

INDIFERENTNÍ REAKCE SAZENIC BOROVICE LESNÍ A BUKU LESNÍHO OŠETŘENÝCH HYDROABSORBENTY

INDIFFERENT RESPONSE OF SCOTS PINE AND EUROPEAN BEECH SEEDLINGS TREATED WITH SUPER-ABSORBENTS

JAN BARTOŠ✉ - JAN LEUGNER - DUŠAN KACÁLEK - ONDŘEJ ŠPULÁK - JANA HACUROVÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic

✉ e-mail: bartos@vulhmop.cz

ORCID: D. Kacálek 0000-0003-4906-1034

O. Špulák 0000-0002-4924-3068

ABSTRACT

Super-absorbents are expected to amend soils as they are capable of retaining water, which turns dry loose powdery substances (also capsule) into hydrogel. These were applied to prevent an artificial regeneration failure due to drought events. Four commercially-available products were mixed with soil from planting holes (the capsule was put to the soil) in order to support bare-root Scots pine and European beech seedlings after a spring planting on eleven clear-cut sites in 2020–2021. The plantations were designed as rows with 4 × 150 plants treated with four hydrogels plus 150 plants without hydrogel as a control. The performance evaluation of new plantations was based on attributes such as mortality/survival and relative height and root-collar diameter increments. The plants, which lost their initial size, due to pine weevil damage, dry tops and damage by game, were excluded from the evaluation. Besides the plant response to the applied super-absorbents, the planting operations were evaluated from economic point of view. The 2020 plantations showed higher mortality than 2021 ones; both years showed an excessive loss. The hydrogels did not help the plants to survive better compared to control and growth data also showed ambiguous results. Therefore, from commercial perspective, the application of all tested super-absorbents just increased the renewal costs.

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

Klíčová slova: hydrogel; umělá obnova; prostokořený sadební materiál

Key words: hydrogel; artificial regeneration; bare-root planting stock

ÚVOD

Narůstající četnost období sucha s extrémními teplotami vzduchu ztěžuje zajištění nových lesních kultur. Je tedy třeba hledat možnosti, jak zabránit vyschnutí rostlin, a to jak v průběhu manipulace se sadebním materiálem, tak i během jeho výsadby (SARVAŠ 2003; APOSTOL et al. 2009; IVETIČ, DEVETAKOVIČ 2016), a zároveň jak prodloužit následné období s rostlinám dostupnou vodou (PRISA, GUERRINI 2023). Jednou z metod zadržení vody ze srážkově bohatších období pro využití rostlinami během pozdějšího sucha je aplikace hydrogelů (WILSKE et al. 2014; MACKŮ et al. 2022; PRISA, GUERRINI 2023). Tyto látky na bázi

hydrofilních polymerů jsou schopné navázat do sebe velké množství vody (ANDRY et al. 2009) a také poutat živiny (KAUR et al. 2023). Zadržovaná voda může představovat 400- až 1500násobek suché hmotnosti hydroabsorbentu (LANDIS, HAASE 2012). Jejich vlastnosti jim dovolují fungovat jako „umělý humus“ (HÜTTERMANN et al. 2009). Proto jsou tyto půdní kondicionéry a přihnojení aplikovány s výhodou na erodovaných půdách (např. MAO et al. 2021) nebo využity při rekultivacích (SARVAŠ et al. 2007; MILLER, NAETH 2019) a v lesních školkách (SARVAŠ, TUČEKOVÁ 2003). Mezi zmiňované pozitivní efekty hydrogelů na rostliny patří lepší přežívání období stresu (ALM, STANTON 1993; HÜTTERMANN et al. 1999; AGABA et al. 2010; ORIKIRIZA et al. 2013;

CROUS 2017; CHEHAB et al. 2017; CHAÍN et al. 2020; LERTSARAWUT et al. 2021), ochrana před vysycháním (APOSTOL et al. 2009; GOYETTE et al. 2014) nebo zvýšený příjem vody rostlinami (PRISA, GUERRINI 2023) a následné zlepšení fyziologického stavu (MAO et al. 2021; MACKŮ et al. 2022). V oblastech se suchými periodami byly shledány účinným prostředkem k prodloužení doby dostupnosti vody (PRISA, GUERRINI 2023), a tím i sezóny vhodné pro výsadbu semenáčků, což na příkladu *Pinus patula* doložili MUDHANGANYI et al. (2018). Hydrogel byl také přidáván do směsi ektomykorhizního aditiva pro produkci sadebního materiálu (REPÁČ et al. 2022).

Cílem studie bylo ověřit vliv čtyř hydroabsorbentů aplikovaných při výsadbě na holiny na vývoj sazenic borovice lesní a buku lesního. Od aplikace hydrogelů byla očekávána zvýšená ujmavost a přírůstová reakce rostlin. Důvodem pro testování výsadeb právě těchto dřevin je fakt, že buk lesní je v Česku nejvíce zastoupená listnatá meliorační a zpevňující dřevina a borovice lesní je jehličnatá hospodářská dřevina často vysazovaná na stanoviště s nižšími srážkovými úhrny, na kterých dochází ke značným ztrátám v období delších průsušků po zalesnění.

MATERIÁL A METODIKA

Výsadba a aplikace hydroabsorbentů

Na základě analýzy trhu byly vybrány čtyři komerční přípravky, které byly v experimentech doplněny kontrolní variantou bez přidání hydroabsorbentu (tab. 1). Od testování více typů hydrogelů byly očekávány možné rozdíly v dopadech jejich aplikace.

Pro sledování vlivu testovaných přípravků bylo založeno celkem 11 výzkumných ploch (tab. 2). Prostokorný sadební materiál pocházel z provozních školek. V případě borovice lesní byly použity jednoleté semenáčky nebo dvouleté sazenice, u buku lesního pak sazenice 2–4leté. Použitý sadební materiál byl jednotný v rámci každé jednotlivé plochy. Výsadbové jamky byly hloubeny motorovým jamkovačem nebo manuálně sekeromotykou a sazečem (Borohrádek 2). Hydroabsorbenty byly aplikovány do blízkosti kořenů sazenic. Odměřené dávky testovaných přípravků byly vysypány na zeminu z vyhlou-

Tab. 1.

Varianty pokusu a náklady meliorace
Experimental treatments and amendment costs

Varianta/Treatment	Složení/Composition	Cena/Price (Kč/CZK)	Dávka/Dose* (g/l)	Cena přípravku na sazenici/ Price of one seedling
0 Kontrola/Control	-----	0	0	0
1 Agri	akrylamid/acrylamide	760	2,50	3,80
2 Hydro	kyselina polyakrylová/polyacrylic acid	384	3,00	2,30
3 Terra	zesíťené polymery, hnojiva, vulkanická hornina/ cross-linked polymers, fertilizers, volcanic rock	399	1,50	1,20
4 Kapsle/Capsule	polyakrylát draselný/potassium polyacrylate	8,47 Kč/ks/ CZK/1 piece	1 ks/1 piece (i. e. 1,16 g)	8,47

Název přípravku (výrobce)/Brand (producer): 1 – Agrisorb Mikro (Stockhausen); 2 – Hydrogel (Degussa AG); 3 – TerraCottem Arbor (TerraCottem); 4 – Vodní kapsle (Flügel GmbH)

*g na 1 litr půdy v průměrné jamce 10 × 10 × 10 cm/per litter of soil in average soilpit

Tab. 2.

Základní charakteristika výzkumných ploch
Basic attributes of study sites

Dřevina/ Tree species	Termín výsadby/ Planting season	Způsob výsadby/ Planting method (tool)	Výzkumná plocha/ Research plot	SLT/Ecosite*	Nadm. výška/ Altitude (m)	Expozice/ Aspect
borovice/pine	jaro/spring 2020	jamkovač ⁴	Borohrádek 1	1M	280	rovina ¹
		rýč ⁵	Borohrádek 2	1M	280	rovina
	jaro/spring 2021	jamkovač	Nový Ples	1P	260	rovina
		jamkovač	Nový Ples	1P	260	rovina
		jamkovač	Ovesná Lhota	4S	515	rovina
		jamkovač	Rytířsko	5S	525	rovina
buk/beech	jaro/spring 2020	jamkovač	Heraltice	6O	630	JV ²
		motyka ⁶ , jamkovač	Hutě	6S	720	JV
		motyka	Plasnice	5K	680	V ³
	jaro/spring 2021	jamkovač	Olešnice 2	6K	700	V
		jamkovač	Rytířsko	5S	525	rovina

*1M – nutrient-poor; 1P – acidic gleyic; 4, 5, 6S – nutrient medium fresh; 6O – nutrient medium gleyic; 5, 6K – acidic; see VIEWEGH et al. (2003)

¹flat terrain surface, ²south-east, ³east, ⁴hole-digger, ⁵spade, ⁶mattock

bené jamky (obr. 1) a při samotné výsadbě (zahrnování kořenů) byly promíchány se zemínou. Tablety varianty „kapsle“ byly vkládány do jamek do prostoru ke kořenům. Při výsadbě sázecím rýčem byl přípravek nasypán do vyhloubené šterbiny.

Sadební materiál byl vysazován v obdélníkovém sponu se vzdáleností řad 1,2 m a rozestupy 1 m. Každá varianta pokusu byla na ploše rozmístěna vždy do třech opakování. Každé opakování bylo tvořeno 1 až 3 řadami, dle velikosti pokusné plochy. Minimálně bylo na plochu vysazeno 150 jedinců od každé varianty pokusu. Při výsadbě bylo dbáno na vysokou kvalitu zalesňovacích prací i aplikace přípravků.



Obr. 1.

Jamka se sazenicí borovice a nasypáním práškovým hydroabsorbentem bezprostředně před samotnou výsadbou (foto: J. Bartoš)

Fig. 1.

Planting hole with loose super-absorbent poured into it right before planting the pine seedling (photo: J. Bartoš)

Hodnocenými parametry prosperity výsadeb byly ztráty, výškový přírůst a přírůst tloušťky kořenového krčku. Pro vyloučení vlivu odlišných výsadbových parametrů sazenic i jejich rozdílné vyspělosti vzhledem k roku realizace sadby (2020, 2021) byly hodnoceny relativní přírůsty v roce 2021, tzn. poměr přírůstu k počáteční hodnotě hodnoceného období (%).

Statistické zpracování bylo realizováno v prostředí R (R Core Team 2022). Po ověření konzistence dat metodami průzkumové analýzy byli pro analýzu růstu vynecháni poškození jedinci (okus, vytloukání, klikoroh, zaschlý terminál apod.), jedinci bez přírůstu a se zápornou hodnotou přírůstu (ztrátou výšky).

Mortalita byla hodnocena pomocí faktorové ANOVA (balík car), kdy varianta aplikace přípravků byla určena jako fixed factor, plocha (lokality výsadby) byla zadána jako blocking factor.

Relativní přírůsty byly hodnoceny metodou General Factorial Designs (balík GFD; FRIEDRICH et al. 2017) založenou na permutacích. Jako referenční byla zvolena hodnota WTPS (Wald-type permutation statistic; PAULY et al. 2015). Rozdíly byly považovány za průkazné na hladině významnosti $p \leq 0,05$.

Hodnocení nákladů

Součástí experimentu bylo také ekonomické porovnání nákladů realizace jednotlivých variant, a to na základě časových snímků zaznamenaných při výsadbách v jednotlivých letech. Byl zjišťován čas potřebný na aplikaci přípravku ve formě jemného prášku (varianty Agri, Hydro, Terra; dávkováno odměrkou o patřičné velikosti dle tab. 1) nebo u varianty Kapsle ve formě tablety (1 ks). U varianty Kapsle není třeba odměřovat přípravek v odměrce, což snižuje čas potřebný pro aplikaci (tab. 3). Samotná ekonomická kalkulace byla vypočtena na základě aktuálních cen použitého materiálu a služeb v době realizace projektu, tj. v letech 2020 a 2021, které jsou uvedeny v tabulce 4. Cena sadebního materiálu borovice byla stanovena na 4 Kč/ks, buku 7 Kč/ks. Práce (tab. 3) byla kalkulována s využitím hodinové sazby 200 Kč.

VÝSLEDKY

Hodnocení výsadeb

Borovice lesní

Ztráty výsadeb v jednotlivých letech se průkazně lišily: starší výsadba z jara 2020 měla souhrnnou mortalitu vyšší ($p < 0,001$), rozdíly se projeví i mezi plochami (obr. 2). Nebyl však potvrzen vliv některé z variant na ztráty, celkově ($p \approx 1$; obr. 3, 4), ani při hodnocení jednotlivých termínů výsadby zvlášť.

Relativní výškový přírůst borovic nevykazoval žádnou souvislost s variantami hydroabsorbentů ($p = 0,7$), rozdíly v přírůstu se projeví opět pouze mezi experimentálními plochami ($p < 0,001$; obr. 5). Poškození zamezující výškovému přírůstu výsadeb živých na konci experimentu bylo u borovic spíše ojedinělé, u jednotlivých variant na plochách se pohybovalo do 6 %. Průměrně vykazovalo přírůst 99 % živých borovic. Souvislost mezi variantou a poškozením nebyla potvrzena.

Také relativní přírůst tloušťky kořenového krčku mezi variantami nevykazoval průkazné rozdíly ($p = 0,4$).

Buk lesní

Ztráty buku byly specifické pro jednotlivé experimentální plochy (obr. 6), ale ani zde nebyl potvrzen vztah mezi variantou a ztrátami ($p = 0,98$; obr. 7, 8). Rozdíl ztrát mezi lety založení výsadeb nebyl potvrzen.

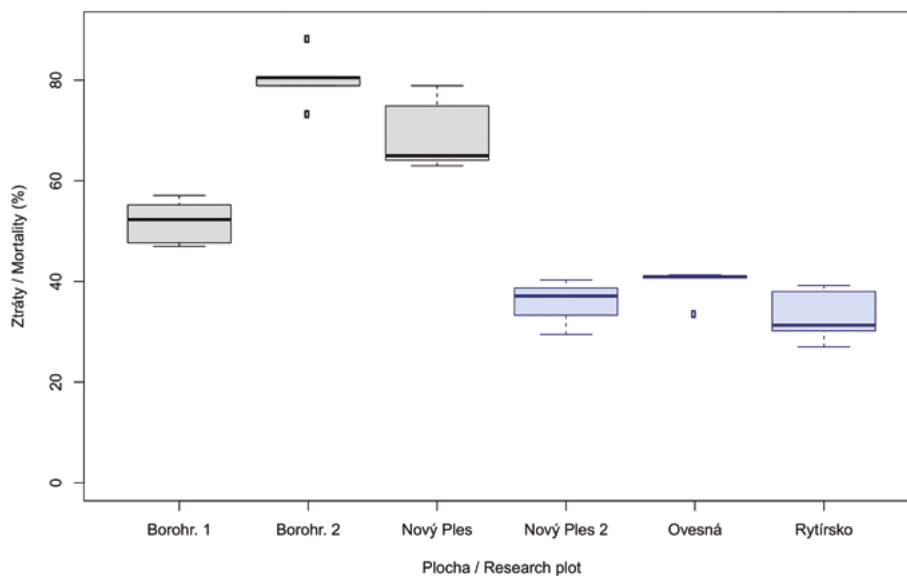
Také výškové přírůsty buku nebyly variantou hydroabsorbentu ovlivněny ($p = 0,08$), vzájemné rozdíly vykazovaly jednotlivé plochy (obr. 9). Podíl odrůstajících buků z jedinců živých v závěru experimentu byl nižší, průměrně za varianty na jednotlivých plochách dosahoval 75 % (rozmezí 31 % až 98 %), vliv variant nebyl prokázán ($p = 0,8$).

Relativní přírůst tloušťky kořenového krčku byl průkazně vyšší u varianty Agro v porovnání s variantou Hydro ($p = 0,04$). Krček byl mě-

řen pouze na dvou plochách: významný rozdíl mezi těmito dvěma variantami na ploše Rytířsko se sice projevil na celkovém porovnání (obr. 10), ale výsledek by bylo vhodné dále ověřit.

Ekonomická analýza využití testovaných přípravků

Z naměřených údajů při pořizování časového snímku bylo zjištěno, že průměrná doba aplikace přípravku ve formě jemného prášku či-

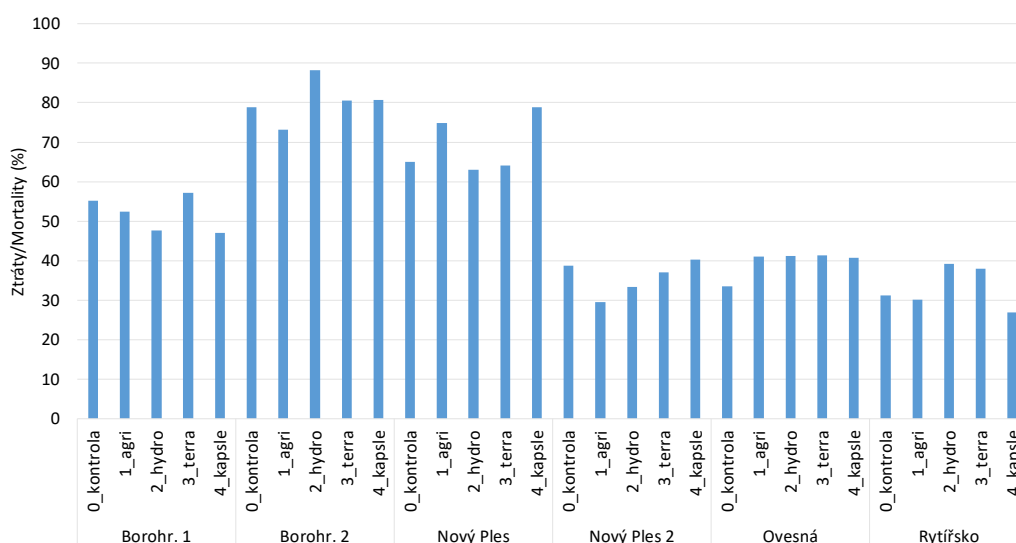


Obr. 2.

Rozložení ztrát borovic souhrnně všech testovaných variant na jednotlivých plochách dle termínu výsadby (šedá – 2020, modrá – 2021)

Fig. 2.

Scots pine plantation loss according to the plots presented as all treatments boxplots according to year of planting (grey – 2020, blue – 2021)

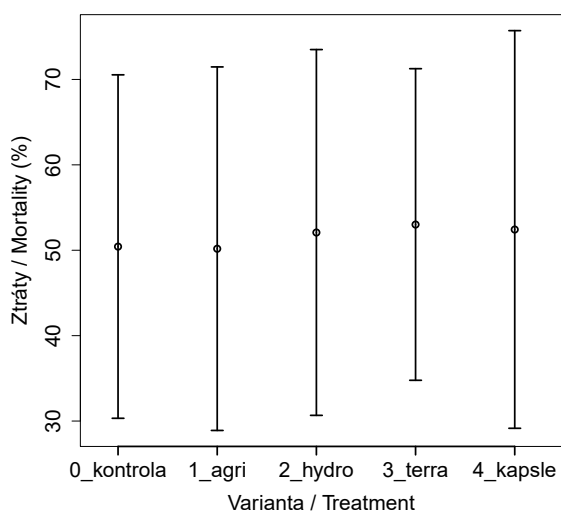


Obr. 3.

Rozložení ztrát borovice podle variant na jednotlivých plochách

Fig. 3.

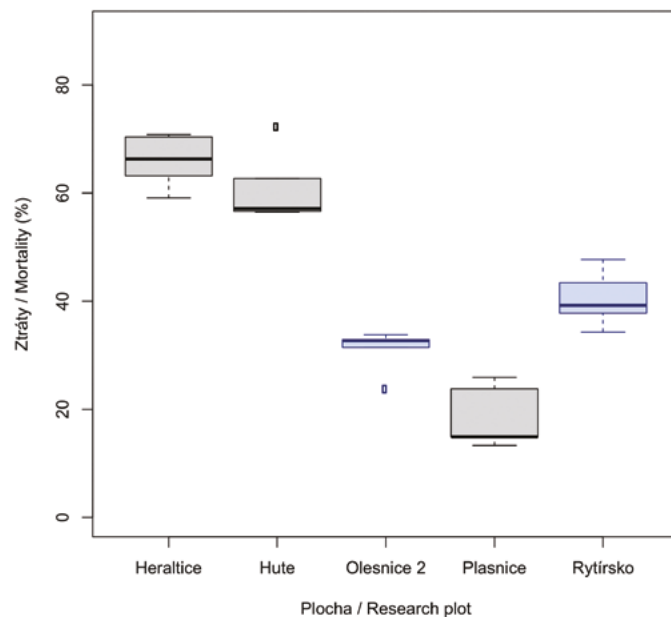
Scots pine plantation loss according to the treatments at individual plots

**Obr. 4.**

Ztráty borovic na kontrole (0) a variantách s hydroabsorbenty celkem; průměr a interval spolehlivosti při $\alpha = 0,05$

Fig. 4.

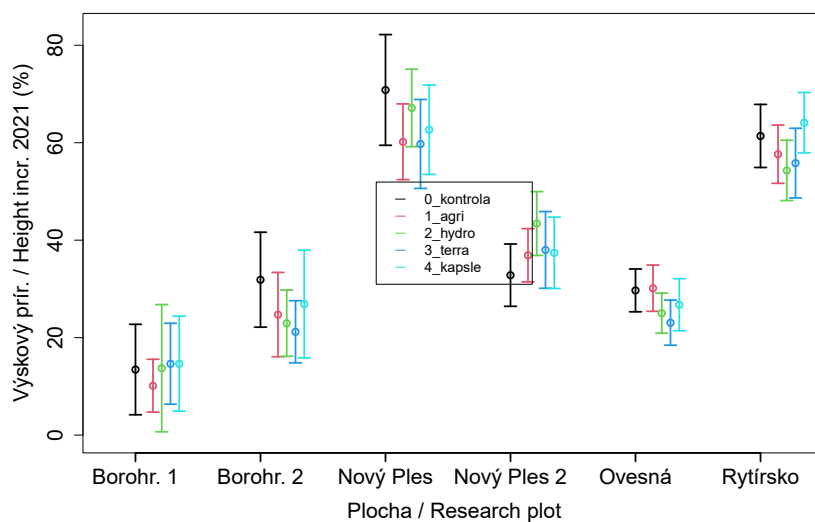
Scots pine loss in control (0_kontrola) and the amended treatments in total; mean and confidence intervals ($\alpha = 0.05$)

**Obr. 6.**

Ztráty buku souhrnně testovaných variant na jednotlivých pokusných plochách a podle let výsadby (šedá – 2020, modrá – 2021)

Fig. 6.

European beech plantation loss according to the plots and planting years (grey – 2020, blue – 2021) presented as all treatments boxplots

**Obr. 5.**

Relativní výškové přírůsty borovice na variantách s hydroabsorbenty podle ploch a let výsadby; průměr a interval spolehlivosti při $\alpha = 0,05$ (pro roky výsadby viz tab. 2 nebo obr. 2)

Fig. 5.

Scots pine height increments relative to the initial plant height in the treatments on plots; mean and confidence interval ($\alpha = 0.05$); for years of planting see Tab. 2 or Fig. 2

nila 5,2 sekundy na jednu sazenici a pro přípravek ve formě tablet 3,4 sekundy. Navýšení nákladů na výsadbu oproti výsadbě bez hydrogelu tak podle jednotkové sazby 200 Kč/hod činí 0,19 Kč u varianty Kapsle a 0,29 Kč u ostatních variant přípravků ve formě prášku (tab. 3).

Nejvyšší cena přípravku v doporučených dávkách přepočtená na jednu sazenici byla u varianty Kapsle 8,40 Kč. Naopak nejlevnější byla varianta s aplikací varianty Terra s cenou 1,20 Kč na sazenici (tab. 4). Celková jednotková cena přípravku včetně aplikace se mezi sebou výrazně liší, po započítání práce se však relativní pořadí variant nezmě-

Tab. 3.

Čas a cena aplikace přípravků k rostlině
Time and price of amending treatments per one plant

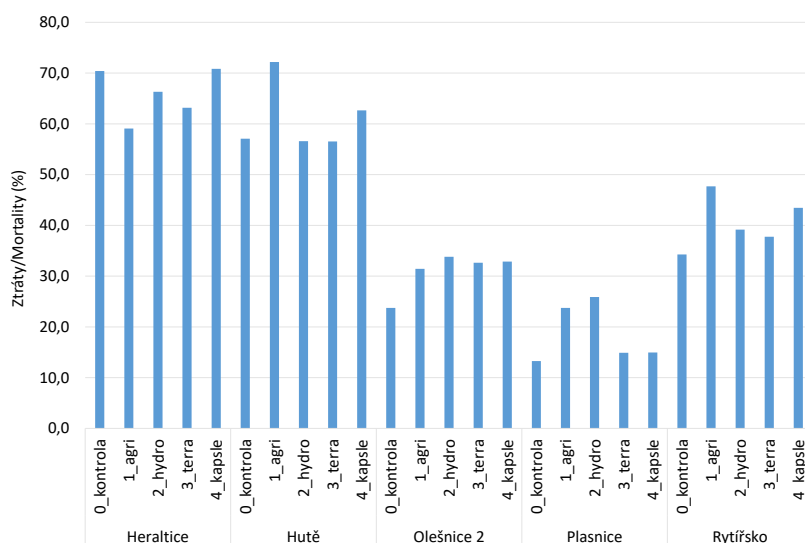
	Čas/Time (s)	Náklady/Costs (Kč/CZK)
Kontrola/No amendment	0	0
Práškový přípravek/Powdered formulation amendment (Agri, Hydro, Terra)	5,2	0,29
Tableta/Capsule	3,4	0,19

Tab. 4.

Cena přípravků a jejich aplikace na vysazenou sazenici a celkové zvýšené náklady
Price of amendments and their application per one plant and increased costs

Varianta ¹	*Cena přípravku + **cena aplikace ² (Kč/sazenice)	Navýšená cena aplikací přípravku ³ (Kč/sazenice)
Kontrola	0	0
Agri	3,80+0,29	4,09
Hydro	2,30+0,29	2,59
Terra	1,20+0,29	1,49
Kapsle	8,47+0,19	8,66

¹Treatment; ²Price of hydrogel + price (in CZK) of labor per one plant; (*see Tab. 1; **see Tab. 3); ³Price of amendment (CZK/plant)

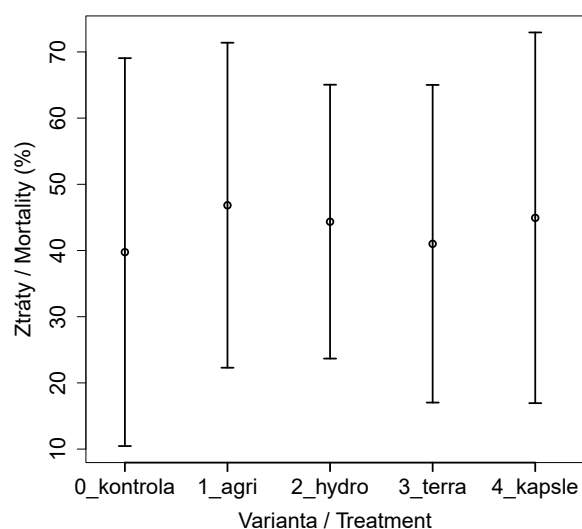


Obr. 7.

Rozložení ztrát buku podle variant na jednotlivých plochách

Fig. 7.

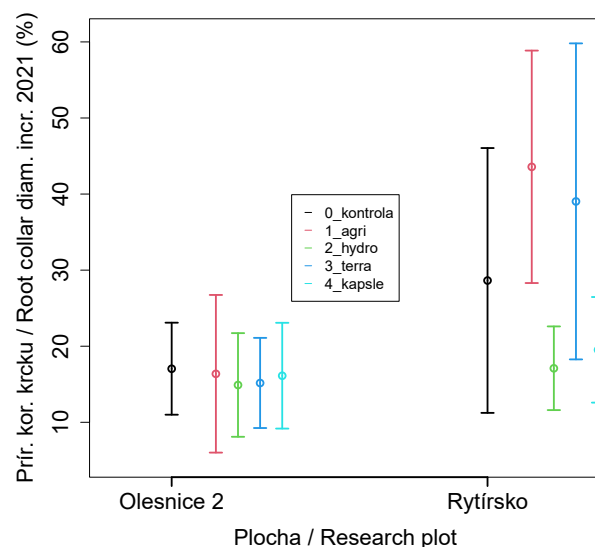
European beech plantation loss according to the treatments at individual plots

**Obr. 8.**

Ztráty buku na variantách s hydroabsorbenty; průměr a interval spolehlivosti při $\alpha = 0,05$

Fig. 8.

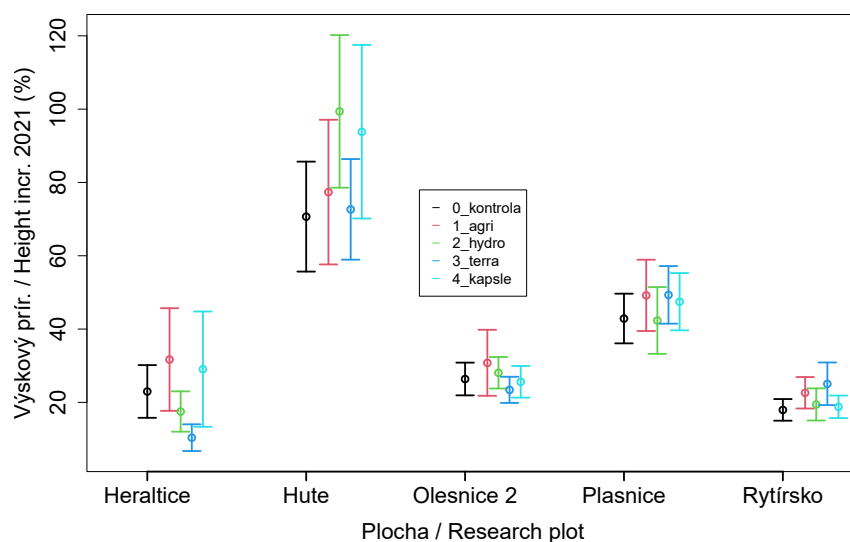
European beech loss in no-hydrogel (0_kontrola) and the amended treatments; mean and confidence intervals ($\alpha = 0.05$)

**Obr. 10.**

Relativní přírůsty kořenového krčku buku na variantách s hydroabsorbenty na dvou plochách; průměr a interval spolehlivosti při $\alpha = 0,05$

Fig. 10.

European beech root collar diameter increments relative to the initial diameter in the treatments on two plots; mean and confidence interval ($\alpha = 0.05$)

**Obr. 9.**

Relativní výškové přírůsty buku na variantách s hydroabsorbenty podle ploch; průměr a interval spolehlivosti při $\alpha = 0,05$ (pro roky výsadby viz tab. 2 nebo obr. 5)

Fig. 9.

European beech height increments relative to the initial plant height in the treatments on plots; mean and confidence interval ($\alpha = 0.05$); for years of planting see Tab. 2 or Fig. 5

nilo. Mezi uvedenými dvěma krajními variantami činí rozdíl v nákladech sedminásobek (tab. 4).

Z výsledků ekonomické kalkulace je zřejmé, že náklady na přípravku a jeho aplikaci v případě buku zvýší cenu výsadby minimálně o 21 % (u varianty Terra), bereme-li za základ cenu sazenice, tj. 7 Kč. Naopak k největšímu navýšení nákladů za výsadbu dojde u varianty (kapsle), o 123 % ceny sadebního materiálu. U borovice, kde vycházíme z ceny sadebního materiálu 4 Kč, toto navýšení činí od nejlevnějších 37 % u varianty Terra až po nejvyšších 215 % u varianty Kapsle.

DISKUSE

Předpokladem designu naší studie bylo, že efekty meliorantů se mohou lišit podle druhu dřevin a typu přípravku (DEL CAMPO et al. 2011; REPÁČ 2019). ORIKIRIZA et al. (2013) popisovali dobré výsledky aplikace 0,4% hydrogelu Luquasorb do písčité, hlinité a jílovité půdy v manipulativním experimentu ve skleníku. Do této směsi byly přesazeny semenáčky smrku ztepilého, borovice lesní a buku lesního. V nestresových podmínkách vedlo přidání hydrogelu do půdy k větší produkci biomasy semenáčků všech tří dřevin (ORIKIRIZA et al. 2013). V podmínkách stresu suchem byla vyšší biomasa rostlin na písčité půdě a u všech dřevin hydrogel prodloužil přežití (ORIKIRIZA et al. 2013). Nejednoznačné dopady aplikace hydrogelů při pěstování borovice lesní uvedli MACKŮ et al. (2022). Na druhou stranu, BENIWAŁ et al. (2011) konstatovali pozitivní efekt aplikace směsi hydrogelu a mykorhizního přípravku u prostokořenného buku; tyto výsledky nicméně nelze přičítat pouze hydrogelům. Např. LIANG et al. (2010) shledali přidání hydroabsorbentu jako zhoršující přežití *Populus hopeiensis* v prvních dvou letech po výsadbě, zatímco mykorhizace a přihnojení růst topolů částečně podpořily. Lepší výsledky aplikace hydrogelu zjistil CROUS (2017) u nádobových pokusů; poukázal na to, že jeho aplikaci nelze brát jako „pojištění“ proti krátkým obdobím s malými srážkami. Hydrogel jednoduše může zadržet jen tu vodu, se kterou přijde do kontaktu. Vypadá to, že velmi záleží také na půdních podmínkách. CROUS (2017) píše o dobrém fungování na písčitéch a jílovitých půdách a omezeném působení na hlinitých půdách, ORIKIRIZA et al. (2013) měli lepší výsledky na jílovitých a hlinitých půdách než na půdách písčitých. Na druhou stranu EL-ASMAR et al. (2017) shledali zanedbatelné efekty hydrogelu na jílovité hlíně ve srovnání s písčitou hlinou. Rostliny *Pinus patula* vypěstované v nádobách s přesátky písčitymi a jílovitými hlinami a rozloženou borovou kůrou pozitivně reagovaly po výsadbě růstem a lepším přežitím v období sucha; přitom borovicím bez hydrogelu zůstal substrát, ve kterém rostly, zatímco těm s hydrogelem byly kořeny před výsadbou do dobře propustných písčitých a jílovitých hlin omyty (MUDHANGANYI et al. 2018). Zřejmé je, že přisouzení výsledného efektu meliorace hydrogelem půdnímu druhu je složitější a vyžaduje založení experimentu s příslušným designem. Charakter půdy nebyl v našem experimentu předmětem šetření, cílem bylo šetření v širších provozních podmínkách, ve kterých se však pozitivní efekty meliorace neprojeví.

Také OSCROFT et al. (2000) nezjistili žádné významné rozdíly v přežití a růstu *Pinus elliotii* x *P. caribaea* po přidání dávek hydrogelu v rozmezí 0–4g a přidání 0–400 ml vody. Druh dřeviny může být rozhodující do té míry, že smysl má podpora dřevin citlivých na sucho; dřevinám tolerantním přidání hydrogelu nepomůže (TOMÁŠKOVÁ et al. 2020). Buk lesní a už vůbec borovice lesní nejsou považovány za druhy se zvýšenou citlivostí na sucho, přestože se na nich klimatické extrémy také projevují (ŠPULÁK, ČERNÝ 2023). Přírozená resilience těchto dřevin spolu s konkrétním vývojem počasí na plochách tak mohla vést k situaci, v které se hydrické vlastnosti půd na stanovištích ukázaly jako dostatečné a vliv hydromeliorantů byl tak nepodstatný.

LANDIS, HAASE (2012) uvedli, že ve studiích o efektech hydrogelu jsou zřídka zmíněny náklady jejich aplikace. Význam takových ekonomických úvah narůstá u nejednoznačných výsledků, jaké vyplývají z naší studie, a použití těchto aditiv se tak jeví jako neúčelné navyšování nákladů na zalesnění. Přidání meliorantů nemusí být ekonomicky rozhodující, pokud nejdražšími vstupy jsou ceny sadebního materiálu a práce (SURAWEERA et al. 2023). Je nicméně namístě také připomenout značné a velmi podobné ztráty v námi hodnocených kulturách obou dřevin, a to jak na variantách s aplikací hydrogelů, tak i na kontrolách. Můžeme tedy zároveň vyloučit negativní vliv hydrogelů na prosperitu výsad. Navíc, laboratorní test aplikace hydrogelů do vzorků půdy prokázal schopnost zadržení více vody ve směsi hydrogelu se zemínou ve srovnání s kontrolou (Zpráva 2022). Je otázkou, jaké relativní navýšení půdní vlhkosti zajistily čtyři v suchém stavu dodané přípravky v konkrétních podmínkách výsadbových jamek na výzkumných plochách. Přidání hydrogelů před nabobtnáním je nicméně nejsnazším způsobem jejich aplikace (MILLER, NAETH 2019). MACKŮ et al. (2022) upozornili na riziko poškození kořenových systémů v důsledku nabobtnání hydrogelu aplikovaného do jednotlivých jamek. Tuto metodu však přesto považují za ekonomicky vhodnější než celoplošné aplikace (MACKŮ et al. 2022). Podle našich výsledků však navýšení nákladů na výsadbu buku ani borovice na holiny při aplikaci hydroabsorbentu nenaplnilo očekávání.

Podstatným faktorem, který ovlivňuje úspěšnost umělé obnovy, je stav používaného sadebního materiálu. Jedná se jak o jeho morfologické parametry (např. JURÁSEK et al. 2002), tak o fyziologickou kondici (MARTINCOVÁ et al. 2018), která se odvíjí nejen od podmínek pěstování v lesní školce, ale zejména od vhodné formy manipulace s ním před samotnou výsadbou (LEUGNER, MARTINCOVÁ 2019). To, že naše studie neprokázala rozdíly v relativně vysoké mortalitě ošetřených i kontrolních sazenic vysázených na holiny, jen potvrdilo, že od přidání přípravků zadržujících vodu v půdě při výsadbě nelze očekávat nápravu problémů týkajících se kvality sadebního materiálu.

ZÁVĚR

V rámci námi provedených experimentů ve vybraných poloprovozních podmínkách v letech 2020 a 2021 nebyl zaznamenán pozitivní vliv aplikace testovaných přípravků zadržujících vodu (hydroabsorbentů) na ztráty po výsadbě a růst prostokořenných sazenic borovice a buku. Souběh faktorů zahrnujících přirozené vlastnosti půd, průběh počasí dotčených let i vlastnosti testovaných dřevin nevedl k projevení významného vlivu aplikovaných preparátů. Aplikace testovaných přípravků pouze navýšila náklady obnovy lesa v řádu až vyšších desítek procent ceny sadebního materiálu.

Ze studie a navazující diskuse vyplývá, že i na holinách má použití kvalitního sadebního materiálu a pečlivá manipulace s ním větší význam, než přidání přípravků zadržujících vodu v půdě.

Poděkování:

Příspěvek vznikl s využitím dat vzešlých z výzkumného projektu financovaného Grantovou službou LČR, s. p., a za přispění institucionální podpory Ministerstva zemědělství České republiky MZE-RO0123.

LITERATURA

- AGABA H., ORIKIRIZA L.J.B., ESEGU J.F.O., OBUA J., KABASA J.D., HÜTTERMANN A. 2010. Effects of hydrogel amendment to different soils on plant available water and survival of trees under drought conditions. *Clean – Soil, Air, Water*, 38 (4): 328–335. DOI: 10.1002/clen.200900245
- ALM A., STANTON J. 1993. Polymer root dip increases survival of stressed bareroot seedlings. *Northern Journal of Applied Forestry*, 10 (2): 90–92.
- ANDRY H., YAMAMOTO T., IRIE T., MORITANI S., INOUE M., FUJIYAMA H. 2009. Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal of Hydrology*, 373: 177–183. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.04.020
- APOSTOL K.G., JACOBS D.F., DUMROESE R.K. 2009. Root desiccation and drought stress responses of bareroot *Quercus rubra* seedlings treated with a hydrophilic polymer root dip. *Plant and Soil*, 315 (1/2): 229–240. DOI: 10.1007/s11104-008-9746-6
- BENIWAL 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 (4): 803–810. DOI: 10.1007/s13595-011-0077-z
- CROUS J.W. 2017. Use of hydrogels in the planting of industrial wood plantations. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 79 (3): 197–213.
- 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*, 84 (3): 235–245.
- EL-ASMAR J., JAAFAR H., BASHOUR I., FARRAN M. T., SAOUD I. P. 2017. Hydrogel banding improves plant growth, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. *Clean – Soil Air Water*, 45 (7): 1700251. DOI: 10.1002/clen.201700251
- FRIEDRICH S., KONIETSCHKE F., PAULY M. 2017. GFD: An R Package for the analysis of general factorial designs. *Journal of Statistical Software, Code Snippets*, 79 (1): 1–18. DOI: 10.18637/jss.v079.c01
- GOYETTE B., PICHÉ M., BROWNBRIDGE M., McGRATH D. 2014. Impact of handling practices on the quality of bare-root plants: A review1. *Journal of Environmental Horticulture*, 32 (2): 103–113. DOI: 10.24266/0738-2898.32.2.103
- HÜTTERMANN A., ZOMMORODI M., REISE K. 1999. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. *Soil and Tillage Research*, 50 (3–4): 295–304. DOI: 10.1016/S0167-1987(99)00023-9
- HÜTTERMANN A., ORIKIRIZA L.J.B., AGABA H. 2009. Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands. *Clean*, 37 (7): 517–526. DOI: 10.1002/clen.200900048
- CHAÍN J.M., TUBERT E., GRACIANO C., NAZARENO CASTAGNO L., RECCHI M., PIECKENSTAIN F.L., ESTRELLA M.J., GUDESBLAT G., AMODEO G., BAROLI I. 2020. Growth promotion and protection from drought in *Eucalyptus grandis* seedlings inoculated with beneficial bacteria embedded in a superabsorbent polymer. *Scientific Reports*, 10: 18221. DOI: 10.1038/s41598-020-75212-4
- CHEHAB H., TEKAYA M., MECHRI B., JEMAI A., GUIAA M., MAHJOUB Z., BOUJNAH D., LAAMARI S., CHIHAILOU B., ZAKHAMA H., HAMMAMI M., DEL GIUDICE T. 2017. Effect of the Super Absorbent Polymer Stockosorb® on leaf turgor pressure, tree performance and oil quality of olive trees cv. Chemlali grown under field conditions in an arid region of Tunisia. *Agricultural Water Management*, 192: 221–231. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.07.013
- IVETIĆ V., DEVETAKOVIĆ J. 2016. Reforestation challenges in Southeast Europe facing climate change. *Reforesta*, 1: 178–220. DOI:10.21750/REFOR.1.10.10
- JURÁSEK A. et al. 2002. Komentář k ČSN 48215. Sadební materiál lesních dřevin. [Forest reproductive material]. Praha, Český normalizační institut: 27 s. ISBN 80-7283-089-9
- KAUR P., AGRAWAL R., PFEFFER F. M., WILLIAMS R., BOHIDAR H.B. 2023. Hydrogels in agriculture: prospects and challenges. *Journal of Polymers and the Environment*, 31: 3701–3718. DOI: 10.1007/s10924-023-02859-1
- LANDIS T.C., HAASE D.L. 2012. Applications of hydrogels in the nursery and during outplanting. In: Haase D.L. et al. (eds.): *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations 2011*. Fort Collins (CO), USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 53–58. Proceedings RMRS-P-68.
- LETSARAWUT P., RATTANAWONGWIBOON T., TANGTHONG T., LAKSEE S., KWAMMAN T., PHUTTHARAK B., ROMRUENSUKHAROM P., SUWANMALA P., HEMVICHIAN K. 2021. Starch-based super water absorbent: A promising and sustainable way to increase survival rate of trees planted in arid areas. *Polymers*, 13: 1314. DOI: 10.3390/polym13081314
- LEUGNER J., MARTINCOVÁ J. 2019. Zásady manipulace se sadebním materiálem lesních dřevin. *Lesnická práce*, 98 (6): 378–381.
- LIANG J., SUN Z., QU Z., ZHANG Y., LU Q., ZHANG X. 2010. Long-term effect of an ectomycorrhizal inoculum and other treatments on survival and growth of *Populus hopeiensis* Hu et Chow. *Forest Ecology and Management*, 259 (12): 2223–2232. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.01.016
- MACKŮ J., RESNEROVÁ K., TOMÁŠKOVÁ I., HOLEČEK T., HÁJKOVÁ K., TROMBIK J. 2022. Způsoby aplikace hydrogelů a možnosti jeho využití v lesnickém provozu s inovovanými možnostmi dávkování. *Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti*: 55 s. Lesnický průvodce 7/2022.
- MAO L., ZHA R., CHEN S., ZHANG J., JIE L., ZHA X. 2021. Mixture compound fertilizer and super absorbent polymer application significantly promoted growth and increased nutrient levels in *Pinus massoniana* seedlings and soil in seriously eroded degradation region of Southern China. *Frontiers in Plant Science*, 12: 763175. DOI: 10.3389/fpls.2021.763175
- MARTINCOVÁ J., LEUGNER J., ERBANOVA E. 2018. Provozně použitelný postup hodnocení aktuálního stavu vodního režimu sadebního materiálu smrku ztepilého a borovice lesní. *Certifikovaná metodika. Strnady, VÚLHM*: 28 s. Lesnický průvodce 19/2018. ISBN 978-80-7417-185-7
- MILLER V.S., NAETH M.A. 2019. Hydrogel and organic amendments to increase water retention in Anthrosols for land reclamation. *Applied and Environmental Soil Science*: 4768091. DOI: 10.1155/2019/4768091
- MUDHANGANYI A., NDAGURWA H.G.T., MARAVANYIKA C., MWASE R. 2018. The influence of hydrogel soil amendment on the survival and growth of newly transplanted *Pinus patula* seedlings. *Journal of Forestry Research*, 29 (1): 103–109. DOI: 10.1007/s11676-017-0428-1

- ORIKIRIZA L.J.B., AGABA H., EILU G., KABASA J.D., WORRES M., HÜTTERMANN A. 2013. Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress. *Journal of Environmental Protection*, 4 (7): 713–721. DOI: 10.4236/jep.2013.47082
- OSCROFT D.G., LITTLE K.M., VIERO P.W.M. 2000. The effect of a soil-amended hydrogel on the establishment of *Pinus elliottii* × *caribaea* rooted cuttings on the Zululand coastal sands. *ICFR Bulletin Series*, 19: 8 s.
- PAULY M., BRUNNER E., KONIETSCHKE F. 2015. Asymptotic permutation tests in general factorial designs. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B: Statistical Methodology*, 77 (2): 461–473. DOI: 10.1111/rssb.12073
- PRISA D., GUERRINI G. 2023. Innovative hydrogels use in the germination and growth of tree species *Paulownia tomentosa* and *Cupressus sempervirens*. *GSC Advanced Research and Reviews*, 14 (2): 121–128. DOI: 10.30574/gscarr.2023.14.2.0058
- R Core team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Dostupné na/Available on: <https://www.R-project.org/>
- REPÁČ I. 2019. Hodnotenie vývoja lesnej kultúry buka lesného a smreka obyčajného päť rokov po aplikácii mykorrhíznych a hydroabsorpčných prípravkov pri výsadbe. *Zprávy lesnického výzkumu*, 64: 57–64.
- REPÁČ I., PAROBEKOVÁ Z., BELKO M. 2022. Ectomycorrhiza-hydrogel additive enhanced growth of Norway spruce seedlings in a nutrient-poor peat substrate. *Journal of Forest Science*, 68, 5: 170–181. DOI: 10.17221/29/2022-JFS
- SARVAŠ M. 2003. Effect of desiccation on the root system of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) seedlings and a possibility of using hydrogel STOCKOSORB® for its protection. *Journal of Forest Science*, 49 (11): 531–536.
- SARVAŠ M., TUČEKOVÁ A. 2003. Aplikácia hydrogélů rady F544534.682 STOCKOSORB® v škôlkárskej výrobe. *Zprávy lesnického výzkumu*, 48 (2/3): 71–74.
- SARVAŠ M., PAVLENDÁ P., TAKÁČOVÁ E. 2007. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. *Journal of Forest Science*, 53 (5): 204–209.
- SURAWEEA CH., BALÁŠ M., GALLO J., D'ANDREA G., VACEK S., REMEŠ J. 2023. Intensive initial care of silver fir using improving compounds: A way to support diverse forests? *Journal of Forest Science*, 69, 5: 179–192. DOI: 10.17221/178/2022-JFS
- ŠPULÁK O., ČERNÝ J. 2023. Potenciál borovice lesní v podmínkách změny klimatu: review. *Zprávy lesnického výzkumu*, 68 (1): 49–58. DOI: 10.59269/zlv/2023/1/689
- TOMÁŠKOVÁ I., SVATOŠ M., MACKŮ J., VANICKÁ H., RESNEROVÁ K., ČEPL J., HOLUŠA J., HOSSEINI S.M., DOHRENBUSCH A. 2020. Effect of different soil treatments with hydrogel on the performance of drought-sensitive and tolerant tree species in a semi-arid region. *Forests*, 11: 211. DOI: 10.3390/f11020211
- VIEWEGH J., KUSBACH A., MIKESKA M. 2003. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 49 (2): 74–82. DOI: 10.17221/4682-JFS
- WILKE B., BAI M., LINDENSTRUTH B., BACH M., REZAIE Z., FREDE H.G., BREUER L. 2014. Biodegradability of a polyacrylate superabsorbent in agricultural soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 21: 9453–9460. DOI: 10.1007/s11356-013-2103-1
- Zpráva 2022. Využití pomocných látek pro zlepšení vodního režimu kořenových soustav lesních dřevin při umělé obnově lesa. Závěrečná zpráva projektu Grantové služby Lesů České republiky. Řešitel Bartoš J. a kolektiv. [Opočno, VÚLHM – VS]: 38 s. [cit. 2024-02-22]. Dostupné na/Available on: https://lesycr.cz/wp-content/uploads/2020/04/GS_ZZ_vyuziti-pomocnych-latek_2_2020.pdf

INDIFFERENT RESPONSE OF SCOTS PINE AND EUROPEAN BEECH SEEDLINGS TREATED WITH SUPER-ABSORBENTS

SUMMARY

Introduction: Frequent droughts with extreme air temperatures hamper juvenile plantations to be established successfully. There is a need to look for ways how to retain available soil water for plants in such cases. One of the measures is an application of super-absorbents based on hydrophilic polymers, which are capable of retaining both water and nutrients. HÜTTERMANN et al. (2009) called it “artificial humus”. The amounts of the water absorbed is estimated to represent 400 to 1,500 times the absorbent dry weight (LANDIS, HAASE 2012); this turns the dry loose stuff (also capsules) into hydrogel containing water. The objective of this study was to check whether four hydrogel brands (Table 1) helped perform Scots pine and European beech planted in clear-cuts.

Material and methods: Eleven research plots were planted on different sites in spring 2020 and 2021 (Table 2). The pines were 1-year-old seedlings and the beeches were 2–4-year-old plants. The design of every plot consisted in 5 treatments (4 amended ones and a control). The amendments were of commercial origin, 3 of powdered formulation and one with the form of capsule (see Table 1). The super-absorbents were applied in specified doses at planting holes, which were dug either manually or using a power hole borer. Mortality/survival, height and root-collar diameter increments were a basis for performance evaluation. In order to avoid the bias due to different size of plants, a relative increments i.e. ratio of increment to the initial value of the year were analyzed. Statistical analysis was done using R (R Core Team 2022). Injured and damaged plants were omitted from the analysis. Mortality was analyzed using ANOVA (car package); treatments were a fixed factor and locality was a blocking factor. The relative increments were analyzed using a General Factorial Designs method (GFD package; FRIEDRICH et al. 2017) based on permutations. WTPS value (Wald-type permutation statistic; PAULY et al. 2015) was chosen as a reference; differences were significant when $p \leq 0.05$. Also economic aspects were considered using chronometry and costs (Table 3).

Results: In pines, mortality varied significantly in the years of the study and also among the sites (Fig. 2); trees planted in spring 2020 showed a bigger loss ($p < 0.001$). There was, however, no effect of the treatments on mortality compared to control treatment ($p \approx 1$; Fig. 3). A response of the relative height increment was also indifferent; significant impacts were shown among the plots ($p < 0.001$; Fig. 5). Also relative root-collar increments did not differ among the treatments ($p = 0.4$). Neither beech mortality nor relative height increment did respond to soil amendments ($p = 0.98$; Fig. 8), only plots differ (Fig. 6, 9). The positive reaction of relative root-collar increment attributable to one treatment was found only on one plot (root collars were measured only on two plots; Fig. 10); this needs further research. Economic considerations showed that super-absorbent application increases costs of planting including labor for at least 21% of the beech plant price and 37% of the pine plant price (Table 4) without significant ameliorative impacts on the new plantations.

Discussion: Indifferent response of planted pines and beeches to the hydrogel amendments is not an unusual case. The ambiguous results in pines were also found by OSCROFT et al. (2000) or by MACKŮ et al. (2022). As reported by CROUS (2017), positive effects of hydrogel application on survival of plants were 60% of all studied field trials; these were less successful than pot trials. Nevertheless, hydrogel was capable of helping both pines and beeches (spruces) as the application of 0.4% Luquasorb increased biomass of seedlings and also extended their survival periods (ORIKIRIZA et al. 2013). Super-absorbents are also applied as mixture with mycorrhiza (positive effect for bare-root beech reported BENIWAŁ et al. 2011) or mycorrhiza with fertilizer (partly positive effect for *Populus hopeiensis* reported LIANG et al. 2010). Impacts of super-absorbents can differ according to various soil conditions (ORIKIRIZA et al. 2013; CROUS 2017; EL-ASMAR et al. 2017) or tree species and brands of amendments (DEL CAMPO et al. 2011; REPÁČ 2019; TOMÁŠKOVÁ et al. 2020). The positive impacts of super-absorbents can be expected more in drought-sensitive species than in drought-tolerant ones (TOMÁŠKOVÁ et al. 2020).

Conclusion: Experiment manifested no effect of super-absorbent addition to performance of Scots pine and European beech seedlings. It can be concluded that planting the planting stock in the various growing conditions amended with four brands of soil conditioners increased the costs of artificial regeneration on the clear-cut area only.

Zasláno/Received: 18. 04. 2024

Přijato do tisku/Accepted: 27. 06. 2024