tiež s vlastnosťami pôdy, takže za určitých okolností môže prípravok aplikovaný v gélovej forme obmedziť plnenie základných fyziologických funkcií a/alebo rast koreňov. Odhliadnuc od hydroabsorpčného účinku prípravku, prípadná rôzna odozva drevín na aplikáciu Ectovitu, ale tiež mykORIZNEHO prípravku Mycorrhizaroots, môže byť spôsobená rozdielmi v kompatibilitate drevín a aplikovaných húb z hľadiska príjmu živín a vody a produkcie bioregulátorov rastu hubami.

Po 5. roku lepšie prežíval smrek než buk, prírastky tiež indikovali o niečo vyššiu rastovú dynamiku smreka. Podobne MARTINÍK et al. (2013) zistili, že po výsadbe na kalamitnú plochu lepšie výsledky dosiahol smrek než buk, čo podľa autorov potvrdzuje oprávnenosť námetiek výsadby buka na holinu. Vplyv holej plochy, ale pravdepodobne vo veľkej miere tiež nepriaznivé činitele vysokohorskej polohy sa prejavili na vývin výsadby buka na kalamitnej ploche vo V. Tatrách. Po 1. roku síce prežilo 85 % smreka a 80 % buka (REPÁČ et al. 2011), avšak po 5. roku 70 % smreka a len niečo cez 20 % buka (ktorý tiež výrazne zaostával v raste), v dôsledku vysychania sadeníc a masívneho poškodzovania zverou (REPÁČ, VENCURIK 2015).

V prvých troch rokoch existencie kultúry bol celkový rozsah poškodenia smreka i buka podobný, pričom smrek bol najviac poškodzovaný zverou a buk uschnutím terminálneho výhonka. V 4. a 5. roku výrazne prevažovalo poškodenie smreka, hlavne odhryzom výhonkov jeleňou zverou, z dôvodu umiestnenia VVP v komplexe listnatých porastov, a tým väčšej atraktivity smreka pre zver v danej lokalite. Stav a porovnanie momentálneho poškodenia drevín v čase hodnotenia kultúr po skončení vegetačných období však nie je možné vnímať ako úplne objektívne, nezávislé od ich úhynu. Výsledky prežívania naznačujú, že skutočné poškodenie zvlášť buka bolo pravdepodobne rozsiahlejšie a závažnejšie než prezentované a viedlo k zvýšeniu rozsahu uhynutých sadeníc. Táto okolnosť pravdepodobne vysvetľuje najmenší výskyt suchého vrchola buka s Ectovitom (napriek najvyšším stratám sadeníc) zo všetkých kombinácií drevín a prípravkov po prvých 2 rokoch po výsadbe (REPÁČ et al. 2013). V tomto prípade nemôžeme prisúdiť Ectovitu ochranný účinok pred vysychaním sadeníc, aj keď na rozdiel od ostatných príčin poškodenia, uschnutie výhonkov je fyziologickej povahy a súvisí aj s príjmom vody a živín koreňmi, ktorý môže byť ovplyvnený aj účinkom aplikovaných prípravkov. Celkovo väčší rozsah uschnutia výhonkov a úhynu buka než smreka v tomto experimente bol podľa doterajších skúseností a poznatkov (TUČEKOVÁ 2004; REPÁČ et al. 2011; REPÁČ, VENCURIK 2015) očakávaný. Je možné ho vysvetliť odlišným priebehom tvorby, rastu a vyzrievania výhonkov, tiež odlišnou biomasou a vlastnosťami asimilačného aparátu listnatých a ihličnatých drevín.

Prípravky nemali výrazný vplyv na prežívanie a rast kultúr. Avšak napriek už spomenutým vyšším stratám v poslednom roku hodnotenia, za celé obdobie experimentu Ectovit a Stockosorb mierne zvýšili prežívanie, Stockosorb aj rast smreka. Nezistili sme žiadne stimulačné účinky prípravkov na celkové prežívanie a rast buka. Zaujímavá je ale zmena v prežívaní v priebehu vývinu bukovej výsadby s aplikáciou Ectovitu; po 1. roku straty 15 %, po 2. roku ďalších 24 % (prežívanie po 2. roku 61 %), ale v priebehu ďalších troch rokov straty len necelé 4 %, čo poukazuje na možný dlhodobější účinok prípravku po aplikácii. Hoci sme takýto vplyv iného mykORIZNEHO prípravku Mycorrhizaroots nepozorovali, s účinkom Ectovitu na priebeh prežívania buka môže mať súvislosť obsah živín v asimilačnom aparáte, keďže vo variantoch Mycorrhizaroots a Ectovit sme po 5. roku zaznamenali oproti 2. roku nárast v hodnotách fosforu, draslíka, vápnika a horčíka (o 12 % viac K, až 49 % viac Mg pre Ectovit).

PEŠKOVÁ, TUMA (2010) pozorovali mierne pozitívny vplyv umelej inokulácie smrekových sadeníc prípravkom Ectovit na rozvoj aktívnych mykORIZ, avšak pri hodnotení rastu sadeníc bol pozorovaný mierne negatívny efekt. Naopak, v práci HOLUŠU et al. (2009) inokulácia sadeníc smreka Ectovitom v oblasti Nízkeho Jesenika s intenzívnym poškodením smreka podpŕňovou podporila adaptáciu a vývoj výsadbí štyri roky po inokulácii. Ectovit nemal vplyv na prežívanie a rast sadeníc viacerých druhov drevín rok po výsadbe na veľkoplošnú holinu po vetrovej kalamite a požiari vo Vysokých Tatrách (REPÁČ et al. 2011). Podobne ako kombináciu hydroabsorbenta a mykORIZNEHO inokula pri aplikácii Ectovitu, účinok súčasnej aplikácie hydroabsorbenta Stockosorb a mycélia mykORIZNYCH húb hodnotili BENIWAŁ et al. (2011). Zistili pozitívne účinky na vývin bukových sadeníc vystavených simulovanému stresu po výsadbe. Podobne ako v tejto práci, aplikácia

komerčného prípravku Mycorrhizoroots nemala významný vplyv na vývin 2ročných kultúr smreka, buka a borovice na kalamitnej ploche v Strážovských vrchoch (REPÁČ, VENCURIK 2015).

V experimentoch hodnotiacich vplyv EKM inokulácie boli vo väčšom rozsahu použité sadenice inokulované v priebehu pestovania v lesných škólkach (GROSSNICKLE, REID 1982; MARX 1991; QUEREJETA et al. 1998; SANCHEZ-ZABALA et al. 2013; ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA et al. 2013), než priamo na výsadbových plochách (CASTELLANO 1996; MENKIS et al. 2007; BENIWAL et al. 2011). Mnohí autori uvádzajú stimulačný účinok symbiotických húb na tvorbu mykoríznej symbiôzy, prežívanie a/alebo rast vysadených sadeníc (MARX 1991; QUEREJETA et al. 1998; SANCHEZ-ZABALA et al. 2013). Pozitívny účinok však podobne ako v našom prípade nebol vždy komplexný a konzistentný, v závislosti od použitých húb a inokula (GROSSNICKLE, REID 1982; CASTELLANO 1996; MENKIS et al. 2007). Nie je zriedkavé, že hubová inokulácia nie je úspešná z hľadiska tvorby mykoríznej symbiôzy ani akéhokoľvek iného účinku, a pokiaľ sa aj symbiôza vytvorí, dokonca môže utlmiť rast sadeníc, vzhľadom na odčerpávanie energetických látok drevine hubou (KROPP, LANGLOIS 1990). V súvislosti s hubovou inokuláciou je potrebné si uvedomiť, že aplikované huby sú väčšinou v konkurenčnej nevýhode voči prirodzene sa vyskytujúcim EKM hubám, ktoré sú lepšie prispôbené miestnym podmienkam a tiež dokážu rýchlejšie a lepšie reagovať na zmeny prostredia, ako je napr. vlhový stres.

V podmienkach vlhového deficitu je pravdepodobnejší priaznivý účinok hydroabsorbentov než inokulácie mykoríznyimi hubami. TUČEKOVÁ et al. (2008) zaznamenali pozitívny účinok Stockosorbu na prežívanie smreka, buka, aj ďalších hodnotených druhov drevín v rôznych oblastiach Slovenska, hlavne na vysychavých pôdach. Výrazne pozitívny vplyv hydroabsorbenta Agrisorb na prežívanie a rast sadeníc smreka a buka vystavených po výsadbe jednorazovému i opakovanému príslušku opisuje MAUER (2007). V rámci poloprevádzkového experimentu zameraného na fyziologickú odozvu sadeníc buka na stres zo sucha, JAMNICKÁ et al. (2013) pozorovali kladný vplyv hydroabsorbenta Stockosorb na primárne procesy fotosyntézy. Na rozdiel od týchto výsledkov GILMAN (2004) nezistil významné rozdiely v prežívaní a raste odrastkov duba virgínskeho s aplikáciou a bez aplikácie Stockosorbu na experimentálnej ploche s priaznivou štruktúrou a vlhkosťou pôdy.

Na VVP Kamenná boli vykonané po 2. vegetačnom období po výsadbe chemické analýzy asimilačného aparátu sadeníc, analýzy pôdy odobranej z blízkosti koreňov a meranie fluorescencie chlorofylu *a* (REPÁČ et al. 2013). Jednorazové meranie parametrov fluorescencie chlorofylu počas 2. vegetačného obdobia nepreukázalo zvýšenú fyziologickú aktivitu sadeníc ošetrovaných prípravkami, v závere vegetačného obdobia bol zaznamenaný pozitívny vplyv Stockosorbu na aktivitu buka. V pôdných vzorkách z rizosféry smreka bol zistený vyšší obsah C a N, pre buk navyše aj P a Ca pri kontrolných sadenicích než ošetrovaných mykoríznyimi prípravkami, čo poukazuje na určitý vplyv prípravkov na obsah týchto prvkov v pôde. Bez ohľadu na variant bol v pôde podľa MARXA et al. (1999) vysoký obsah dusíka, draslíka a vápnika, stredný obsah horčíka a nedostatočný obsah fosforu.

Optimálny rast sadeníc je možný len vtedy, ak majú k dispozícii dostatočný obsah živín. Analýza asimilačných orgánov môže byť dôležitým podkladom pre priame posúdenie stavu výživy drevín. Podľa BERGMANNA (1988) dostatočný obsah dusíka v ihliciach smreka sa pohybuje v rozmedzí 1,35–1,70 %, fosforu 1300–2500 mg kg⁻¹, draslíka 5000–12000 mg kg⁻¹, vápnika 3500–8000 mg kg⁻¹ a horčíka v rozsahu 1000–2500 mg kg⁻¹ sušiny. Dostatočný obsah dusíka v listoch buka sa pohybuje medzi 1,90–2,50 %, fosforu v rozpätí 1500–3000 mg kg⁻¹, draslíka 10 000–15 000 mg kg⁻¹, vápnika 3000–15000 mg kg⁻¹ a horčíka 1500–3000 mg kg⁻¹ (BERGMANN 1988); veľmi podobné rozpätie, s výnimkou nižšieho obsahu draslíka uvádza BUBLINEC (2011). Dva roky po výsadbe aplikácia Ectovitu zvýšila obsah živín (s výnimkou P) v asimilačných orgánoch smreka, aplikácia Stockosorbu (s výnimkou N) v listoch buka. Po ďalších troch rokoch došlo v ihliciach smre-

ka k nárastu dusíka, draslíka, vápnika a predovšetkým horčíka v kontrolnom variante, a naopak k poklesu hodnôt spomínaných prvkov vo variante s Ectovitom. V listoch buka sme vo variantoch s hubovými prípravkami Mycorrhizoroots a Ectovit zaznamenali oproti druhému roku výraznejší nárast v hodnotách fosforu, draslíka, vápnika a horčíka, naopak pokles koncentrácie prvkov vo variante Stockosorb. Hodnoty koncentrácie prvkov boli potom po 5. roku v ihliciach smreka o niečo vyššie vo variante kontrola než Ectovit, v listoch buka medzi jednotlivými variantmi v podstate vyrovnané, pričom pre smrek sa pohybovali zhruba na úrovni normálnych zásob, pre buk boli zistené podlimitné hodnoty obsahu draslíka a horčíka.

Účelom zakladania lesných kultúr je vypestovať kvalitné stabilné dospelé porasty, plniace svoju funkciu desaťročia. Rozhodujúce je prežívanie a rast lesných kultúr po dlhšom období, než niekoľko rokov po výsadbe. Výsledky napr. prác SENN, SCHÖNNENBERGER (2001), KUPKA, DIMITROVSKÝ (2006) a BALCAR et al. (2013) ukázali rozdielny vývoj rôznych drevín v prvých rokoch po výsadbe a v neskoršom období a potvrdili, že pre získanie objektívnych záverov je potrebné dlhodobé hodnotenie vývoja kultúr lesných drevín.

ZÁVER

Päť rokov po výsadbe voľnokorenných sadeníc buka lesného a smreka obyčajného na holinu situovanú v bukovom lesnom vegetačnom stupni v Kremnických vrchoch (stredné Slovensko) lepšie prežívali, a aj o niečo lepšie odrastali sadenice smreka než buka. V ihliciach smreka bol zistený dostatočný obsah základných živín, ale podlimitný obsah draslíka a horčíka v listoch buka. Smrek bol intenzívne poškodzovaný zverou, buk zvlášť v prvých rokoch po výsadbe uschnutím výhonkov, ktoré bolo jednou z hlavných príčin vyšších strát buka. Kombinovaný mykorízny a hydroabsorbčný prípravok Ectovit a hydroabsorbent Stockosorb, aplikované v čase výsadby, a mykorízny prípravok Mycorrhizoroots aplikovaný po výsadbe nemali významný vplyv na prežívanie a rast lesných kultúr, ale mali niektoré mierne, pritom rozdielne účinky na hodnotené dreviny. Ectovit a Stockosorb zvýšili o 8 % prežívanie smreka, Mycorrhizoroots znížil o 10 % prežívanie buka v porovnaní s kontrolou. Stockosorb mierne stimuloval rast smreka, zatiaľ čo mierne utlmil rast buka. Koncentrácia živín v asimilačných orgánoch smreka bola nižšia v Ectovitom ošetrovaných než kontrolných sadenicích, pri buku vo všetkých variantoch približne vyrovnaná. Nevýrazný vplyv prípravkov na vývin lesnej kultúry je pravdepodobne dôsledok pomerne priaznivých klimatických a pôdných pomerov (vlhkostný a nutričný režim), v prípade mikrobiálnych prípravkov aj priaznivých mikrobiálnych pomerov výsadbovej plochy, či nedostatočnej konkurencieschopnosti aplikovaných húb voči prirodzene sa vyskytujúcim mikroorganizmom.

Podakovanie:

Práca vznikla s finančnou podporou projektu APVV-0744-12. Autor ďakuje J. Povalačovej, M. Sendeckému a J. Hroncovi za technické práce.

LITERATÚRA

- ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA M., HAMERA-DZIERZANOWSKA A., ZYBURA H., DROZDOWSKI S. 2013. Wpływ mykoryzacji i chytoznanu na wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w szkółce i na uprawie. Sylwan, 157: 899–908.
- BALCAR V., KACÁLEK D., ŠPULÁK O., KUNEŠ I. 2013. Výzkumný demonstrační objekt Jizerka, 23 let zkušeností s prosperitou dřevin v horských podmínkách. In: Baláš, M. (ed.): Pěstování lesů ve střední Evropě. Sborník referátů. Kostelec nad Černými lesy, 2.–3. července 2013. Praha, ČZU: 11–20.

- BENIWAŁ R.S., HOODA M.S., POLLE A. 2011. Amelioration of planting stress by soil amendment with a hydrogel-mycorrhiza mixture for early establishment of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings. *Annals of Forest Science*, 68: 803–810.
- BERGMANN W. 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Jena, Veb Gustav Fischer Verlag: 762 s.
- BUBLINEC E. 2011. Pôda a minerálna výživa. In: Barna, M. a kol. (ed.): Buk a bukové ekosystémy Slovenska. Bratislava, Veda: 75–101.
- CASTELLANO M.A. 1996. Outplanting performance of mycorrhizal inoculated seedlings. In: Mukerji, K.G. (ed.): Concepts in mycorrhizal research. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 223–301.
- GILMAN F.E. 2004. Effects of amendments, soil additives, and irrigation on tree survival and growth. *Journal of Arboriculture*, 30: 301–310.
- GROSSNICKLE S.C., REID C.P.P. 1982. The use of ectomycorrhizal conifer seedlings in the revegetation of a high elevation mine site. *Canadian Journal of Forest Research*, 12: 354–361.
- HARLEY J.L., SMITH S.E. 1983. Mycorrhizal symbiosis. London, Academic Press: 483 s.
- HOLUŠA J., PEŠKOVÁ V., VOSTRÁ L., PERNEK M. 2009. Impact of mycorrhizal inoculation on spruce seedlings: comparisons of a 5-year experiment in forests infested by honey fungus. *Periodicum Biologorum*, 111: 413–417.
- JAMNICKÁ G., DITMAROVÁ E., KURJAK D., KMEŤ J., PŠIDOVÁ E., MACKOVÁ M., GÖMÖRY D., STRÉLCOVÁ K. 2013. The soil hydrogel improved photosynthetic performance of beech seedlings treated under drought. *Plant Soil and Environment*, 59: 446–451.
- KROPP B.R., LANGLOIS C.G. 1990. Ectomycorrhizae in reforestation. *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 438–451.
- KUNEŠ I., BALCAR V., ČÍZEK M. 2004. Influence of amphibolite powder and Silvamix fertiliser on Norway spruce plantation in conditions of air polluted mountains. *Journal of Forest Science*, 50: 366–373.
- KUPKA I., DIMITROVSKÝ K. 2006. Silvicultural assessment of reforestation under specific spoil bank conditions. *Journal of Forest Science*, 52: 410–416.
- KUPKA I., PRKNOVÁ H., HOLUBÍK O., TUŽINSKÝ M. 2015. Účinek prípravků na bázi řas na ujmavost a odrůstání výsadby lesních dřevin. *Zprávy lesnického výzkumu*, 60: 24–28.
- LAPIN M. 2018. Dlhodobý režim úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku. [online]. Bratislava, Univerzita Komenského, Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie. [cit. 2018-07-08]. Dostupné na/Available on: http://www.dmc.fmph.uniba.sk/public_html/main9.html
- MARTINÍK A., DOBROVOLNÝ L., HURT V. 2013. Úspěšnost a nákladovost různých variant obnovy lesa po větrné kalamitě. In: Baláš, M. et al. (ed.): Pěstování lesů ve střední Evropě. Sborník referátů. Kostelec nad Černými lesy, 2.–3. července 2013. Praha, ČZU: 151–158.
- MARX D.H. 1991. The practical significance of ectomycorrhizae in forest establishment. In: Hägglund, B. (ed.): Ecophysiology of ectomycorrhizae of forest trees. Lectures given at the 1991 Marcus Wallenberg Prize Symposium in Stockholm, Sweden, on September 27, 1991. Falun, Marcus Wallenberg Foundation: 54–90. The Marcus Wallenberg symposia proceedings, 7.
- MARX E.S., HART J., STEVENS R.G. 1999. Soil test interpretation guide. Oregon State University EC 1478. Corvallis, OR, Oregon State University: 8 s.
- MAUER O. 2007. Možnosti ochrany lesních kultur v období přísušky. In: Sarvaš, M., Sušková, M. (ed.): Aktuální problémy lesného škôlkárstva, semenárstva a umelej obnovy lesa. Zborník referátov z medzinárodného seminára, ktorý sa konal 27.–28. marca 2007 v Liptovskom Jáne. Zvolen, Národné lesnícke centrum: 145–149.
- MENKIS A., VASILIAUSKAS R., TAYLOR A.F.S., STENLID J., FINLAY R. 2007. Afforestation of abandoned farmland with conifer seedlings inoculated with three ectomycorrhizal fungi – impact on plant performance and ectomycorrhizal community. *Mycorrhiza*, 17: 337–348.
- PEŠKOVÁ V., TUMA M. 2010. Ověření vlivu mykorrhizního preparátu na růst a vývoj smrkových sazenic na LS Jablunkov. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55: 211–220.
- QUEREJETA J.I., ROLDÁN A., ALBALADEJO J., CASTILLO V. 1998. The role of mycorrhizae, site preparation, and organic amendment in the afforestation of a semi-arid mediterranean site with *Pinus halepensis*. *Forest Science*, 44: 203–211.
- REPÁČ I., TUČEKOVÁ A., SARVAŠOVÁ I., VENCURIK J. 2011. Survival and growth of outplanted seedlings of selected tree species on the High Tatra Mts. windthrow area after the first growing season. *Journal of Forest Science*, 57: 349–358.
- REPÁČ I., KMEŤ J., VENCURIK J., BALANDA M. 2013. Účinky aplikácie komerčných stimulačných prípravkov na prežívanie, rastové a fyziologické parametre výsadby smreka obyčajného a buka lesného. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58: 167–175.
- REPÁČ I., VENCURIK J. 2015. Intenzifikácia technológií zakladania lesných kultúr so zameraním na aplikáciu stimulačných prípravkov. *Vedecká monografia*. Zvolen, Technická Univerzita: 132 s.
- REPÁČ I., PAROBEKOVÁ Z., SENDECKÝ M. 2017. Reforestation in Slovakia: History, current practice and perspectives. *Reforesta*, 3: 53–88.
- RUEHLE J.L. 1982. Field performance of container-grown loblolly pine seedlings with specific ectomycorrhizae on a reforestation site in South Carolina. *Southern Journal of Applied Forestry*, 6: 30–33.
- SANCHEZ-ZABALA J., MAJADA J., MARTÍN-RODRIGUES N., GONZALEZ-MURUA C., ORTEGA U., ALONSO-GRAÑA M., ARANA O., DUÑABEITIA M.K. 2013. Physiological aspects underlying the improved outplanting performance of *Pinus pinaster* Ait. seedlings associated with ectomycorrhizal inoculation. *Mycorrhiza*, 23: 627–640.
- SENN J., SCHÖNNENBERGER W. 2001. Zwanzig Jahre Versuchsaufforstung Stillberg: Überleben und Wachstum einer subalpinen Auorstung in Abhängigkeit vom Standort. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 152: 226–246.
- Správa. 2017. Správa o lesnom hospodárstve Slovenskej republiky za rok 2016. [online]. Bratislava, Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR: 70 s. [cit. 2018-06-15]. Dostupné na/Available on: <http://www.mpsr.sk/index.php?navID=123&id=12392>
- TUČEKOVÁ A. 2004. Eliminácia vplyvu extrémov počasia pri zalesňovaní použitím vododržných a biotechnologických (hnojivých) preparátov. In: Peňáz, J., Martinek, J. (ed.): Hlavní úkoly pěstování lesů na počátku 21. století. Sborník referátů. Křtiny, 14.–16. září 2004. Brno, MZLU: 101–119.
- TUČEKOVÁ A., HALÁK A., SLAMKA M. 2008. Hydrogély v umelej obnove lesa. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 54: 347–369.
- TUČEKOVÁ A. 2013. Aktuálne problémy adaptácie krytokorenného sadbového materiálu smreka obyčajného na kalamitných holinách. In: Bednárová, D. (ed.): Aktuálne problémy v zakladaní a pestovaní lesa. Zborník referátov. Nový Smokovec, 17.–18. října 2013. Zvolen, NLC: 56–67.

ESTIMATION OF DEVELOPMENT OF EUROPEAN BEECH AND NORWAY SPRUCE PLANTATIONS FIVE YEARS AFTER APPLICATION OF MYCORRHIZAL AND WATER-HOLDING ADDITIVES AT PLANTING

SUMMARY

Reforestation and afforestation (artificial regeneration) play important role in forest regeneration in Slovakia. Unfavorable soil properties of planting sites can be eliminated and physiological processes of outplanted seedlings supported with the aid of materials, additives or products (soil conditioners) of different origin (natural or synthetic) and mode of action. In adverse environmental conditions, ectotrophic tree species are existentially dependent on symbiosis with ectomycorrhizal (ECM) fungi. The most important benefit of ECM symbiosis for trees is increased nutrient and water uptake. Several studies confirmed positive effect of application of ECM fungi on outplanting performance of seedlings. Because of complexity and intricacy of fungi – trees relationships, positive effect of mycorrhization is not guaranteed. If elimination of drought stress is needed, the use of water-holding substances (hydrogels) could be more reliable.

European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) are the most distributed (33.2% and 23.4% of forest area, respectively) and from the aspect of ecology and economy the most important forest tree species in Slovakia. Spruce occupies mainly higher altitudes of subalpine and alpine zones in northern Slovakia, but is relatively abundant also in lower altitudes of mountain area in central Slovakia. Despite of probability of spruce decline in lower altitude habitats due to climate change, still is of considerable importance and planted in large rate in this area. Beech is predominant autochthonous tree species in low-altitude edge of spruce occurrence showing very good ability of natural regeneration, but in any case, artificial regeneration is unavoidable (especially on larger windthrow areas). With regard to adversity of open area for these tree species, emphasized with possible periods of precipitation deficit and extraordinary temperatures, application of soil additives moderating drought stress should be a potential tool to achieve success of reforestation.

In this study, effects of commercial additives (Ectovit, Mycorrhizaroots, Stockosorb) on development of Norway spruce and European beech plantations were estimated. The experiment was arranged as one factorial randomized complete block design. Ectovit is combined ECM and water-holding additive containing mycelium and spores of ECM fungi and particles of a water-retaining gel. Mycorrhizaroots is ECM inoculum containing spores of ECM fungi at the dose 23.3% of total weight of the inocula. The both ECM additives contain also various ingredients supporting ectomycorrhiza formation and seedling development. Stockosorb is water-holding synthetic substance, from the chemical viewpoint a small-granules polyacrylamide compound. Four-year-old bareroot seedlings of both tree species were planted on clear site located in beech forest zone in the Kremnické vrchy Mts. (central Slovakia). The parent rock of the site is andesite, the dominant soil type cambisol (rocky and even boulder in some places). The altitude of the research plot is around 750 m a.s.l, aspect W, and slope 30–40%. The root systems of the seedlings were soaked into the slurry (hydrogel) of Ectovit and Stockosorb immediately before planting. Water suspension of Mycorrhizaroots was poured around seedling stems a few days after planting and repeatedly in the middle of the first growing season. Fifty seedlings were planted for each tree species in each of 4 treatments (3 additives + untreated control) and 3 replications (1,200 seedlings totally) on 0.40 ha area. Development of plantation including foliar and soil chemical analyses, and measurement of chlorophyll fluorescence two years after planting was reported by REPÁČ et al. (2013). In this study, survival, damage, root collar diameter, stem height and height increment were recorded, and volume of aboveground part of seedlings calculated after each of three consecutive (third to fifth) growing seasons. Foliar samples were collected at the end of the fifth growing season for chemical analysis. Growth parameters were analyzed by one-way analysis of variance followed by a Tukey's test to determine treatment differences.

Five years after planting, spruce seedlings survived and grew better than beech seedlings (Tab. 1 and 2). Sufficient content of basic nutrients in spruce needles, but under-limited content of potassium and magnesium in beech leaves was found. Spruce was excessively damaged by deer browsing, beech particularly in the first two years after planting by drying of shoots resulting in higher beech than spruce seedlings mortality (Tab. 1). The additives used had not significant effect on the growth of plantation. Nevertheless, several moderate effects of the additives were occurred, depending on the tree species tested. Ectovit and Stockosorb increased by 8% survival of spruce, Mycorrhizaroots decreased by 10% survival of beech as compared to control. Stockosorb slightly stimulated spruce growth, while slightly suppressed beech growth (Tab. 2). Nutrients concentration in spruce needles was lower in Ectovit-treated than untreated seedlings, but in beech leaves was almost equal in all treatments (Tab. 3).

Non-pronounced effect of the additives on the plantation development is probably a consequence of relatively favorable climatic and soil conditions (water and nutrition regimes), in the case of the mycorrhizal additives also consequence of suitable planting site microbial relationships or insufficient competitive ability of the applied fungi against naturally occurring microorganisms. The use of soil additives, especially based on beneficial microorganisms never warrants their positive effect, because it depends on many circumstances, in a large scale on unpredictable climatic features. Despite that, application of these additives should be very beneficial for adaptation of seedlings to adverse environmental conditions, especially on nutrient and microbial deficient soils in combination with possible water deficiency.

Zasláno/Received: 04. 09. 2018

Přijato do tisku/Accepted: 27. 11. 2018